

تشبيط تآكل C – SteelL80 باستخدام البولي اكريل امايد مع الثايوفين -2-

كاربوكسي الديهايد

مظر جواد كاظم العبيدي¹ , فرح خلف حمود الجبوري²

^{1,2}قسم الكيمياء ، كلية العلوم، جامعة كركوك، كركوك، العراق.

¹mutharjawad@yahoo.com, ²farah_aljibory2003@yahoo.com

المخلص

في هذا البحث استخدمت خمسة اوزان ثابتة (0.5)غم من البولي اكريل امايد ومزجها مع خمسة احجام مختلفة من ثايوفين-2-كاربوكسيل ديهايد (0.5,1,1.5, 2, 2.5) مل للحصول على خمسة تراكيز من المثبط في 50 مل من 15% HCl وبعدها تم غمر سبائك (C-SteelL80) بالمحلول المحضر وتم حساب الاوزان المفقودة لدرجات حرارية مختلفة (40, 60, 80, 90) مل وازمنة مختلفة (3, 4,5, 6) ساعة ، ومن الاوزان المفقودة تم حساب الكفاءة ومساحة السطح المغطى (θ) وبعدها حسبت الثوابت الترموديناميكية ولوحظ ان بزيادة تركيز المثبط يقل التآكل.

الكلمات الدالة: ثايوفين -2- كاربوكسي الديهايد ، التآكل ، C-Steel L80 ، مثبطات التآكل.

Inhibiting of C - steel L80 Corrosion by Using of Polyacrylamide and Thiophene -2- Carboxaldehyde

Muthar J. K. Al-Obaidi¹, Farah Kh. H. Al-Juboory²

^{1,2} Department of Chemistry, College of Science, Kirkuk University, Kirkuk, Iraq.

¹mutharjawad@yahoo.com, ²farah_aljibory2003@yahoo.com

Abstract

In this research Five steady weights (0.5) g. of polyacrylamide were mixed with five different volumes of thiophene-2-carboxildehyde (0.5, 1, 1.5, 2 and 2.5) ml to obtain five concentrations of inhibitor in (50)ml of 15% HCl. (C-Steel L80) bars were immersed in the prepared solution and the lost weights were calculated in different temperatures (40,60, 80 and 90) °C at different times (3, 4, 5 and 6)hrs. the covered surface area (θ)and the efficiency were calculated from the lose weights; then the thermodynamic constants were calculated. It was observed that the less corrosion was obtained by increasing the inhibitor concentration.

Key words: thiophene-2-carboxildehyde, Corrosion, C-Steel L80, inhibitors

1. المقدمة

ان محاليل حامض الهيدروكلوريك تستعمل في عمليات صناعية عديدة، بعضها مهم في حقول الكبس الحامضي للفولاذ وفي التنظيف الكيميائي والمعالجة وانتاج النفط الخام وتحميض ابار النفط، و بسبب الهجوم العدائي للمحاليل الحامضية تم استعمال المثبطات لتقليل التآكل على السطوح المعدنية [1] .

عرف في فرمليا (Vermilyea) التآكل بأنه عملية نزع او ازالة ذرات او جزيئات من سطح مادة صلبة مثل سطح فلز أو سبيكة. [2] وعرف (Evans) التآكل بأنه سلسلة من العمليات الكهروكيميائية (Electrochemical) وعمليات الديناميكية الحرارية (Thermodynamic) والحركية (Kinetic) التي تشمل انتقال الكترولونات ضمن الدائرة [3]. التآكل هو تدمير المعادن والسبائك بالتفاعلات الكيميائية والكهروكيميائية مع اوساطها. وهو ظاهرة طبيعية لايمكن ان تلغى لكن يمكن ان يسيطر عليها وتوقف باستعمال التقنيات الوقائية الملائمة كاستعمال المثبطات [4] .

المثبطات تمنح دورا جيدا في عملية تثبيط التآكل، وان المثبطات العضوية التي تحتوي على ذرات غير متجانسة مثل الاوكسجين والنتروجين والكبريت والفسفور تظهر التثبيط التآكلي الافضل بتكوين غشاء وقائي على سطح المعدن [5] .

ويكون ترتيب كفاءة تثبيط التآكل للمركبات التي تحتوي ذرات غير متجانسة كالتالي:



ان تطبيق او استعمال البوليمرات كمثبطات تآكل جذبت باحثين عدة فالمركبات البوليمرية مهمة كمثبطات تآكل في صمامات التحميض [6] تتعرض المعادن في العديد من العمليات للمواد الحامضية وتعتبر الحوامض من اهم مسببات التآكل للمواد المعدنية. وعند تعرض المعدن للتأثير الحامضي يمكن التقليل والتحكم من حدة التآكل الحامضي عن طريق المثبطات (مثبطات التآكل) [7] .

2. الجزء العملي

1.2 المواد والاجهزة المستخدمة:-

1- بولي اكريلاميد2 - ثايوفين-2 - كاربوكسي الديهايد 3- حامض الهيدروكلوريك 4- حمام مائي 5- ميزان حساس

2.2 مواصفات ال C-Steel L80:-

يتكون الفولاذ الكربوني C-Steel L80 بنسب معينة من المعادن الاتية

Cr=0.0190, Mn=1.41, Si=0.353, C=0.263, Ni =0.159, P =0.03, S =0.001, Fe=balance

3.2 تحضير حامض الهيدروكلوريك المستخدم HCl:-

تم تحضير حامض ال HCl بتركيز %15 بعد تخفيف الحامض التجاري ذو التركيز %28 بالماء المقطر

4.2 تحضير قطع L80 Carbon Steel:-

استخدام قطع C-Steel L80 المحضرة والمقطعة مسبقاً الى قطع بأبعاد متقاربة لقياس الخسارة بالوزن بعد تنظيفها وصقلها جيداً بواسطة ورق الصقل الخاص بالمعادن وغسلها بالأسيتون وحامض الهيدروكلوريك المخفف وتجفيفها جيداً وبعدها تم حساب أوزان سبائك ال C-Steel L80.

5.2 تحضير محلول HCl + P.A.M + Thiophene-2-carboxildehyde:-

تم إذابة خمسة اوزان ثابتة 0.5غم من p.a.m وخمسة احجام مختلفة من الثيوفين-2-كاربوكسي الديهايد (0.5, 1, 2, 2.5, 1.5ملي 50مل من حامض الهيدروكلوريك للحصول على خمسة تراكيز مختلفة من المثبط [8].

6.2 طريقة اختبار الفقدان بالوزن:-

تم تحضير القطع المعدنية الموزونة مسبقاً والمحاليل المحضرة لمثبط التآكل مع عينة اخرى من دون اضافة المثبط للحصول على محلول Blank ، ثم غمر القطع المعدنية في المحلول وتركها بالحمام المائي لمدة ثلاث ساعات ضمن درجات حرارية مختلفة °C (40,60, 80, 90) وبعد انتهاء الزمن المحدد تم اخراج القطع المعدنية وتنظيفها جيداً وغسلها بالأسيتون وحامض الهيدروكلوريك المخفف لإزالة الشوائب والترسبات من على سطح السبيكة وبعد التجفيف التام تم إعادة وزن القطع لمعرفة وزن المادة المفقودة للسبيكة.

ثم كررت العملية وذلك بغمر السبائك في المحاليل وتركها بالحمام المائي لمدة (3, 4, 5, 6) ساعات وبنفس الدرجات الحرارية السابقة °C (40, 60, 80,90). [10,9]

3. النتائج والمناقشة

تستخدم المثبطات الكيميائية لتقليل نسبة عمليات التآكل بشكل متنوع في استخراج النفط والصناعات التحويلية حيث كانت المثبطات دائماً تعتبر خط الدفاع الأول ضد التآكل. وقد خصص عدد كبير من الدراسات العلمية لموضوع مثبطات التآكل. ومع ذلك فإن اغلب المثبطات التي عُرفت نمت من التجارب العملية سواء في المختبرات او في الحقل. وان القواعد والمعادلات والنظريات لتوجيه تطوير المثبط أو استعماله محدودة جداً [10].

قياسات الخسارة بالوزن :-

في هذا البحث استخدم ال Polyacrylamide مع Thiophene-2-carboxildehyde كمثبط للتآكل كما تم توضيح ذلك في طريقة العمل. وبعد الحصول على الأوزان المفقودة وجراء الحسابات المطلوبة والوصول الى الأشكال البيانية يتبين من الشكل 1 منحنيات خسارة الوزن مقابل الزمن لسبيكة C-Steel L80 في غياب ووجود تراكيز مختلفة من مركب ال (P.A.M و Thiophene-2-carboxildehyde) في °C 40. (تم الاحتفاظ ببقية الأشكال) وقد تم الحصول على منحنيات مماثلة للمركب. فمن الواضح أن خسارة الوزن من C-Steel في وجود هذا البوليمر تتناسب خطياً مع الزمن، وأقل بكثير من تلك التي تم الحصول عليها في محلول البلاك blank solution. فزيادة الزمن يزداد التآكل، ولكن

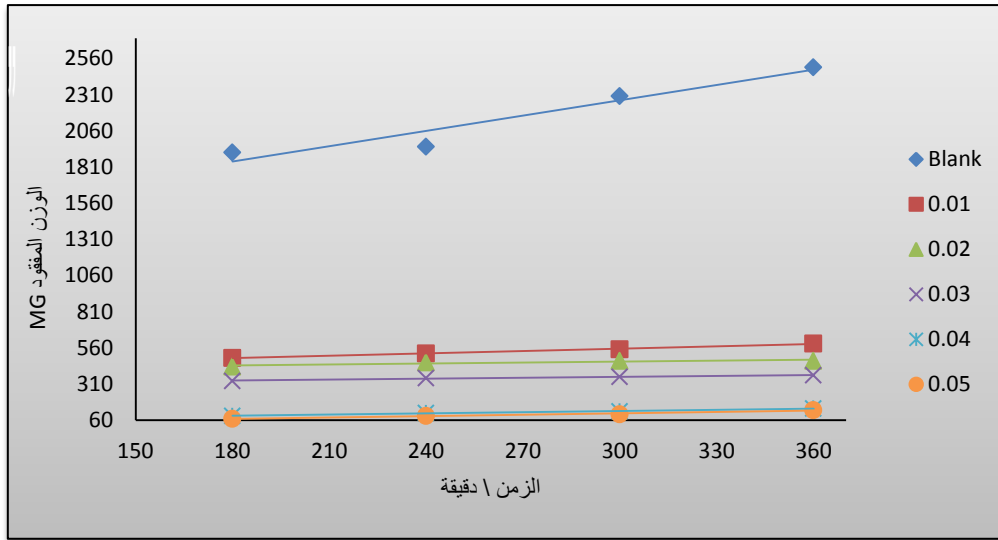
تختلف نسب التآكل بزيادة تراكيز المادة المثبطة عند المقارنة بين التركيز عند زمن 3 ساعات فنلاحظ الفرق كبير جداً بقيم الأوزان المفقودة، هذا يدل على ايجابية المثبط لتقليل التآكل وبمقارنة المنحنيات مع بعضها لاحظنا ان الفرق كبير عند وجود المثبط وعدم وجوده وايضا عند زيادة تراكيز المثبط. الخطوط التي تم الحصول عليها تشير إلى عدم وجود غشاء غير قابل للذوبان أثناء التآكل، وأن المثبط قد أمتز أولاً على سطح المعدن، وبعد ذلك أعاق عملية التآكل [11]. وقد تم الحصول على منحنيات مماثلة لدرجات الحرارة الأخرى. من الجدول 1 نلاحظ قيم الأوزان المفقودة للفولاذ الكربوني بوجود وغياب مثبط التآكل (P.A.M و Thiophene-2-carboxildehyde) بتراكيز مختلفة ودرجات حرارية وازمنة مختلفة في حامض الهيدروكلوريك بتركيز 15% وان قيم الأوزان المفقودة تزداد مع زيادة درجات الحرارة وزمن الغمر في الحامض وهذا يدل على ان الحرارة والزمن لها تأثير مباشر على المثبط المستخدم فتعمل الحرارة تعمل على تقليل او اذابة البوليمر فتقلل من تشكيل الطبقة الواقية على السطح. وتم حساب كفاءة نسبة التثبيط (الكفاءة) وتغطية السطح المعامل (θ) التي تمثل مساحة السطح المغطى بواسطة مثبطات التآكل وذلك باستخدام المعادلات التالية [12].

الوزن المفقود = الوزن قبل الغمر – الوزن بعد الغمر

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{الوزن المفقود للبلانك} - \text{الوزن المفقود للعينة}}{\text{الوزن المفقود للبلانك}} \times 100$$

$$\theta = \frac{\text{الوزن المفقود للبلانك} - \text{الوزن المفقود للعينة}}{\text{الوزن المفقود للبلانك}}$$

ونلاحظ في الجدول 1 ان قيم الكفاءة ومساحة السطح المغطى قد تزداد مع زيادة تراكيز المثبط المستخدم ولكن تقل مع ارتفاع درجات الحرارة ومع زيادة زمن الغمر للسبيكة. فعند دراسة نتائج الجدول لاحظنا ان الكفاءة تقل مع زيادة زمن الغمر للسبيكة. اما عند مقارنة كفاءة المثبط لدرجات الحرارة المختلفة نلاحظ انخفاض نسب الكفاءة فكلما زادت درجة الحرارة قلت الكفاءة ومساحة السطح المغطى.



الشكل 1: الوزن المفقود مقابل الزمن لتآكل C_steel L80 في HCl بتركيز 15% عند درجة حرارة 40 م باستخدام تراكيز مختلفة من (Thiophene-2-carboxildehyde و P.A.M كمانع تآكل)

تأثير درجة الحرارة:-

تم دراسة تأثير ارتفاع درجة الحرارة على معدل تآكل C-Steel L80 في 15% من حامض الهيدروكلوريك في غياب ووجود تراكيز مختلفة من المثبط لغرض معرفة مدى تأثير مثل هذه المواد كمنظمات للتآكل باستخدام قياسات خسارة الوزن [13]. ان معدلات التآكل R_{corr} قد تم حسابها باستخدام المعادلة التالية:-

$$R_{corr} = \frac{\Delta W}{St} \quad (1)$$

حيث

ΔW = خسارة الوزن من السبيكة.

S = مساحة السبيكة (cm^2).

t = زمن الغمر بالحامض (بالدقيقة).

عند الرجوع الى الجدول 1 الذي استخدم ال (P.A.M و Thiophene-2-carboxildehyde) كمثبط تآكل يلاحظ زيادة الوزن المفقود وبالتالي زيادة معدل التآكل مع ارتفاع درجة الحرارة. هذا يشير إلى أن ارتفاع درجة الحرارة يقلل من عملية التثبيط ويتم الحصول على أعلى كفاءة تثبيط عند $40^\circ C$ بثبوت تركيز المثبط. وان لدرجة الحرارة تأثير سلبي فهي تزيد من معدل التآكل الحامضي وايضا تؤثر على عمل المثبط. وقد حسبت قيم طاقة التنشيط E_a لعملية التآكل باستخدام معادلة أرينيوس [14]

$$\text{Log } R_{\text{corr}} = \text{log } A - \frac{E_a}{2.303 RT} \quad (2)$$

حيث:

R_{corr} = معدل التآكل من خسارة الوزن، A = ثابت أرينيوس، R = الثابت العام للغازات، T = درجة الحرارة المطلقة. مخطط أرينيوس بوجود تراكيز مختلفة من الـ (P.A.M و Thiophene-2-carboxildehyde) كمثبط للتآكل وبأزمنة مختلفة (3, 4, 5, 6) ساعات على التوالي. المنحنيات المماثلة تم الحصول عليها وتم الحصول على قيم E_a من ميل الخطوط المستقيمة والمدرجة في الجداول 2, 3, 4, 5. ان زيادة طاقات التنشيط بوجود المثبط تعزى إلى الانخفاض الملموس في عملية امتزاز المثبط على سطح المعدن مع ارتفاع درجات الحرارة وثبوت طاقة التنشيط مع زيادة في درجة الحرارة لكل تركيز من المثبط وزيادة مماثلة في معدل التفاعل بسبب المساحة الكبيرة من المعدن المعرضة للحامض. وايضا تزداد طاقة التنشيط مع زيادة زمن الغمر. ان زيادة تراكيز المثبط تعمل على رفع قيم طاقات التنشيط [15].

الامتزاز الأيزوثيرمي:-

ان قيم مساحة تغطية السطوح المعدنية (θ) في تراكيز مختلفة من المثبطات المستخدمة عند درجات حرارة مختلفة مذكورة في الجدول 1. ان قيم مساحة السطح المغطى (θ) التي وجدت تزداد مع زيادة تركيز المواد البوليمرية المضافة وتنخفض مع ارتفاع درجات الحرارة من $40-90^\circ\text{C}$. فالمثبط يعمل على زيادة مساحة السطح المغطى لمدى معين من تراكيز المثبط ودرجات الحرارة عندما يحدث امتزاز أحادي الطبقة على سطح الفولاذ ، وايزوثيرم امتزاز لانجميور والذي يعبر عنه كالاتي [16]

$$\text{log } \frac{\theta}{1-\theta} = \text{log } A + \text{log } C - \frac{\Delta H}{2.303 RT} \quad (3)$$

حيث:

A = ثابت مستقل، C = تركيز المثبط، ΔH = حرارة الامتزاز.

ومن العلاقة بين ($\text{Log } \theta \setminus 1 - \theta$ Vs $1/T$) بتراكيز مختلفة من مثبط التآكل (P.A.M و Thiophene-2-carboxildehyde) تم الحصول على منحنيات مماثلة لجميع الأزمنة (3,4,5,6) ساعات. تم الحصول على علاقة خطوط مستقيمة هذا يعني أنه امتزاز المثبط لسبيكة الـ C-Steel L80، يطبع أيزوثيرم امتزاز لانجميور [17]. ويمكن حساب قيم حرارة الامتزاز ΔH من ميل الخط المستقيم ($-\Delta H/2.303R$) والمبينة في الجداول 2, 3, 4, 5. القيم الموجبة من ΔH تعكس السلوك الماص للحرارة للمثبط المستخدم على سطح الفولاذ الكربوني. وايضا نلاحظ نقصان بقيم ΔH مع زيادة تركيز المثبط. وزيادة في قيم ΔH مع زيادة زمن الغمر لسبيكة الـ C-Steel L80. ونلاحظ من الجداول ان قيم ΔH بانخفاض مستمر مع زيادة تركيز المثبط و لا تتأثر بارتفاع درجات الحرارة. [15]

المتغيرات الترموداينميكية :-

ويمكن صياغة أيزوثيرم امتزاز لانجميور على النحو التالي:

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K} + C \quad (4)$$

حيث، $K =$ ثابت الاتزان لعملية الامتزاز، $C =$ تركيز المثبط.

وعند الرسم $(\log C/\theta \text{ Vs } \log C)$ للمثبط (P.A.M و Thiophene-2-carboxildehyde) كمثال على ذلك لأيزوثيرم الامتزاز. وتم الحصول على منحنيات لهذا البوليمر. الخطوط المستقيمة A مع قيمة ميل الوحدة تبين أن امتزاز ال (P.A.M و Thiophene-2-carboxildehyde) على سطح السبيكة يتبع لانجميور Langmuir. من هذه النتائج يمكن أن نفترض أنه لا يوجد تفاعل بين الاصناف الممتازة. ويمكن حساب ثابت التوازن (K) للامتزاز من المعاملة بالمثل لمضاد اللوغاريتم المعروضة و المدرجة في الجداول 2, 3, 4, 5. حيث نلاحظ ان قيم K ثابتة مع تغير تراكيز المثبط ولكنها تتغير مع تغير درجات الحرارة حيث تقل مع زيادة درجات الحرارة. وايضا تقل مع زيادة زمن الغمر بالحامض [16]. ومن المتغيرات الترموداينميكية لعملية الامتزاز يمكن الحصول على $(\Delta G)_{ads}$ والانتروبي $(\Delta S)_{ads}$ (P.A.M و Thiophene-2-carboxildehyde) من العلاقات الترموداينميكية.

$$K = \exp \frac{-\Delta G_{ads}}{RT} \quad (5)$$

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

وبالنظر إلى القيم المحسوبة ل ΔG_{ads} و ΔS_{ads} على مدى درجة الحرارة $(40, 60, 80, 90)^\circ\text{C}$ لكل تركيز من تراكيز المثبط المستخدم في الجداول. القيم السالبة لل ΔG_{ads} تشير إلى امتزاز تلقائي للمثبط المستخدم (P.A.M و Thiophene-2-carboxildehyde) على سطح الفولاذ الكاربوني وانخفاض قيمة ΔS_{ads} مع الارتفاع في درجات الحرارة. وهذا يؤدي الى الزيادة العالية بقيم الامتزازية للمثبط على سطح السبيكة. حيث تكون قيم ΔG_{ads} ثابتة مع تغير التراكيز للمثبط ولكنها تزداد مع ارتفاع درجات الحرارة. وايضا تزداد مع زيادة زمن الغمر بالحامض. اما قيم ΔS_{ads} فتتغير مع تغير تراكيز المثبط اي تقل مع زيادة تركيز المثبط وتقل مع ارتفاع درجات الحرارة. وثابتة مع تغير زمن غمر السبيكة بالحامض [18].

ميكانيكية التثبيط:-

ان العمل التثبيطي ل (P.A.M و Thiophene-2-carboxildehyde) نحو تأكل Steel - C في 15% HCl باستخدام طريقة الخسارة بالوزن يمكن أن يعزى إلى عدة عوامل بما في ذلك البنية او التركيب وعدد وأنواع مواقع الامتزاز وطبيعة الجزيئة وطبيعة سطح المعدن والقدرة على تشكيل المعقدات. أن آلية تثبيط ال (P.A.M و Thiophene-2-carboxildehyde) هي نتيجة لتشكيل المعقد بين ايون Fe^{+2} والمثبط [19]. ان المعقد الذي تكون يمتز على سطح المعدن وبالتالي يعزل المعدن من مواصلة الهجوم التآكلي. وايضا يمكن تفسيره على اساس او قاعدة الامتزاز على سطح

المعدن. وجد بأن عملية الامتزاز تعتمد على عدد المواقع الفعالة في الجزيئات وكثافة الشحنة وحجم الجزيئة والاستقرار لهذه المشتقات فبالمحاليل الحامضية. يفترض أن الامتزاز يتم بشكل رئيسي من خلال ذرة النيتروجين للمجموعة الأمينية (المراكز النشطة) . يفضل نقل زوج الإلكترونات الوحيد للنيتروجين إلى السطح لتشكيل تنسيق نوعي ترابطي من خلال وجود المدارات شاغرة في ذرة الحديد منخفضة الطاقة. يبدو الطابع القطبي في الجزء المتغير لجزيئة المثبط أن له تأثير بارز على كثافة شحنة الإلكترون للجزيئة [19].

4. الاستنتاجات

- ان استخدام البوليمرات والمواد العضوية التي تحتوي على ذرات مغايرة من (N , O , S) تعد من اكفا المثبطات الـ C-Steel L80 وقد تم استخدام قياس فقدان بالوزن لتقييم عمل المثبط وكفاءته على تثبيط تآكل الـ C-Steel L80 بالوسط الحامضي (15% HCl) وقد وجدت الكفاءة تتناسب من (60% - 90%) حسب تركيز المثبط ودرجة الحرارة.
2. لدرجة الحرارة وزمن الغمر تأثير كبير على عمل المثبط وعلى التآكل.
 3. تركيز المثبط يلعب دور كبير في تقليل التآكل.

جدول 1: معدل تأثير التثبيط ل (P.A.M) و (Thiophene-2-carboxildehyde) على تآكل الـ (C-Steel L-80) عند ازمة ودرجات حرارية مختلفة في 15% Hcl

عند زمن 6 ساعة			عند زمن 5 ساعة			عند زمن 4 ساعة			عند زمن 3 ساعة			حجم الحامض	T °C	التركيز
θ	الكفاءة %	الوزن المفقود gm	θ	الكفاءة %	الوزن المفقود gm	θ	الكفاءة %	الوزن المفقود gm	θ	الكفاءة %	الوزن المفقود gm			
0.918	91.8	0.1	0.9322	93.22	0.08	0.9482	94.82	0.06	0.9732	97.32	0.03	50ml	40	Blank
0.9262	92.62	0.09	0.9491	94.91	0.06	0.9655	96.55	0.04	0.9821	98.21	0.02	50ml	40	30.0
0.9344	93.44	0.08	0.9661	96.61	0.04	0.9441	94.41	0.03	0.991	99.1	0.01	50ml	40	50.0
0.9426	94.26	0.07	0.9745	97.45	0.03	0.9827	98.27	0.02	0.991	99.1	0.01	50ml	40	70.0
0.9508	95.08	0.06	0.983	98.3	0.02	0.9913	99.13	0.01	0.991	99.1	0.01	50ml	40	90.0
0.9508	95.08	0.06	0.983	98.3	0.02	0.9913	99.13	0.01	0.991	99.1	0.01	50ml	40	110.0
0.8897	88.97	0.14	0.912	91.2	0.11	0.9354	93.54	0.08	0.9568	95.68	0.05	50ml	60	Blank
0.9133	91.33	0.11	0.928	92.8	0.09	0.9516	95.16	0.06	0.9655	96.55	0.04	50ml	60	30.0
0.9291	92.91	0.09	0.944	94.4	0.07	0.9596	95.96	0.05	0.9655	96.55	0.04	50ml	60	50.0
0.9527	95.27	0.6	0.96	96	0.05	0.9677	96.77	0.04	0.9741	97.41	0.03	50ml	60	70.0
0.9606	96.06	0.05	0.976	97.6	0.03	0.9758	97.58	0.03	0.9913	99.13	0.01	50ml	60	90.0
0.9606	96.06	0.05	0.976	97.6	0.03	0.9758	97.58	0.03	0.9913	99.13	0.01	50ml	60	110.0
0.9023	90.23	0.21	0.9103	91.03	0.19	0.9096	90.96	0.16	0.913	91.3	0.14	50ml	80	Blank
0.9116	91.16	0.19	0.9198	91.98	0.17	0.9152	91.52	0.15	0.9378	93.78	0.10	50ml	80	30.0
0.9209	92.09	0.17	0.9339	93.39	0.14	0.9378	93.78	0.11	0.944	94.4	0.09	50ml	80	50.0
0.9348	93.48	0.14	0.9433	94.33	0.12	0.9491	94.91	0.09	0.9503	95.03	0.08	50ml	80	70.0
0.9441	94.41	0.12	0.9528	95.28	0.1	0.9604	96.04	0.07	0.9689	96.89	0.05	50ml	80	90.0
0.9441	94.41	0.12	0.9528	95.28	0.1	0.9604	96.04	0.07	0.9689	96.89	0.05	50ml	80	110.0
0.8857	88.57	0.28	0.8879	88.79	0.26	0.8909	89.09	0.23	0.8901	89.01	0.20	50ml	90	Blank
0.8938	89.38	0.26	0.9003	90.03	0.23	0.9004	90.04	0.21	0.9065	90.65	0.17	50ml	90	30.0
0.9061	90.61	0.23	0.9137	91.37	0.2	0.9146	91.46	0.18	0.934	93.4	0.12	50ml	90	50.0
0.9142	91.42	0.21	0.9181	91.81	0.19	0.9336	93.36	0.14	0.9505	95.05	0.09	50ml	90	70.0
0.9346	93.46	0.16	0.9396	93.96	0.14	0.9478	94.78	0.11	0.9615	96.15	0.07	50ml	90	90.0
0.9346	93.46	0.16	0.9396	93.96	0.14	0.9478	94.78	0.11	0.9615	96.15	0.07	50ml	90	110.0

جدول 2: الثوابت الترموديناميكية للمثبط Thiophene-2-carboxildehyde و P.A.M عند زمن 3 ساعة وتراكيز مختلفة

ΔS (KJmol ⁻¹)	ΔG (KJmol ⁻¹)	ΔH (KJmol ⁻¹)	Ea (KJmol ⁻¹)	K (KJmol ⁻¹)	درجة الحرارة K°	التركيز
50.82	-16×10 ³			4.76×10 ²	313	
48.36	-16.2×10 ³			3.57×10 ²	333	
48.17	-17.1×10 ³	-93	245	3.44×10 ²	353	0.02
46.02	-16.8×10 ³			2.63×10 ²	363	
48.78	-15.4×10 ³			3.84×10 ²	313	
46.15	-15.5×10 ³			2.63×10 ²	333	
44.39	-15.8×10 ³	-130	273	2.27×10 ²	353	0.03
43.44	-15.9×10 ³			1.81×10 ²	363	
49.26	-15.6×10 ³			4.16×10 ²	313	
45.1	-15.2×10 ³			2.43×10 ²	333	
43.4	-15.5×10 ³	-179	287	2×10 ²	353	0.04
41.1	-15.1×10 ³			1.51×10 ²	363	
49.1	-15.6×10 ³			4.16×10 ²	313	
45.54	-15.4×10 ³			2.7×10 ²	333	
42.67	-15.3×10 ³	-235	310	1.85×10 ²	353	0.05
39.29	-14.5×10 ³			1.25×10 ²	363	
51.17	-16.3×10 ³			5.26×10 ²	313	
48.1	-16.3×10 ³			3.7×10 ²	333	
42.26	-15.2×10 ³	-281	310	1.81×10 ²	353	0.06
40.27	-14.9×10 ³			1.4×10 ²	363	

جدول 3: الثوابت الترموديناميكية للمثبط Thiophene-2-carboxildehyde و P.A.M عند زمن 4 ساعة وتراكيز مختلفة

ΔS (KJmol ⁻¹)	ΔG (KJmol ⁻¹)	ΔH (KJmol ⁻¹)	Ea (KJmol ⁻¹)	K (KJmol ⁻¹)	درجة الحرارة K°	التركيز
58.09	-18.5×10 ³			1.25×10 ³	313	
54.1	-18.3×10 ³			7.69×10 ²	333	
47.82	-17.2×10 ³	-317	346	3.57×10 ²	353	0.02
45.4	-16.8×10 ³			2.7×10 ²	363	
57.06	-18.2×10 ³			1.11×10 ³	313	
51.23	-17.4×10 ³		354	5.55×10 ²	333	
46.35	-16.7×10 ³	-338		3.03×10 ²	353	0.03
42.87	-15.9×10 ³			1.96×10 ²	363	
60.24	-19.2×10 ³			1.66×10 ³	313	
48.51	-16.5×10 ³			4×10 ²	333	
44.63	-16.1×10 ³	-344	390	2.43×10 ²	353	0.04
43.12	-1×10 ³			2.04×10 ²	363	
57.98	-18.5×10 ³			1.25×10 ³	313	
48.79	-16.6×10 ³			4.16×10 ²	333	
43.47	-15.7×10 ³	-352	392	2.12×10 ²	353	0.05
43.38	-16.1×10 ³			2.12×10 ²	363	
57	-18.2×10 ³			1.11×10 ³	313	
57.18	-19.4×10 ³			1.11×10 ³	333	
45.7	-16.5×10 ³	-356	402	2.77×10 ²	353	0.06
43.92	-16.3×10 ³			2.27×10 ²	363	

جدول رقم 4: الثوابت الترموديناميكية للمثبط Thiophene-2-carboxildehyde و P.A.M عند زمن 5 ساعة

وتراكيز مختلفة

ΔS (KJmol ⁻¹)	ΔG (KJmol ⁻¹)	ΔH (KJmol ⁻¹)	Ea (KJmol ⁻¹)	K (KJmol ⁻¹)	درجة الحرارة K°	التركيز
52.81	-16.7×10 ³			6.25×10 ²	313	
51.14	-17.2×10 ³			5×10 ²	333	
47.68	-17×10 ³	-168	279	3.33×10 ²	353	0.03
45.81	-16.8×10 ³			2.7×10 ²	363	
51.64	-16.4×10 ³			5.55×10 ²	313	
48.84	-16.5×10 ³			4×10 ²	333	
43.18	-15.7×10 ³	-235	350	2.17×10 ²	353	0.05
42.32	-15.6×10 ³			1.81×10 ²	363	
51.61	-16.4×10 ³			5.55×10 ²	313	
47.61	-16.1×10 ³			3.44×10 ²	333	
43.77	-15.7×10 ³	-246	352	2.12×10 ²	353	0.07
40.92	-15.1×10 ³			1.53×10 ²	363	
52.51	-16.7×10 ³			6.25×10 ²	313	
47.25	-16×10 ³			3.33×10 ²	333	
43.44	-15.6×10 ³	-264	354	2.08×10 ²	353	0.09
41.14	-15.2×10 ³			1.56×10 ²	363	
57.24	-18.2×10 ³			1.11×10 ²	313	
47.8	-16.2×10 ³			3.57×10 ²	333	
43.96	-15.8×10 ³	-281	354	2.22×10 ²	353	0.11
41.37	-15.3×10 ³			1.63×10 ²	363	

جدول 5: الثوابت الترموديناميكية للمثبط Thiophene-2-carboxildehyde و P.A.M عند زمن 6 ساعة وتراكيز

مختلفة

ΔS (KJmol ⁻¹)	ΔG (KJmol ⁻¹)	ΔH (KJmol ⁻¹)	Ea (KJmol ⁻¹)	K (KJmol ⁻¹)	درجة الحرارة K°	التركيز
49.04	-15.4×10 ³			3.84×10 ²	313	
47.45	-15.5×10 ³			2.7×10 ²	333	
46.39	-16.8×10 ³	-49	212	3.12×10 ²	353	0.02
46.13	-16.8×10 ³			2.63×10 ²	363	
45.79	-14.4×10 ³			2.56×10 ²	313	
44.24	-14.8×10 ³			2.12×10 ²	333	
44	-15.6×10 ³	-67	218	2.08×10 ²	353	0.03
42.51	-15.5×10 ³			1.69×10 ²	363	
43.85	-13.8×10 ³			2.04×10 ²	313	
43.32	-14.5×10 ³			1.88×10 ²	333	
42.28	-15×10 ³	-74	220	1.66×10 ²	353	0.04
40.65	-14.8×10 ³			1.38×10 ²	363	
42.8	-13.5×10 ³			1.81×10 ²	313	
44.44	-14.9×10 ³			2.22×10 ²	333	
41.64	-14.8×10 ³	-99	229	1.58×10 ²	353	0.05
39.39	-14.4×10 ³			1.19×10 ²	363	
42.45	-13.4×10 ³			1.75×10 ²	313	
44.4	-14.9×10 ³			2.22×10 ²	333	
41.32	-14.7×10 ³	-112	241	1.53×10 ²	353	0.06
39.91	-14.6×10 ³			1.29×10 ²	363	

- [1] S. Fouda, H. Mostafa, F. El-Taib, G. Elewady, “*Synergistic influence of iodide ions on the inhibition of corrosion of carbon steel in sulphuric acid by some aliphatic amines*”, Corros. Sci, 47, 1988 (2004).
- [2] M. finsgar, S. Fassbender, F. Nicolini, I. milosev, “*polyethyleneimine as a corrosion inhibitor for ASTM 430 stainless steel in near-neutral chloride media*”, Materials Chem., and phys., 116, 198 (2009).
- [3] M. Moustafa, Y. Issa, W. El-Hawary,” *Sythesis and analytical application of the Complex es of 4-methyleseculetin azo compounds with some transition metal ions*”, spectroscopy Lett., 32(5), 829 (1999).
- [4] M. Barbosa, “*the pitting resistance of AISI 316 stainless steel passivated in diluted nitric acid*”, Corros. Sci., 23, 1292 (1983).
- [5] M. Abdallah, “*Corrosion inhibition of steel by 1-phenyl 5-mercapto1,2,3,4-tetrazole in acidic environments*”, Corros. Sci., 46, 1981 (2004).
- [6] B. Obot, O. Egbedi, A. Umoren, E. Ebenso, “*Synergistic and antagonistic effects of anions and Ipomoea invulcrata as green corrosion inhibitor for aluminium dissolution in acidic medium*”, Electrochemical Sci., 7, 994 (2010).
- [7] M. Abdallah, “*Corrosion behavior of 304 stainless steel in sulphuric acid solutions and its inhibition by some substituted pyrazolones Mater*”, Chem. Phys., 82, 786 (2003).
- [8] M. Abdallah, S .Khairou, “*Sildenafil citrate (Viagra) as a corrosion inhibitor for carbon steel in hydrochloric acid solutions*”, Monatshefte fur Chemie, 143, 1379 (2012).
- [9] M. Abdallah, E. Helal, A. Fouda, “*Amino pyrimidine derivatives as inhibitors for corrosion of 1018 carbon steel in nitric acid solutions*”, Corros. Sci., 48, 1639 (2006).

- [10] M. finsgar, S. Fassbender, F. Nicolini, I. milosev, “*polyethyleneimine as a corrosion inhibitor for ASTM 420 stainless steel in near-neutral saline media*”, corrosion sci., 52, 525 (2009).
- [11] G. El- Mahdy, S. Mohamed, “*Inhibition of acid corrosion of pure aluminium with 5-benzylidene-1-methyl-2-methyl thio-imidazole-4-one Corrosion*”, Corros. Sci., 51, 436 (1995).
- [12] I. Putilova, S. Balezin, V. Barannik, “*Metallic Corrosion Inhibitors*”, Pergamory Oxford, 34, 77 (1960).
- [13] M. Abdallah, S. Fouda, S. Shama, E. Afifi, “*Azodyes as corrosion inhibitors for dissolution of C-steel in hydrochloric acid solution*”, African journal of pure and applied chem., 2, 083 (2008).
- [14] T. Makhlof, W. Wahdan, “*Thermodynamic parameters of the synergistic effect of some thiols and halide ions on the acid corrosion of mild steel*”, Polish J. Chem., 69, 1042 (1995).
- [15] A.Satapathy, G. Gunasekaran, S. Sahoo, P. Rodrigues, “*Corrosion inhibition by Justiciendarussa plant extract in hydrochloric acid solution*”, Corros. Sci., 51, 2848 (2009).
- [16] S. Abd El-Rehim, M. Ibrahim, K. Khaled, “*4 - Aminoantipyrine as an inhibitor of mild steel corrosion in HCl solution*”, J. Appl. Electrochem., 29, 593 (1999).