

دراسة تأثير الملح المزدوج ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) في سلوك التآكل للفولاذ واطئ الكربون

باسم محيسن محمد الزبيدي

كلية هندسة المواد - جامعة بابل

الخلاصة

البحث الحالي تضمن دراسة تأثير إضافة الملح المزدوج ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) على السلوك التآكلي للفولاذ واطئ الكربون باستخدام طريقة الغمر البسيط في محاليل مائية للملح المزدوج بنسب مختلفة في درجة حرارة الغرفة ومحلول حامضي في درجات حرارة ($RT, 40, 50^\circ C$). وقد تم استخدام طريقة التغير في الوزن كمقياس لتأثير الفولاذ بالأوساط المختلفة، ورسمت العلاقات بين الوزن المفقود لوحدة المساحة وزمن التعرض للأوساط التآكلية، وكذلك استخدام التصوير بالمجهر الضوئي بقوة تكبير (600X) لدراسة طوبوغرافية سطح العينات.

أظهرت النتائج التي تم التوصل إليها أن إضافة الملح المزدوج ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) إلى الماء الاعتيادي يزيد معدل التآكل كما تنخفض مقاومة التآكل بزيادة نسبته في المحلول.

أما بالنسبة للسلوك التآكلي في المحلول الحامضي بدرجة حرارة الغرفة فوجد أن الملح المزدوج يعمل على تقليل معدل التآكل وقيمة هذا النقصان تزداد بزيادة نسبة ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) حتى الوصول إلى نسبة (0.5 wt%) بسبب وجود أيونات (Al^{3+}) في المحلول بعدها تزداد بسبب زيادة تركيز أيونات (SO_4^{2-}). وعند زيادة درجة الحرارة لوحظ زيادة كبيرة في مستويات التآكل لكون التآكل تفاعل كيميائي يعتمد على درجة الحرارة، لكن السلوك العام في انخفاض معدل التآكل بزيادة نسبة الملح المزدوج ثم ارتفاعه من جديد لم يتغير إلا بصورة طفيفة عن حاله في درجة حرارة الغرفة.

Abstract

This work included study of the effect of the salt ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) on the corrosion behaviour of the low carbon steel using the simple immersion method in aqueous solution with different percentages of the salt ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) at room temperature and acidic solution (3 vol.% HCl) at temperatures ($RT, 40, 50^\circ C$). The weight loss method used as an indicator to the effect of the solutions on the low carbon steel, The microscopic examination with (600 X) is used in this study too.

The results of effects of addition of the salt ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) to the natural water showed an increase in corrosion rate and decrease in corrosion resistance with increasing salt concentration. In the other hand the corrosion behaviour in (3vol% HCl) solution at room temperature show that the addition of ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) decreases the corrosion rate and this decreasing continue with increasing the concentration up to (0.5 wt.% ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$)) because of the presence of (Al^{3+}) ions in the solution, after that corrosion rate increases because of increasing of (SO_4^{2-}) ions concentration. The increasing of temperature increases the corrosion levels because the corrosion is a chemical reaction depends on temperature, but the general behaviour of decreasing corrosion.

المقدمة

لقد ازداد استخدام المعادن من قبل الدول مع تطور التكنولوجيا والاقتصاد، و يعد استهلاك المعادن بواسطة العوامل الجوية المشكّلة الأساسية للشركات الصناعية (Ayşe TOSUN, Mübecce ERGUN, 2006) إذ إن المعدات التي تتلف سنوياً بسبب عملية التآكل تقدر بمليارات الدولارات لذا فمن الضروري دراسة هذه الظاهرة وبيان العوامل المسببة لحدوثها من أجل الوصول إلى الأساليب الكفيلة للسيطرة عليها.

إن المعادن والسبائك التي تكون على تماس مع الماء تكون عرضة للتآكل بسبب عدم إستقراريتها الترموديناميكية في أنظمة التبريد. إن الطريقة الاعتيادية للحماية من التآكل هي استخدام مواد أكثر تحملاً، لكن هذه الطريقة غير ممكنة نظراً للأسباب الاقتصادية والصعوبة وسعة العملية كما في أنظمة التبريد. إن الطريقة الأكثر انتشاراً هي استخدام المثبطات لتقليل التآكل في هذه الظروف. والمثبطات ذات التأثير العالي والأوسع

استخداماً هي (تنزيت الصوديوم، الموليبيدات، الخ) لكن من أهم مساوئها الكلفة العالية (Ayşe TOSUN, Mübecce ERGUN, 2006). مثبطات الكرومات تعد الأقدم بين المثبطات و الأكثر تأثيراً وقد استخدمت لأنظمة التبريد والتسخين، لكن استخدامها انخفض منذ عام (1970) في الكثير من البلدان بسبب التلوث الذي تسببه (Trinh et al., 2002). لذا فقد أجريت دراسات وبحوث عديدة في مختلف أنحاء العالم تهدف إلى دراسة التآكل في الفولاذ الكربوني ومحاولة الحد من تأثيره ومن هذه الدراسات: قيام (Trinh et al., 2002) بإجراء معاملة سطحية للفولاذ الكربوني بواسطة محاليل حاوية على الفوسفات (TDP) and (MOP), وقد درست الحماية من التآكل الناتجة من المركبات بواسطة قياس الإعاقة الكهروكيميائية (Electrochemical impedance). و وجد أن إضافة (MOP) إلى المحاليل الحاوية على (TDP) يولد تأثيراً مساعداً لتكوين الغشاء الواقي على سطح الفولاذ وأن التركيز الأمثل الذي يعطي أفضل حماية هو (1.5%) (MOP) ويكون الغشاء الواقي مسامياً وله سمك بحدود (10 µm).

أما (Yannik et al., 2003) فقد قاموا بدراسة تأثير ايون الخلات على معدل التآكل للفولاذ الكربوني (X65) في مياه البحر الحاوية على ثاني أكسيد الكربون. واستخدم مقياس الفولتية (Voltammetry) على أقطاب بشكل قرص دوار. وظهر أن تركيب الماء شديد الملوحة يشكل عاملاً رئيسياً وأثبت أن معدل تآكل الفولاذ يتعلق بصورة واسعة بتركيز حامض ألكليك غير المتحلل في الماء شديد الملوحة (ماء البحر).

في حين إن (Baigang et al., 2004) درسوا تأثير الأس الهيدروجيني (pH) للمطر في سلوك التآكل و الإزالة للفولاذ الكربوني (A3) عن طريق استخدام المحاكاة للمطر (Simulated rain) والفحص بتقنيتي (SEM) و (EIS). وقد وجد أن معدل التآكل للفولاذ (A3) يزداد وعملية الإزالة بسبب تأثير المطر على سطح الفولاذ (A3) تتكثف مع انخفاض قيمة (pH) لماء المطر الاصطناعي.

وفي العام ذاته قام (Oguzi et al., 2004) باستخدام طريقة الجاذبية (Gravimetric method) لدراسة الخواص التثبيطية للصبغ اللازوردي (indigo dye) خلال تآكل الفولاذ الطري (mild steel) في محاليل حامض الكبريتيك الموهوة (Aerated sulphuric acid solutions) عند درجة حرارة (30-50 °C). كما اختبر تأثير إضافة أملاح الهاليد كلوريد البوتاسيوم (KCl) و بروميد البوتاسيوم (KBr) و يوديد البوتاسيوم (KI). وجد أن معدل التآكل ارتفع في كل الأنظمة المدروسة مع ارتفاع درجة الحرارة. كما إن كفاءة التثبيط ازدادت مع زيادة تركيز الصباغ اللازوردي وكذلك تعمل إضافة أملاح الهاليد بالتعاون في زيادة كفاءة التثبيط. إن دراسة درجة الحرارة كشفت زيادة في كفاءة التثبيط في درجات الحرارة الأعلى، والذي يوحي بالية امتصاص كيميائية (Chemisorption mechanism).

من جانب آخر (Ayşe et al., 2006) درسوا تأثير المثبطات المفردة والمزدوجة والثلاثية المكونة من خلط الكرومات و الموليبيدات و النترات ورباعي البورات و الاورتوفوسفات والبنزوات والخلات وحامض الاسكوربيك على تآكل الفولاذ الكربوني وأجريت في محلول مائي متعادل يحتوي (100 ppm Cl⁻) في درجة حرارة الغرفة ورسمت منحنيات التيار-الجهد باستخدام طريقة الجهد أسكوني (Potentiostatic) وحسبت معدلات التآكل بطريقة استكمال تافل، كما درس تأثير درجة الحرارة بدرجات (30, 40, 50 °C) والأس الهيدروجيني (pH) (5, 7, 9). وقد وجد أن تأثير المثبط يساوي (95%) في المحاليل التي تحوي (50 ppm) من النترات كما وجد أن الأنظمة المزدوجة والثلاثية هي الأكثر تأثيراً.

و باستخدام طريقة الجاذبية (Gravimetric) قام (Ehteram, 2007) بدراسة تأثير درجة الحرارة على تآكل الفولاذ الطري (mild steel) في محلول (2M HCl) و(2M H₂SO₄) في وجود وغياب الخلاصة المائية لأوراق نبات (Fenugreek) الذي يرمز له بـ (AEFL). كشفت النتائج بالنسبة لمحلول (2M HCl) أن كفاءة التثبيط تزداد مع زيادة تركيز المثبط لكن زيادة أو انخفاض في كفاءة المثبط اعتماداً على تركيزه يقوم مع زيادة درجة الحرارة. من جانب آخر فإن كفاءة التثبيط في محلول (2M H₂SO₄) تزداد مع زيادة كل من تركيز المثبط ودرجة حرارة المحلول.

أما (Yonova and Fachikova , 2007) فقد درسا تأثير ايونات الألمنيوم (Al³⁺) المضافة إلى المياه الاعتيادية على السلوك التآكلي للفولاذ الكربوني والفولاذ المكلفن المستخدم في أجزاء معدات التدفئة .و جرى قياس معدل التآكل والجهد للفولاذ المكلفن في ماء ذو محتوى ملحي كلي بحدود (0.2g/l) ووجود ايون (Al³⁺) بمقدار (0.6 mg/l) ,على الرغم من أن الأخير هو مثبط جيد نسبياً لتآكل الحديد في نفس الوسط. إلا أنه لم يؤثر بصورة واضحة في تآكل الفولاذ المكلفن. كما اثبت أنه بوجود ايونات (Al³⁺) يتبقى تأثير طلاء الخارصين الواقي حتى درجة حرارة بحدود (70°C) .

أما البحث الحالي فيهدف إلى دراسة تأثير الملح المزدوج (KAl(SO₄)₂.12H₂O) على سلوك التآكل للفولاذ واطئ الكربون في الماء الاعتيادي والمحلول الحامضي (HCl % 3vol. في درجات حرارة مختلفة باستخدام طريقة الغمر البسيط.

الجزء العملي

تمت هذه الدراسة باستخدام سبيكة فولاذ واطئ الكربون موضح تركيبها الكيميائي بالجدول (1) حيث تم إجراء التحليل في مختبرات شركة ابن سينا العامة وباستخدام تقنية (Atomic Absorption). وقطعت إلى عينات بشكل أقراص ذات أبعاد معينة في الجدول (2). وقد أجريت عملية تهيئة العينات لغرض إجراء اختبارات التآكل ، وبدأت بعملية التنعيم باستخدام ورق تنعيم من أوكسيد الألمنيوم ،ثم صقلت باستخدام جهاز الصقل الميكانيكي نوع (HERGON) , واستخدم في العملية مستحلب الألومينا (مسحوق الألومينا والماء) , كما غسلت وجففت العينات بالهواء الساخن بين كل عملية تنعيم أو صقل وأخرى.

اختبارات التآكل:

من أجل دراسة السلوك التآكلي للسبيكة جرت اختبارات التآكل باستخدام طريقة الغمر البسيط , وتتلخص هذه الطريقة بغمر عينة موزونة وذات مساحة سطحية معلومة من السبيكة في الوسط التآكلي لفترة معلومة من الزمن ثم وزنها بعد مضي هذه الفترة وذلك بعد رفعها من الوسط التآكلي وغسلها جيداً بالماء المقطر والكحول بقصد تجفيفها, يحسب الفرق في وزن المعدن قبل وبعد غمره في الوسط التآكلي ممثلاً الكمية الذائبة نتيجة لعملية التآكل حيث تم إجراء هذا الاختبار في درجة حرارة الغرفة ودرجات حرارة (40,50°C) واستخدم حمام مائي وضعت فيه دوائر الاختبار للحصول على هذه الدرجات الحرارية, وتضمنت أوساط التآكل المحلول المائي (KAl(SO₄)₂.12H₂O solution) و الحامضي ((KAl(SO₄)₂.12H₂O) + (3vol% HCl)) , من أجل المقارنة بين حالات التآكل المختلفة للفولاذ , بعد ذلك تم حساب المساحة السطحية للعينات قبل الاختبارات , كذلك تم قياس وزن العينات قبل إجراء اختبارات التآكل في الأوساط المختلفة بالاستعانة بميزان حساس (Sartorius) ألماني الصنع وبدقة (±0.0001) . ثم جرت اختبارات التآكل حيث غمرت العينات في المحاليل لفترات زمنية محددة , واستخرجت وغسلت بالماء المقطر وجففت باستخدام المجفف الكهربائي , ووزنت

العينات بعد عملية الغمر في المحاليل , و حسب التغير بالوزن لوحدة المساحة وقد أخذت عدة قراءات ثم رسمت العلاقة بين التغير في الوزن لوحدة المساحة وزمن التعرض للمحلول .

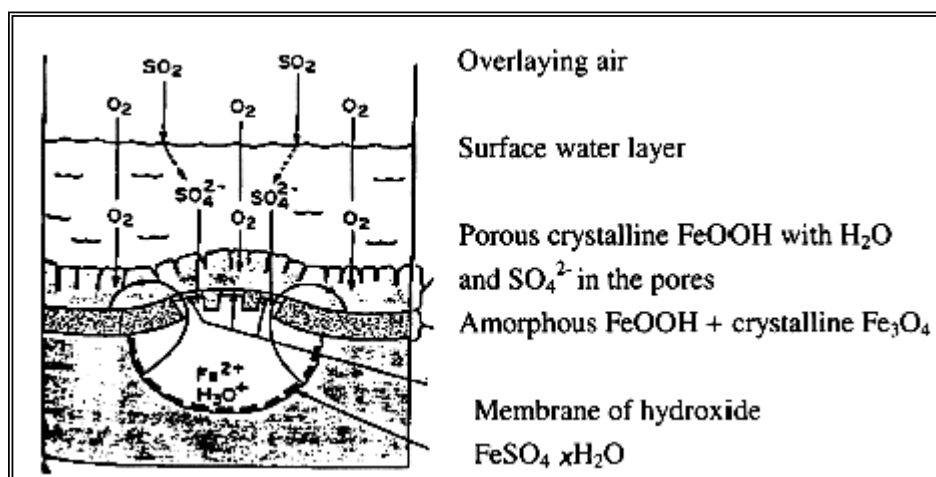
اختبار الفحص المجهرى

اجري اختبار الفحص المجهرى لدراسة طبوغرافية سطح العينات المغمورة في المحاليل المستخدمة ذات نسبة () (3 vol% HCl) + ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) (0.5 wt.%) في درجات حرارة (RT, 40°C, 50°C), وباستخدام المجهر الضوئي نوع (Union ME-3154) المجهز بكاميرا رقمية مرتبطة بالكمبيوتر أمكن من خلالها التقاط صور للسطح بقوة تكبير (600X) , بعد مشاهدتها على شاشة العرض الخاصة بالكمبيوتر .

النتائج والمناقشة

الشكل (2) يوضح العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة والزمن لعينات من الفولاذ واطى الكربون مغمورة في المحلول المائي $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ بنسب (0wt%, 0.25wt%, 0.5wt%, 0.75wt%) حيث يلاحظ أن معدل التآكل يكون متذبذب بصورة عامة ويكون عالياً في البداية لجميع الحالات ثم ما يلبث أن ينخفض بصورة متفاوتة لكل نسبة من النسب , و السبب هو كون الفولاذ في الحالة الابتدائية نظيف ومعرض مباشرة للوسط التآكلي لذا يكون التآكل أكبر حالاته وبمرور الزمن تترسب نواتج التآكل على السطح متسببة في انخفاض معدل التآكل , ولأن طبقات الصدأ المتكونة على سطح الحديد و الفولاذ الكربوني تكون مسامية وسيئة الالتصاق لذلك فان عملية تنظيف العينات تعمل على إزالة جزء من هذه الطبقات من سطح المعدن . كما أن التشققات في طبقات الصدأ شائعة وتتركز في المناطق الخارجية من الصدأ (Baigang et al., 2004) لذا فان عملية الإزالة تعمل على زيادة معدل التآكل من جديد وان كان بصورة قليلة , ويكرر هذه العملية يحصل التذبذب في معدل التآكلي.

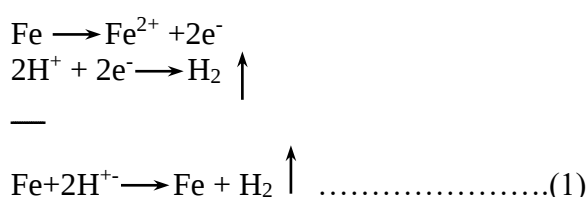
يكون ($FeOOH$) في طبقات الصدأ الطبيعية على سطح الحديد والفولاذ الكربوني بأشكال بلورية متعددة , حيث يكون الصنف السائد المستقر عامةً على شكل طبقات صدأ مكونة من منطقة داخلية كثيفة و ($FeOOH$) غير متبلور وبعض (Fe_2O_3) البلوري و بالاتجاه نحو الخارج يتواجد تجمع بلوري من (α - $FeOOH$, γ - $FeOOH$, γ - Fe_2O_3) . والشكل (1) يوضح خلية التآكل للصدأ المتكون على سطح الحديد والفولاذ الكربوني بوجود ايون الكبريتات. (Baigang et al., 2004)



الشكل (1) مخطط يوضح تداخل الكبريتات (Sulfate nest) وخلية التآكل (Baigang *et al.*, 2004)

أما الشكل (3) فيوضح العلاقة بين نسبة الملح المزدوج ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) في المحلول والفقدان في الوزن لوحدة المساحة عند زمن غمر مقداره (240 hrs.)، يلاحظ الزيادة الكبيرة في الوزن المفقود بمجرد إضافة نسبة (0.25 wt. %) من الملح المزدوج واستمرار الزيادة بصورة كبيرة بمضاعفة النسبة إلى (0.5 wt. %) لكن الزيادة في الفقدان تكون طفيفة بزيادة النسبة إلى (0.75 wt. %) هذا السلوك مرده إلى وجود ايون الكبريتات (SO_4^{2-}) في المحلول حيث إن زيادة تركيز الايونات المتنوعة في المحلول المائي سيعمل على اختزال الاوكسي هيدروكسيد ($FeOOH$) إلى ايون الحديد الثنائي ($Fe(II)$) القابل للذوبان في المحلول، مما يساعد على استمرار عملية التآكل، كما إن الكبريتات من الممكن أن تجعل الفولاذ الكربوني يكون تجمعات أو تداخلات الكبريتات (Sulfate nest) وكما موضح بالشكل (1)، وبذا يكون التآكل موضعياً مسبباً تأثيراً اقل في الوزن لكن زيادة في حجم التقرات (Baigang *et al.*, 2004)

أما العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة للفولاذ واطى الكربون وزمن التعرض للوسط الحامضي (HCl 3 vol. % مضاف إليه نسب مختلفة من $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) (0.0%, 0.25%, 0.4%, 0.5%, 0.6%, 0.75%) في درجة حرارة الغرفة فمبينة بالشكل (4)، حيث يلاحظ أن معدل التآكل يكون عالياً نسبياً في بداية الاختبار لمعظم النسب للسبب المذكور سابقاً، لا يلبث أن ينخفض ليستمر المنحني في علاقة شبه خطية يكون معدل التآكل فيها ثابت تقريباً. إن عدم وجود التذبذب في المنحنيات بعكس الحالة السابقة وخصوصاً في النسب الواطئة (0.0, 0.25 wt. %) يمكن أن يعزى إلى وجود ايونات الهيدروجين (H^+) التي تستهلك الالكترونات وتعمل على تعجيل التفاعل من خلال تحولها إلى ذرات تتحد فيما بينها وتتحول إلى فقاعات غازية تخرج خارج المحلول، وحسب المعادلة التالية :



وبما إن حامض الهيدروكلوريك (HCl) يعمل على تخفيض الرقم الهيدروجيني، حيث تتغير نواتج التآكل مع تغير الرقم الهيدروجيني (pH) للمحلول، فإذا كان الرقم اقل من (4) فإن الأوكسي هيدروكسيد (FeOOH) ربما يختزل إلى أيون الحديد الثنائي (Fe(II)) القابل للذوبان في المحلول اعتماداً على مخطط (الجهد - الرقم الهيدروجيني) (Potential-pH diagram) (Baigang *et al.*, 2004) هذا كله يعمل على تقليل تراكم نواتج التآكل على سطح العينات مما يؤدي إلى استمرار التآكل. أما انخفاض معدل التآكل فسببه وجود أيونات الألمنيوم (Al^{3+}) في المحلول والتي تعمل عمل المثبط (Yonova and Fachikova, 2007) إضافة إلى عمل أيونات الهاليد (K^+) على زيادة كفاءة التثبيط (Oguzi *et al.*, 2004) وهذا ما يتضح في الشكل (5) حيث يلاحظ أنه بزيادة نسبة ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) ينخفض مقدار الفقدان في الوزن بثبات باقي الظروف (الغمر في الوسط التآكلي لمدة (7hrs.) وهذا الانخفاض يستمر حتى الوصول إلى نسبة بحدود (0.5-0.6wt. %) و السبب وجود أيونات (Al^{3+}) كما ورد أعلاه. إلا أن المحلول يحتوي أيضاً أيونات الكبريتات (SO_4^{2-}) التي يزداد تركيزها مع زيادة تركيز الملح المزوج لذا فإنها تعمل على زيادة مستويات التآكل وهذا واضح في النسبة (0.75wt. %) رغم عدم الوصول إلى مستوى الفقدان في المحلول الحامضي غير الحاوي على الملح المزوج. وعند المقارنة نجد أن إضافة (0.5wt %) من الملح المزوج إلى المحلول الحامضي قد ساهم في تقليل الوزن المفقود بنسبة (30%) عن الوزن المفقود في الماء الاعتيادي غير الحاوي على الملح المزوج وتقليل الوزن المفقود بنسبة (71.2 %) عن الوزن المفقود في المحلول الحامضي غير الحاوي على الملح المزوج عند زمن غمر (7 hrs.) بدرجة حرارة الغرفة .

الشكلان (6) و (7) يبينان العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة للفولاذ واطئ الكربون وزمن التعرض للوسط الحامضي (3vol% HCl) مضاف إليه نسب مختلفة من ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) (0.0%, 0.25%, 0.4%, 0.5%, 0.6%, 0.75%) في درجات حرارة (40°C) و (50°C) على التوالي، ويلاحظ من خلالهما حصول زيادة في معدل التآكل لمعظم نسب الإضافة خلال الثلاث ساعات الأولى من الاختبار ثم الاستقرار في معدل التآكل تقريباً بعد الساعة الثالثة. وكذلك فإن مستويات التآكل ترتفع بصورة واضحة عنها في درجة حرارة الغرفة والسبب كما هو واضح ارتفاع درجة الحرارة التي تعمل على زيادة سرعة تفاعل التآكل لكون التآكل تفاعل كيميائي يتأثر بدرجة الحرارة. كما إن تأثير النسبة المضافة من ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) موضحة بالشكل (8) الذي يبين سلوكاً مشابهاً أيضاً للسلوك في درجة حرارة الغرفة من حيث انخفاض الفقدان في الوزن لوحدة المساحة بارتفاع النسبة المضافة من الملح المزوج حتى نسبة بحدود (0.4 wt %) ثم ارتفاع الوزن المفقود بزيادة النسبة المضافة ولكلا درجتي الحرارة (40°C, 50°C) لذات الأسباب المؤدية إلى هذا السلوك في درجة حرارة الغرفة. وعند المقارنة نجد أن إضافة (0.4 wt %) من الملح المزوج إلى المحلول الحامضي قد ساهم في تقليل الوزن المفقود لوحدة المساحة بنسب (25.3 %) و (31.25 %) في درجتي الحرارة (40°C) و (50°C) على التوالي عن الوزن المفقود في المحلول الحامضي (3vol.%HCl) غير الحاوي على الملح المزوج عند زمن غمر (7 hrs.) . ويلاحظ أيضاً الفرق الشاسع في مستويات الوزن المفقود في درجتي الحرارة (40°C) و (50°C) . هذا التأثير لدرجة الحرارة موضح أكثر في مخطط العلاقة بين مقلوب درجة الحرارة ($1/T$) و لوغاريتم معدل التآكل ($\log C.R.$) المبين بالشكل (9) حيث يلاحظ الارتفاع الحاد في معدلات التآكل بارتفاع درجة الحرارة وهذا ما تنص عليه معادلة أرينوس حيث أن معدل التآكل يزداد بزيادة درجة الحرارة. ويلاحظ احتفاظ نسب الإضافة (0.4wt%- 0.6 wt%) بأدنى مستويات معدل التآكل.

الشكل (10) يبين صور مجهرية لطبوغرافية سطح العينات بعد مرور (7 hrs) من الغمر في المحلول (($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) + (3vol. %HCl) بـ (0.5wt %) بقوة تكبير (600X). حيث تمثل (a) صورة للتآكل في درجة حرارة الغرفة (RT) و يلاحظ فيها آثار التآكل على شكل مناطق غامقة صغيرة. أما الشكلان (b) و (c) فتمثل آثار التآكل في درجات حرارة (40°C) و (50°C) على التوالي ويلاحظ هنا زيادة في حجم المناطق الغامقة مقارنة بالحالة السابقة دلالة على زيادة في تأثير السطح بالتآكل بزيادة درجة الحرارة.

الاستنتاجات

1- إضافة الملح المزدوج (($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ إلى الماء الاعتيادي يزيد معدل التآكل ولجميع نسب الإضافة.

2- إضافة الملح المزدوج (($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ إلى المحلول الحامضي (3vol% HCl) بنسبة (0.5 wt %) في درجة حرارة الغرفة يخفض الوزن المفقود لوحدة المساحة بنسبة (30 %) وتقليل الوزن المفقود لوحدة المساحة بنسبة (71.2 %) عن الوزن المفقود لوحدة المساحة في المحلول الحامضي غير الحاوي على الملح المزدوج عند زمن غمر مقداره (7 hrs). أما في درجتَي حرارة ((40°C و 50°C) فإن نسبة الإضافة (0.4 wt %) تخفض الوزن المفقود لوحدة المساحة بنسب (25.3 %) و (31.25 %) على التوالي , بثبات باقي الظروف .

المصادر

- Ayşe TOSUN, Mübeccel ERGUN, "Protection of Corrosion of Carbon Steel by Inhibitors in Chloride Containing Solutions", G. U. Journal of Science, 19(3):149-154(2006)
- On the web: [www.fbe.gazi.edu.tr/dergi/tr/dergi/tam/19\(3\)/2.pdf](http://www.fbe.gazi.edu.tr/dergi/tr/dergi/tam/19(3)/2.pdf)
- Baigang AN, Xueyuan ZHANG, Enhou HAN, and Honxi LI, "Corrosion and Runoff Behavior of Carbon Steel in Simulated Acid Rain", J. Mater. Sci. Technol., Vol.20 No.2, 220-222, 2004
- On the web: www.jmst.org/PCN/qikan/manage/wenzhang/2002241.pdf
- Yonova D. and Fachikova, L. "Influence of Aluminium ions on Corrosion of Galvanized Steel Used in Heating Systems", Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 42, 1, 2007, 73-76
- On the web: www.uctm.edu/journal/j2007-1/12-Fachikov-73-76.pdf
- Ehteram A. Noor, "Temperature Effects on the Corrosion Inhibition of Mild Steel in Acidic Solutions by Aqueous Extract of Fenugreek Leaves", Int. J. Electrochem. Sci., 2 (2007) 996 – 1017
- On the web: www.electrochemsci.org/papers/vol2/2120996
- Oguzi E. E., Unaegbu C, C. N. Ogukwe, B. N. Okolue and A. I. Onuchukwu, "Inhibition of mild steel corrosion in sulphuric acid using indigo dye and synergistic halide additives", Materials Chemistry and Physics, 84, 363-368, 2004.
- On the web: www.sciencedirect.com/science?ob=ArticleURL&udi=B6TX4-4BHVHRP-5&user=10&rdoc=1&fmt=&orig=search&sort=d&view=c&acct=C000050221&version=1&urlVersion=0&userid=10&md5=70a440da5b8e56bda4fc2d3154bb4d66
- Trinh Anh T., Nadine P., To Thi Xuan H., Yves H. and Bernard B., "Study of the synergistic effect observed for the corrosion protection of a carbon steel by an association of phosphates", Corrosion Science, 44, 2055-2071, 2002.

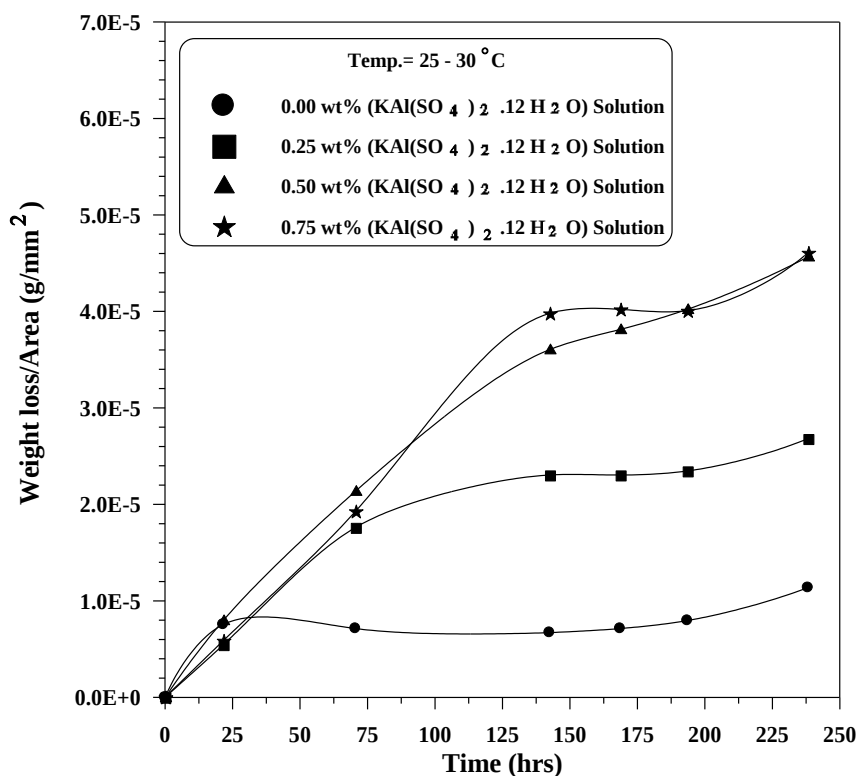
On the web: www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TWS-454T5SJ-2&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=0bb55653ae6b7130d58c995b62e00f3c
Yannik Garsany , Derek Petcher ,and Bill Hidges, “The Role of Acetate in CO₂ Corrosion of Carbon Steel:Studies Related to Oilfield Condition”,CORROSION2003 ,Paper No.03324,2003
On the web: www.nace.org/nacestore/assests/paperabstracts/2003/03324.pdf

الجدول (1) التركيب الكيميائي للسبيكة المستخدمة.

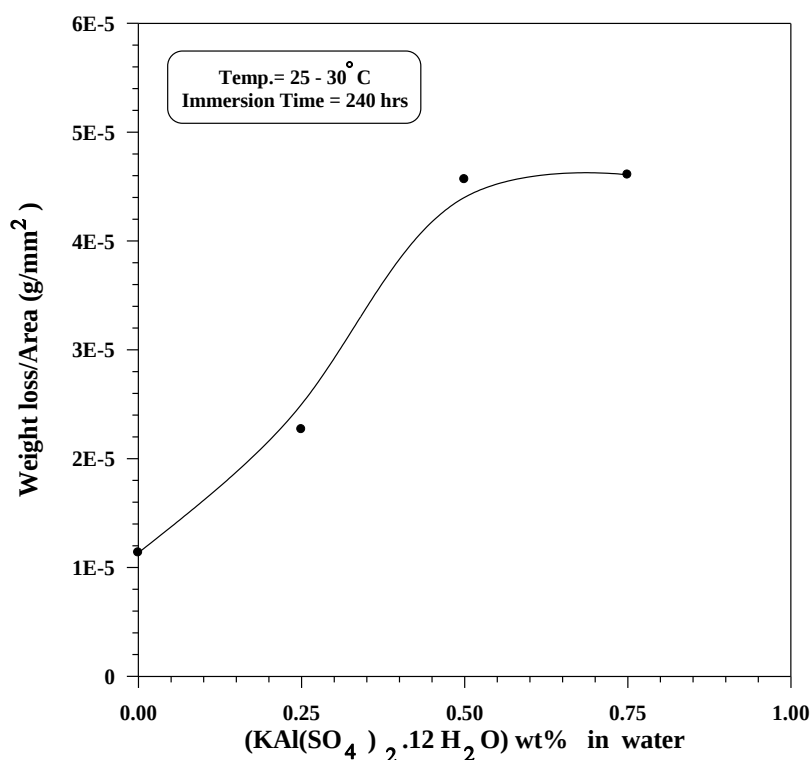
%Fe	%Cu	%Al	%Si	%Mn	%Cr	%C	التركيب السبيكة
Rem.	-	0.08	0.02	0.45	0.03	0.14	فولاذ (steel)

الجدول (2) أبعاد العينات المستخدمة وأوساط اختبارات التآكل .

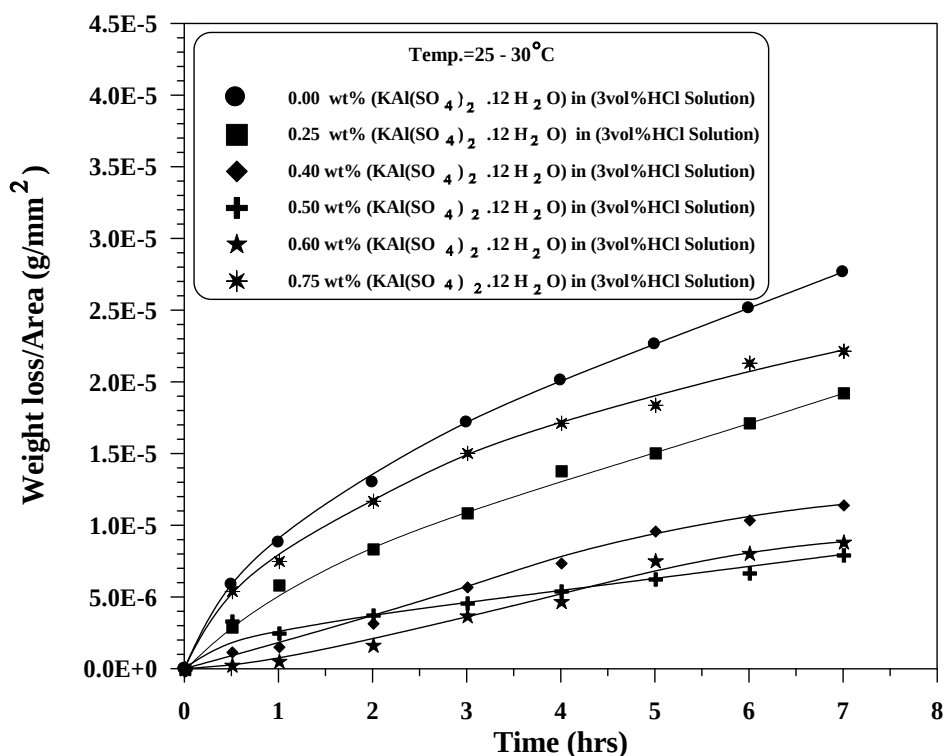
وسط الاختبار	درجة الحرارة Temp.(°C)	أبعاد العينات		
		قطر الثقب d(mm)	سمك العينة t(mm)	قطر العينة D(mm)
KAl(SO ₄) ₂ .12H ₂ O solution	R.T≅30	2	2	14
(KAl(SO ₄) ₂ .12H ₂ O +3vol.%HCl) solution	R.T≅30	2	2	14
(KAl(SO ₄) ₂ .12H ₂ O +3vol.%HCl) solution	40	2	2	14
(KAl(SO ₄) ₂ .12H ₂ O +3vol.%HCl) solution	50	2	2	14



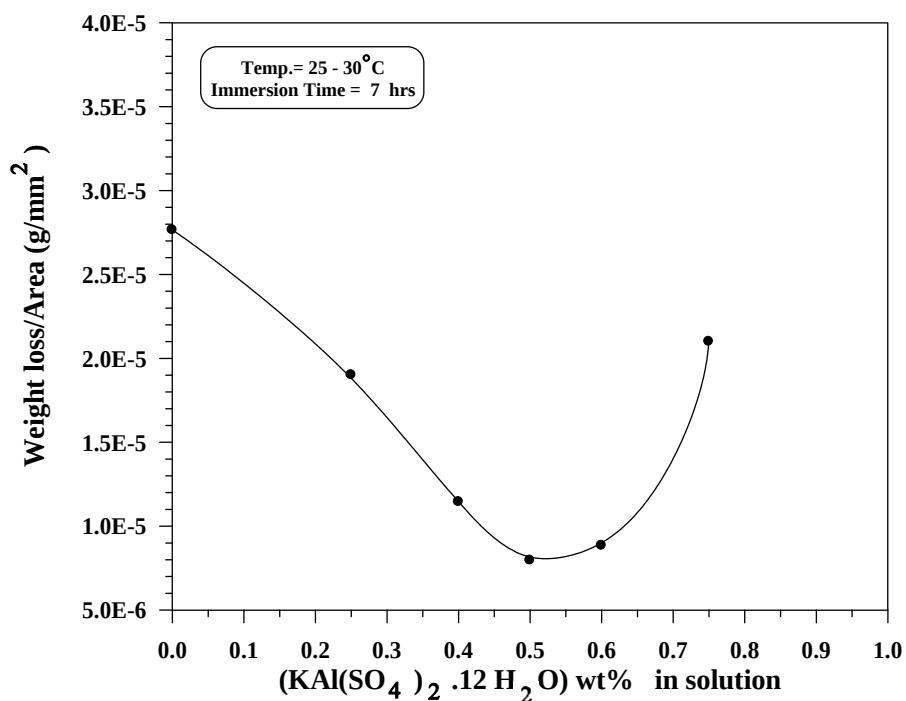
الشكل (2) العلاقة بين الزمن والوزن المفقود لوحدة المساحة لعينات من الفولاذ الكربوني مغمورة في محلول $(KAl(SO_4)_2.12H_2O)$ بنسب مختلفة



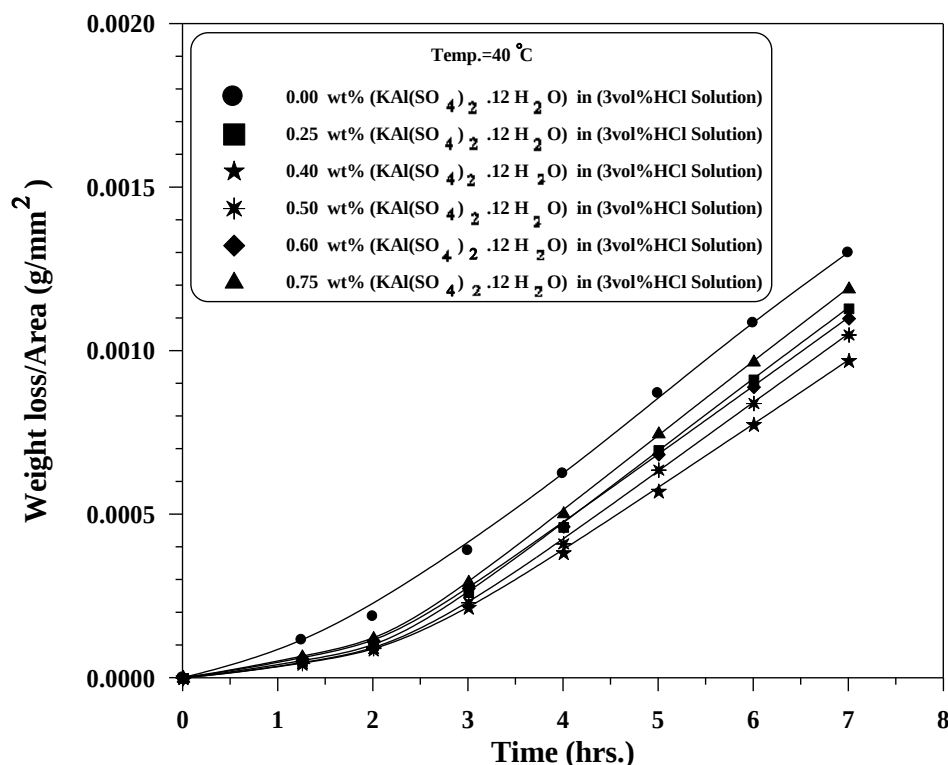
الشكل (3) العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة لعينات من الفولاذ الكربوني ونسبة $(KAl(SO_4)_2.12H_2O)$ في المحلول



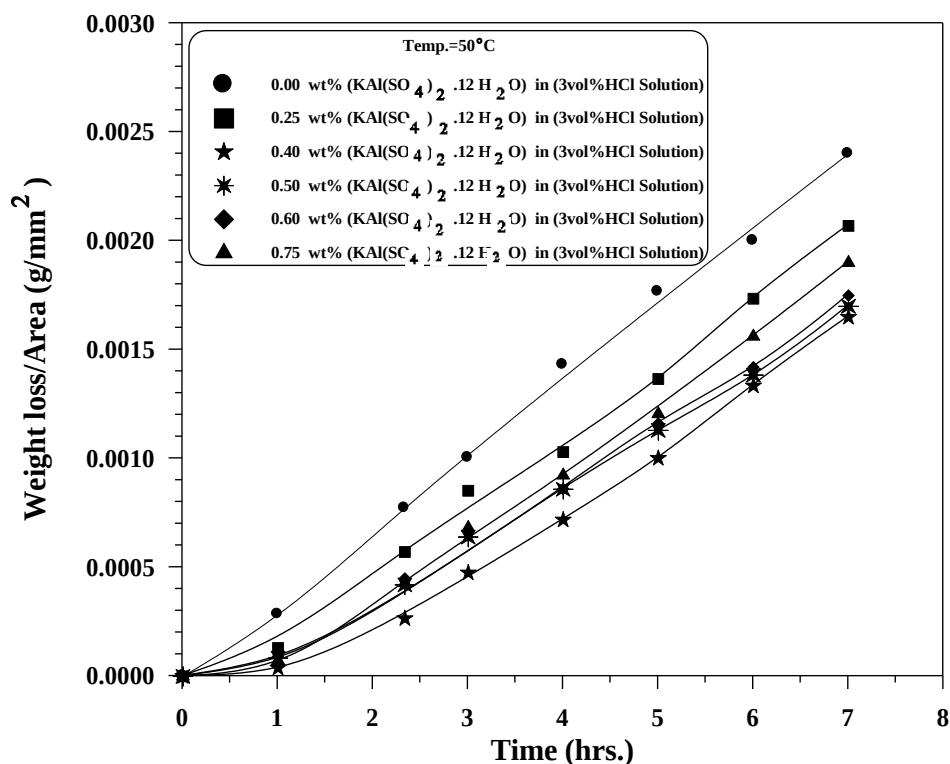
الشكل (4) العلاقة بين الزمن والوزن المفقود لوحدة المساحة لعينات من الفولاذ الكربوني مغمورة في محلول (3vol% HCl) مضاف إليه $(KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O)$ بنسب مختلفة في درجة حرارة الغرفة



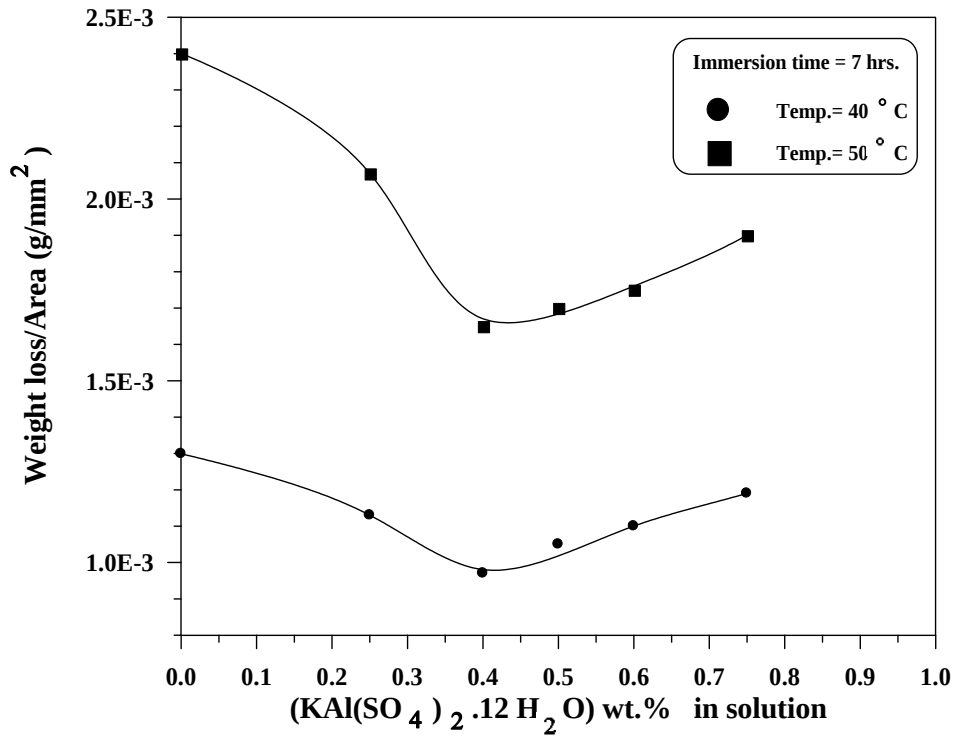
الشكل (5) العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة لعينات من الفولاذ الكربوني ونسبة $(KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O)$ في محلول (3vol% HCl) في درجة حرارة الغرفة



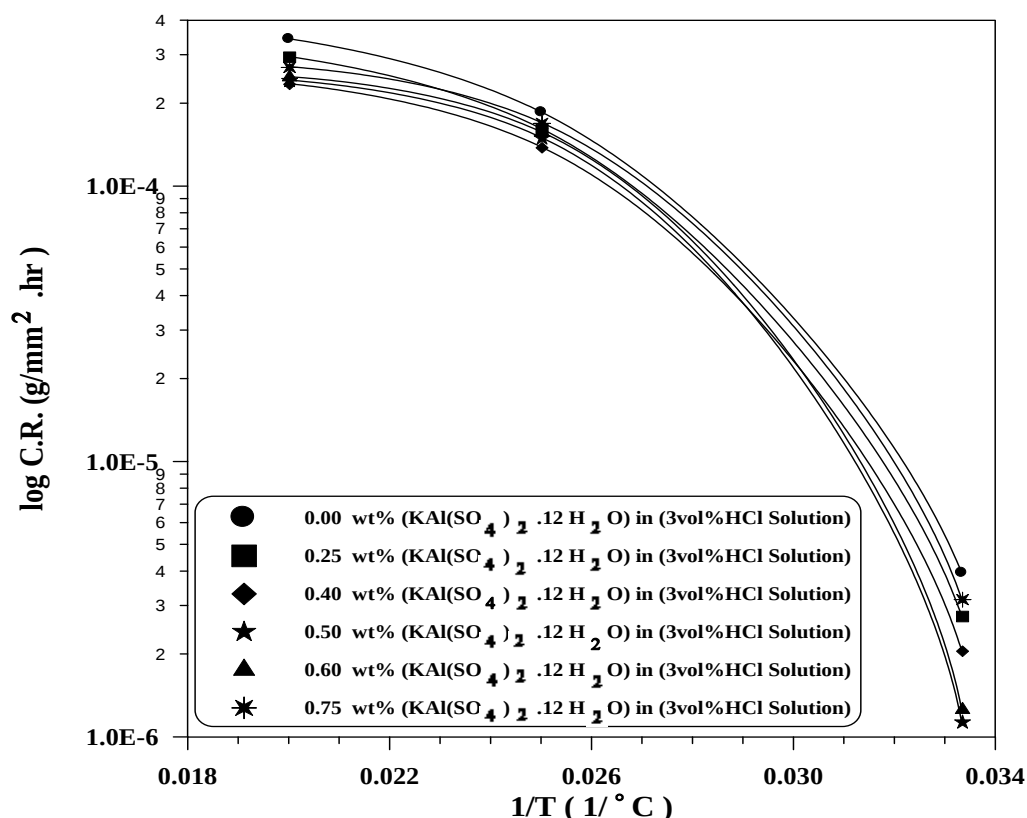
الشكل (6) العلاقة بين الزمن والوزن المفقود لوحدة المساحة لعينات من الفولاذ الكربوني مغمورة في محلول (3vol% HCl) مضاف إليه (KAl(SO₄)₂.12H₂O) بنسب مختلفة في درجة حرارة (40°)



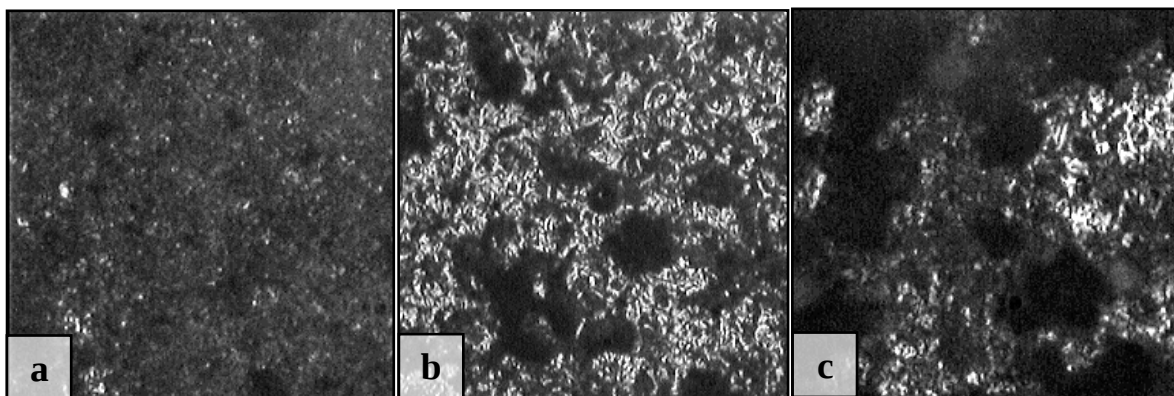
الشكل (7) العلاقة بين الزمن والوزن المفقود لوحدة المساحة لعينات من الفولاذ الكربوني مغمورة في محلول (3vol% HCl) مضاف إليه (KAl(SO₄)₂.12H₂O) بنسب مختلفة في درجة حرارة (50°C)



الشكل (8) العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة لعينات من الفولاذ الكربوني ونسبة (KAl(SO₄)₂·12H₂O) في محلول (3vol% HCl) في درجات حرارة (40,50°C)



الشكل (9) العلاقة بين لوغاريتم معدل التآكل ($\log C.R.$) ومقلوب درجات الحرارة ($1/T$) لعينات من الفولاذ الكربوني مغمورة في محلول (3vol% HCl) مضاف إليه $(KAl(SO_4)_2.12H_2O)$ بنسب مختلفة



الشكل (10) طوبوغرافية سطح عينات معرّضة إلى ظروف مختلفة (قوة التكبير (600X))

- (a) وسط تآكلي $(0.5 \text{ wt.\% } KAl(SO_4)_2.12H_2O + 3\text{vol\% HCl})$ عند زمن غمر (7 hrs.) بدرجة حرارة الغرفة
 (b) وسط تآكلي $(0.5 \text{ wt.\% } KAl(SO_4)_2.12H_2O + 3\text{vol\% HCl})$ عند زمن غمر (7 hrs.) بدرجة حرارة 40°C
 (c) وسط تآكلي $(0.5 \text{ wt.\% } KAl(SO_4)_2.12H_2O + 3\text{vol\% HCl})$ عند زمن غمر (7 hrs.) بدرجة حرارة 50°C