



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة البصرة
كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم الكيمياء



استخدام بعض المنتجات الطبيعية كمانعات تأكل مقبولة بيئياً للفولاذ الكربوني في الأوساط الحامضية

رسالة مقدمة إلى

مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة - جامعة البصرة
وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير في علوم الكيمياء

من قبل

علي خبار عكش

بكالوريوس تربية في علوم الكيمياء 2002

بإشراف

أ.د. عدنان سلطان عبد النبي

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ
وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ
بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَن يَنْصُرُهُ
وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ [الحديد: 25].

صدق الله العلي العظيم

توصية الأستاذ المشرف

نشهد أن إعداد هذه الرسالة الموسومة ((استخدام بعض المنتجات الطبيعية كممانعات تأكل مقبولة
بينيا للفولاذ الكربوني في الأوساط الحامضية)) جرى تحت إشرافي في قسم الكيمياء، كلية التربية
للعلوم الصرفة - جامعة البصرة، وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير في تخصص
الكيمياء.

المشرف

التوقيع:

الاسم: د. عدنان سلطان عبد النبي

المرتبة العلمية: أستاذ

التاريخ: 2024 / 6 / 12

توصية رئيس القسم الكيمياء

استناداً إلى التوصية في أعلاه أحيل هذه الرسالة إلى لجنة المناقشة لدراستها وبيان الرأي فيها.

رئيس قسم الكيمياء

التوقيع:

الاسم: د. مؤيد يوسف كاظم

المرتبة العلمية: أستاذ

التاريخ: 2024 / 6 / 12

إقرار لجنة المناقشة

نحن أعضاء لجنة المناقشة أدناه نشهد أننا قرأنا الرسالة الموسومة (استخدام بعض المنتجات الطبيعية كمانعات تأكل مقبولة بينيا للفلواز الكربوني في الأوساط الحامضية) المقدمة من قبل الطالب (علي خبار عكش) استكمالاً لمتطلبات نيل شهادة الماجستير في علوم الكيمياء، وبعد إجراء المناقشة وجدت اللجنة أن الرسالة مستوفية لمتطلبات الشهادة المذكورة وعليه توصي اللجنة بقبول الرسالة بتقدير (امتياز).

رئيس اللجنة

التوقيع:

الاسم: أ.د. خولة سلمان عبد الرسول

الدرجة العلمية: استاذ

التاريخ: ٢٠٢٤ / ٦ / ٢٠

عضو اللجنة

التوقيع:

الاسم: أ. د طارق ازباري جاسم

الدرجة العلمية: استاذ

التاريخ: ٢٠٢٤ / ٦ / ٢٠

عضو اللجنة

التوقيع:

الاسم: أ.م. د حنان مرتضى علي

الدرجة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ: ٢٠٢٤ / ٧ / ٤

عضو اللجنة

التوقيع:

الاسم: أ. د عدنان سلطان عبد النبي

الدرجة العلمية: أستاذ

التاريخ: ٢٠٢٤ / ٦ / ٢٠

مصادقة عميد كلية التربية للعلوم الصرفة

التوقيع:

الاسم: أ. د ماجد محمد جاسم

الدرجة العلمية: أستاذ

التاريخ: ٢٠٢٤ / ٧ / ٩

الإهداء

إلى الذي أرسله الله رحمة للعالمين ...

محمد صلى الله عليه وآله وسلم

إلى من هم شفعايني يوم الدين

إلى أبي وأمي فلولاهما لما وجدت في الحياة، ومنهما تعلّمت حب الحياة والصمود، مهما كانت العقبات والصعوبات.

إلى من كان عوني وسندي وحمل عني أعباء الحياة أخي

إلى كل من شجعني ولو بكلمة طيبة

والى من تحملت اعبائي، زوجتي الغالية

والى جميع أولادي وأخواتي الغوال

إلى جميع أساتذتي الأفاضل

وختامها إلى جميع الشهداء السعداء

أهدي اليكم ثمرة جهدي المتواضع

علي خبار

الشكر والتقدير

(بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ)

(وَاللَّهُ أَخْرَجَكُمْ مِنْ بُطُونِ أُمَّهَاتِكُمْ لَا تَعْلَمُونَ شَيْئًا وَجَعَلَ لَكُمُ السَّمْعَ وَالْأَبْصَارَ وَالْأَفْئِدَةَ
لَعَلَّكُمْ تَشْكُرُونَ). [النحل: 78]

من لا يشكر المخلوق لا يشكر الخالق، هكذا كانت تعاليمنا الاسلامية توصينا بإحقاق كل ذي حق حقه.

فما كان على إلا أن اختص هذه المساحة لأبعث بايات الشكر والعرفان إلى من لا يستطيع اللسان أن يوفيه حقه الأستاذ الدكتور عدنان سلطان عبد النبي على اقتراحه موضوع البحث ورعايته الأبوية ومساعدته ومتابعته وما قدمه لي من نصائح ومفاهيم قيمة وجهود متواصلة في الإرشاد والتوجيه طيلة فترة البحث، داعيا الله عز وجل ان يطيل في عمره ويزيده علما.

ولا أنسي أن أقدم جزيل الشكر والثناء إلى عمادة كلية التربية للعلوم الصرفة في جامعة البصرة ورئاسة قسم الكيمياء وأساتذتي جميعاً لما قدموه من جهود ودعم واسناد وتوجيه ومساعدته خلال فترة دراستي ومرحلة اتمام البحث.

كما يسعدني أن أتقدم بالشكر والامتنان الى الدكتور مشتاق جري والدكتور هادي ثامر والاستاذة نغم عارف الذين لم يبخلوا علي بأبداء المشورة والنصح والتوجيه.

كما أتقدم بموفور الشكر والتقدير الى موظفي مجانية التعليم ومكتبة الكلية ومخزن المواد الكيمياوية في قسم الكيمياء واخص بالذكر الأستاذ هادي عبد الصمد.

ولا يفوتني هنا إلا أن أسجل امتناني وشكري وتقديري إلى كافة اخوتي وزملائي طلبة الدراسات العليا والاخوة المعيدين في القسم عن أي مساعده أو مشوره قدموها لي في الفترة التحضيرية والبحثية.

وأخيرا أقدم شكري وتقديري وامتناني لوالدتي وجميع أفراد عائلتي واخص بالذكر أخي أبو مهدي الذين قدموا لي يد العون وتحملوا عني مصاعب الحياة وبثوا في روح العزيمة والصبر طيلة فترة البحث والدراسة جزاهم الله خيرا وجعل ذلك في ميزان حسناتهم.

والله ولي التوفيق

علي خبار

تناولت هذه الدراسة استخدام المستخلصات المائية لثمره الفلفل الأحمر الجاف (C) وبذور نبات الحرمل (R) بوصفها مثبطات لتآكل سبائك الفولاذ الكربوني (N80) المستخدمة في صناعة أنابيب النفط، في المحلول المائي لحمض الهيدروكلوريك (HCl) بتركيز (1 M). حيث استخدمت في هذه الدراسة تراكيز مختلفة من المثبطات النباتية (50,100,150,200) جزءاً في المليون، وفي درجات حرارة مختلفة (298,308,318K).

وتم تشخيص تلك المستخلصات النباتية باستعمال تقنية طيف الأشعة تحت الحمراء FT- IR ومن خلالها تم تحديد المجاميع الوظيفية الفعالة في تلك المثبطات، وأيضاً تم تشخيص المركبات الكيميائية الموجودة في كلا المستخلصين (C,R) باستخدام تقنية طيف الكتلة GC- mass وعلى أساس ذلك تم تفسير ميكانيكية التثبيط.

تم دراسة الفعالية التثبيطية للمستخلصات النباتية بطريقة (منحنيات تافل) وتحليل السطح باستخدام جهاز (SEM) المجهر الإلكتروني الماسح. حيث وجد أن المثبطات (C) و (R) كانت فعالة وأن كفاءة التثبيط تزداد بزيادة تركيز المثبط بسبب زيادة سمك الطبقة الواقية من المثبط على سطح سبيكة الفولاذ الكربوني التي تقاوم الوسط الأكل. وتم الوصول إلى أعلى كفاءة تثبيط $IE\%$ (92.69) و (91.26) للمثبطين على التوالي عند تركيز (200 ppm) وبدرجة حرارة 298 K .

وان سرعة التآكل (CR) تقل بوجود المثبط النباتي (C) و (R)، إذ كانت سرعة التآكل في الوسط الحامضي (1M HCl) بدون وجود المثبط عالية، هي (15.58 mpy) بسبب زيادة كثافة تيار التآكل وبالتالي تفكك المعدن في التفاعل الأنودي، في حين أصبحت (1.138 mpy) و (1.36 mpy) بوجود المثبطين (C) و (R) على التوالي عند أعلى تركيز وأقل درجة حرارة، ويعود سبب ذلك إلى نقصان كثافة التيار (I_{corr}) فضلاً عن ذلك يقل معدل سرعة التآكل مع زيادة تركيز المثبطات وثبتت درجة الحرارة، بينما يزداد معدل سرعة التآكل بارتفاع درجة الحرارة وثبتت التركيز للمثبطات بسبب انهيار الامتزاز الفيزيائي لجزيئات المثبط النباتي الذي يكون ضعيف المقاومة اتجاه ارتفاع درجة الحرارة .

وأيضاً كشفت نتائج الاستقطاب في حال إضافة المثبط النباتي تنخفض كثافة تيار التآكل (I_{corr}) للفولاذ الكربوني N80 من $34.22 (\mu A/Cm^2)$ للعينة بدون مثبط إلى $2.5 (\mu A/Cm^2)$ و 2.99 للعينة التي تحتوي

على 200 ppm من المثبتين (C) و (R) على التوالي عند أقل درجة حرارة. فضلا عن ذلك فإن كثافة تيار التآكل لسبيكة الفولاذ الكربوني عند ثبوت درجة الحرارة وزيادة التركيز للمثبتين (C) و (R) نجد أن هذه القيم تقل بسبب امتزاز جزيئات المثبط على سطح السبيكة وحجب المواقع الفعالة،

وتشير منحنيات الاستقطاب والدراسة الكهروكيميائية أن مثبط التآكل من النوع المختلط (آلية التنشيط الانودية والكاثودية)، إذ إن إضافة تراكيز مختلفة من المثبطات لا يغير كثيرا من شكل منحنى الاستقطاب (Polarization curve) أي إن المثبطات تعيق التفاعل الحاصل على قطب الانود (انحلال المعدن) وتؤخر التفاعل الحاصل على قطب الكاثود (تحرر غاز الهيدروجين) وهذا يدل على أنها تؤثر على التفاعل الأنودي والكاثودي بالتأثير نفسه تقريبا مما يدل على أن المثبطات من النوع المختلط.

وتم استعمال معادلة الحالة الانتقالية (Transition State Equation) ومعادلة أرينيوس

(Arrhenius Equation)، لإيجاد قيم طاقات التنشيط (Ea) واثالبي التنشيط

(ΔH^*) Enthalpy of activation واثالبي التنشيط (ΔS^*) Entropy of activation. إذ يلحظ زيادة في طاقة التنشيط (Ea.) لعملية التآكل بوجود المثبط مقارنة بغيابه حيث كانت طاقة التنشيط في الوسط الحامضي دون وجود المثبط (14.27) أما في حال وجود المثبط (C,R) فقد أصبحت (57.87) و (41.68) على التوالي عند أعلى تركيز (200ppm) وضمن درجات الحرارة (298,308,318K).

والتغير والاثالبي (ΔS^*) يزداد بوجود المثبط مقارنة بغيابه حيث كانت (-0.18) أما في حال وجود المثبتين (C,R) فقد أصبحت (-0.05) و (-0.10) على التوالي عند أعلى تركيز (200ppm) وضمن درجات الحرارة (298,308,318K).

كذلك لوحظ زيادة قيمة الاثالبي (ΔH^*) بوجود المثبط مقارنة بغيابه حيث كانت (11.71) أما في حال وجود المثبتين (C,R) فقد أصبحت (55.28) و (39.12) على التوالي عند أعلى تركيز (200ppm) وضمن درجات الحرارة (298,308,318K). أما التغير بالطاقة الحرة (ΔG^*) كانت قيمها عالية وتزداد بزيادة التركيز.

الصفحة	الموضوع	التسلسل
	الفصل الاول – المقدمة	
1	الفولاذ	1-1
2	التآكل	2-1
3	مفاهيم التآكل	3-1
3	نظرية التآكل الكهروكيميائي	4-1
4	قطب الانود	1-4-1
4	قطب الكاثود	2-4-1
4	محلول الكتروليتي	3-4-1
5	موصل للكهربائية	4-4-1
5	العوامل المؤثرة في التآكل	5-1
5	العوامل الكيميائية	1-5-1
5	العوامل الفيزيائية	2-5-1
6	تصنيف التآكل	6-1
6	درجة الحرارة	1-6-1
6	منشأ التآكل	2-6-1
6	وجود الرطوبة من عدمها	3-6-1
7	ترموديناميكية التآكل	7-1
7	نواع التآكل	8-1
11	التآكل في المنشأة النفطية	9-1
12	التآكل في آبار النفط	10-1
13	الاثار الاقتصادية للتآكل	11-1
13	الحماية والسيطرة على التآكل	12-1
14	المواد المقاومة للتآكل	1-12-1
14	الحماية بالطلاء	2-12-1
14	الحماية الكاثودية	3-12-1
15	الحماية الانودية	4-12-1

الصفحة	الموضوع	التسلسل
16	الحماية بواسطة التصميم	5-12-1
17	المتبطات	13-1
17	خصائص المتبط المثالي	14-1
18	الشروط الواجب توفرها في المتبط	15-1
19	أنواع متبطات التآكل	16-1
20	المتبطات العضوية	17-1
20	كيمياء التنمية المستدامة	18-1
20	المستخلصات النباتية كمتبطات مقبولة بيئياً	19-1
21	آلية التنشيط	20-1
21	مراجعة لبعض الدراسات الحديثة في مجال متبطات التآكل النباتية	21-1
28	طرائق قياس معدل سرعة التآكل	22-1
28	طريقة فقدان بالوزن	1-22-1
28	الطريقة الكهروكيميائية (منحنيات تافل)	2-22-1
32	النباتات المستخدمة في تحضير المستخلصات	23-1
32	الفلفل الأحمر	1-23-1
33	بنور الحرمل	2-23-1
38	أهداف الدراسة	24-1
	الفصل الثاني – الجزء العملي	
39	المواد المستعملة	1-2
39	السبائك المستخدمة	2-2
40	الأجهزة والأدوات المستخدمة	3-2
40	المطحنة الكهربائية	1-3-2
40	الميزان الحساس	2-3-2
40	فرن التجفيف	3-3-2
40	جهاز قياس مطيافية الأشعة تحت الحمراء	4-3-2
40	جهاز قياس طيف الكتلة	5-3-2

الصفحة	الموضوع	التسلسل
40	جهاز قياس معدل سرعة	6-3-2
41	المسح الإلكتروني المجهرى وقياس الاشعة السينية	7-3-2
41	تحضير محلول التآكل	4-2
41	تحضير المستخلصات المائية للمثبطات المستخدمة في البحث	5-2
41	تحضير مستخلص ثمرة الفلفل الأحمر (الجاف)	1-5-2
43	تحضير مستخلص بذور الحرمل	2-5-2
44	تحضير المحاليل	6-2
44	تهيئة نماذج الفولاذ الكربوني	7-2
45	قياس سرعة التآكل بالطريقة الكهروكيميائية (منحنيات تافل)	8-2
	الفصل الثالث - النتائج والمناقشة	
47	أطياف الأشعة تحت الحمراء (FT-IR)	1-3
51	طيف الكتلة للمستخلصات النباتية (GC - mass)	2-3
59	دراسة كفاءة المستخلصات المائية (R,C) كمثبطات للتآكل بطريقة منحنيات تافل	3-3
59	منحنيات الاستقطاب او ما يسمى بخطي تافل وحساب كفاءة التثبيط	1-3-3
61	معدل سرعة التآكل	2-3-3
62	تأثير درجة الحرارة والتركيز	3-3-3
69	دراسة المتغيرات الحركية لعملية التآكل	4-3
75	المسح المجهرى الإلكتروني (SEM)	5-3
78	ميكانيكية عمل المثبطات	6-3
82	الاستنتاجات	7-3
83	التوصيات	8-3
84	References	
	Abstract	

الصفحة	العنوان	رقم الجدول
8	أنواع التآكل وصور إيضاحية لها.	1-1
22	حصول الاعمال المنجزة للمثبطات العضوية الخضراء من سنة 2018 - 2023	2-1
34	التركيب الكيميائي لبعض المركبات الفعالة في ثمرة الفلفل الاحمر	3-1
36	التركيب الكيميائي لبعض المركبات الفعالة في بذور الحرمل	4-1
39	المواد المستعملة وصيغتها العامة ونقاوتها والشركات المصنعة لها	1-2
39	نسب مكونات سبيكة الفولاذ الكربوني	2-2
48	قيم ترددات أطيف الاشعة تحت الحمراء بوحدة (cm^{-1}) للمثبط (C)	1-3
49	قيم ترددات أطيف الاشعة تحت الحمراء بوحدة (cm^{-1}) للمثبط (R)	2-3
52	يمثل أهم المكونات التي ظهرت في المثبط النباتي (C)	3-3
53	يوضح طيف الكتلة والصيغ التركيبية لبعض المركبات الكيميائية الموجودة في المستخلص النباتي (C)	4-3
55	يمثل أهم المكونات التي ظهرت في المثبط النباتي (R)	5-3
56	يوضح طيف الكتلة والصيغ التركيبية لبعض المركبات الكيميائية الموجودة في المستخلص النباتي (R)	6-3
63	نتائج منحنيات الاستقطاب لتآكل الفولاذ الكربوني بتركيز مختلفة من المثبط النباتي (C) في محلول حامض الهيدروكلوريك (M1) وفي المدى الحراري (K 298-318)	7-3

الصفحة	العنوان	رقم الجدول
64	نتائج منحنيات الاستقطاب لتآكل سبيكة الفولاذ الكربوني بتراكيز مختلفة من المثبط (R) في محلول حامض الهيدروكلوريك (1 M) وفي المدى الحراري (298 - 318 K)	8-3
72	قيم بعض الدوال الحركية E_a , ΔH^* , ΔS^* , ΔG^* بغياب ووجود تراكيز مختلفة من المثبط (R, C) في الوسط الحامضي وضمن المدى الحراري 298 – 318 K	9-3

الصفحة	العنوان	رقم الشكل
12	تأثير التآكل على خط انابيب النفط	1-1
15	الحماية الكاثودية للأنابيب النفطية	2-1
16	الشكل الصحيح لبعض التصميمات	3-1
19	أنواع المثبطات	4-1
29	رسم توضيحي لمخطط الدائرة الكهربائية	5-1
30	منحنى الاستقطاب اللوغاريتمي لنظام التآكل (سلوك تافل)	6-1
32	صورة توضيحية لثمرة الفلفل الأحمر المجفف	7-1
33	صورة بذور الحرمل	8-1
42	مراحل تحضير مستخلص المثبط (C)	1-2
43	مراحل تحضير مستخلص المثبط (R)	2-2
44	صورة لعينة الفولاذ الكربوني N80	3-2
46	خلية القياس Tafel Plot	4-2
46	الخلية الكهروكيميائية وجهاز قياس سرعة التآكل	5-2
50	طيف الأشعة تحت الحمراء للمثبط (C)	1-3
50	طيف الأشعة تحت الحمراء للمثبط (R)	2-3
51	يمثل طيف الكتلة للمستخلص المائي لنبتة (C)	3-3
55	يمثل طيف الكتلة للمستخلص المائي لنبتة (R)	4-3
65	منحنيات الاستقطاب لتآكل الفولاذ الكربوني وبتراكيز مختلفة للمثبط (C) عند 298K	5-3
65	منحنيات الاستقطاب لتآكل الفولاذ الكربوني وبتراكيز مختلفة للمثبط (C) عند 308K	6-3
66	منحنيات الاستقطاب لتآكل الفولاذ الكربوني وبتراكيز مختلفة للمثبط (C) عند K 318	7-3

الصفحة	العنوان	رقم الشكل
66	منحنيات الاستقطاب لتآكل الفولاذ الكربوني وبتراكيز مختلفة للمثبت (R) عند K 298	8-3
67	منحنيات الاستقطاب لتآكل الفولاذ الكربوني وبتراكيز مختلفة للمثبت (R) عند K 308	9-3
67	منحنيات الاستقطاب لتآكل الفولاذ الكربوني وبتراكيز مختلفة للمثبت (R) عند K318	10-3
68	العلاقة بين كفاءة التثبيت ودرجة الحرارة في المحاليل الحامضية المختلفة التركيز من المثبت (C) ولمدى من درجات الحرارة (K 318 – 298)	11-3
68	العلاقة بين كفاءة التثبيت ودرجة الحرارة في المحاليل الحامضية المختلفة التركيز من المثبت (R) ولمدى من درجات الحرارة (K 318 – 298)	12-3
73	علاقة أرينيوس بغياب ووجود المثبت (C) وضمن المدى الحراري (298-318 K)	13-3
73	علاقة أرينيوس بغياب ووجود المثبت (R) وضمن المدى الحراري (298-318 K)	14-3
74	علاقة الحالة الانتقالية وحساب الانثالبي و النتروني بغياب ووجود المثبت (C) وضمن المدى الحراري (298-318 K)	15-3
74	علاقة الحالة الانتقالية وحساب الانثالبي والانتروبي بغياب ووجود المثبت (R) وضمن المدى الحراري (298-318 K)	16-3
75	جهاز المسح المجهرى الإلكتروني (SEM)	17-3
76	صور تقنية (SEM) للفولاذ الكربوني (Fresh Carbon Steel)	18-3
77	صور تقنية (SEM) للفولاذ الكربوني في الوسط الحامضي	19-3
77	صور تقنية (SEM) للفولاذ الكربوني في الوسط الحامضي بوجود المضبط (C)	20-3
78	صور تقنية (SEM) للفولاذ الكربوني في الوسط الحامضي بوجود المضبط (R)	21-3

الصفحة	العنوان	رقم الشكل
79	يمثل تداخل الكثرونات π للحلقة الأروماتية الموجودة في مركب 2-anilino-5-bromo-2-carbomethoxybenzophenone أحد مركبات المثبط (C) مع اوربيتالات d الموجودة في ذرات الحديد	22-3
80	تداخل بين المزدوجات الالكترونية الحرة على ذرات النيتروجين N والاكسجين O الموجودة في مركب 2--2-anilino-5-bromo-2-carbomethoxybenzophenone مع اوربيتالات d في ذرات حديد سطح الفولاذ الكربوني في المثبط (C)	23-3
80	يمثل تداخل الكثرونات π للحلقة الأروماتية الموجودة في مركب Harmine أحد مركبات المثبط (R) مع اوربيتالات d الموجودة في ذرات الحديد.	24-3
81	تداخل بين المزدوجات الالكترونية الحرة على ذرات الاوكسجين O والنيتروجين N الموجودة في مركب Harmine أحد مركبات المثبط (R) مع اوربيتالات d الموجودة في ذرات الحديد	25-3

المختصر او الرمز	المصطلح باللغة الإنكليزية	المصطلح باللغة العربية
β_a	Anodic Tafel constant	ثابت تافل الأنودي
β_c	Cathodic Tafel constant	ثابت تافل الكاثودي
CR	Corrosion rate	سرعة التآكل
Conc	Concentration	التركيز
E_a	Activation energy	طاقة التنشيط
E_{corr}	Corrosion potential	جهد التآكل
eq. wt.	Equivalent Weight	الوزن المكافئ
FT-IR	Fourier transform infrared	تحويل فورييه للطيف بالأشعة تحت الحمراء
ΔG^*	Activation Gibbs free energy change	التغير في الطاقة الحرة للتنشيط
h	Plank's constant	ثابت بلانك
ΔH^*	Activation enthalpy change	التغير في المحتوى الحراري للتنشيط
I_{corr}	Corrosion current density	تيار التآكل بوجود المثبط
IE	Inhibition Efficiency	كفاءة التثبيط
In	Inhibitor	المثبط
K	Kelvin (Absolute temperature)	درجة الحرارة المطلقة (كلفن)
mpy	Mille-inch per year	وحدة قياس معدل التآكل (ملي أنج / سنة)
D	Density	الكثافة
gm	gram	غرام
ν	Frequency in wave number unit	التردد بوحدة العدد الموجي

المختصر او الرمز	المصطلح باللغة الإنكليزية	المصطلح باللغة العربية
R	Gas constant	ثابت الغازات
ΔS^*	Activation entropy change	التغير في العشوائية للتنشيط
Θ	Surface coverage	الجزء المغطى من السطح بجزيئات المثبط
ΔN	Number of transferred electrons	عدد الإلكترونات المنقولة
$\dot{I}_{corr}$	Current density without inhibitor	تيار التآكل بعدم وجود المثبط
C	Red pepper extract	المستخلص المائي لثمرة الفلفل الاحمر
R	Peganum Harmala extract	المستخلص المائي لبذور الحرمل
ppm	Part per million	جزء من المليون
SEM	Scanning electron microscope	جهاز المسح الإلكتروني المجهرى
M^+	Molecular ion	الايون الجزيئي
ΔW	Weight loss	الفقدان بالوزن
S	Surface area	المساحة السطحية
Tc	Tafel Constant	ثابت تافل
GC-mass	Gas Chromatography –Mass Spectrophotometer	جهاز قياس كروماتوغرافيا الغاز و طيف الكتلة
A	Arrhenius constant	ثابت أرينيوس
i_a/i_o	Anodic Current Density	كثافة التيار الأنودي
i_c/i_o	Cathodic Current Density	كثافة التيار الكاثودي
ΔW	Weight loss	الفقدان بالوزن
N	Avogadro's number	عدد افوكادرو
t	Time	الزمن
hr	Hours	ساعة
T	Absolute temperature	درجة الحرارة المطلقة
$^{\circ}C$	Degree Celsius	درجة الحرارة السليزية
M.wt	Molecular weight	الوزن الجزيئي

المختصر او الرمز	المصطلح باللغة الإنكليزية	المصطلح باللغة العربية
mV	Mille volt	ملي فولت
n	Number of electrons transferred	عدد الالكترونات المكتسبة او المفقودة
N-80	Carbon steel type	نوع من أنواع الفولاذ الكربوني
$\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Micro ampere per centimeter scour	مايكرو امبير لكل سنتيمتر مربع

الفصل الأول

المقدمة

Introduction

1-1 الفولاذ (Steel)

هو واحد من المعادن الأكثر شيوعاً في التطبيقات الصناعية، وتستخدم على نطاق واسع في أنابيب النفط والغاز، وآلات البناء والمصانع والجسور والسفن والنقل البري والسفن والسكك الحديدية والمعدات الحربية فضلاً عن استخدامه في صناعات الأجهزة المنزلية وغيرها من الاستخدامات. كذلك يستخدم في صناعات أوعية التفاعل وصهاريج التخزين Tanks storage في المنشآت النفطية؛ وذلك نظراً لخصائصه الميكانيكية الجيدة، بما في ذلك المتانة القوية ومقاومة الصدأ، فهو متوافر أيضاً بكثرة وبتكلفة منخفضة، ولكنه عرضة للتآكل [1] [2]. الفولاذ الكربوني عبارة عن سبيكة حديدية تتآكل بسهولة في البيئة الحمضية وأيضاً يستخدم الفولاذ الكربوني في الصناعات الكيميائية والصناعات المرتبطة بها للتعامل مع المحاليل القلوية والحمضية والملحية في ظل ظروف مختلفة [3].

الفولاذ الكربوني هو سبيكة معدنية تتكون بشكل رئيس من الحديد و نسب قليلة من العناصر الأخرى مثل الكربون و النحاس والمنغنيز والسليكون وتعتمد خصائص الفولاذ الكربوني على كمية الكربون، حيث إن معظم الفولاذ الكربوني يمتلك محتوى كربوني أقل من 1 % [4].

هنالك ثلاثة أنواع من الفولاذ الكربوني الذي صُنف على أساس نسب الكربون [5]: -

أولاً / الفولاذ الكربوني المنخفض أو المعدل Low carbon steel (نسبة الكربون فيه 25%)

ثانياً / الفولاذ الكربوني المتوسط Medium carbon steel (نسبة الكربون فيه 0.25 % _ 0.75 %)

ثالثاً / الفولاذ الكربوني العالي High carbon steel (نسبة الكربون فيه 0.75 % _ 1.05 %).

يمتاز الفولاذ الكربوني بمتانة عالية، ألا أنه يتعرض لعمليات تآكل مختلفة، وذلك يؤدي إلى حدوث مشاكل في عمليات إنتاج النفط والغاز؛ مما يؤدي إلى خسائر اقتصادية فادحة [6] لقد حظي تآكل الفولاذ بقدر كبير من الاهتمام نتيجة لأهميته الصناعية [7] يعد تآكل الفولاذ الكربوني أحد المشاكل الكبيرة في كل من قطاعي إنتاج النفط والنقل في صناعة النفط والغاز؛ مما يتسبب في ما يقارب من 25% من حالات التلف ويعرض الحياة والبيئة للخطر بسبب تسرب النفط والغاز الطبيعي [8]. يعد تآكل المركبات المعدنية والسبائك وكذلك تدهور خصائصها مشكله صناعيه كبيره ويعدُّ مصدرًا مقلقاً للتلوث البيئي خاصة في صناعات الفولاذ الكربوني [9].

1-2 التآكل Corrosion

هو عملية طبيعية تحول المعادن إلى الحالة الأكثر استقراراً (ثباتاً)، وبما ان المعادن في الطبيعة تكون بحالتها غير المستقره فأنها تميل إلى التفاعل مع البيئة المحيطة لتصبح أكثر استقراراً، إذ تشكل أكاسيد أو هيدروكسيدات، ويتم تحلل هذه المعادن يكون عن طريق التفاعلات كيميائية أو الكهروكيميائية مع العناصر الكيميائية الموجودة في البيئة. تشمل امثلة تآكل المعادن، صدأ الحديد وذلك عندما يرتبط الحديد مع الاوكسجين أو الماء ليكون أوكسيد الحديد Fe_2O_3 (الصدأ) وكذلك تآكل الفولاذ والتلف الحاصل في النحاس والفضة [10].

يقلل التآكل من خصائص وتكوين المادة، بما في ذلك القوة والمظهر والنفاذية للسوائل والغازات، يمكن أن يكون لها تأثير خطير على المصانع الكبيرة مثل محطات الطاقة ومصانع المعالجة الكيميائية والأضرار التي يمكن أن تؤثر على السيارات وخطوط الانابيب والأسلحة والأدوات المنزلية [11].

ولكن في الوقت الحاضر هناك وعي متزايد لتوفير الحماية من التآكل للخسائر الكبيرة التي يسببها، واذ أجرت العديد من البلدان الكثير من الأبحاث للسيطرة على التآكل لعدة أسباب مهمه ورئيسة [12] :-

1- التآكل له علاقه بحياة الانسان ، إذ تتعرض للخطر سلامة وحياة الاشخاص الذين يعملون مع المعدات وايضا أولئك الذين يعيشون و يقومون بأعمال تجارية حول المكان.

2- التآكل يؤثر على سلامة المنشأة والمعدات وبالتالي يؤدي إلى فشلها وانهيارها.

3- الحفاظ على البيئة من آثار ومخلفات التآكل التي تؤدي إلى تلوث الهواء والماء والتربة على حد سواء .

4-تكلفة التآكل وتأثيره الاقتصادي على المجتمع، مؤدياً إلى خسائر اقتصادية فادحة لها تأثيرات مباشره وغير مباشرة .

5-تستخدم المعادن في المجالات التقنية وعليه يجب حمايتها من التآكل.

6- التآكل يسبب عطل معدات التشغيل شديدة الحساسية، ولذلك يتطلب دراسته.

1- 3 مفاهيم التآكل Corrosion concepts

- ❖ يعرف التآكل بأنه تلف سطحي للمعدن أو خواصه نتيجة تفاعله مع الوسط الخارجي. أو التلف الناجم عن تفاعل مادتين أو أكثر (المعدن والأكسجين) أو مكوناتهما وذلك بوجود وسط مساعد مثل الاملاح أو الحرارة والرطوبة [13].
- ❖ التآكل هو ظاهرة طبيعية وتلقائية تؤدي إلى تحول المعادن النقية وسبائكها إلى عدة أشكال مستقرة مثل الكبريتيدات ، أكاسيد ، هيدروكسيدات وغيرها، وذلك نتيجة التفاعلات الكيميائية أو الكهروكيميائية مع البيئة المحيطة [14].
- ❖ التآكل هو تفاعل كيميائي أو كهروكيميائي بين أي مادة معينة ، عادة ما تكون معدنية ، والبيئة المحيطة بها ، مما يؤدي في نهاية الأمر إلى تدهور المادة و خصائصها [15][16].
- ❖ التآكل هو تلف المعدن بسبب العوامل الخارجية والتي تحدث نتيجة تأثير العوامل الكيميائية مثل (ثاني اوكسيد الكبريت والاكسجين من الهواء) والعوامل الكهروكيميائية مثل (التأثير المدمر لمحاليل الا لكتروليت عند ملامستها للمعدن) والعوامل البيولوجية كتأثير بعض الكائنات الدقيقة [17].
- ❖ كذلك عرف التآكل من قبل الباحث Vermilyeal بأنه عملية إزالة أو نزع جزيئات أو ذرات من سطح المادة الصلبة مثل سطح سبيكة أو الفلز. وكذلك عرف العالم Evans التآكل بأنه سلسلة من العمليات الكهروكيميائية وعمليات ثرموديناميكية والحركية Kinetic التي تشتمل على انتقال الكترولونات ضمن دائرة قصيرة مسببة خلية كهروكيميائية مغلقة ، وينجم عن تكوين مجموعة من هذه الخلايا المغلقة على سطح فلز أو سبيكة، التحطيم التدريجي لسطح ذلك الفلز أو تلك السبيكة إذا استمرت تلك العمليات على سطح المادة فأنها لا تلبث أن تتسرب إلى باطن وعموم هيكل المادة الصلبة التي تعاني التآكل [18] وكذلك يعرف التآكل على أنه تلف يؤدي الى تلف المعادن عن طريق التفاعل مع البيئة المحيطة وهو خطر محتمل شائع على معامل انتاج الغاز والنفط والعديد من الصناعات الاخرى [19].

1- 4 نظرية التآكل الكهروكيميائي Electrochemical Corrosion Theory

يعد التآكل الكهروكيميائي من اكثر أنواع التآكل انتشاراً ، وهو سلسلة من التفاعلات الكهروكيميائية بين المعدن والمحيط (الوسط)، واذ يكون هذا التفاعل مصحوب بانتقال الإلكترونات من القطب الموجب (Anode) إلى القطب السالب (Cathode) وبوجود وسط ناقل يدعى بالاكتروليت (Electrolyte) ويكون القطبان مع الاكتروليت خلية كلفانية أو خلية التآكل (Corrosion Cell) [20-22] ولكي يحدث التآكل الكهروكيميائي يجب ان تتكون خلية كلفانية

وهذه الخلية تتطلب مايلي [23] :-

1-4-1 قطب الانود

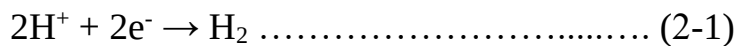
يمثل هذا القطب الجزء المتآكل من سطح المعدن حيث تحدث عليه عملية الأكسدة وبذلك يفقد الإلكترونات ويتحول المعدن إلى أيونات موجبة الشحنة ويكون هذا القطب فعال كيميائياً وكما موضح بالمعادلة (1-1)



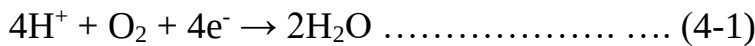
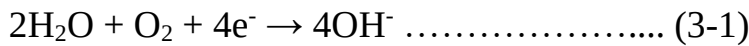
حيث إن M = الفلز المتآكل و n = عدد الإلكترونات المفقودة.

2-4-1 قطب الكاثود

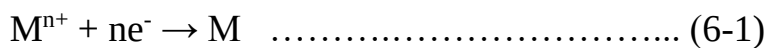
وهو الجزء من المعدن (وقد يكون معدن آخر) الذي يستقبل الإلكترونات الناتجة من الانود ويستهلكها ليستمر التآكل. يختلف التفاعل الكاثودي باختلاف بيئة التفاعل ففي الأوساط الحامضية مثلاً يحصل اختزال لأيونات الهيدروجين كما في المعادلة (2-1)



أو يحصل اختزال للأوكسجين كما في المعادلات التالية (3-1) و (4-1)



وهناك تفاعلات كاثودية أخرى مثل اختزال أيون المعدن أو تفاعل ترسيبه وكما موضح في المعادلتين (5-1) و (6-1) على التوالي.



3-4-1 محلول الكتروليتي

حيث يغطي هذا المحلول كلا القطبين ويسهل عملية تبادل الأيونات وإكمال الدائرة الكهربائية.

4-4-1 موصل للكهربائية

ويكون هذا الموصل معدناً كأن يكون شريطاً أو سلكاً أو سطح المعدن نفسه

5-1 العوامل المؤثرة في التآكل [24] [25] Factors Effecting on Corrosion

تقسم العوامل المؤثرة في التآكل الى قسمين:

1-5-1 العوامل الكيميائية

- a. **الدالة الحامضية:** يزداد التآكل في الوسط الحامضي ويفضل دائماً الحفاظ على قيم معتدلة للدالة الحامضية في الوسط المحيط بالمعدن.
- b. **الاملاح الذائبة:** مثل أيونات الكلوريد Cl^- والكبريتات $SO_4^{=}$ التي تخترق طبقة الاوكسيد المغطية لسطح المعدن مما يسبب التآكل.
- c. **المواد الصلبة العالقة:** ترسب الطين والاوساخ والرمل يؤدي الى تكون طبقة من الترسبات تشجع على تكوين خلايا تآكل كلفانية.
- d. **الغازات الذائبة:** أهمها الاوكسجين وهو أحد عناصر التفاعلات الكاثودية الأساسية كما تعمل بعض الغازات الأخرى على زيادة التآكل مثل غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S .
- e. **الاحياء المجهرية:** تساعد بعض الكائنات المجهرية على زيادة حدوث التآكل مثل بعض أنواع البكتريا المختزلة للكبريت.

2-5-1 العوامل الفيزيائية

- a. **المنطقة الكلفانية:** ربط معدنين مختلفين يكون خلية كلفانية وهي في الواقع خلية تآكل متكونة من انود وكاثود وهذا يزيد من سرعة التآكل.
- b. **السرعة:** تعمل سرعة الجريان العالية على أزاله الطبقة المترسبة على السطح فتزيد من سرعة التآكل
- c. **درجة الحرارة:** ازدياد درجة الحرارة يساعد على اختزال الاوكسجين فيزيد من سرعة التآكل كذلك تصبح المنطقة ذات درجة حرارة العالية انودية نسبة الى الأخرى.

d. **تركيب المعدن:** يساعد وجود تشققات وتنقرات على سطح المعدن على استحداث وتكوين مناطق انودية.

6-1 تصنيف التآكل [20] Classification of Corrosion

يمكن تصنيف التآكل على اساس:

1-6-1 درجة الحرارة:

1. التآكل عند درجات الحرارة العالية High - temperature corrosion من 100°C الى

الى 1000°C).

2. التآكل عند درجات الحرارة منخفضة Low – temperature corrosion من 25°C الى

80°C)

2-6-1 منشأ التآكل

1- التآكل الكيميائي

هو التآكل الذي ينشأ بسبب التفاعل المباشر بين الفلز (او السبيكة) والبيئة المتصل بها.

2- التآكل الكهروكيميائي

هو التآكل الذي ينشأ بسبب تيار كهربائي يتعرض الى الفلز (او السبيكة) وهذه التيارات تنشأ بسبب تطبيق جهد خارجي او وجود ازدواج كلفاني.

3-6-1 وجود الرطوبة من عدمها

1- التآكل الرطب

هو الذي يحدث في وسط سائل (Liquid) كتآكل الحديد في الماء او الحامض. إذ ينشأ في الاوساط السائلة كتآكل الصلب في المحلول المائي الحامضي [26] وان التيارات الكهربائية التي تسبب التآكل الكهروكيميائي يمكن أن تنشأ من عدة اسباب أهمها :

❖ نتيجة وجود الشوائب الفلزية في المعدن الاصلي أو تلامس معدنيين مختلفين يؤديان الى تكوين الخلايا الكلفانية.

❖ تعرض جزء من المعدن إلى اجهادات ميكانيكية

❖ درجة الحرارة للفلز تكون مختلفة في منطقتين متجاورتين.

تعزى معظم حالات تلف المعادن الى التآكل الكهروكيميائية فهو اكثر خطورة من التآكل الكيميائي [26]

2- التآكل الجاف

هو يحدث في غياب السائل او عند درجة حرارة اعلى من درجة تكثيف بخار السائل والوسط الاكل في هذه الحالة عبارة عن الابخرة والغازات وهو مرتبط بدرجات الحرارة العالية مثال على النوع هو تآكل الحديد بواسطة غازات الافران.

7-1 ثرموديناميكية التآكل Thermodynamic of corrosion

لقد تم تطبيق علم الثرموديناميك على دراسات التآكل، وذلك من خلال دراسة التغير الحاصل في الطاقة الحرة المصاحبة لتفاعل التآكل، من أجل معرفة تلقائية عملية التآكل من عدمها، وبالتالي عندما يكون التغير في طاقة جيبس الحرة له قيم سالبة هذا يدل على ان عملية التآكل تكون تلقائية ومفضلة ثرموديناميكياً. الثرموديناميك يحدد التوازن كدالة للعناصر والمركبات الحالية والظروف البيئية مثل الضغط و درجة الحرارة , والتركيب الكيميائي و قانون الطبيعة يفترض ان الحالة الاكثر استقراراً لمجموعة من التفاعلات هي الحالة التي لديها أدنى طاقة حرة , وبالتالي فان الاسطح المعدنية التي تكون في حالة اتصال مع المحلول تميل نحو ادنى حالة طاقة حرة ممكنة [27].

8-1 نواع التآكل: Types Corrosion

تتعرض المعادن إلى مخاطر التآكل تحت ظروف معينة ويؤدي هذا التآكل الى تلف المعدات، يأخذ تأثير التآكل على سطح المعدن عدة صور تحكم نوعها المواد المتأكلة والظروف التي توجد فيها ويمكن تصنيف أنواع التآكل كما هو مبين في الجدول (1-1)

جدول (1-1) انواع التآكل وصور إيضاحية لها.

نوع التآكل	وصف الحالة	صور إيضاحية للحالة
التآكل العام (المنتظم) Uniform Corrosion	ويعرف بأنه تآكل جميع سطح المعدن بالمعدل نفسه مما يجعل سماكة التآكل منتظمة, ويعدُّ التآكل العام أو المنتظم من أكثر الانواع شيوعاً إلا أنه أقل الانواع خطراً بسبب سهولة تقديره وأخذ الاحتياطات عند التصميم وذلك بإضافة زيادة في سماكة المادة المتوقع تأكلها خلال العمر الافتراضي ويكثر انتشاره في الاجزاء من المنشآت التي تتعرض للتآكل الجوي أو التآكل في ماء البحر [28].	
التآكل النقري Pitting Corrosion	وهو التآكل الذي ينشأ عن الهجوم الموضعي السريع ويؤدي الى تكوين تجاويف داخل المعدن غير معرض للتآكل بحيث تصل الثخانة الى الصفر في بعض المناطق ويسبب تعرض المعدن لأوساط أكالة شديدة على احداث ثقوب عديدة، أنواع عديدة من Stainless steel يحدث فيها دائماً هذا النوع من التآكل. وان المعادن التي تكون مغطاة بطبقة من الاوكسيد يحدث فيها التآكل النقري , نتيجة حصول خدوش فيها سيكون مساحة انودية صغيرة في حين تكون مساحة الكاثود أكبر يؤدي الى تآكل السطح بسبب تيار التآكل العالي [29] .	
التآكل الكلفاني Galvanic Corrosion	عند اتصال أو تلامس معدنيين مختلفين في الجهود الكهربائية يؤدي الى نشوء هذا النوع من التآكل، إذ يكون أحد المعدنيين منطقة الانود والمعدن الآخر منطقة الكاثود ومن خلال دراسة السلسلة الكهروكيميائية يمكن معرفة ذلك مثل صفائح الفولاذ المطلية بالقصدير عند حصول خدش [30]	

	هذا النوع من التآكل ينشأ بين معدنين نتيجة وجود فجوات صغيرة مثل الفجوات الحاصلة في المسامير المقروضة والتي يكون تركيز الاوكسجين في هذه الفجوات قليل جداً (الانود) في حين يكون الكاثود السطح الخارجي والذي يحتوي على تراكيز عالية من الاوكسجين وبالتالي تؤدي الى تآكل الفجوات [31]	التآكل بين الفجوات (التصدعي) Crevice Corrosion
	وهو التآكل الذي يحدث للسبائك التي تتألف من معدنيين و أكثر ويبدأ التآكل بسبب اختلاف موضعي في التركيب ونتيجة لذلك يبقى المعدن الاكثر كاثودية بينما يتآكل المعدن الاكثر انودية وتعتمد مقاومة السبيكة على تركيبها ونتيجة زيادة تركيز المعدن الاكثر كاثودية في السبيكة سوف تزداد مقاومة التآكل, كما في ازالة الزنك من سطح سبيكة النحاس الاصفر [1] [32] .	التآكل الاختياري Selective Corrosion
	ويحدث نتيجة قوى القص والاحتكاك بين السائل والمعدن ويرجع هذا النوع من التآكل إلى التآكل الناتج عن تأثير الفعل الميكانيكي للسائل على المعدن أو التآكل نتيجة انفجار فقاعات بخار الماء على سطح المعدن [33].	التآكل بالتعرية (المصاحب بعامل ميكانيكي) Erosion Corrosion

	يحدث هذه النوع من التآكل في المعادن والسبائك التي تكون فيها الحدود الحبيبية نشيطة جداً بالنسبة الى باقي مساحة الحبيبات, وهنا تتكون خلايا كلفانية بين هذه الاجزاء النشيطة (الانودات) وباقي السطح وتؤدي الى معدل تآكل عالي بين الحبيبات, وقد يرجع نشاط الحدود الحبيبية الى تركيز الشوائب بها أو الى زيادة أو النقصان في تركيز أحد المضافات أثناء عملية السبك , مثال على ذلك التآكل الحاصل في منطقة التأثير الحراري للفولاذ المقاوم للصدأ والمعروفة بظاهرة (انحلال اللحام) [34] .	التآكل بين حدود الحبيبات Intergranular Corrosion
	يحصل هذا النوع من التآكل بسبب وجود اجهاد على الجزء المتآكل في وسط آكل , وتتكون شقوق على سطح المعدن تكبر مع الوقت بسبب استمرار الاجهاد على سطح المعدن , مثال على ذلك الفولاذ الكربوني الحاوي على مناطق مجهد نتيجة تعرضه الى محلول الصودا الكاوية , والعوامل التي تؤثر في سرعة التآكل الإجهادي هي طبيعة الوسط وشدته في زيادة معدل التآكل, مكونات وتركيب السبيكة خصوصاً المعرضة للمعالجة الحرارية وقيمة الجهد على السطح [35]	التآكل الإجهادي Stress Corrosion

9-1 التآكل في المنشأة النفطية Corrosion in oil facility

في الاقتصاد العالمي، لا تزال صناعة تكرير النفط هي محور الاهتمام. تعتبر المنتجات النفطية المكررة ضرورية لصناعات النقل المزدهرة، فضلاً عن كونها مصدراً أساسياً للطاقة للمنازل والشركات. يتم تصنيع المواد البلاستيكية والأقمشة الصناعية والدهانات والأصبغ والأدوية والأسمدة ومجموعة متنوعة من السلع الاستهلاكية الأخرى من المنتجات النفطية المكررة والمنتجات الثانوية مثل الأمونيا والكبريت. إن وجود هذا القطاع في أي بلد مهم ليس فقط للبلد ولكن أيضاً للمناطق المجاورة. على الرغم من هذه الفوائد، تعتبر صناعة التكرير عالية المخاطر لأن المصافي مواقع كبيرة ومعقدة تقوم بالعديد من العمليات أثناء التشغيل عند مستويات عالية من الضغط ودرجة الحرارة. هذا المزيج من العوامل يجعل المصافي عرضة لمجموعة متنوعة من التآكل [36].

يعد التآكل مشكلة رئيسة تؤثر على معظم الصناعات في جميع أنحاء العالم، مما يتسبب في مشاكل مدمرة للاقتصاد العالمي [37]. التآكل هو تدهور مادة ما نتيجة تفاعلها مع محيطها، ويمكن أن يحدث في أي نقطة أو في أي وقت أثناء معالجة النفط والغاز الطبيعي. التآكل هو أخطر تهديد إلى المصافي، بسبب وجود مواد تسبب التآكل على المعدات المعدنية [38].

تحدث أنواع مختلفة من التآكل في قطاعات مختلفة من مصافي النفط اعتماداً على التفاعل بين المادة والبيئة. من المتوقع حدوث المزيد من مشاكل التآكل في مصافي التكرير مع ارتفاع الطلب على النفط الخام لزيادة الأرباح. نظراً لبيئة التشغيل الخاصة بها يتسابق الباحثون على تطوير مثبطات التآكل الخضراء (المستخلصات النباتية) التي تكون فعالة في درجات الحرارة العالية، وصديقة للبيئة، وغير سامة وقابلة للتحلل. [39] علاوة على ذلك، هناك طلب على مواد طلاء جديدة يمكنها تحمل البيئة القاسية الموجودة في المصافي. سيوفر تطوير الطلاء العديد من الفوائد لمصافي التكرير لأنها يمكن أن تستجيب للتغيرات في درجة الحموضة ودرجة الحرارة والعوامل المهمة الأخرى التي تعتبر ضرورية لتخفيف التآكل [40].

10-1 التآكل في آبار النفط Corrosion in oil wells

تحتوي معظم آبار النفط الخام على الهيدروجين فضلاً عن (النفط) يجعل التحكم في التآكل أسهل من أنظمة الغاز التي تحتوي على ثاني أكسيد الكربون فقط. يصبح التآكل مشكلة عندما تتجاوز المياه 30 % بالحجم. ومع ذلك، يجب أن يوفر تثبيط معدات قاع البئر تثبيطاً كافياً لخطوط التدفق. وذلك لأنه سرعة النفط اذا كانت منخفضة يؤدي ذلك الى تسرب الماء في خطوط التدفق[41].

التآكل هو ظاهرة التدهور الأكثر انتشاراً في صناعات النفط والغاز وتشير التقديرات إلى أن التآكل يدمر ربع الإنتاج العالمي السنوي من الفولاذ، وهو ما يمثل حوالي 150 مليون طن سنوياً، أو 5 أطنان في الثانية. أفاد أن التكاليف الاقتصادية المرتبطة بتآكل محطات معالجة الغاز الطبيعي ومحطات تكرير النفط تتراوح بين 10 و30% من ميزانية الصيانة[42]. يستخدم الفولاذ الكربوني على نطاق واسع في البترول والصناعات، ويرجع ذلك أساساً إلى انخفاض تكلفة الإنفاق الرأسمالي، ولكن المشكلة الرئيسية في استخدام الفولاذ الكربوني هي ذوبانه في المحاليل الحمضية[43] يعتبر التآكل هو تدهور المعدن أو خصائصه ويهاجم كل مكون في كل مرحلة من مراحل عمر كل حقل نفط وغاز، يعد التآكل خصماً يستحق كل التقنيات والأبحاث التي يمكننا ان نضعها فيه. الأوكسجين الذي يلعب دوراً مهماً في التآكل، فقط في مرحلة الحفر يتم إدخال السوائل الملوثة بالأوكسجين لأول مرة. سوف تتآكل في حال إذا تُترك دون معالجة، ليس فقط غلاف البئر ولكن أيضاً معدات الحفر وخطوط الأنابيب ومعدات مناولة الطين. يمكن أن يتسبب الماء وثاني أكسيد الكربون اللذان يتم انتاجهما او حقنهما للاسترداد الثانوي في حدوث تآكل كبير في سلاسل الإنجاز. يستخدم الحامض لتقليل الأضرار المتكونة حول البئر أو لإزالة التكلس الذي يؤدي الى تآكل المعدن بسهولة والشكل(1-1) يوضح تأثير التآكل على انابيب النفط [44]



الشكل (1- 1): تأثير التآكل على خط انابيب النفط

11-1 الاثر الاقتصادي للتآكل Economic impact of corrosion

التآكل هو قضية اقتصادية وبيئية مهمة. يؤثر على العديد من الهياكل ، وخاصة المواد المعدنية [45] هذا هو أحد الأسباب الرئيسية لتدمير معظم المنشآت والمعدات. تعتمد ظواهر التآكل على عدد كبير من العوامل التي لا تحدث بشكل فردي ، ولكن في علاقات أكثر أو أقل تعقيداً مع بعضها البعض الآخر: مثل طبيعة وهيكल المادة ، والمعالجات السطحية وخصائصها الكيميائية، ودرجة الحرارة [46]. يشكل الوسط العدواني (المحلول الحامضي) بيئة لتلف المواد المعدنية. لذلك تعتبر دراسة منع التآكل الحامضي لهذه المواد مجال بحث جذاب للغاية بسبب الاستخدام الواسع للمحلول الحامضي في الصناعة، خاصة في حمامات التخليل المعدنية وتنظيف المنشآت الصناعية [47]. وفي السنوات الأخيرة توسع مجال معالجة التآكل بسرعة كبيرة، وتحرك بشكل متزايد نحو تطوير جزيئات عضوية غير سامة وغير ملوثة ومستقرة. فيما يتعلق بالحماية ، تعتبر المثبطات العضوية طريقة أصلية لمحاربة تآكل المعادن في بيئة عدوانية [48] غالباً ما تكون المركبات التي تحتوي على روابط غير مشبعة أو ذرات قطبية مثل الأكسجين O والنيتروجين N والكبريت S مثبطات جيدة لتآكل المعادن في الوسط الحامضي [49]

تبلغ تكلفة التآكل في الدول الصناعية حوالي 3-4 ٪ من ناتجها المحلي الإجمالي. بشكل استنتاجي، تنفق دول العالم الثالث عشرة أضعاف التقدير أعلاه لمحاربة التآكل. تقدر تكلفة التآكل السنوية في صناعة النفط والغاز بحوالي 1.3 مليار دولار أمريكي، ويرتبط حوالي 33٪ من هذه النفقات (حوالي 463 مليون دولار أمريكي) بالتآكل في قاع البئر [50]. صنفت التكاليف الاقتصادية للتآكل إلى قسمين:

أولاً: تكلفة الخسائر المباشرة: تلك التي يمكن حسابها من الناحية الكمية. مثل تكلفة الاستبدال وتكلفة الحماية ومنع التآكل والبحث والتطوير.

ثانياً: تكلفة الخسائر غير المباشرة: لا يمكن تقييمها كمياً، ومن الأمثلة على ذلك فقدان المنتجات بسبب الانسكاب والحريق ، وفقدان الإيرادات بسبب التوقف ، وفقدان كفاءة المعدات ، وتلوث المنتجات ، والتلوث البيئي [14][51] .

12-1 الحماية والسيطرة على التآكل Corrosion Protection and Control

مع تطور التقنيات الصناعية تظهر بشكل مستمر مشاكل جديدة بخصوص التآكل تستوجب إيجاد أساليب حماية فعالة، ونظراً لاختلاف طبيعة وأنواع التآكل الممكن حدوثها وأيضاً اختلاف الظروف التي تساعد على حدوث هذه الأنواع المختلفة، مما استدعى لاستخدام عدة أساليب للحماية من التآكل.

هناك أربع طرق اساسية لمكافحة والحماية من التآكل , حيث يتم التحكم في التآكل باتخاذ إجراءات معينة, قد تتعلق بالمعادن والسبائك المستخدمة من حيث اختيارها وصورة استخدامها أو بالوسط أو البيئة التي تتعرض لها هذه المواد من حيث التدخل في بعض العوامل البيئية المؤثرة في التآكل, كما قد تشمل هذه الاجراءات وسائل التدخل الخارجي بتطبيق وسائل كهروكيميائية محددة لحماية المواد , ويتم الحصول على السيطرة الفعالة للتآكل من خلال الجمع بين اثنين أو أكثر من هذه الاساليب [52].

1-12-1 المواد المقاومة للتآكل

إحدى الطرق العامة للتحكم في التآكل هو استخدام مواد ذات مقاومة عالية للتآكل لوسط معين. وعند اختيار المواد يجب الاستعانة بالمراجع والمعطيات للتأكد من اختيار المادة المناسبة, فضلا عن استشارة خبراء التآكل في الشركات التي تنتج المواد وذلك حتى يكون الاختيار أفضل ما يمكن وعند اختيار المواد المعدنية والسبائك في التطبيقات الهندسية يجب النظر في عدة عوامل منها مقاومة للتآكل وكذلك القوة و الليونة و التوفر والتكلفة [52].

2-12-1 الحماية بالطلاء

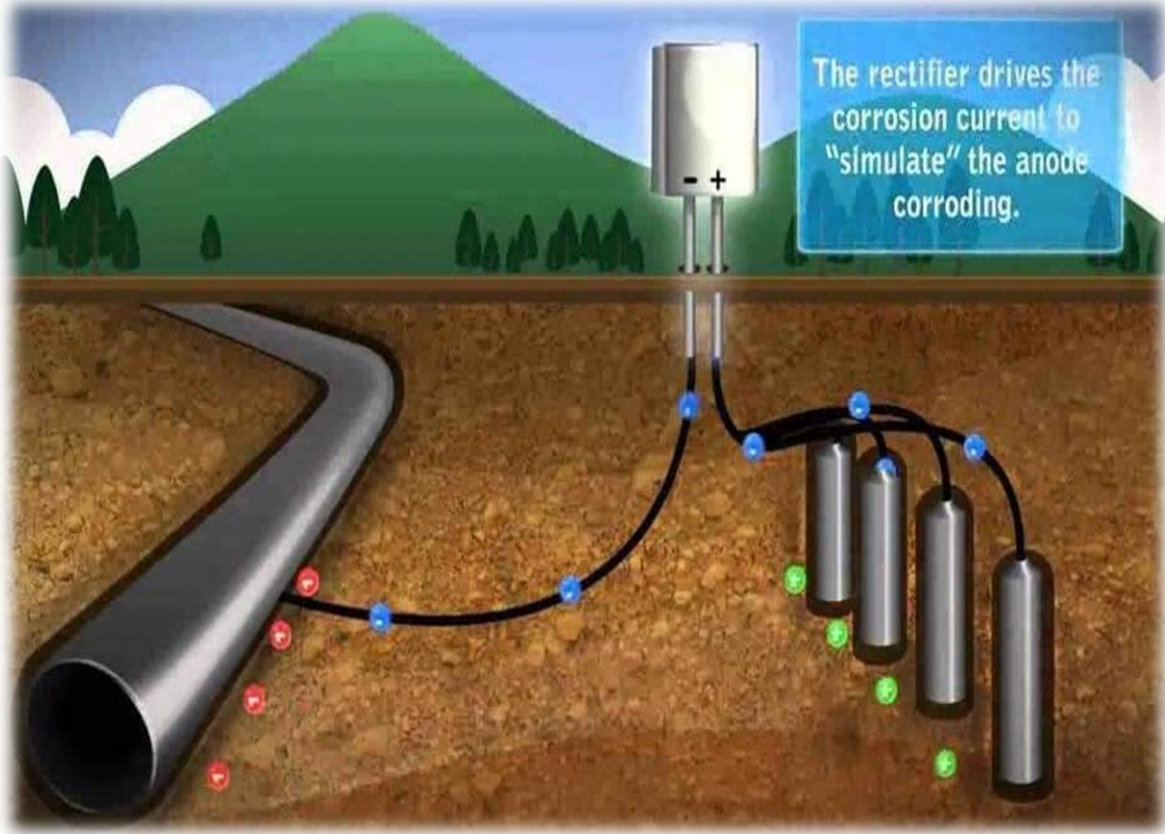
الحماية بالطلاء هي تقنية التحكم في التآكل الأكثر استخداماً على نطاق واسع , وهي عزل المعدن عن الوسط المؤثر بطبقة رقيقة مقاومة للوسط بهدف حمايته من التآكل [52]. وتنقسم التغطية الى ثلاثة انواع:

- تغطية بمعدن
- تغطية بمادة عضوية
- تغطية بمادة لا عضوية

3-12-1 الحماية الكاثودية

مبدأ الحماية الكاثودية هو في ربط المعدن المراد حمايته بدائرة كهربائية خارجية، إذ يصبح المعدن كاثود (قطب سالب) وفي الطرف الآخر من الدائرة يوجد انود (قطب موجب) في هذه الحالة يتم منع تواجد مساحات انودية على سطح المعدن المراد حمايته وبذلك لا يحدث تآكل, وتنقسم الحماية الكاثودية الى نوعين بحسب طريقة تطبيقها وهما: الحماية الكاثودية باستخدام تيار كهربائي خارجي مسلط , والحماية باستخدام الانودات المضحية [53].

كما وتتم الحماية الكاثودية بإيقاف ذوبان الفلز، وذلك عن طريق خفض جهد تآكل الفلز الى قيمة جهد للتفاعل الأنودي وعندها تصبح سرعه ذوبان الفلز، بقدر سرعه تعادل ايوناته وترسباتها على سطح الفلز. تعتبر الحماية الكاثودية والتي عادة ما تكون مقترنة بالطلاء ، الطريقة الأكثر فعالية لمنع التآكل والشكل (2-1) يوضح الحماية الكاثودية للأنابيب النفطية [54].



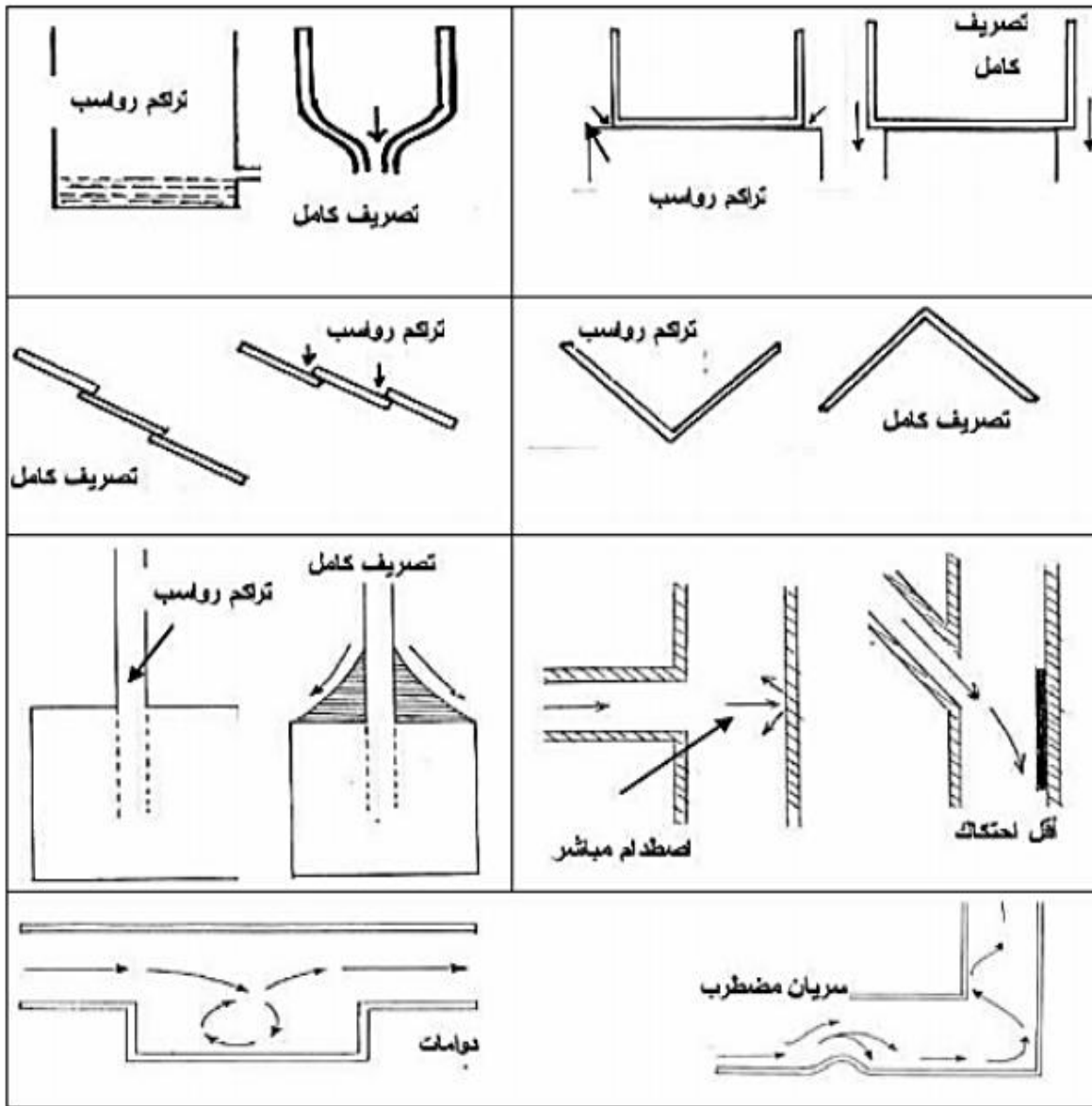
الشكل (2-1) يوضح الحماية الكاثودية للأنابيب النفطية

4-12-1 الحماية الانودية

وهي تقنية كهروكيميائية لمنع تآكل المعدن في بيئات مدمرة مثل حامض الهيدروكلوريك HCl والكبريتيك H_2SO_4 وتعتمد الحماية الانودية على تعرض المعدن أو السبيكة لتيار أنودي يؤدي الى تكوين طبقة من الأكاسيد السالبة الواقية على سطحه تقلل من معدل التآكل ، وهي غير شائعة الاستعمال كثيراً عدا في بعض الصناعات الكيميائية ، إذ تطبق على بعض الفلزات التي تتمتع بخاصية تكون الاكاسيد السلبية ، مثل فلز التيتانيوم Ti في صناعات حامض كبريتيد الهيدروجين H_2S ، ومن عيوب هذه الطريقة إمكان حدوث تآكل نتيجة انهيار الطبقة السلبية ، كما إن بعض الايونات مثل أيون الكلوريد يؤثر على هذه الطبقة ويؤدي الى تلفها [55].

1-12-5 الحماية بواسطة التصميم

يعد الاختبار الامثل للمواد والهندسة الجيدة للاستخدام في بيئة تأكل معينة احد افضل الطرائق للتحكم في التآكل. يجب تجنب جهات الاتصال التي تستخدم المقاطع العرضية للمعادن غير المتشابهة لأن وجود الالكترونوليتات اثناء التلامس يمكن ان يؤدي الى تآكل كلفاني. في حالة الحاجة الى استخدام معادن غير متشابهة. يجب ان تكون قريبة جدا من بعضها البعض في السلسلة الكهروكيميائية. او تفصل المعادن غير المتشابهة بطبقة عازلة تمنع الإلكترونات الزائد من الدخول الى الوصلة المستخدمة والشكل (3-1) يوضح بعض التصاميم [56].



الشكل (3-1) الشكل الصحيح لبعض التصاميم

13-1 المثبطات Inhibitors

الطريقة الأكثر فعالية من حيث التكلفة لحماية المعادن في الأوساط الحامضية هي استخدام مثبطات التآكل [9] وتعرف مثبطات التآكل على أنها مضافات عضوية أو لا عضوية تضاف بنسب ضئيلة جدا قد تصل إلى أجزاء المليون إلى وسط التفاعل وهذه المضافات إما أن تعيق التفاعلات الانودية فيدعى المثبط عندئذ بالمثبط الأنودي Anodic inhibitor أو تعيق التفاعلات الكاثودية ويدعى عندئذ بالمثبط الكاثودي Cathodic inhibitor أو إعاقاة التفاعلين معا فيدعى عندئذ المثبط المزدوج Mixed inhibitor [57].

وبصورة عامة فإن المثبطات تقوم بتقليل سرعة التآكل بوساطة الطرق التالية: -

1- زيادة المقاومة الكهربائية للسطح الفلزي.

2- زيادة الاستقطاب الكاثودي أو الأنودي.

3- اختزال حركة الأيونات وانتشارها نحو السطح الفلزي.

4- يمتز المثبط أو يكون أصرة كيميائية مع السطح الفلزي.

ويمكن تعريف مثبط التآكل بشكل عام على أنه مادة عند إضافتها بتركيز منخفض إلى بيئة عدوانية تقلل بشكل كبير من معدل تآكل المعدن المعرض لتلك البيئة [58] يمكن تقسيم مثبطات التآكل إلى نوعين رئيسيين ، تلك التي تعزز تكوين طبقة أكسيد واقية أصلية بتأثير مؤكسد وتلك التي تمنع التآكل عن طريق الامتزاز الانتقائي على سطح المعدن وإنشاء حاجز يمنع وصول العامل المسبب للتآكل إلى سطح - المظهر الخارجي .وبشكل عام يمكن تثبيط التآكل عن طريق اضافة مركب كيميائي يمنع اكسدة المعدن وقد يكون المركب المضاف بشكل سائل [59].

14-1 خصائص المثبط المثالي Perfect inhibitor properties

يجب أن تكون المثبطات المشار إليها قادرة على تنفيذ الإجراءات التالية لتجنب أو تقليل تآكل المواد المعدنية [59]

أولاً: يجب أن توفر الحماية لكامل المنطقة المكشوفة من هجوم التآكل.

ثانياً: يجب أن تحافظ على ملاءمتها في ظروف العمل (درجة الحرارة المرتفعة).

ثالثاً: يجب التخلص من الصدا .

رابعاً: يجب أن يكون نطاق الصلاحية طويلاً.

وتستخدم المثبطات التي غالباً ما تكون سهلة التطبيق ولها ميزة التطبيق في الموقع ,وهناك العديد من العوامل التي تحددها بما في ذلك التكلفة وسهولة توافرها والاهم سلامة البيئة, وانواعها تحتاج الى النظر فيها عند اختيار المانع [12].

وهناك بعض العوامل التي اسهمت في عمل المثبطات هي:

- 1- الشحنة السطحية على المعدن.
- 2- المجموعة الوظيفية وتركيب المثبط.
- 3- تفاعل المثبط مع جزيئات الماء.
- 4- قوة الترابط للمادة الاساس.

دور المثبطات هو تشكيل حاجز واحد أو عدة طبقات جزيئية ضد هجوم الحامض , وغالباً ما يرتبط هذا الاجراء الوقائي مع الامتزاز الكيميائي والفيزيائي التي تنطوي على الاختلاف في شحنة المواد الممتزة ونقل الشحنة من مرحلة واحدة الى أخرى , وكفاءة التثبيط تعتمد على الميكانيكية, والخصائص التركيبية والكيميائية لطبقات الامتزاز المتشكلة في ظل ظروف معينة , وغالباً ما تضاف مثبطات في العمليات الصناعية لتقليل ذوبان المعادن في المحاليل الحامضية, العديد من المثبطات المستخدمة أما تخلق من المواد الخام الرخيصة أو يتم اختيارها من المركبات التي لها ذرات متجانسة في أنظمة الكربون العطرية أو طويلة السلسلة , ومع ذلك فان معظم هذه المثبطات سامة للبيئة وهذا ما دفع البحث نحو مثبطات التآكل الخضراء[60].

15-1 الشروط الواجب توافرها في المثبط Conditions that must be met in

The inhibitor

المثبطات تؤثر على حركية التفاعلات الكهروكيميائية التي تشكل عملية التآكل , وأن معظم المثبطات الفعالة المستخدمة في الصناعة هذه المركبات العضوية التي تحتوي ذرات غير متجانسة مثل P , S , N , O , والواصر الثلاثية والحلقات الأروماتية والتي تؤدي الى امتزاز المركبات على سطح المعدن , ومثبطات التآكل الخضراء أو الامنة تكون قابلة للتحلل ولا تحتوي على معادن ثقيلة أو مركبات سامة أخرى ,وتتحكم مثبطات التآكل عموماً في التآكل من خلال تشكيل أنواع مختلفة من الطبقات الرقيقة , و تشكل المثبطات طبقات رقيقة في عدة طرق : عن طريق الامتزاز , وتشكيل رواسب وتشكيل طبقة سالبية عازلة على سطح المعدن , وان معظم المثبطات العضوية تؤخر التآكل عن طريق امتزازها على سطح المعدن مكونة طبقة رقيقة غير مرئية (عدد قليل من الجزيئات

السميكة) والبيانات الموجودة تكشف ان معظم المثبطات العضوية تمتز على السطح المعدني عن طريق هجرة جزيئات الماء على السطح وتشكيل حاجز حماية مدمج , وتوفر (زوج منفرد) على الاواصر والكترونات π في جزيئات المثبطات تسهل نقل الالكترتون من المثبطات الى المعدن إذ يمكن انشاء رابطة تناسقية تنطوي على نقل الالكترونات من المثبطات الى السطح المعدني [61] [62].

Types of Corrosion Inhibitors

16-1 أنواع مثبطات التآكل

يمكن تصنيف المثبطات على أساس الوظيفة الكيميائية [63] [64] [65] حيث يمثل الشكل (4-1) أنواع المثبطات وسيتم التركيز على احدى تلك المثبطات وهو المثبطات العضوية (المثبطات الخضراء) .



الشكل (4-1) يوضح أنواع المثبطات

17-1 المثبطات العضوية Organic Inhibitors

تعرف بالمثبطات الخضراء الصديقة للبيئة والتي يتم إنتاجها من مصادر متجددة ومنخفضة التكلفة وغير سامة و تقدم نسبة عالية من كفاءة التثبيط [66] تتمثل في نباتات "المستخلصات والزيوت"، الادوية، السوائل الايونية، الاحماض الامينية.... الخ، تمتاز المثبطات العضوية على سطح الهيكل المعدني، وتشكل طبقة واقية رقيقة، وتضفي الحماية من الوسط المسبب للتآكل. [67]، يمكن استخلاص المكونات بسهولة بطرق بسيطة للغاية، لذلك تكون هذه المنتجات متوافقة مع الانسان والبيئة [68]، حيث يحتوي مستخلص المنتجات الطبيعية على العديد من الجزيئات العضوية التي تحتوي على حلقات عطرية أو مجموعات وظيفية مثل الهيدروكسيل والكاربونيل والكاربوكسيل. وتشكل المستخلصات النباتية فئة واسعة من مثبطات التآكل، لأنها سهلة الوصول إليها وفعالة وغير مكلفة. تتمتع المكونات الكيميائية النباتية مثل المخاليط الفينولية الفلافونويدات والسكريات الموجودة في المستخلص النباتي بالقدرة على تثبيط معدل تآكل الفولاذ الطري. معظم المنتجات الطبيعية التي تحتوي على مجموعات وظيفية مثل NH_2 و CO و CHO هي المسؤولة عن خصائص تثبيط التآكل. تمتص هذه المركبات على سطح المعدن لتشكيل طبقة واقية [69] [70].

18-1 كيمياء التنمية المستدامة Sustainable development chemistry

هي مفهوم علمي يسعى الى تحسين الكفاءة التي يتم بها استخدام المواد الطبيعية لتلبية الاحتياجات البشرية. تم بذل الكثير من الجهود لجعل الكيمياء المستقبلية أقل سمية وأقل خطورة، تهدف الكيمياء المستدامة إلى جعل الكيمياء أكثر كفاءة في استخدام الطاقة، وتقليل تكلفة التخلص من النفايات، وإنتاج منتجات مبتكرة باستهلاك أقل للموارد الطبيعية. هناك بدائل مختلفة صديقة للبيئة مشتقة من الموارد الطبيعية مثل البوليمرات الحيوية والمستخلصات النباتية والأدوية الكيميائية (العقاقير). وتستخدم على نطاق واسع لتحل محل مثبطات التآكل السامة [71]

19-1 المستخلصات النباتية كمثبطات مقبولة بيئياً:

Plant extracts as environmentally acceptable inhibitors

إن المستخلصات النباتية تعتبر مثبطات جيدة لتآكل المعادن، فقد تم استخدامها مؤخراً بشكل رئيسي وذلك لانخفاض تكلفتها وإمكانية الحصول عليها بسهولة، واحتوائها على مركبات جيدة لها تأثير مضاد للتآكل وهي تعتبر مواد آمنة بيئياً [72]

20-1 آلية التثبيط Inhibition mechanism

أثبتت العديد من الأبحاث و التي كانت تصب في إطار دراسة تأثير بعض المركبات الطبيعية المستخلصة من النباتات كمثبطات لتآكل مختلف المعادن و ذلك في عدة أوساط آكلة [73] و قد أثبتت هذه الأبحاث الفعالية التثبيطية للمركبات العضوية ويعود ذلك إلى [74] :

- ❖ خصائصها الفيزيوكيميائية
- ❖ احتوائها على ذرات متغايرة مثل N، O، S
- ❖ وجود روابط π في ترافق مع الحلقة الأروماتية

و أمكن تفسير آلية التثبيط بأنها امتزاز (adsorbed) على سطح المعدن من خلال إلكترونات الروابط π للحلقة الأروماتية و الأزواج الإلكترونية الحرة (الغير مزدوجة) للذرات N، O، S أثناء وجود المعدن في المحلول التثبيطي، تمنح ذرات N، O، S زوج إلكترون غير مرتبط إلى أوربيتالات d الشاغرة في المعدن فتشكل بذلك روابط قوية ومستقرة بين المثبط و سطح المعدن [75] .

21-1 مراجعة لبعض الدراسات الحديثة في مجال مثبطات التآكل النباتية

Revision of some recent studies in the field of plant erosion inhibitors

أثبتت عدة أبحاث فعالية التثبيط العالية لمستخلصات بعض النباتات في أوساط حامضية مثل HCl ، H_2SO_4 لتآكل سبائك الفولاذ والحديد وهذه خلاصة بعض تلك الأبحاث كما موضحة في الجدول (2-1):

جدول (2-1) حصيللة الاعمال المنجزة للمثبطات العضوية الخضراء من سنة 2018 - 2023

السنة	اسم المثبط	نوع المثبط	وسط التآكل	نوع الفولاذ	كفاءة التثبيط	الآلية الامتزاز	المصدر
2018	مستخلص بذور عباد الشمس	مختلط	HCl	فولاذ طري	98%	فيزيائي	[76]
	مستخلص قشور البازلاء الخضراء (Pisum sativum)	مختلط	HCl	الفولاذ الطري	91%	—	[77]
	مستخلص بارسيكا كامبيستريس	انودي	NaCl	الفولاذ المجوي كورتين	(80-84%)	—	[78]
	مستخلص فاكهة معنكس كوستكا	مختلط	H ₂ SO ₄	الفولاذ الطري	95.47%	مختلط	[69]
	مستخلص عرق السوس Glycyrrhiza glabra	مختلط	HCl	الحديد الخفيف	88%	—	[79]
2019	المستخلص المائي لقشر فاكهة عنب الثعلب الصيني	مختلط	HCl	الفولاذ الخفيف	92%	كيميائي	[80]
	مستخلص اوراق اللبخ تيكوا Ficus tikoua	مختلط	HCl	الفولاذ الكربوني الصلب	95.8%	—	[81]

السنة	اسم المثبط	نوع المثبط	وسط التآكل	نوع الفولاذ	كفاءة التثبيط	البيئة الامتزاز	المصدر
2019	مستخلص قشر البابايا بالكاريكا	انودي	NaCl	فولاذ مزدوج الطور	66.31% الى 98.76%	—	[82]
	قشور اللوز (Prunus duylicis)	مختلط	HCl	فولاذ طري	93%	مختلط	[83]
	مستخلص أوراق البقدونس (Petroselinum Sativum)	مختلط	HCl	فولاذ طري	92.39%	—	[84]
	مستخلص جذع الاناناس (بروميلين)	مختلط	HCl	فولاذ منخفض الكربون	97.6%	—	[85]
	مستخلص المائي زهرة لسان الثور	مختلط	HCl	فولاذ طري	91%	كيميائي	[86]
	مستخلص أوراق الاوكالبتوس الخضراء	مختلط	HCl	فولاذ طري	88%	مختلط	[87]
	مستخلص فاكهة البطيخ الأحمر	مختلط	HCl	فولاذ طري	91%	مختلط	[88]

السنة	اسم المثبط	نوع المثبط	وسط التآكل	نوع الفولاذ	كفاءة التنشيط	الآلية الامتزاز	المصدر
2019	مستخلص الجنتيانا أوليفيري	مختلط	HCl	فولاذ طري	93.7%	ليست فيزيائية او كيميائية بالكامل	[89]
	مستخلص زيت الميرمية والجوجوبا	مختلط	H ₂ SO ₄ المخفف	الفولاذ الطري	80%	كيميائي	[90]
	مستخلص زيت العطري للشاي	مختلط	H ₃ PO ₄	الفولاذ SS	88%	فيزيائي	[91]
2020	مستخلص قشر البرتقال	مختلط	HCl	سبيكة المغنيسيوم	85%	—	[92]
	مستخلص أوراق القرع الاسفنجي	مختلط	HCl	الفولاذ الطري	87.89 %	فيزيائي	[93]
	مستخلص البطم التربينيني (PISTACIA TEREBINTHUS)	مختلط	NaCl	الحديد	86.4%	—	[94]
	مستخلص أوراق ماغوليا غرانديفلورا	مختلط	HCl	الفولاذ الصلب Q235	85%	مزيج من الامتزاز الكيميائي والفيزيائي	[95]

السنة	اسم المثبط	نوع المثبط	وسط التآكل	نوع الفولاذ	كفاءة التنشيط	الية الامتزاز	المصدر
2020	قشور الموز (Musa acuminata)	مختلط	HCl	الفولاذ الطري	%90	—	[96]
	مستخلص لافندر (الخزامة)	مختلط	HCl	الفولاذ الطري	%92	كيميائي	[97]
	مستخلص أوراق هوتوينيا كورداتا	مختلط	HCl	الفولاذ الصلب	%98.3	—	[98]
	البكتين المعزول من مخلفات قشور الطماطم	كاتودي	HCl + CH ₃ COOH	القصدير	%73.9	—	[99]
	مستخلص ماء أوراق الموز	مختلط	HCl	فولاذ X70	%90	كيميائي وفيزيائي	[100]
	المستخلص المائي لأوراق الويسيا سيتروдора	مختلط	HCl	الفولاذ الطري	%94	—	[101]
	مستخلص القشرة الصلبة لجوز الفستق	مختلط	HCl	الفولاذ الطري	%92	فيزيائي	[102]
	المستخلص الايثانولي لعطر زهرة أنديون أوفيسيناليس	مختلط	HCl	الفولاذ الطري	%94,88	فيزيائي	[103]

السنة	اسم المثبط	نوع المثبط	وسط التآكل	نوع الفولاذ او المعدن	كفاءة التثبيط	الآلية الامتزاز	المصدر
2020	مستخلص نبات ماغوليا كوبوس دي سي	مختلط	H ₂ SO ₄	الفولاذ الطري	%81.96	فيزيائي وكيميائي معاً	[104]
	المستخلص المائي الكحولي للقهوة	مختلط	HCl	الفولاذ C38	%97.418	فيزيائي	[105]
2021	مستخلص الخرشفوف	مختلط	HCl	الفولاذ الطري	%98.7	فيزيائي وكيميائي معاً	[106]
	مستخلص اوارق مشغوش (Mish Gush)	مختلط	HCl	الفولاذ الطري	%96	فيزيائي	[107]
	مستخلص الإيثانول من الهيل	كاثودي	NaCl	الفولاذ الطري	%73.5	فيزيائي	[108]
	مستخلص جذر فيراتروم (VRE)	مختلط	H ₂ SO ₄	النحاس	%97	كيميائي	[109]
	مستخلص قشر بوميلو (PPE)	مختلط	H ₃ PO ₄	الفولاذ الطري	%95- %92.8	مختلط	[110]

السنة	اسم المثبط	نوع المثبط	وسط التآكل	نوع الفولاذ	كفاءة التثبيط	الآلية الامتزاز	المصدر
2021	مستخلص الفينول لنبات الخلة البلدي (Ammi visnaga)	مختلط	HCl	الفولاذ الخفيف	93.2%	كيميائي	[111]
	مستخلص مائي براسيكا أوليراسيا (Brassica oleracea)	مختلط	HCl + H ₂ SO ₄	الفولاذ Q235	92.3% في H ₂ SO ₄ و 93.8% في HCl	كيميائي	[112]
2022	المستخلص المائي للملفوف	مختلط	HCl	الفولاذ X70	95.87%	—	[113]
	المستخلص الايثانولي ل أوراق Sonneratia caseolaris	مختلط	HCl	الفولاذ الطري	98%	مختلط	[114]
2023	مستخلص اكليل الجبل	مختلط	HCl	الفولاذ الطري	92%	فيزيائي وكيميائي	[115]
	مستخلص أوراق القيقب	مختلط	H ₂ SO ₄	فولاذ Q235	93.4%	فيزيائي وكيميائي	[116]
	مستخلص الميثانول لزهرة الريح رييس	مختلط	HCl	الفولاذ الطري	98.4%	فيزيائي وكيميائي	[117]

22-1 طرائق قياس معدل سرعة التآكل Corrosion Rate Measurement

Methods

توجد عدة طرائق لإيجاد معدل سرعة تآكل الفلزات او السبائك منها:

1-22-1 طريقة الفقدان بالوزن

اي قياس سرعة التآكل بطريقة الفقدان , وهي من الطرائق المهمة والقريبة من الواقع الصناعي ولا تحتاج الى اجهزه معقدة اثناء عملية الاختبار , حيث يتم تعريض العينة الى وسط التآكل ويقاس الفقدان في الوزن لوحدة الزمن ولوحدة المساحة [118]

يمكن حساب معدل سرعة التآكل من خلال القانون التالي [119]

$$R_{corr} = \frac{\Delta w}{St} \quad \text{-----} \quad (7-1)$$

R corr : معدل سرعة التآكل ($\text{gm.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$)

ΔW : الفقدان بالوزن (gm)

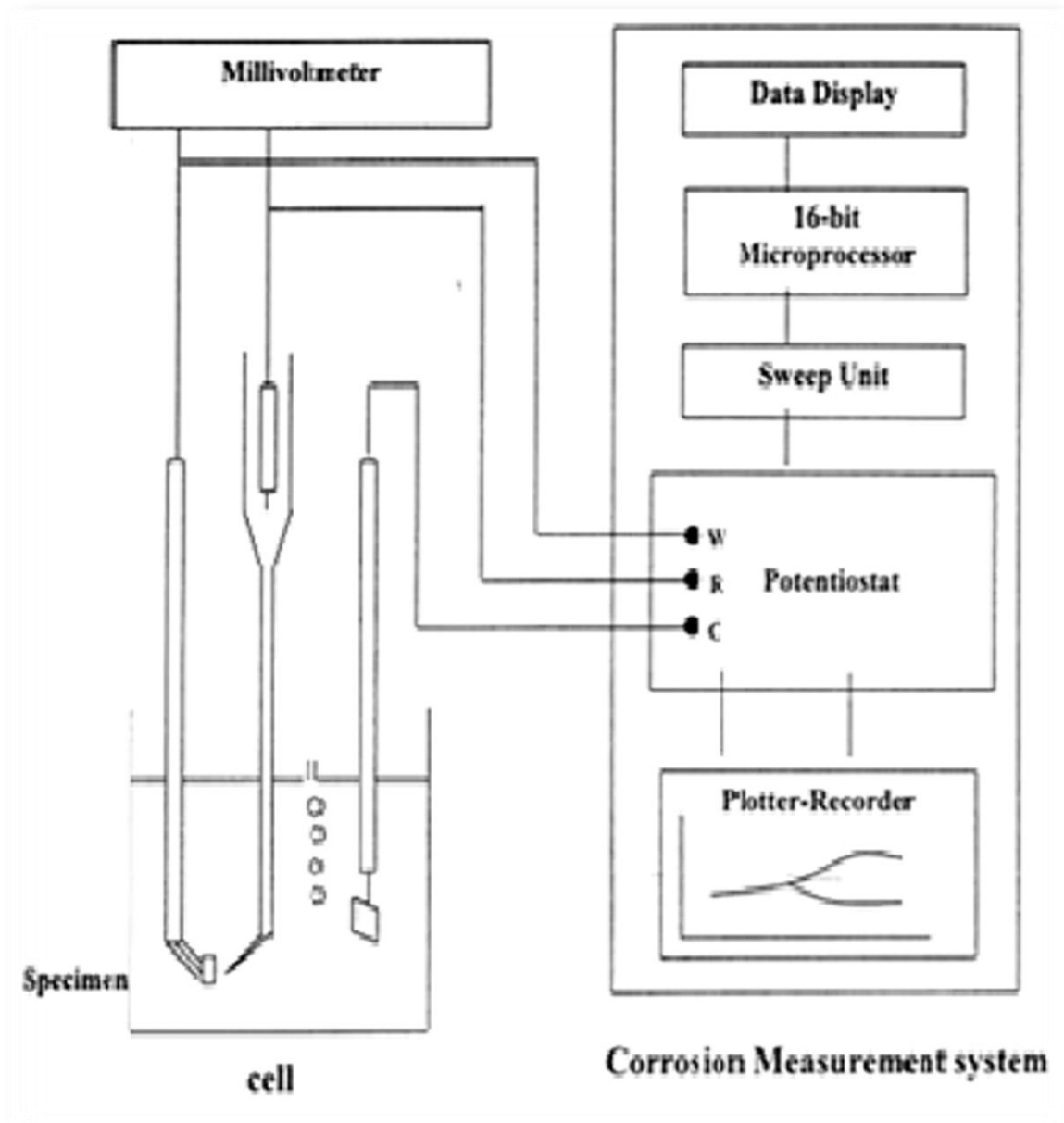
S : المساحة السطحية (cm^2)

T : زمن تعريض العينة للوسط الأكل (min)

2-22-1 الطريقة الكهروكيميائية (منحنيات تافل)

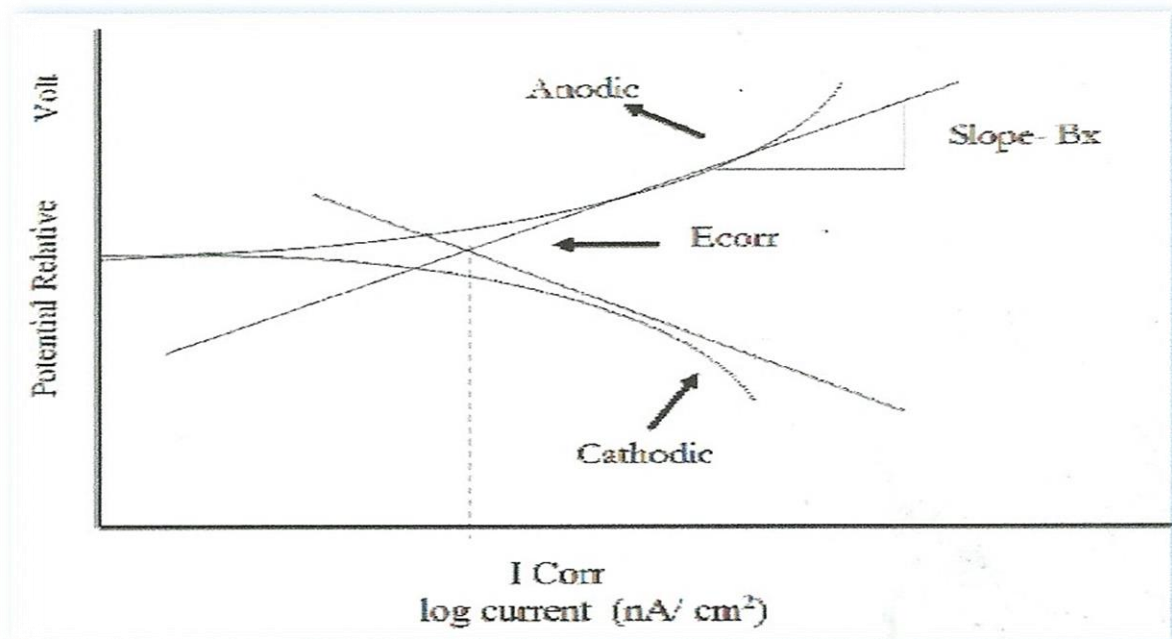
وهي احدى اهم الطرق الشائعة الاستعمال في ايجاد معدل سرعة التآكل تستعمل فيها خلية التجربة وجهاز (Potentiostate) وهو عبارة عن جهاز الكتروني حساس يمكن بواسطته تغيير فرق جهد المعدن وقياس شدة التيار وتتكون الخلية من ثلاث اقطاب هي القطب العامل (Working Electrode (W.E) (ويعتبر القطب الحامل لنموذج الفولاذ الكربوني) والقطب المرجع (Reference Electrode (R.E) كقطب الكالوميل او قطب الفضة والقطب المساعد (Auxiliary Electrode (A.E) كما في الشكل

(5-1)



الشكل (5-1) يمثل رسم توضيحي لمخطط الدائرة الكهربائية [120].

وتتضمن هذه الطريقة رسم الجهد كدالة للتيار (لوغاريتم كثافة التيار) يبين الشكل (1 – 6) منحنى الاستقطاب اللوغاريتمي لنظام التآكل إذ يدعى المماسان لمنحنى العملية الكاثودية والأنودية بثابتي تافل الكاثودي و الأنودي على التوالي ويتقاطع هذان الخطان في نقطة يقابلها على المحور السيني والصادي كل من كثافة التيار وجهد التآكل [120].



الشكل (1-6): منحنى الاستقطاب اللوغاريتمي لنظام التآكل (سلوك تافل) [120].

في هذه الطريقة يتم حساب العديد من العوامل الكهروكيميائية مثل حساب ثابتي تافل الكاثودي (β_c) والانودي (β_a) كما في المعادلات التالية [121].

$$\beta_c = - \frac{EC(\text{Cathodic})}{\text{Log}(\frac{i_c}{i_o})} \quad \text{-----} \quad (8-1)$$

$$\beta_a = + \frac{Ean(\text{Anodic})}{\text{Log}(\frac{i_a}{i_o})} \quad \text{-----} \quad (9-1)$$

E_{an}, E_c : تمثّلان فرقي الجهد الكاثودي والانودي على التوالي

$(i_a/i_o), (i_c/i_o)$: تمثّل كثافة التيار الكاثودي والانودي ويربط المعادلتين أعلاه وترتيبهما تعطيان معادلة

$$E_{corr} = \pm T_c \log I_{corr} \quad \text{-----} \quad (10-1)$$

E_{corr} : جهد التآكل Corrosion Potential

Tc: ثابت تافل Tafel Constant

Icorr: كثافة تيار التآكل Corrosion Current Density

ويمكن حساب جهد التآكل (E_{corr}) وتيار التآكل (I_{corr}) من الرسم مباشرة من نقطة تقاطع منحنى تافل الكاثودي (β_c) Cathodic Tafel Constant والانودي (β_a) Anodic Tafel Constant كما في الشكل (7-1) إذ يتم حساب I_{corr} من المعادلة التالية [122].

$$I_{corr} = \frac{\beta_c + \beta_a}{2.3(\beta_c + \beta_a) R_p} \quad (11-1)$$

ويُلاحظ من المعادلة أعلاه أن تيار التآكل يتناسب عكسياً مع مقاومة الاستقطاب (Polarization Resistance) (R_p) أما معدل سرعة التآكل Corrosion Rate يتم حسابه من I_{corr} بواسطة المعادلة التالية [121].

$$\text{Corrosion Rate} = \frac{0.13 I_{corr} \cdot (\text{eq. wt})}{d} \quad (12-1)$$

eq. wt: الوزن المكافئ للعينة

d: كثافة العينة المتآكلة بوحدة gm/cm^3

Corrosion Rate: معدل سرعة التآكل بوحدة mpy

I_{corr} : كثافة التيار بوحدة nA/cm^2

23-1 النباتات المستخدمة في تحضير المستخلصات

Plants Used in Preparation of Extracts

1-23-1 الفلفل الأحمر

ينتمي الفلفل الأحمر إلى عائلة النباتات الباذنجانية والاسم العلمي له (*Capsicum annum*) يحتوي على مركبات نشطة بيولوجيًا متنوعة ذات خصائص محتملة لتعزيز الصحة، مثل الكاروتينات، والكابيسيبينويدات، والفينولات (الفلافونويدات)، وفيتامين ج، وفيتامين هـ، والأحماض الدهنية، وينتج لون ثمار الفلفل الأحمر الناضجة عن طريق تراكم الكاروتينات المختلفة [123] الفلفل مصدرًا ممتازًا للفيتامينات والمعادن والمواد المغذية الأساسية، وبالتالي له أهمية كبيرة لصحة الإنسان. الفلفل غني أيضًا بعدد من المواد الكيميائية النباتية مثل الكاروتينات والكابيسيبيينات والفلافونويد وحمض الأسكوربيك والتوكوفيرول. ومن المعروف أن هذه المركبات تمنع الأمراض الالتهابية المرتبطة بالأضرار التأكسدية للحفاظ على الصحة المثلى [124] في إثيوبيا، يُزرع الفلفل الأحمر في أجزاء كثيرة من البلاد، وهو مصدر مهم للدخل للمنتجين من أصحاب الحيازات الصغيرة، أظهرت النتائج أن بذور الفلفل الأحمر كانت (على أساس الوزن الجاف): الرماد 3.05%، الماء 6.63%، الزيت 18.39%، البروتين 28.33%، والكربوهيدرات الكلية 43.60%. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت النتائج أن الأحماض الدهنية السائدة هي أحماض اللينوليك والبالمتيك والأوليك. تم العثور على أعلى وأدنى محتوى من حمض اللينوليك (76.54%) في زيوت بذور الفلفل المستخرجة بمساعدة الميكروويف (76.54%) والسوكسلت (73.65%)، على التوالي [125] وجدول (3-1) يوضح التركيب الكيميائي لبعض المركبات الفعالة في ثمرة الفلفل الأحمر والشكل (7-1) صورة توضيحية لثمرة الفلفل الأحمر المجفف



شكل (7-1) صورة توضيحية لثمرة الفلفل الأحمر المجفف

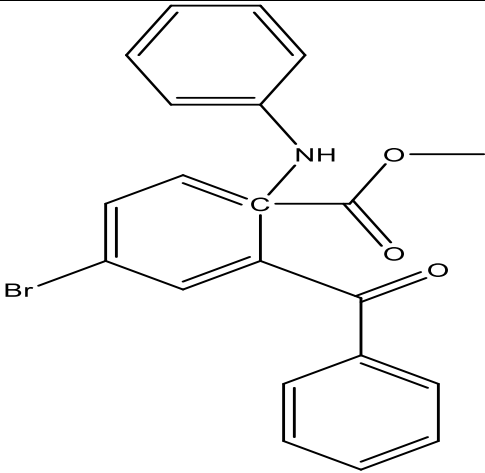
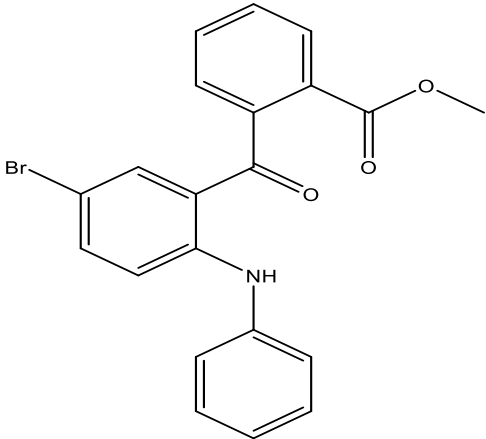
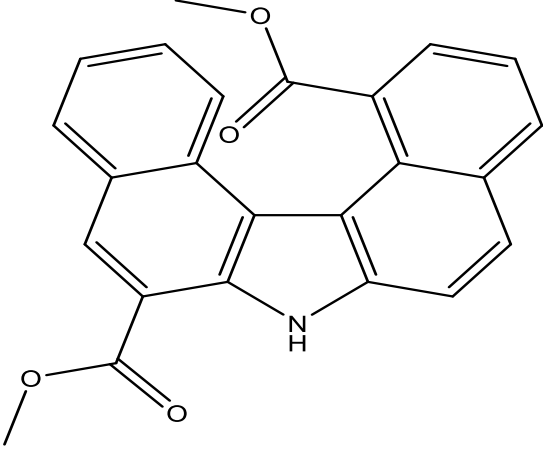
2-23-1 بذور الحرمل

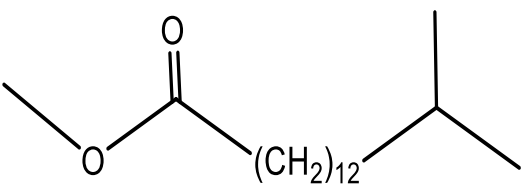
هو عشب موطنه المنطقة الجافة من شرق البحر الأبيض المتوسط إلى شمال الهند وينتشر على نطاق واسع في إيران، يحتوي P. Harmala على قلويدات مختلفة ذات هياكل متنوعة يصعب تصنيفها؛ ومع ذلك، فإن المستخلص من الفاكهة أو الزهرة الناضجة يحتوي على مركبات أسهل من الناحية الهيكلية. يحتوي P. Harmala على قلويدات بيتا كاربولين وكوينازولين المسؤولة عن التأثيرات السمية والدوائية للنبات. تتواجد قلويدات الكاربولين بيتا بكثرة في العديد من عائلات النباتات وتمتلك أنشطة مثبطة للمنشطات العصبية وأكسيداز أحادي الأمين، جذبت قلويدات بيتا كاربولين انتباه العلماء بسبب آثارها المثبطة القوية ضد سلالات معينة مقاومة للمضادات الحيوية [126] ويحتوي على عدد من القلويدات النشطة، وخاصة بيتا كاربولين مثل هارمالول، هارمالين، وهارمين. النبات معمر [127]، تمت دراستها على نطاق واسع لمكوناتها النباتية. تساهم القلويدات النشطة بيولوجيًا (قلويدات الكينازولين وبيتا كاربولين)، ومكونات الزيوت العطرية، والمركبات الفينولية الأخرى بشكل أساسي في التأثيرات المعززة للصحة. هارمالين، هارمين، هارمول، هارمالول، فازيسين، فازيسينون، ديوكسيفاسيسين، وديوكسيفاسيسينون هي أمثلة قليلة على القلويدات النشطة بيولوجيا الموجودة في P. Harmala [128] و جدول (4-1) يوضح التركيب الكيميائي لبعض المركبات الفعالة في المستخلص المائي لبذور الحرمل وبحسب نتائج قياسات GC-mass. والشكل (8-1) صورة لبذور الحرمل



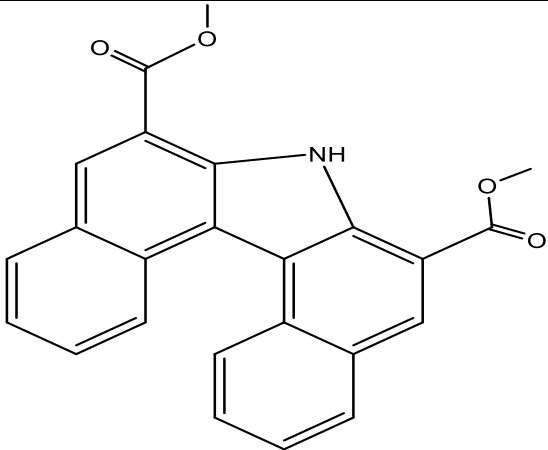
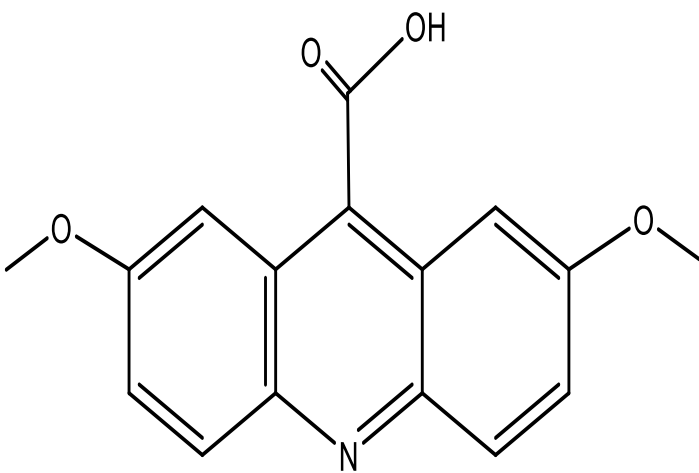
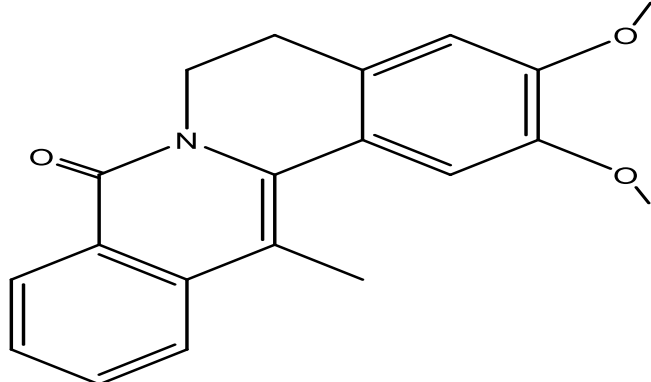
شكل (8-1) صورة لبذور الحرمل

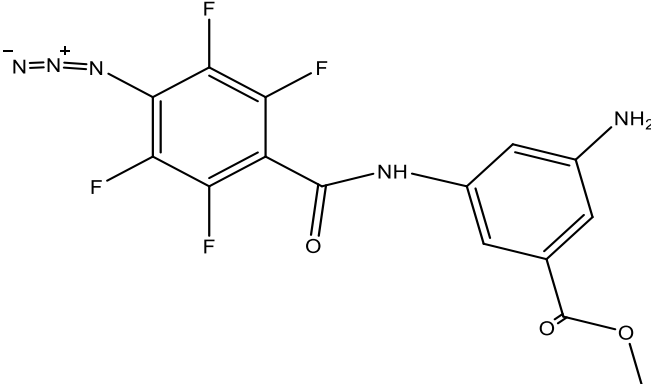
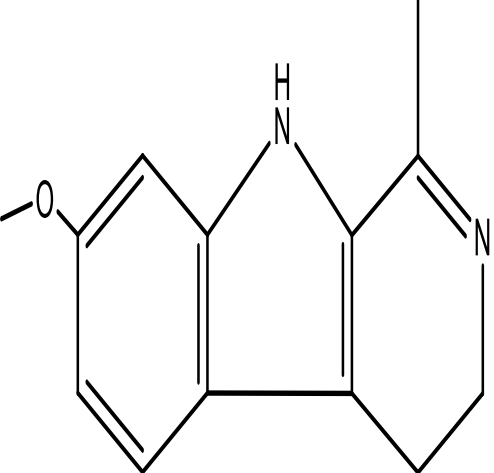
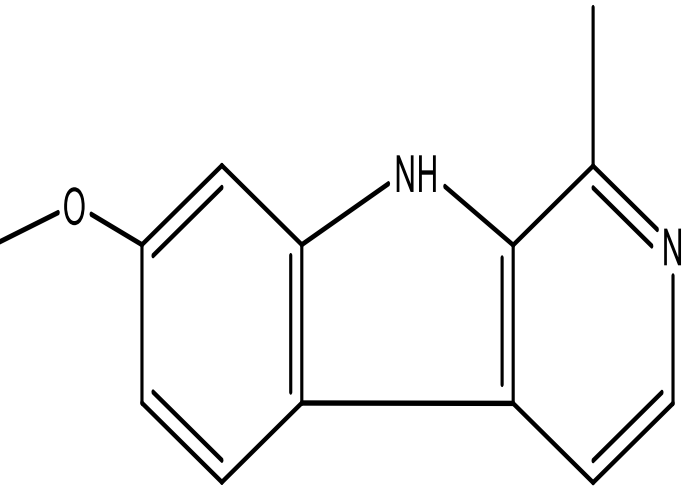
جدول (3-1) يوضح التركيب الكيميائي لبعض المركبات الفعالة في ثمرة الفلفل الأحمر

الصيغة التركيبية	الصيغة الجزيئية	اسم النبات
 2-anilino-5-bromo-2-carbomethoxybenzophenone	$C_{21}H_{17}BrNO_3$	الفلفل الأحمر Capsicum annum
 Benzoic acid, 2-[5-bromo-2-(phenylamino)benzoyl]-, methyl ester	$C_{21}H_{16}BrNO_3$	
 dimethyl 3,4:5,6-dibenzocarbazon-1,8-dicarboxylate	$C_{24}H_{17}NO_4$	

الصيغة التركيبية	الصيغة الجزيئية	اسم النبات
 methyl 14-methylpentadecanoate	C₁₇H₃₄O₂	اللفل الأحمر Capsicum annum

جدول (4-1) يوضح التركيب الكيميائي لبعض المركبات الفعالة في بذور الحرمل

الصيغة التركيبية	الصيغة الجزيئية	اسم النبات
 dimethyl 7H-dibenzo[c,g]carbazole-6,8-dicarboxylate	$C_{24}H_{17}NO_4$	بذور الحرمل Peganum Harmala
 2,7-dimethoxyacridine-9-carboxylic acid	$C_{16}H_{13}NO_4$	
 2,3-dimethoxy-13-methyl-5,6-dihydro-8H-isoquinolino[3,2-a]isoquinolin-8-one	$C_{20}H_{19}NO_3$	

الصيغة التركيبية	الصيغة الجزيئية	اسم النبات
 methyl 3-amino-5-(4-azido-2,3,5,6-tetrafluorobenzamido)benzoate	C ₁₅ H ₉ F ₄ N ₅ O ₃	بذور الحرمل Peganum Harmala
 7-methoxy-1-methyl-4,9-dihydro-3H-pyrido[3,4-b]indole	C ₁₃ H ₁₄ N ₂ O	
 7-methoxy-1-methyl-9H-pyrido[3,4-b]indole	C ₁₃ H ₁₂ N ₂ O	

24-1 أهداف الدراسة Aims of Study

بسبب انتشار التآكل في الوسط الصناعي وتأثير مشاكله اقتصادياً وتأثيره على البيئة وسلامة الإنسان ونتيجة الاهتمام الواسع حول سمية مثبطات التآكل المستخدمة في الصناعة فإن الآثار السامة لهذه المثبطات لا تقتصر على الأنظمة الحيوية فحسب بل تتعداها إلى تلوث البيئة، الهدف من هذه الدراسة هو السيطرة على التآكل الذي تسببه المحاليل الحامضية في الوسط الصناعي من خلال:

1. استخلاص وتطوير مواد مثبطة طبيعية جديدة، متاحة بسهولة وغير سامة وغير مكلفة وصديقة للبيئة.
2. دراسة معدلات تآكل الفولاذ الكربوني في محلول (1M) حامض الهيدروكلوريك HCl ودرجات حرارة مختلفة تتراوح بين (298-318K).
3. دراسة أو قياس معدل سرعة التآكل (CR) باستخدام طريقة المنحنيات الإستكمالية لتأكل (Extrapolation Tafel plot)
4. حساب كفاءة التنشيط IE ودراسة تأثير التركيز ودرجة الحرارة
5. حساب طاقة التنشيط E_a والدوال الثرموديناميك
6. دراسة شكل سطح الفولاذ الكربوني بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) بوجود وعدم وجود المثبط.

الفصل الثاني

الجزء العملي

Experimental Part

1-2 المواد المستعملة Materials Used

في هذه الدراسة تم استخدام الماء الخالي من الأيونات [Deionized Water] وكذلك استعملت مواد كيميائية ذات نقاوة عالية الخاصة للتحليل الكيميائي والجدول (1-2) التي تبين بالمواد الكيميائية المستعملة.

جدول (1-2) : المواد المستعملة وصيغتها العامة ونقاوتها والشركات المصنعة لها

ت	المادة	الصيغة العامة	النقاوة %	الشركة
1	ثمره الفلفل الاحمر	—	—	السوق المحلي
2	بذور الحرمل	—	—	السوق المحلي
3	حامض الهيدروكلوريك	HCl	37	BDH
4	ايتانول	C_2H_5OH	99	Fluka
5	ميثانول	CH_3OH	99	BDH
6	هكسان	C_6H_{14}	99	BDH
7	اسيتون	$(CH_3)_2CO$	99	Fluka
8	اوراق كارييد السليكون	SiC2	-----	السوق المحلي
9	ورق ترشيح	----	----	NEWSTAR

2-2 السبائك المستخدمة Alloys Used

استخدم في هذه الدراسة سبيكة الفولاذ الكربوني (Carbon Steel N-80) والمجهزة من شركة نفط الجنوب ، ويبين الجدول (2-2) نسب مكونات هذه السبيكة [129].

الجدول (2-2) يبين نسب مكونات سبيكة الفولاذ الكربوني

العنصر	Fe	Mn	C	P	S
النسبة المئوية %	98.39	1.2	0.3	0.05	0.06

2-3-3 الأجهزة والأدوات المستخدمة Tools and Instrument Used

1-3-2 المطحنة الكهربائية

تم طحن النباتات المستخدمة بواسطة المطحنة الكهربائية المجهزة من شركة RDK Electronic Co المنشأ Taiwan.

2-3-2 الميزان الحساس

تم ضبط الأوزان المطلوبة من مسحوق النبتة المستعملة في هذه الدراسة بواسطة الميزان الكهربائي الحساس نوع (Instrumentint Germany DenverTP-214) لغاية أربع مراتب عشرية. الماني المنشأ في مختبرات قسم الكيمياء – كلية التربية للعلوم الصرفة – جامعة البصرة.

3-3-2 فرن التجفيف

استخدم الفرن لتجفيف الراشح الناتج من عملية الاستخلاص المائي للنباتات المستخدمة لأجل الحصول على بلورات جافة. من صنع شركة (Germany / KARL KO). الموجود في مختبرات قسم الكيمياء - كلية التربية للعلوم الصرفة - جامعة البصرة.

4-3-2 جهاز قياس مطيافية الأشعة تحت الحمراء FT-IR Spectrophotometer

تم قياس أطيف الأشعة تحت الحمراء في المنطقة المحصورة بين ($400-4000\text{ cm}^{-1}$) باستخدام جهاز الأشعة تحت الحمراء. (FT-IR-8400S.Fourier Transform Infrared) في مختبرات جامعة طهران/جمهورية إيران الإسلامية.

5-3-2 جهاز قياس طيف الكتلة Gas Chromatography –Mass Spectrophotometer

استخدم جهاز قياس طيف الكتلة (GC-mass) نوع (MS Model:5973 Network Mass Selective Detector) لتشخيص المركبات الموجودة في النباتات المستخدمة. في مختبرات جامعة طهران في جمهورية إيران الإسلامية.

6-3-2 جهاز قياس معدل سرعة التآكل Corrosion Rate Measurement Apparatus

استخدم جهاز Bank Eieiktronkik Intelligent Controls Type M lab 200 (2007) Germany في قياس معدل سرعة التآكل لسبيكة الفولاذ الكربوني المستعملة في هذه الدراسة وفي الوسط الحامضي وبدرجات حرارة مختلفة في مختبر أبحاث الكيمياء التحليلية / كلية التربية للعلوم الصرفة / جامعة البصرة.

7-3-2 جهاز المسح الإلكتروني المجهر SEM

استخدم جهاز المسح الإلكتروني المجهر (SEM) الذي تم من خلاله ملاحظة التغيرات المورفولوجية التي حصلت على سطح سبيكة الفولاذ الكربوني N₈₀ بوجود وعدم وجود الوسط الحامضي وكذلك بوجود الوسط الحامضي بتركيز 1M من HCl مع المثبط النباتي المستخدم التي أجريت في مختبرات جامعة طهران في جمهورية إيران الإسلامية باستخدام جهاز

Beyond Tech (South Korea's Suorin Corporation) Scanning Electron Microscope Spectrometer (SEM).

4-2 تحضير محلول التآكل Preparation of Corrosion Solution

تم تحضير محلول التآكل من حامض الهيدروكلوريك المركز HCl بتركيز (1M) وذلك بأخذ حجم (82.80 mL) من الحامض المركز وتكملة الحجم المطلوب بالماء المقطر.

5-2 تحضير المستخلصات المائية للمثبطات المستخدمة في البحث [130]

1-5-2 تحضير مستخلص ثمرة الفلفل الأحمر (الجاف)

وهي ثمرة متوفرة بالأسواق العراقية ورخيصة الثمن، بعد الغسل والتجفيف، تأخذ وتطحن جيداً ثم تتم عملية الاستخلاص وذلك بوزن (10 gm) من مسحوق الفلفل الأحمر الجاف ثم يضاف له (300 mL) من الماء اللاأيوني في بيكر سعة (500mL) بعد ذلك يسخن إلى درجة 70 °C لمدة (30min) وبوجود المحرك الميكانيكي (Mechanical Stirrer) ثم ترك المحلول بعد ذلك ليبرد لمدة ساعتين ثم رشح باستعمال ورق الترشيح واخذ الراشح وجفف عند درجة حرارة 50 °C ولمدة 48 ساعة وبذلك تم الحصول على مسحوق جاف وزنه 1.5 g والشكل (1-2) يوضح مراحل تحضير المستخلص C.



بعد التجفيف



بعد الترشيح



الاستخلاص المائي



بعد الطحن



القلقل الأحمر الجاف قيل الطحن

الشكل (1-2) مراحل تحضير مستخلص المثبط (C)

2-5-2 تحضير مستخلص بذور الحرمل

بعد الغسل والتجفيف تتم عملية الاستخلاص وذلك بوزن (10 gm) من مسحوق بذور الحرمل ثم بعد ذلك اضيف له (300 mL) من الماء اللأأيوني في قـدح زجاجي سعة (500 mL) بعد ذلك سخن الى درجة 70°C لمدة (30min) وبوجود المحرك الميكانيكي (Mechanical Stirrer) ثم ترك المحلول بعد ذلك ليبرد لمدة ساعتين ثم رشح باستعمال ورق ترشيح واخذ الراشح وجفف عند درجة حرارة 50°C ولمدة 48 ساعة وبذلك تم الحصول على مسحوق جاف من مستخلص الحرمل بوزن (1.98 g). والشكل (2-2) يوضح مراحل تحضير مستخلص بذور الحرمل.



الشكل (2-2) مراحل تحضير مستخلص المثبط (R)

Preparation of Solutions

6-2 تحضير المحاليل

تم تحضير المحاليل القياسية لمستخلصي الفلفل الأحمر (C) وبذور الحرمل (R) وذلك بإذابة (1gm) من المستخلص في (1000 mL) من الماء المقطر في قنينة حجمية سعة واحد لتر وبذلك تم الحصول على محلول قياسي (1000 ppm) من المستخلص النباتي، ثم حضرت منه سلسلة من التراكيز المختلفة باستخدام علاقة التخفيف وهي (50 ppm , 100 ppm , 150ppm , 200 ppm).

7-2 تهيئة نماذج الفولاذ الكربوني Preparing the Carbon Steel Samples

تم تقطيع نماذج الفولاذ الكربوني على شكل مستطيلات بأبعاد (0.4 × 1.38 × 4.9 Cm) لكل من الطول والعرض والسمك على التوالي كما في الشكل (3-2). وقد تم قياس الأبعاد بواسطة vernier بعد ذلك تم غسلها بمحلول حامض الهيدروكلوريك المخفف (10%) لغرض إزالة الأكاسيد منها ومن ثم غسلها بالماء المقطر عدة مرات و أخيراً تم غسلها بالإيثانول والاسيتون وتم وضعها في المجفف (Desiccator) الذي يحتوي على السليكا جل لحمايتها من الرطوبة. بعدها تم تنعيم النماذج باستعمال أوراق كربيد السليكون متباين النعومة (600 - 120) واستعمل الماء للتبريد في أثناء عملية التنعيم لمنع ارتفاع درجة الحرارة أو منع التصاق حبيبات ورق التنعيم على سطح العينة التي تؤثر على النعومة ويجب أن تكون عملية التنعيم في كل مرحلة باتجاه واحد وعمودي على العملية التي سبقتها لإزالة طبقة الأوكسيد التي تغطي سطح المعدن وحسب المواصفات القياسية لـ (ASTM) المرقمة (G1 - 90) [131].

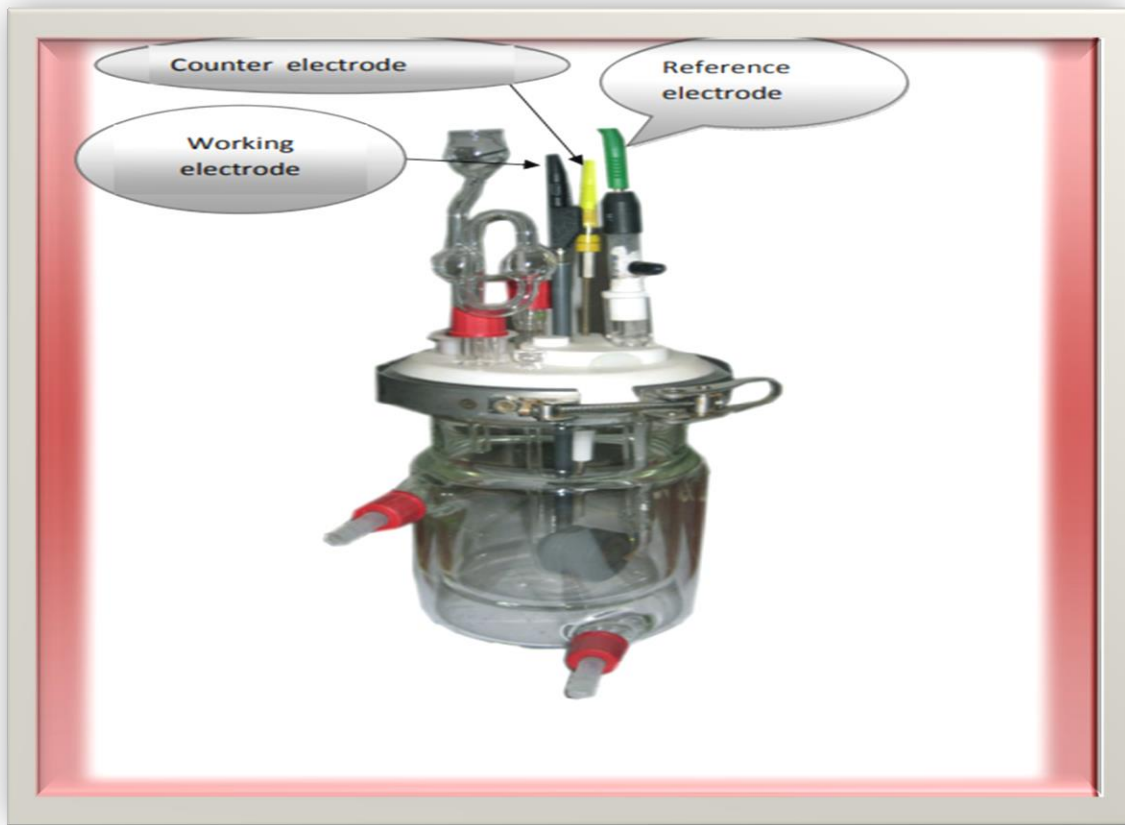


الشكل (3-2) يوضح صورة لعينة الفولاذ الكربوني N80

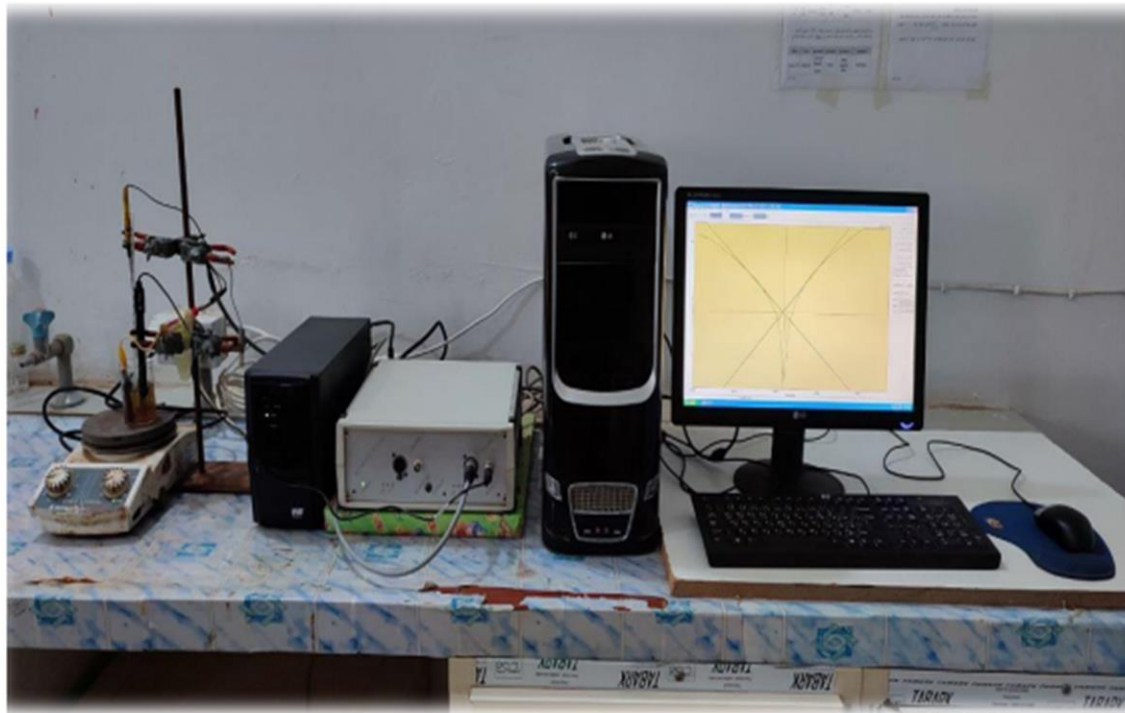
8-2 قياس سرعة التآكل بالطريقة الكهروكيميائية (منحنيات تافل)

Tafel Plot Extrapolation

تم استعمال الطريقة الكهروكيميائية لقياس معدل سرعة التآكل حيث تعتبر هذه الطريقة حديثة ومتطورة وأيضاً اقتصادية نوعاً ما من خلال الزمن المستغرق اثناء التجربة كذلك عينة المعدن المستعملة والتي تكون متصلة بالخلية الكهروكيميائية حيث تكون هذه الخلية متصلة بجهاز يعطينا كل المعلومات المراد الحصول عليها المتعلقة بالتآكل والتي يوضحها في منحنيات تظهر على شاشة الكمبيوتر المتصل بالجهاز. حيث يتم رسمها مباشرة من خلال ايقونة على الشاشة والذي يمثل تغير لوغاريتم التيار (I). يتكون الجهاز بشكل اساسي من خلية القياس التي تحتوي على ثلاثة اقطاب هي القطب العامل والذي يوضع في العينة المستعملة والقطب المساعد وهو من البلاتين وأخيراً القطب المرجع وهو قطب الكالوميل القياسي والشكل (2-4) يوضح خلية القياس Tafel Plot, وتتضمن هذه الطريقة قياس تيار التآكل، جهد التآكل ورسم مخطط أو منحنى تافل. ويوضح الشكل (2-5) جهاز والخلية الكهروكيميائية لقياس سرعة التآكل بعد تنظيف النموذج (قطعة من سبيكة نظيفة من الفولاذ الكربوني) وتجهيزه يتم ربطه مع القطب العامل وإدخاله في خلية الاختبار التي تملأ بـ 100ml من محلول حامض (HCl 1M) ويوضع كل من القطب المساعد والقطب المرجع في الخلية نفسها، وتثبت درجة الحرارة المطلوبة باستخدام حمام مائي. وبعد ذلك تُربط الخلية بالجهاز ويتم إدخال المعلومات المطلوبة والتي تتضمن بداية ونهاية الجهد ويتراوح من (0.25 V , -0.25 V) حول جهد الدائرة المفتوحة، وزمن العملية ومعدل سرعة المسح وعندها يعطي الجهاز النتائج بشكل رسم بياني (مخطط تافل)، والتي تشمل وجهد التآكل (E_{corr}) والتيار التآكل (I_{corr}) وثوابت تافل الانودية (β_a) والكاثودية (β_c). وعند انتهاء عملية القياس يتم حفظ تلك المعلومات قبل اجراء عملية قياس أخرى. وتستغرق هذه العملية من (15-20 min) بعد ذلك يوقف الجهاز وتفرغ محتويات الخلية وتنظف وتكرر العملية مرة أخرى باستعمال سبيكة نظيفة من الفولاذ الكربوني N80 ويعاد ملئ الخلية بالمحلول الأكل مع إضافة تراكيز مختلفة من المادة المثبطة وايضا بدرجات حرارة مختلفة (298, 308, 318 K)، ويتم إعادة القياس من جديد.



الشكل (4-2) يوضح خلية القياس Tafel Plot



الشكل (5-2): الخلية الكهروكيميائية وجهاز قياس سرعة التآكل

الفصل الثالث

النتائج والمناقشة

Result & Discussion

1-3 أطياف الأشعة تحت الحمراء (FT-IR)

الخطوة الرئيسية في تثبيت التآكل هو امتزاز المثبطات على السطح المعدني لحمايته وبالتالي يتم إجراء تحليل (FT-IR) للحصول على بعض التوضيح في التفاعلات المحتملة بين المثبط الممتز وسطح الفولاذ الكربوني في البيئة الحامضية من HCl 1M مع المستخلص النباتي وإن قوة التثبيت تعتمد على التركيب الجزيئي للمثبط، يتم تشخيص مستخلص الفلفل الأحمر الجاف (C) وبذور الحرمل (R) لتقييم المجاميع الوظيفية الرئيسية. توضح الجداول (1-3) و(2-3) قيم ترددات أطياف الأشعة تحت الحمراء بوحدة (cm^{-1}) للمثبتين (C,R) والأشكال من (1-3) و(2-3) نتائج أطياف الأشعة تحت الحمراء باستخدام (FT-IR) ويلاحظ ظهور الحزم التالية للمستخلصات ومن أهمها:

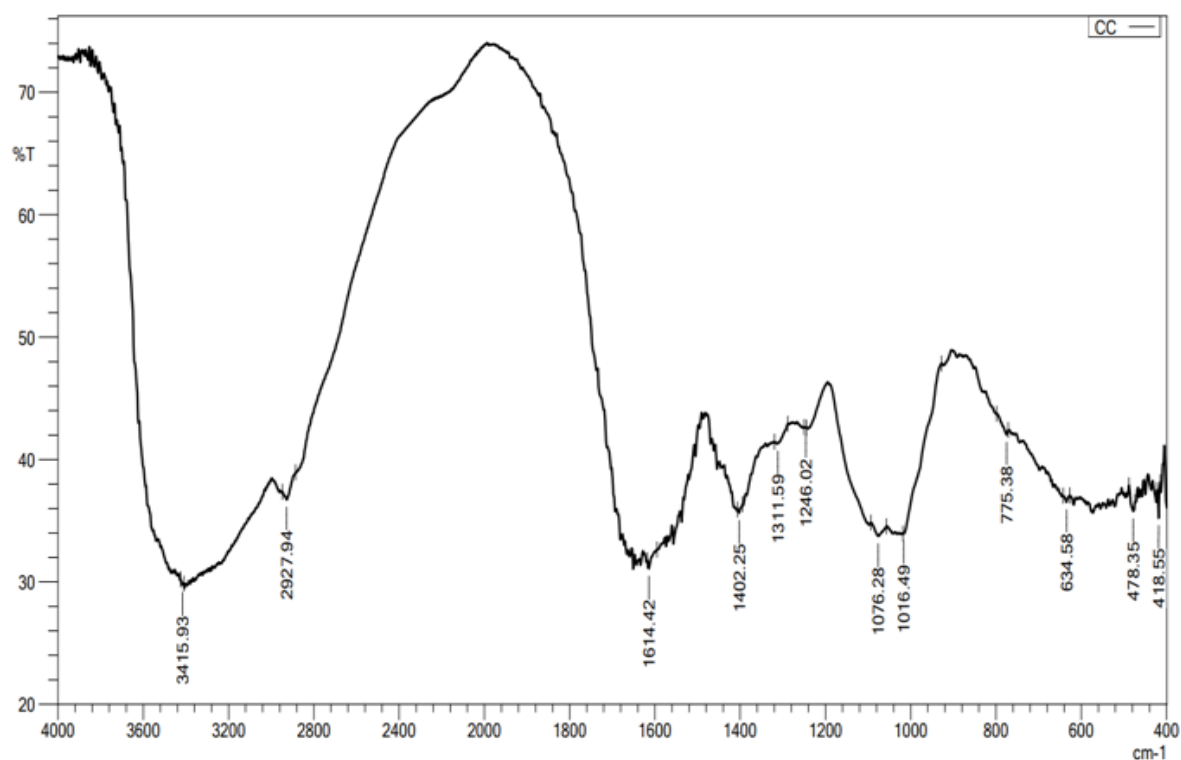
- 1- حزمة الاهتزاز الأتساعي للأصرة (O-H) في المدى ($3201-3472 \text{ cm}^{-1}$) [132]
- 2- حزمة الامتصاص في المنطقة المحصورة بين ($3205-3489 \text{ cm}^{-1}$) تعود الى مجموعة (NH)
- 3- حزمة ضعيفة الشدة للاهتزاز الأتساعي للأصرة (C-H) الأروماتية لكل مستخلص في المدى ($2926-3072 \text{ cm}^{-1}$) [133]
- 4- حزمة متوسطة الشدة للاهتزاز الأتساعي لمجموعة (NH_2) في (3269 cm^{-1}) وظهور حزم قوية للاهتزاز الأنحنائي في الموقع (1550 cm^{-1}) [75]
- 5- حزم التردد الأتساعي للأصرة (C = O) تكون متوسطة الى قوية الشدة عند المدى (1714 cm^{-1}) [134] (1614)
- 6- حزمة قوية جدا عند المدى ($1629-1612 \text{ cm}^{-1}$) تعود الى التذبذب الأتساعي لمجموعة ($\text{C}=\text{N}$) [135]
- 7- مجموعة حزم متوسطة الشدة للاهتزاز الأتساعي للأصرة ($\text{C}=\text{C}$) الأروماتية لكل مستخلص في المدى ($1502-1649 \text{ cm}^{-1}$).
- 8- حزمة ضعيفة الشدة للاهتزاز الأتساعي للأصرة (N=N) في المدى ($1402-1487 \text{ cm}^{-1}$) [136]
- 9- القمة عند 1076 cm^{-1} تشير الى وجود C-N
- 10- حزمة الاهتزاز الأنحنائي (خارج المستوى) للأصرة (O-H) والتي تظهر ضمن المدى ($842-827 \text{ cm}^{-1}$)
- 11- حزم ضعيفة الشدة للاهتزاز الأنحنائي للأصرة (C-H) الأروماتية ($777-881 \text{ cm}^{-1}$)

الجدول (3- 1): قيم ترددات اطياف الاشعة تحت الحمراء بوحدة (cm^{-1}) للمثبط (C)

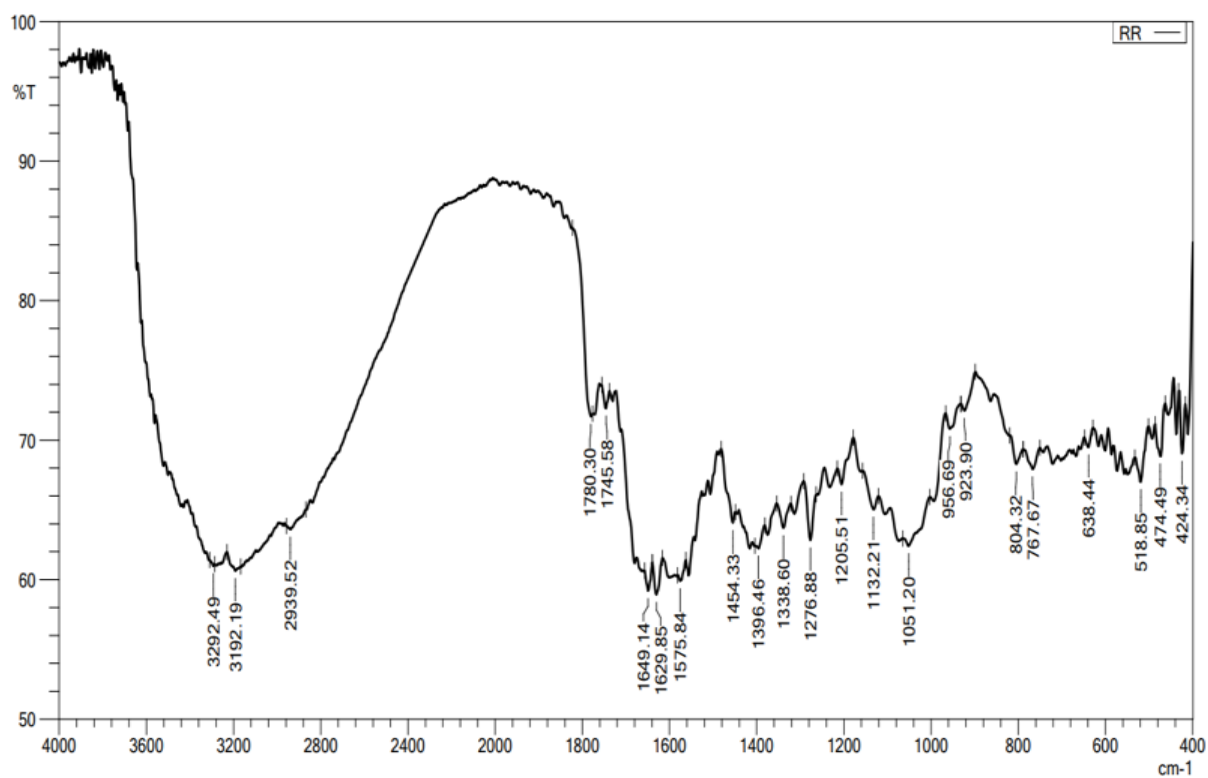
نوع التذبذب Oscillation type	المجموعة الفعالة Effective group	العدد الموجي Wave number (Cm^{-1})
حزمة الاهتزاز الأتساعي	$\nu(\text{O-H})$	3415
التذبذب الأتساعي	$\nu(\text{N-H})$	3205
التذبذب الأتساعي	$\nu(\text{C-H})$ ali الاليفاتية	2927
حزمة قوية جدا تعود الى التذبذب الأتساعي	$\nu(\text{C=N})$	1614
التذبذب الأتساعي متوسطة الى قوية الشدة	$\nu(\text{C=O})$	1650
حزم متوسطة الشدة اهتزاز اتساعي	$\nu(\text{C=C})$	1580
التذبذب الأتساعي	$\nu(\text{CH}_2)$ الاليفاتية	1402
اهتزاز انحنائي	$\nu(\text{C-O})$ ast الاسترية	1246
اهتزاز انحنائي	$\nu(\text{C-N})$	1076
اهتزاز انحنائي	$\nu(\text{C-Br})$	638

الجدول (2-3): قيم ترددات اطياف الاشعة تحت الحمراء بوحدة (cm-1) للمثبط (R)

نوع التذبذب Oscillation type	المجموعة الفعالة Effective group	العدد الموجي Wave number (Cm-1)
حزمة الاهتزاز الأتساعي	$\nu(O-H)$	3300
حزمة الاهتزاز الأتساعي	$\nu(NH_2)$	3292
التذبذب الأتساعي	$\nu(N-H)$	3205
اهتزاز اتساعي حزمة ضعيفة الشدة	$\nu(C-H)$ الأروماتية	3192
التذبذب الأتساعي	$\nu(C-H)$ ali الاليفاتية	2939
التذبذب الأتساعي متوسطة الى قوية الشدة	$\nu(C=O)$	1649
حزمة قوية جدا تعود الى التذبذب الأتساعي	$\nu(C=N)$	1629
حزم متوسطة الشدة اهتزاز اتساعي	$\nu(C=C)$	1575
التذبذب الأتساعي	$\nu(CH_2)$	1454
حزمة ضعيفة الشدة للاهتزاز الأتساعي	$\nu(N=N)$	1440
اهتزاز انحنائي	$\nu(C-O)$ ast الاسترية	1205
اهتزاز انحنائي	$\nu(C-O)$ Est	1132
اهتزاز انحنائي	$\nu(C-N)$	1051
اهتزاز انحنائي	$\nu(C-Cl)$	767
اهتزاز انحنائي	$\nu(C-Br)$	638



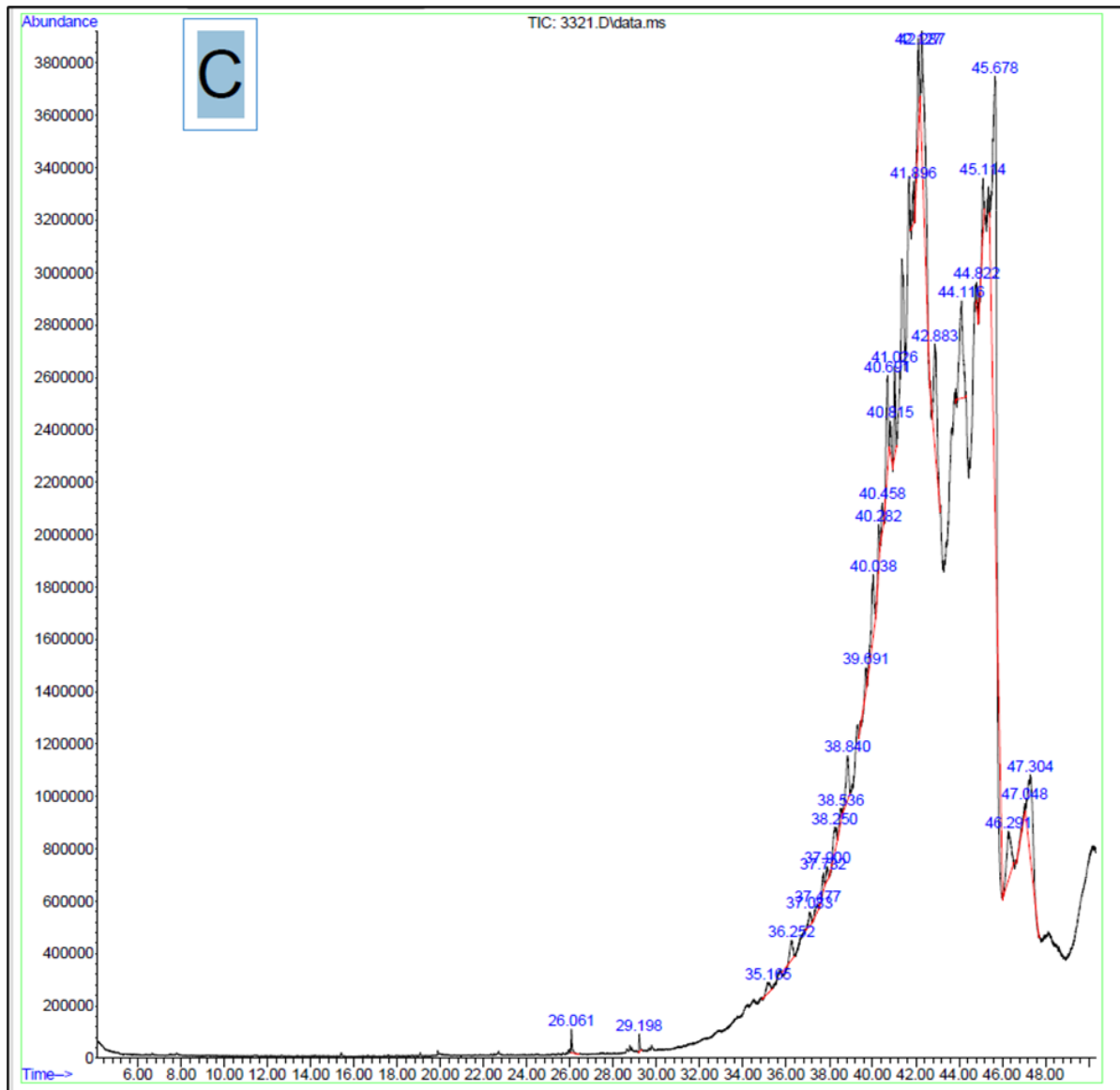
الشكل (3-1): طيف الأشعة تحت الحمراء للمثبط (C)



الشكل (3-2): طيف الأشعة تحت الحمراء للمثبط (R)

2-3 طيف الكتلة للمستخلصات النباتية (GC - mass)

سجلت أطياف (GC-MASS) لكل من المستخلصات النباتية للفلل الأحمر الجاف (C) والحرمل (R) لتحديد المركبات الكيميائية الموجودة فيها التي تفسر ميكانيكية التثبيط لهذه المستخلصات. حيث إن الأشكال (3-3) و(4-3) تمثل طيف GC- mass للمستخلصات النباتية (C,R)، أما الجداول (3-3) و(5-3) توضح أهم المركبات الظاهرة في طيف الكتلة للمستخلصين (C,R)، في حين إن الجداول (4-3) و(6-3) توضح طيف الكتلة والصيغ التركيبية لبعض المركبات الكيميائية الموجودة في المستخلصين (R,C)

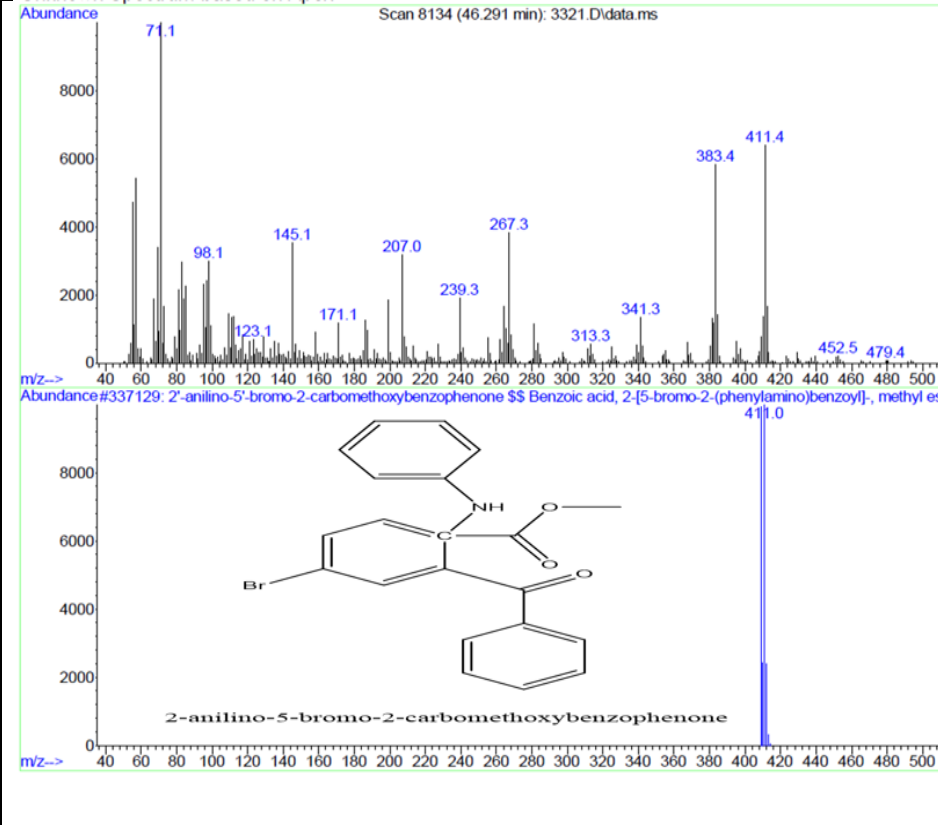
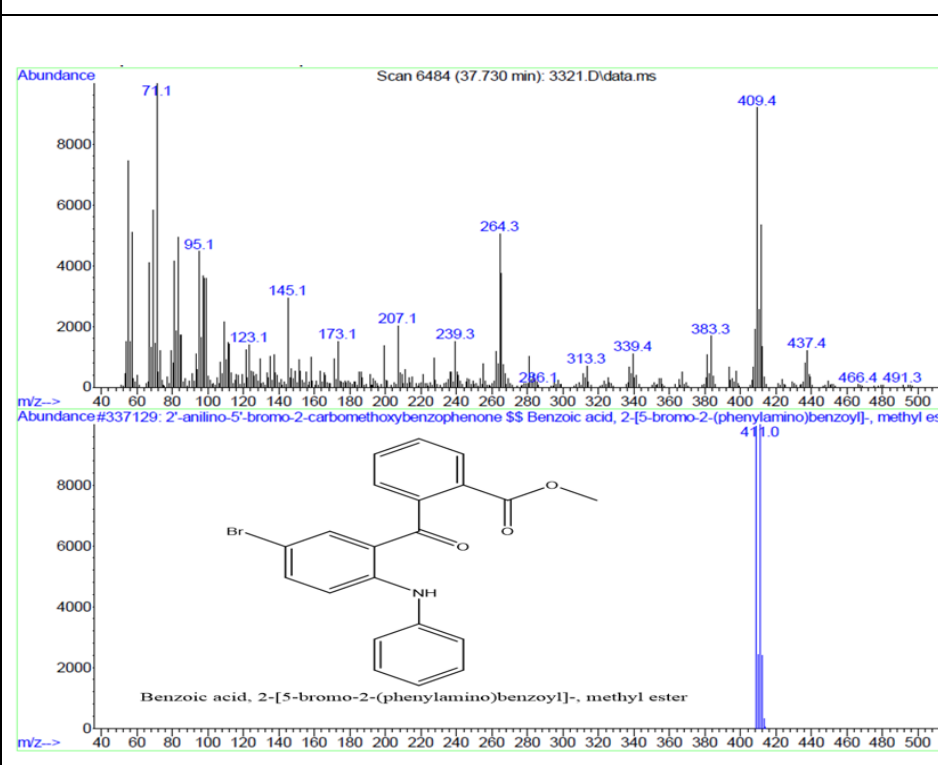


الشكل (3-3) يمثل طيف الكتلة للمستخلص المائي لنبتة (C)

الجدول (3-3) يمثل أهم المكونات التي ظهرت في المثبط النباتي (C)

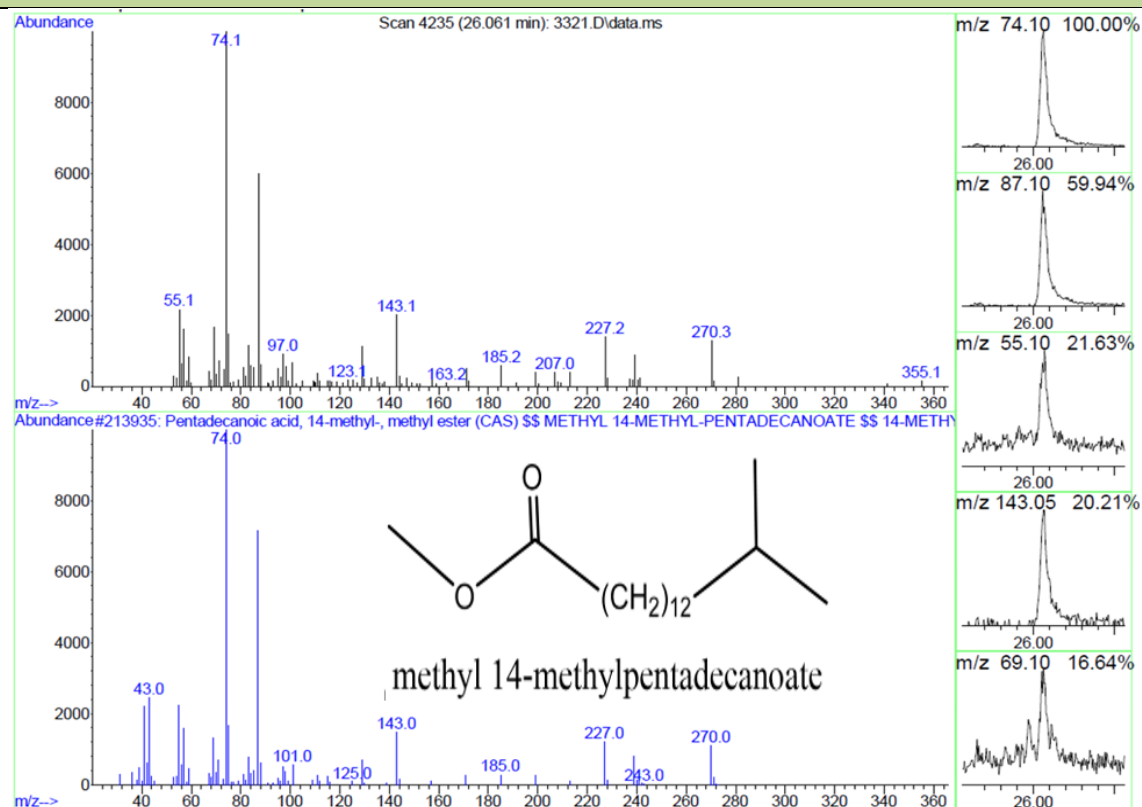
C					
number	RT (min)	Area%	Name	Quality	CAS Number
1	26.061	0.35	Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	98	005129-60-2
2	29.2	0.23	Octadecanoic acid, methyl ester	98	000112-61-8
3	36.251	0.57	Dipyrzino[2,3-b:2',3'-i][1,4,8,11]tetraaza	50	120757-23-5
4	37.73	0.47	1 2'-anilino-5'-bromo-2-carbometho	72	108694-39-9
5	38.249	0.98	1 METHYL ESTER OF 4-CHLORO-3-(2-CH...	80	066385-22-6
6	38.534	2.13	2'-anilino-5'-bromo-2-carbomethoxybenzophenone	86	108694-39-9
7	40.693	20.64	Oleic acid, eicosyl ester	64	000000-00-0
8	45.668	61.14	Stearin, 1,3-dipalmito-2-	90	108694-39-9

الجدول (4-3) يوضح طيف الكتلة والصيغ التركيبية لبعض المركبات الكيميائية الموجودة في
المستخلص النباتي (C)

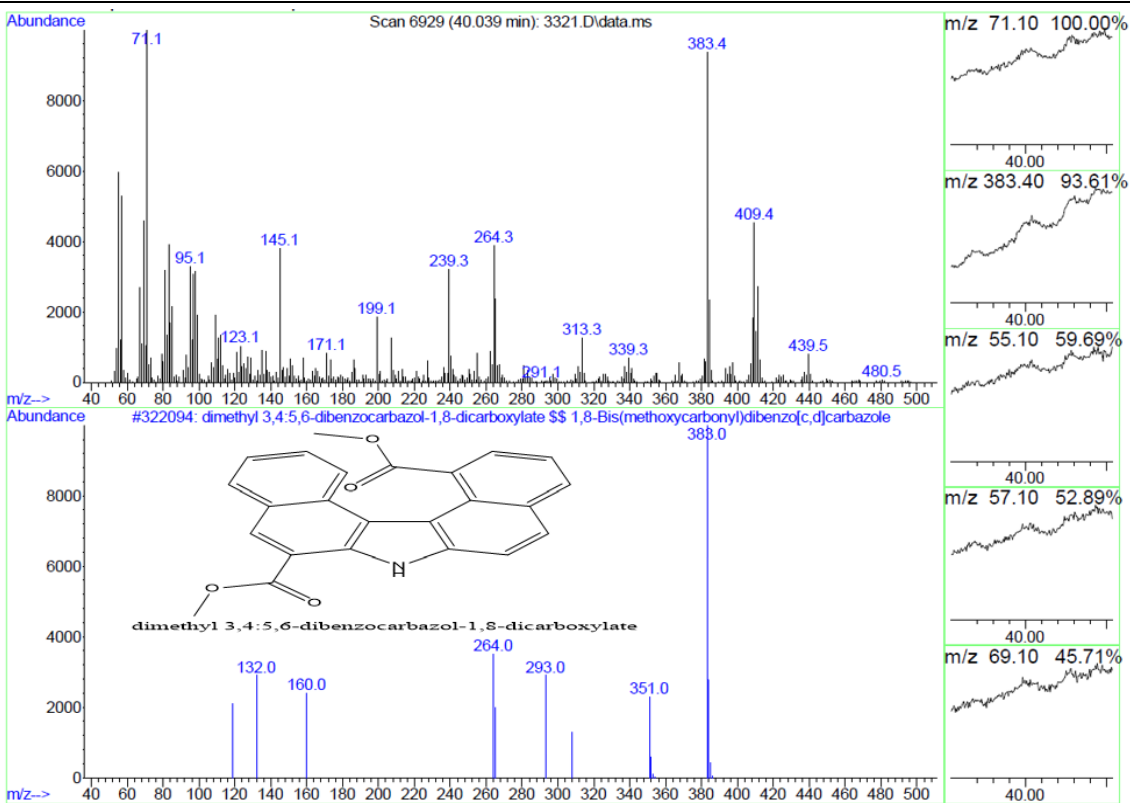
ت	طيف الكتلة والصيغة التركيبية
1	Scan 8134 (46.291 min): 3321.D\data.ms  Abundance m/z--> 2-anilino-5-bromo-2-carbomethoxybenzophenone Scan 8134 (46.291 min): 3321.D\data.ms m/z 71.10 100.00% m/z 411.40 63.98% m/z 383.40 58.34% m/z 57.10 54.28% m/z 55.10 47.22%
2	Scan 6484 (37.730 min): 3321.D\data.ms  Abundance m/z--> Benzoic acid, 2-[5-bromo-2-(phenylamino)benzoyl]-, methyl ester Scan 6484 (37.730 min): 3321.D\data.ms m/z 71.10 100.00% m/z 409.40 91.93% m/z 55.10 74.49% m/z 69.10 58.13% m/z 411.40 53.31%

طيف الكتلة والصيغة التركيبية

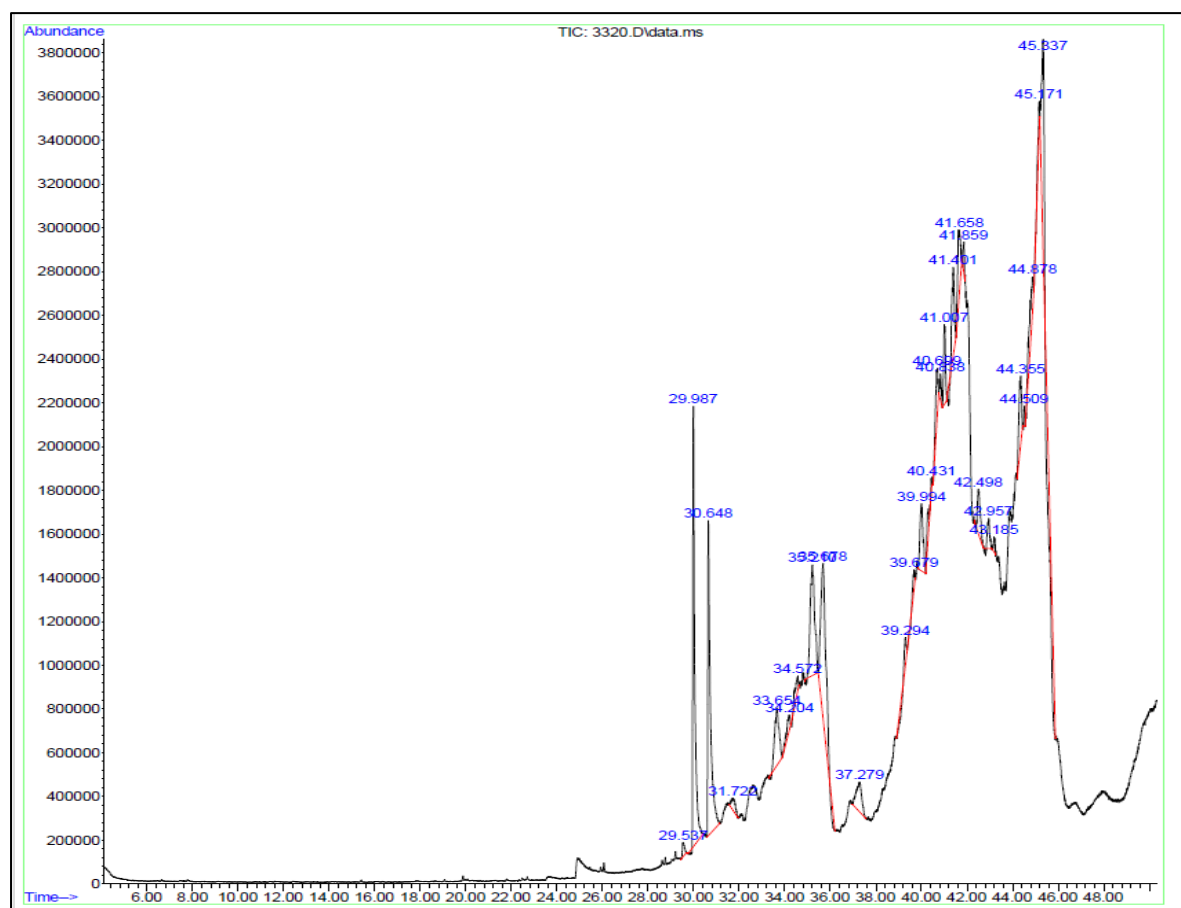
ت



3



4



الشكل (4-3) يمثل طيف الكتلة للمستخلص المائي لنبذة (R)

الجدول (5-3) يمثل اهم المكونات التي ظهرت في المثبط النباتي (R)

R					
Number	RT (min)	Area %	Name	Quality	CAS Number
1	29.537	0.59	Hexahydrofluorene, 3-methoxy-6-methyl-	91	000000-00-0
2	29.989	16.65	Harmaline	95	000304-21-2
3	30.647	16.04	Harmine	98	000442-51-3
4	33.652	29.19	Glycerol 2-acetate 1,3-dipalmitate	64	118656-09-0
5	40.433	1.21	dimethyl 3,4:5,6-dibenzocarbazol-1,8-dicarboxylate	58	000000-00-0
6	40.433	15.61	Oleic acid, eicosyl ester	58	000000-00-0
7	35.675	14.20	8H-dibenzo[a,g]quinolizin-8-one, 5,6-dihydro-2,3-dimethoxy-13-phenyl	64	015495-36-0
8	34.202	1.12	Methyl 3-(4-Azido-2,3,5,6-tetrafluorobenzamido)-5-aminobenzoate	43	000000-00-0

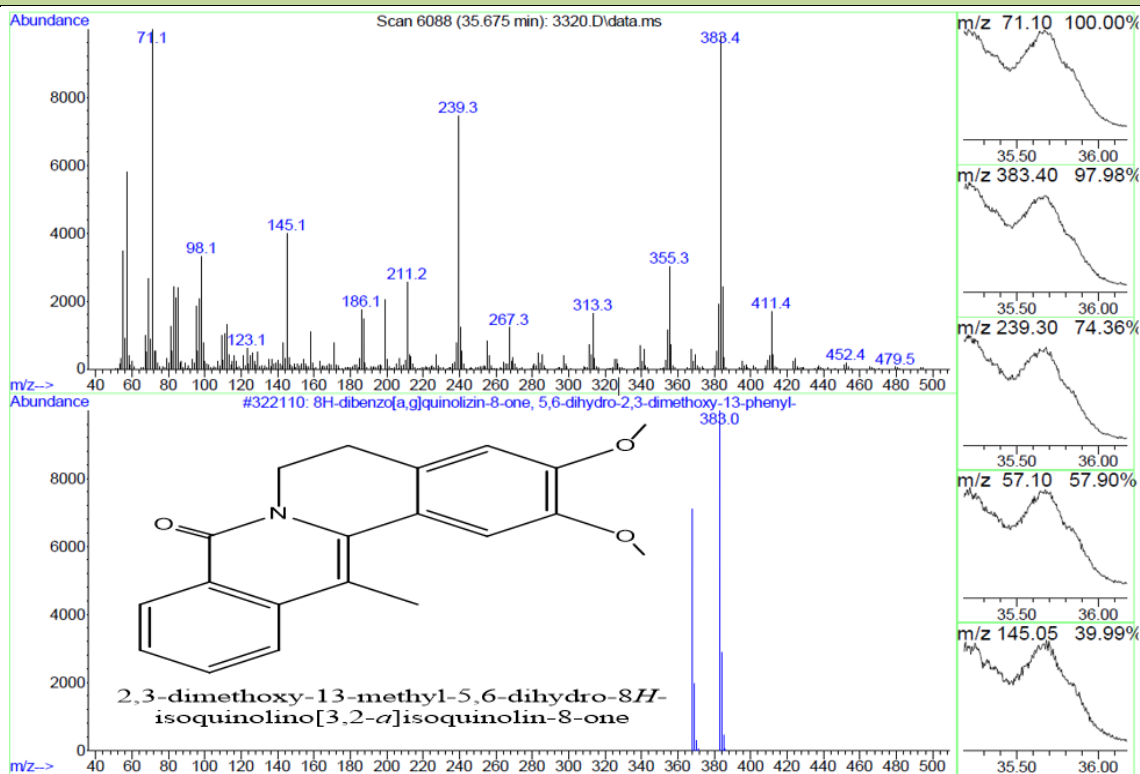
الجدول (6-3) يوضح طيف الكتلة والصيغ التركيبية لبعض المركبات الكيميائية الموجودة في المستخلص النباتي (R)

طيف الكتلة والصيغة التركيبية	ت
Scan 7005 (40.433 min): 3320.D\data.ms Abundance m/z--> #322094: dimethyl 3,4:5,6-dibenzocarbazol-1,8-dicarboxylate <chem>COC(=O)c1ccc2c3c(c1)ccc4c3[nH]c5ccc6c4ccc(OC(=O)C)c652</chem> dimethyl 7H-dibenzo[c,g]carbazole-6,8-dicarboxylate m/z--> m/z 383.40 100.00% m/z 71.10 85.78% m/z 57.10 43.83% m/z 55.10 41.85% m/z 264.30 36.32%	1
Scan 5698 (33.652 min): 3320.D\data.ms Abundance m/z--> #322109: 7-(2,5-dimethoxyacridin-9-yl)-1-oxo-1,2,3,4-tetrahydronaphthalene <chem>COc1ccc2c3c(c1)ccc4c3[nH]c5ccc(OC(=O)O)c52</chem> 2,7-dimethoxyacridine-9-carboxylic acid m/z--> m/z 383.40 100.00% m/z 71.10 90.38% m/z 239.30 77.68% m/z 57.10 51.15% m/z 145.05 37.62%	2

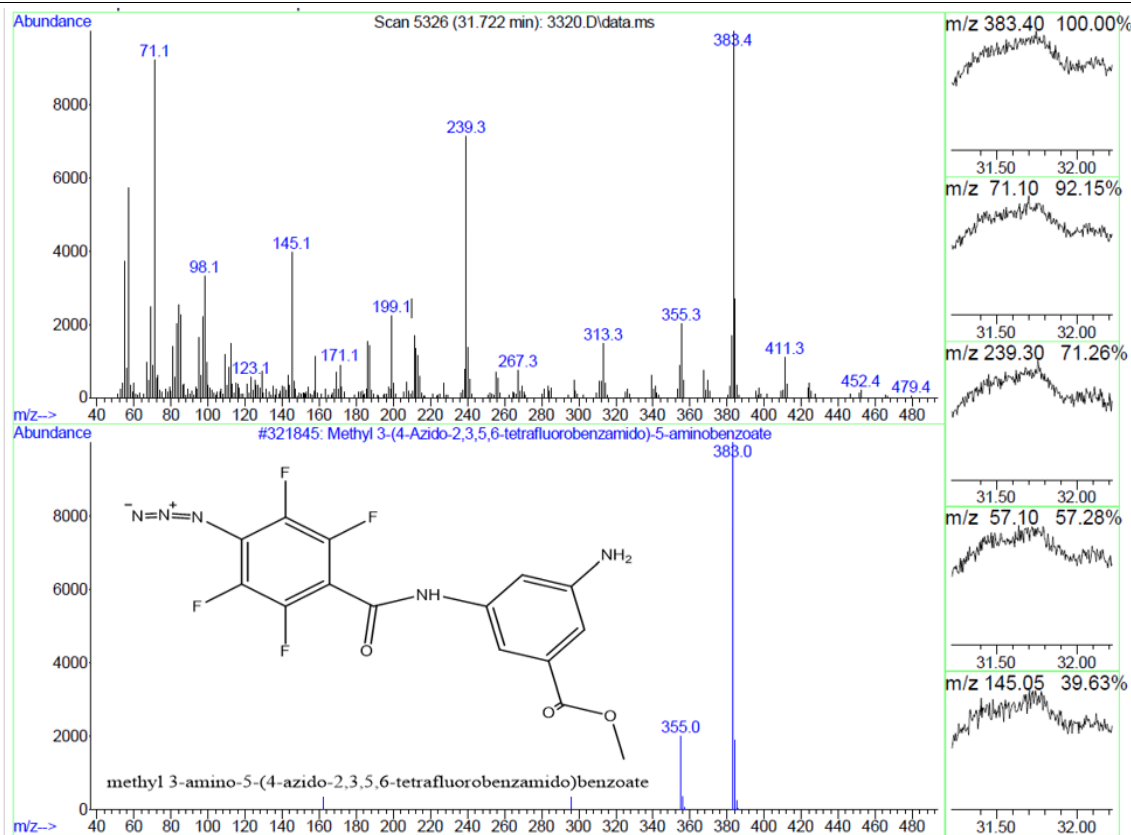
طيف الكتلة والصيغة التركيبية

ت

3



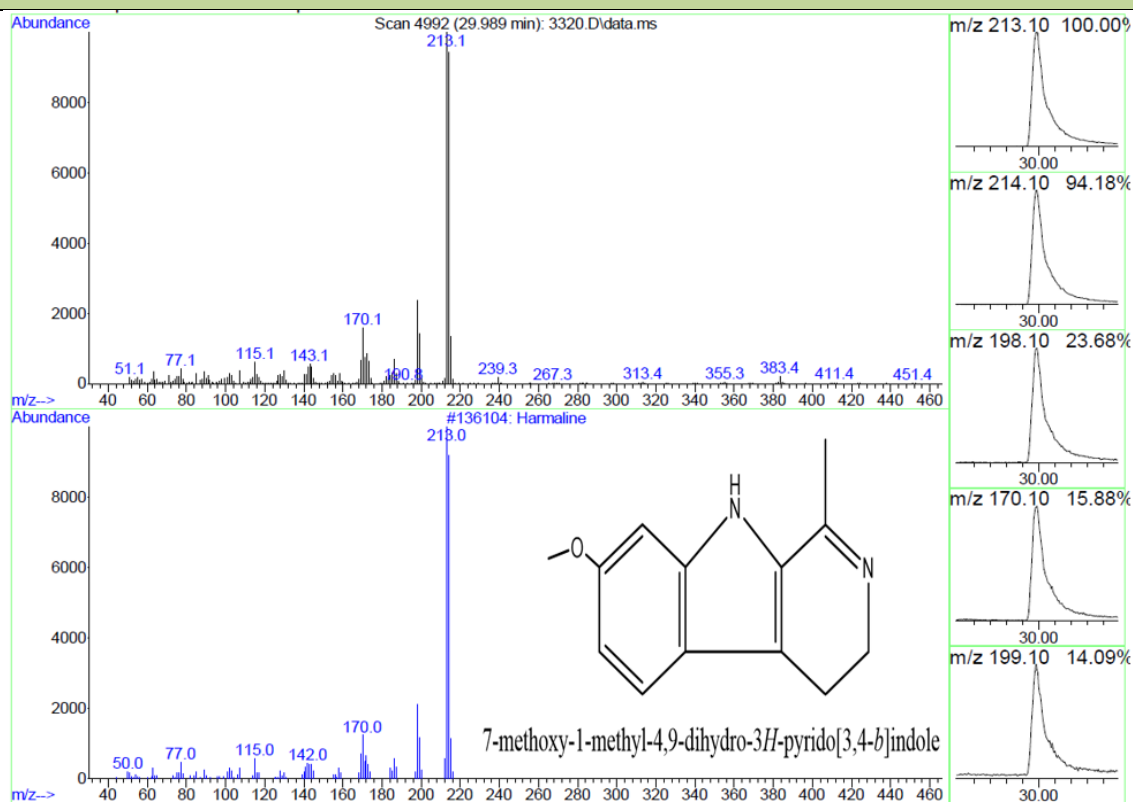
4



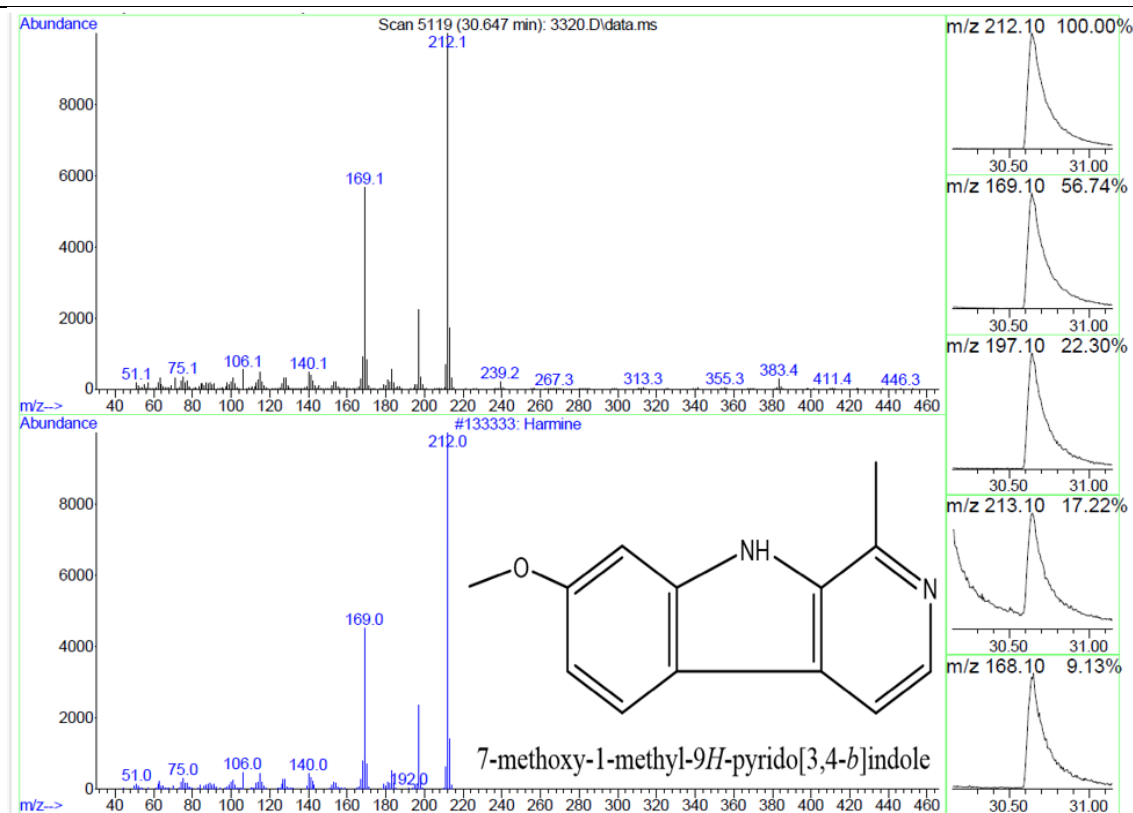
طيف الكتلة والصيغة التركيبية

ت

5



6



3-3 دراسة كفاءة المستخلصات المائية (R,C) كمثبطات للتآكل بطريقة منحنيات

تافل

درست كفاءة المستخلصات المائية كمثبطات لتآكل الفولاذ الكربوني في وسط حامضي (1 M) من المحلول المائي لحامض (HCl) وعند درجات حرارية (298 , 308 , 318 K) بغياب وجود المثبتين (R,C) وبتركيزات (50 , 100 , 150 , 200 ppm) لكل مثبط باستعمال طريقة الاستقطاب الإستكمالية Tafel Plot. وبينت نتائج الدراسة ما يأتي:

1-3-3 منحنيات الاستقطاب او ما يسمى بخطي تافل وحساب كفاءة التثبيط

من أجل فهم أفضل لدور المستخلصات المائية (C,R) والمستخدمين كمثبط لعملية تآكل الفولاذ الكربوني ويتم ذلك من خلال تحديد مسار التفاعلات الانودية والكاثودية التي تم الاستعانة لدراستها باستخدام الطريقة الكهروكيميائية (طريقة منحنيات الاستقطاب) في غياب وجود تراكيز مختلفة المستخلصات النباتية ، إذ تم الحصول من خلالها على قيم كثافة تيار التآكل (I_{corr}) وجهد التآكل (E_{corr}) وثابت تافل الكاثودي (β_c) والانودي (β_a) وكما مبين في الجدولين (3-7) و (3-8) والاشكال (3-5) - (3-10)، وعلى ضوء هذه النتائج يمكن تفسير سلوك منحنى الاستقطاب ومعرفة اي من التفاعلين هو المسيطر من خلال قيمة جهد التآكل E_{corr} للمثبط المستعمل مقارنة مع قيمة جهد التآكل لوسط التآكل الخالي من المثبط حيث نلاحظ أن إضافة زيادة من تركيز المادة المثبطة سوف يحدث انحرافاً طفيفاً في قيم جهود التآكل ، أن هذه التغيرات التي تحصل عندما تكون الفرق بين قيمة جهد التآكل E_{corr} بوجود المثبط النباتي وبين قيمة جهد التآكل E_{corr} بعدم وجود المثبط أكثر من (80 mV) فان ذلك يدل على أن المثبط إما يكون كاثودياً أو انودياً [137] في حين نلاحظ عندما يكون مقدار الفرق بين قيمة جهد التآكل E_{corr} بوجود المثبط النباتي وبين قيمة جهد التآكل E_{corr} بعدم وجود المثبط اقل من (50 mV) فهذا يدل على أن المثبطات من النوع المختلط التأثير حيث تكون قيمة فرق جهد التآكل E_{corr} للمثبط النباتي (C) عند تركيز (200ppm) ودرجة حرارة 298K هي (0 mV) في حين ان قيمة فرق جهد التآكل E_{corr} للمثبط النباتي (R) عند تركيز (200ppm) ودرجة حرارة 298K هي (10.2 mV). لوحظ عند اضافة المثبطات النباتية (C,R) بتركيزات مختلفة فإن شكل منحنى تافل لا يتغير كثيراً إذ يميل الى التقليل من التفاعل الحاصل على قطب الانود والكاثود بصورة متساوية اي ان المثبطات تؤثر على التفاعل الأنودي والكاثودي مما يدل على أنها من النوع المختلط [138]. وهذا يعني أن اضافة المثبط إلى المحلول الحامضي يعيق التفاعل الأنودي ويؤخر عملية تحرر غاز الهيدروجين عند تفاعل الكاثود. وتعمل المثبطات من خلال امتزازها على سطح المعدن على تقليل

عدد مواقع التفاعل النشطة التي تشارك في تفاعل التآكل [139]. كذلك لوحظ عند اضافة المثبطات بتراكيز مختلفة فان شكل منحنى تافل لا يتغير كثيراً، إذ يميل الى التقليل من التفاعل الحاصل على قطب الانود والكاثود بصورة متساوية تقريباً إي إن المثبطات تؤثر على التفاعل الأنودي الكاثودي بالتأثير نفسه تقريباً مما يدل على ان المثبطات هي من النوع المختلط [138]

يمكن حساب النسبة المئوية لكفاءة التنشيط (% IE) وذلك باستعمال المعادلة (1-3) [140] :

$$\% IE = \left(\frac{I_{corr}^0 - I_{corr}}{I_{corr}} \right) \times 100 \quad (1-3)$$

وتم حساب مساحة الجزء المغطى بالمثبط (Θ) وفقاً للمعادلة (3-11):

$$\Theta = \left(\frac{I_{corr}^0 - I_{corr}}{I_{corr}} \right) \quad (2-3)$$

حيث تمثل I_{corr}^0 و I_{corr} كثافات تيار التآكل في غياب ووجود المثبط، على التوالي، إذ يُلاحظ ان قيم كثافة تيار التآكل للمحلول الخالي (blank) من المستخلصات النباتية المستخدمة بوصفها مثبطات تكون هي أكثر من قيم من كثافات التآكل في وجود المثبطات بثبوت درجة الحرارة. إذ تنخفض قيمة كثافة تيار التآكل مع زيادة تراكيز المثبطات لكل درجة حرارة مما يدل على أن إضافة المثبط يعيق هجوم التآكل. وكما في الجدولين (3-7) و (3-8) والاشكال (3-5) - (3-10)، إذ يُلاحظ إن قيمة كثافة التيار للمحلول الحامضي الخالي من المثبط (34.22 mA/cm^2) عند (298K)، في حين كانت قيمة كثافة تيار التآكل بوجود المثبط (C) ($2.5, 5.26, 7.86, 11.17 \mu\text{A/cm}^2$) عند التركيز (200, 150, 100, 50 ppm) على التوالي عند (298K). أما بوجود المثبط (R) كانت قيمة كثافة تيار التآكل ($2.99, 7.62, 10.26, 13.11 \mu\text{A/cm}^2$) عند التركيز (200, 150, 100, 50 ppm) على التوالي عند (298K). ومن ذلك يُلاحظ ان قيم كثافة تيار التآكل تقل بوجود المثبط مما يدل ان اضافة المثبط يؤدي الى اعاقه هجوم التآكل. وعلى الرغم من وجود المنحنيات الانودية والكاثودية عند إضافة المثبط، فإن الميل في المنحني الأنودي يكون أكثر قليلاً مقارنةً بالمنحني الكاثودي وهذا يعني أن حركية كل من تفاعل تفكك الفولاذ الكربوني وتحرر الهيدروجين تتغير عن طريق إضافة المثبطات، فإن العامل الذي سيتأثر أكثر هو تفكك الفولاذ. كما أن مشاركة انواع الأيونات السالبة الأخرى الموجودة في المحلول في عملية الامتزاز تسبب أيضاً تبايناً في قيم β_a و β_c [14] .

2-3-3 معدل سرعة التآكل (CR) Corrosion Rate

تم حساب معدل سرعة التآكل (CR) بوحدات (mpy) في الوسط الحامضي بغياب ووجود تراكيز مختلفة من المستخلصات النباتية كمثبطات وضمن الدرجات الحرارية $K (298,318,308)$.

حيث حُسبت قيمة معدل سرعة التآكل (CR) من العلاقة (3-3) [141]:

$$CR = K \times \frac{I_{corr}}{\rho} \times E.W \quad (3-3)$$

إذ يمثل:

CR معدل سرعة التآكل بوحدات (mpy)

I_{corr} كثافة تيار التآكل بوجود المثبط بوحدات ($\mu A/cm^2$)

EW الوزن المكافئ للمعدن أو السبيكة ($E.W_{Fe} = 27.8 \text{ gm / mol}$)

ρ كثافة المعدن أو السبيكة ($\rho_{Fe} = 7.86 \text{ g/cm}^3$)

K قيمة ثابتة تساوي ($0.1288 \text{ mpy g / } \mu A \text{ cm}$).

وتبين المعادلة (3-3) اعتمادية سرعة التآكل CR على كثافة تيار التآكل I_{corr} .

اذ يوضح الجدولين (3-7) و(3-8) ان معدل سرعة التآكل CR تكون القيم عالية نسبياً في غياب المثبطات ان تلك الزيادة سببها تفكك المعدن في التفاعل الأنودي. ان وجود المثبط يقلل من معدل سرعة التآكل لسبيكة الفولاذ الكربوني بسبب نقصان تيار التآكل على سطح السبيكة [142]. اذ نلاحظ في الجدولين أنفا الذكر ان قيم سرعة التآكل CR تقل من (15.58 mpy) بغياب المثبطات الى ($1.13, 1.36 \text{ mpy}$) بوجود المثبط (C,R) على التوالي عند التركيز (200 ppm) عند درجة الحرارة (298 K).

فضلاً عن ذلك نجد أن معدل سرعة التآكل (CR) تقل مع زيادة تركيز المثبطات النباتية المستخدمة بثبوت درجة الحرارة, بينما يزداد معدل سرعة التآكل (CR) بارتفاع درجة الحرارة وثبوت التركيز, بسبب انهيار الامتزاز الفيزيائي الضعيف اتجاه ارتفاع درجة الحرارة [143]. وكما في الجدولين (3-7) و (3-8) نلاحظ قيم سرعة التآكل (CR) للمثبط (C) تقل من ($1.13 - 5.08 \text{ mpy}$) مع زيادة

تركيز المثبط من (50, 100, 150, 200 ppm) على التوالي بثبوت درجة الحرارة 298K في حين تقل قيم معدل سرعة التآكل (CR) للمثبط (R) من (5.97, 4.67, 3.47, 1.36mpy) مع زيادة التركيز (50, 100, 150, 200 ppm) للمثبط على التوالي وبثبوت درجة الحرارة عند (298K).

وبصورة عامة نجد (وللتركيز الواحد من المادة المثبطة) ارتفاع معدل سرعة التآكل بزيادة درجة الحرارة من 298 K الى 318K وهذا ناجم عن زيادة ذوبان طبقة اوكسيد الحديدك المائي (الصدأ) بزيادة درجة الحرارة [144]. إذ نُلحظ في الجدولين (3-7) و (3-8) أن معدل سرعة التآكل CR للمثبط (C) عند تركيز (200ppm) (1.13, 2.90, 4.92mpy) عند درجة الحرارة (298,308,318K) على التوالي. في حين ان سرعة التآكل للمثبط (R) عند تركيز (200ppm) (1.36, 2.66, 3.91 mpy) عند درجة الحرارة (298,308,318K) على التوالي.

3-3-3 تأثير درجة الحرارة والتركيز

بإمكان تلخيص نتائج كفاءة التثبيط ومعدل سرعة التآكل (CR) المثبتة في الجدولين (3-7) و (3-8) والشكلين (3-11) و (3-12) على النحو التالي:

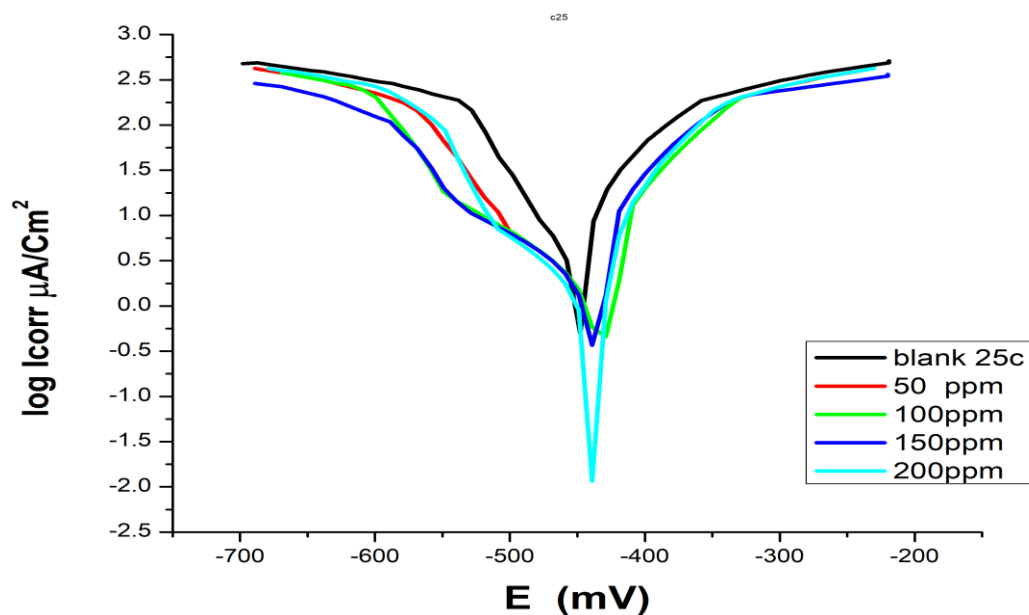
- 1- الزيادة في قيم معدل سرعة التآكل (CR) مع زيادة درجة الحرارة وانخفاضها مع زيادة تركيز المثبط وكما ذكر في نهاية الفقرة السابقة.
 - 2- أن قيم كفاءة التثبيط (IE%) تتناقص مع زيادة درجة الحرارة للتركيز نفسه. إذ نُلحظ في الجدول (3-7) ان قيم كفاءة التثبيط (IE%) للمثبط (C) (92.69, 84.64, 78.00%) تقل بزيادة درجة الحرارة (298,308,318K) على التوالي عند تركيز (200ppm). في حين نلاحظ في الجدول (3-8) ان قيم كفاءة التثبيط (IE%) للمثبط (R) (91.26, 85.94, 82.52%) تقل بزيادة درجة الحرارة (298,308,318K) على التوالي عند تركيز (200ppm).
- في حين أن قيم كفاءة التثبيط (IE%) تزداد مع زيادة تركيز المثبط بثبوت درجة الحرارة. إذ نُلحظ في الجدول (3-7) ان قيم كفاءة التثبيط (IE%) للمثبط (C) (67.35, 77.03, 84.62, 92.69%) مع زيادة تركيز المثبط (50, 100, 150, 200 ppm) على التوالي وعند درجة الحرارة 298K , وكذلك الحال عند باقي درجات الحرارة (308, 318K) وكذلك الحال في المثبط النباتي (R). وقد يكون هذا بسبب عملية الامتزاز الفيزيائي للمثبط على سطح الفولاذ الكربوني والذي يفضل درجة الحرارة المنخفضة لذلك تقل كفاءة التثبيط مع ارتفاع درجة الحرارة. في حين أن كفاءة التثبيط تزداد مع زيادة درجة الحرارة في الامتزاز الكيميائي. [145]

جدول (7-3) نتائج منحنيات الاستقطاب لتآكل الفولاذ الكربوني بتراكيز مختلفة من المثبط النباتي (C) في محلول حامض الهيدروكلوريك (M1) وفي المدى الحراري (K 298-318)

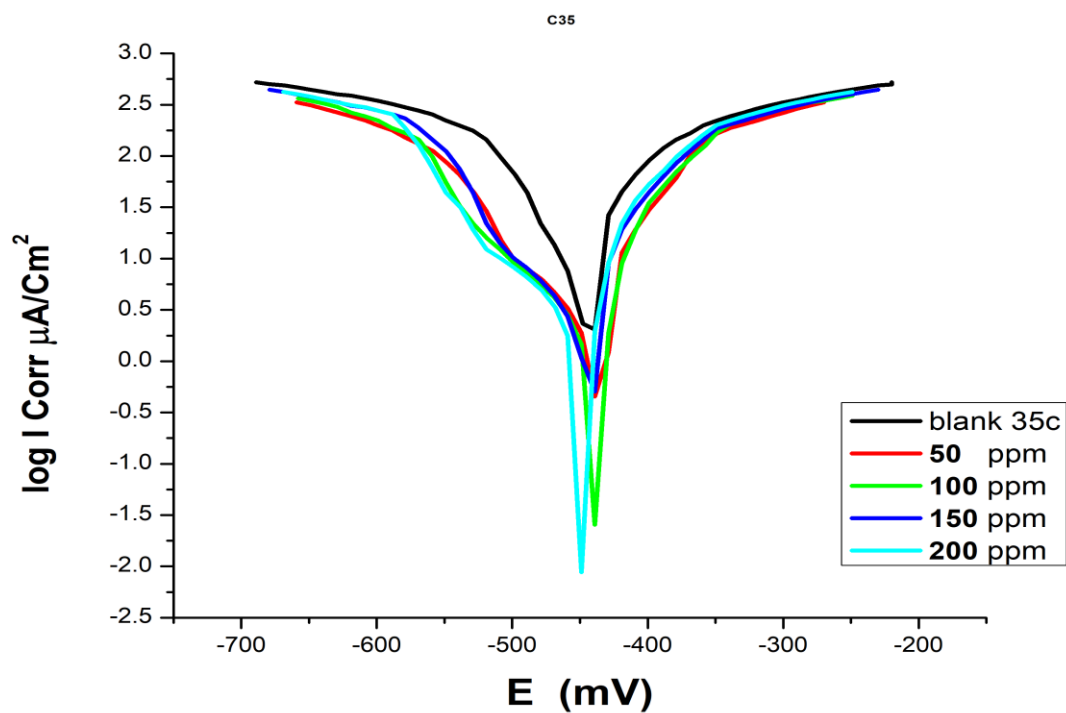
Temp (K)	Inhibitor Conc	E _{corr} (mV)	CR (mpy)	I _{corr} (μA/Cm ²)	β _a (mv/Dec)	β _c (mv/Dec)	% IE	θ
298	blank	-439.1	15.58	34.22	105.7	-128.6	0	0
308		-449.0	18.92	41.54	113.2	-159.1	0	0
318		-449.3	22.39	49.15	80.5	-59.4	0	0
298	50 ppm	-439.2	5.08	11.17	82.5	-154.9	67.35	0.67
308		-438.5	7.05	15.48	97.1	-141.4	62.73	0.62
318		-449.2	10.96	24.07	85.9	-116.9	51.02	0.51
298	100 ppm	-428.4	3.58	7.86	67.0	-131.7	77.03	0.77
308		-439.3	5.48	12.03	79.1	-135.9	71.03	0.71
318		-437.4	9.17	20.15	78.2	-161.1	59.00	0.59
298	150 ppm	-438.9	2.39	5.26	55.1	-126.1	84.62	0.84
308		-438.8	4.21	9.25	59.5	-126.1	77.73	0.77
318		-448.9	7.51	16.49	68.1	-137.2	66.44	0.66
298	200 ppm	-439.1	1.13	2.50	48.6	-97.7	92.69	0.92
308		-449.3	2.90	6.38	53.8	-115.3	84.64	0.84
318		-449.1	4.92	10.81	46.6	-80.2	78.00	0.78

الجدول (8-3) نتائج منحنيات الاستقطاب لتآكل سبيكة الفولاذ الكربوني بتركيز مختلفة من المثبط (R) في محلول حامض الهيدروكلوريك (1 M) وفي المدى الحراري (298 -318 k)

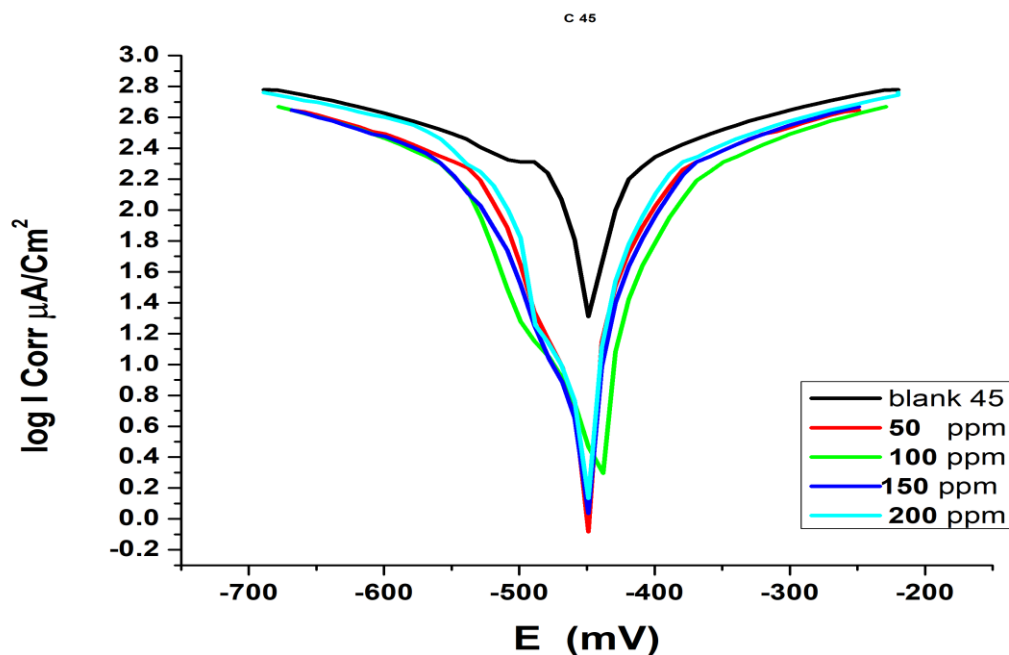
Temp(K)	Inhibitor Conc	E _{corr} (mV)	CR (mpy)	I _{corr} (μ A/Cm ²)	β_a (mv/Dec)	β_c (mv/Dec)	% (IE)	θ
298	Blank	-439.1	15.58	34.22	105.7	- 128.6	0	0
308		-449.0	18.92	41.54	113.2	-159.1	0	0
318		-449.3	22.39	49.15	80.5	- 59.4	0	0
298	50 ppm	- 419.2	5.97	13.11	83.5	-155.2	61.68	0.61
308		- 408.8	8.82	19.37	105.0	-117.4	53.37	0.53
318		- 429	12.04	26.43	78.8	-159.6	46.22	0.46
298	100 ppm	-388.7	4.67	10.26	80.2	-146.8	70.01	0.70
308		- 418.9	7.27	15.97	80.4	-142.5	61.55	0.61
318		- 429.0	10.90	23.94	87.3	-135.2	51.23	0.51
298	150 ppm	-408.8	3.47	7.62	78.3	-163.5	77.73	0.77
308		-409	5.32	11.70	76.7	-147.8	71.83	0.71
318		-349.6	7.77	17.07	86.2	-180.1	65.26	0.65
298	200 ppm	-428.9	1.36	2.99	63.9	-115.6	91.26	0.91
308		-408.4	2.66	5.84	56.9	-118.4	85.94	0.85
318		-418.9	3.91	8.59	53.1	-128.9	82.52	0.82



الشكل (3-5): منحنيات الاستقطاب لتآكل الفولاذ الكربوني وبتراكيز مختلفة للمثبت (C) عند 298 K

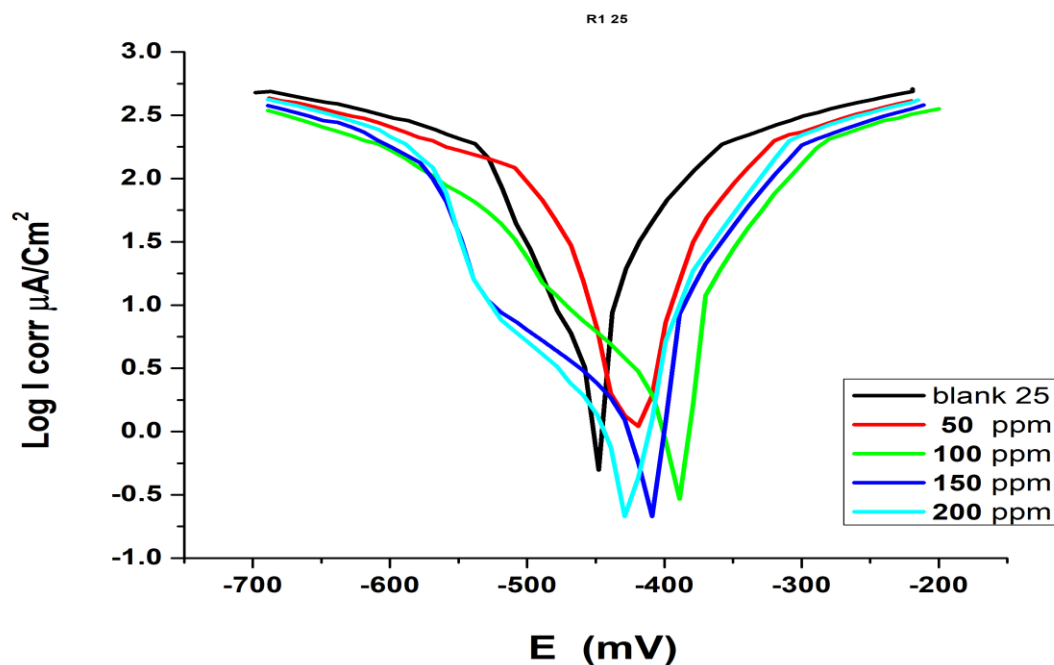


الشكل (3-6): منحنيات الاستقطاب لتآكل الفولاذ الكربوني وبتراكيز مختلفة للمثبت (C) عند 308 K



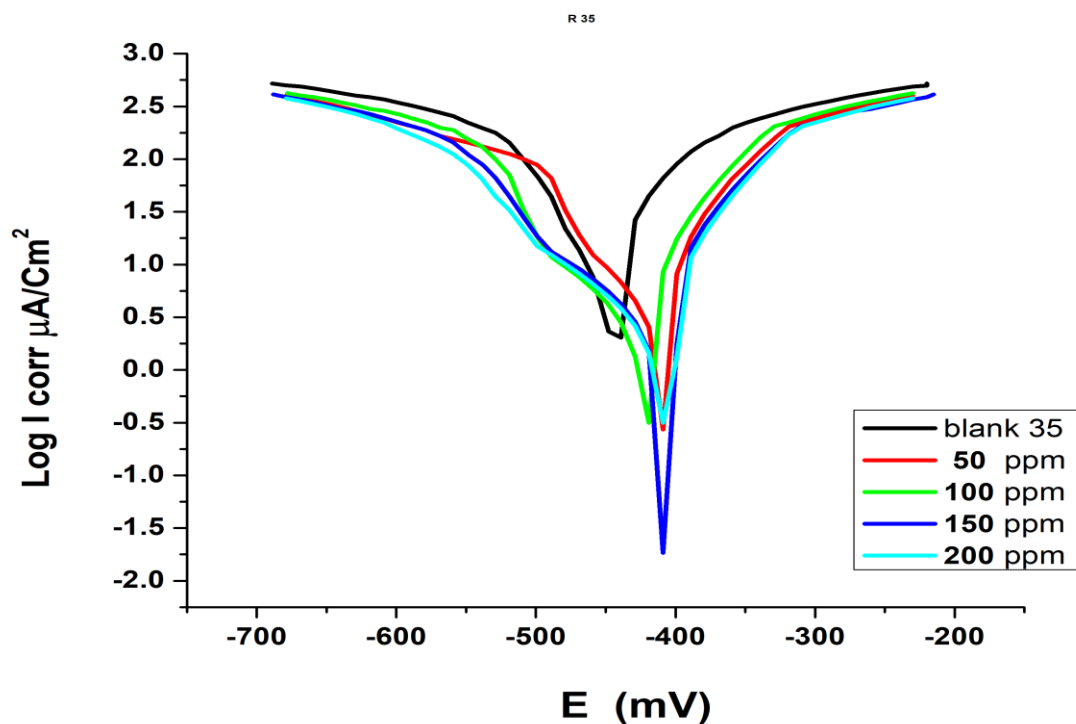
الشكل (3-7): منحنيات الاستقطاب لتآكل الفولاذ الكربوني وبتركيزات مختلفة للمثبت (C) عند

318 K

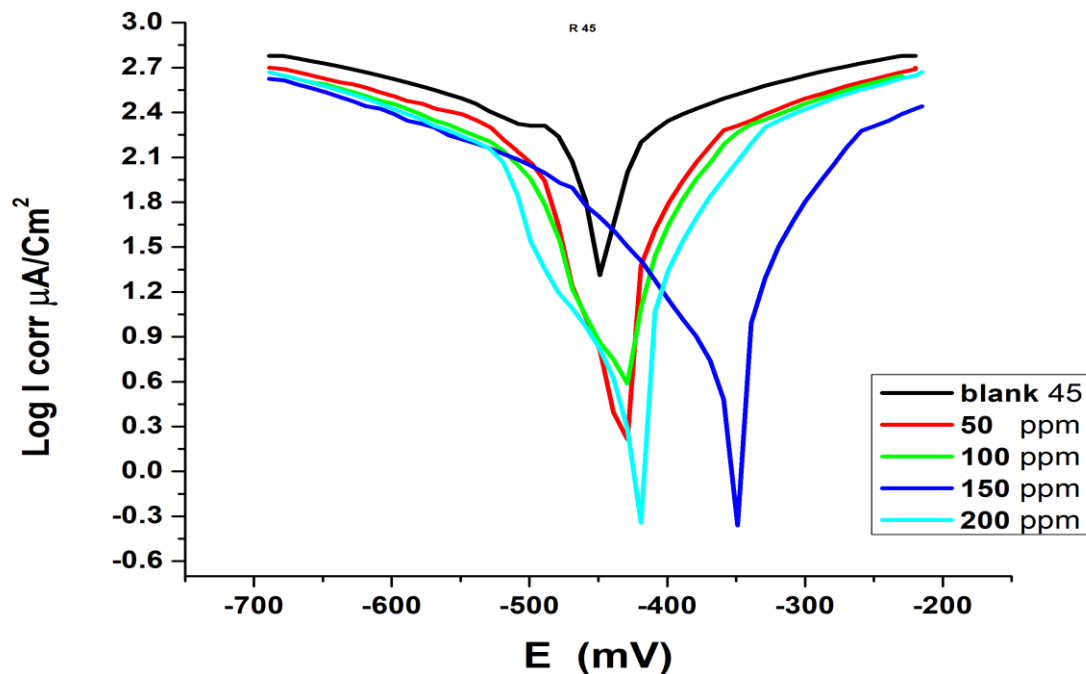


الشكل (3-8): منحنيات الاستقطاب لتآكل الفولاذ الكربوني وبتركيزات مختلفة للمثبت

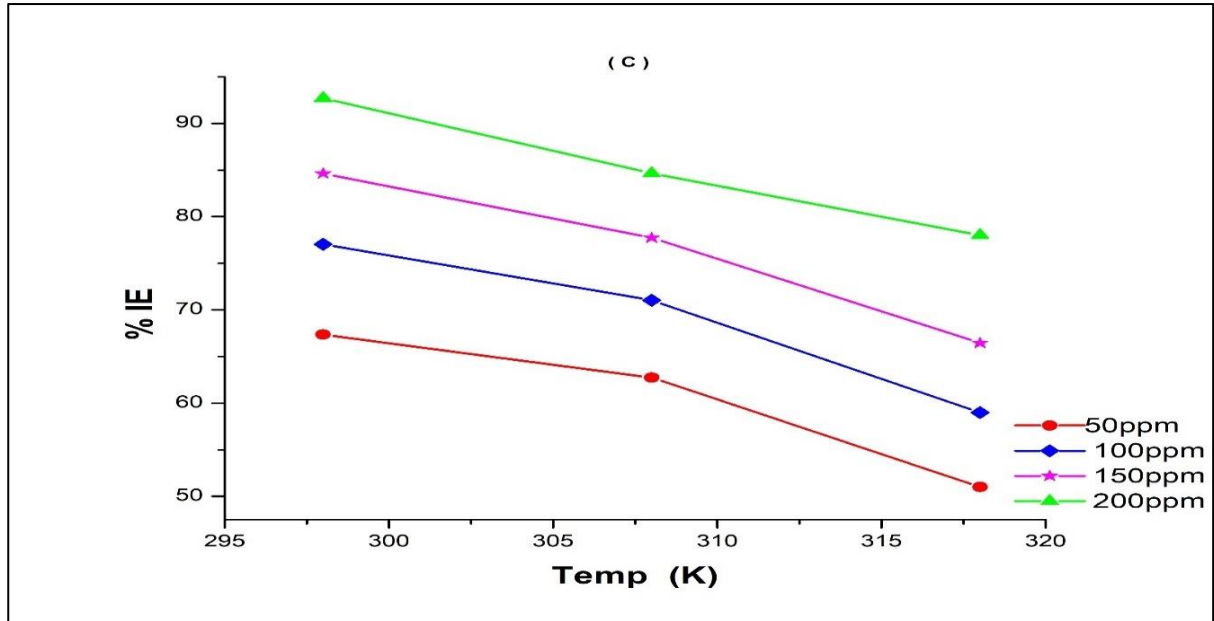
(R) عند 298 K



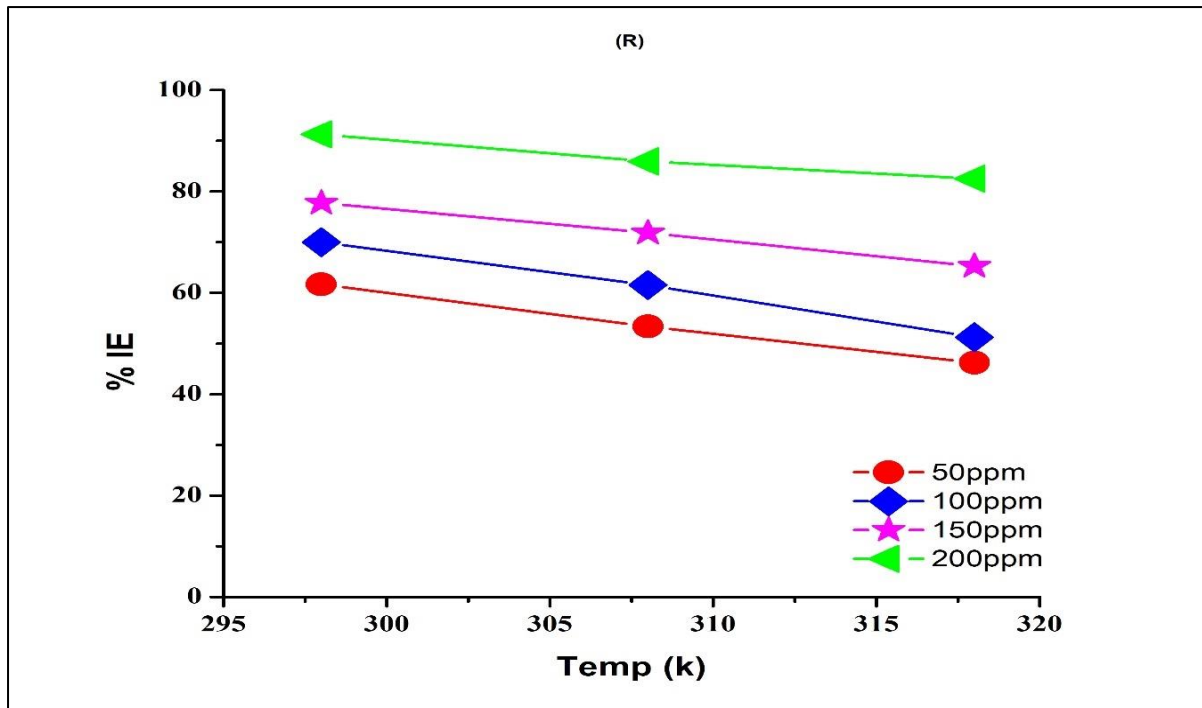
الشكل (3-9): منحنيات الاستقطاب لتآكل الفولاذ الكربوني وبتركيز مختلفة للمثبط (R) عند 308 K



الشكل (3-10): منحنيات الاستقطاب لتآكل الفولاذ الكربوني وبتركيز مختلفة للمثبط (R) عند 318K



الشكل (3- 11): العلاقة بين كفاءة التثبيط ودرجة الحرارة في المحاليل الحامضية المختلفة التركيز من المثبط (C) ولمدى من درجات الحرارة (298 – 318 K)



الشكل (3- 12): العلاقة بين كفاءة التثبيط ودرجة الحرارة في المحاليل الحامضية المختلفة التركيز من المثبط (R) ولمدى من درجات الحرارة (298 – 318 K)

4-3 دراسة المتغيرات الحركية لعملية التآكل

تم تتبع حركية تفاعل التآكل ودراسة تأثير درجة الحرارة لسبيكة الفولاذ الكربوني في وسط آكل من حامض الهيدروكلوريك وبتركيز (1M) بغياب ووجود المثبطات وعند تراكيز معينه وحُسبت كذلك عدد من الدوال الثرموديناميكية لعملية الامتزاز لمعرفة سلوك ومدى قوة امتزاز المثبط المعين على سطح السبيكة. تم دراسة تأثير درجة الحرارة على سرعة تآكل الفولاذ الكربوني ضمن المدى الحراري (298-318 K) اعتمادا على معادلة أرينيوس [146].

$$\text{Log } I_{\text{corr}} = \text{Log } A - \frac{E_a}{2.303 RT} \quad (4-3)$$

إذ يمثل (I_{corr}) تيار التآكل، (A) ثابت أرينيوس، E_a طاقة التنشيط، (T) درجة الحرارة

(R) ثابت الغازات ($8.3143 \text{ J. K}^{-1} \cdot \text{Mol}^{-1}$).

عند رسم مخطط بين قيم $\text{Log } I_{\text{corr}}$ مقابل قيم $1/T$ كما في الاشكال (3 - 13) و (3 - 14) نحصل على خط مستقيم اذا ان ميل العلاقة الخطية هو ($-E_a./2.303 R$) والقطع فيها هو ($\text{Log } A$)، اذ تستخدم المعادلة (4-3) بأيجاد طاقة التنشيط E_a التي ستستخدم في ايجاد الدوال الحركية الأخرى. ومن معادلة الحالة الانتقالية [147] (3 - 5) تم حساب الدوال الحركية للمعقد المنشط (المثبط مع السبيكة) كالتالي التنشيط (ΔH^*) وانتروبي التنشيط (ΔS^*) والتي تعطي معلومات عن كيفية تكوين المعقد المنشط لعملية التآكل في الوسط الحامضي .

$$\text{Log } \frac{I_{\text{corr}}}{T} = \text{Log } \frac{R}{N_h} + \left(\frac{\Delta S^*}{2.303} \right) - \left(\frac{\Delta H^*}{2.303 RT} \right) \quad (5-3)$$

حيث تمثل N = عدد افوكادرو ($6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)، h = ثابت بلانك ($6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)، وعند رسم قيم ($\text{Log } \frac{I_{\text{corr}}}{T}$) مقابل ($\frac{1}{T}$) وكما مبين في الاشكال (3 - 15) (3 - 16) تم الحصول على علاقة خطية يكون ميلها ($\frac{-\Delta H^*}{2.303 R}$) يتم من خلالها ايجاد قيمة (ΔH^*) وقطعها هو ($\text{Log } \frac{R}{hN} + \left(\frac{\Delta S^*}{2.303 R} \right)$) الذي يتم من خلاله ايجاد قيمة (ΔS^*).

وبعد ايجاد قيم (ΔS^*) و (ΔH^*) يمكن حساب ΔG^* بموجب المعادلة (3-6) [148].

$$\Delta G^* = \Delta H^* - T \Delta S^* \quad (6-3)$$

يبين الجدول (9-3) قيم (Ea.) و (ΔS^*) و (ΔH^*) و (ΔG^*) لتآكل الفولاذ الكربوني في حامض الهيدروكلوريك (1M) بوجود وبعدم وجود المثبط، إذ يُلاحظ زيادة في طاقة التنشيط (Ea.) لعملية التآكل بوجود المثبط مقارنة بغيابه، حيث يُلاحظ في الجدول المذكور انفاً أن طاقة التنشيط (Ea.) في الوسط الحامضي كان مقدارها ($14.27 \text{ KJ.mol}^{-1}$)، في حين كانت قيم (Ea.) للوسط الحامضي بوجود للمثبطين (C,R) ($57.58, 41.68 \text{ KJ.mol}^{-1}$) على التوالي عند تركيز (200ppm)، مما يفسر تكون طبقة رقيقة من المثبط تمتاز على سطح السبيكة المستخدمة تكون ذات طبيعة فيزيائية (كهروستاتيكية) والذي بدوره يمنع أو يُحد من تفاعل أو انتقال الشحنة من سطح السبيكة [149] وهذا يتطابق مع تناقص كفاءة التنشيط مع ارتفاع درجة الحرارة والذي يعني حصول عملية امتزاز فيزيائية (Physisorption) في المرحلة الأولى تليها عملية الامتزاز الكيميائي (Chemisorption) [150]. كذلك يُلاحظ زيادة في طاقة التنشيط مع زيادة تركيز المادة المثبطة كما في الجدول (9-3) يُلاحظ أن طاقة التنشيط للمثبط (C) مساوية إلى ($57.85, 45.00, 37.04, 30.19 \text{ KJ.mol}^{-1}$) عند التركيز (50, 100, 150, 200ppm) على التوالي. كذلك لوحظ قيم طاقة التنشيط للمثبط (R) ($41.68, 31.79, 33.39, 27.65 \text{ KJ.mol}^{-1}$) عند التركيز (50, 100, 150, 200ppm) على التوالي. إذ يُلاحظ زيادة في طاقة التنشيط مع زيادة تركيز المادة المثبطة وذلك يؤدي إلى حصول تناقص في معدل انحلال السبيكة، أي حصول تزايد في كفاءة التنشيط مع انخفاض درجة الحرارة وهذا يؤكد حصول عملية امتزاز فيزيائية ثم تليها عملية امتزاز كيميائية [151].

كما تشير القيم موجبة لإنثالبي التنشيط (ΔH^*) إلى أن طبيعة التفاعل هوماص للحرارة أي امتزاز كيميائي، وأنها تزداد بزيادة تركيز المثبط مقارنة بغيابه، كما في الجدول (9-3) يبين قيم تغير الإنثالبي (ΔH^*) للمثبط (C) أنها موجبة وتزداد بزيادة التركيز ($55.28, 42.44, 34.48, 27.63 \text{ KJ.mol}^{-1}$) عند التركيز (50, 100, 150, 200ppm) على التوالي. وكذلك الحال في المثبط (R) إذ كانت قيم (ΔH^*) ($39.12, 29.23, 30.83, 25.09 \text{ KJ.mol}^{-1}$) عند التركيز (50, 100, 150, 200ppm) على التوالي، وهذا يعني بأن تفاعل تفكك الفولاذ الكربوني في حمض الهيدروكلوريك (1M) يكون تفاعلاً ماصاً وعملية التفكك تكون صعبة [152].

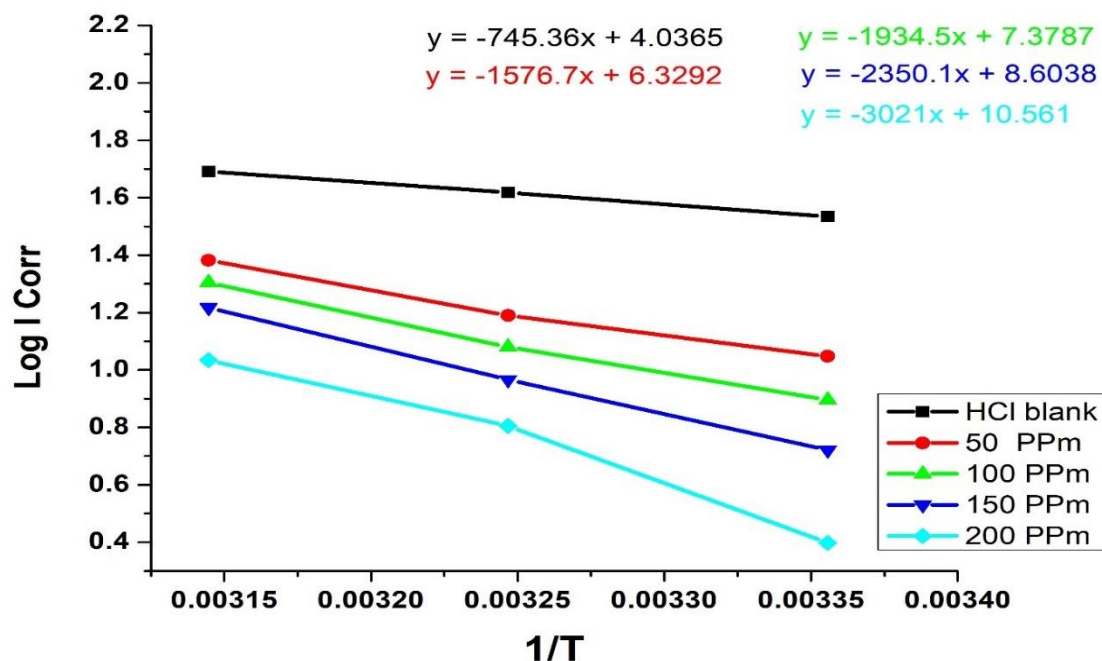
نُلاحظ من خلال النتائج المثبتة في الجدول (9-3) القيمة السالبة لإنتروبي التنشيط (ΔS^*) أعلى بوجود المثبط والتي تزداد بزيادة التركيز. كما نلاحظ ذلك في نتائج المثبط (C) (-, -0.08, -0.11, -0.13) ($\text{KJ.mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) عند التركيز (50, 100, 150, 200ppm) على التوالي. وقيم تغير لإنتروبي للمثبط (R) هي ($-0.10, -0.13, -0.12, -0.14 \text{ KJ.mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) عند التركيز (50, 100, 150, 200ppm) على التوالي. في حين كانت قيمة (ΔS^*) للمحلول الحامضي دون وجود المثبط

($-0.18 \text{ KJ. mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) مما يدل على امتزاز المواد المتفاعلة بشكل اقل عشوائية (الانتظام) والتي تتحول الى معقدات فعالة ممتزة على سطح سبيكة الفولاذ الكربوني. اكثر استقراراً [153]

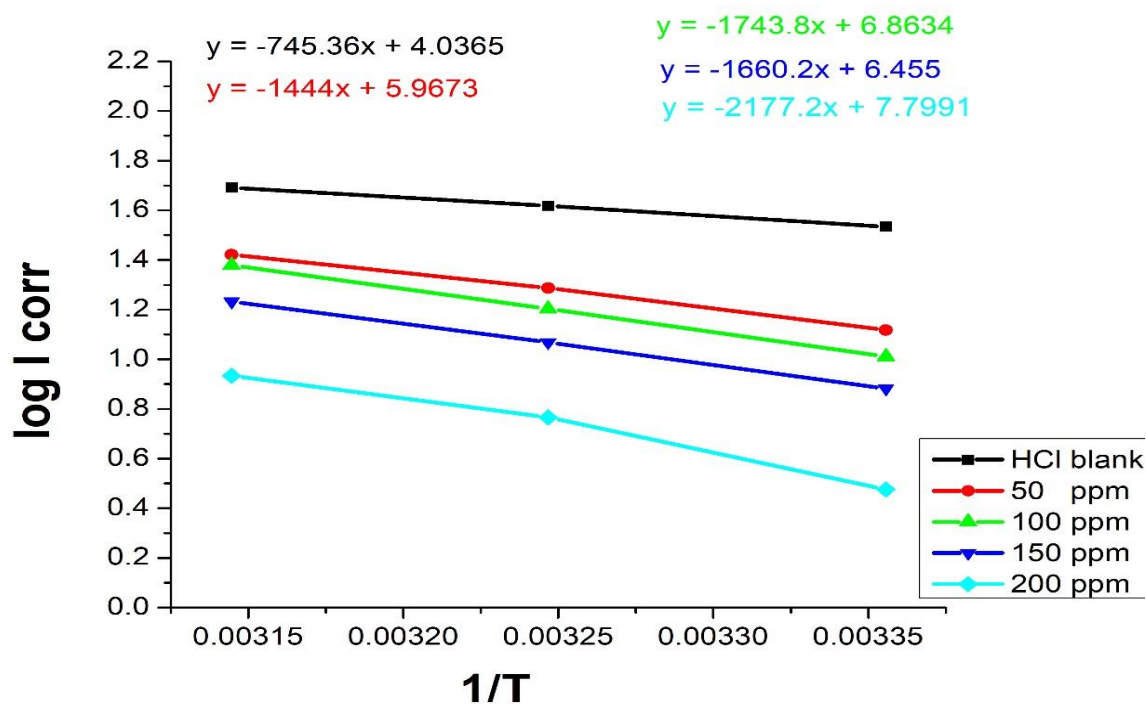
إن قيم الطاقة الحرة القياسية للامتزاز (ΔG^*) العالية والموجبة تدل على أن تفاعل التآكل غير تلقائي وبالتالي تثبيط أكبر لتفاعل تآكل الفولاذ الكربوني [151] [154]. حيث نلاحظ من خلال النتائج المثبتة في الجدول (9-3) ان قيم (ΔG^*) للمحلول الحامضي دون وجود المثبط تساوي (67.80 , 66.0 , 64.20 KJ.mol^{-1}) عند درجة حرارة (298,308, 318 K) على التوالي وايضاً لوحظ انها تزداد بوجود المثبط النباتي حيث كانت بوجود المثبط (C) كانت قيم (ΔG^*) (71.61 , 71.09 , 70.58 KJ.mol^{-1}) عند درجة حرارة (298,308, 318 K) على التوالي. وأيضاً قيم (ΔG^*) للمثبط (R) كانت (, 69.66 KJ.mol^{-1} , 72.26 , 70.55) عند درجة حرارة (298,308, 318 K) على التوالي عند التركيز 200ppm.

الجدول (3 - 9): قيم بعض الدوال الحركية ΔS^* , ΔH^* , ΔG^* , E_a , بغياب ووجود تراكيز مختلفة من المثبط (R, C) في الوسط الحامضي وضمن المدى الحراري 298 – 318 K.

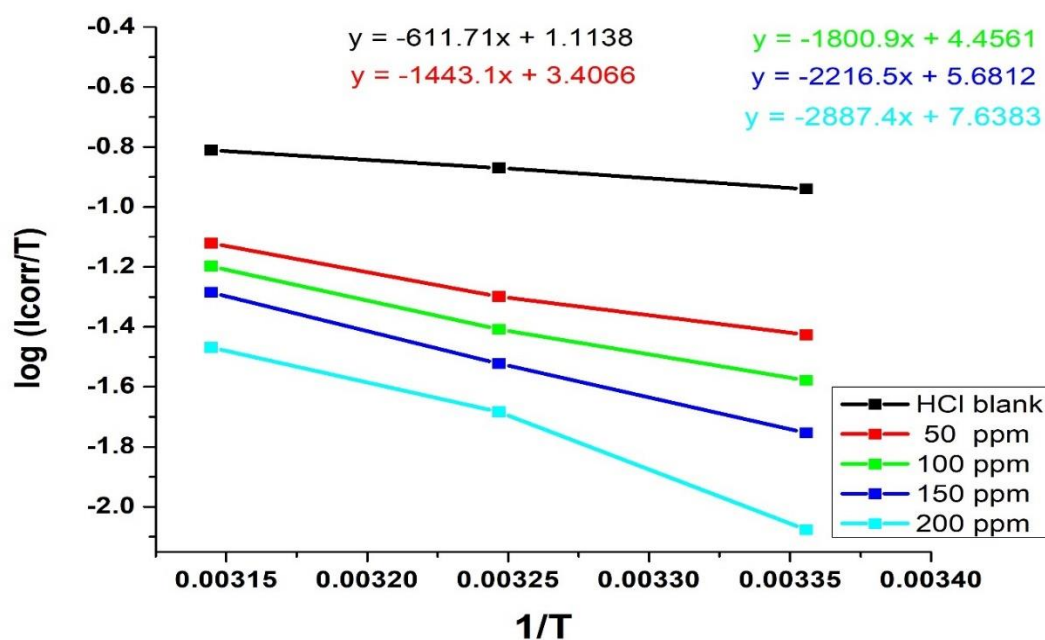
Comp.	Conc.	E_a (KJ.mol ⁻¹)	ΔS^* (KJ. mol ⁻¹ . K ⁻¹)	ΔH^* (KJ.mol ⁻¹)	ΔG^* (KJ.mol ⁻¹)		
					298 K	308 K	318 K
HCL	1 M	14.27	-0.18	11.71	64.20	66	67.80
C	50 ppm	30.19	-0.13	27.63	67.07	68.39	69.72
	100ppm	37.04	-0.11	34.48	67.93	69.06	70.18
	150ppm	45.00	-0.08	42.44	68.90	69.78	70.68
	200ppm	57.85	-0.05	55.28	70.58	71.09	71.61
R	50 ppm	27.65	-0.14	25.09	66.59	67.99	69.38
	100ppm	33.39	-0.12	30.83	67.22	67.95	70.18
	150ppm	31.79	-0.13	29.23	68.44	69.25	71.22
	200ppm	41.68	-0.10	39.12	69.66	70.55	72.26



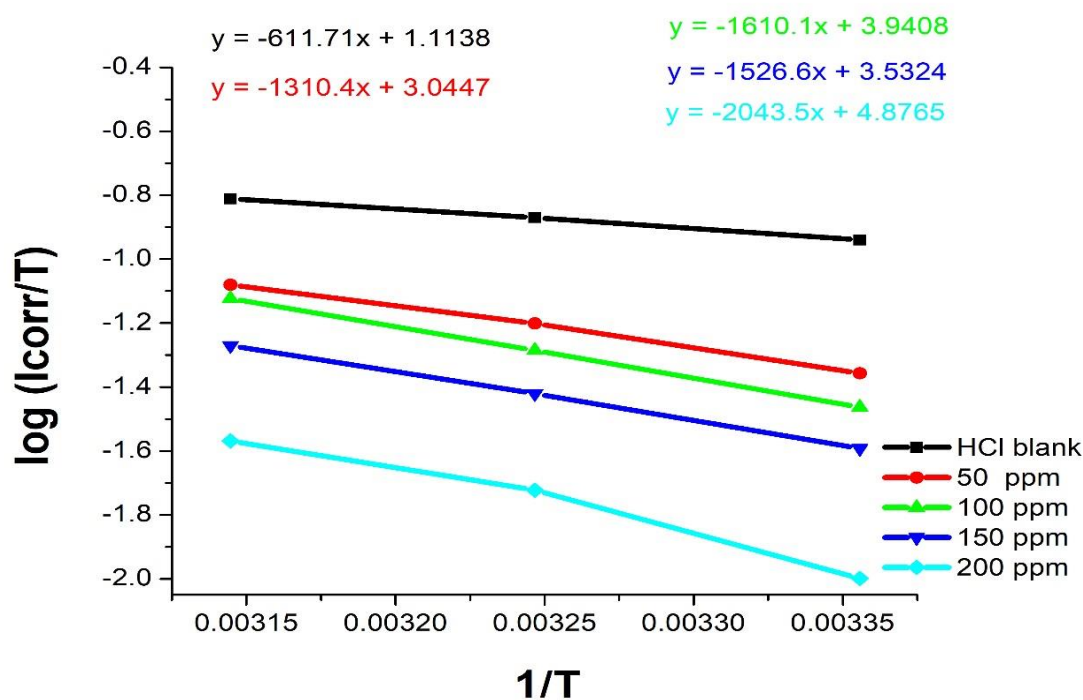
الشكل (13-3): علاقة أرينيوس بغياب ووجود المثبط (C) وضمن المدى الحراري (298-318 K)



الشكل (14-3): علاقة أرينيوس بغياب ووجود المثبط (R) وضمن المدى الحراري (298-318 K)



الشكل (3- 15) علاقة الحالة الانتقالية وحساب الانثالبي و النتروني بغياب ووجود المثبط
وضمن المدى الحراري (298-318 K)

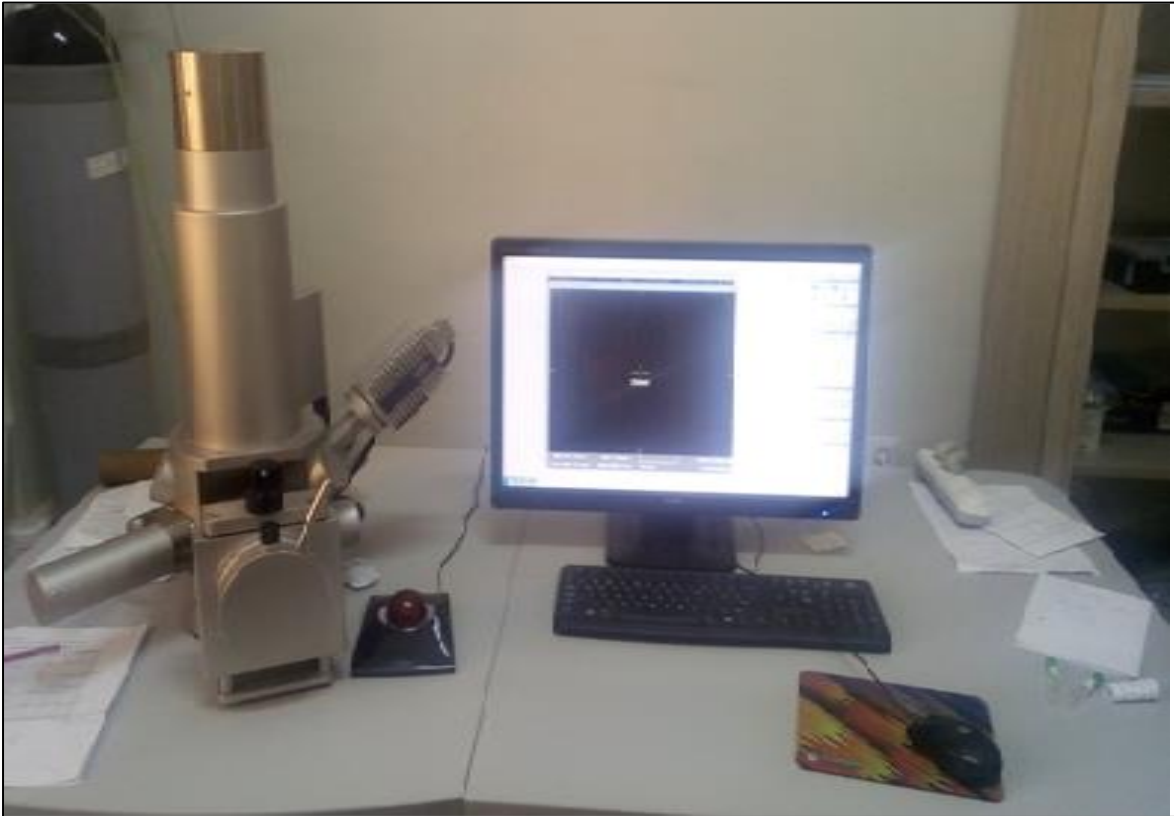


الشكل (3- 16) علاقة الحالة الانتقالية وحساب الانثالبي والانتروبي بغياب ووجود المثبط
(R) وضمن المدى الحراري (298 -318 K)

5-3 المسح المجهر الإلكتروني (SEM)

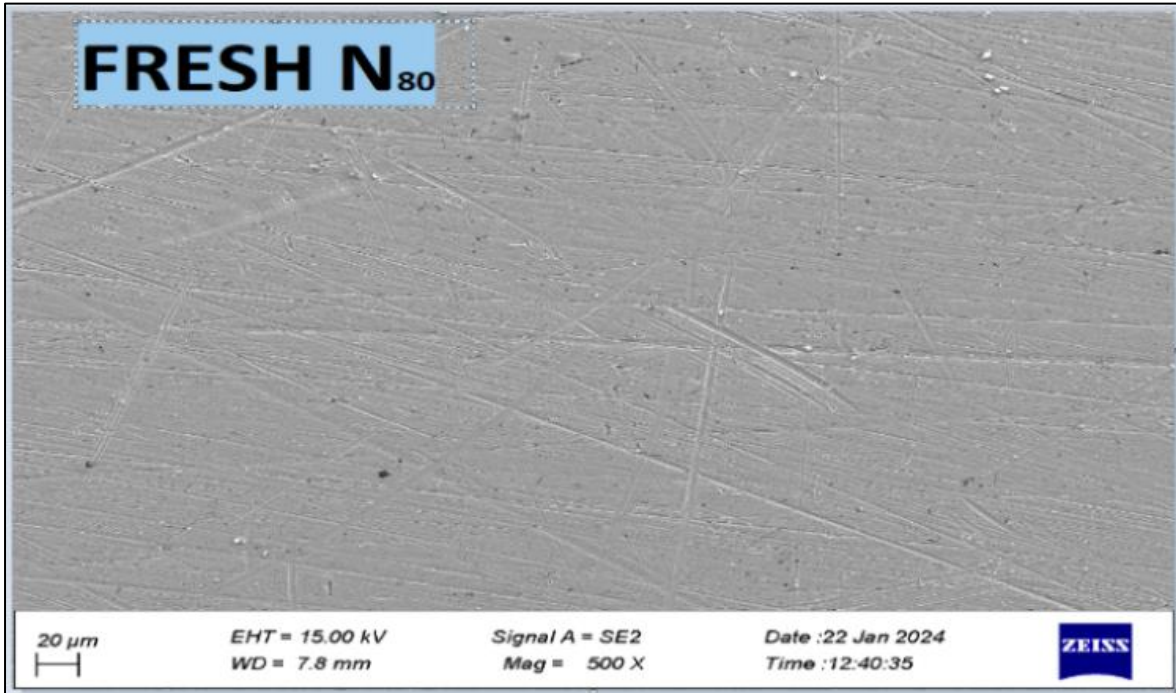
Morphological Study of the Surface of Carbon Steel Alloy Using Scanning Electron Microscopy (SEM) Technique

يسمح المسح المجهر الإلكتروني بالتصوير المورفولوجي للأسطح، ومراقبة النقوش الطبوغرافية (تضاريس سطح السبيكة) للعينات. وربما تحليلها الكيميائي عندما يقترن المجهر بمطياف الأشعة السينية المشتت للطاقة [155]. يتكون مبدأ الفحص المجهر الإلكتروني من مسح سطح عينة وذلك عن طريق قصفها بحزمة من الإلكترونات (electrons beam) مما أدى إلى توليد إلكترونات ثانوية. كشفت عن التغيرات المورفولوجية على سطح السبيكة، يجب أن تكون المواد التي تم تحليلها موصلة من أجل تجنبها ظاهرة الشحن بسبب الإلكترونات. يمكن إجراء عملية المعدنة على سبيل المثال في الكربون أو الذهب تحت تأثير شعاع الإلكترون المتسارع وتشتت الإلكترونات ويتم جمع المرتبات الثانوية المنبعثة من العينة بشكل انتقائي بواسطة أجهزة الكشف إلى إرسال إشارة إلى أشعة الكاثود [156] والشكل (3-17) يوضح جهاز المسح المجهر الإلكتروني (SEM)

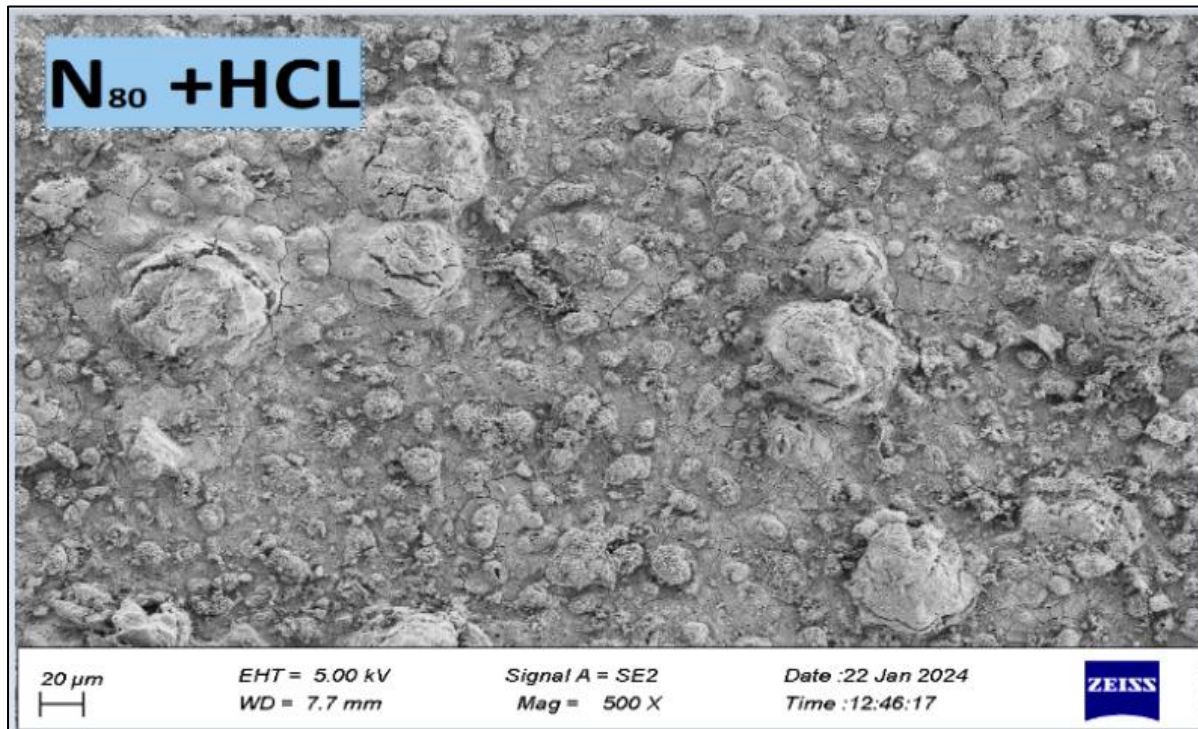


الشكل (3-17) جهاز المسح المجهر الإلكتروني (SEM)

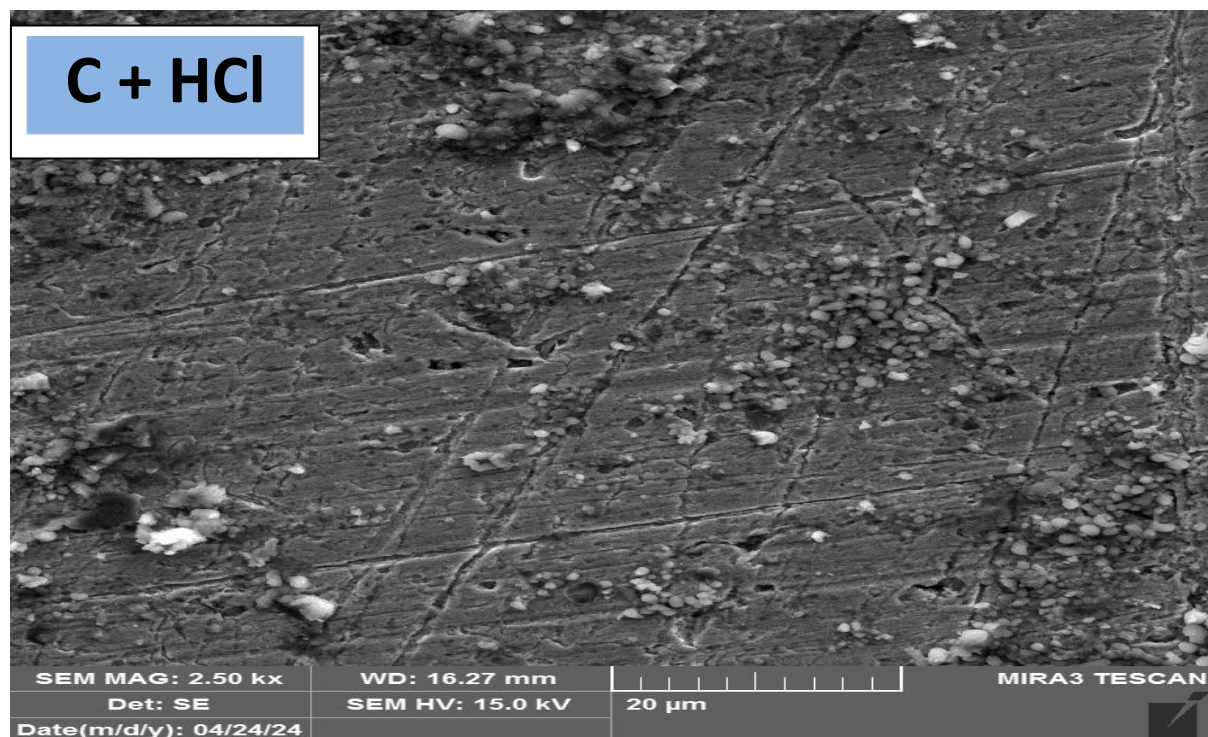
استخدمت تقنية المسح الإلكتروني المجهرى (SEM) لملاحظة التغيرات المورفولوجية على سطح سبيكة الفولاذ الكربوني , اذ تُظهر الصور المجهرية لتقنية (SEM) التي تم الحصول عليها لسطح الفولاذ الكربوني بعدم وجود الوسط الحامضي الآكل وكذلك بغياب وجود التركيز الأفضل من المثبط (200 PPM) بدرجة حرارة (25C°) لمدة (1hr) من الغمر، اذ تظهر الصورة المجهرية في الشكل (18-3) إن سطح سبيكة الفولاذ الكربوني بعدم وجود الوسط الآكل سطحا املساً وخالياً من الضرر أو التشوه , اما في حالة الصورة المجهرية والواضحة في الشكل (19-3) اي بوجود الوسط الاكل (HCl 1M) وعدم وجود المثبطات نلحظ الضرر والتشوه الشديد نتيجة التآكل الذي يسببه حامض HCl, كما تظهر الصور المجهرية الواضحة في الشكلين (20-3) و (21-3) اي بوجود المثبط (R,C) سطحا املساً وقليل الضرر والتشوه بشكل واضح ويعزى ذلك الى الدرجة العالية من الحماية التي توفرها تكون طبقة رقيقة على سطح الفولاذ الكربوني نتيجة امتزاز الكيميائي او الفيزيائي للمثبطات على السطح الفولاذ الكربوني .



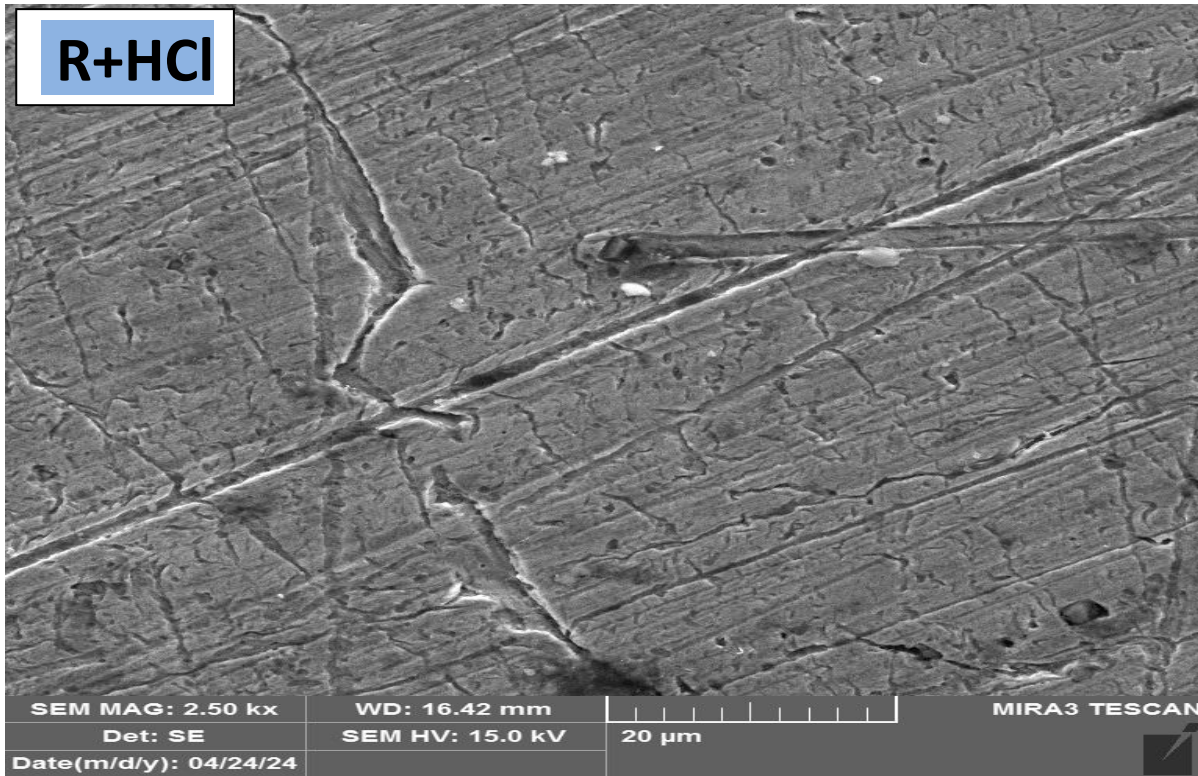
الشكل (18-3) صور تقنية (SEM) للفولاذ الكربوني (Fresh Carbon Steel)



الشكل (19-3) صور تقنية (SEM) للفلوآذ الكربوني في الوسط الحامضي



الشكل (20-3) صور تقنية (SEM) للفلوآذ الكربوني في الوسط الحامضي بوجود المضبط (C)



الشكل (21-3) صور تقنية (SEM) للفلولاذ الكربوني في الوسط الحامضي بوجود المضبط (R)

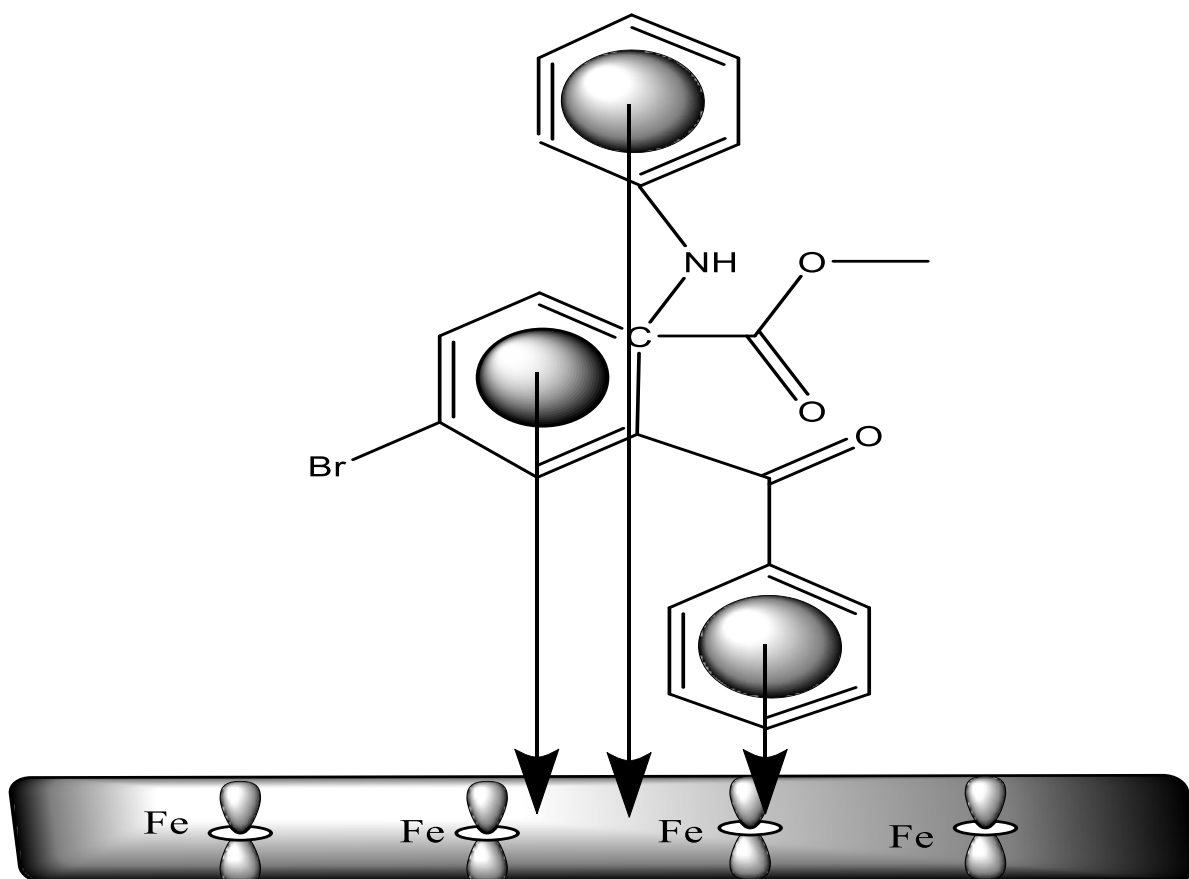
3-6 ميكانيكية عمل المثبطات Mechanism of action of inhibitors

تمنع بعض المستخلصات المائية النباتية تفاعل تفكك المعادن المغمورة في الوسط المسبب للتآكل. وان سبب هذه الأداء التنشيطي، هوانها تحتوي على مركبات عضوية معروفة بقدرتها على قمع التآكل عن طريق امتزازها على سطح المعدن مكونة طبقة عازلة، وبسبب وجود ذرات أو مجموعات ذات سالبية كهربائية عالية تصبح هذه المواد فعالة. ومن خلال التشخيص تحتوي المركبات قيد الدراسة على ذرات (N,O) أو مجموعات (C=N, N=N, C=C) بالإضافة إلى وجود نظام π وهو إلكترون توفره الحلقات العطرية وبالتالي، فإن أحد المسارات المعقولة التالية يمكن أن يفسر الآلية المثبطة للمواد الكيميائية قيد الدراسة [157]: -

- 1- احتمالية تفاعل الحلقة العطرية للمثبط مع ذرات سطح المعدن، مما يسبب تداخل الكثرونات π مع أوربيتالات d لسطح الفلز وبذلك يشكل درعاً على سطح المعدن يمنع المواد المسببة للتآكل من اختراقه ويبطئ عملية التآكل الكيميائي [158] كما في الشكلين (22-3) و (24-3)

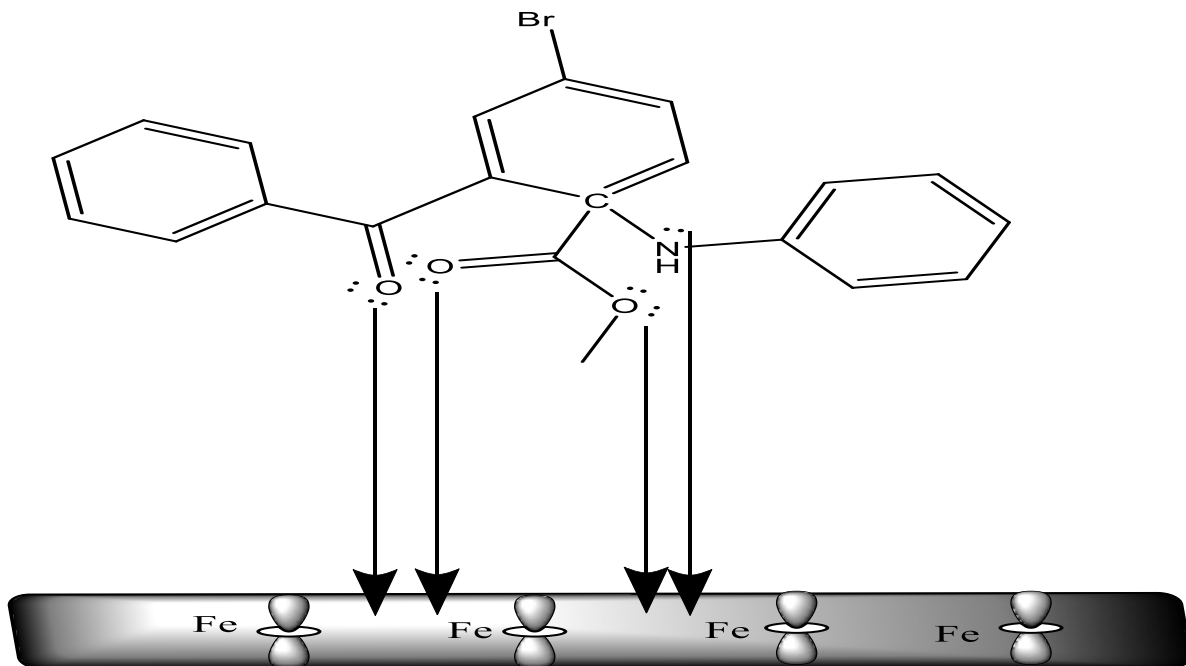
2- احتمالية امتزاز المثبط النباتي المستخدم على سطح الفلز امتزازا كيميائيا من خلال تداخل المزدوجات الالكترونية الحرة **Lone pairs** الموجودة على ذرات النيتروجين **N** والاكسجين **O** مع اوربيتالات d الفارغة او الممتلئة جزئيا في الفلز بواسطة أواصر تناسقية او ايونية او تساهمية وهذا يؤدي الى التصاق جزيئات المثبط بسطح السبيكة وبالتالي يؤدي ذلك الى منع وصول الوسط الأكل اليها مما يؤدي الى التقليل من التآكل الكيميائي [159] كما في الشكلين (23-3) و (25-3)

3- تعمل كل من الآليات المقترحة المذكورة أعلاه، بمفردها أو مجتمعة، على إبطاء (تثبيط) عملية تآكل المعدن.



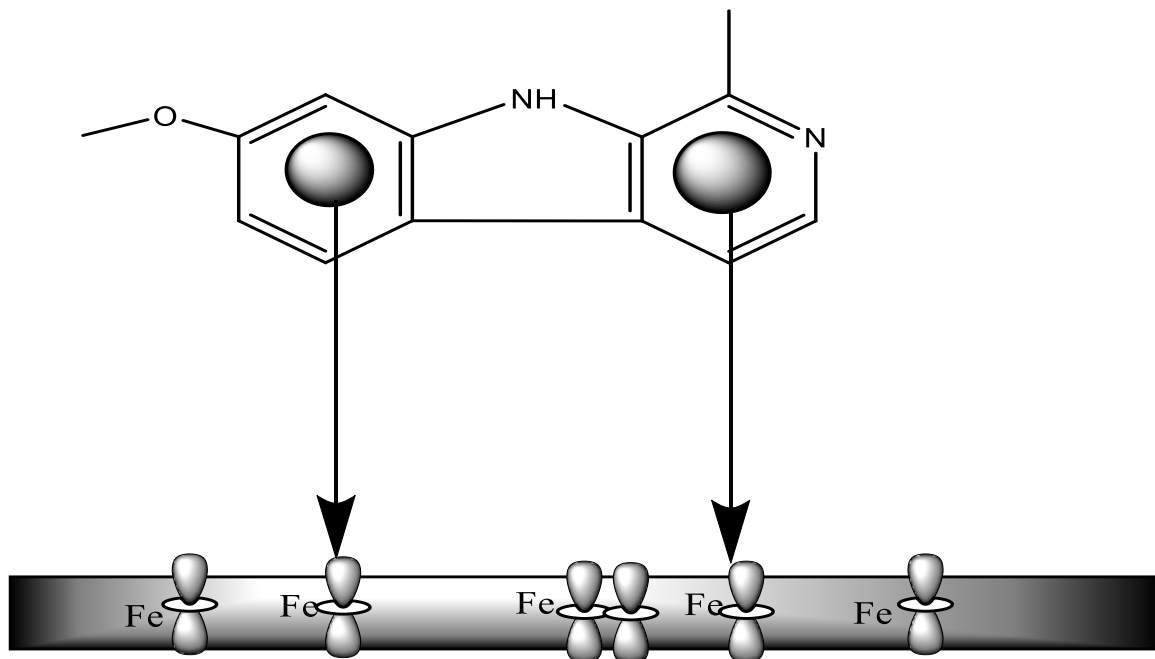
الشكل (22-3): يمثل تداخل الكترونيات π للحلقة الأروماتية الموجودة في مركب

2-anilino-5-bromo-2-carbomethoxybenzophenone أحد مركبات المثبط (C) مع اوربيتالات d الموجودة في ذرات الحديد

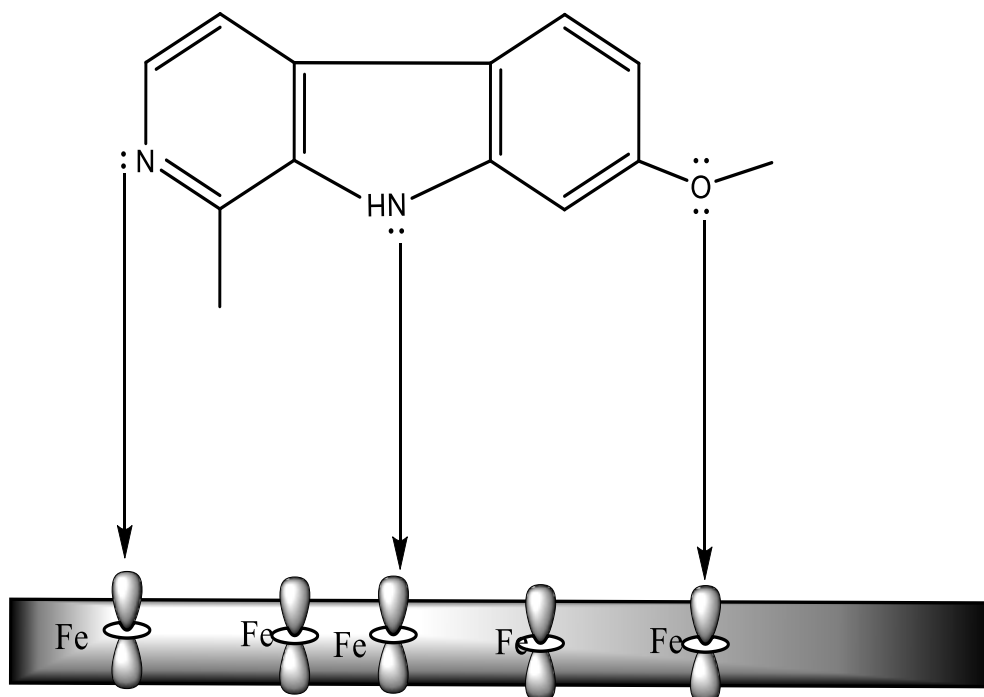


الشكل (23-3): تداخل بين المزدوجات الإلكترونية الحرة على ذرات النيتروجين N والأكسجين O الموجودة في مركب 2-anilino-5-bromo-2-carbomethoxybenzophenone

مع أوربيتالات d في ذرات حديد سطح الفولاذ الكربوني في المثبط (C)



الشكل (24-3): يمثل تداخل الكثرونات π للحلقة الأروماتية الموجودة في مركب Harmine أحد مركبات المثبط (R) مع أوربيتالات d الموجودة في ذرات الحديد.



الشكل (25-3): تداخل بين المزدوجات الالكترونية الحرة على ذرات الاوكسجين O والنيتروجين N الموجودة في مركب Harmine أحد مركبات المثبط (R) مع اوربيتالات d الموجودة في ذرات الحديد

7-3 الاستنتاجات Conclusions

- 1- تزداد كفاءة التثبيط بزيادة تركيز المثبط النباتي المستخدم.
- 2- مستخلص ثمرة الفلفل الأحمر الجاف ومستخلص الحرمل يثبط بشكل فعال الفولاذ الكربوني N80 في الوسط الحامضي HCl 1M.
- 3- تختلف كفاء التثبيط باختلاف تركيز المثبط النباتي المستخدم.
- 4- بعد مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها وجد ان كفاءة التثبيط للمستخلصين المستخدمين لا تختلف كثيراً.
- 5- الأداء التثبيطي، للمستخلصات النباتية المدروسة ناتجة عن، الامتزاز الكيميائي للمركبات الكيميائية الموجودة في تلك النباتات والتي تحتوي على مجاميع فعالة وحماية على مزدوجات الكترونية غير مرتبطة.
- 6- تقل القيم السالبة للأنتروبي ΔS بزيادة تركيز المثبط أي يكون أكثر انتظام وهذا يدل على أن المثبط المستخدم أفضل وأكثر فعالية.
- 7- تتناقص كفاءة التثبيط مع ارتفاع درجة الحرارة والذي يعني حصول عملية امتزاز فيزيائية (Physisorption) في المرحلة الاولى تليها عملية الامتزاز الكيميائي (Chemisorption).
- 8- عند المقارنة بين المثبطين (R,C) نجد ان النتائج متقاربة نوعاً ما، بسبب احتوائهم على نفس المجاميع الفعالة الموجودة في مركباتها

3-8 التوصيات Recommendations

- 1- استخدام مزيج من المستخلصات النباتية بنسب مختلفة ودراسة كفاءة التثبيط.
- 2- استخدام نباتات أخرى تحتوي مركباتها على ذرات غير متجانسة ودراسة تأثيرها على كفاءة التثبيط.
- 3- دراسة تأثير الـ pH على معدل التآكل وكفاءة التثبيط.
- 4- استخدام وسط حامضي غير HCl مثل حامض الكبريتيك بتركيزات مختلفة.
- 5- دراسة كفاءة المركبات المحضرة كمثبطات في الأوساط القاعدية.
- 6- استخدام معادن أخرى غير الفولاذ الكربوني N80.
- 7- بعد تقييم كفاءة هذه المستخلصات كمثبطات مختبرياً، يتم تطبيق التوصية في المجال العملي، على سبيل المثال في المنشآت النفطية.
- 8- دراسة كفاءة المثبطات عند درجات حرارية أخرى.

المصادر

References

References

- [1] H. Wei, B. Heidarshenas, L. Zhou, G. Hussain, Q. Li, and K. (Ken) Ostrikov, "Green inhibitors for steel corrosion in acidic environment: state of art," *Mater. Today Sustain.*, vol. 10, 2020, doi: 10.1016 .
- [2] S. Jaypuria, "Heat treatment of low carbon steel." 2009.
- [3] H. M. Jarallah, M. Y. Khadium, and A. S. AbdulNabi, "Asymmetric azo Compounds synthesis, Characterization and Study them as Corrosion Inhibitors for Carbon Steel in Acidic Medium," *Egypt. J. Chem.*, vol. 65, no. 8, pp. 57–63, 2022.
- [4] A. S. Fouda, Y. M. Abdallah, and D. Nabil, "Dimethyl pyrimidine derivatives as corrosion inhibitors for carbon steel in hydrochloric acid solutions," *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 5, pp. 12965–12982, 2014.
- [5] "SYLLABUS for Bachelor of Technology Electrical and Electronics Engineering Offered by University School of Engineering and Technology 1 st SEMESTER TO 8 th SEMESTER Guru Gobind Singh Indraprastha University Dwarka , Delhi – 110078 [INDIA]," pp. 1–101, 2014.
- [6] M. B. Kermani and A. Morshed, "Carbon dioxide corrosion in oil and gas productiona compendium," *Corrosion*, vol. 59, no. 08, 2003.
- [7] H. H. Hassan, E. Abdelghani, and M. A. Amin, "Inhibition of mild steel corrosion in hydrochloric acid solution by triazole derivatives: Part I. Polarization and EIS studies," *Electrochim. Acta*, vol. 52, no. 22, pp. 6359–6366, 2007.
- [8] X. Yue, L. Zhang, H. Liu, H. Zhao, S. Wang, and Y. Hua, "Uncoupling chloride and acidification attack on the naturally formed corrosion scales," *Corros. Sci.*, vol. 199, p. 110207, May 2022 .

-
- [9] H. T. Obaid, M. Y. Kadhum, and A. S. Abdalnabi, "Quantum Chemical Calculations and Experimental Studies of using Azo Dye as Corrosion Inhibitors for on Carbon Steel in Acidic Medium" 2022.
- [10] M. Prabakaran, "Synergistic and enhanced corrosion inhibition effect of carbon steel in aqueous solution by new inhibitor formulations" 2014.
- [11] H. H. Uhlig and R. W. Revie, "Corrosion and corrosion control," 1985.
- [12] R. W. Revie, *Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science and engineering*. John Wiley & Sons, 2008.
- [13] غ.ع. عباس, "دراسة فعالية مستخلص التبغ كمثبط تآكل للأنايب", and د.م. منصور, م.ع. شاش, "الفولاذية المدفونة في ترب عضوية وغضارية", *Assoc. Arab Univ. J. Eng. Sci.*, vol. 26, no. 4, 2019.
- [14] C. Verma, E. E. Ebenso, I. Bahadur, and M. A. Quraishi, "An overview on plant extracts as environmental sustainable and green corrosion inhibitors for metals and alloys in aggressive corrosive media," *J. Mol. Liq.*, vol. 266, pp. 577–590, 2018.
- [15] A. H. Al-moubaraki and I. B. Obot, "Top of the line corrosion : causes , mechanisms , and mitigation using corrosion inhibitors," *Arab. J. Chem.*, vol. 14, no. 5, p. 103116, 2021 .
- [16] A. Ahmed and A. Sultan, "Synthesis Characterization and DFT Studies of New Azo Dye Derived from Dapsone and Evaluation it as Corrosion Inhibiter," *For. Chem. Rev.*, pp. 1431–1449, 2022.
- [17] B. Shaw and R. Kelly, "What is corrosion?," *Electrochem. Soc. Interface*, vol. 15, no. 1, p. 24, 2006.

-
- [18] P. R. Roberge and P. Eng, "Corrosion engineering," *Princ. Pract.*, vol. 1, 2005.
- [19] H. T. Obaid, M. Y. Kadhum, and A. S. Abdulnabi, "Azo Schiff base derived from 2-hydroxy-1-naphthaldehyde as corrosion inhibitors for carbon steel in HCl medium: Experimental and theoretical studies," *Mater. Today Proc.*, vol. 60, pp. 1394–1401, 2022.
- [20] N. Perez, *Electrochemistry and corrosion science*. Springer, 2004.
- [21] Y. I. Kuznetsov and J. G. N. Thomas, *Organic inhibitors of corrosion of metals*. Springer Science & Business Media, 1996.
- [22] D. E. J. Talbot and J. D. R. Talbot, *Corrosion science and technology*. CRC press, 2018.
- [23] H. E. Salman, A. A. BALAKIT, and A. L. I. Ahme. ABdULRIIdHA, "New Aromatic Azo-Schiff as Carbon Steel Corrosion Inhibitor in 1 M H₂SO₄," *Orient. J. Chem.*, vol. 34, no. 5, p. 2471, 2018.
- [24] P. R. Roberge, *Corrosion inspection and monitoring*. John Wiley & Sons, 2007.
- [25] R. Baboian, "NACE Corrosion Engineer's Reference Book, 3 rd," *NACE Int. P.(12)*, 2002.
- [26] K. S. Khalil, "Corrosion inhibition measurement of zinc in acidic media by different techniques." M. Sc. Thesis, University of Baghdad, Baghdad, 2014.
- [27] A. S. Yaro and A. A. Khadom, "Evaluation of the performance of some chemical inhibitors on corrosion inhibition of copper in acid media," *J. Eng.*, vol. 2, no. 14, pp. 2350–2362, 2008.
- [28] E. McCafferty, *Introduction to corrosion science*. Springer Science & Business Media, 2010.

-
- [29] صبرينة, "دراسة تثبيط تآكل الفولاذ الكربوني في حمض الهيدروكلوريك بواسطة الزيت and ناقوص Huplophylum tuber culatum." Université Kasdi Merbah Ouargla 2019.
- [30] S. Hu, R. Liu, L. Liu, Y. Cui, and F. Wang, "Influence of temperature and hydrostatic pressure on the galvanic corrosion between 90/10 Cu–Ni and AISI 316L stainless steel," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 13, pp. 1402–1415, Jul. 2021.
- [31] I.-W. Huang, B. L. Hurley, F. Yang, and R. G. Buchheit, "Dependence on temperature, pH, and Cl⁻ in the uniform corrosion of aluminum alloys 2024-T3, 6061-T6, and 7075-T6," *Electrochim. Acta*, vol. 199, pp. 242–253, 2016.
- [32] S. A. Umoren, M. M. Solomon, I. B. Obot, and R. K. Suleiman, "A critical review on the recent studies on plant biomaterials as corrosion inhibitors for industrial metals," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 76, pp. 91–115, 2019.
- [33] M. A. Quraishi and R. Sardar, "Corrosion inhibition of mild steel in acid solutions by some aromatic oxadiazoles," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 78, no. 2, pp. 425–431, 2003.
- [34] H. Zhao, Z. Zhang, H. Zhang, J. Hu, and J. Li, "Effect of aging time on intergranular corrosion behavior of a newly developed LDX 2404 lean duplex stainless steel," *J. Alloys Compd.*, vol. 672, pp. 147–154, 2016.
- [35] R. Pourzal, H. J. Lundberg, D. J. Hall, and J. J. Jacobs, "What factors drive taper corrosion?," *J. Arthroplasty*, vol. 33, no. 9, pp. 2707–2711, 2018.
- [36] M. H. Wood, A. V. Arellano, and L. Van Wijk, "Corrosion related accidents in petroleum refineries," *Eur. Comm. Jt. Res. Centre, Rep. no. EUR*, vol. 26331, 2013.

-
- [37] S. Papavinasam, "Electrochemical polarization techniques for corrosion monitoring," in *Techniques for corrosion monitoring*, Elsevier, 2021 .
- [38] A. H. Al-Moubaraki and I. B. Obot, "Corrosion challenges in petroleum refinery operations: Sources, mechanisms, mitigation, and future outlook," *J. Saudi Chem. Soc.*, vol. 25, no. 12, p. 101370, 2021.
- [39] M. N. Rahuma, M. B. EL-Sabbah, and I. M. Hamad, "Effect of serine and methionine on electrochemical behavior of the corrosion of mild steel in aqueous solutions," *Int. Sch. Res. Not.*, vol. 2013, 2013.
- [40] I. Ahmad, M. N. Rahuma, and A. Knish, "The nitrogenous corrosion inhibitors used in petroleum production," *Int. J. Pharm. Chem. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 255–259, 2014.
- [41] Y. T. Al-Janabi, "An overview of corrosion in oil and gas industry: upstream, midstream, and downstream sectors," *Corros. Inhib. oil gas Ind.*, pp. 1–39, 2020.
- [42] K. Gharbi, S. Chouicha, and M. A. Kelland, "Field test investigation of the performance of corrosion inhibitors: a case study," *J. Pet. Explor. Prod. Technol.*, vol. 11, no. 10, pp. 3879–3888, 2021.
- [43] T. J. Mesquita and H. Marchebois, "Key Materials in Oil and Gas Production and the Choice of Inhibitors," *Corros. Inhib. Oil Gas Ind.*, pp. 111–133, 2020.
- [44] I. Anwar, K. Chojnicki, G. Bettin, M. R. Taha, and J. C. Stormont, "Characterization of wellbore casing corrosion product as a permeable porous medium," *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 180, pp. 982–993, 2019.

-
- [45] B. Nadia *et al.*, "Gravimetric, Electrochemical, and Surface Morphological Studies of Ammodaucus Lecotrichus Essential Oil as Corrosion Inhibitor for Copper Surface in Hydrochloric Acid Medium," *Anal. Bioanal. Electrochem.*, vol. 13, no. 3, pp. 340–357, 2021.
- [46] D. Dwivedi and J. P. Mata, "Archaeometallurgical investigation of ancient artefacts' degradation phenomenon," *npj Mater. Degrad.*, vol. 3, no. 1, p. 35, 2019.
- [47] J. Fu, H. Zang, Y. Wang, S. Li, T. Chen, and X. Liu, "Experimental and theoretical study on the inhibition performances of quinoxaline and its derivatives for the corrosion of mild steel in hydrochloric acid," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 51, no. 18, pp. 6377–6386, 2012.
- [48] T. W. Quadri, L. O. Olasunkanmi, O. E. Fayemi, M. M. Solomon, and E. E. Ebenso, "Zinc oxide nanocomposites of selected polymers: synthesis, characterization, and corrosion inhibition studies on mild steel in HCl solution," *ACS omega*, vol. 2, no. 11, pp. 8421–8437, 2017.
- [49] M. OUKNIN, J. COSTA, and L. Majidi, "Tribocorrosion and electrochemical behavior of AISI 304L stainless steel in acid medium and Thymus willdenowii Boiss & Reut essential oil effect," *Chem. Data Collect.*, vol. 28, p. 100389, 2020.
- [50] M. Askari, M. Aliofkhazraei, R. Jafari, P. Hamghalam, and A. Hajizadeh, "Downhole corrosion inhibitors for oil and gas production—a review," *Appl. Surf. Sci. Adv.*, vol. 6, p. 100128, 2021.

-
- [51] H. M. Abd El-Lateef, S. Shaaban, M. M. Khalaf, A. Toghan, and K. Shalabi, "Synthesis, experimental, and computational studies of water soluble anthranilic organoselenium compounds as safe corrosion inhibitors for J55 pipeline steel in acidic oilfield formation water," *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 625, p. 126894, 2021.
- [52] A. M. Farhan, R. A. Jassim, N. J. Kadhim, W. A. Mehdi, and A. A. Mehde, "Synthesis of Silver Nanoparticles from *Malva parviflora* extract and effect on Ecto-5'-Nucleotidase (5'-NT), ADA and AMPDA enzymes in sera of patients with arthrosclerosis," *Baghdad Sci. J.*, vol. 14, no. 4, p. 742, 2017.
- [53] Y. Kleiner and B. Rajani, "Quantifying effectiveness of cathodic protection in water mains: theory," *J. Infrastruct. Syst.*, vol. 10, no. 2, pp. 43–51, 2004.
- [54] M. L. Latino, B. Varela, M. Y. Tan, and M. Forsyth, "CP permeable coating and corrosion under disbonded coatings," 2018.
- [55] B. D. Craig, R. A. Lane, and D. H. Rose, "Corrosion prevention and control: A program management guide for selecting materials," *Adv. Mater. Manuf. Test. Inf. Anal. Cent.*, 2006.
- [56] T. Akbari, H. Taheri, M. Abroshan, and M. Kamali, "Scenario-based static DG expansion planning for a virtual power plant," *Model. Simulations*, p. 263, 2012.
- [57] P. R. Roberge, *Corrosion engineering*. McGraw-Hill Education, 2008.
- [58] A. A. Al-Amiery, A. B. Mohamad, A. A. H. Kadhum, L. M. Shaker, W. N. R. W. Isahak, and M. S. Takriff, "Experimental and theoretical study on the corrosion inhibition of mild steel by nonanedioic acid derivative in hydrochloric acid solution," *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, p. 4705, 2022.

-
- [59] S. Tanwer and S. K. Shukla, "Recent advances in the applicability of drugs as corrosion inhibitor on metal surface: A review," *Curr. Res. Green Sustain. Chem.*, vol. 5, p. 100227, 2022.
- [60] B. E. Rani and B. B. J. Basu, "Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: an overview," *Int. J. Corros.*, vol. 2012, 2012.
- [61] Mushtaq J. Meften ; Wisam A. Radhi and Atheer N. Abulhail, "Molecular structure and electronic characteristics study of imidazole and dioxol derivatives as corrosion inhibitors . A quantum methodology investigation .," *Basrah J. Sci. (C)*, vol. 36, no. 1, pp. 1–29, 2018 .
- [62] A. Hamdy and N. S. El-Gendy, "Thermodynamic, adsorption and electrochemical studies for corrosion inhibition of carbon steel by henna extract in acid medium," *Egypt. J. Pet.*, vol. 22, no. 1, pp. 17–25, 2013.
- [63] G. Palanisamy, "Corrosion inhibitors," *Corros. Inhib.*, vol. 2019, pp. 1–24, 2019.
- [64] J. Panchal, D. Shah, R. Patel, S. Shah, M. Prajapati, and M. Shah, "Comprehensive review and critical data analysis on corrosion and emphasizing on green eco-friendly corrosion inhibitors for oil and gas industries," *J. Bio-and Tribo-Corrosion*, vol. 7, no. 3, p. 107, 2021.
- [65] M. A. Malik, M. A. Hashim, F. Nabi, S. A. Al-Thabaiti, and Z. Khan, "Anti-corrosion ability of surfactants: a review," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 6, no. 6, pp. 1927–1948, 2011.
- [66] H. Yan, S. Dai, P. Liu, and Y. Zhu, "Synergistic mechanism of ternary green corrosion inhibitors for N80 steel in 20 wt% HCl solution: Encapsulation and transportation of vanillin through micelles formed by ionic liquids," *Corros. Sci.*, vol. 227, p. 111750, 2024 .

-
- [67] M. A. Quraishi, D. S. Chauhan, and F. A. Ansari, "Development of environmentally benign corrosion inhibitors for organic acid environments for oil-gas industry," *J. Mol. Liq.*, vol. 329, p. 115514, 2021.
- [68] A. Sedik *et al.*, "Dardagan Fruit extract as eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl: Electrochemical and surface morphological studies," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 107, pp. 189–200, 2020.
- [69] A. Saxena, D. Prasad, and R. Haldhar, "Investigation of corrosion inhibition effect and adsorption activities of Cuscuta reflexa extract for mild steel in 0.5 M H₂SO₄," *Bioelectrochemistry*, vol. 124, pp. 156–164, 2018.
- [70] M. Toorani, M. Aliofkhazraei, M. Mahdavian, and R. Naderi, "Superior corrosion protection and adhesion strength of epoxy coating applied on AZ31 magnesium alloy pre-treated by PEO/Silane with inorganic and organic corrosion inhibitors," *Corros. Sci.*, vol. 178, p. 109065, 2021.
- [71] C. Verma, E. E. Ebenso, M. A. Quraishi, and C. M. Hussain, "Recent developments in sustainable corrosion inhibitors: design, performance and industrial scale applications," *Mater. Adv.*, vol. 2, no. 12, pp. 3806–3850, 2021.
- [72] R. Chekhab, "Etude biologique et électrochimique d'une plante de la flore algérienne: Myrtus Communis L." Université laarbi tebessi tebessa, 2017.
- [73] G. Richter and G. Reymond, "Métabolisme des végétaux: physiologie et biochimie," Presses polytechniques et universitaires romandes Lausanne, 1993.

-
- [74] M. Damej *et al.*, "Performance and interaction mechanism of a new highly efficient benzimidazole-based epoxy resin for corrosion inhibition of carbon steel in HCl: A study based on experimental and first-principles DFTB simulations," *J. Mol. Struct.*, vol. 1273, p. 134232, 2023 .
- [75] S. H. Ali and A. S. A. Nabi, "Synthesis, Identification And Inhibition Evaluation Of Azo Dyes For Corrosion of Carbon-Steel Alloy In Acidic Medium: Thermodynamic and Kinetic Aspects," *Synthesis (Stuttg).*, vol. 54, no. 02, 2022.
- [76] H. Hassannejad and A. Nouri, "Sunflower seed hull extract as a novel green corrosion inhibitor for mild steel in HCl solution," *J. Mol. Liq.*, vol. 254, pp. 377–382, 2018.
- [77] M. Srivastava, P. Tiwari, S. K. Srivastava, A. Kumar, G. Ji, and R. Prakash, "Low cost aqueous extract of Pisum sativum peels for inhibition of mild steel corrosion," *J. Mol. Liq.*, vol. 254, pp. 357–368, 2018.
- [78] M. P. Casaletto, V. Figà, A. Privitera, M. Bruno, A. Napolitano, and S. Piacente, "Inhibition of Cor-Ten steel corrosion by 'green' extracts of Brassica campestris," *Corros. Sci.*, vol. 136, pp. 91–105, 2018.
- [79] E. Alibakhshi, M. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M. Mahdavian, and M. Motamedi, "Glycyrrhiza glabra leaves extract as a green corrosion inhibitor for mild steel in 1 M hydrochloric acid solution: Experimental, molecular dynamics, Monte Carlo and quantum mechanics study," *J. Mol. Liq.*, vol. 255, pp. 185–198, 2018.

-
- [80] A. Dehghani, G. Bahlakeh, and B. Ramezanzadeh, "A detailed electrochemical/theoretical exploration of the aqueous Chinese gooseberry fruit shell extract as a green and cheap corrosion inhibitor for mild steel in acidic solution," *J. Mol. Liq.*, vol. 282, pp. 366–384, 2019.
- [81] Q. Wang *et al.*, "Evaluation of Ficus tikoua leaves extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for carbon steel in HCl media," *Bioelectrochemistry*, vol. 128, pp. 49–55, 2019.
- [82] S. Sahoo, S. Nayak, D. Sahoo, and M. Mallik, "Corrosion inhibition behavior of dual phase steel in 3.5 wt% NaCl solution by Carica papaya peel extracts," *Mater. Today Proc.*, vol. 18, pp. 2642–2648, 2019.
- [83] S. Pal, H. Lgaz, P. Tiwari, I.-M. Chung, G. Ji, and R. Prakash, "Experimental and theoretical investigation of aqueous and methanolic extracts of Prunus dulcis peels as green corrosion inhibitors of mild steel in aggressive chloride media," *J. Mol. Liq.*, vol. 276, pp. 347–361, 2019.
- [84] M. Benarioua, A. Mihi, N. Bouzeghaia, and M. Naoun, "Mild steel corrosion inhibition by Parsley (*Petroselinum Sativum*) extract in acidic media," *Egypt. J. Pet.*, vol. 28, no. 2, pp. 155–159, 2019.
- [85] M. Mobin, M. Basik, and J. Aslam, "Pineapple stem extract (Bromelain) as an environmental friendly novel corrosion inhibitor for low carbon steel in 1 M HCl," *Measurement*, vol. 134, pp. 595–605, 2019.
- [86] A. Dehghani, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, and M. Ramezanzadeh, "Potential of Borage flower aqueous extract as an environmentally sustainable corrosion inhibitor for acid corrosion of mild steel: electrochemical and theoretical studies," *J. Mol. Liq.*, vol. 277, pp. 895–911, 2019.

-
- [87] A. Dehghani, G. Bahlakeh, and B. Ramezanzadeh, "Green Eucalyptus leaf extract: A potent source of bio-active corrosion inhibitors for mild steel," *Bioelectrochemistry*, vol. 130, p. 107339, 2019.
- [88] A. Dehghani, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, and M. Ramezanzadeh, "A combined experimental and theoretical study of green corrosion inhibition of mild steel in HCl solution by aqueous Citrullus lanatus fruit (CLF) extract," *J. Mol. Liq.*, vol. 279, pp. 603–624, 2019.
- [89] E. Baran, A. Cakir, and B. Yazici, "Inhibitory effect of Gentiana olivieri extracts on the corrosion of mild steel in 0.5 M HCl: Electrochemical and phytochemical evaluation," *Arab. J. Chem.*, vol. 12, no. 8, pp. 4303–4319, 2019.
- [90] R. T. Loto and O. Olowoyo, "Synergistic effect of sage and jojoba oil extracts on the corrosion inhibition of mild steel in dilute acid solution," *Procedia Manuf.*, vol. 35, pp. 310–314, 2019.
- [91] M. Boudalia, R. M. Fernández-Domene, M. Tabyaoui, A. Bellaouchou, A. Guenbour, and J. Garcia-Anton, "Green approach to corrosion inhibition of stainless steel in phosphoric acid of Artemesia herba albamedium using plant extract," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 5763–5773, 2019.
- [92] Y. Wu *et al.*, "Orange peel extracts as biodegradable corrosion inhibitor for magnesium alloy in NaCl solution: Experimental and theoretical studies," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 115, pp. 35–46, 2020.
- [93] O. O. Ogunleye *et al.*, "Green corrosion inhibition and adsorption characteristics of Luffa cylindrica leaf extract on mild steel in hydrochloric acid environment," *Heliyon*, vol. 6, no. 1, 2020.

-
- [94] M. Barbouchi, B. Benzidia, A. Aouidate, A. Ghaleb, and M. El Idrissi, "Theoretical modeling and experimental studies of Terebinth extracts as green corrosion inhibitor for iron in 3% NaCl medium," *J. King Saud Univ.*, vol. 32, no. 7, pp. 2995–3004, 2020.
- [95] S. Chen, S. Chen, B. Zhu, C. Huang, and W. Li, "Magnolia grandiflora leaves extract as a novel environmentally friendly inhibitor for Q235 steel corrosion in 1 M HCl: Combining experimental and theoretical researches," *J. Mol. Liq.*, vol. 311, p. 113312, 2020.
- [96] H. Kumar and V. Yadav, "Musa acuminata (Green corrosion inhibitor) as anti-pit and anti-cracking agent for mild steel in 5M hydrochloric acid solution," *Chem. Data Collect.*, vol. 29, p. 100500, 2020.
- [97] A. Berrissoul *et al.*, "Evaluation of Lavandula mairei extract as green inhibitor for mild steel corrosion in 1 M HCl solution. Experimental and theoretical approach," *J. Mol. Liq.*, vol. 313, p. 113493, 2020.
- [98] N. S. H. Vu *et al.*, "Combined experimental and computational studies on corrosion inhibition of Houttuynia cordata leaf extract for steel in HCl medium," *J. Mol. Liq.*, vol. 315, p. 113787, 2020.
- [99] J. Halambek, I. Cindrić, and A. N. Grassino, "Evaluation of pectin isolated from tomato peel waste as natural tin corrosion inhibitor in sodium chloride/acetic acid solution," *Carbohydr. Polym.*, vol. 234, p. 115940, 2020.
- [100] L. Guo, B. Tan, W. Li, Q. Li, X. Zheng, and I. B. Obot, "Banana leaves water extracts as inhibitor for X70 steel corrosion in HCl medium," *J. Mol. Liq.*, vol. 327, p. 114828, 2021.

-
- [101] A. Dehghani, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, and M. Ramezanzadeh, "Aloysia citrodora leaves extract corrosion retardation effect on mild-steel in acidic solution: Molecular/atomic scales and electrochemical explorations," *J. Mol. Liq.*, vol. 310, p. 113221, 2020.
- [102] A. R. Shahmoradi, N. Talebibahmanbigloo, A. A. Javidparvar, G. Bahlakeh, and B. Ramezanzadeh, "Studying the adsorption/inhibition impact of the cellulose and lignin compounds extracted from agricultural waste on the mild steel corrosion in HCl solution," *J. Mol. Liq.*, vol. 304, p. 112751, 2020.
- [103] M. A. El-Hashemy and A. Sallam, "The inhibitive action of Calendula officinalis flower heads extract for mild steel corrosion in 1 M HCl solution," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 6, pp. 13509–13523, 2020.
- [104] I.-M. Chung, R. Malathy, R. Priyadharshini, V. Hemapriya, S.-H. Kim, and M. Prabakaran, "Inhibition of mild steel corrosion using Magnolia kobus extract in sulphuric acid medium," *Mater. Today Commun.*, vol. 25, p. 101687, 2020.
- [105] F. Bouhlal *et al.*, "Chemical and electrochemical studies of the inhibition performance of hydro-alcoholic extract of used coffee grounds (HECG) for the corrosion of C38 steel in 1M hydrochloric acid," *Egypt. J. Pet.*, vol. 29, no. 1, pp. 45–52, 2020.
- [106] A. Salmasifar, M. Edraki, E. Alibakhshi, B. Ramezanzadeh, and G. Bahlakeh, "Combined electrochemical/surface investigations and computer modeling of the aquatic Artichoke extract molecules corrosion inhibition properties on the mild steel surface immersed in the acidic medium," *J. Mol. Liq.*, vol. 327, p. 114856, 2021.

-
- [107] M. H. Shahini, M. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, and B. Ramezanzadeh, "Superior inhibition action of the Mish Gush (MG) leaves extract toward mild steel corrosion in HCl solution: Theoretical and electrochemical studies," *J. Mol. Liq.*, vol. 332, p. 115876, 2021.
- [108] B. Shyamvarnan, S. Shanmugapriya, J. A. Selvi, P. Kamaraj, and R. Mohankumar, "Corrosion inhibition effect of eleetaria cardamomum extract on mild steel in 3.5% NaCl medium," *Mater. Today Proc.*, vol. 40, pp. S192–S197, 2021.
- [109] Y. Feng, J. He, Y. Zhan, J. An, and B. Tan, "Insight into the anti-corrosion mechanism Veratrum root extract as a green corrosion inhibitor," *J. Mol. Liq.*, vol. 334, p. 116110, 2021.
- [110] B. Lin, J. Shao, Y. Xu, Y. Lai, and Z. Zhao, "Adsorption and corrosion of renewable inhibitor of Pomelo peel extract for mild steel in phosphoric acid solution," *Arab. J. Chem.*, vol. 14, no. 5, p. 103114, 2021.
- [111] S. Aourabi *et al.*, "Phenolic fraction of Ammi visnaga extract as environmentally friendly antioxidant and corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium," *J. Mol. Liq.*, vol. 323, p. 114950, 2021.
- [112] H. Li, Y. Qiang, W. Zhao, and S. Zhang, "A green Brassica oleracea L extract as a novel corrosion inhibitor for Q235 steel in two typical acid media," *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 616, p. 126077, 2021.
- [113] X. Sun, Y. Qiang, B. Hou, H. Zhu, and H. Tian, "Cabbage extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for X70 steel in hydrochloric acid medium," *J. Mol. Liq.*, vol. 362, p. 119733, 2022.

-
- [114] T. D. Manh, T. L. Huynh, B. V. Thi, S. Lee, J. Yi, and N. Nguyen Dang, "Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid environments containing *Sonneratia caseolaris* leaf extract," *ACS omega*, vol. 7, no. 10, pp. 8874–8886, 2022.
- [115] A. Dehghani and B. Ramezanzadeh, "Rosemary extract inhibitive behavior against mild steel corrosion in tempered 1 M HCl media," *Ind. Crops Prod.*, vol. 193, p. 116183, 2023.
- [116] Y. Wang, Y. Qiang, H. Zhi, B. Ran, and D. Zhang, "Evaluating the synergistic effect of maple leaves extract and iodide ions on corrosion inhibition of Q235 steel in H₂SO₄ solution," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 117, pp. 422–433, 2023.
- [117] F. Kaya, R. Solmaz, and İ. H. Geçibesler, "The use of methanol extract of *Rheum Ribes* (Işgın) flower as a natural and promising corrosion inhibitor for mild steel protection in 1 M HCl solution," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 122, pp. 102–117, 2023.
- [118] A. S. Abdul-Nabi and E. Q. Jasim, "Synthesis, characterization of some azo dyes derived from sulfa drugs and the use of them as corrosion inhibitors in 0.5 M hydrochloric acid solution," *J. Basrah Res.*, vol. 39, no. 3, 2013.
- [119] S. Javadian, B. Darbasizadeh, A. Yousefi, F. Ektefa, N. Dalir, and J. Kakemam, "Dye-surfactant aggregates as corrosion inhibitor for mild steel in NaCl medium: Experimental and theoretical studies," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 71, pp. 344–354, 2017.
- [120] P. A. Schweitzer, "Fundamentals of metallic corrosion: atmospheric and media corrosion of metals," (*No Title*), 2007.
- [121] R. G. Kelly, J. R. Scully, D. Shoesmith, and R. G. Buchheit, *Electrochemical techniques in corrosion science and engineering*. CRC Press, 2002.

-
- [122] V. O. L. CORROSION, "Y 2, LL Shreir, RA Jarman, GT Burnstein," *ed Butterworth Heinemann, Oxford*, 1994.
- [123] X. Feng, Q. Yu, B. Li, and J. Kan, "Comparative analysis of carotenoids and metabolite characteristics in discolored red pepper and normal red pepper based on non-targeted metabolomics," *LWT*, vol. 153, p. 112398, 2022.
- [124] E.-H. Kim *et al.*, "A comparison of the nutrient composition and statistical profile in red pepper fruits (*Capsicums annuum* L.) based on genetic and environmental factors," *Appl. Biol. Chem.*, vol. 62, pp. 1–13, 2019.
- [125] M. Chouaibi, L. Rezig, S. Hamdi, and G. Ferrari, "Chemical characteristics and compositions of red pepper seed oils extracted by different methods," *Ind. Crops Prod.*, vol. 128, pp. 363–370, 2019.
- [126] M. Iranshahy, S. F. Bazzaz, G. Haririzadeh, B. Z. Abootorabi, A. M. Mohamadi, and Z. Khashyarmanesh, "Chemical composition and antibacterial properties of *Peganum harmala* L.," *Avicenna J. phytomedicine*, vol. 9, no. 6, p. 530, 2019.
- [127] M. H. Shahrajabian, W. Sun, and Q. Cheng, "Improving health benefits with considering traditional and modern health benefits of *Peganum harmala*," *Clin. Phytoscience*, vol. 7, no. 1, pp. 1–9, 2021.
- [128] J. Sharifi-Rad *et al.*, "Peganum spp.: A comprehensive review on bioactivities and health-enhancing effects and their potential for the formulation of functional foods and pharmaceutical drugs," *Oxid. Med. Cell. Longev.*, vol. 2021, 2021.
- [129] M. H. Yusoff *et al.*, "An Electrochemical evaluation of synthesized coumarin-Azo dyes as potential corrosion inhibitors for mild steel in 1 M Hcl medium," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 15, no. 12, pp. 11742–11756, 2020.

-
- [130] N. Agyepong, C. Agyare, M. Adarkwa-Yiadom, and S. Y. Gbedema, "Phytochemical investigation and anti-microbial activity of *Clausena anisata* (Willd), Hook.," *African J. Tradit. Complement. Altern. Med.*, vol. 11, no. 3, pp. 200–209, 2014.
- [131] M. J. Meften, N. Z. Rajab, and M. T. Finjan, "Synthesis of new heterocyclic compound used as corrosion inhibitor for crude oil pipelines," *Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 27, no. 1, pp. 419–437, 2017.
- [132] S. J. Anwar, I. U. H. Bhat, H. M. Yusoff, M. H. Razali, M. A. Kadir, and L. K. Ern, "Brown algae-based preparation, characterization and application of Pd nanocatalyst for enhanced reductive azo dye degradation," *Clean. Eng. Technol.*, vol. 4, p. 100172, 2021.
- [133] M. C. Nanditha, "Extraction and characterization of oils from selected exotic fruit seeds." 2022.
- [134] B. Kirkan and R. Gup, "Synthesis of new azo dyes and copper (II) complexes derived from barbituric acid and 4-aminobenzoylhydrazone," *Turkish J. Chem.*, vol. 32, no. 1, pp. 9–17, 2008.
- [135] D. U. Warad, C. D. Satish, V. H. Kulkarni, and C. S. Bajgur, "Synthesis, structure and reactivity of zirconium (IV), vanadium (IV), cobalt (II), nickel (II) and copper (II) complexes derived from carbohydrazide schiff base ligands," 2000.
- [136] V. G. Vidya and V. Sadasivan, "Synthesis, Characterization and Applications of Some Azo Dyes Derived from Various Aromatic Amines," *Asian J. Chem.*, vol. 30, no. 9, pp. 2049–2053, 2018.

-
- [137] F. G. Liu, M. Du, J. Zhang, and M. Qiu, "Electrochemical behavior of Q235 steel in saltwater saturated with carbon dioxide based on new imidazoline derivative inhibitor," *Corros. Sci.*, vol. 51, no. 1, pp. 102–109, 2009.
- [138] S. Deng, X. Li, and H. Fu, "Alizarin violet 3B as a novel corrosion inhibitor for steel in HCl, H₂SO₄ solutions," *Corros. Sci.*, vol. 53, no. 11, pp. 3596–3602, 2011.
- [139] R. Lopes-Sesenes, G. F. Dominguez-Patiño, J. G. Gonzalez-Rodriguez, and J. Uruchurtu-Chavarin, "Effect of flowing conditions on the corrosion inhibition of carbon steel by extract of buddleia perfoliata," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 8, no. 1, pp. 477–489, 2013.
- [140] R. H. Tammam, A. M. Fekry, and M. M. Saleh, "Understanding different inhibition actions of surfactants for mild steel corrosion in acid solution," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 11, pp. 1310–1326, 2016.
- [141] E. M. Attia, "Dipron: an eco-friendly corrosion inhibitor for iron in HCl media in both micro and nano scale particle size-Comparative study," *Int. J. Adv. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 986–1003, 2016.
- [142] I. Hamdani *et al.*, "An investigation of mild steel corrosion inhibition in hydrochloric acid medium by environment friendly green inhibitor," *Sch. Res. Libr. Der Pharm. Lett.*, vol. 7, no. 9, pp. 109–118, 2015.
- [143] M. Manssouri *et al.*, "Adsorption proprieties and inhibition of mild steel corrosion in HCl solution by the essential oil from fruit of Moroccan *Ammodaucus leucotrichus*," *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 6, no. 3, pp. 631–646, 2015.

-
- [144] P. Sarin *et al.*, "Iron release from corroded iron pipes in drinking water distribution systems: effect of dissolved oxygen," *Water Res.*, vol. 38, no. 5, pp. 1259–1269, 2004.
- [145] A. M. Al-Sabagh, N. G. Kandil, O. Ramadan, N. M. Amer, R. Mansour, and E. A. Khamis, "Novel cationic surfactants from fatty acids and their corrosion inhibition efficiency for carbon steel pipelines in 1 M HCl," *Egypt. J. Pet.*, vol. 20, no. 2, pp. 47–57, 2011.
- [146] A. Al Bahir, "Estimation of the performances of creatine and creatinine as eco-friendly corrosion inhibitors for copper in sodium hydroxide solution," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 18, no. 4, p. 100040, 2023.
- [147] M. A. Quraishi, A. Singh, V. K. Singh, D. K. Yadav, and A. K. Singh, "Green approach to corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid and sulphuric acid solutions by the extract of *Murraya koenigii* leaves," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 122, no. 1, pp. 114–122, 2010.
- [148] A. Toghan *et al.*, "Computational foretelling and experimental implementation of the performance of polyacrylic acid and polyacrylamide polymers as eco-friendly corrosion inhibitors for copper in nitric acid," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 22, p. 4802, 2022.
- [149] T. Szauer and A. Brandt, "Adsorption of oleates of various amines on iron in acidic solution," *Electrochim. Acta*, vol. 26, no. 9, pp. 1253–1256, 1981.
- [150] T. Douadi, H. Hamani, D. Daoud, M. Al-Noaimi, and S. Chafaa, "Effect of temperature and hydrodynamic conditions on corrosion inhibition of an azomethine compounds for mild steel in 1 M HCl solution," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 71, pp. 388–404, 2017.

-
- [151] A. Ghames *et al.*, "Theoretical and experimental studies of adsorption characteristics of newly synthesized schiff bases and their evaluation as corrosion inhibitors for mild steel in 1 M HCl," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 12, no. 6, pp. 4867–4897, 2017.
- [152] V. R. Saliyan and A. V. Adhikari, "Quinolin-5-ylmethylene-3-[[8-(trifluoromethyl) quinolin-4-yl] thio} propanohydrazide as an effective inhibitor of mild steel corrosion in HCl solution," *Corros. Sci.*, vol. 50, no. 1, pp. 55–61, 2008.
- [153] P. Kumari, P. Shetty, and S. A. Rao, "Corrosion inhibition effect of 4-Hydroxy-N'-[(E)-(1H-indole-2-ylmethylidene)] benzohydrazide on mild steel in hydrochloric acid solution," *Int. J. Corros.*, vol. 2014, 2014.
- [154] A. K. Singh and M. A. Quraishi, "Effect of 2, 2' benzothiazolyl disulfide on the corrosion of mild steel in acid media," *Corros. Sci.*, vol. 51, no. 11, pp. 2752–2760, 2009.
- [155] L. Sail, "Etude de la performance d'inhibiteurs de corrosion à base de phosphate pour les constructions en béton arme," *Dr. thesis, Univ. Tlemcen. Alger.*, 2013.
- [156] I. Bouali, "Étude d'inhibiteurs de corrosion métallique à base d'orthophosphates de zirconium lamellaires fonctionnalisés: synthèse, caractérisations et applications." Université de Lorraine; Université Caddi Ayyad, Marrakech (Maroc), 2018.
- [157] H. M. Abd El-Lateef, M. Ismael, and I. M. A. Mohamed, "Novel Schiff base amino acid as corrosion inhibitors for carbon steel in CO₂-saturated 3.5% NaCl solution: experimental and computational study," *Corros. Rev.*, vol. 33, no. 1–2, pp. 77–97, 2015.

-
- [158] D. S. Chauhan, M. A. J. Mazumder, M. A. Quraishi, and K. R. Ansari, "Chitosan-cinnamaldehyde Schiff base: A bioinspired macromolecule as corrosion inhibitor for oil and gas industry," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 158, pp. 127–138, 2020.
- [159] M. Y. Kadhim, A. M. Abdulsada, and J. M. S. Alshawji, "Synthesis, identification and the study of some new azo dyes as corrosion inhibitors for copper in (1M) HCl," *J. Basrah Res.*, vol. 40, no. 3, 2014.

Nanotechnology Perceptions

ISSN 1660-6795

Manuscript ID:449

Acceptance Letter

Date: June 08, 2024

Author(s) Name	Ali Khabar Aksh ¹ , Adnan Sultan Abdul Nabi ² , Hadi Thamer Obaid ³
Affiliation	1,2 Department of Chemistry, College of Education for Pure Sciences, Basrah University, Basrah, Iraq 3 Department of Medical Physics, College of Applied Medical Science, Shatrah University, Thi-Qar, 64001, Iraq
Paper Title	Peganum harmala extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for carbon steel N80 in 1 M HCl: electrochemical and surface morphological studies

Dear Author(s)

We are pleased to inform you that your paper submitted for publishing in **Nanotechnology Perceptions** ISSN: 1660-6795, E-ISSN: 2235-2074 has been **accepted** based on the recommendations provided by the assigned reviewers. By this mail, you are requested to proceed with the publication formalities.

Paper Status:	Accepted	Accepted after changes	Rejected
Please prepare the camera-ready version as per the Nanotechnology Perceptions paper template format. If you took any part/figure/table from any other research paper, kindly mention it in References.			

Kindly complete all the required formalities (Camera Ready, Copyright, and Publication Fee Submission) on or before June 18, 2024, failing to which your paper may be subjected to rejection. After completing all formalities your manuscript will be published in the upcoming issue, 2024.

The Nanotechnology Perceptions Team congratulates you on this achievement.

Regards

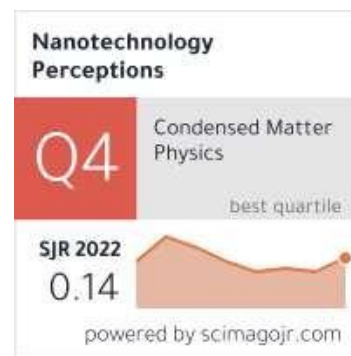


Editorial Team

Nanotechnology Perceptions

Website: <https://nano-ntp.com/>

ISSN: 1660-6795, E-ISSN: 2235-2074



العدد: 7

التاريخ: 2024/5/7

الى / علي خبار عكش المحترم ..

الأستاذ الدكتور عدنان سلطان عبد النبي المحترم ..

الموضوع / قبول بحث

بعد التحية...

تدارست هيئة التحرير البحث الذي قدمتموه والموسوم:

**Red pepper extract as eco-friendly corrosion inhibitor
for Carbon steel N80 in 1 M HCl: Electrochemical and
surface morphological studies**

وبعد الاطلاع على آراء المقومين، فقد قررت في جلستها المنعقدة بتاريخ (2024/5/2) قبول
البحث، وسوف ينشر في العدد القادم إن شاء الله.


أ.د. حامد علي عبد الاسدي
رئيس التحرير



University of Basrah, College of Education for Pure sciences, Journal of Basrah Researches/ Sciences

Available online at: <https://www.iasj.net/iasj/journal/260/issues>

decreases from ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) to 34.22 for the sample without the inhibitor to ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$). 2.5 and 2.99 for the sample containing 200 ppm of inhibitor (C) and (R), respectively, at the lowest temperature. In addition, the corrosion current density of the carbon steel alloy increases when the temperature is constant and the concentration of inhibitors (C) and (R) increases. We find that these values decrease due to the adsorption of the inhibitor molecules on the surface of the alloy and the blocking of the active sites.

The polarisation curves and the electrochemical study indicate that the corrosion inhibitor is of the type mixed (anodic and cathodic inhibition mechanisms), as adding different concentrations of inhibitors does not change much the shape of the polarisation curve; that is, the inhibitors hinder the reaction taking place at the anode electrode (dissolution of the metal) and delay the reaction taking place at the cathode electrode (release of hydrogen gas). This indicates that they affect the anodic and cathodic reactions with almost the same effect, which indicates that the inhibitors are of the mixed type.

The Transition State Equation and the Arrhenius Equation were used. (Arrhenius Equation), to find the values of activation energy (E) and the enthalpy of activation (ΔH^*) Enthalpy of activation and entropy of activation (ΔS^*) Entropy of activation. It is noted that there is an increase in the activation energy (E_a) for the corrosion process in the presence of the inhibitor compared to its absence, as the activation energy in the acidic medium without the presence of the inhibitor was 14.27, while in the presence of the inhibitor (C, R), it became (57.87) and (41.68), respectively. At the highest concentration (200 ppm) and temperature (318 K), the change and entropy (ΔS^*) increased in the presence of the inhibitor compared to its absence, where it was (-0.18), but in the presence of the plant inhibitor (C, R), it became (-0.05) and (0.10), respectively, at the highest concentration (200 ppm) and temperature (318 K). It was also observed that the enthalpy value (ΔH^*) increased in the presence of the inhibitor compared to its absence, as it was (11.71), but in the presence of the plant inhibitor (C, R), it became (55.28). and (39.12), respectively, at the highest concentration (200 ppm) and temperature (318 K). As for the change in free energy (ΔG^*), its values were high and increased with increasing concentration.

Abstract

This study with the use of aqueous extracts of dried red pepper (C) and Peganum Harmala Seeds (R) as corrosion inhibitors of carbon steel alloys (N80) used in the manufacture of oil pipelines in an aqueous solution of hydrochloric acid (HCl) at a concentration of 1 M. Different concentrations of plant inhibitors (50, 100, 150, 200). parts per million were used in this study and at different temperatures (K) (29, 308, 318). These plant extracts were identified using FT-IR technology, through which the effective functional groups of these inhibitors were identified. Also, the chemical compounds present in both extracts (C and R) were diagnosed using GC-mass technology, and on the basis of that, they were identified. Explain the mechanism of inhibition.

The inhibitory activity of plant extracts was studied using Tafel curves and surface analysis using a scanning electron microscope (SEM). It was found that inhibitors (C) and (R) were effective and that the inhibition efficiency increased with increasing concentration of the inhibitor due to the increase in the thickness of the protective layer of the inhibitor on the surface of the carbon steel alloy that resists the corrosive medium. The highest inhibition efficiency (92.69) and (91.26) were reached for the two inhibitors, respectively, at a concentration of 200 ppm and a temperature of 298 K.

The speed of corrosion (CR) was reduced in the presence of the plant inhibitors (C) and (R), as the speed of corrosion was The acidic medium (HCl 1M) without the presence of the high inhibitor is (mpy) 15.58 due to the increase in corrosion current density and thus the dissolution of the metal in the anodic reaction, While it became (mpy1.138) and (mpy1.36) in the presence of the plant inhibitor (C) and (R), respectively, at the highest concentration and lowest temperature, and this is due to the decrease in the current density (I_{corr}). In addition, the rate of corrosion speed decreases with the increase in the concentration of inhibitors and the constant temperature, while the rate of corrosion speed increases with the increase in temperature and the constant concentration of inhibitors. Due to the collapse of the physical adsorption of the molecules of the plant inhibitor, which is weakly resistant to rising temperatures, the polarisation results also revealed that if the plant inhibitor is added, the corrosion current density (I_{corr}) for N80 carbon steel



The Republic of Iraq
Ministry of Higher and Education
Scientific Research University of
Basra
College of Education for Pure
Sciences Department of Chemistry



The use of some natural products as environmentally
acceptable corrosion inhibitors for carbon steel in acidic
environments

A Thesis

*Submitted to the College of Education –University of Basrah as a
Partial*

*Fulfillment of Requirements for the Master Degree of Science in
Chemistry*

by

Ali Khabar Aksh

Supervised By

Prof. Dr. Adnan Sultan Abdulnabi

2024 AD

1445 AH