

جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم الدقيقة والطبيعة والحياة  
قسم علوم المادة



# مذكرة ماستر

علوم المادة  
فيزياء  
فيزياء المادة المكثفة

رقم: أدخل رقم تسلسل المذكرة

إعداد الطالب:

حمة عبد الرزاق

يوم: 2024-6-24

## تشبيط تآكل الفولاذ C45 في وسط حمض الهيدروكلوريك بواسطة مستخلص مائي لأوراق السرو

لجنة المناقشة:

رئيس	جامعة محمد خيضر بسكرة	أ. د.	سعيد حنان
مؤطر	جامعة محمد خيضر بسكرة	أ. مح أ	مرمي سعيدة
مناقش	جامعة محمد خيضر بسكرة	أ. مح أ	نواجي مليكة

السنة الجامعية: 2024/2023

## شكر وعرافان

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على المبعوث رحمة للعالمين سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين:

عملاً بقوله تعالى: **وَإِذْ تَأْتِيَنَّكُمْ رِيبُكُمْ لَمَّا تَأْتِيَنَّكُمْ لَمَّا تَأْتِيَنَّكُمْ ۗ**

نشكر الله على نعمته التي لا تقدر ولا تحصى ومنها توفيقى بإذنه الله تعالى على إتمام هذا العمل كما أتقدم بأسمى عبارات الشكر والتقدير إلى الأستاذة الدكتورة الفاضلة مرمي سعيدة، والتي شرفنا قبولها الوقوف، المتابعة والمرافقة على إعداد هذه المذكرة وعلى دعمها وتوجيهاتها القيمة.

كما أتقدم بالشكر الخالص إلى أعضاء اللجنة الذين شرفوني بمناقشة هذا العمل وتقييمه البروفيسورة "سعيدى حنان" رئيس اللجنة والبروفيسورة "نواجى مليكة" مناقشة.

نتقدم بالشكر الخاص إلى كل أساتذة قسم علوم المادة - تخصص فيزياء المادة المكثفة

وإلى جميع الموظفين وعمال المخا بر بقسم علوم المادة

كما أتقدم بالشكر الى زميلاتي وزملائي - تخصص فيزياء المادة

المكثفة على كل ما قدموه لنا من مساعدات وتوضيحات وانتقادات بناءة في عملنا هذا.

# الإهداء

أهدي ثمرة جهدي وعملي المتواضع هذا :

إلى من كللهم الله بالهبة والوقار الى من علموني العطاء  
بدون إنتظار

الى من أحمل صفاتهم و جيناتهم بكل عز وإفتخار  
إلى روح والديا العزيزين : أبي و أمي

الى عائلتي الصغيرة : الزوجة الكريمة وأبنائي/  
منار هديل ، إبراهيم ، نافع بدرالدين .

الى من أحاطوني بحبهم وشاظرتهم الحلو و المر : إخوتي  
وأخواتي

الى أحبائي وأصدقائي الذين أحبهم قلبي ونسيهم قلبي .

الى الذين إحترقوا كالشمعة لينيرو لي درب العلم والمعرفة ، إليكم معلمي

## الفهرس

I	إهداء.....
II	شكر و إمتنان.....
III	فهرس.....
VII	فهرس الأشكال.....
VIII	فهرس الجداول.....
IX	قائمة الرموز .....
1	مقدمة عامة.....
3	مراجع .....

## الفصل الأول

5	1.1 مقدمة .....
5	2.1 مفاهيم عن التآكل .....
5	3.1 آلية حدوث التآكل.....
6	4.1 أنواع التآكل .....
7	5.1 أشكال التآكل .....
8	6.1 أسباب تآكل المعادن والسبائك .....
9	7.1 العوامل المؤثرة على التآكل .....
10	8.1 طرق الحماية من التآكل .....
10	1.8.1 الحماية بالتغطية (الطلاء).....
11	1.1.8.1 الحماية الكاثودية.....



11	..... 2.1.8.ا الحماية الانودية.
11	..... 2.8.ا الحماية باستعمال المثبطات.
11	..... 1.2.8.ا مفاهيم عن المثبطات.
12	..... 2.2.8.ا أنواع مثبطات التآكل
12	..... 1.2.2.8.ا المثبطات غير العضوية.
12	..... 2.2.2.8.ا المثبطات العضوية.
13	..... 3.2.8.ا تصنيف المثبطات
13	..... 4.2.8.ا المعادلات الأساسية لديناميكة الحرارية
13	..... 1.4.2.8.ا طاقة التنشيط $E_a$
14	..... 2.4.2.8.ا معادلة فان ليس هوف
14	..... 5.2.8.ا آليات الامتزاز لمثبطات التآكل.
15	..... 1.5.2.8.ا أنواع الإمتزاز.
16	..... 6.2.8.ا متساوي حرارة الامتزاز
17	..... 7.2.8.ا معلمات الامتزاز الديناميكي الحراري
19	..... مراجع المحور الاول.

## الفصل الثاني

23	..... 1.ا مقدمة
23	..... 2.ا المادة النباتية.
23	..... 1.2.ا نبات السرو.
25	..... 3.ا الأدوات والمواد

25	.....1.3.ii الأجهزة المستعملة.
25	.....2.3.ii الأدوات المستعملة.
25	.....3.3.ii المواد.
26	.....4.ii المواد المستخدمة
26	.....5.ii تحضير العينات
26	.....1.5.ii قطع العينات
26	.....2.5.ii الصقل الميكانيكي
27	.....6.ii تحضير المحاليل
27	.....1.6.ii. تحضير محلول حمض الهيدروكلوريك (الوسط الأكال).
27	.....2.6.ii. إعداد المحلول المثبط (المانع).
29	.....7.ii. دراسة التجريبية للطرق المستخدمة
29	.....1.7.ii. تقنية الكتلة الضائعة (طريقة فقدان الوزن).
31	.....8.ii. طرق التوصيف
31	.....1.8.ii. المسح المجهرى الالكتروني (MEB)
32	.....2.8.ii. حيود الأشعة السينية.
34	.....مراجع المحور الثاني

### الفصل الثالث

35	.....1.iii مقدمة
35	.....2.iii دراسة قياسات الكتلة الضائعة.

35	..... تأثير التركيز. 1.2.iii
37	..... تأثير زمن الغمر على الفعالية التثييطية. 2.2. iii
40	..... تأثير درجة الحرارة. 3.2.iii
42	..... تحديد طاقات التثييط. 1.3.2.iii
46	..... أنواع متساوي الإمتزاز. 2.3.2.iii
52	..... معلمات الإمتزاز الديناميكي الحراري 1.1.3.2.iii
57	..... نتائج الفحص المجهري 3.iii
57	..... البنية المرفولوجية. 1.3.iii
62	..... اشعة x 2.3.iii
63	..... مراجع المحور الثالث.....
68	..... الخاتمة

## قائمة الأشكال

### الفصل الأول

- الشكل 1.1. التآكل المنتظم..... 7
- الشكل 2.1. التآكل الموضعي..... 7
- الشكل 3.1. التآكل الغلفاني..... 7
- الشكل 4.1. التآكل بين الشقوق..... 7
- الشكل 5.1. التآكل بالنقر..... 8
- الشكل 6.1. التآكل بين الحبيبات..... 8
- الشكل 7.1. التآكل بالتعرية..... 8
- الشكل 8.1. منحنى امتصاص المثبط وفقاً لنموذج لانجوميير..... 16
- الشكل 9.1. منحنى امتصاص المثبط وفقاً لنموذج فرنديش..... 17
- الشكل 10.1. منحنى امتصاص المثبط وفقاً لنموذج فركمين..... 17
- الشكل 11.1. منحنى امتصاص المثبط وفقاً لنموذج تكمين..... 17

### الفصل الثاني

- الشكل 1.1. شجرة السرو ..... 24
- الشكل 2.1. جهاز الصقل الميكانيكي..... 26
- الشكل 3.1. مخطط يوضح خطوات العمل ..... 28
- الشكل II 4. التركيب التجريبي لتجربة الضياع في الكتلة ..... 30
- الشكل 5.1. جهاز المسح المجهر الإلكتروني (MEB)..... 32
- الشكل 6.1. الجهاز التجريبي لتقنية حيود الأشعة السينية (rayons X) ..... 33

### الفصل الثالث

- الشكل III.1. منحنى تغير معدل التآكل بدلالة تركيز المثبط..... 36
- الشكل III.2. تأثير تركيز المثبط على الفعالية التثبيطية..... 36
- الشكل III.3. تغيرات معدل تآكل الفولاذ C45 في 1M HCl بدلالة زمن الغمر ووجود المثبط..... 38
- الشكل III.4. تغيرات مردود تآكل الفولاذ C45 في 1M HCl بدلالة زمن الغمر ووجود المثبط.... 38
- الشكل III.5. تغيرات معدل التآكل للفولاذ بدلالة درجة الحرارة في غياب ووجود المثبط..... 41
- الشكل III.6. تغيرات المردود بدلالة درجة الحرارة في غياب ووجود المثبط..... 41
- الشكل III.7. منحنى Arrhenius للفولاذ في الوسط 1M HCl بوجود المثبط (مستخلص مائي لاوراق السرو) وغيابه لسرعة تآكل  $T_{corr}$  بدلالة  $T/1$ ..... 43
- الشكل III.8. منحنى Arrhenius للفولاذ في الوسط 1M HCl بوجود المثبط (مستخلص مائي لاوراق السرو) وغيابه لسرعة تآكل  $\log(T_{corr}/T)=1/T$ ..... 45
- الشكل III.9. متساوي امتصاص مستخلص اوراق السرو وفقا لنموذج لانجومير..... 48
- الشكل III.10. متساوي امتصاص مستخلص اوراق السرو وفقا لنموذج تمكين..... 48
- الشكل III.11. متساوي امتصاص مستخلص اوراق السرو وفقا لنموذج فرومكين..... 48
- الشكل III.12. متساوي امتصاص مستخلص اوراق السرو وفقا لنموذج فروندليتش..... 49
- الشكل III.13. متساوي امتصاص مستخلص اوراق السرو وفقا لنموذج El-Alwado..... 49
- الشكل III.14. متساوي امتصاص مستخلص اوراق السرو وفقا لنموذج فلوري هوجينز..... 50
- الشكل III.15. منحنى تغيرات  $K_{ads}$  بدلالة درجة الحرارة  $\ln(K_{ads})=f(1/T)$ ..... 54
- الشكل III.16. منحنى تغيرات  $\Delta G_{ads}^0$  بدلالة درجة الحرارة  $\Delta G_{ads}^0=f(T)$ ..... 56
- الشكل III.17. صور MEB و EDS لعينات من الفولاذ (أ؛ ب) (فارغ ج؛ د) غياب المثبط (ه؛ و) وجود المثبط..... 58

---

الشكل 18.111 للامتزاز الجزيئي على سطح العينة (a) في غياب المثبط (B) في وجود المثبط..... 61

الشكل. 19. اشعة X لعينات من الفولاذ (أ) فارغ (ب) وجود المثبط (ج) غياب المثبط..... 63

## جدول الرموز

الاسم	الرمز
معدل (سرعة) التآكل	$T_{cor}$
معدل التآكل في غياب المثبط	$T_0$
معدل التآكل في وجود المثبط	$T_{inh}$
مساحة السطح المغمور	$S$
زمن الغمر	$t$
كتلة العينة قبل الغمر	$m_1$
كتلة العينة بعد الغمر	$m_2$
التغير في الكتلة	$\Delta m$
كفاءة التنشيط	$E\%$
درجة الحرارة المطلقة	$T$
ثابت العام للغازات	$R$
ثابت بلانك	$h$
معامل الامتزاز عند الاتزان	$k_{ads}$
تغطية السطح	$\theta$
تركيز المثبط	$C_{inh}$
تركيز المذيب	$C_{solvant}$
عدد افوغادرو	$N_a$
طاقة التنشيط	$E_a$
انتالبي التنشيط	$\Delta H_a^\circ$
انتروبي التنشيط	$\Delta S_a^\circ$

## جدول الرموز

---

الطاقة الحرة (طاقة جيبس)	$\Delta G_{ads}^{\circ}$
انتالبي الامتزاز	$\Delta H_{ads}^{\circ}$
انتروبي الامتزاز	$\Delta S_{ads}^{\circ}$



# المقدمة العامة

## مقدمة عامة

يعتبر الفولاذ من بين المعادن الأكثر شيوعاً في التطبيقات الصناعية ويتم استخدامه على نطاق واسع في أنابيب البترول والنفط، معدات البناء، المصانع والجسور، السفن و وسائل النقل البري وغيرها، نظراً لما يمتلك من خصائص ميكانيكية جيدة منها المتانة القوية و مقاومة الصدأ كما أنه متوفر بكثرة وبتكلفة منخفضة، إلا أنه أكثر عرضة لتآكل بسهولة [1،2].

يعتبر التآكل آفة العصر الحديث حيث أنه يمس كل المجالات إلى أن المفهوم السائد عند الجميع عند السؤال عن التآكل هو صدأ الحديد لكن هذه الآفة تؤثر على جميع المعادن والمواد كالسيراميك والبوليمرات و الزجاج والإسمنت [3]، فالتآكل يعرف على أنه تلف المعدن بسبب تفاعل كهروكيميائي أو كيميائي مع الوسط المحيط به حيث يكون في حالة تلامس مباشر معه سواء أكان الوسط هو الهواء الجوي أو محيط كيميائي آخر وفي أي درجة حرارة كانت [4]، وعرفه العلماء بأنه ظاهرة معقدة تمت دراستها علمياً سنة 1830 وتعتمد هذه الدراسة على الخصائص الميكانيكية للمعدن. [5]

تستعمل المحاليل الحمضية القائمة على حمض الهيدروكلوريك في العديد من الأنشطة الصناعية مثل التخليل، التنظيف الكيميائي وكذلك إزالة الترسبات ويتبعه عادة انحلال كبير للمعدن بسبب عدوانية المحاليل الحمضية [6]. لحماية المعادن من التآكل استعملت طرق عديدة نذكر منها الحماية الكاثودية والحماية بالتغطية والحماية باختيار المعدن ، واستخدام محاليل مقاومة الصدأ ، أو مثبطات التآكل وهي أكثر الطرق استعمالاً. [7]

مثبطات التآكل وهي إحدى الطرق العملية والفعالة من حيث التكلفة للتحكم في التآكل المعدني ان استخدام بعض المثبطات الكيميائية محدوداً لبعض الأسباب، لان هذه المثبطات مكلفة ويمكن أن تكون سامة وخطيراً على بيئة البشر أيضاً [8] وقد دفع هذا إلى البحث عن مثبطات التآكل الصديقة للبيئة كبديل لتحل محل المثبطات الكيميائية.

حظيت المثبطات العضوية بالاهتمام الكبير خلال العقد الماضي [9] لأنها صديقة للبيئة، وغير سامة، وأقل تكلفة نسبياً [10]. تتكون هذه المثبطات أساساً من ذرات النيتروجين و الأكسجين و الكبريت .تلعب المثبطات التي تحتوي على روابط مزدوجة أو ثلاثية دوراً أساسياً في تسهيل امتصاص هذه المركبات على الأسطح المعدنية [11-13]. يمكن تشكيل رابطة بين زوج الإلكترون و/أو سحابة الإلكترون  $\pi$  للذرات المانحة والسطح المعدني، وبالتالي تقليل الهجوم التآكل في وسط حمضي [14، 15] .

حيث تعمل هذه المثبطات اولا عن طريق الامتزاز على سطح المعادن قبل أن تتدخل في عملية تفاعل التآكل لتقليل سرعتها . عند دمج المثبطات في الطبقة الكهربائية المزدوجة الموجودة على سطح المعدن، يقوم الجزيء المستقطب أو الأيون المثبط بتعديل توزيع الشحنة وبالتالي غالبية المثبطات القادرة على العمل في وسط الحمضي

في دراستنا هذه قمنا باختيار المستخلص المائي لأوراق السرو كمثبط التآكل للفولاذ C45 في وسط حمض الهيدروكلوريك HCl بتركيز 1M، بهدف تحديد فعالية هذا المثبط تحت تأثير التركيز وزمن الغمر ودرجة الحرارة باستخدام طريقة الكتلة الضائعة.

وينقسم هذا العمل إلى ثلاثة محاور:

**المحور الأول:**يشمل الدراسة النظرية في عموميات حول التآكل وطرق الحماية منه باستعمال المثبطات.

**المحور الثاني:** تم فيه وصف طريقة تحضير المحلول وذكر بعض الأجهزة المستعملة في دراسة الفعالية التثبيطية.

**المحور الثالث:** تمت فيه مناقشة وتفسير النتائج المتحصل عليها من تقنية الكتلة الضائعة لتغيير

التركيز ،زمن الغمر و درجة الحرارة ، وتحليل الفحص المجهرى للماسح المجهرى الالكتروني (MEB) .

ختمنا هذا البحث بخاتمة عامة تم فيها تلخيص أهم النتائج المتحصل.

- [1]H. Wei et al, Green inhibitors for steel corrosion in acidic environment: state of art, *Materials Today Sustainability*, 10, (2020), 100044.
- [2] د.خالد عثمان شرف ، دراسة سلوك تآكل الفولاذ الكربوني في الأوساط المائية ، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية ، المجلد الثامن والعشرون ، العدد الأول ، (2012)، 38.
- [3]دميعي اسمهان - كيوص فائزة،دراسة القدرة التثبيطية والفعل التآزري لملاح فسفوري لتآكل الفولاذ (XC70) في وسط حامضي، مذكرة ماستر،جامعة قاصدي مرباح ورقلة،(2018).
- [4] A.Ben Menin, Étude de l'effet inhibitrice des extraits de plantes sur la corrosion de l'acier CX52 ,Doctoresse,Universite Kasdi Merbah Ouargla,2017.
- [5] د. قحطان خلف محمد الخرزجي، عبد الجواد محمد أحمد الشريف، "التآكل أسبابه انواعه طرق الحماية منه"، جامعة بغداد، 1988.
- [6] مغني نور الهدى، وانيس نور الهدى، تثبيط تآكل الفولاذ 45 C في وسط حمض الهيدروكلوريك 0.5 M HCl بواسطة مستخلص مائي من قشور البرتقال، مذكرة ماستر، جامعة محمد خيضر بسكرة،(2021).
- [7] D. Benmessaoud left, M. Zertoubi, a. Irhzo, M. Azzi. *Revue: Huiles et extraits de plantes comme inhibiteurs de corrosion pour différents métaux et alliages dans le milieu acide chlorhydrique. (Review: oils and extracts plants as corrosion inhibitors for different metals and alloys in hydrochloric acid medium). J. Mater. Environ. Sci.* 4 (6) (2013) 855-866 .
- [8] J. Halambek, K. Berković, J. Vorkapic Furac, The influence of *Lavandula angustifolia* L. oil on corrosion of Al3Mg alloy, *Corrosion Science* , 2010
- [9]H. Marmi, Amélioration de la résistance à la corrosion électrochimique des aciers par utilisation des inhibiteurs. Doctora. dissertation. Université Mohamed Khider Biskra; 2017.
- [10] MA. Bedair, MS. Metwally, SA. Soliman, AM. Al-Sabagh, AM. Salem, TA Mohamed,. Extracts of mint and tea as green corrosion inhibitors for mild steel in hydrochloric acid solution. *Journal of Al-Azhar Bulletin of Science*, 2015, 1-14
- [11 ]A. Satapathy, G. Gunasekaran, S. Sahoo, K. Amit and P. Rodrigues, Corrosion inhibition by *Justicia gendarussa* plant extract in hydrochloric acid solution, *Corros .Sci.*, 2009, 51, no. 12, 2848–2856. doi: 101016/j.corsci.2009.08.016
- [12] A. Chaouiki, H. Lgaz, R. Salghi, M. Chafiq, H. Oudda, Shubhalaxmi, K.S. Bhat , I. Cretescu, I.H. Ali, R. Marzouki and I.-M. Chung, Assessing the impact of electron-donating-substituted chalcones on inhibition of mild steel corrosion in HCl solution :

Experimental results and molecular-level insights, *Colloids Surf. Physicochem. Eng . Asp.*, 2020, 588. doi: 10.1016/j.colsurfa.2019.124366

[13]A. Singh, K.R. Ansari, D.S. Chauhan, M.A. Quraishi, H. Lgaz and I.-M. Chung , Comprehensive investigation of steel corrosion inhibition at macro/micro level by ecofriendly green corrosion inhibitor in 15% HCl medium, *J. Colloid Interface Sci* ,2020 ,. 236–225 ,560.

[14] R. Kumar, S. Chahal, S. Kumar, S. Lata, H. Lgaz, R. Salghi and S. Jodeh, Corrosion inhibition performance of chromone-3-acrylic acid derivatives for low alloy steel with theoretical modeling and experimental aspects, *J. Mol. Liq.*, 2017, 243, 439–450.

[15]A. Singh, K.R. Ansari, J. Haque, P. Dohare, H. Lgaz, R. Salghi and M.A. Quraishi , Effect of electron donating functional groups on corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid: Experimental and quantum chemical study, *J. Taiwan Inst. Chem .Eng.*, 2018, 82, 233–251.

المحور الاول

عموميات حول التآكل

وطرق الحماية منه

## 1.1 مقدمة

تتعرض المعادن بصورة عامة و المعدات الصناعية بشكل خاص الى تأثير المواد الحامضية و تحديدا في الصناعات النفطية و الكيماوية و البتروكيماوية مما يؤدي الى تآكلها و تضررها بشكل كبير و هو الامر الذي يسبب خسائر مادية واقتصادية وحتى بشرية عند الحوادث نتيجة تأثير وهجوم الوسط على المعدن مما يسبب الفشل والتلف في تلك المعدات والمنشآت .

## 2.1 مفاهيم عن التآكل

هو التلف الظاهر على سطح المادة أو خواصها نتيجة تأثرها (تفاعلها) مع الوسط الخارجي المحيط بها أو التلف الناتج عن التفاعل بين مادتين فأكثر (مثلاً: المعادن والأكسجين) أو مكوناتها بوجود وسيط كالحرارة، الرطوبة أو الأملاح [1].

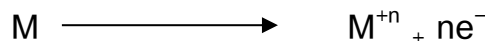
ظاهرة طبيعية وعفوية تنتج الى تحويل المعادن النقية وسبائكها الى عدة مستقرة مثل الكبريتيد و الأكاسيد والهيدروكسيدات بواسطة المادة الكيميائية أو التفاعلات مع البيئة المحيطة بها [2].

يعرف تبعاً للنظام الدولي ISO8044 أنه تأثير متبادل فيزيائي كيميائي بين المعدن والوسط المحيط به ، ينتج عنه تغير في الخواص المميزة للمعدن [3].

## 3.1 آلية حدوث التآكل

الإشكالية: لماذا يحدث التآكل؟

الفرضية: السبب الذي يدعو ظهور التآكل هو عدم وجود ثبات أو استقرار للمعدن ، بسبب تأثير الطاقة الحرة (Free Energy) فمن طبيعة المعادن ترغب للعودة إلى حالتها الأصلية الخام التي كانت عليها قبل استخلاصها ، وينشأ التآكل نتيجة التفاعل الذي يحدث بين المعدن والمواد المحيطة به سواء كانت سائلة أو غازية ، فتحدث أكسدة للمعدن وفق ما يلي :



M : أي معدن

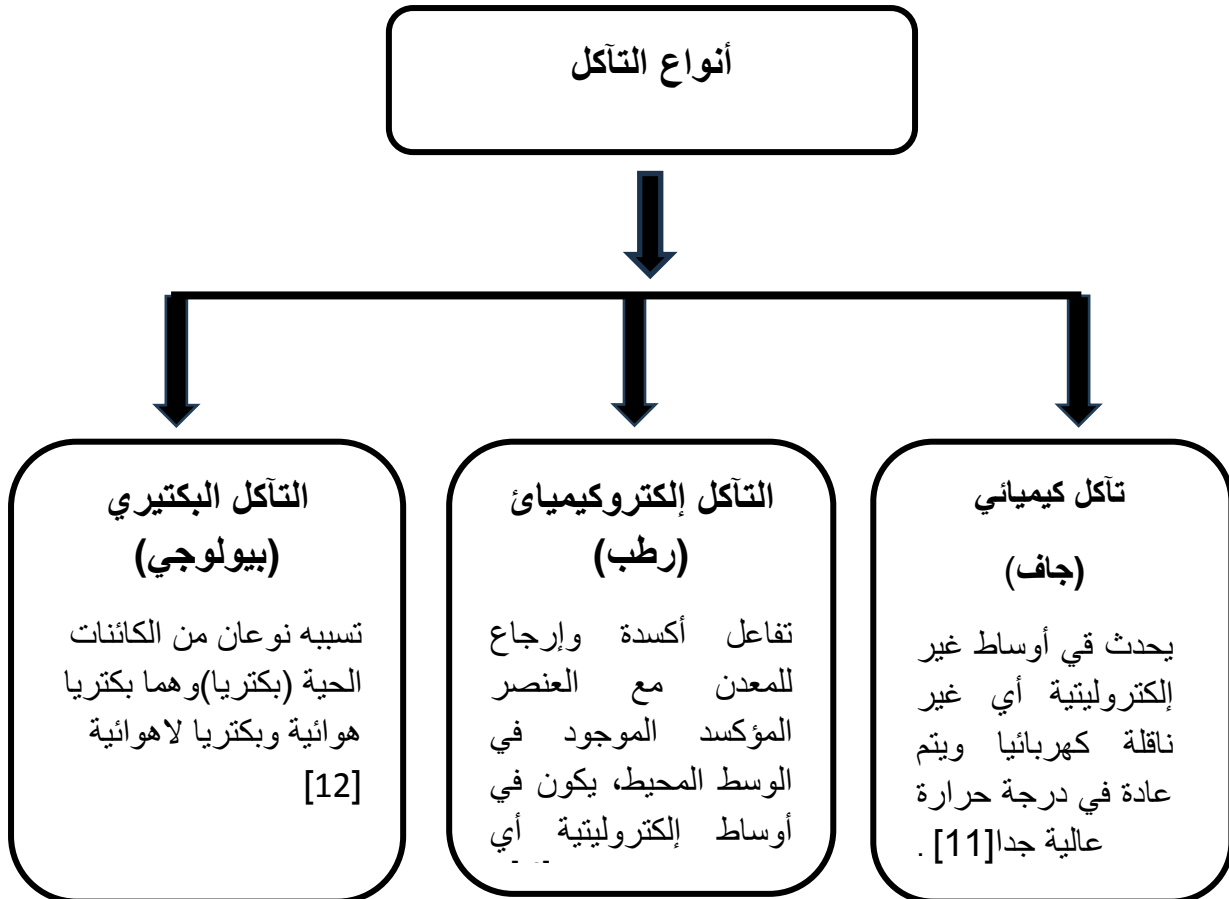
بينما يتم إرجاع المؤكسد حسب نوعه ووسطه

تآكل المعدن في الوسط الحمضي

تعد الوسائط الحمضية بيئات عدوانية للمعادن والسبائك، أين يذوب المعدن في مناطق الأنود عن طريق تفاعل أكسدة ذرات المعدن لتفقد أيونات معدنية في المحلول، و بالمقابل يتم تفاعل الإرجاع على مستوى الكاتود وفيه يتم تحرير أيونات الهيدروجين في الحمض مع تطور الهيدروجين، تستعمل المحاليل الحمضية القائمة على حمض الهيدروكلوريك للتنظيف الكيميائي والتخليل بشكل عام في درجات الحرارة المنخفضة [2,4,5].

#### 4.1 أنواع التآكل

من بين أنواع التآكل نجد





## 5.1 أشكال التآكل

من بين بعض الأشكال نجد

 <p>الشكل 1.1 التآكل المنتظم</p>	<p><b>التآكل المنتظم (corrosion Uniform)</b></p> <p>أكثر اشكال التآكل انتشارا، ويدعى بالتآكل العام لأنه يتم على جميع نقاط سطح المعدن بنفس المعدل أي بسرعة ثابتة مما يجعل سماكة التآكل منتظمة. الهجوم يكون موحد على سطح المعدن ونجد في هذا النوع من التآكل تكون فيه المعادن على تماس مع وسط حمضي [6].</p>
 <p>الشكل 2.1 التآكل الموضعي</p>	<p><b>التآكل الموضعي (corrosion localisé)</b></p> <p>يتميز بمظهره في منطقة محددة من الهيكل المعدني [7] حيث يسبب شقوق ونقر على سطح المعدن [8]</p>
 <p>الشكل 3.1 التآكل الغلفاني</p>	<p><b>التآكل الغلفاني أو ثنائي المعدن (la corrosion galvanique):</b></p> <p>يحدث بين معدنيين مختلفين في سبيكة واحدة عندما يتعرضان لبيئة آكلة [9] ويتم توليد فرق جهد كهربائي (تشكيل خلية الكترولوكيميائية) ويمثل المعدن الذي يمتلك جهدا سلبيا أكبر بالأنود أما المعدن الذي يمتلك جهدا سلبيا أقل بالكاتود [8] بحيث يزداد تدهور المعدن أقل مقاومة .</p>
 <p>الشكل 4.1 التآكل بين الشقوق</p>	<p><b>التآكل بين الشقوق (la corrosion caverneuse)</b></p> <p>يعود الى الاختلاف في إمكانية الحصول على الأكسجين بين الجزئين من بنية الخلية الإلكترولوكيميائية، هناك انتقائية في الحفز على المعدن في فتحات وغيرها من المناطق التي تعذر الأكسجين الوصول إليها.</p>

	<p>يحدث التآكل بين الشقوق بسبب اختلاف التركيبات الكيميائية في نقاط معينة بالقرب من الأسطح المتصلة. ويحدث هذا الاختلاف في التركيب الكيميائي عندما يتسرب الهواء أو الماء أو أي عنصر تآكل آخر إلى شق صغير بين المواد ويصبح محصورًا هناك [8].</p>
 <p>الشكل 5.1. التآكل بالنقر</p>	<p><b>التآكل بالنقر (la corrosion par piqures):</b></p> <p>يحدث هذا النوع من النقر في مواضع معينة من المعدن وعادة ما تسبب تجاوزات على سطح المعدن يكون قطرها من رتبة الميكرومتر [6، 10].</p>
 <p>الشكل 6.1. التآكل بين الحبيبات</p>	<p><b>التآكل بين الحبيبات (la corrosion intergranulaire):</b></p> <p>يحدث بين الحبيبات المشكلة للمعدن بحيث يتشكل هجوم على الحواف الحبيبات بسبب وجود اختلاف في طبيعة الخواص المعدنية [10].</p>
 <p>الشكل 7.1. التآكل بالتعرية</p>	<p><b>التآكل بالتعرية (la corrosion érosion):</b></p> <p>يحدث هذا النوع نتيجة للحركة السريعة لوسط التآكل على المعدن، مما يؤدي لإزالة بعض الأجزاء من السطح أو من طبقة الأكسيد الواقية، و يتميز هذا النوع يظهر التموجات و الأخاديد، و تشيع هذه الصورة في المعدات المستخدمة في الأوساط المالحة ذات السريران العالي، الغازات، المحاليل والمواد العضوية [10،6،11].</p>

## 6.1 أسباب تآكل المعادن والسبائك

من الأسباب التي تؤدي لتآكل المعادن والسبائك نجد : وجود الماء في صورة رطوبة الهواء ، القواعد أو الأوساط الحمضية ، الأملاح ، الكيمياويات السائلة ، ملمعات المعادن وكذلك الغازات الخطيرة التي تؤدي إلى التآكل على سطوح المواد والمعادن [11] .

## 7.1 العوامل المؤثرة على التآكل

من بين العوامل المؤثرة في ظاهرة التآكل نجد

### a. تأثير درجة الحرارة

أن الزيادة في درجة الحرارة تؤدي إلى تسريع ظاهرة التآكل وفي ذلك يقاا من مجالات ثبات المعادن ويسرع الحركة إلا يتغير التآكل حسب البيئة المسببة لتآكل فيها المواد والمعادن [12] .

### b. تأثير الحموضة

تُعدّ قابلية المادة للتآكل دالة لدرجة الحموضة في المنحل بالكهرباء، حيث تلعب درجة الحموضة دوراً هاماً في تحديد مدى عدوانية الوسط على المادة.

في المحاليل ذات التركيز العالي للبروتونات (Ph منخفض) يزداد عدد الأيونات الهيدروجينية ( $H^+$ ) ، مما يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعلات الكيميائية والكهروكيميائية على سطح المادة .هذه التفاعلات هي المسؤولة عن تآكل المادة .مع انخفاض درجة الحموضة (إزدياد تركيز  $H^+$ )، تزداد سرعة التآكل بشكل ملحوظ.

ويرجع ذلك لعوامل منها: ازدياد قوة تأين المعدن ، ازدياد سرعة تفاعل الأكسدة ، ازدياد نشاط أيونات الكلوريد.

### c. تأثير الملوحة

تؤدي زيادة تركيز الأملاح الذائبة في الوسط إلى زيادة سرعة التآكل بشكل ملحوظ. ويفسر ذلك بازدياد سرعة توصيل التيار الكهربائي: التي تعمل الأملاح الذائبة على زيادة قدرة الوسط على توصيل التيار الكهربائي [13، 14].

### d. تأثير النظام الهيدروديناميكي

يلعب النظام الهيدروديناميكي دورًا هامًا في التأثير على معدلات التآكل، وذلك من خلال التحكم في نقل المواد على سطح المعدن [15].

عندما يتلامس المعدن مع محلول كهربائي، تتشكل طبقة رقيقة من السائل على سطحه تسمى طبقة الحدود.

كلما زادت سرعة تدفق السائل، زادت سرعة نقل المواد المتفاعلة إلى طبقة الحدود، مما يؤدي إلى زيادة سرعة التآكل.

كلما زادت سرعة تدفق السائل، زادت سرعة إزالة منتجات التفاعل من طبقة الحدود، مما يؤدي إلى زيادة سرعة التآكل.

## 8.1 طرق الحماية من التآكل

### 1.8.1 الحماية بالتغطية (الطلاء)

وهي الطريقة الأكثر استعمالاً للتصدي لظاهرة التآكل والتي بدورها تقوم بعزل الفلز عن

الوسط الآكل قصد حمايته [16-18].

### 1.1.8.1 الحماية الكاثودية

هي عملية يتم فيها حماية الهياكل المعدنية الحديدية والأنايبب جراء تعرض سطوحها الى تماس مع التربة أو الماء ويمكن منع حدوث التآكل أن جعلنا سطح المعدن بأكمله كاثوديا بالنسبة لمحيطه وتتحصر في طريقتين :

استخدام تيار كهربائي خارجي: نربط القطب السالب بالمعدن المراد حمايته ونربط القطب الموجب بالمادة او المعدن الذي سوف نضحي به (مثل: الغرافيت، الرصاص، النيكل...)، فيسري التيار من القطب الموجب الى المعدن المحمي والذي يكون القطب السالب [19].

الحماية الغلفانية: في هذه الحالة نستبدل المصدر الخارجي للتيار بالخلية الغلفانية، نستخدم معدن أكثر نشاط من المعدن المراد حمايته للإمرار بتيار كهربائي اللازم لإيقاف عملية التآكل.

### 2.1.8.1 الحماية الانودية

هي إحدى الطرق المستخدمة لحماية المعادن المقاومة للتآكل واقترحت (عام 1054) وظلت 10 سنوات تحت التجارب المخبرية [19].

### 2.8.1 الحماية باستعمال المثبطات

#### 1.2.8.1 مفاهيم عن المثبطات

تعددت الروى حول مفهوم مثبط التآكل "المانع" لكن أجمع العلماء على اعتماد مفهوم

الرابطة الوطنية لمهندسي التآكل « NACE » :

مادة كيميائية فعالة عند إضافتها بتركيز صغيرة تقلل أو تمنع من تفاعل المعدن مع البيئة [19].

مركبات كيميائية يتم امتصاصها على سطوح المعادن، للتقليل أو التحكم أو منع التآكل [20].

المثبط ( المانع) هو مركب كيميائي يضاف بتركيز منخفض إلى وسط تآكل ، يقلل من معدل

تآكل المعدن دون التأثير على مقاومته الميكانيكية، يجب أن يكون المانع مستقر في وجود المكونات المتوسطة الأخرى عند تشغيل درجات بتراكيز منخفضة ومتوافقة مع معايير عدم سمية وغير مكلفة [21].

تستخدم مثبطات التآكل على نطاق واسع بسبب اتساع تواجدها و تكلفتها المنخفضة كما أنها ذات كفاءة جيدة [22].

### **2.2.8.1 أنواع مثبطات التآكل**

وهي تنقسم إلى [23] :

#### **1.2.2.8.1 المثبطات غير العضوية**

تعرف بالمركبات التقليدية السامة مثل الكرومات الفوسفات النترات ينتج عنها إطلاق غازات سامة [22] مما يعتبر مثبط الكرومات من المثبطات غير المرغوب فيها و يؤثر سلبا على البيئة غالبا ما تستخدم في وسط محايد العضوية على نطاق واسع ويشكل طبقة رقيقة من أكسيد أحادي أو متعدد ذرات الكرومات على سطح المعدن لحمايته وعزله عن وسط التآكل [24].

#### **2.2.2.8.1 المثبطات العضوية**

تعرف بالمثبطات الخضراء الصديقة للبيئة التي يتم إنتاجها من مصادر متجددة ومنخفضة التكلفة وغير سامة ،تقدم نسبة عالية من كفاءة التثبيط [25] ، تتمثل في نباتات "المستخلصات والزيوت" ، أدوية ، السوائل الأيونية ... الخ [16] ، يمكن استخلاص المكونات بسهولة بطرق بسيطة للغاية ، لذلك هذه المنتجات متوافقة مع النسان والبيئة [26] .

### 3.2.8.1 تصنيف المثبطات

تصنف إلى عدة فئات حسب : الطبيعة الكيميائية ، وسط التآكل ، و آلية العمل

المثبط	مجال التصنيف
المثبطات المستخدمة في وسط عضوي المثبطات المستخدمة في وسط غازي	- حسب مجال التطبيق
مثبطات العضوية مثبطات غير العضوية	- حسب تركيبها الكيميائي
مثبطات الأنوديك مثبطات الكاثودية المثبطات المختلفة	- حسب الطبيعة الكهرو كيميائية
مثبطات الامتزاز مثبطات التخميل تشكل أغشية التخميل	- حسب طريقة العمل

### 4.2.8.I المعادلات الأساسية لديناميكية الحرارة

#### 1.4.2.8.I طاقة التنشيط $E_a$

يمكن حساب طاقة التنشيط باستخدام معادلة أرهينيوس (Arrhenius):

$$T_{corr} = A \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \dots \dots \dots (2.I) [27]$$

حيث

$T_{corr}$ : هو معدل التآكل .

$E_a$ : تمثل طاقة التنشيط R.

R : هو الثابت العام للغازات.

T: درجة الحرارة .

### 2.4.2.8.I معادلة فان ليس هوف [28]

$$\text{Log} \left( \frac{T_{\text{corr}}}{T} \right) = -\frac{\Delta H_a^0}{2.303RT} + \frac{\Delta S_s^0}{2.303R} + \text{Log} \left( \frac{R}{N_A h} \right) \dots \dots \dots (3.I)$$

تمكننا هذه المعادلة من حساب  $\Delta H_{\text{ads}}^0$  و  $\Delta S_{\text{ads}}^0$  بالنسبة الى  $1/T$  ينتج منحنى على شكل خط مستقيم

$$\text{ميله يمثل } -\frac{\Delta H_a^0}{2.303R} \text{ والتقاطع مع محور الترتيب يمثل } \frac{\Delta S_a^0}{2.303R} + \text{Log} \left( \frac{R}{N_A h} \right) [27].$$

### 5.2.8.1 آليات الامتزاز لمثبطات التآكل

يعتمد مبدأ عمل مثبطات التآكل على الامتزاز المباشر أو غير المباشر لجزيئات المثبطات على

سطح المعدن، مما يقلل من ملامسة سطح المعدن مع الوسط العدواني أغلبية المواد المعدنية بشكل

طبيعي غير مستقرة بحيث تميل إلى التفاعل كيميائياً كهر وكيميائياً مع عوامل عدوانية للبيئة مثل

$(H^+, Cl^-)$ ، ينتج عن تطبيق مثبطات التآكل في الوسائط المسببة للتآكل امتزازهم على المواقع النشطة

(مناطق الطاقة العالية) من سطح المعدن بعد تشكيل فيلم واقية. هذا طبقة تعزل السطح المعدني عن

البيئة العدوانية وبالتالي منعه من التآكل [26].

يتم تحديد آلية امتزاز "طاقة امتزاز المثبط" وفق المعادلة التالية [9] :

$$\Delta G_{\text{ads}}^0 = -RT \ln k_{\text{abs}} C \dots \dots \dots (1. I)$$

حيث:

C : التركيز المولي للمذيب

$K_{\text{ads}}$  : قيمة التوازن ثابت لعملية الامتزاز.

R : هو ثابت العام للغازات  $8.314 \text{ J.k}^{-1} . \text{mol}^{-1}$

T : هي درجة الحرارة المطلقة بـ K.



### 1.5.2.8.1 أنواع الإمتزاز

يُصنّف الامتزاز بشكل عام إلى نوعين رئيسيين بناءً على طبيعة القوى بين جزيئات المُمتز (المتبسط) وسطح المادة المُمتزّة (المعدن):

#### الإمتزاز الفيزيائي: (Physical adsorption)

التفاعل الكهر وستاتيكي للمثبطات المشحونة مع سطح الركيزة، ينتج عن سطح المعدن المشحون امتصاص المثبطات على سطح المعدن يعتبر امتزازاً فيزيائياً مباشراً [25].

#### الإمتزاز الكيميائي: (Chemisorption)

تشكل فيه روابط كيميائية قوية مثل: الروابط التساهمية أو التناصقية بين جزيئات المُمتز (المتبسط) وسطح المُمتزّة (المعدن) [25].

مقارنة بين الإمتزاز الفيزيائي والكيميائي :

الخاصية	الامتزاز الفيزيائي	الامتزاز الكيميائي
طبيعة القوى بين جزيئات الممتز والسطح	قوى فان دير فال (ضعيفة)	روابط كيميائية (قوية)
طاقة الامتزاز	منخفضة	عالية
سهولة الانفصال	سهل	صعب
التأثير على التركيب الكيميائي	لا يُغيّر	قد يُغيّر
شروط حدوثه	درجات حرارة منخفضة نسبياً	درجات حرارة مرتفعة نسبياً
أمثلة	امتزاز بخار الماء على الزجاج، امتزاز غاز ثاني أكسيد الكربون على الفحم المنشط	امتزاز الأكسجين على البلاتين، امتزاز جزيئات الماء على أكسيد الألمنيوم

### 6.2.8.1 متساوي حرارة الامتزاز

يُظهر متساوي حرارة الامتزاز كيف تتغير كمية المادة الممتزة مع تغير ضغط أو تركيز الممتز، مع ثبات باقي العوامل مثل درجة الحرارة.

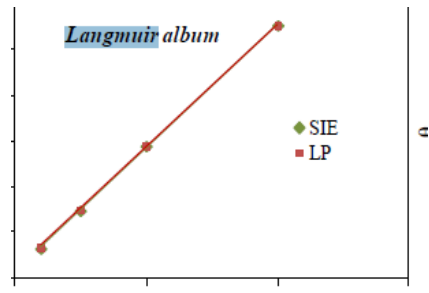
✓ تستخدم معادلات متساوي الحرارة لتأكيد آلية التنشيط التي تحدث وهي آلية الامتزاز، كما تسمح

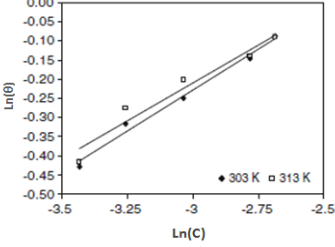
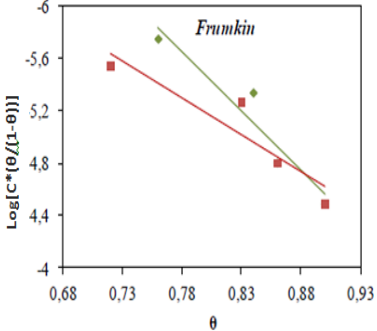
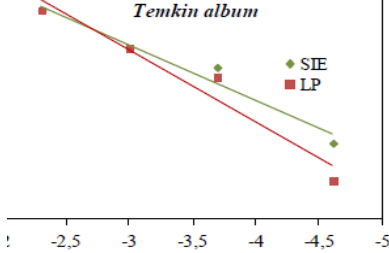
هذه المعادلات من استخلاص معلومات كاملة لتوصيف نظام منع التآكل

✓ لتوصيف نظام منع التآكل، ويتم التعبير عن متساوي درجة حرارة الامتزاز [28] في معادلة

$$f(\theta, x) * \exp(-\alpha\theta) = KC \dots \dots \dots (7.I) [40]$$

الجدول 4.I. يوضح طبيعة الإمتزاز

المنحني	علاقة	طبيعة الإمتزاز
 <p>الشكل 8.1. منحني امتصاص المثبط وفقاً لنموذج لانجومير [40].</p>	$\frac{C_{inh}}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C_{inh} \dots \dots \dots (8.I) [42]$	لانجومير

 <p>الشكل 9.I. منحنى امتصاص المثبط وفقاً لنموذج فرنديش [40].</p>	$\log(\theta) = n \log(C_{inh}) + \log(k_{ads}) \dots (9.I)$ <p>[42]</p>	<p>فرنديش</p>
 <p>الشكل 10.I. منحنى امتصاص المثبط وفقاً لنموذج فركمين [28].</p>	$\ln \left[ \frac{\theta}{(1-\theta)C_{inh}} \right] = \ln(k_{ads}) + 2a\theta \dots (10.I)$ <p>[30]</p>	<p>فركمين</p>
 <p>الشكل 11.I. منحنى امتصاص المثبط وفقاً لنموذج تكمين [29].</p>	$\exp(-2a\theta) = k_{ads}C_{inh} \dots (11.I)[30]$	<p>تكمين</p>

### 7.2.8.1 معلمات الامتزاز الديناميكي الحراري

يمكن حساب الانتالبي للامتزاز ( $\Delta H^0_{ads}$ ) باستخدام معادلة Van't Hoff [34]

$$\frac{d \ln(K_{ads})}{dT} = \frac{\Delta H^0_{ads}}{RT^2} \dots (12.I)$$

إن المنحنى البياني ل  $\ln(K_{ads})$  بدلالة مقلوب درجة الحرارة ( $1/T$ ) هو خط مستقيم ميله

$$\text{ميله } (-\Delta H^0_{ads}/R)$$

يمكن تعيين قيم الإنتروبي ( $\Delta S_{ads}$ ) مأخوذة من علاقة Gibbs-Helmholtz [35.34]

$$\Delta G_{ads} = \Delta H_{ads} - T\Delta S_{ads} \dots \dots \dots (13.I)[29]$$

الجدول 5.I. يوضح أهمية المعلمات الديناميكية الحرارية [27].

معلمات الديناميكية الحرارية	دالة
$\Delta G_{ads}^0$	آلية إمتزاز فيزيائية $\Delta G_{ads} \leq -20 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ آلية إمتزاز كيميائية $\Delta G_{ads} \leq -40 \text{ J. mol}^{-1} \cdot \text{k}^{-1}$ $-40 \text{ J. mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \leq \Delta G_{ads} \leq -20 \text{ J. mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ آلية إمتزاز مختلطة
$\Delta H_{ads}^0$	تفاعل ماص للحرارة $\Delta H_{ads}^0 > 0$ . تفاعل ناشر للحرارة $\Delta H_{ads}^0 < 0$ .
$\Delta S_{ads}^0$	$\Delta S_{ads}^0 > 0$ يعني أن الامتصاص مدعوم بزيادة في إنتروبي. $\Delta S_{ads}^0 < 0$ يعني انخفاض العشوائية من المتفاعل إلى المركب المنشط.

[1] ديمه, م. م., مساء, ع. ش & , غياث, ع. ع. (2019). دراسة فعالية مستخلص التبغ كمثبط تآكل للأنابيب الفولاذية المدفونة ترب عضوية وعضارية. مجلة إتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية. 149 - 144, 26(4),

[2] verma, C. (2018). An overview on plant extracte as environmentale sustainable and green corrosion Inhibitores for metals and Alloys in aggressive corrosive media. journale of molecular Liquids, 266, 577 - 590.

[3] دغموش, م. م. (2014). تحضير وتحديد الخصائص الفيزيوكيميائية لبعض المركبات ثنائي ثيول ثيون و أملاحها المرافقة لتطبيق فعاليتها التثبيطية في دراسة تآكل المعادن. أطروحة الدكتوراه, ورقلة, جامعة قاصدي مرباح, الجزائر.

[4] Alibakshi, E., & et al (Éd.). (2018). Glycyrrhiza glabra leaves extract as a green corrosion inhibitor for midl steel in 1M hydrochloric acid solution. Journal of Molecular Liquids, 255, 185 - 198.

[5] Bensabra, H. (2016). Cours de Corrosion et Protection des Métaux. jijel: Universty de jijel.

[6] LANDOLT, D. (1993). Traité des matériaux. Ed. presses polytechniques et universitaires romandes.

[7] Verma Ch, & al. (2019). Aqueous phase environmental friendly organic corrosion inhibitors. Journal of Molecular Liquids, 275, 18 - 40.

[8] Rashq Al-sadi, A. (2016). Study of Polarization Curves for the Carbon Steel (X65-Steel) inAcidic Media. Al-Qadisiya, Iraq.

[9] Umoren, S. A., & al. (2019). A critical review on the recent studies on plant biomaterials as. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 76, 91 - 115.

[10] منصور س. (1991). هندسة التآكل. بيروت: دار الراتب الجامعية.

[11] Sallah, S., & al. (2020). Plant extracts as green corrosion inhibitor for ferrous metal alloys. Journal of Cleaner Production, 304, 12703.

[12] Bilel, M. (2011). Synthese des Inhibiteurs Contre la Corrosion des Aciers. mémoire de Magister, Costantine, Université Mentouri.

[13] كلثوم نعامي. (2020). دراسة تأثير بعض المستخلصات النباتية على تثبيط تآكل الفولاذ الكربوني في وسط. مذكرة ماستر، ورقلة، جامعة قاصدي مرباح.

[14] التجاني يحيى, ن. (2007). دراسة فعالية بعض النباتات الصحراوية كمثبط لتآكل في أوساط مائية. مذكرة , جامعة ورقلة

[15] Fatima Zohra, M. (2015). Etude de corrosion de l'acier API5CTGradN 80 dans des puits d'injection d'eau par l'inhibiteur N-(2-aminoéthyl). 22. Ourgla, Université Kasdi Merbah.

[16] Quiraishi M, A., & al. (2021). Development of environmentally benign corrosion inhibitors for organic acid environments for oil-gas industry. Journal of Molecular Liquids, 329, 115514.

[17] Scully.J, C. (1995). corrosion protection. paris: Ed.Masson.

[18] كودية, س. (2012). دراسة الفاعلية التثبيطية لبعض المركبات الحلقية الكبريتية في وسط حمضي. جامعة ورقلة, الجزائر.

[19] Mr Daoud, D. (2016). Étude du pouvoir complexant et inhibiteur de nouveaux ligands bases de Schiff. thèse de Doctorat, Setif1, Université Ferhat Abbas, Setif.

[20] Devikala, S., & al. (2019). Green Corrosion inhibition of mild steel by Asafoetida extract extract in 3.5% NaCl. Materials Today, 14, 590 - 601.

[21] Abdelaziz, S., & al. (2019). Green corrosion inhibition of mild steel in HCl medium using leaves extract of Arbutus unedo L. (p. A. approach, Éd.) Physicochemical and Engineering Aspects, 619, 126496.

- [22] Wei, H., & al. (2020, December). Green inhibitors for steel corrosion in acidic environment. *10*, 100044. Récupéré sur <https://www.sciencedirect.com/journal/materials-today-sustainability>: <https://www.sciencedirect.com/journal/materials-today-sustainability>
- [23] Dehghani, A., & al. (2019). A detailed electrochemical/theoretical exploration of the aqueous Chinese gooseberry fruit shell extract as a green and cheap corrosion inhibitor for mild steel. *Journal of Molecular Liquids*, 282, 366 - 384.
- [24] Ogunleye, O. O. (2020). Green corrosion inhibition and adsorption characteristics of Luffa cylindrical leaf extract on mild steel in hydrochloric acid environment. *Heliyon*, 6, 203205
- [25] Ma, L., & al. (2021). Designing novel organic inhibitor loaded MgAl-LDHs nano container for enhanced corrosion resistance. *Chemical Engineering Journal*, 8, 127367
- [26] Sedik, A., & al. (2020). Dardagan Fruit extract as eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl: Electrochemical and surface morphological studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 107, 189 - 200.
- [27] Wei, H., & al. (2020, December). Green inhibitors for steel corrosion in acidic environment. *10*, 100044. Récupéré sur <https://www.sciencedirect.com/journal/materials-today-sustainability>: <https://www.sciencedirect.com/journal/materials-today-sustainability>
- [28] Ogunleye, O. O. (2020). Green corrosion inhibition and adsorption characteristics of Luffa cylindrical leaf extract on mild steel in hydrochloric acid environment. *Heliyon*, 6, 203205.
- [29] B. Mokhtar, Etude de l'Inhibition de la Corrosion d'un Acier Doux en Milieu Acide par l'Emploi d'Inhibiteurs à Base de Plantes, mémoire de doctorat, Université de Batna 2 – Mostefa Ben Boulaïd, batna, (2019).
- [30] O. O. Ogunleye et al, Green corrosion inhibition and adsorption characteristics of Luffa cylindrical leaf extract on mild steel in hydrochloric acid environment, *Heliyon*, 6, (2020), e03205
- [31] A. Dehghani et al, 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, *Journal of Molecular Liquids*, 282, (2019), 366–384.

[32] L. Ma et al, Designing novel organic inhibitor loaded MgAl-LDHs nano container for enhanced corrosion resistance, Chemical Engineering Journal, 08, (2021), 127367.

[33] M. Toorami et al, 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, Corrosion Science, 178, (2021), 109065.

[34] M.H. Ahmed, A. Al-Ghaban, A. Hiba Abdullah, Rana, A. Anae, Shaimaa Naser, Anees A. Khadomc, Expired butamirate drug as eco-friendly corrosion inhibitor for aluminum in seawater: Experimental and theoretical studies, Journal of Engineering Research, 2023.



المحور الثاني  
المواد و الإجراءات  
التجريبية

## 1.11. المقدمة

في هذا المحور سوف نتطرق الى طريقة تحضير عينات الفولاذ والمحاليل المدروسة المتمثلة في مستخلص مائي لأوراق السرو وحمض الهيدروكلوريك.

الطرق المستعملة هي طريقة الضياع في الكتلة بالرغم من طول المدة التي تستغرقها هذه الطريقة إلا أنها من الطرق الفعالة و الأكثر شيوعا و لتحليل السطح استعملنا المجهر الالكتروني و اشعة X.

## 2.11. المادة النباتية

### 1.2.11. نبات السرو

أول ظهور لكلمة السرو، كان في اللغة السومرية بلفظة (شور-مان)، وفي الآشورية-البابلية شورمينو، وفي الفينيقية بروش، وفي العبرية بروش، والآرامية شروينا وبروش، والسريانية شروينو وسرو وبروتو، وفي العربية سرو، والفارسية سرو.

السَّرُو هو نباتي شجري يتبع الفصيلة السروية من أهم أنواعه سرو المتوسط .يحوي السرو على زيت طيار يضم الباينين الكامفين السيدرول[1]

الاسم العلمي Cupressus

### جني المادة النباتية:

تم جني المادة في جانفي 2024 من قرية تاجرنيت -اينوغيسن-



الشكل II.1. شجرة السرو

### قطف النبتة:

➤ تم قطف الاوراق في الصباح الباكر لضمان فعالية المواد التي تحتوي عليها قدر الإمكان

### تجفيف المادة النباتية:

هي مرحلة مهمة جدا للحفاظ على المكونات قدر الإمكان لمنعها من التفاعلات, قمنا بفرش أوراق الجرائد ، ثم نوزع الاوراق فوق الورق و جففت النبتة لمدة 22يوم في مكان مظلم ومهوى بطريقة طبيعية[2].

### - الطحن:

يتم تحضير مسحوق الاوراق بطحن المادة الاوراق الجافة في مطحنة كهربائية حتى نتحصل على مسحوق ناعم جدا ، ويتم الاحتفاظ به بعيد عن الضوء .

## 3.3.1. الأدوات والمواد

### 3.1.3.1. الأجهزة المستعملة

- ❖ جهاز الصقل الميكانيكي
- ❖ جهاز التسخين مع شريط التحريك
- ❖ ميزان الحرارة
- ❖ قدم قنوية
- ❖ محرك ميكانيكي بقضيب مغناطيسي IKA-COMBIMAG.RCT.....
- ❖ الميزان الإلكتروني ذو الحساسية 0.0001 FA2004B.....
- ❖ المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)
- ❖ جهاز حيود الأشعة السينية

### 3.2.3.1. الأدوات المستعملة

- الورق الكاشط (1000,800,400,120,80)
- بياشر (2000ml,1000ml ,40ml)
- دورق (1000ml)
- قمع
- ورق الترشيح

### 3.3.3. المواد

- حمض الهيدروكلوريك (37% حمض الهيدروكلوريك)
- الماء المقطر

## 4. II. المواد المستخدمة

تم في هذا العمل استخدام قطع من الفولاذ من نوع C45 وقد قمنا بتحليله لمعرفة تركيبه الكيميائي باستخدام جهاز التحليل الطيفي للمعادن حيث يظهر الجدول التالي التركيب الكيميائي للعينات المدروسة

### الجدول 1. II. التركيب الكيميائي للفولاذ C45.

العناصر	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	MO%	Cr+MO+NI%
Wt %	0.45	0.40	0.80	0.045	0.045	0.40	0.40	0.10	0.63

## 5. II. تحضير العينات

### 1.5. II. قطع العينات

قمنا بتقطيع العينة بطول حوالي 3cm (عدم الدقة) بواسطة المنشار الكهربائي.

### 2.5. II. الصقل الميكانيكي

تتمثل هذه العملية في تلميع المادة أي جعلها أكثر نعومة وذلك بإزالة الطبقة السطحية لها وذلك من باستخدام آلة الصقل المزودة بالورق الكاشط يدور القرص المغطى بالورق الكاشط قمنا بتغيير الورق الكاشط بداية من 80 ثم 100,800,400, لكي نحصل على سطح لامع كالمرآة ، أثناء عملية الصقل نقوم بصب الماء على الورقة الكاشطة وذلك للتخلص من الحرارة. تغسل العينة بالماء المقطرو الاسيتون ثم تجفف جيدا وهكذا تكون جاهزة للتجربة تم حفظها في مكان بعيد عن الرطوبة.



الشكل 2.11. جهاز الصقل الميكانيكي

## 6.11. تحضير المحاليل

### 6.11.1. تحضير محلول حمض الهيدروكلوريك (الوسط الأكال)

تم تحضير محلول حمض الهيدروكلوريك 37% عن طريق تخفيف حمض الهيدروكلوريك بالماء المقطر للحصول على 1M HCl .

### 6.11.2. إعداد المحلول المثبط (المانع)

لتحضير مستخلص مائي لاوراق السرو نقوم بما يلي:

1- وضع 10g من المسحوق اوراق السرو مع 100 ml من الماء المقطر

2- نحركه جيدا حتى يتمازج الخليط و نقوم بتغطيته بغلاف شفاف.

3- تسخين عند 60 درجة مئوية لمدة ساعتين تقريباً.

4- بعد ساعتين من التسخين ، نتركه يبرد .

5- وبعدها يتم الترشيح مع تكرار العملية مرتين.

- 6- نجفف مستخلص اوراق السرو باستعمال جهاز التبخير للحصول على المستخلص الخام، ونحتفظ به عند درجة حرارة منخفضة ( اقل من 4°C ) .
- 7- تحضير تركيزات المثبط. ( 1g/l ، 3 g/l ، 5g/l ) .



الشكل II.3. مخطط يوضح خطوات العمل

## 7.11. دراسة التجريبية للطرق المستخدمة

لتوضيح ظاهرة التآكل و إبرازها توجد عدة طرق من بينها طريقة الضياع في الكتلة ، الطريقة الإلكترونية كيميائية ، المعايرة الحجمية والممانعة الكهربائية ومن هذه الطرق قمنا بإختيار طريقة الكتلة الضائعة .

### 1.7.11. تقنية الكتلة الضائعة (طريقة فقدان الوزن)

رغم طول المدة التي تستغرقها لإيجاد معدل التآكل لمعدن في وسط ما فإنها من الطرق الفعالة و الأكثر شيوعا لما تتمتع به من السهولة والبساطة إذ أنها لا تحتاج إلى وجود أجهزة أو تركيب معين لدراسة سرعة التآكل وفعالية التثبيط, يعتمد أساسا على قياس الفرق في الوزن  $\Delta m$  المفقود من طرف العينة ذات المساحة S خلال زمن معين t لغمس العينة في محلول التآكل تحت درجة حرارة T . حيث يعطى معدل التآكل بالعلاقة التالية [3; 4]:

$$T_{corr} = \frac{\Delta m}{St} \dots\dots\dots(1.11)$$

S :مساحة السطح المغمور ( $cm^2$ ) .

$T_{corr}$  : معدل التآكل ( $g/cm^2.h$ ) .

t : زمن الغمر (h) .

$\Delta m$  : التغير في الكتلة قبل وبعد (g).

$$\Delta m = m_i - m_f \dots\dots\dots(2. 11)$$

$m_i$  : كتلة العينة قبل الغمر .

$m_f$  : كتلة العينة بعد الغمر .

يتم تقييم الكفاءة المثبطة (E%) للمركب عن طريق قياس معدلات التآكل للنظام الكهروكيميائي في غياب المانع ووجوده.

ويعطى بالعلاقة التالية :



$$E\% = \frac{T_0 - T_{inh}}{T_0} \cdot 100 \dots \dots \dots (4. II)[7]$$

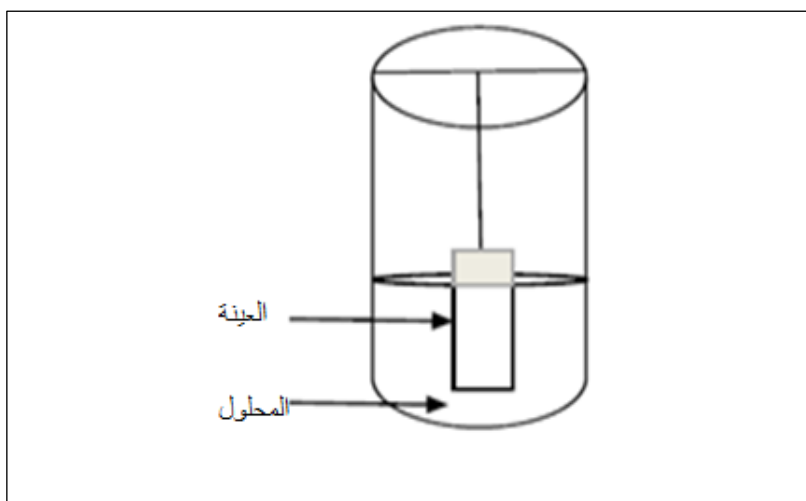
حيث  $T_0$  و  $T_{inh}$  هما على الترتيب قيم معدل التآكل في غياب المثبط ووجوده.

سلبيات هذه الطريقة:

من سلبيات هذه الطريقة أنها لا تصلح لقياس معدل التآكل لجميع المعادن لاسيما تلك التي تتعرض للتآكل عن طريق الثغرات أو الفجوات ذلك لأن مساحة إنتقال الكتلة في هذا الشكل من التآكل يكون مستمرة التغير إضافة إلى أن هذه الفجوات قد تكون عميقة إلى القدر الذي يسمح لها باحتواء قدر من الإلكتروليت، مما يؤثر على دقة النتائج وهناك العديد من الطرق الأخرى التي تستخدم في قياس معدل التآكل والتي تكون أفضل من حيث الدقة [5]

أجريت طريقة فقدان الوزن بتغيير

- 1- التركيز 5g/l ; 3 ; 1
- 2- الزمن 24 ; 72 ; 168 h
- 3- درجة حرارة عند T=298k ,305k,315k,335k



الشكل II 4. التركيب التجريبي لتجربة الضياع في الكتلة

## 8.II طرق التوصيف

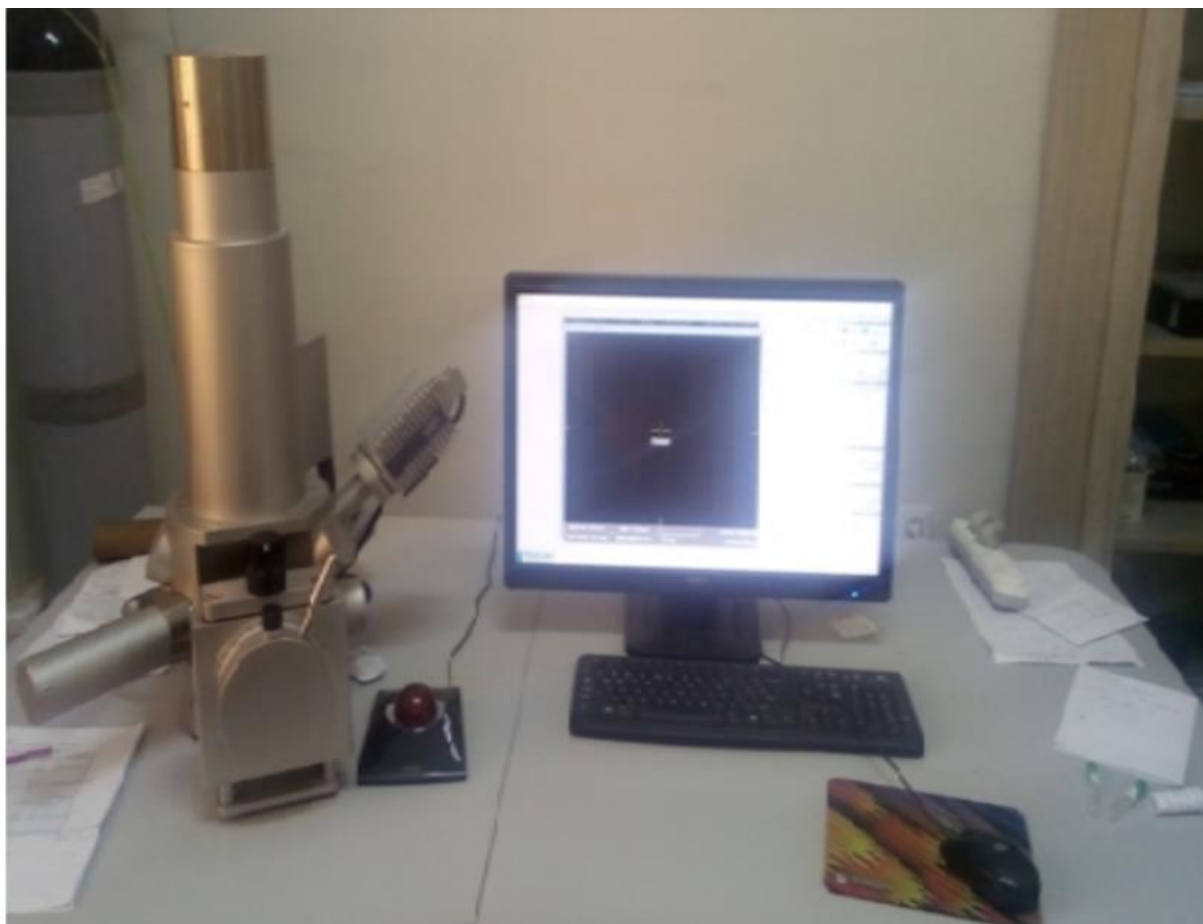
لغرض الفحص والتنقيب بالتآكل يستخدم تقنيات مورفولوجيا السطح أو تقنيات التصوير بشكل شائع، تعطي هذه التقنيات تفاصيل عن السطح الذي يتأثر بالتآكل مثل الشقوق والحفر ونوع التآكل وخشونة السطح .  
تضمن هذه التقنيات مجهر القوة الذرية ومجهر المسح الإلكتروني النافذ ومجهر المسح الإلكتروني MEB والمجهر الضوئي .....

### 1.8.II المسح المجهر الإلكتروني (SEM)

تم دراسة سطح العينات باستعمال المجهر الإلكتروني التابع لمخبر فيزياء الطبقات الرقيقة وتطبيقاتها بجامعة بسكرة.

يسمح المسح المجهر الإلكتروني بالتصوير المورفولوجي للأسطح و تحليلها الكيميائي عندما يقترن المجهر بمطياف الأشعة السينية المشتت للطاقة [6].

يتكون مبدأ الفحص المجهر الإلكتروني من مسح سطح عينة بواسطة شعاع إلكتروني محدد بدقة لجمع أجهزة الكشف الخاصة بها والإلكترونات الثانوية والإلكترونات المتناثرة وإرسال إشارة من الكاشف إلى شاشة أشعة الكاثود التي تتم مزامنة المسح معها تمامًا أن من شعاع الحادث، 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 ، تشتت الإلكترونات و يتم جمع المرتبات الثانوية المنبعثة من العينة بشكل انتقائي بواسطة أجهزة الكشف التي إرسال إشارة إلى شاشة أشعة الكاثود [7].



الشكل 5.11. جهاز المسح المجهر الإلكتروني (MEB).

## 2.8.11. حيود الأشعة السينية

غالبًا ما تكون طريقة توصيف السطح الكيميائي (مثل حيود الأشعة السينية) ضرورية لدراسة بنية السطح.

- تتطلب دراسة الخصائص الهيكلية للطبقات الواقية استخدام تقنية حيود الأشعة السينية X .
- حيود الأشعة السينية X هي ظاهرة إنتشار متماسك ومرن تحدث عندما يقع شعاع من الأشعة السينية ( الموجة الكهرومغناطيسية ) على المادة، تنتج الموجة المنعرجة عن تداخل الموجات المتناثرة في كل ذرة ، ولذلك يعتمد على التركيب البلوري.

يعطى إتجاه الحزمة المنعرجة وذلك بموجب قانون براغ كالتالي :

$$n\lambda = 2d \sin\theta_n \dots\dots\dots(III.3)$$

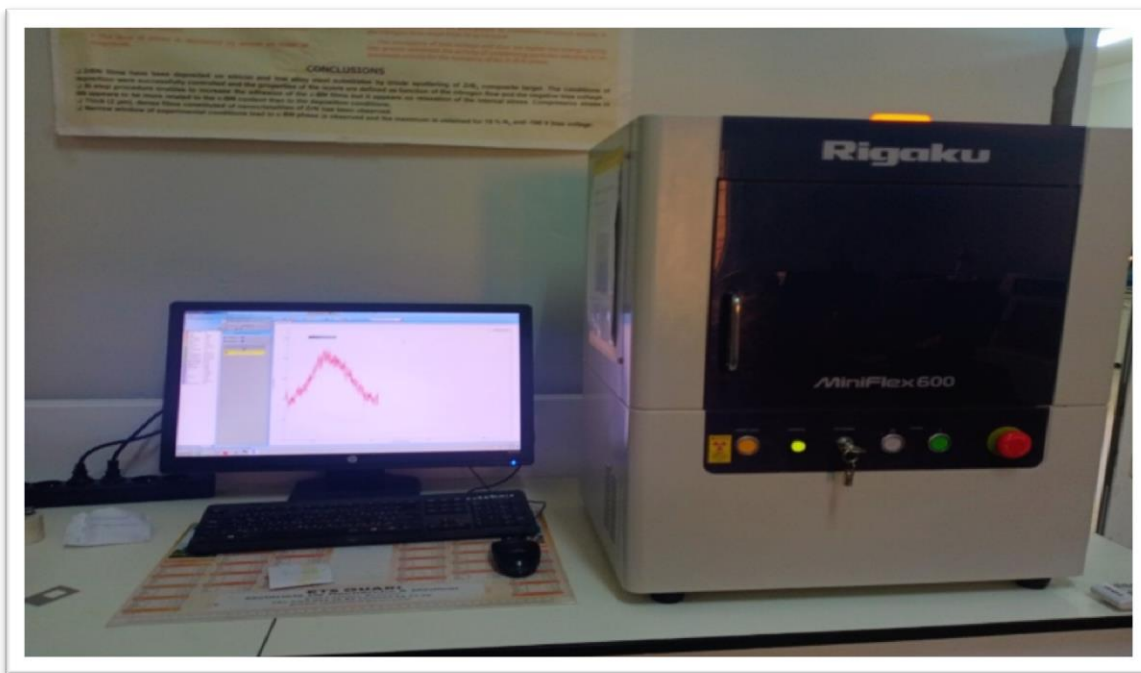
حيث :  $\lambda$  : الطول الموجي لحزمة الأشعة السينية.

$\theta$  : زاوية وقوع الأشعة السينية .

$d$  : المسافة بين مستويين شبكيين.

$n$  : ترتيب الإنعراج.

- تتمتع الإشعاعات X بخاصية المرور عبر مادة و إنحراف الذرات ، حيث تتيح هذه التقنية تحديد المسافات بين الذرات وترتيب الذرات في المشابك البلورية [8].



الشكل II.6. الجهاز التجريبي لتقنية حيود الأشعة السينية (rayons X) .

## قائمة المراجع

- [1] د، الياس بيطار، النباتات السومرية والأشورية-البابلية، معجمٌ ودراسة مُقارنة في ضوء العربية، مكتبة لبنان ناشرون، بيروت، 2011.
- [2] M. BOURKHISS<sup>1</sup>, M. HNACH<sup>1</sup>, B. BOURKHISS<sup>2</sup>, M. OUHSSINE<sup>2</sup>, A. CHAOUCH<sup>2</sup> ET B. SATRANI, Effet de séchage sur la teneur et la composition chimique des huiles essentielles de *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters, *Productions végétales* ;2009
- [3] M. Akbari Shahmirzadi , M. Azadi, A new study on the corrosion inhibition mechanism of green walnut husk extract as an agricultural waste for steel protection in HCl solutio, *Heliyon*10(2024)e29962.
- [4] A. S. Fouda, M. M.Hegazi, Ali. El-Azaly Henna Extract as Green Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solution, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 14 (2019) 4668 – 4682
- [5] B.Frémaux, *Elément de cinétique et de catalyse* . EdTDL , paris. (1989)
- [6] M.sail latéfa , etude de la performance d'inhibiteurs de corrosion a base de phosphate pour les construction en beton arme ,thése de doctroat , universiter aboubekr belkaid ,tlemcen ,(2013).
- [7] I.bouali, *Etude d'inhibiteurs de corrosion métallique à base d'orthophosphates de zirconium lamellaires fonctionnalisés : synthèse, caractérisations et applications* , Thèse de doctorat, l'université de Lorraine, Nancy, farnce,(2018)
- [8]H. MARMI , *Amélioration de la résistance à la corrosion électrochimique des aciers par utilisation des inhibiteurs* , Thése , UNIVERSITE MOHAMED KHIDER – BISKRA ,2017.

المحور الثالث

النتائج و المناقشة

### 1.III مقدمة

في هذا الجزء سوف يتم مناقشة نتائج التي تم الحصول عليها من استخدام هذا المركب كمثبط تاكل الفولاذ في حمض الهيدروكلوريك بتركيز 1M . و دراسة مختلف العوامل التي تؤثر على تثبيط التآكل والتي تتمثل في التركيز ، درجة الحرارة و زمن الغمر. معرفة ميكانيكية التثبيط و اختبار الكفاءة باستعمال تقنية الكتلة الضائعة ، وتفسير نتائج باستعمال اشعة X (RX) الفحص المجهرى للماسح المجهرى الإلكتروني (MBE).

### 2.III دراسة قياسات الكتلة الضائعة

#### 1.2.III تأثير التركيز

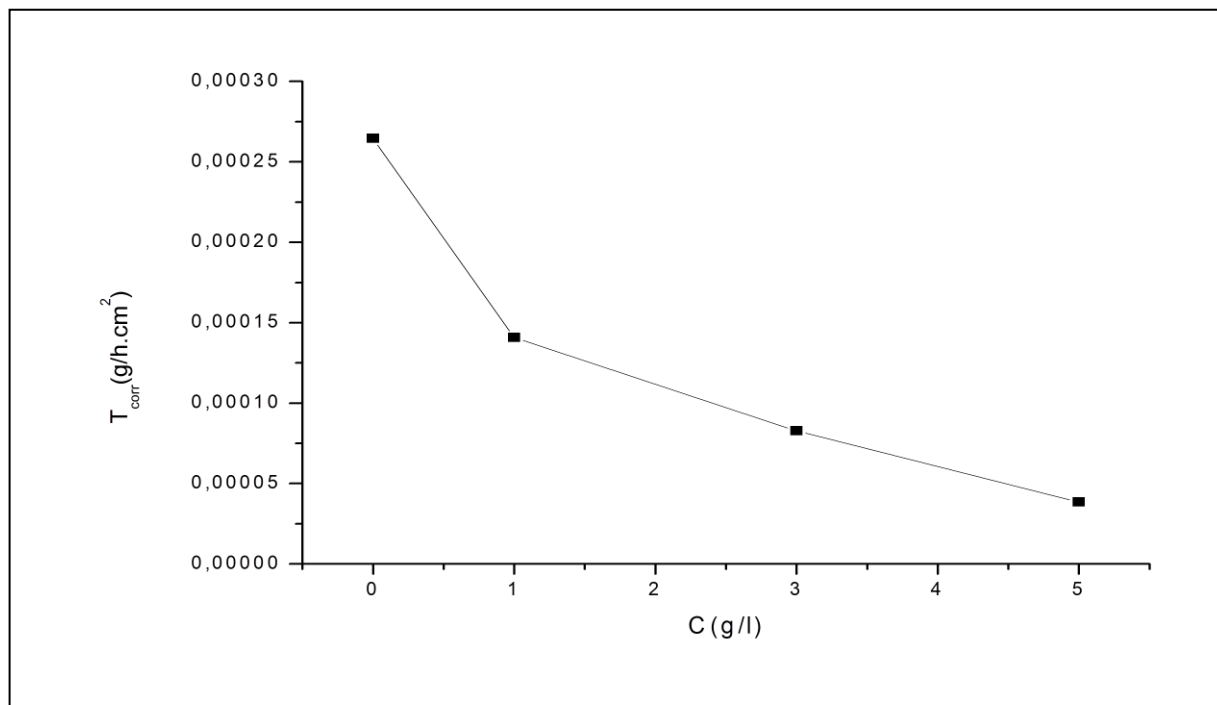
تم تحديد كفاءة التثبيط ومعدل التآكل بعد غمر العينة لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة الغرفة  $22^{\circ}\text{C}$ . الجدول (1.III) المعطى ، يوضح قيم معدل التآكل ( $T_{\text{corr}}$ ) و النسبة المئوية لكفاءة التثبيط (E%) المحسوبة في التراكيز المختلفة للمثبط في وسط 1 M HCl .

جدول III.1. تغيرات معدل التآكل و الكفاءة التثبيطية للفولاذ C45 في 1M HCl بدلالة تركيز المثبط.

C (g/l)	S (cm <sup>2</sup> )	$\Delta m(g)$	$T_{\text{corr}}$ (g/cm <sup>2</sup> .h)	$\theta$	E(%)
0	3,3712	0,0214	0,000264495		
1	3,3712	0,0114	0,000140899	0,4672897	46,729
3	3,42	0,0068	8,2846E-05	0,6867771	68,678
5	3,4615	0,0032	3,85189E-05	0,8543681	85,437

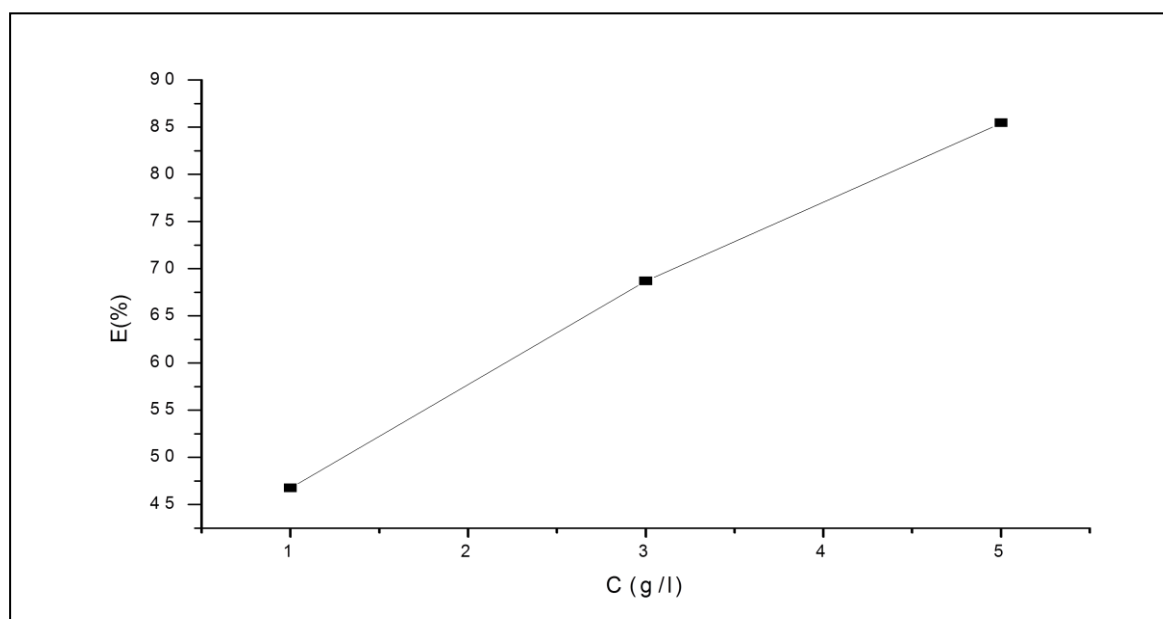
نلاحظ من الجدول السابق زيادة كفاءة التثبيط والنقصان في معدل التآكل مع زيادة تركيز مثبط . لاحظنا في غياب المثبط زيادة في معدل التآكل الذي بلغ  $0,000264495$  (g/cm<sup>2</sup>.h) بسبب الهجوم العدوانى الحادث بين حمض الهيدروكلوريك و سطح المعدن. عند إضافة المستخلص المائي بتركيز 1g/l نلاحظ نقصان ملحوظ في معدل التآكل الذي وصلت قيمته إلى  $0,000140899$  (g/cm<sup>2</sup>.h) توافقه كفاءة 46,729% وعند زيادة في قيمة تركيز المستخلص المائي قدرت بـ 3 (g/l) ، سجلنا انخفاض كبير في معدل التآكل قدر بـ  $8,2846E-05$  (g/cm<sup>2</sup>.h) توافقه زيادة كبير في كفاءة التثبيط بلغت 68,678% ، أما عند تركيز 5 (g/l) سجلنا

انخفاض في معدل تآكل لكن بقيمة أقل من تركيز السابق، وصلت قيمته الى  $3,85189E-05$   $(g/cm^2.h)$  مما أدى إلى زيادة في كفاءة التثبيط بلغت قيمتها  $85,473\%$ .



الشكل 1.III. منحنى تغير معدل التآكل بدلالة تركيز المثبط

ويوضح الشكل (III.2) تغيير مردود بدلالة التركيز



الشكل 2.III. تأثير تركيز المثبط على الفعالية التثبيطية



وترجع الزيادة في كفاءة التثبيط الى زيادة عدد جزيئات المثبط وتكوينها طبقة متمزة بشكل منتظم على سطح المعدن تمنع التآكل [2,1]. يعتمد قابلية التثبيط على طبيعة وطريقة امتزاز المكونات النشطة الموجودة في المستخلص على سطح المعدن، قد يحدث تفاعل المستخلص النباتي مع السطح المعدني من خلال مجموعات الكربوكسيل والكربونيل والامين والهيدروكسيل. إن وجود مزدوج الكتروني على الذرة الغير متجانسة مسؤول عن الامتزاز الحاصل على سطح المعدن [4,3]

### III.2.2. تأثير زمن الغمر على الفعالية التثبيطية

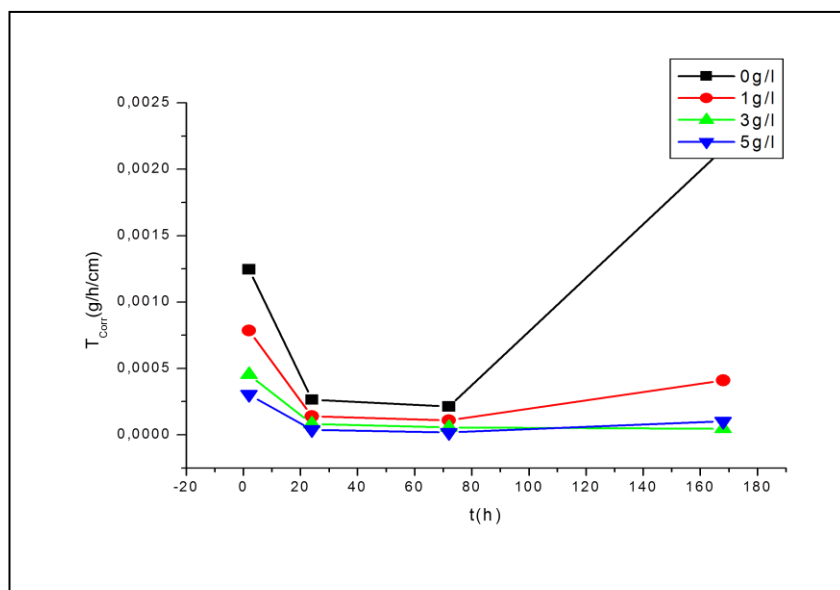
زمن الغمر له تأثير كبير على عمل المثبط وعلى التآكل، وعليه تم غمر عدة عينات لمدة 2،24،72،168 ساعة في غياب و وجود المثبط بتركيز مختلفة عند درجة حرارة الغرفة 22°C، وقمنا بتوضيح النتائج المتحصل عليها من تقنية الكتلة الضائعة في الجدول (III.2) المعطى الذي بدوره يوضح قيم معدل التآكل والكفاءة التثبيطية للفولاذ C45 في 1M HCl المحسوبة بدلالة زمن الغمر في غياب و وجود المثبط.

الجدول III.2. تغيرات معدل التآكل و الكفاءة التثبيطية للفولاذ C45 في 1M HCl بدلالة زمن الغمر في

غياب ووجود المثبط.

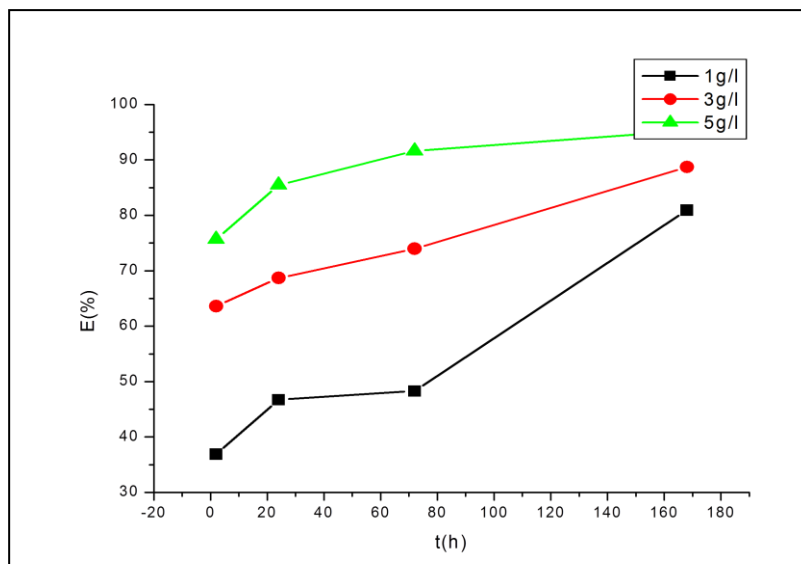
	C (g/l)	t(h)	S(cm <sup>2</sup> )	Δm(g)	T <sub>corr</sub> (g/cm <sup>2</sup> .h)	E(%)
HCl	0	2	3,3712	0,0084	0,001245847	/
		24	3,3712	0,0214	0,000264495	/
		72	3,3712	0,0516	0,000212585	/
		168	3,3712	1,218	0,00215057	/
HCl+in h	1	2	3,3712	0,0053	0,00078607	36,905
		24	3,3712	0,0114	0,000140899	46,729
		72	3,4615	0,0274	0,000109939	48,284
		168	3,3712	0,2324	0,000410339	80,92
	03	2	3,42	0,0031	0,000453216	63,622
		24	3,42	0,0068	8,2846E-05	68,678
		72	3,4615	0,0138	5,5371E-05	73,953
		168	3,42	0,0266	4,62963E-05	88,718
	5	2	3,4615	0,0021	0,000303337	75,652
		24	3,4615	0,0032	3,85189E-05	85,437
		72	3,42	0,0044	1,78687E-05	91,595

ويوضح الشكل (III.3) تغيير معدل التآكل بدلالة الزمن



الشكل III.3. تغيرات معدل تآكل الفولاذ C45 في 1M HCl بدلالة زمن الغمر بوجود المثبط وغياب المثبط

ويوضح الشكل (III.4) تغيير المردود بدلالة الزمن



الشكل III.4. تأثير زمن الغمر على الفعالية التثبيطية

• تأثير فترة التعرض للمحلول الحمضي في الوزن المفقود لعينات الفولاذ بوجود وعدم وجود المثبط ، حيث نجد من خلال الشكل فقدان كبير بالوزن لعينات الفولاذ المغمورة في المحلول الحمضي الخالي من المثبط وقد يعود ذلك الى تكسر موضعي لطبقة الاوكسيد لان ايونات الكلوريد لها القابلية على التغلغل والحاق التلف بهذه الطبقة على سطح المعدن وان زيادة قابلية التنقر في المحلول الحمضي ناتجة من تحفيز الذوبان الانودي للفولاذ وامتزاز الايونات المضادة للاستقطاب مثل  $(Cl^-)$ .

• في وجود المثبط :

عند تركيز المثبط (1g/l ، 3g/l ، 5g/l ) : نلاحظ أنه عند إضافة المثبط يقل إنحلال الفولاذ الصلب ويبطئ بمرور الوقت تتضح هذه الملاحظات من خلال أن كفاءة التثبيط تزداد مع وقت الغمر حيث أن هذا المثبط يسجل أعلى كفاءة عند الزمن 168 ساعة عند تركيز 5g/l حيث تظهر هذه النتائج إمتزازا جيدا لمكونات مستخلص المائي للسرو على سطح المعدن وتوفر منعا لإنحلال الفولاذ ( الشكل (III-4)). ويرجع سبب انخفاض معدل التآكل عند زمن الغمر 72 ساعة الى زيادة تراكم الجزيئات المثبط الممتصة على سطح المعدن وتشكيل فيلم واقى ضد هجوم تاكل الحمضي .

ومع ذلك، عندما يتم امتصاص المزيد من جزيئات المثبط على سطح الحديد، تصبح كثافة الامتزاز للمثبط عالية بما فيه الكفاية وتحدث التفاعلات بين جزيئات المثبط من خلال قوة فان دير فالس. ونتيجة لذلك، من المتوقع أن تترك بعض الجزيئات المثبطة السطح، مما يسبب انخفاضا في مساحة السطح الفعالة التي يغطيها المثبط وبالتالي يسبب زيادة معدل التآكل [5] ، أو يمكن أن تكون هذه الملاحظة بسبب الامتصاص الجزئي لجزيئات للمثبط الممتزة على سطح المعدن ونمو الفطريات في المثبط خلال فترة التخزين [6].

### III.2.3. تأثير درجة الحرارة

لغرض معرفة مدى عمل المثبط تم دراسة تأثير ارتفاع درجة الحرارة على معدل التآكل و كفاءة

التثبيط للفولاذ C45 في 1M HCl في غياب و وجود المثبط في تراكيز مختلفة لمدة ساعتين

(الجدول III.3)

الجدول III.3. سرعة التآكل والكفاءة التثبيط (E%) في غياب ووجود المستخلص المائي لاوراق السرو بدلالة

درجة الحرارة .

	C(g/l)	T(k)	S(cm <sup>2</sup> )	Δm(g)	T <sub>corr</sub> (g/cm <sup>2</sup> .h)	θ	E(%)
HCl	0	298	3,3712	0,0084	0,001245847	/	/
		313	3,322	0,0114	0,001715834	/	/
		325	3,322	0,0526	0,007916918	/	/
		335	3,33	0,0799	0,011996997	/	/
HCl+inh	1	298	3,3712	0,0053	0,00078607	0,3690476	36,905
		313	3,3	0,006	0,000909091	0,4701754	47,018
		325	3,311	0,0195	0,00294473	0,62804593	62,805
		335	3,3411	0,0396	0,005926192	0,50602705	50,603
	3	298	3,42	0,0031	0,000453216	0,6362183	63,622
		313	3,3	0,0032	0,000484848	0,7174269	71,743
		325	3,311	0,0079	0,001192993	0,84931092	84,931
		335	3,3	0,0192	0,002909091	0,50911295	50,911
	5	298	3,4615	0,0021	0,000303337	0,7565217	75,652
		313	3,4013	0,0015	0,000220504	0,8714888	87,149
		325	3,33	0,02	0,003003003	0,62068532	62,069
		335	3,3411	0,0372	0,005567029	0,53596481	53,596

ويوضح الجدول (III.3) و المنحنى (III.5) النتائج التجريبية المتحصل عليها في غياب ووجود المثبط

نلاحظ :

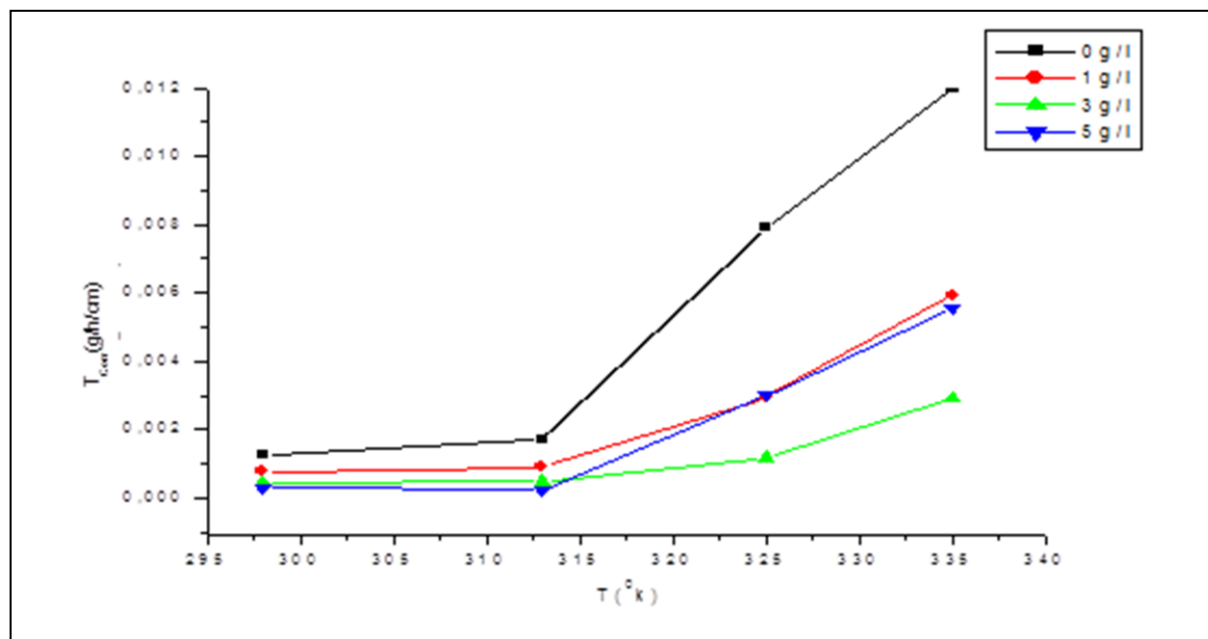
- بزيادة درجة الحرارة يزداد معدل التآكل

- وعندا إضافتنا للمثبط لاحظنا تراجع معدل التآكل وبلغت كفاءة التثبيط ذروتها القصوى بـ

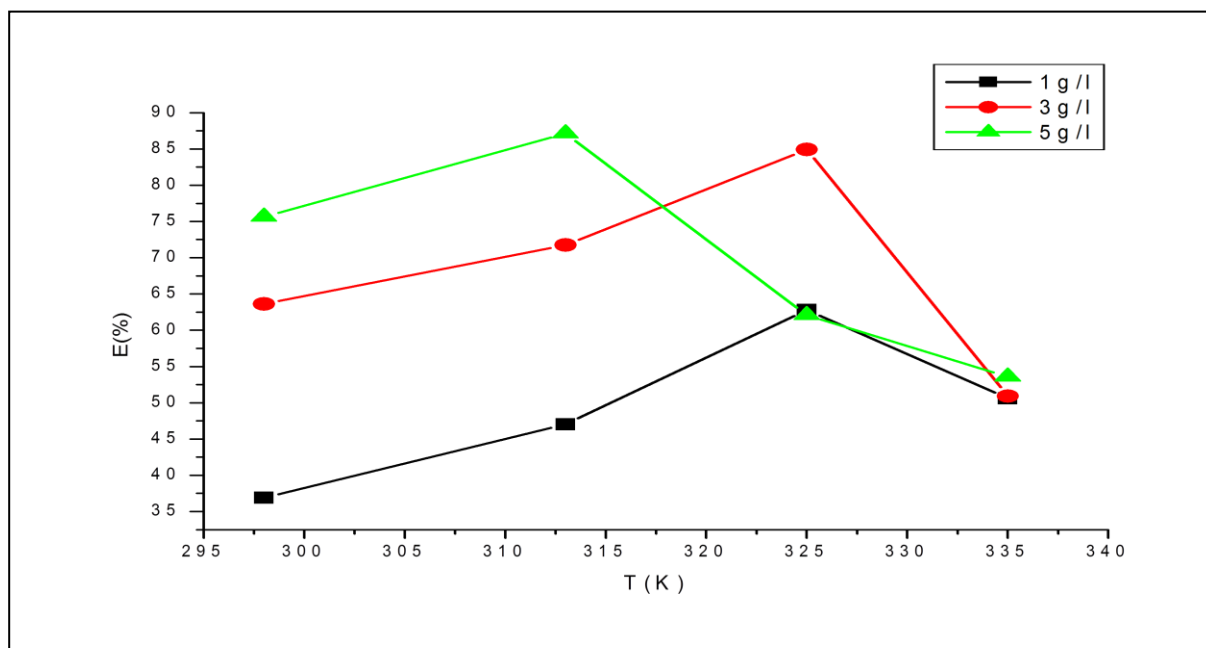
87,149% عند التركيز 5g/l في درجة حرارة 313K (المنحنى III.6)) وهذا يدل على أن جزيئات

المانع تم امتصاصها وتوفر حاجزا على البيئة العدوانية لتفاعل على سطح المعدن [7].

- لكن عند ارتفاع درجة الحرارة الى 335K لوحظ انخفاض بكفاءة التثبيط ويُعزى هذا الانخفاض إلى زيادة حركة جزيئات المثبط والتي بدورها تقلل من التفاعل بين السطح المعدني وجزيئات المثبط [8].  
و يمكن ايضا تفسير الانخفاض في كفاءة التثبيط ( $E(\%)$ ) خند درجة الحرارة 335k كنتيجة للتفاعلات الفيزيائية من نوع Van Der Waals بين السطح المعدني والمثبط [9].



الشكل 5.III. تغيرات معدل التآكل الفولاذ بدلالة درجة الحرارة في غياب ووجود المثبط



الشكل 6.III. تأثير درجة الحرارة على الفعالية التثبيطية بدلالة درجة الحرارة

### III.1.3.2. تحديد طاقات التنشيط

من خلال دراسة تأثير درجة الحرارة على تآكل الفولاذ C45 في 1M HCl من 298 K الى 335K ، تم تحديد قيم طاقة التنشيط في غياب و وجود المثبط ومقارنتهم معاً بالاضافة لقيم الانتالبي التنشيط  $\Delta H_a^0$  و الانتروبي التنشيط  $\Delta S_a^0$  في غياب و وجود المثبط ، وباستخدام الرسم البياني لمعادلة Arrhenius تم حساب طاقة التنشيط  $E_a$  من المعادلة (1.III) باعتماد على معدل التآكل [10].

$$\text{Log}(T_{\text{corr}}) = \frac{-E_a}{2.303.RT} + \text{Log}(A) \dots \dots \dots (1. III)$$

حيث :

$T_{\text{corr}}$  يمثل معدل التآكل

R يمثل ثابت العام للغازات (8.31j/mol.K)

T درجة الحرارة المطلقة ب (K)

A معامل التردد

$E_a$  تمثل طاقة التنشيط .

برسم قيم  $\log T_{\text{corr}}$  بدلالة  $1/T$  كما هو موضح في المنحنى (7.III) نتحصل على خط مستقيم ميله يمثل  $-\frac{E_a}{2.303.R}$  والنقطة يمثل  $\text{Log}(A)$  .

من المعادلة (III. 2) تحدد قيم انتالبي التنشيط  $\Delta H_a^0$  و انتروبي التنشيط  $\Delta S_a^0$  للفولاذ C45 في 1M HCl في غياب ووجود المثبط [10].

$$\text{Log} \left( \frac{T_{\text{corr}}}{T} \right) = - \frac{\Delta H_a^0}{2.303RT} + \frac{\Delta S_a^0}{2.303R} + \text{Log} \left( \frac{R}{N_A h} \right) \dots \dots \dots (2. III)$$

حيث يمثل  $N_A$  عدد افوقادرو ( $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ) ، h ثابت بلانك ( $6.63 \times 10^{-34} \text{ JS}$ )  $\Delta H_a^0$  هو انتالبي التنشيط و  $\Delta S_a^0$  يمثل الانتروبي التنشيط.

من خلال الرسم البياني (8. III) لقيم  $\text{Log} \left( \frac{T_{\text{corr}}}{T} \right)$  بدلالة  $1/T$  نتحصل على خط مستقيم ميله

$$\text{يمثل} - \frac{\Delta H_a^0}{2.303R} \text{ والنقطة مع محور الترتيب يمثل} \frac{\Delta S_a^0}{2.303R} + \text{Log} \left( \frac{R}{N_A h} \right)$$

يمثل الشكل (8.III) التغيرات اللوغاريتمية لمعدل تآكل بدلالة مقلوب درجة الحرارة

$$\log(T_{\text{corr}}) = f\left(\frac{1}{T}\right)$$

استنادا على علاقة Arrhenius ومن خلاله تم تحديد قيم  $E_a$  ، كما يمثل الشكل (7.III) دالة

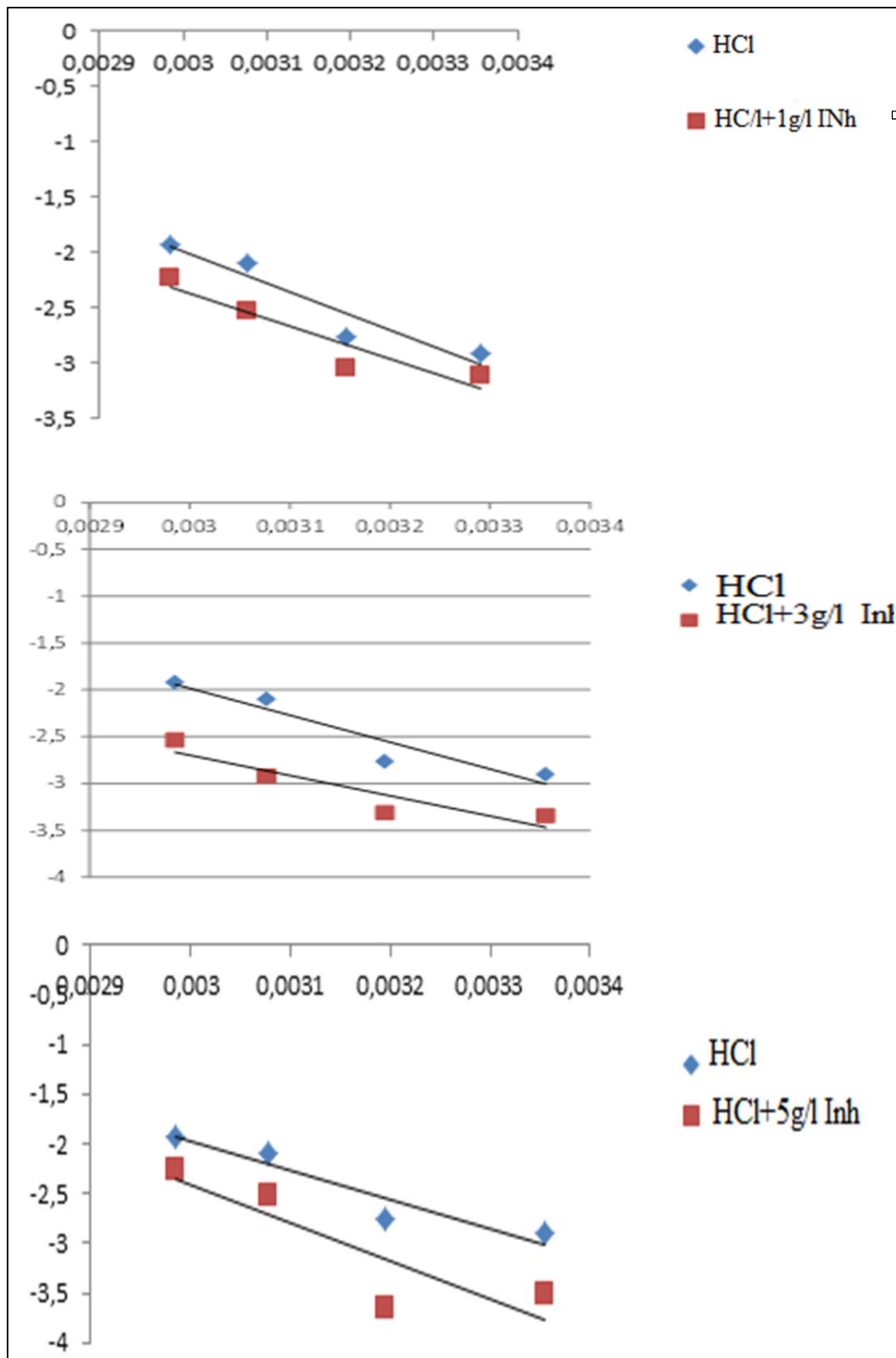
$$\log(T_{\text{corr}}) = f\left(\frac{1}{T}\right)$$

وغيابه من خلال منحنى Arrhenius وتم حساب كل من انتالبي التنشيط  $\Delta H_a^0$  والانتروبيا

التنشيط  $\Delta S_a^0$  وتعطى النتائج في الجدول (4. III).

الجدول III. 4. يوضح قيم كل من  $E_a$  ،  $\Delta H_a$  و  $\Delta S_a$  للفولاذ C45 في 1M HCl في وجود وغياب المثبط (المستخلص المائي لاوراق السرو).

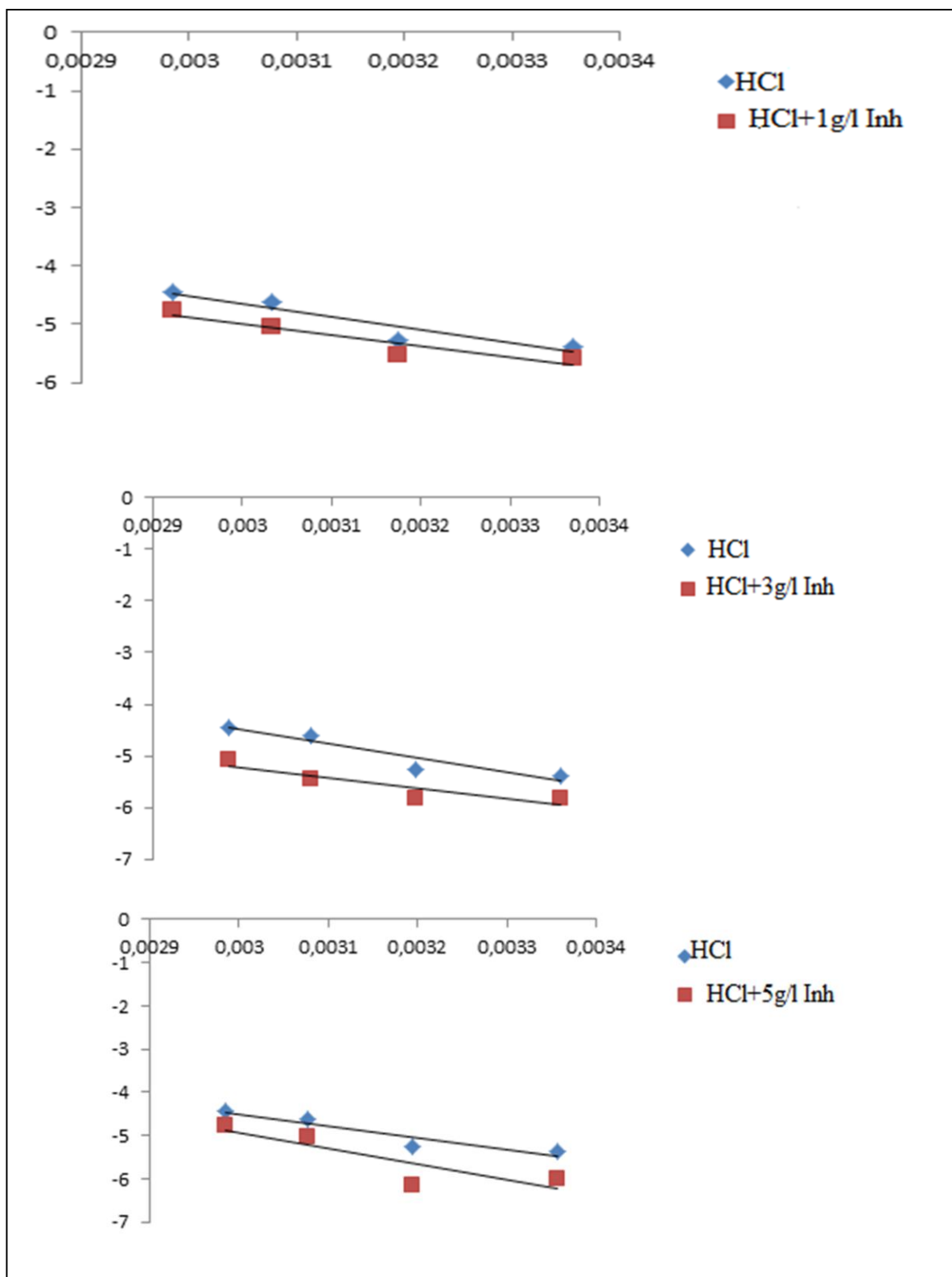
C (g/l)	$E_a$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta H_a$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )	$-\Delta S_a$ (J.mol <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup> )
0	54,9832729	52,361	294,032949
1	46,9644802	44,34258381	262,991525
3	41,4814633	38,85956687	239,927868
5	73,2504271	70,62853067	340,764234



الشكل III.7. منحنى Arrhenius للفولاذ في الوسط 1M HCl بوجود المثبط

(مستخلص مائى لاوراق السرو) وغيابه لسرعة تاكل  $T_{corr}$  بدلالة  $T/1$





الشكل III.8. منحنى Arrhenius للفولاذ في الوسط 1M HCl بوجود المثبط

(مستخلص مائي لاوراق السرو) وغيابه لسرعة تاكل  $\log(T_{corr}/T)=1/T$

تكون طاقة التنشيط أقل في وجود المستخلص مائي لاوراق السرو مقارنة بغيابه (الجدول III.4) ويرجع ذلك إلى انخفاض معدل امتصاص المثبط مع اقتراب إلى حالة التوازن عند درجات حرارة أعلى حسب Hoar و Holliday [11] لكن Hurd و Riggs [12] أوضحوا أن انخفاض طاقة التنشيط للتآكل عند مستويات أعلى من التنشيط ينشأ من تحول تفاعل التآكل الصافي من الجزء المكشوف من السطح المعدني إلى الجزء المغطى. وجد Schmid و Huang [13] أن الجزيئات العضوية تمنع التفاعلات الجزيئية الأنودية والكاثودية على سطح القطب ويحدث تفاعل مواز في المنطقة المغطاة، ولكن معدل التفاعل في المنطقة المغطاة أقل بكثير من المنطقة المكشوفة المماثلة إلى الدراسة الحالية.

فإن الزيادة في  $E_a$  عند التركيز 5g/l من شأنها أن تقلل من معدل تآكل السطح المعدني في وجود مستخلص مائي لاوراق السرو ومن الجدير بالذكر أن الزيادة في قيم  $E_a$  بإضافة المانع كانت حوالي 20 kJ وقد وجدت أبحاث أخرى أيضاً اتجاهًا مشابهًا في تغير  $E_a$  مع المانع وبدونه [14,15]

- تدل الإشارة موجبة ل  $\Delta H_a$  (الجدول III.4) أن الامتزاز المثبط هو عملية ماصة للحرارة [16,17].

- تدل القيم السالبة ل  $\Delta S_a$  في وجود المثبط إلى الزيادة في الاضطراب أثناء تكوين معقد الجزيئات المعدنية الممتازة ينتج مثل هذا الاضطراب عن إمتصاص العديد من جزيئات الماء على سطح المعدن عن طريق امتصاص جزيء واحد من المثبط [18]. كما تشير هذه النتيجة إلى حدوث انخفاض في الاضطراب الإنتقال من المواد المتفاعلة إلى المركب المنشط [19].

قيمة  $E_a$  أعلى من القيمة ل  $\Delta H_a$  هذا يدل على أن تفاعلات التآكل كانت مصحوبة إنتاج غاز الهيدروجين [20]. علاوة على ذلك، بالنسبة لجميع الأنظمة، يبلغ متوسط قيمة الفرق ( $E_a - \Delta H_a$ ) حوالي

$$2.62 \text{ kJ.mol}^{-1} \text{ بالقرب من متوسط القيمة النظرية ل } RT \text{ (} 2.58 \text{ kJ.mol}^{-1} \text{) ، حيث تتراوح } T$$

بين 298 k-335 k وتتميز بالمعادلة التالية [21,22].

$$E_a - \Delta H_a = RT \text{ .....(5.III)}$$

### III.2.3.2. أنواع متساوي الإمتزاز

تعد دراسة تساوي درجة الحرارة في الامتزاز أمراً بالغ الأهمية لفهم آليات تثبيط التآكل ومن أجل الحصول على نموذج متساوي الحرارة الأكثر ملاءمة للمثبط، قمنا برسم نماذج متساوي الحرارة لمختلف الامتزاز باستخدام معادلاتها الرياضية [23,24].

Langmuir : 
$$\frac{C_{inh}}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C_{inh} \dots\dots\dots(6.III)$$

Frumkin : 
$$\ln\theta = \ln K_{ads} + x \ln C_{inh} \dots\dots\dots(7.III)$$

Temkin : 
$$\theta = -\frac{1}{2 \times \alpha} \ln K_{ads} - \frac{1}{2 \times \alpha} \ln C_{inh} \dots\dots\dots(8.III)$$

El-Alwado : 
$$\log\left(\frac{\theta}{1-\theta}\right) = \log K_{ads} + n \log C_{inh} \dots\dots\dots(9.III)$$

Freundlich : 
$$\ln\theta = \ln K_{ads} + n \ln C_{inh} \dots\dots\dots(10.III)$$

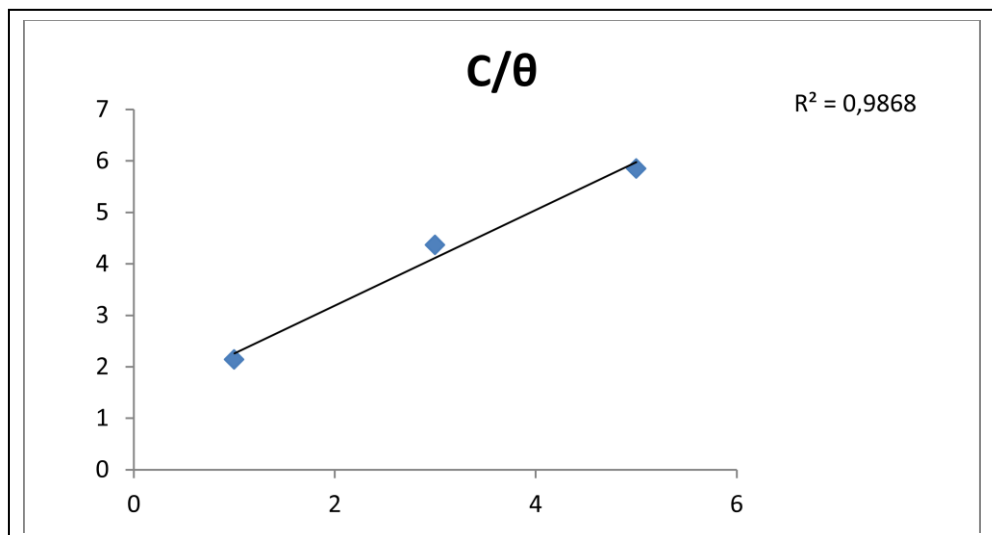
Flory-Huggins : 
$$\log\left(\frac{\theta}{C_{inh}}\right) = \log x K_{ads} + x \log(1 - \theta) \dots\dots\dots(11.III)$$

تعتبر بيانات التغطية السطحية ( $\theta$ ) مفيدة جدًا في مناقشة خصائص الامتزاز كما هو موضح في الجدول (5.III). لمزيد من تحليل سلوك المثبط على سطح المعدن المستخدم (فولاذ C45) أي طبيعة التفاعل

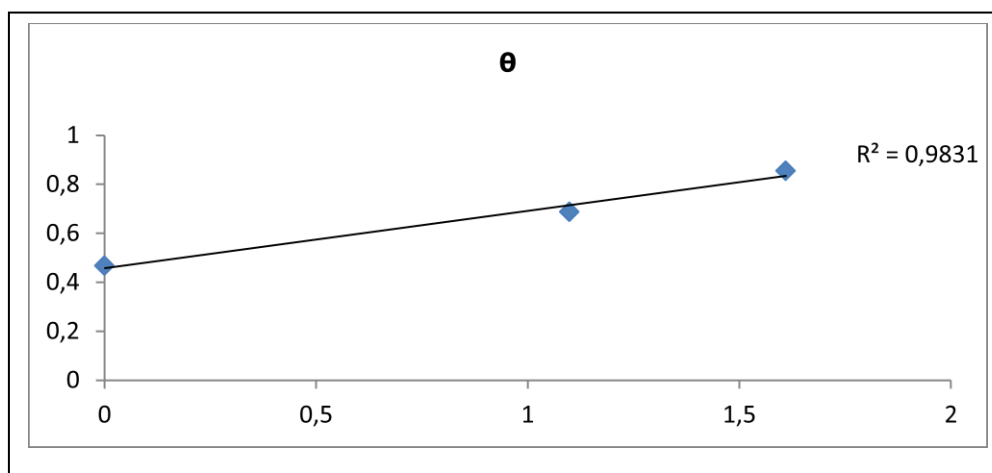
الحاصل بين سطح الفولاذ و المثبط تم الإعتماد على معادلات متساوي الحرارة .

الجدول 5.III. تغيرات تغطية السطح  $\theta$  بدلالة تركيز المثبط (g/l) C.

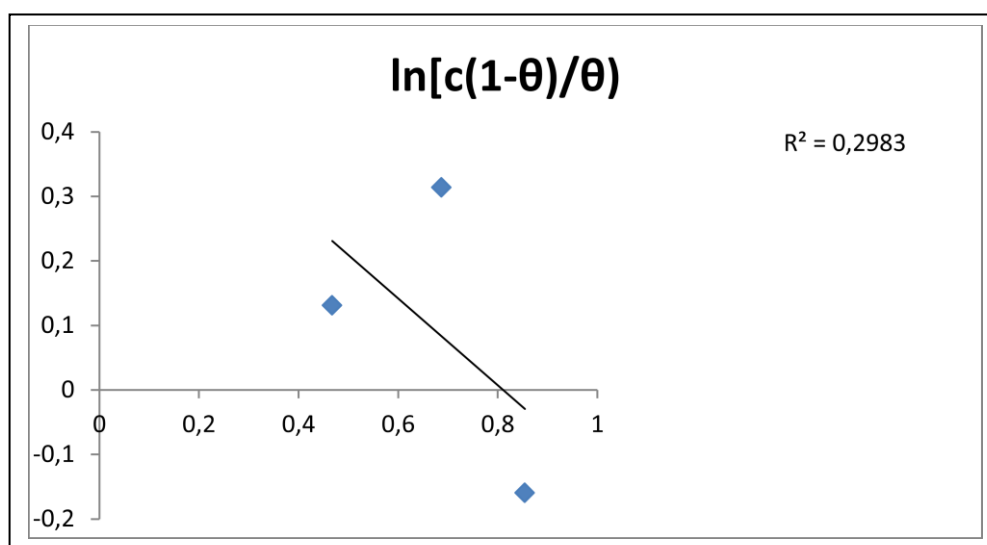
C (g/l)	$\theta$
1	0,4672897
3	0,6867771
5	0,8543681



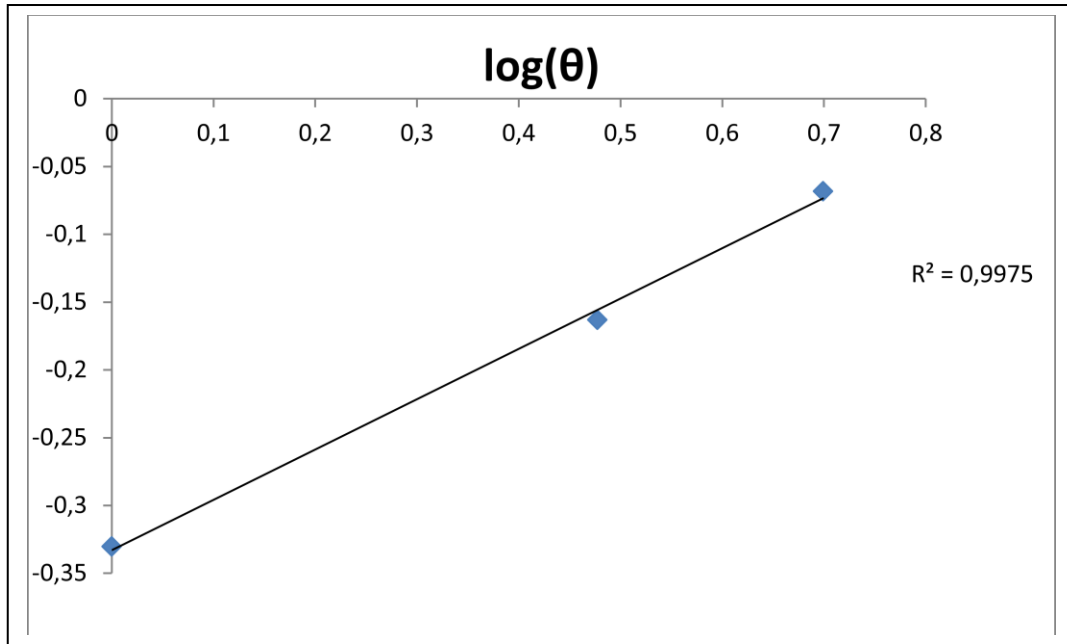
الشكل 9.III. متساوي امتصاص مستخلص اوراق السرو وفقا لنموذج لانجوميير



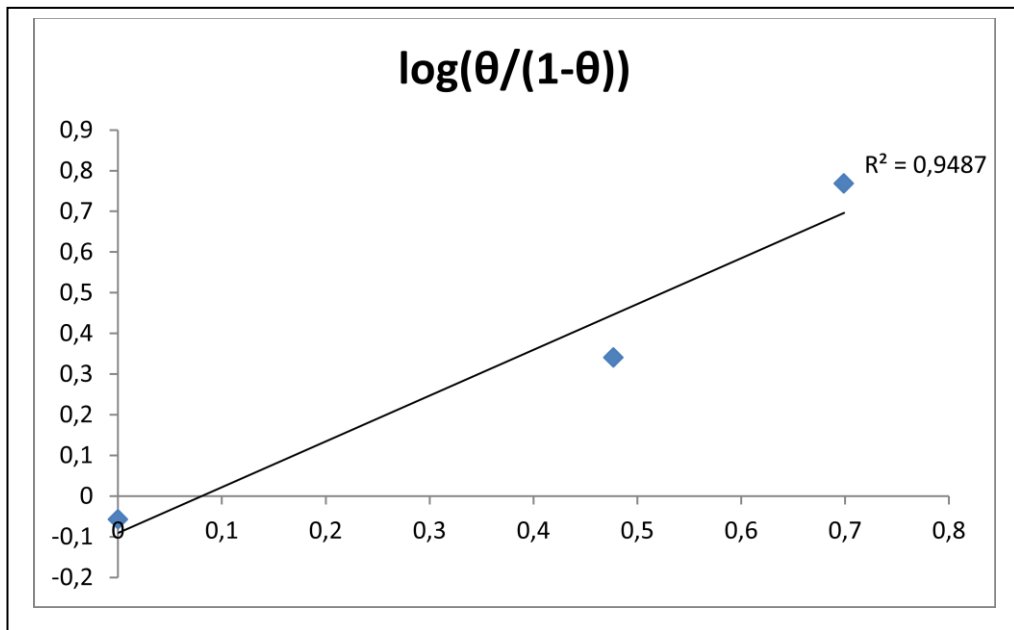
الشكل 10.III. متساوي امتصاص مستخلص اوراق السرو وفقا لنموذج تميكين.



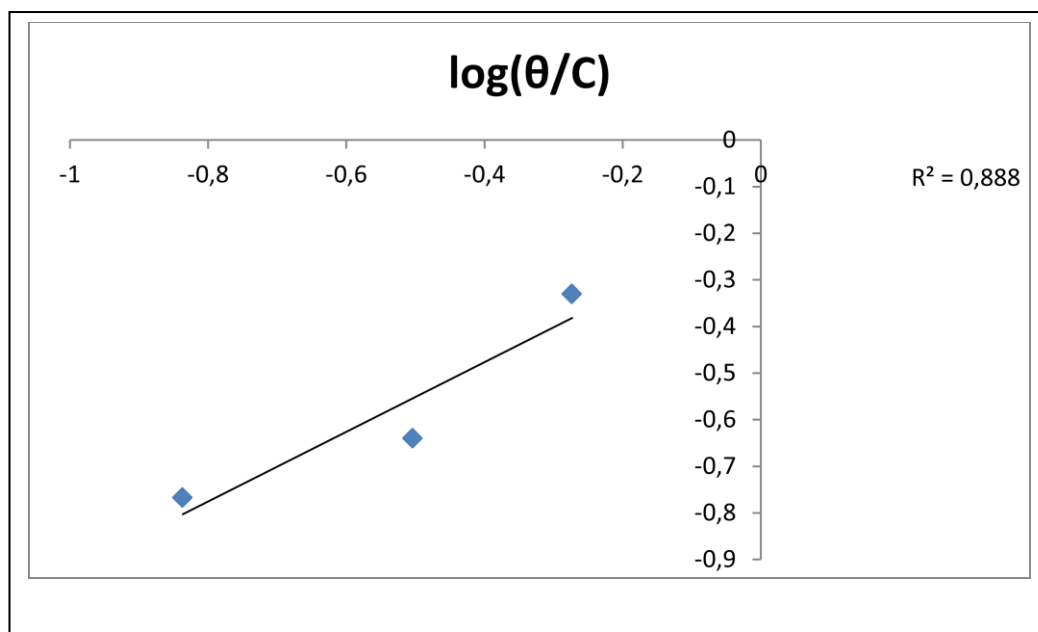
الشكل 11.III. متساوي امتصاص مستخلص اوراق السرو وفقا لنموذج فرومكين.



الشكل III.12. متساوي امتصاص مستخلص اوراق السرو وفقا لنموذج فروندليتش.



الشكل III.13. متساوي امتصاص مستخلص اوراق السرو وفقا لنموذج EI-



الشكل III.14. متساوي امتصاص مستخلص اوراق السرو وفقا لنموذج فلوري هوجينز.

انطلاقا من المنحنيات السابقة تم استخراج الميل  $R^2$  لكل معادلة متساوي الحرارة وتوضح هذه النتائج في الجدول (6.III).

الجدول 6.III. قيم معامل الارتباط (الميل) لجميع معادلات متساوي الحرارة.

$R^2$	نموذج متساوي الحرارة
0.9868	لانجومير
0.9831	تكمين
0.2983	فرنكومين
0.9975	فرونوليش
0.9487	El-Alwado
0.888	فلوري هوجينز

بعد رسم متساوي الحرارة: Langmuir, Temkin, Frumkin, El-Alwady, Freundlich , Flory-Huggins والتي لها معاملات الانحدار (الجدول 6.III) ، اخترنا متساوي الحرارة Freundlich حيث يكون معامل الارتباط) المعامل للمنحنى قريب جدًا من الواحد مقارنة متساوي الحرارة الأخرى.

أما فيما يخص إختلاف قيمة الميل  $R^2$  عن الوحدة يمكن تفسير ذلك بسبب التغيرات في حرارة الامتزاز وتغطية السطح [25]، أو يمكن تفسير اقتراب قيمة الميل من الواحد إلى التداخل البيني بين مكونات المثبط الممتز [26] و أن امتزاز المثبط على سطح المعدن من المحتمل ان يتكون من أكثر طبقة [27].

استنادا على معادلة Freundlich (10. III) نستخرج قيمة ثابت اتزان لمعدل الامتزاز  $K_{ads}$ .

$$\log(\theta) = \log K + n \log C_{inh} \dots \dots \dots (12. III)$$

$C_{inh}$  هو التركيز المثبط (l/g)  $K_{ads}$  هي قيمة التوازن ثابت لعملية الإمتزاز.

عند رسم  $\log \theta$  بدلالة  $\log C_{in}$  نتحصل على خط مستقيم ميله يمثل  $n$  ومنه تحسب قيمة  $K_{ads}$ ، ومن قيمة ثابت اتزان لمعدل الإمتزاز يمكن حساب طاقة جيبس  $\Delta G_{ads}^0$  حيث تسمح هذه الأخيرة من تحديد نوع التفاعل الحاصل بين جزيئات المثبط و سطح المعدن إما عن طريق تفاعلات كهروستاتيكية أو تفاعلات كيميائية أو مختلطة. اعتمادا على معادلة (13. III) نحسب قيمة  $\Delta G_{ads}^0$  [29,28].

$$\Delta G_{ads}^0 = -RT \ln (1000 k_{abs}) \dots \dots \dots (13. III)$$

$K_{ads}$  هي قيمة ثابت التوازن لعملية الامتزاز

$R$  يمثل ثابت عام للغازات  $8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{Mol}^{-1}$

$T$  هي قيمة درجة الحرارة المطلقة بـ  $K$

نوضح في جدول (7.III) مختلف قيم معامل امتزاز وطاقة جيبس الموافقة لها لكل لمختلف التراكيز





الجدول. 8.III. قيم ثابت الإمتزاز  $k_{ads}$  عند تغيرات درجة الحرارة.

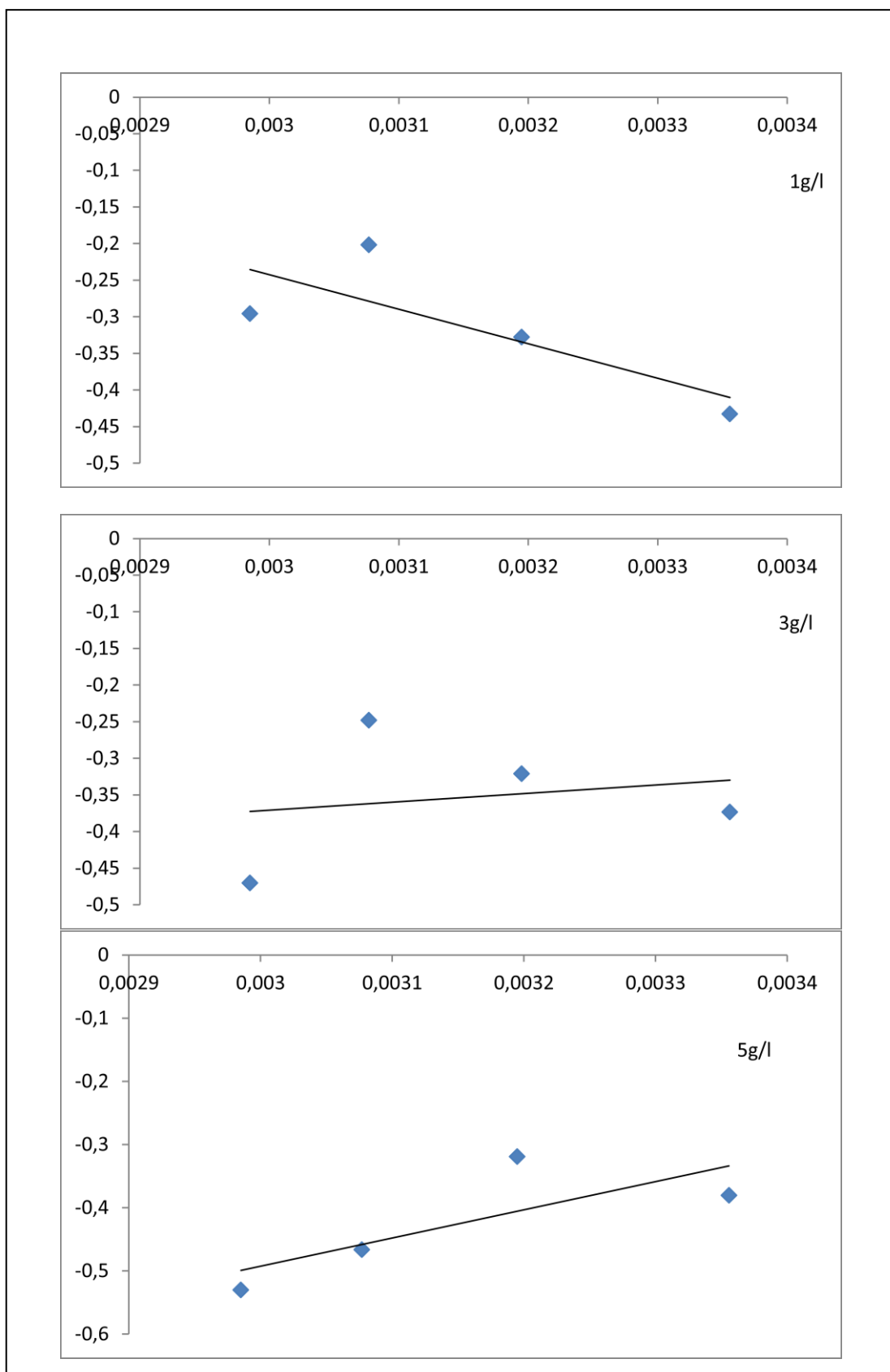
C(g/l)	T (K)	$K_{ads}$ (l/g)
1	298	0,3690476
	313	0,4701754
	325	0,62804593
	335	0,50602705
3	298	0,42324825
	313	0,47727278
	325	0,56500946
	335	0,33869061
5	298	0,4164034
	313	0,4796834
	325	0,34163657
	335	0,29500485

يمكن حساب الانتالبي للامتزاز ( $\Delta H^0_{ads}$ ) باستخدام معادلة Van't Hoff

$$\frac{d \ln(K_{ads})}{dT} = \frac{\Delta H^0_{ads}}{RT^2} \dots\dots\dots(14.III)$$

إن المنحنى البياني ل  $\ln(K_{ads})$  بدلالة مقلوب درجة الحرارة ( $1/T$ ) هو خط مستقيم

ميله  $(-\Delta H^0_{ads}/R)$  الشكل (III. 15) [34]



الشكل III. 15. منحنى تغيرات  $K_{ads}$  بدلالة درجة الحرارة  $\ln(K_{ads})=f(1/T)$

إن تغيير  $\Delta G^{\circ}_{ads}$  بدلالة الدرجة الحرارة هو تغيير خطي، مما يشير إلى الارتباط الجيد بين المعلمات الترموديناميكية (الشكل (III.16)).

البيانات الترموديناميكية التي تم الحصول عليها للمثبت باستخدام متساوي الحرارة الامتزاز موضحة في الجدول 9. III.

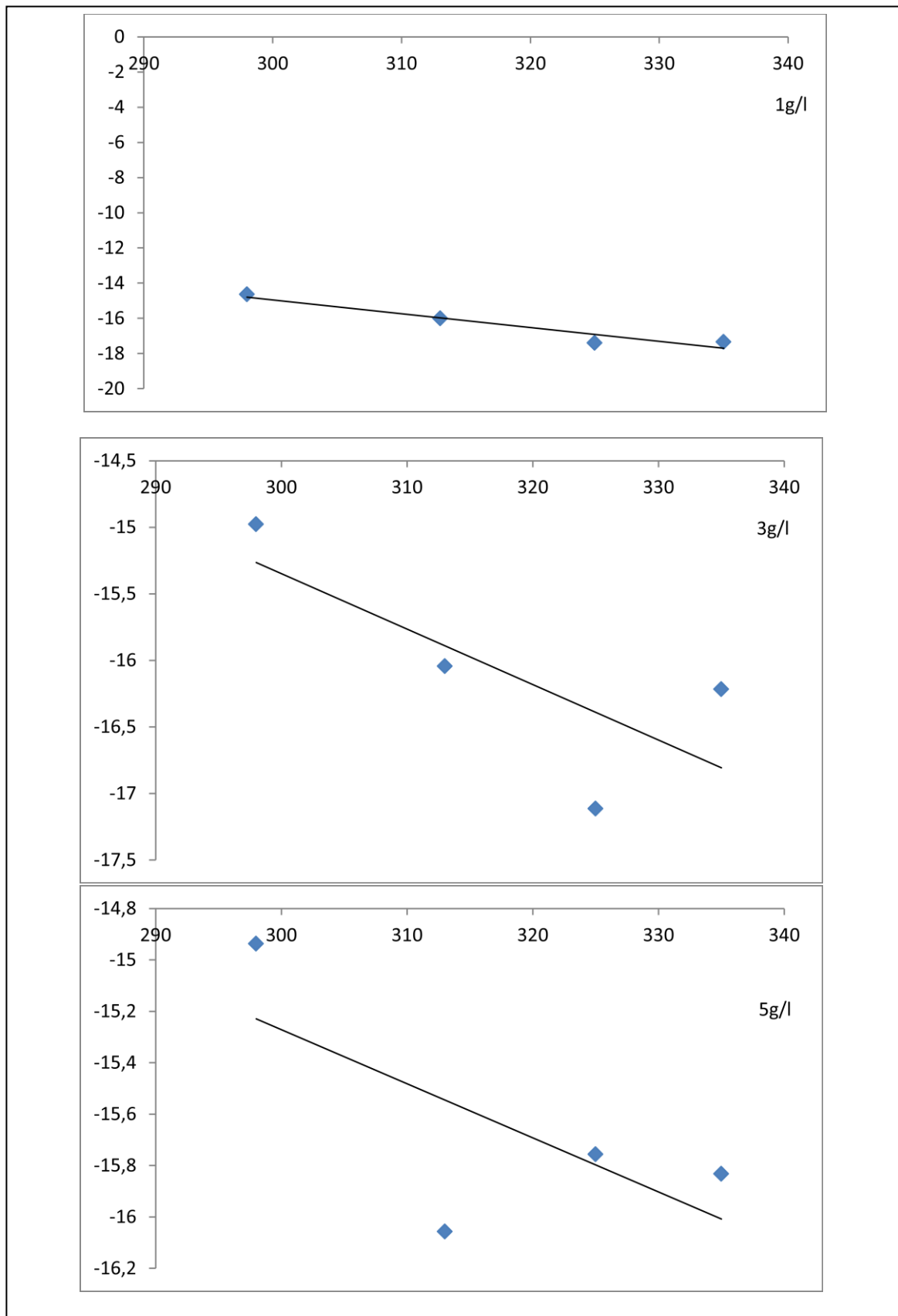
قيم الإنتروبي ( $\Delta S_{ads}$ ) مأخوذة من علاقة Gibbs-Helmholtz [35.34]

$$\Delta G^{\circ}_{ads} = \Delta H^{\circ}_{ads} - T\Delta S^{\circ}_{ads} \dots \dots \dots (15.III)$$

الجدول 9.III. يوضح قيم معلمات الامتزاز الديناميكي الحراري للمستخلص المائي لاوراق السرو في

1M HCl بدلالة تغيرات درجة الحرارة.

C (g/l)	T(K)	$k_{ads}$ (l/g)	$\Delta G^{\circ}_{ads}$ (KJ.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta H^{\circ}_{ads}$ (KJ.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta S^{\circ}_{ads}$ (kJ.mol <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup> )
1	298	0,3690476	-14,637698	9.03	0,07942248
	313	0,4701754	-16,0044128		0,07998279
	325	0,62804593	-17,3998879		0,08132335
	335	0,50602705	-17,3338929		0,07869878
3	298	0,42324825	-14,9770444	-2.2125	0,04283404
	313	0,47727278	-16,0433824		0,04418812
	325	0,56500946	-17,1142273		0,04585147
	335	0,33869061	-16,2161685		0,041802
5	298	0,4164034	-14,9366686	-8.5374	0,02147406
	313	0,4796834	-16,0564867		0,02402264
	325	0,34163657	-15,7554936		0,02220952
	335	0,29500485	-15,8317321		0,02177413



الشكل III.16. منحنى تغيرات  $\Delta G_{ads}^0$  بدلالة درجة الحرارة  $\Delta G_{ads}^0 = f(T)$

نلاحظ من خلال الجدول (8.III) أعلى قيمة لثابت الامتزاز  $K_{ads}$  (0,62804593) عند درجة حرارية (325K) وهذا يدل على أن الامتزاز يكون قوياً بين جزيئات المثبط وسطح المعدن وبالتالي زيادة كفاءة التثبيط.

قيم  $\Delta G_{ads}^{\circ}$  أقل من -20 كيلوجول/مول. وهذا يعني أن تحلل الجزيئات المثبطة على السطح سيحدث. وبالتالي، كان امتزاز المثبط من السطح المعدني عند درجات الحرارة المرتفعة أمراً متوقعاً، حيث أنه في الامتزاز الفيزيائي، تم تشكيل رابطة ضعيفة من فان دير فال أو رابطة كهروستاتيكية بين ذرات الحديد الموجودة على السطح والجزيئات العضوية للمثبط. ونتيجة لذلك، أدى ارتفاع درجة الحرارة إلى زيادة تنشيط جزيئات مستخلص مائي لاوراق السرو، وتسببت حركتها في الامتزاز على ن سطح المعدن [15].

قيم  $\Delta H_{ads}^{\circ} > 0$  تدل على أن عملية الإمتزاز ماصة للحرارة وهذا يرجع إلى ضعف التصاق جزيئات المثبط، في حين أن  $\Delta H_{ads}^{\circ} < 0$  تدل على أن عملية الإمتزاز تكون ناشرة للحرارة ويرجع ذلك إلى امكانية تكون معقدات الحديد الثنائية على سطح المعدن، و يتضمن حدوث إمتزاز فيزيائي أو كيميائي أو مختلط [36].

القيم الإيجابية  $\Delta S_{ads}^{\circ}$  تدل على زيادة القوة الدافعة وراء امتزاز المانع للسطح فولاذ [37] يفترض أن امتزاز جزيئات المثبط عادة ما يكون مصحوباً بامتصاص جزيئات الماء بحيث تحافظ واجهات المعدن والمحلول على حالة متوازنة [38].

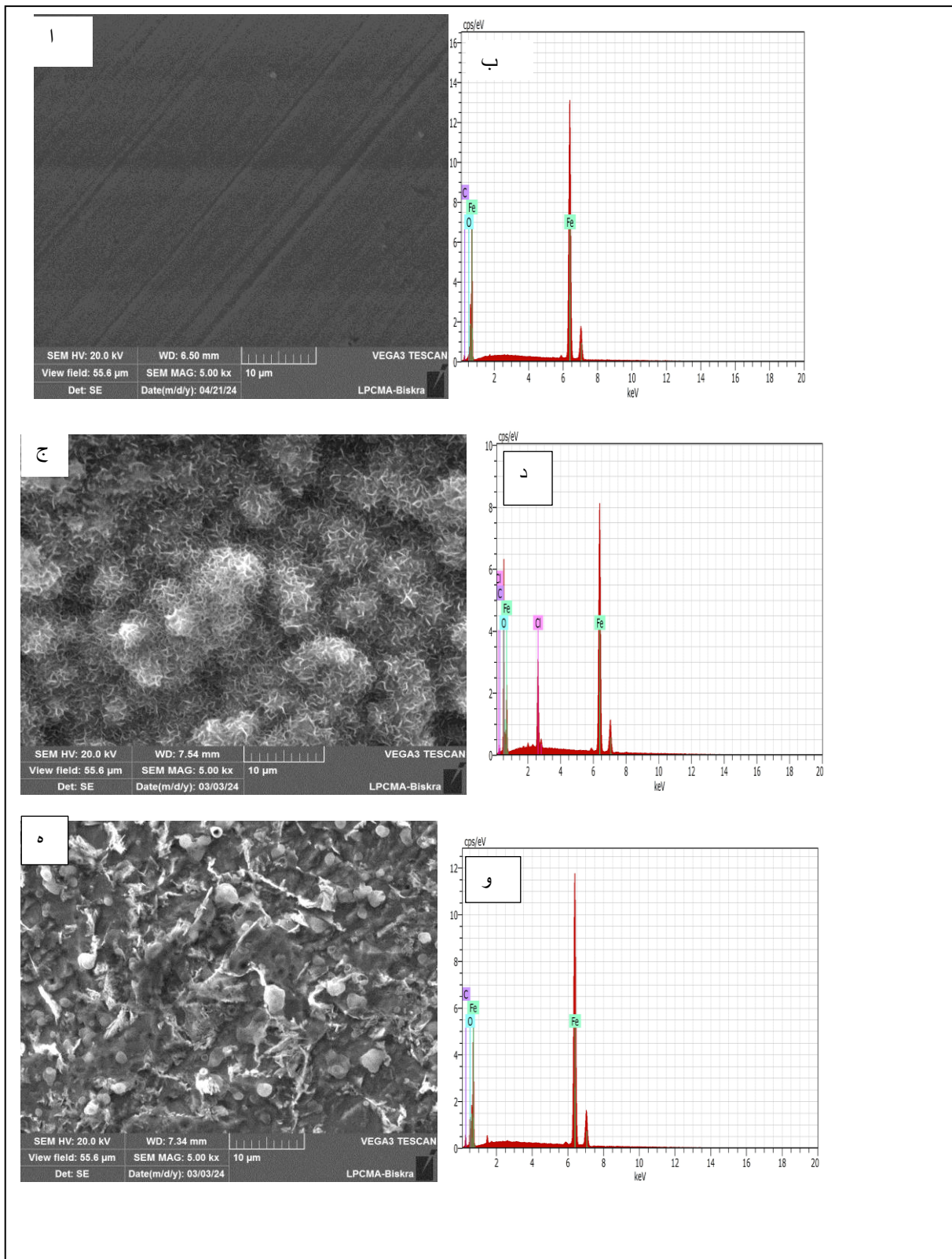
كما تدل القيم السالبة  $\Delta S_{ads}^{\circ}$  أن المعقد النشط عند امتزاز المثبط على سطح المعدن يتشكل معقد من المثبط والفولاذ معا في مرحلة التشكيل يتبع الآلية التجمعية لا التفكيكية [39] وقيم  $\Delta S_{ads}^{\circ}$  التي تم الحصول عليها موجبة .

من خلال قيم المعلمات الديناميكا الحراري المتحصل عليها فإن آلية الإمتزاز فيزيائية وطبيعته ماصة للحرارة عند تركيز 1g/l و ناشر للحرارة عند 3g/l و 5g/l.

### 3.III. نتائج الفحص المجهرى

#### 1.3.III. البنية المرفولوجية

تقنية الكتلة الضائعة وحدها لا تكفي لفهم آلية التآكل الحادثة و معرفة نوعه وشكله وكيف يتم حماية السطح من هذا التآكل لذلك من ضروري اللجوء الى الفحص المجهرى حيث تم الاعتماد على جهاز الماسح الضوئي الإلكتروني MEB لفهم هذه الآلية .



الشكل III. 17. صور MEB و EDS لعينات من الفولاذ (أ ; ب ) فارغ (ج ; د ) غياب المثبط (هـ ; و) وجود المثبط

توفر صور المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) رؤى مهمة حول خصائص السطح والبنية المجهرية للمواد، مما يسمح بتوصيف وتقييم خصائصها على المستوى الصغير.

#### الصورة (أ)

تظهر الصورة سطح الفولاذ بعد عملية الصقل الميكانيكي في غياب كل من الوسط الآكل والمثبط حيث توضح الصورة خطوط رفيعة تظهر هذه الخطوط بسبب عملية الصقل غير جيدة .

#### الصورة (ج)

تظهر الصورة سطح الفولاذ بعد وضعه في الوسط الآكل 1 M HCl بعد مرور 72 ساعة من وقت الغمر حيث يظهر التآكل الشديد من خلال وجود فجوات على سطح الفولاذ بالإضافة الى هذا النوع نجد شقوق على حدود الحبيبات ويفسر ذلك بأن حدود الحبيبات تحتوي على عيوب وشوائب بكثرة مما يجعلها أكثر عرضة للتآكل.

#### الصورة (هـ)

تظهر الصورة سطح الفولاذ بعد التعرض لمحلول حمض الهيدروكلوريك 1M HCl الذي يحتوي على مستخلص مائي لاوراق السرو بتركيز 3g/l لمدة 72 ساعات حيث نلاحظ تشكيل طبقة مثبطة موزعة بشكل متجانس تقريباً على سطح المعدن وتمت تغطية الحفر التي ظهرت في صور (ب) كما اختفت الشقوق المتشكلة على حدود حبيبات ويعزى ذلك الى تفاعل المثبط على سطح المعدن [40]، تشير هذه الملاحظات إلى أن جزيئات المثبط قد التصقت بسطح المعدن وتشكل طبقة واقية وتحميه من التآكل. تم تشكيل هذا الفيلم عن طريق الامتزاز الفيزيائي لذرات الأكسجين والنيتروجين الموجودة في مستخلص المائي لاوراق السرو بحيث الرابطة الضعيفة بين جزيئات الأكسجين والنيتروجين تسهل تفاعلها مع سطح المعدن .عندما يتعرض السطح المعدني للأكسجين أو غاز النيتروجين، تتلامس جزيئات الغاز مع ذرات المعدن ويتم امتصاصها فيزيائياً على سطح المعدن. يمكن أن يكون للامتزاز الفيزيائي لهذه

الغازات تأثير كبير على خصائص سطح المعدن. على سبيل المثال، يمكن أن يؤدي امتصاص الأكسجين إلى تكوين طبقة من أكسيد المعدن، والتي قد تحمي من المزيد من الأكسدة. يمكن أن تكون طبقة الأكسيد الواقية هذه مفيدة في منع الصدأ أو تآكل المعدن.

أما فيما يخص إختلاف المظهر بين سطح الفولاذ في وجود المثبط وغيابه إلى إمتزاز المكونات النشطة للمثبط على السطح الفولاذي الذي يمنع الفولاذ من مهاجمة التآكل [42].

بالإضافة إلى ذلك، من أجل التعرف على التركيب العنصري لعينات السطح المعدني قبل وبعد إضافة المثبط، تم إجراء فحص التحليل الطيفي للأشعة السينية المشتتة من الطاقة (EDX). ومن الواضح أن سطح المعدن المغمور في محلول غير مقيد يتكون من نسبة كبيرة من الذرات المكونة من الحديد والأكسجين والكربون كما هو موضح في الشكل ج. عند مقارنة النسبة المئوية الموضحة في الطيف للعينة الفولاذ قبل الغمر مع تلك الخاصة بالعينة في وجود المثبط، يمكن ملاحظة انخفاض ملحوظ في قمم O كما هو موضح في الشكل هـ، مما يثبت أن هناك انخفاضاً في كثافة التآكل النشط المنطقة [44,43]. تشير هذه الملاحظات إلى انخفاض في تآكل المعدن بعد إضافة مثبط.

يتوافق هذا التوصيف السطحي مع النتائج التي تم الحصول عليها في طريقة الكتلة الضائعة.

### آلية التثبيط التآكل

بناءً على النتائج التي تم الحصول عليها، يتم تمثيل آلية التثبيط المقترحة للركيزة الفولاذ بدون ومع مثبط (بشكل III.18).

عندما لا يكون هناك مثبط في الوسط المسبب للتآكل، يمكن امتصاص أيونات محلول HCl وجزئيات H<sub>2</sub>O على سطح الحديد، كما هو موضح في الشكل III.18 (أ).

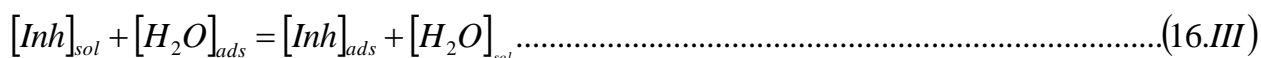
لأن Fe يحتوي على بعض مدارات D غير الممتلئة من الإلكترونات، فيمكن امتصاص أيونات الكلوريد وجزئيات H<sub>2</sub>O على سطح Fe.

بالإضافة إلى ذلك، بناءً على الإلكترونات الحرة لذرات الحديد، تم امتصاص أيونات الموجبة للهيدروجين على السطح ليحدث تفاعل تطور الهيدروجين ( $2H^+ + 2e = H_2$ ) كالتفاعل الكاثودي.



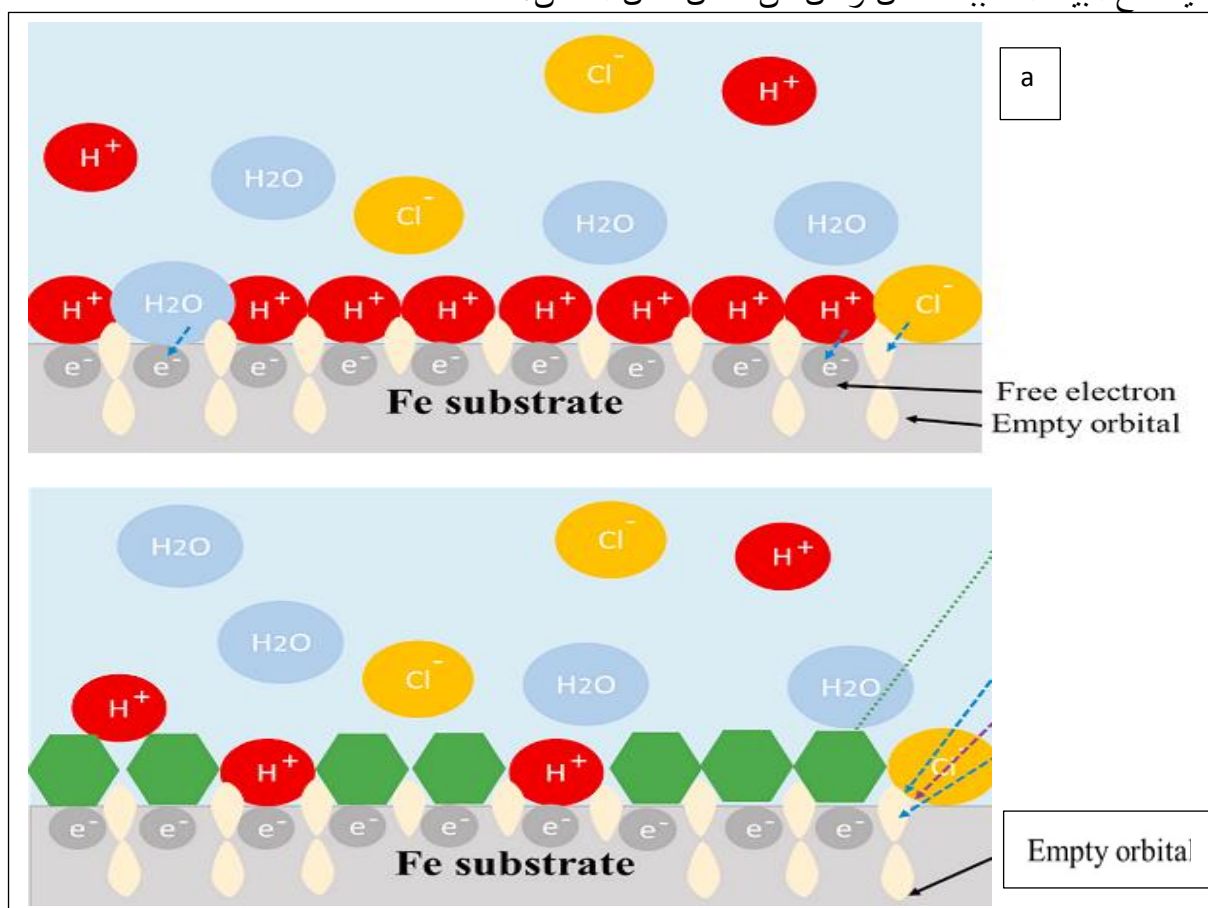
وبالتالي، فإن ناتج التآكل الفولاذي سيكون عبارة عن كلوريد الحديد المائي الذي كان غير مستقر في المحلول الحمضي. تم الحصول على نفس آلية التآكل في أبحاث أخرى [45-48].

ومع ذلك، عندما يكون مستخلص موجودًا في الوسائط المسببة للتآكل، فإن التفاعل سيحدث أيضًا.



في هذه الحالة، تمتص المركبات العضوية الموجودة في المحلول على سطح الفولاذ من خلال قوة جذب الكهروستاتيكي وتشكل طبقة على السطح [15].

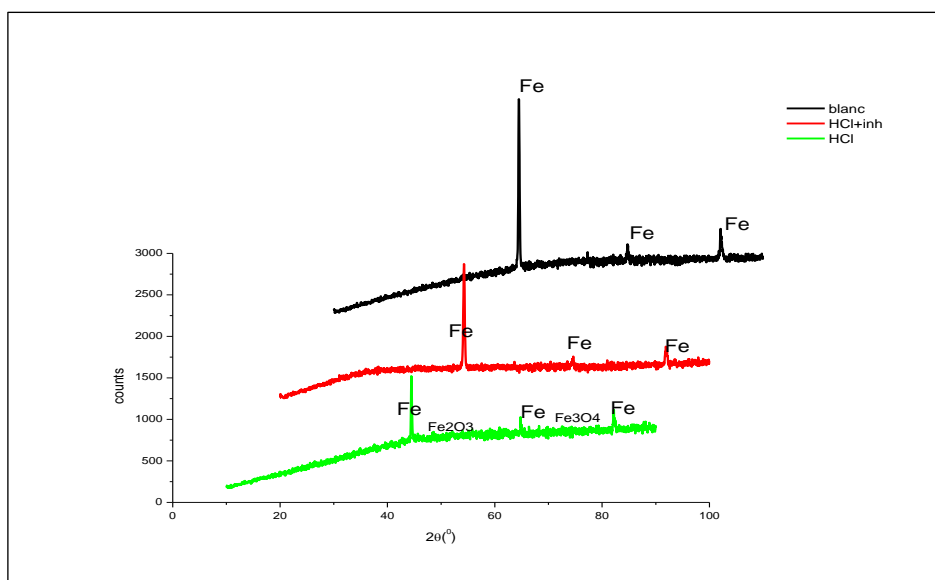
و يمكن أيضا مشاركة الإلكترونات الزوجية غير المشبعة الموجودة على ذرات الأكسجين والروابط  $\pi$  في التركيب الكيميائي لمركبات مستخلص أوراق السرو مع مدارات الحديد الشاغرة على سطح وتؤدي إلى الامتزاز لذلك، تمنع الطبقة الفيزيائية والكيميائية الممتصة الموجودة على سطح الاتصال المباشر لسطح العينة مع البيئة المسببة للتآكل وتقلل من معدل تآكل المعدن.



الشكل 18.III لامتزاز الجزيئي على سطح العينة (a) في غياب المثبط (B) في وجود المثبط [48]

### III.2.3. اشعة X

لتحديد طبيعة نواتج التآكل المتكونة على سطح الفولاذ، تم غمر العينات في حمام حمض الهيدروكلوريك وبوجود المانع لمدة من الزمن 72 ساعة تم تعريض اختبار الغمر للهواء و بعد ذلك، يتم فحص جميع العينات بالأشعة السينية.



الشكل. 19. اشعة X لعينات من الفولاذ (أ) فارغ (ب) وجود المثبط (ج) غياب المثبط

-أظهرت النتائج أن نواتج التآكل تتكون أساساً هيدروكسيدات مختلفة وأكاسيد ومنتجات تآكل أخرى [48]. وبالتفصيل، وجد أن منتجات التآكل في محلول حمض الهيدروكلوريك يمكن أن تحتوي [50, 49]. ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O) ( $\alpha$ -FeOOH)، FeO(OH،Cl)، FeCl<sub>2</sub>، and FeCl<sub>3</sub>، FeO(OH ،Cl) يتناقص حجم قم الحديد في وسط حمض الهيدروكلوريك بدون المانع . يرجع ذلك إلى تكوين منتج تآكل على سطح الفولاذ.

إضافة مستخلص المائي لاوراق السرو يؤدي إلى زيادة في حجم قم الحديد مقارنة بتلك التي يتم الحصول عليها في حالة عدم وجود المثبط. أي أن مقاومة التآكل تزداد مع تكوين طبقة واقية .بوجود مستخلص اختفت نواتج التآكل تماماً مما يدل على عدم تشكل طبقة نواتج التآكل (الشكل III.17) .

تم الحصول على نفس منتجات التآكل أيضاً بالنسبة للمثبطات الخضراء الأخرى [21، 52] توافق جيد بين الاختبارات الكتلة الضائعة وفحص سطح الفولاذ بالمجهر الضوئي والأشعة السينية.

- [1] R. S. Chaudhary, S. Sharma, The influence of auramine O on the corrosion behaviour of mild steel, *Indian J. Chem. Technol.* 6, 202-206 (1999).
- [2] H. MARMI, thèse de doctorat, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER-BISKRA, 2017.
- [3] M. Abdallah, Rhodanine azosulpha drugs as corrosion inhibitors for corrosion of 304 stainless steel in hydrochloric acid solution, *Corros. Sci.* 44, 717-728 (2002).
- [4] M. Bathily, B. Ngom, D. Gassama, Seni Tamba, Review on Essential Oils and Their Corrosion-inhibiting Properties, *American Journal of Applied Chemistry*, 2021, vol. 9, no 3, p. 65-73.
- [5] A. Alamiery et al, A study of acidic corrosion behavior of Furan-Derived schiff base for mild steel in hydrochloric acid environment: Experimental, and surface investigation, *Materials Today: Proceedings*, 44, (2021), 2337-2341.
- [6] S. Ying Honget, P. Loo Kiew, The Inhibitive and Adsorptive Characteristics of Orange Peel Extract on Metal in Acidic Media, *Progress in Energy and Environment* 11 (2019) 1-14.
- [7] O. A. Akinbulumo, O. J. Odejobi, E. L. Odekanle, Thermodynamics and adsorption study of the corrosion inhibition of mild steel by *Euphorbia heterophylla* L. extract in 1.5 M HCl, *Results in Materials* 5 (2020) 100074.
- [8] M. T. Saeed, M. Saleem, S. Usmani, I. A. Malik, F. A. Al-Shammari, K. M. Deen, Corrosion inhibition of mild steel in 1 M HCl by sweet melon peel extract, *Journal of King Saud University – Science* 31, (2019), 1344–1351.
- [9] S. Tazi, I. Raissouni, F. Chaoukat, D. Bouchta, A. Dahdouh, R. Elkhamlichi, H. Douhri, L'effet Inhibiteur d'Eugénol sur la corrosion du Laiton dans NaCl 3% (The Inhibition effect of Brass corrosion in NaCl 3% by Eugenol), *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (5) (2016) 1642-1652.
- [10] Abd El-Aziz S. Fouda Ayman Y. El-Khateeb, Nabila M. Elbahrawi, *Cupressus sempervirens* extract as green inhibitor for corrosion of carbon steel in hydrochloric acid solutions, *Zastita Materijala* 58 (2) 131 - 143 (2017)
- [11] T.P.Hour and R.D. Holliday, The inhibition by quinolines and thioureas of the acid dissolution of mild steel, *J. Appl. Chem.* 3, (1953) (11)502-513.
- [12] L.O.Riggs, T.J.Hurd, Temperature coefficient of corrosion inhibition, *Corrosion*, 23, (1967) ,252-260.
- [13] G.M. Schmid, H.J. Huang, Spectro-electrochemical studies of the inhibition effect of 4, 7-diphenyl -1, 10-phenanthroline on the corrosion of 304 stainless steel, *Corros. Sci.*, 20, (1980) 1041-1057.

- [14]H.S. Gadow, M. Fakeeh, Green inhibitor of carbon steel corrosion in 1 M hydrochloric acid: eruca sativa seed extract (experimental and theoretical studies), RSC Adv. 12 (2022) 8953–8986.
- [15] M. Akbari Shahmirzadi , M. Azadi, A new study on the corrosion inhibition mechanism of green walnut husk extract as an agricultural waste for steel protection in HCl solution , Faculty of Materials and Metallurgical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran , Heliyon10(2024)e29962
- [16]A. S. Fouda<sup>1</sup>, M. M.Hegazi, Ali. El-Azaly, Henna Extract as Green Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solution, Int. J. Electrochem. Sci., 14 (2019) 4668 – 4682.
- [17]A. S. Fouda, A. A. Al-Sarawy, F.S. Ahmed, H.M. El-Abbasy, Corros. Sci., 51 (2009)485
- [18] R. Tolulope Lotoa et al , Synergistic effect of sage and jojoba oil extracts on the corrosion inhibition of mild steel in dilute acid solution, Procedia Manufacturing ,35 (2019,) 310–314
- [19]X.Li, L.Tang , Synergistic inhibition between OP and NaCl on the corrosion of cold-rolled steel in phosphoric acid., Mater. Chem. Phys., 90, (2005) 286-297
- [20] A.H. Al-Moubaraki, S.D. Al-Malwi, Experimental and theoretical evaluation of aqueous black mustard seeds extract as sustainable-green inhibitor for mild steel corrosion in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> acid solutions, J. Adhes. Sci. Technol. 36 (2022) 23–24.
- [21] I. Elouali, B. Hammouti, A. Aouniti, Y. Ramli, M. Azougagh, E.M. Essassi, M. Bouachrine, Thermodynamic characterisation of steel corrosion in HCl in the presence of 2-phenylthieno (3, 2-b) quinoxaline, J. Mater. Environ. Sci. 1 (2010) 1.
- [22] AB. Hamdy, Matter, M.Tariq Ayad, A.I. Abdulrhman, Alkatly Grape Leaves and Ziziphus Spina-Christi, Extracts as a Green Inhibitors Corrosion for The Carbon Steel and Oil Pipelines in 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,Almanara Scientific journal ,2024
- [23] S. Chen, S. Chen, B. Zhu, C. Huang, W. Li, Magnoliagrandidiflora leaves extract as a novel environmentally friendly inhibitor forQ235steel corrosion in 1 M HCl : Combining experimental and theoreticalresearches. J. Mol. Liq. 2020, 311, No. 113312.
- [24] K. Dahmani, M. Galai, A. Ech-Chebab, N. Al-Zaqri, M. Ouakki, A. Elgendy, R. Ez-Zriouli, S. C. Kim, M. E. Touhami, and M. Cherkaoui, Investigating the Inhibitory Properties of Cupressus sempervirens Extract against Copper Corrosion in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: Combining Quantum (Density Functional Theory Calculation–Monte Carlo Simulation) and Electrochemical-Surface Studies, ACS Omega 2023, 8, 24218–24232

[25] A. Dehghani, G. Bahlakeh, 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, *Journal of Molecular Liquids*, 282, (2019), 366-384.

[26] M. Mobin, M. Basik, J. Aslam, Pineapple stem extract (Bromelain) as an environmental friendly novel corrosion inhibitor for low carbon steel in 1 M HCl, *Measurement*, 134, (2019), 595-605.

[27] O.O. Ogunleye, 'green corrosion inhibition and adsorption characteristics of luffa cylindrical leaf extract on mild steel in hydrochloric acid environment', *heliyon*, volume 6, Issue 1, January 2020, e03205.

[28] H. Mobtaker, M. Azad, M. Rassouli, The corrosion inhibition of carbon steel in 1M HCl solution by *Oestrus ovis* Larvae extract as a new bio-inhibitor, *Heliyon* 8 (2022) e 12297

[29] M. A. Bidi, M. Azadi, M. Rassouli, A new green inhibitor for lowering the corrosion Rate of carbon steel in 1M HCl solution: *Hyalomma tick* extract, *Mater. Today Commun.* 24(2020), 100996.

[30] Y. Lu, L. Zhou, B. Tan, B. Xiang, S. Zhang, S. Wei, B. Wang, Q. Yao. Two common antihistamine drugs as high-efficiency corrosion inhibitors for copper in 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 2021, 123, 11–20.

[31] A. Dehghani, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M. Ramezanzadeh, Integrated modeling and electrochemical study of *Myrobalan* extract for mild steel corrosion retardation in acidizing media

*J Mol Liq*, 298 (2020), Article 112046

[32] G. Bahlakeh, A. Dehghani, B. Ramezanzadeh, M. Ramezanzadeh, Highly effective mild steel corrosion inhibition in 1 M HCl solution by novel green aqueous mustard seed extract: experimental, electronic-scale DFT and atomic-scale MC/MD explorations

*J Mol Liq*, 293 (2019), Article 111559

[33] Xu, Y.; Zhang, S.; Li, W.; et al. Experimental and theoretical investigations of some pyrazolo-pyrimidine derivatives as corrosion inhibitors on copper in sulfuric acid solution. *Appl. Surf. Sci.* 2018, 459, 612–620.

- [34] M.H. Ahmed, A. Al-Ghaban, A. Hiba Abdullah, Rana , A. Anaee, Shaimaa Naser, Anees A. Khadomc, Expired butamirate drug as eco-friendly corrosion inhibitor for aluminum in seawater: Experimental and theoretical studies ,Journal of Engineering Research, 2023.
- [35] M. Abdallah, M. Alfakeer, Mubark Alshareef, H. Hawsawi, Salih S. Al-Juaid, R.S. Abdel Hameed, M.Sobhi,Natural Sweet Almond Oil as an Effective Green Inhibitor for Aluminum Corrosion in Sulfuric Acid Medium ,Int. J. Electrochem. Sci., 17 (2022),220949.
- [36] Y. Abboud, B. Hammouti, A. Abourriche, A. Bennamara, and H. Hannache, 5-Naphthylazo-8-hydroxyquinoline (5NA8HQ) as a novel corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid solution. Research on Chemical Intermediates 38 (2012) 1591-1607.
- [37] Q. Wang et al, Evaluation of Ficustikoua leaves extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for carbon steel in HCl media, Bioelectrochemistry, 128, (2019), 49–55.
- [38] M. Barbouchi et al, Theoretical modeling and experimental studies of Terebinth extracts as green corrosion inhibitor for iron in 3% NaCl medium, Journal of King Saud University – Science,32,(2020), 2995–3004.
- [39] Y.Wu et al , Orange peel extracts as biodegradable corrosion inhibitor for magnesium alloy in NaCl solution: Experimental and theoretical studies, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 115, (2020), 35-46.
- [40] A. Sediket al, Dardagan Fruit extract as eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl: Electrochemical and surface morphological studies, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 107, (2020), 189–200.
- [41] A. Dehghani et al, 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, Journal of Molecular Liquids 282, (2019) ,366–384.
- [42] L. Li Liao et al, Corrosion protection for mild steel by extract from the waste of lychee fruit in HCl solution: Experimental and theoretical studies, Journal of Colloid and Interface Science, 520, (2018), 41–49.
- [43] Chaouiki, A. et al. Green corrosion inhibition of mildsteel by hydrazonederivativesin 1.0 M HCl. Coatings 10, 640 (2020).
- [44] . Sherifa Elhady, Hatice Inan, Mahmoud Shaaban & Irene S. Fahim, Investigation of olive leaf extract as a potential environmentally-friendly corrosion inhibitor for carbon steel ; Scientific Reports (2023) 13:17151

- [45] S.E. Nataraja, T.V. Venkatesha, H.C. Tandon, Computational and experimental evaluation of the acid corrosion inhibition of steel by tacrine, *Corrosion Sci.* 60–214 (2012) 223.
- [46] B. Liao, Shiquan Ma, S. Zhang, X. Li, R. Quan, S. Wan, X. Guo, Fructus cannabis protein extract powder as a green and high effective corrosion inhibitor for Q235 carbon steel in 1 M HCl solution, *Int. J. Biol. Macromol.* 239 (2023) 124358.
- [47] Q. Wang, Q. Zhang, L. Liu, H. Zheng, X. Wu, Z. Li, P. Gao, Y. Sun, Z. Yan, X. Li, Experimental, DFT and MD evaluation of *Nandina domestica* Thunb. extract as green inhibitor for carbon steel corrosion in acidic medium, *J. Mol. Struct.* 1265 (2022) 133367.
- [48] - Mohammad Akbari Shahmirzadi , Mahboobeh Azadi, A new study on the corrosion inhibition mechanism of green walnut husk extract as an agricultural waste for steel protection in HCl solution , Faculty of Materials and Metallurgical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran , *Heliyon*10(2024)e29962
- [49] H. Su, Y. Wu, Y. Zhang, Y. Jiang, Y. Ding, L. Wang, J. Zhang, Enhancing the long term anti-corrosion property of Mg alloy by quaternary phosphonium salt: integrated experimental and theoretical approaches, *Corrosion Sci.* 178(2021), 109010.
- [50] J. Cheng, S. Chen, F. Zhang, B. Shen, X. Lu, J. Pan, Corrosion - and wear-resistant composite film of graphene and mussel adhesive proteins on carbon Steel, *Corrosion Sci.* 164(2020), 10851.
- [51] R. A. Antunes, I. Costa, D. L. A. Faria, Characterization of corrosion products formed on steels in the first months of atmospheric exposure, *Mater. Res.* 6(3)(2003)403–408.
- [52] H. Mobtaker, M. Azadi, M. Rassouli, The corrosion inhibition of carbon steel in 1 M HCl solution by *Oestrus ovis* larvae extract as a new bio-inhibitor, *Heliyon* 8 (12) (2022) 12297.

الخاتمة العامة



## الخاتمة

الهدف من هذا العمل هو دراسة الخواص المثبطة وتقييم القوة التثبيطية الوقائية ضد التآكل للفولاذ C45 في وسط حمض الهيدروكلوريك HCl ذو التركيز 1M . المثبط المستخدم في هذا العمل هو مثبط عضوي (مستخلص مائي لاوراق السرو) . تم اختيار هذا المثبط لأنه غير سام، وغير مكلف، ومتوفر بسهولة من مصادر متجددة. أولاً قمنا بدراسة تآكل الفولاذ في وسط الحمض الهيدروكلوريك بدون ومع إضافة المانع، وكذلك العوامل التي تؤثر على معدل تآكل الفولاذ بما في ذلك التركيز و زمن الغمر و درجة الحرارة لإجراء هذه الدراسة استخدمنا طريقة الكتلة الضائعة ,

يمكن استخلاص النتائج التالية:

- ❖ قمنا بدراسة الأثر التثبيطي لهذا المستخلص المائي باستعمال ثلاث تراكيز مختلفة 1g/l، 3g/l و 5 g/l وأظهرت النتائج أن التركيز 5 g/l حقق نتائج مثلى حيث لوحظ معدل التآكل منخفض و كفاءة تثبيط عالية بلغت %85.438. وترجع الزيادة في كفاءة التثبيط الى زيادة عدد جزيئات المثبط وتكوينها طبقة ممتزة بشكل منتظم على سطح المعدن تمنع التآكل. قد يحدث تفاعل المستخلص النباتي مع السطح المعدني من خلال مجموعات الكربوكسيل .
- ❖ تكشف النتائج عند تغير زمن الغمر ان أعلى كفاءة عند الزمن 168 ساعة عند تركيز 5g/l حيث تظهر هذه النتائج إمتزازا جيدا لمكونات مستخلص المائي للسرو على سطح المعدن وتوفر منعا لإنحلال الفولاذ. ويرجع سبب انخفاض معدل التآكل الى زيادة تراكم الجزيئات المثبط الممتصة على سطح المعدن وتشكيل فيلم واقى ضد هجوم تآكل الحمضي.
- ❖ من خلال تغير درجة الحرارة أظهرت النتائج أن كفاءة التثبيط تزداد مع زيادة في درجة الحرارة ،أي أن مثبط يمتلك استقرار حراري حيث قدرت أعلى كفاءة تثبيط عند التركيز 5 g/l قدرت بـ

87.149% خلال درجة حرارة 313 K، من خلال هذه النتيجة تبين أنه ليس بضرورة أن تكون الزيادة في درجة الحرارة تؤدي إلى الزيادة في معدل التآكل والنقصان في كفاءة التنشيط .

❖ كما تظهر قيم طاقات التنشيط المختلفة ما يلي :طاقة التنشيط في وجود المانع اقل من طاقة التنشيط في غياب المانع عند التركيز 1g/l و 3g/l ويرجع ذلك إلى انخفاض معدل امتصاص المثبط مع اقتراب إلى حالة التوازن عند درجات حرارة أعلى و عند 5g/l طاقة التنشيط في وجود المانع اكبر من طاقة التنشيط في غياب المانع هذا يدل على تناقص معدل تآكل السطح المعدني في وجود مستخلص مائي لاوراق السرو .

❖ القيم الموجبة لـ  $\Delta H_a$  تدل على أن الامتزاز المثبط ماصة للحرارة

❖ و القيم السالبة لـ  $\Delta S_a$  في حالة وجود وغياب المانع تبين الزيادة في الاضطراب أثناء تكوين معقد الجزيئات المعدنية الممتزة

❖ قيمة  $E_a$  أعلى من القيمة لـ  $\Delta H_a$  هذا يدل على أن تفاعلات التآكل كانت مصحوبة إنتاج غاز الهيدروجين

❖ كما أوضحت معادلات متساوي الحرارة ، أن جزيئات المثبط ( المستخلص مائي لأوراق السرو) ، تمتاز على سطح المعدن وفقا لنموذج Freundlich ، و تكشف قيم الطاقة الحرة  $\Delta G_{ads}^0$  أن آلية الإمتزاز الحاصلة هي فيزيائية.

❖ تؤكد الملاحظات الناتجة عن دراسة سطح العينة باستخدام المجهر الالكتروني وجود طبقة واقية متكونة على سطح الفولاذ C45 وبيبين مدى تأثير المثبط على حماية سطح المعدن من تآكل و بوجود هذه الطبقة على السطح المعدني أدى إلى اختفاء المناطق المتآكلة أما بالنسبة لحيود الأشعة السينية فقد لاحظنا أنه إذا غمس الفولاذ في حمض الهيدروكلوريك فإن نواتج التآكل  $Fe_2O_3$  و  $Fe_3O_4$  وتختفي إذا أضيف مثبط إلى الوسط.

### ملخص:

أصبحت إمكانية استخدام مثبطات التآكل الأخضر بديل مثير للاهتمام في الوقت الراهن مقارنة مع غيرها من أساليب الحماية. قمنا في هذا العمل بدراسة فعالية المثبط العضوي من المستخلص المائي لأوراق السرو في وسط حمض الهيدروكلوريك HCl بتركيز (1 M HCl). وأجريت الدراسة التجريبية باستخدام طريقة فقدان الكتلة الضائعة. تم أخذ بعين الاعتبار تأثير كل من التركيز ; زمن الغمر وكذلك درجة الحرارة وذلك في وجود وغياب المثبط مستخلص مائي لأوراق السرو يقلل من معدل التآكل وكفاءة التثبيط تزداد مع زيادة تركيز وزمن الغمر لتصل إلى 95,264 % عند التركيز 5g/l وزمن الغمر 168h تمت دراسة تأثير درجة الحرارة على سلوك الفولاذ مع وبدون المانع ، وكانت طاقة التنشيط مرتبطة بها وأظهرت أن المانع يعمل على سطح الفولاذ بواسطة تأثير كهروستاتيكي. يتم الامتزاز المثبط على سطح الفولاذ وفقا لنموذج Freundlich. سمح MEB بتصوير طبقة ملتصقة ومستقرة على سطح الصلب. الكلمات المفتاحية: التآكل ، مانع التآكل ، مستخلص لأوراق السرو ، الامتزاز

### Abstract:

The possibility to use green corrosion inhibitors became currently an interesting alternative compared to other protective methods. In this work, we studied the effectiveness of the organic inhibitor of the Aqueous extract of cypress leaves in the center of HCl at a concentration of 1M. and the experimental study was conducted using the weight loss method. The concentration effect, immersion time, and temperature were taken into account in the presence of the inhibitor and its absence

The Aqueous extract of cypress leaves reduces the corrosion rate and the inhibition efficiency

increases with increasing concentration and immersion time, reaching 95.264% at a concentration of 5g/l and an immersion time of 168h.

The temperature effect on the corrosion, behavior of steel without and with inhibitor, the associated activation energy have been determined and proved that the inhibitor interacts on the steel surface by electrostatic effect. The inhibitor was adsorbed on the steel surface according to the modified Freundlich adsorption isotherm model.

The SEM allowed the visualization of an adherent and stable layer on the surface of the steel.

**Key words:** corrosion, corrosion inhibitor, Aqueous extract of cypress leaves, adsorbed

**Résumé :**

La possibilité d'utiliser des inhibiteurs verts de corrosion est devenue actuellement une alternative intéressante par rapport à d'autres méthodes de protection. Dans ce travail, nous avons étudié l'efficacité de l'inhibiteur organique de l'extrait aqueux de feuilles de menthe au centre de HCl à une concentration de 1 M .

et l'étude expérimentale a été menée en utilisant la méthode de perte de poids. L'effet de concentration, le temps d'immersion et la température ont été pris en compte en présence de l'inhibiteur et son absence.

L'extrait aqueux de feuilles de cyprès réduit le taux de corrosion et l'efficacité d'inhibition augmente avec l'augmentation de la concentration et du temps d'immersion, atteignant 95,264 % à une concentration de 5 g/l et un temps d'immersion de 168 h.

L'effet de la température sur le comportement de l'acier sans et avec inhibiteur, l'énergie d'activation associée ont été déterminées et ont montré que l'inhibiteur agit sur la surface en acier par effet électrostatique. L'inhibiteur a été adsorbé sur la surface d'acier selon l'isotherme d'adsorption de Freundlich.

Le MEB a permis la visualisation d'une couche adhérente et stable à la surface de l'acier.

**Mots clés :** corrosion, inhibiteur de corrosion, Extrait aqueux de feuilles de cyprès, adsorption



Département des Sciences de la matière

قسم : علوم المادة

Filière: Physique

شعبة : الفيزياء



## تصريح شرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث

(ملحق القرار 1082 المؤرخ في 2021/12/27)

أنا الممضي أسفله،

السيد (م): محمد عبد الوهاب

الصفة: طالب سنة ثانية ماستر فيزياء

تخصص: فيزياء المادة، ملكة

الحامل (ة) لبطاقة التعرف الوطنية رقم 703/00000000000000000000 الصادرة بتاريخ: 19/02/1999

المسجل بكلية: العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والبيئة، القسم: علوم المادة

والمكلف بإنجاز أعمال بحث: مذكرة ماستر في الفيزياء

عنوانها: تشبيه تآكل الفولاذ في وسط حمض الهيدروكلوريك بواسطة

بواسطة مستخلص مائي لإوراق السرو

أصرح بشرفي أنني أتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية المطلوبة في إنجاز البحث المذكور أعلاه وفق ما ينص عليه القرار رقم 1082 المؤرخ في 2021/12/27 المحدد للقواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية ومكافحتها.

التاريخ: 2021/12/27

إمضاء المعني بالأمر