

دراسة تأثير نسبة الكربون على معدل التآكل في الصلب الكربوني

هيثم محمد وعادل العبيدي* طارق خالد عبد الرزاق*

تاريخ الاستلام: 2009/6/21

تاريخ القبول: 2009/10/1

الخلاصة

بعد الصلب الكربوني من المواد المعدنية الواسعة الاستخدام في التطبيقات الهندسية والصناعية وذلك لإمكانية الحصول على الخواص الميكانيكية المطلوبة وخاصة بعد تغير نسبة الكربون ، غير إن ذلك قد يؤدي إلى تحفيز التآكل من خلال نشوء خلايا التآكل الكلفاني بين الأطوار المجهرية . فقد تم دراسة تأثير نسبة الكربون على مقاومة التآكل في الصلب الكربوني ، إذ تم استخدام نماذج من الصلب ذات نسب كربون مختلفة ومنها $0.05\%C$, $0.2\%C$, $0.35\%C$, $0.5\%C$, $0.65\%C$. تمت اختبارات التآكل على هذه النماذج في ثلاث فترات تعرض للتآكل شملت 4 أسابيع، 6 أسابيع، و 8 أسابيع وفي أوساط التآكل الأكثر شيوعاً والتي شملت المحيط الجوي، ماء الشرب، والماء المالح. أجري هذا البحث لغرض إيجاد تأثير نسبة الكربون في الصلب الكربوني على مقاومة التآكل في أوساط تآكل مختلفة وباستخدام طريقة الفقدان في الوزن كدالة لمقاومة التآكل . ومن النتائج التي تم الحصول عليها من خلال هذا البحث تبين إن لنسبة الكربون دور مؤثر على مقاومة التآكل للصلب الكربوني من خلال دراسة معدلات التآكل لهذا الصلب ، إذ وجد إن مقاومة التآكل في الصلب الكربوني تقل بزيادة نسبة الكربون فيه.

الكلمات الدالة: نسبة الكربون في الصلب ، معدل التآكل ، أوساط تآكل مختلفة .

Study of The Effect of Carbon Contents on The Corrosion Rate of Carbon Steels

Abstract

The Plain-Carbon steel are considered as one of the most common metallic materials used in engineering and industrial applications due to its ability in altering the micro-structures and mechanical properties as the result of carbon content. These alterations have direct effect on the corrosion rate of steel by building up galvanic corrosion cells between its microscopic phases. The effect of carbon content on the corrosion resistance of Hypo-eutectoid plain carbon steels having different carbon contents such as $0.05\%C$, $0.2\%C$, $0.35\%C$, $0.5\%C$, and $0.65\%C$ have been studied using three testing durations which are 4 weeks, 6 weeks, and 8 weeks and different corrosion environments such as atmosphere, fresh water, and salt water. The aim of the present work is to obtain the effect of carbon content on the corrosion resistance of steels in different corrosion medium by using the weight loss technique as a function of the corrosion resistance. The results, which have been obtained during this work show that a correlation can be made between corrosion rates and steels carbon content, and the corrosion resistance decreases with the increase in carbon content.

المقدمة:

المعدن إلى صورته الأصلية الحرة الثابتة التي كان عليها في الطبيعة قبل استخلاصه " أو " هو فشل المعدن بأي سبب غير السبب الميكانيكي البحث " . ويعتبر التآكل احد

يعرف التآكل (Corrosion) بأنه " تلف المعدن نتيجة تفاعله كيميائياً أو كهروكيميائياً مع الوسط المحيط به " أو " هو عملية تلقائية طبيعية يتم فيها إعادة

وحُدودها (Grain Boundary)، فالفرايت (كاثود) وحُدود الخلايا (أنود) . وبذلك يصبح سهل للمساحات المكشوفة من الصلب أن تتآكل إذا توفرت الرطوبة والأوكسجين اللازمين لذلك، وتتطور هذه المساحات السطحية لتكون أكبر عند استمرار التفاعل الكهروكيميائي بين الصلب المتآكل والوسط المسبب للتآكل وهذا يعطي فرصة لانتشار التآكل بشكل أكبر [4] [5]. ومن أجل توضيح البحوث والإعمال السابقة تم تقسيمها إلى:

1 تأثير نسبة الكربون على مقاومة التآكل: أكد الباحث (Wadullah2006) [5] من خلال دراسته بأن الصلب متوسط الكربون (steel CK45) يتميز بمقاومة للتآكل أعلى من الصلب عالي الكربون (steel CK60) في أوساط التآكل المستخدمة في ذلك البحث، وفي فترات تعرض للتآكل مختلفة تمثلت بشهر وشهرين متتاليين . كما قام الباحثان (Rakanta و Batis2005) [6] بدراسة تأثير نسبة الكربون على مقاومة التآكل في المحيط الجوي مستخدمين أربعة نماذج للاختبار نوعين منها من الصلب الكربوني بنسبة كربون (C % 0.08) و (C % 0.3)، حيث وجد الباحثان أن لنوع الصلب المستخدم تأثيراً على مقاومة التآكل وعللوا سبب ارتفاع مقاومة التآكل للصلب (C % 0.08) بانخفاض مساحة خلايا التآكل الكلفاني ألمجهري المتمثلة بالبرلايت . وأجرى الباحثون (Shankar و Baligheid و Raja2002) [7] دراسة لتأثير نسبة الكربون على معدل التآكل من خلال المقارنة بين صلب بنسبة كربون (C % 0.05) و (C % 0.14) و (C % 0.5) في محلول حامض الكبريتيك بتركيز (5%) كوسط للتآكل ، فتبين أن معدل التآكل يزداد بزيادة نسبة الكربون إذ تزداد مساحة خلايا التآكل الكلفاني ألمجهري المتمثلة بالبرلايت . كما أكد الباحثان (Tomlinson و Giles 1983) [8] من خلال دراستهم لصلب بنسبة كربون C 0.79% عرض للتآكل في حامض الهيدروكلوريك المخفف ، بأن سبب ارتفاع

المشاكل الصناعية المستعصية، والخسائر المادية التي تنتج عنه باهظة وكبيرة وذلك بسبب العوامل المتغيرة العديدة التي تتعلق به، لذا فإن دراسة التآكل ومسبباته والحد منه تعتبر أساسية [1] [2] . يعد التآكل المعدني من المشاكل الخطيرة التي تواجه التقدم الصناعي ولهذا فقد سمي التآكل بسرطان الصناعة، فقد يحدث التلف مثلاً في السيارات والأبواب والشبابيك والأجهزة والمكائن وفي أنابيب نقل النفط أو الغاز أو أنابيب الماء، كما يرى بكثرة في خزانات الماء والوقود السائل، كما يوجد خطر التآكل في السفن والطائرات. وهناك جانبين للتآكل، الأول سلبي وهو تلف المعادن فضلاً عن الكلف الاقتصادية الهائلة والتي تشمل كلف الاستبدال وكلف التوقف عن الإنتاج، أما الجانب الثاني وهو الايجابي فيشمل طرق التشغيل الكهروكيميائي للمعادن عالية الصلابة وكذلك في عملية الإظهار للبنية المجهرية وكذلك آلية عمل البطاريات وآلية عمل الطلاء الكهربائي للمعادن وحماية معدن بأخر مضحى به [3]. أن الصلب الكربوني أكثر عرضة للتآكل من أي معدن آخر وذلك بسبب كثرة تطبيقاته واستخداماته الصناعية مما يجعله عرضة للأوساط المختلفة، هذا وإن التآكل في الصلب الكربوني يعود إلى سببين الأول هو نشوء خلايا التآكل بين الأطوار المجهرية (Phases) الناتجة عن اختلاف نسبة الكربون في الصلب الكربوني، إذ أن البنية المجهرية التي تحتوي على طورين مختلفين مثل الفرايت (Ferrite) والسمنتايت (Cementite) تكون أكثر عرضة للتآكل من البنية المجهرية ذات الطور الأحادي (Single Phase) وذلك لاحتمال نشوء خلايا التآكل الموقعي بسبب اختلاف فرق الجهد المتوقع بين الطورين المجهريين، حيث تتكون خلية التآكل الكلفاني ألمجهري من قطبين يمثل الفرايت فيها الكاثود (Cathode) ويمثل والسمنتايت الأنود (Anode) وإن فرق الجهد بينهما يمكن أن يكون خلية كلفانية. أي إن البرلايت (Pearlite) يعتبر خلية تآكل كلفاني بحد ذاته . والثاني هو نشوء خلايا التآكل الكلفاني بين الخلايا المجهرية (Grains)

(5) وسبب ذلك هو وجود طبقات التآكل التي تميل إلى تخفيض معدل التآكل حيث تشكل أغشية وقائية تقلل من تفاعل السطح المعدني مع الوسط المسبب للتآكل .

الجزء العملي:

يتناول الجزء العملي المحاور التالية:

(1) المواد والأجهزة المستخدمة في عمليات اختبار التآكل وهي:

1. تم استخدام خمسة أنواع من الصلب الكربوني في هذه الدراسة والموضح تركيبها المجهرية في الجدول (1) ، وهي (C 0.05 % ، C 0.2 % ، C % ، C 0.35 % ، و C 0.65 %).

2. قوالب لترقيم العينات.

3. فرن كهربائي (Electric Muffle furnace).

4. حوضين زجاجيين قياس (60*30*25)cm.

5. حامض الهيدروكلوريك (HCl) المخفف (تركيزه 10%) لغرض تنظيف النماذج من الصدأ وآثار التآكل.

6. ميزان كهربائي حساس بدقة (10⁻⁴).

7. كاميرا لتصوير العينات المجهرية.

(2) تحضير نماذج الصلب الكربوني لاختبارات التآكل : اختيرت خمسة أنواع من الصلب الكربوني بنسب كربون مختلفة وهي (C 0.05% ، C 0.2% ، C 0.35% ، C 0.5% ، C 0.65%) ، قطعت نماذج الصلب الكربوني (C 0.05% ، C 0.5% ، C 0.65%) بشكل مسطوح بالأبعاد (mm 30*21.4*5). بينما قطعت نماذج الصلب الكربوني (C 0.2% ، C 0.35%) بشكل دائري بنصف قطر (14.3 mm) وسمك (5 mm) ، حيث وضعت الأبعاد حسب طبيعة المادة الأولية المأخوذ منها النماذج مع مراعاة أن تكون المساحة مشتركة بين جميع النماذج وهي (3210 mm²). تم تحضير (9) نماذج من كل نوع لغرض اختبارات التآكل وواحدة أخرى لغرض الفحص المجهرية الموضح في الشكل (1).

وقد أعدت سطوح النماذج بعملية التجليخ والتنعيم (Grinding) لإزالة الخشونة السطحية والزوايا الحادة غير المرغوب فيها، كما تم ترقيم العينات

(2) معدل التآكل المقاس بوحدة (gm/cm²) في نتائجهم يعود لاستخدام نماذج من الصلب بنسبة الكربون عالية في اختبارات التآكل.

(3) تأثير الوسط المحيط على معدل التآكل: استنتج الباحث

(Wadullah2006) [5] بأن معدل التآكل يتغير بتغير وسط التآكل المستخدم إذ تبين له إن معدلات تآكل الصلب الكربوني في التربة هي الأعلى بينما كانت معدلات التآكل في المحيط الجوي هي الأدنى إذا ما قورنت بأوساط التآكل الأخرى. كما استنتج الباحثان (Minotas و Corvo 2005) [9] من خلال دراستهم سبب اختلاف معدلات التآكل في الصلب الكربوني في الأوساط الجوية، إذ أشارا إلى أن السبب هو اختلاف تركيز أيونات الكلوريد (Cl) والتي تسبب تعجيل معدلات التآكل وخاصة في المناطق المتعرضة للأمطار لفترات طويلة. ووصف كل من

(Chotimongkol و Nakkuntod1999) [10] و (Chikh2005 و Dermaj) [11] و (Yunping و Zhaohui) [12] العلاقة بين فترة التعرض للبيئة ومعدلات التآكل ، حيث بينت نتائجهم أن معدلات التآكل تزداد بزيادة زمن البلل (Time of wetness) والتلوث على سطح المعدن ولاحظ أعلى معدلات التآكل في المواقع البحرية وعل ذلك لزمن البلل المقاس والذي كان أعلى بكثير من المواقع الحضرية والصناعية، إذ يقرر زمن البلل مدة التفاعل الكهروكيميائي المحتمل في التآكل الجوي. ويعتمد زمن البلل على الرطوبة النسبية وترسيب الأملاح وأشعة الشمس و اتجاه الرياح حسب ISO9223 [13].

(4) تأثير عامل زمن التعرض للتآكل على معدل التآكل : درس كل من (Wadullah2006) [5] و

(Rosales و Vera 2002) [13] و (John1994) [14] و (Huang2000) [15] و (Wall2005 و Missert) [16] تأثير فترة الاختبار على معدل التآكل حيث وجدوا تناقص في معدلات التآكل بمرور الوقت

2. ماء الشرب (Fresh Water) :- أجريت اختبارات التآكل في حوض زجاجي حاوي على ماء الشرب، والموضح تحليله في الجدول (4)، إذ عُلقت وغمره النماذج بشكل كامل في الحوض خلال فترات الاختبار التي تمت بدرجة حرارة الغرفة .
4. الماء المالح (Salt Water) :- أجريت اختبارات التآكل في حوض زجاجي حاوي على ماء الشرب ومضاف له كلوريد المغنيسيوم (MgCl₂) بنسبة (3%) وقد أُذيب الملح بالكامل في الماء ثم عُلقت النماذج مغمورة بشكل كامل في الماء المالح طيلة فترات الاختبار وبدرجة حرارة الغرفة . وان تأثير 3% من كلوريد المغنيسيوم يعطي معدل تآكل أعلى من تأثير 12% لنفس الملح حسب اختبارات NACE [12] .
- الجدول (5) يوضح تحليل الماء المالح المستخدم في اختبار تآكل نماذج الصلب الكربوني.
- 6 فترات اختبار التآكل: أجريت اختبارات التآكل في ثلاث فترات زمنية وهي:-
 1. الفترة الأولى: وكانت لمدة (4) أسابيع أي (672) ساعة.
 2. الفترة الثانية: وكانت لمدة (6) أسابيع أي (1008) ساعة.
 3. الفترة الثالثة: وكانت لمدة (8) أسابيع أي (1344) ساعة.
- 7 طريقة حساب معدلات التآكل : بعد الانتهاء من اختبارات التآكل رفعت النماذج من أوساط التآكل وتم تنظيفها من طبقات الصدأ الناتجة من عملية التآكل بالمعالجة الميكانيكية أولاً باستخدام فرشاة ناعمة (فرشات أسنان) وماء ثم بالمعالجة الكيميائية باستخدام حامض الهيدروكلوريك المخفف ، وبعدها غسلت النماذج وجففت جيداً بعد التأكد من عدم وجود أي بقايا لأثار عملية التآكل . بعد ذلك مباشرة تم قياس الوزن النهائي للنماذج (Final Weight) ليتم حساب الفرق بينهما (Weight Loss)، وفيما يلي العلاقة التي استخدمت لحساب معدل التآكل (Corrosion Rate) [2,3,4,5,17] .

- بطريقة معينة لسهولة التعرف عليها. وتُقيمت النماذج بقطر (2 mm) لغرض تعليقها في أوساط التآكل بخيوط عازلة للكهرباء، وتنظيفها بحامض الهيدروكلوريك المخفف ثم غسلها بالماء ، وبعد ذلك جُففت جيداً لغرض قياس وزنها الأولي (Original Weight) بدقة باستخدام الميزان الكهربائي.
- 3 المعاملة الحرارية : أجريت لنماذج الصلب في هذه الدراسة معاملة حرارية وهي المعادلة (Normalising) وذلك لأجل إعادة الصلب إلى وضعه المتزن والمتمثل بظهور أطواره وهي الفريت (Ferrite) والبيرلايت (Pearlite) ولأجل تقدير نسب الكربون في النماذج المختارة من هذا الصلب ، وقد أجريت المعاملة الحرارية في فرن كهربائي ووضعت النماذج في صندوق صغير الحجم من الصلب ذو غطاء محكم الغلق ثم تم إحاطة غطاء الصندوق بالطين ، والغرض هو لأجل تجنب عملية الأكسدة أو الكربنة العكسية (Decarburising) للنماذج قدر المستطاع. الجدول (2) يبين تفاصيل عملية المعادلة الحرارية (Normalising) الخاصة بنماذج الصلب المستخدم في هذه الدراسة .
- 4 الفحص المجهرى : تم تحضير نماذج الصلب الكربوني المستخدم والمعادل حرارياً (Normalised) للفحص المجهرى بالتنعيم (Grinding) والصقل (Polishing) ثم عملية الإظهار (Etching) وذلك باستخدام محاليل الإظهار، وبعد أن وضعت النماذج تحت المجهر تم تصويرها وكما في الشكل (1).
- 5 اختبارات التآكل: أجريت اختبارات التآكل في أجواء فصل شتاء مدينة الموصل للعام 2008 باستخدام الأوساط الشائعة والتي تسبب تآكل وتلف للصلب الكربوني ومنها:-
1. المحيط الجوي (Atmosphere) :- أجريت اختبارات التآكل في أجواء فصل شتاء مدينة الموصل حيث وفرت الأمطار والرطوبة اللازمة لعملية التآكل في هذا الفصل ، لاحظ الجدول (3) ، إذ تركت النماذج معلقة في الهواء الطلق طول مدة الاختبار .

$$\text{mpy} = \frac{K \times W}{r \times A \times t}$$

حيث أن :-

(mpy): هي وحدة قياس معدل التآكل (mils per year).

(K): قيمة ثابتة وتساوي 3.45×10^6 ، ليكون الناتج بـ (mpy)

(W): مقدار فقدان في الوزن مقاس بالغرام (g).

(t): فترة الاختبار مقاسه بالساعات (hr).

(ρ): الكثافة مقاسه بـ (g / cm^3) .

(A): المساحة السطحية المعرضة لأوساط

التآكل مقاسه بـ (cm^2) .

النتائج والمناقشة:

إن الهدف الأساسي هو "دراسة تأثير نسبة الكربون على معدل التآكل في الصلب الكربوني" وتكمن دراسة هذا التأثير في ظروف مختلفة وهي تغير وسط التآكل و تغير زمن التعرض للتآكل، ولهذا ستعرض النتائج بثلاث محاور حسب تأثيرها وأهميتها في هذه الدراسة ولأجل تسهيل تحليلها ومناقشتها وصولاً إلى الاستنتاجات اللازمة ، وكما يلي:

(1) تأثير نسبة الكربون على مقاومة التآكل في الصلب : يمكن ملاحظة النتائج التي تم الحصول عليها بعد الانتهاء من الاختبارات موضحة في الأشكال (2 ، 3 ، 4 ، 5 ، 6 ، 7) وعند المقارنة بين الأنواع الخمسة للصلب الكربوني المستخدم يلاحظ إن معدلات التآكل تزداد بزيادة نسبة الكربون في الصلب المستخدم وفي جميع أوساط التآكل المستخدمة ولفترات الزمنية الثلاث، حيث ظهر أن معدل تآكل الصلب (0.05 % C) كان الأقل، في حين ظهر إن معدل تآكل الصلب (0.65 % C) كان الأعلى ، وتدرجت بينهما النسب الأخرى (0.2 % C ، 0.35 % C ، 0.5 % C) على الترتيب تصاعدياً أي بزيادة نسبة الكربون ازدادت معدلات التآكل .

السبب المحتمل في ارتفاع معدلات التآكل مع زيادة نسبة الكربون هو السبب السائد والقائل بان زيادة نسبة الكربون ترافقها زيادة في نسبة البرلايت (Pearlite) وبذلك يزداد عدد خلايا التآكل الكلفاني بين الأطوار المجهرية. حيث إن البرلايت ثنائي الطور أي انه مكون من الفرايت (Frrite) الذي يسلك سلوك الكاثود (Cathode) والسمنتايت (Cementite) الذي يسلك سلوك الأنود (Anode) فيمثل البرلايت بذلك خلية التآكل الكلفاني وذلك بسبب اختلاف فرق الجهد بين الفرايت (Cathode) والسمنتايت (Anode) عند وجودهما معا وعند توفر الألكتروليت [5]. من ذلك يتبين أنه بزيادة نسبة الكربون تزداد مساحة خلايا التآكل الكلفاني المتمثلة بخلايا البرلايت (Pearlite) ويزداد بذلك معدل التآكل.

(2) تأثير وسط التآكل على مقاومة تآكل الصلب : تشير جميع النتائج إلى وجود اختلاف في معدلات التآكل باختلاف وسط التآكل كما هو موضح في الأشكال (2 ، 3 ، 4) وهذا يدل على أن طبيعة الوسط الذي يسبب التآكل له دور أساسي في التأثير على معدل التآكل. إن النتائج التي تم الحصول عليها توضح أن معدلات تآكل الصلب المستخدم في المحيط الجوي كانت الأقل، أما في ماء الشرب فقد أعطت معدلات تآكل أعلى من المحيط الجوي، بينما كانت معدلات التآكل في الماء المالح هي الأعلى. وتفسير النتائج المذكورة أعلاه هو أن تركيز أيونات الكلوريد (Cl) في المحيط الجوي منخفضة وإن مصدر تلك الأيونات هو الأمطار [9][11]، أما في الماء المالح فإن التأثير الملحي الموجود فيه ناتج من وجود الملح المتمثل بـ كلوريد المغنيسيوم (MgCl₂) الذي يزيد من تركيز أيونات الكلوريد (Cl) الموجودة في الماء ، وفي ماء الشرب تكون أيونات الكلوريد (Cl) بتركيز أقل مما في الماء المالح ، فضلا عن أن الماء المالح يصبح أكثر توصيلاً للكهرباء من ماء الشرب، بعبارة أخرى أن قوة تآكل الماء معتمدة على ما يحويه من أيونات الكلوريد (Cl). إذ تقلل أيونات الكلوريد

عند قطب الأنود وإعاقة تفاعلات التآكل وهذا ما يسمى بالاستقطاب [2, 19].

3. قيمة الدالة الحامضية (PH)، تتأثر هذه القيمة بتركيز الأوكسجين المذاب، كما
4. إن لقيمة الدالة الحامضية (PH) تأثيراً على حمضية وقاعدية الوسط فإذا كانت هذه القيمة ($PH < 6$) فالوسط حامضي وذات تأثير عالي جداً على المعدن بينما يكون الوسط متعادلاً إذا كانت قيمة ($PH = 7$)، وقاعدية عند ($PH > 8$) وهو الوسط الأقل تأثيراً على الصلب، إلا إن قيمة الدالة الحامضية للوسط أحامضي عند ($PH < 4$) تؤدي إلى تقليل معدل التآكل، إذ يتكون هيدروكسيد الحديدوز وهو راسب جيلاتيني ناتج من تفاعل أيونات الحديدوز عند قطب الموجب مع أيونات الهيدروكسيد (OH) المتركمة فيؤدي إلى إعاقة الوصول إلى القطب الموجب وبالتالي إعاقة استمرار التفاعل الكهروكيميائي [2].

5. وهناك دراسات تشير إلى أنه استخلاص أيون موجب من ذرة معدن الأنود الملامس للأكتروليت في بداية التفاعل هو أسهل بكثير فيما لو حدث ذلك بعد فترة زمنية من استمرار التفاعل، وسبب ذلك هو تجمع الإلكترونات السالبة الشحنة في قطب الأنود والذي يجعل من سحب أيون موجب عملية صعبة بفعل قوة التجاذب بين الأيونات مختلفة الشحنة وبذلك يضعف التفاعل الكهروكيميائي ويقل معدل التآكل الذي سيتم حسابه بالاعتماد على الخسارة في الوزن كدالة رئيسية .

الاستنتاجات:

- 1 إن العلاقة بين نسبة الكربون ومقاومة التآكل هي علاقة عكسية، إذ تنخفض مقاومة الصلب الكربوني للتآكل مع زيادة نسبة الكربون.
- 2 تتغير معدلات التآكل بتغير وسط التآكل، حيث تتفاوت مقاومة الصلب الكربوني للتآكل مع تغير الوسط.
- 3 بطئ أو ضعف سرعة التفاعل الكهروكيميائي مع استمرار زمن التعرض للتآكل عما كان عليه في بدء التفاعل، إذ يلاحظ انخفاض في معدلات تآكل الصلب الكربوني مع زيادة زمن التعرض للتآكل.

3 المقاومة النوعية للوسط من خلال زيادة التوصيل الكهربائي فيها ليكون الوسط بذلك اشد تأثيراً على الصلب المستخدم كما يقلل مقاومته للتآكل من خلال انتشار التفاعل الكهروكيميائي على المساحات السطحية الممكنة بشكل أكبر، يتبين من النتائج أن لكل وسط من أوساط التآكل له تأثيره الخاص
4 على معدلات التآكل، وأن معدلات التآكل تختلف من وسط لآخر معتمداً على طبيعة الوسط وشدة تأثيره [12].

5 تأثير زمن التعرض للتآكل على معدلات التآكل: إذ تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن معدل التآكل يقل تدريجياً بزيادة فترة التعرض للتآكل كما هو موضح في الأشكال (5، 6، 7)، إذ ظهر أن معدل التآكل ينخفض بزيادة زمن التعرض للتآكل في المحيط الجوي وماء الشرب والماء المالح، فبدا واضحاً أن أعلى معدلات للتآكل كانت خلال فترة تعرض للتآكل (4) أسابيع في جميع الأوساط، وإن أقل معدلات للتآكل في نفس الأوساط في فترة تعرض للتآكل (8) أسابيع. يعزى السبب في انخفاض معدلات التآكل مع زيادة زمن التعرض للتآكل إلى بطئ أو ضعف سرعة التفاعل الكهروكيميائي مع استمرار زمن التعرض عما كان عليه في بدء التفاعل والسبب في ذلك يعود إلى عدة نقاط ومنها:

1. وجود مخلفات التآكل المتكونة على سطح الصلب المستخدم والتي تعيق استمرار عملية التآكل الكهروكيميائي وبالتالي تقليل معدلات التآكل مع استمرار الزمن حيث تجعل المعدن أقل نشاطاً مع الوسط المسبب للتآكل [12]. كما إن الخسارة في الوزن مع زيادة زمن التعرض (W/t) لا تمثل علاقة خطية فهي ليست ثابتة وإنما تمثل معادلة من الدرجة الثانية أو الثالثة كما أشار الباحث [13]، بسبب وجود طبقات التآكل المتكونة على سطح الصلب والتي تعيق استمرار فقدان الوزن مع تغير الزمن بمعدل ثابت [5] [18].

2. نفاذ الأوكسجين المذاب، ففي بداية التفاعل الكهروكيميائي يحدث التفاعل سريعاً ويسجل معدلات تآكل عالية إلى أنه مع مرور الزمن تقل نسبة الأوكسجين المذاب مما يؤدي إلى ازدياد تركيز أيونات الهيدروجين (زيادة حمضية الوسط) وتجمعها

Corrosion of 0.79C Steel Tempered in the Range 100 – 700 °C", Journal of Corrosion Science, Vol. 23 , pp. 1353–1359, (1983).

[9]-Corvo F., and Minotas J., "Changes in Atmospheric Corrosion Rate Caused by Chloric Ions Depending on Rain Regime",

Journal of Corrosion Science, Vol. 47, pp. 883 – 892, (2005).

[10]-Chotimongkol L., and Nakkuntod R., "Atmospheric Corrosion of Metallic Building Materials in Thailand" University of Thailand, Thailand, pp. 16-55, (1999).

[11]- Chikh Z. A. , Dermaj A., and Chebabe D., "Electrochemical and Analytical Study of Corrosion Inhibition on Carbon Steel in HCl Medium" , Journal of Corrosion Science, Vol. 47, pp. 447 – 459, (2005).

1. Yunping X., and Zhaohui X., "Corrosion Effect of Magnesium Chloride and Sodium Chloride on Automobile Components", University of Colorado, U. S. A., Report No. CDOT – DTD–R2004 – 4, pp 34-39 ,(2002).
2. Vera R., and Rosales B. M. , "Effect of The Exposure Angle in The Corrosion Rate of Plain Carbon Steel in a Marine Atmosphere", Journal of Corrosion Science ,Vol. 45, pp. 321 – 337, (2002).
3. John F. K. , "Corrosion Control and Treatment Manual", Kennedy Space Center, Revision C – TM – 584 C / Florida, U. S. A. , pp. 584. ,(1994).
4. Huang R. T. "Corrosion Protection of Carago Tanks", Chevron Shipping Company,

المصادر:

[1]-Al-Abdullatif Mohammed O. M. "Design And Optimization Of Cathodic Protection Systems Used In Prevention Of Pipelines Corrosion", PhD. Dissertation. College Of Engineering , Chemical Engineering Department, King

Saud University, Kingdom Of Saudi Arabia , pp. 21-35, (2007)

[2]-Winston R. , Uhlig's Corrosion Handbook, John Wiley & Sons, Inc., Canada, pp.100-125 ,(2000)

[3]-William D., and Callister Jr. , Fundamentals of Materials Science and Engineering, John Wiley & Sons, Inc., U. S. A. , pp. 205-234, (2001).

[4]-Trethewey K. R., "Corrosion Science and Engineering", 2nd Edition, Wesley Longman Limited, London, U. K. pp. 60-65, (1996).

[5]-Wadullah H. Mohamed., " Influence Of Heat Treatments on The Corrosion Resistance of Plain-Carbon Steels", Msc. Dissertation. College of Engineering. Department of Mechanical Engineering , University Of Mosul , Iraq. , pp. 16-55, (2006)

[6]-Batis G., and Rakanta E., "Corrosion of Steel Reinforcement Due to Atmospheric Pollution", Journal of Cement and Concrete Composite, Vol. 27, pp. 269 – 275, (2005).

[7]-Raja V. S. Baligheid R. G. , and Shankar Rao V., "Effect of Carbon on Corrosion Behavior of Fe₃ Al Intermetallics in 0.5 N Sulphuric Acid", Journal of Corrosion Science, Vol. 33, pp. 521 – 533, (2002).

[8]-Tomlinson W. J., and Giles K., "The Microstructures and

[9]-Choi K. Y., and Kim S. S., "Morphological Analysis and Classification of Types of Surface Corrosion Damage by Digital Image Processing", Journal of Corrosion Science, Vol. 47, pp. 1 – 15, (2005).
[10]-Stephen C. D. , "Galvanic Corrosion", University of Delaware, U. S. A. , pp 54- 59, (2003)

Tokyo, Japan, pp. 883 – 892 , (2000).

[11]-Wall F. D., Martinez M. A., and Missert N. A., "Characterizing Corrosion Behavior Under Atmospheric Conditions Using Electrochemical Techniques", Journal of Corrosion Science, Vol. 47, pp. 17 – 32, (2005).

[12]- Roger H., "The Prevention of Corrosion on Structure Steelwork", Construction and Industrial Center, U. S. A., pp. 80-88, (2001).

جدول (1) تحليل التركيب الكيميائي للصلب الكربوني المستخدم.

TYPE	Composition (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V	Fe
Steel 1	0.05	0.07	0.12	0.04	0.005	0.04	0.0	0.099	0.003	0.0	Bal.
Steel 2	0.2	0.19	0.39	0.03	0.022	0.07	0.0	0.096	0.06	0.0	Bal.
Steel 3	0.35	0.23	0.44	0.028	0.02	0.09	0.0	0.09	0.17	0.0	Bal.
Steel 4	0.5	0.26	0.56	0.021	0.012	0.12	0.003	0.08	0.21	0.0	Bal.
Steel 5	0.65	0.28	0.67	0.01	0.008	0.159	0.013	0.07	0.37	0.003	Bal.

جدول (2): تفاصيل المعاملة الحرارية بالمعادلة لنماذج الصلب الكربوني .

Carbon content	Soaking Temp. (°C)	Normalising Temp.(min)
0.05 % C	910	30
0.2 % C	890	30
0.35 % C	860	30
0.5 % C	820	30
0.65 % C	800	30

جدول (3) معدل درجة الحرارة ونسبة الرطوبة ومجموع تساقط الأمطار خلال فترة الاختبار.

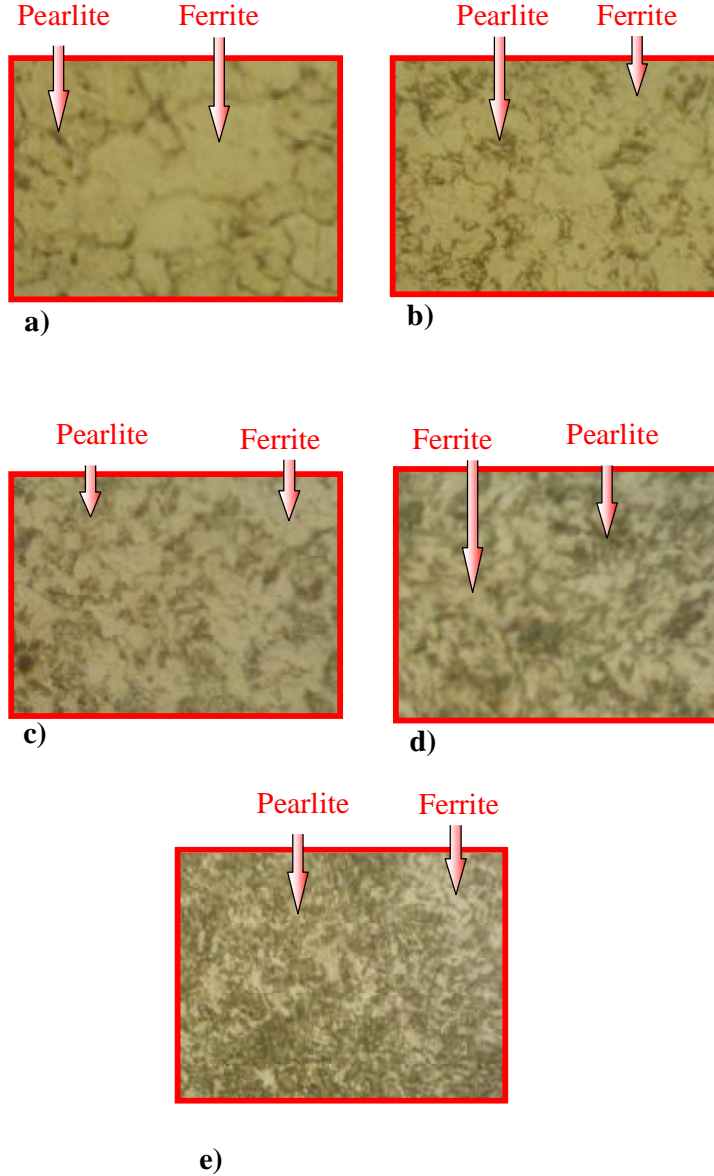
Total Rainfall (mm)	Relatively Humidity (%)	Average Temperature (°C)	Exposure Time (Week)
88	79	6.3	الفترة الأولى
86.4	75	6.9	الفترة الثانية
94	80	6	الفترة الثالثة

جدول (4) التحليل الكيميائي لماء الشرب في مدينة الموصل والمستخدم وسطاً للتآكل.

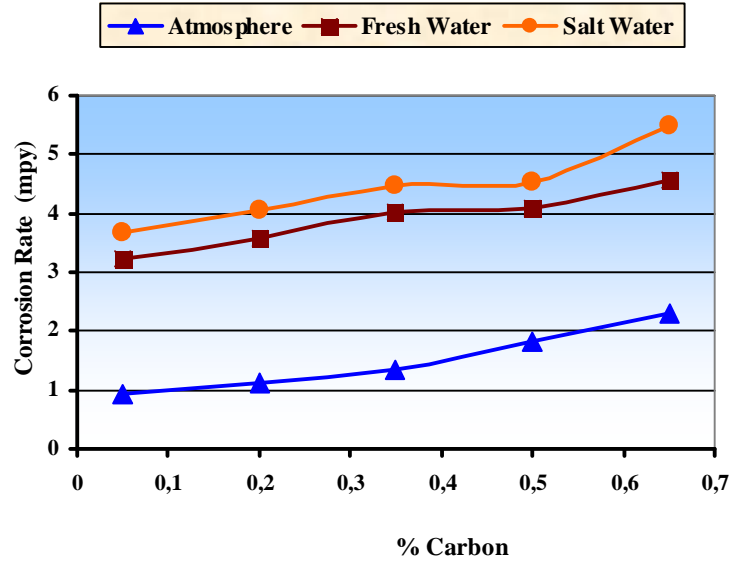
Properties	ppm (جزء / مليون جزء)
Total Dissolved Solids	140
Calcium(Ca^{+2})	54
Magnesium(Mg^{+2})	17
Total Hardness	71
Phenolphthalein Alkalinity	0.0
Methyl Orange Alkalinity	131
Sulphates(SO_4^{-2})	131
Silica(SiO_3)	Silicate
Electrical Conductivity(EC)	0.5 Ds / m
pH	7.3
Chlorides(Cl)	250
Dissolve Oxygen	8.0

جدول (5) التحليل الكيميائي للماء المالح المستخدم وسطاً للتآكل .

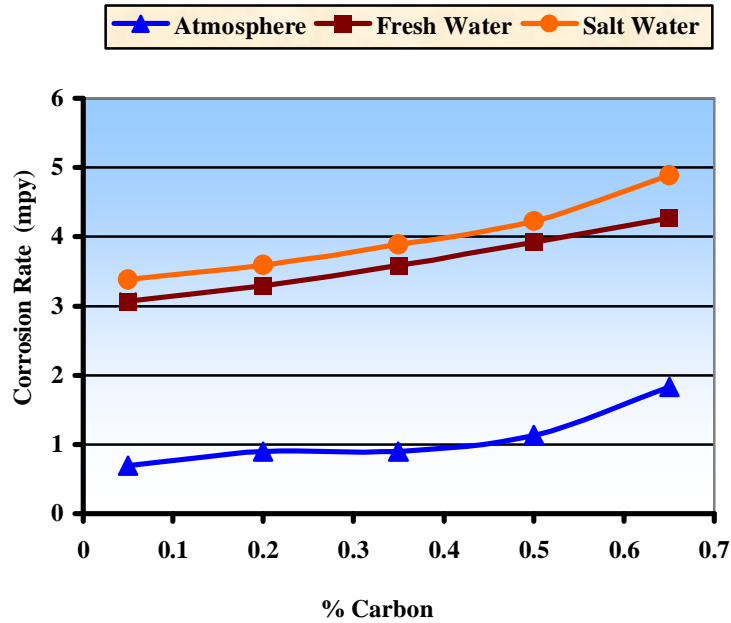
Properties	ppm (جزء / مليون جزء)
Magnesium Chloride($MgCl_2$)	3% wt.
Total Dissolved Solids	140
Calcium(Ca^{+2})	54
Magnesium(Mg^{+2})	17
Total Hardness	71
Phenolphthalein Alkalinity	0.0
Methyl Orange Alkalinity	131
Sulphates(SO_4^{-2})	131
Silica(SiO_3)	Silicate
Electrical Conductivity(EC)	0.5 Ds / m
pH	7.3
Chlorides(Cl)	250
Dissolve Oxygen	8.0



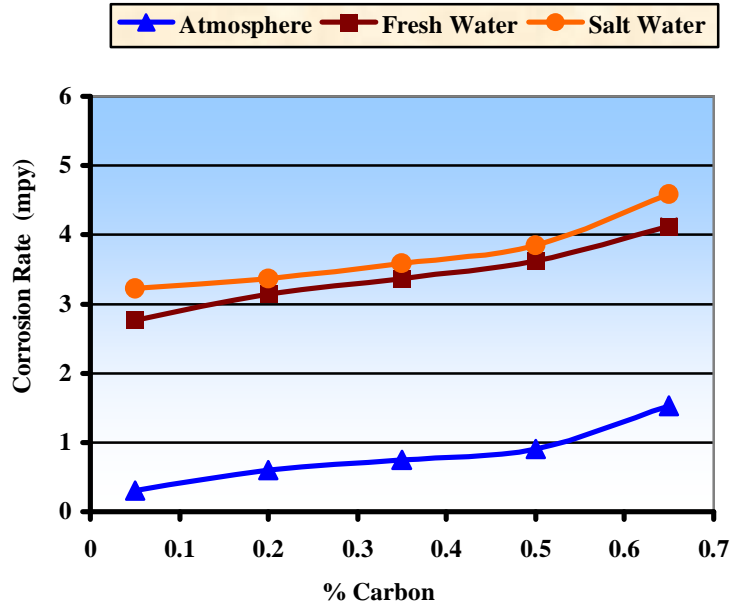
شكل (1) التركيب المجهرية للصلب الكربوني المستخدم والمعامل حراريا بالمعادلة (X 320)
 (a) الصلب (0.05 C%) ، (b) الصلب (0.2 C%) ، (c) الصلب (0.35 C%)
 (d) الصلب (0.5 C%) ، (e) الصلب (0.65 C%)



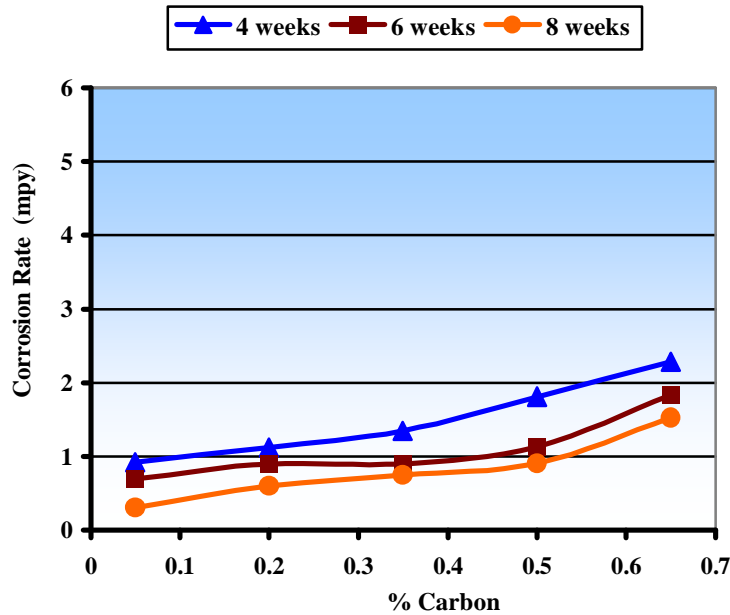
شكل (2) : تأثير نسبة الكاربون في الصلب على معدل التآكل لفترة أربعة أسابيع



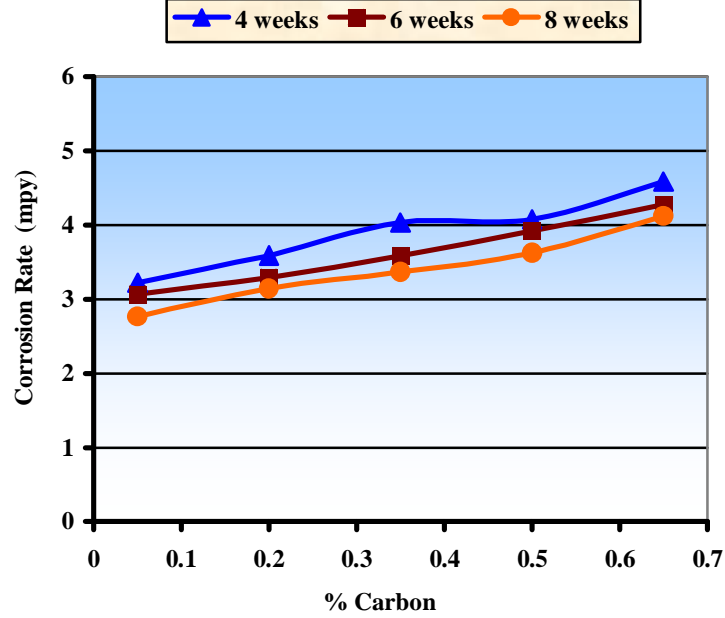
شكل (3) : تأثير نسبة الكاربون في الصلب على معدل التآكل لفترة ستة أسابيع



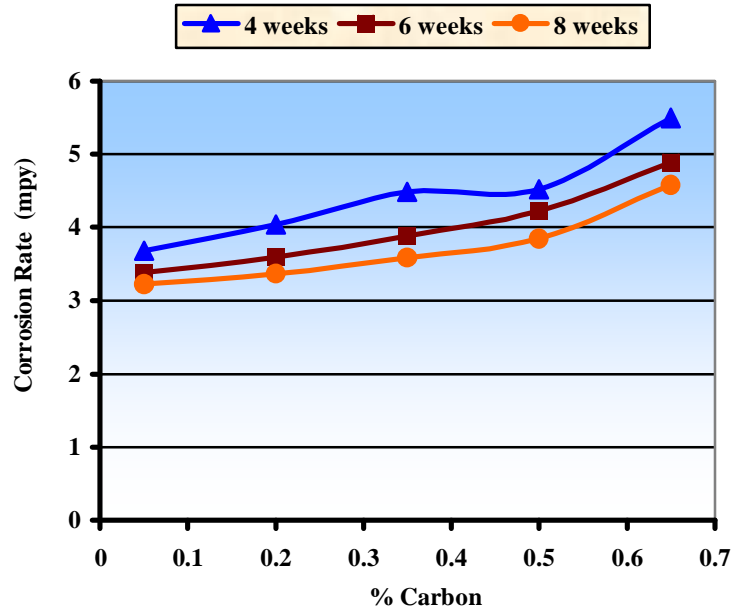
شكل (4) : تأثير نسبة الكربون في الصلب على معدل التآكل لفترة ثمانية أسابيع



شكل (5) : تأثير عامل زمن التعرض في المحيط الجوي على معدل تآكل الصلب الكربوني .



شكل (6) : تأثير عامل زمن التعرض في ماء الشرب على معدل تآكل الصلب الكربوني.



شكل (7) : تأثير عامل زمن التعرض في الماء المالح على معدل تآكل الصلب الكربوني.