

تقييم مقاومة التآكل للحديد المستخدم في تقوية الخرسانة الكونكريتية في اوساط مائية مختلفة

ليث يوسف يعقوب* زحل عبد الزهرة كباش** و موفق محمد صالح***

تاريخ التقديم: 2010/12/21

تاريخ القبول: 2011/6/2

الخلاصة

تهدف الدراسة إلى بيان مقاومة التآكل لحديد التسليح في أوساط مائية (ماء مطر، ماء بحر، ماء اسالة) حيث تم تصنيع عينات اسطوانية من حديد التسليح بأبعاد قطر 10 ملم وسمك 3 ملم وفق مواصفة الـ (ASTM) بعدها اجري اختبار التآكل بطريقة الوزن المفقود تم غمر العينات في أوساط مائية (ماء مطر، ماء بحر، ماء عذب) لفترات زمنية من (1-30 يوم) وتم وزن العينات قبل وبعد الغمر وتم حساب معدل التآكل لجميع الأوساط وقد وجد إن جميع الأوساط أدت إلى تآكل المعدن وكان معدل التآكل في ماء البحر هو الاعلى. وتم استخدام طريقة ثنائية لإيجاد معدل التآكل بطريقة المجهود الساكن Potentio static للمعدن حيث تم امرار تيار كهربائي في خلية كهربائية يمثل المعدن القطب الموجب اما القطب السالب فكان من البلاطين عند جهد تم تحديده من خلال امرار تيار في دائرة مفتوحة وأن هذا الجهد تم مقارنته مع جهد المعدن في السلسلة الكهروكيميائية ، بعدها تم اغلاق الدائرة وتم امرار التيار عند هذا الجهد مع زيادة مقدارها (100+، 100-) وإيجاد تيار التآكل من خلال مماسات التقاطع للقطب الانودي والكاثودي وفق طريقة تافل والتي تم اعتمادها في حساب معدل التآكل.

الكلمات المرشدة : التآكل، التآكل الكهروكيميائي، الفولاذ منخفض الكربون، حديد التسليح، اوساط مائية ، كونكريت.

Evaluation of Corrosion Resistance of Steel used in Concrete Reinforcement in Aqueous Media

Abstract

This paper is aimed to study the corrosion resistance of iron which used in concrete layer in aqueous media (Rain water, Sea water, Tap water). Specimens was manufactured as cylinder by (10 x 3 mm) according to ASTM. Corrosion test was implemented by loss weight process in aqueous media (Rain water, Sea water, Tap water) for (1-30) day. Specimen was weighed before and after test. Corrosion rate was calculated in all media and it was found that all media cases corrosion and corrosion was greater in sea water. Also potential state method was used to find the corrosion rate by using electrical cell the specimen represented the positive electrode. The negative electrode was made of platinum, a potential cell was limited by passing a current in the open circuit. The potential was compared with the potential of the metal in the electrochemical chain. Then the circuit is closed and an electric current at this potential is passed with an increasing +100 volt , -100 volt, and finding the corrosion current through the intersection contacts to the cathodic and anodic electrode in accordance with Tafel's method and calculation the corrosion rate and also the results of sea water corrosion is found higher than the other.

* معهد تكنولوجيا - بغداد، هيئة التعليم التقني/بغداد

** قسم هندسة الإنتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجية/بغداد

*** وزارة العلوم والتكنولوجيا/بغداد

المقدمة

وبإتباع المواصفات القياسية المختلفة الخاصة بتصميم القطاعات الخرسانية والتي تعمل على تقليل احتمالات حدوث الصدأ في حديد التسليح ومن العوامل المهمة في حماية المباني الخرسانية من صدأ حديد التسليح طريقة استخدام الخرسانة وتحديد محتوى الاسمنت والاهتمام بالمعالجات الخرسانية أثناء التنفيذ. شكل (1) يبين تأثير الاجهادات الضغطية على تكسر الخرسانة وعلى مقاومة التآكل [1].

لقد قام نيرفا فيرما [2] بدراسة تآكل الفولاذ المستخدم في تقوية الخرسانة ووجد ان التآكل الذي يحدث هو من نوع التآكل النقري والتصدعي وما بين الحدود البلورية. وايضا درس الباحث جورج سيرجي [3] تقنيات تآكل حديد التسليح المستخدم في تقوية الخرسانة. وايضا درس سردار وجماعته [4] تأثير عناصر السبك على مقاومة التآكل للفولاذ المستخدم لتقوية الخرسانة . بينما درس الباحث ستيفن [5] درس تآكل الكونكريت بالاضافة الى الحديد .

ان تآكل المعادن في المياه العذبة والمالحة بمعدلات تآكل تختلف باختلاف ما يسمى درجة العدوانية للوسط والتي تزيد بزيادة نسبة الأملاح ودرجة تركيزه في الوسط وكذلك درجة حرارة الوسط وحركة التيارات المائية [6 ، 7]. ان التآكل هو تفاعل كيميائي أو كهروكيميائي مع الوسط الخارجي والتآكل الكيميائي يحدث بسبب تفاعل المعدن مع الوسط دون ظهور تيار كهربائي والتآكل الكهروكيميائي يحدث نتيجة لظهور تيار كهربائي نتيجة للتفاعل بين المعدن والالكترونات المحيطة به في الجو الرطب وفي الماء العذب وماء البحر والأحماض والقلويات

الخرسانة الإسمنتية هي مادة اسمنتية يضاف اليها الماء للتمازج وتقوى باسلاك حديدية وانها قوية في مقاومة إجهاد الضغط وضعيفة في مقاومة إجهاد الشد لذا تزود بأسلاك التسليح لتعويض هذا الضعف وعند تعرض الحديد إلى اجهادات شديدة فانه يستطيل دون استطالة الخرسانة مما يؤدي إلى حدوث شروخ ويقوم الحديد وحده بمقاومة إجهاد الشد ولما كان بقاء الحديد بصورة مستمرة داخل الخرسانة هو الشرط الأساسي لاستمرار مقاومة المعدن للاجهادات الشديدة وان ظهور التشققات نتيجة تعرضها الى اجهادات ضغطية سوف يضعف هذه المقاومة وان سعة الشروخ لها اثر في تحديد قدرة حديد التسليح على المقاومة ويستعمل الفولاذ المنخفض الكربون في أسلاك التسليح وان وجود الشروخ في الخرسانة يسبب تعرض الفولاذ للهواء والماء لان الخرسانة بطبيعتها مادة مسامية تحوي رطوبة فمن الطبيعي تؤدي الى حدوث التآكل بداخلها وتعد الخرسانة مادة قلووية مثبطة للأحماض وبالتالي تقوم الخرسانة بحماية الحديد من التآكل بتكوين طبقة قلووية كثيفة تمنع حدوث التآكل ويحدث التآكل نتيجة تكسر طبقة الحماية التي تكونت ويبدأ التآكل في حديد التسليح في تكون نقرة صغيرة في السلك ثم تزداد هذه النقرة ويحدث اتحاد بينها وبين الاوكسجين الجوي مما يكون الصدأ العام. إن معدل الصدأ يرتبط بعوامل كثيرة ولكن الرطوبة ودرجة الحرارة عوامل رئيسية ومؤثرة بدرجة كبيرة جداً في معدلات الصدأ ولذلك يجب التحكم بتلك العوامل ليصبح معدل التآكل قليل ولتفادي صدأ حديد التسليح في الخرسانة بالتقيد بمواصفات التصميم والتنفيذ.

أ- تهيئة المحلول المائي:-

تم تهيئة الوسط المائي الذي سوف يتم فيه الغمر والمتكون من ماء البحر الذي يتكون من 35 غرام من ملح كلوريد الصوديوم في لتر من الماء المقطر تم قياس نسبة الحمضية (PH) بواسطة (PH meter) وقد وجد إنها تساوي 6.8. وماء مطر حيث تم جمعه بعد ثلاث مطرات عند PH 5.8 وماء عذب تم أخذه من الإسالة تم قياس الـ PH 6.9

ب- تم غمر مجاميع العينات الموضحة في الجدول رقم (2) في ثلاث دوارق سعة 125 سم³ بعد تعليقها فيه لفترة زمنية من 1-30 يوم وبعد كل عملية غمر نسحب العينة ويتم غسلها بالماء المقطر لأزاله آثار الملح ثم تم تجفيفها بمجفف كهربائي وبعدها تم وزنها.

تنظيف العينات قبل الغمر

تم تنظيف العينات باستخدام المحلول الكيميائي (5% H₃PO₄ و 2% CrO₃) قبل عملية الغمر . وتم تجفيفها بواسطة مجفف مختبري عند درجة حرارة 60 درجة مئوية.

ج- حساب معدل التآكل

لقد تم حساب معدل التآكل وفقاً للمعادلة الآتية [10]:

$$C.R = 87.6 * \Delta W / (A * d * t) \quad \text{.. (1)}$$

حيث :-

$$C.R = \text{معدل التآكل}$$

$$\Delta W = \text{الفرق بالوزن (gm)}$$

$$A = \text{مساحة مقطع العينة (cm}^2\text{)}$$

$$T = \text{الزمن (ساعة).}$$

$$d = \text{كثافة المعدن للفولاذ } 7.86 \text{ g/cm}^3$$

تنظيف العينات بعد الغمر

تم تنظيف العينات باستخدام المحلول الكيميائي (5% H₃PO₄ و 2% CrO₃) بعد عملية الغمر . وتم تجفيفها بواسطة مجفف مختبري عند درجة حرارة 60 درجة مئوية.

والمحاليل الملحية في الأراضي. إن صدأ الحديد الكيميائي في الماء أو الجو الرطب يطلق عليه اسم التآكسد لأن الناتج هو اوكسيد الحديد.

الجانب العملي**اختيار المعدن**

تم اختيار فولاذ منخفض الكربون (DIN C22) المستخدم في تسليح الخرسانة وان تحليله الكيميائي الذي تم بواسطة جهاز المطياف Spectrometer مبين في الجدول (1). وتم الاختبار في الشركة العامة للصناعات الهندسية الثقيلة.

تصنيع عينات الاختبار

تم تصنيع عينات اختبار اسطوانية بأبعاد قطر 10 ملم وسمك 3 ملم من سلك التسليح وفق مواصفة G71-30 ASTM.

تصنيف عينات الاختبار

بعد الانتهاء من تصنيع العينات تم تصنيفها إلى مجاميع كما في الجدول (2).

فحص البنية المجهرية

من أجل التعرف على البنية المجهرية للمعدن تم تحضير عينة منه حيث تضمنت مراحل التحضير تنعيم بورق تنعيم بدرجات من 180 - 240 - 320 - 500 - 800 - 1000 . ثم بعدها عملية صقل بقمش صقل مع مساعد صقل الالومينا ثم استخدام محلول النيتال المتكون من 2% حامض نترريك و 98% كحول مثيلي ثم فحص وتصوير البنية المجهرية بواسطة مجهر ضوئي بقوة تكبير X 400 وكما موضحة في الشكل (2) ادناه .

اختبار التآكل : تم اجراء اختبار التآكل بطريقتين :-

الطريقة الاولى : طريقة الوزن المفقود

[8،9] حيث تمت وفق الخطوات التالية :

تركيزها في الوسط المحيط بالمعدن وكذلك بزيادة درجة حرارة الوسط وسرعة حركة المنشأة المغمورة وتلك البعيدة عن الشاطئ لا يمكن التحكم بها لذا تؤدي الى حدوث تلوث البيئة وتضرر بالحياة الاقتصادية ان التآكل بماء البحر هو اسرع مما هو عليه في الماء العذب او ماء المطر وهذا ومن النتائج التي تم الحصول عليها بعد غمر العينات لحديد التسليح لفترات تتراوح بين يوم و30 يوم حيث وجد ان معدل التآكل لجميع الاوساط كان متقارب ، حيث ان منذ بداية التفاعل نلاحظ ان التآكل كان بطيئاً وبعد حوالي 100 ساعة نلاحظ ان التآكل بدأ يزداد وقد اعطت جميع الاوساط اعلى معدل تآكل عند زمن 300 ساعة وذلك بسبب وجود الاوكسجين المذاب في الماء . جدول رقم (4) يبين العلاقة بين نوع الوسط ومعدل التآكل عند تلك الفترة بعد ذلك انخفض معدل التآكل الى حوالي 400 ساعة بسبب نقصان كمية الاوكسجين المذابة ثم بعد ذلك ازداد معدل التآكل بسبب اتحاد الهيدروجين الناتج من تأين الماء واتحاده مع الكلور الموجودة به لاجراض التعقيم مما ادى الى زيادة نسبة الحامضية التي تساهم في زيادة معدلات التآكل . ويشير الجدول رقم (3) الى معدلات التآكل الكهروكيميائي لكافة الاوساط الناتج من مرور التيار الكهربائي عند فرق جهد حدد مسبقا حسب المعدن وتم حساب معدل التآكل فقط وجد ايضا ان ماء البحر اعطى اعلى معدل من خلال حساب معدل التآكل بطريقة تافل التي توضح السلوك الكاثودي والانودي للمعدن بوجود تيار كهربائي وان نقطة تقاطع هذين السلوكين تمثل تيار التآكل والمشار اليها في الجدول وعند مقارنة هذا المعدل فقد وجد ان ماء المطر اعطى اقل معدل وبعده ماء الاسالة وظهر تأثير ماء البحر بشكل

ومن النتائج تم رسم علاقة بين معدل التآكل والزمن كما مبينة في الشكل (3). والشكل (4) يبين صور للتآكل الكيميائي للمعدن باوساط مائية مختلفة (ماء المطر، ماء البحر، ماء عذب).

الطريقة الثانية : استخدام جهاز المجهاد الساكن

حيث تضمنت إمرار تيار كهربائي في خلية كهروكيميائية كما موضح في شكل(5) وتتكون من:

- 1- قطب موجب يمثل العينة المراد اختبارها .
- 2- قطب سالب يمثل القطب الذي تتجمع عنده الالكترونات التي تحررت من قطب الانود وقد استخدم عنصر البلاتين كقطب في هذه الخلية.
- 3- محلول اليكتروليتي هو ماء البحر او ماء مطر او ماء عذب
- 4- مصدر للتيار الكهربائي.

يتم إمرار تيار كهربائي عند جهد يتم تحديده حسب نوع المعدن وعند إمرار التيار سوف يتغير فرق الجهد مما يشير إلى ان هذا التيار يؤدي الى التآكل يتم قياسه والذي يمثل تيار التآكل حيث يعتمد على طريقة تافل في قياس معدل التآكل من خلال اخذ مماسات لسلوك المعدن الانودي والكاثودي وان نقطة التقاطع تمثل تيار التآكل [11] [12].

الشكل(6) يبين صور التآكل للعينات A,B,C بعد عملية التآكل الكهروكيميائي اما الشكل (7) يبين نتائج اختبار التآكل الكهروكيميائي لحديد التسليح والجدول (3) يبين نتائج التآكل الكهروكيميائي للفولاذ ومعدل التآكل.

المناقشة

يختلف معدل التآكل في الاوساط المائية باختلاف درجة العدوانية للوسط والتي تزيد بزيادة نسبة الاملاح ودرجة

[6] Alstom Bosch "Corrosion of Carbon Steel" , Key to Metals Steel,2000.

[7] Abhay K. Tha , Naga G. and Shiresha K. "Stress Corrosion Cracking in Aluminum Alloy, AFNOR 7020-T₆ water tank adaptor for liquid propulsion system" organization trivandrum ,G95.022 India, May 2007.

[8] The Canning Handbook (Surface Finishing Technology), 23rd edition, W. Caming PLC, Brimingham, London , p(232-237), 1982.

[9] Article, "Carbon Steel- Corrosion Technology Laboratory" (file/H:KSC Corrosion Technology laboratory – Materials Selection.htm 3/11/2009.

[10] مجلة جامعة تشرين ، العلوم

الهندسية المجلد (29) العدد (1)

.2007

[11] Alstom Bosch, "Corrosion of Carbon Steel" keyto Metals Steel,2000.

[12] L.L Shreir RA Jarman & GT Burstein U " Corrosion Control "third edition volume 2, 2003.

[7] James R.Esterday P.E.(Liquid ferritic Nitrocaburizing) NIROMET email :Bradford kolene 2005.

[8] Peter Jurevi, Frantisek Hnilica, Jan Suchanck, Pavel Stolar, "Microstructural Features of Cr-V Ledeburitic Steel Substrate with Nitrogen" (2004).

[9] D.M. Fabijanic, GL, Kelly, J, Long, P, D, Hodgson, Anitocarburising and low-Temperature thromising duplex surface Deakin University School Of Engineering and Technology 2005,.

[10] Technical report 1/1999 properties of nitrated components A

واضح في الطريقتين التي تم قياس معدل التآكل من خلالها .

الاستنتاجات

1- وظيفة الخرسانة هي حماية اسلاك التسليح التي تكسبها المتانة من التآكل الكيميائي وان حدوث أي تشقق في الخرسانة سوف يزيد من تآكل حديد التسليح لتدفق الرطوبة والمياه له وتكون خلاية كهروكيميائية.

2- جميع الاوساط التي تم استخدامها ساهمت في حدوث التآكل الكيميائي بنسب متقاربة مما يؤكد تفاعل الحديد مع الاوكسجين المذاب في الاوساط المائية المختلفة وتكوين اكاسيد الحديد المعروفة بالصدأ .

المصادر

[1] Ndaliman M. B. "An assessment of Mechanical Properties of Medium Carbon Steel under Different Quenching Media", AUJ. T. , 10(2), 100, Oct 2006.

[2] Neerva Verma ," Corrosion of Steel Reinforcements in Concrete", Report no. MME480, Indian Institute of Technology,2007.

[3] George Sergi " Corrosion of Steel in Concrete & Assessment Techniques", Vector Corrosion Technologies. www.vector-corrosion.com , 1998.

[4] M. Serdar , I. Stipanovic Oslakovic, D. Bjegovic and L. Valek " Corrosion testing of low alloy steel reinforcement", Report ISBN 978-0-415-46850-3 , London, 2009.

[5] Steven F. Daily " Understanding Corrosion and Cathodic Protection of Reinforced Concrete Structures" , Corpro Companies, Incorporated , www.corpro.com

[12] Electroplating from wikipedia , the free encyclopedia 06/01/2008 .

result of the material and nitriding process. Rainer Leppanen.

[11] Wear resistance for steel parts and wear resistant coatings Burlington info @ burlingtoneng. Com 1/2/2008

جدول (1) يبين التحليل الكيميائي للمعدن المستخدم (DIN C22)

| Element% | C | Si | S | Mn | P | S | P | Ni | Ai | W | V | Co | Cu |
|----------|-----------|------|-------|---------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Actual | 0.17 | 0.05 | 0 | 0.497 | 0 | 0.05 | 0.09 | 0.012 | 0.01 | 0.003 | 0.009 | 0.004 | 0.041 |
| Standard | 0.17-0.24 | 0.04 | 0.045 | 0.3-0.6 | 0.045 | 0.05 | 0.04 | - | - | - | - | - | - |

جدول (2) يبين مجاميع عينات اختبار التآكل

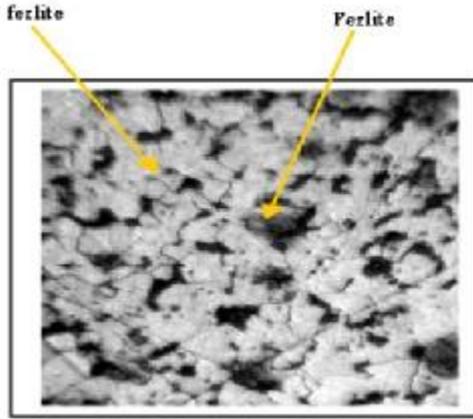
| رمز العينة | الحالة |
|------------|---------------------------|
| A | حديد مغمور في ماء المطر |
| B | حديد مغمور في الماء العذب |
| C | حديد مغمور في ماء البحر |

جدول (3) يبين نتائج التآكل الكهروكيميائي لحديد التسليح

| رمز العينة | تيار التآكل mA/cm | الفولتية mV | معدل التآكل C.R |
|------------|----------------------|----------------|--------------------|
| A | 7.77 | 358.3 | 3.418 |
| B | 9.6 | 640.5 | 4.224 |
| C | 13.1 | 445.3 | 5.764 |

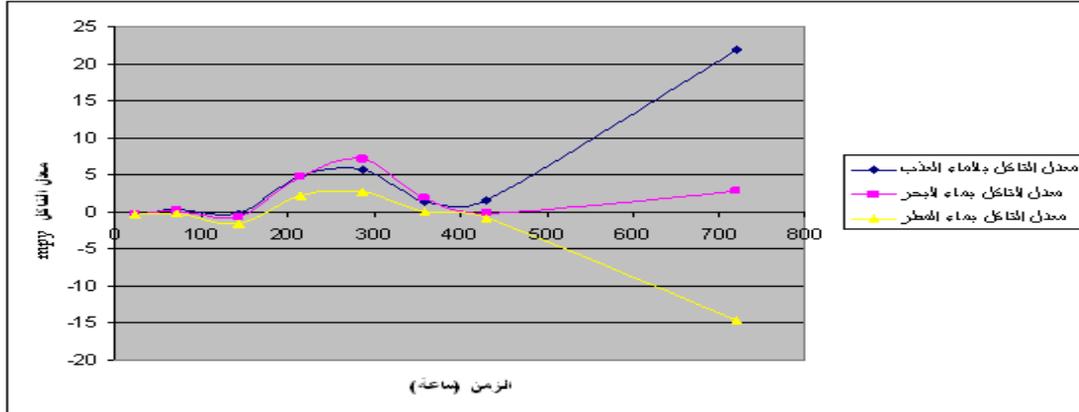
جدول (4) يبين نتائج التآكل الكيميائي لحديد التسليح

| رمز العينة | الزمن (ساعة) | C.R (mpy) معدل التآكل |
|------------|--------------|-----------------------------|
| A | 300 | 7.12 |
| B | 300 | 6.12 |
| C | 300 | 2.56 |

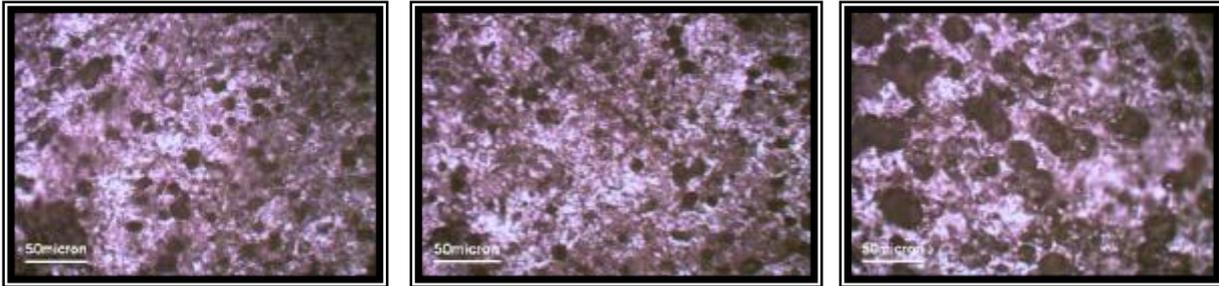


الشكل (2) يبين البنية المجهرية للفولاذ المستخدم

شكل (1) تأثير الاجهادات الضغطية على تكسر
الخرسانة وعلى مقاومة التآكل. [1]



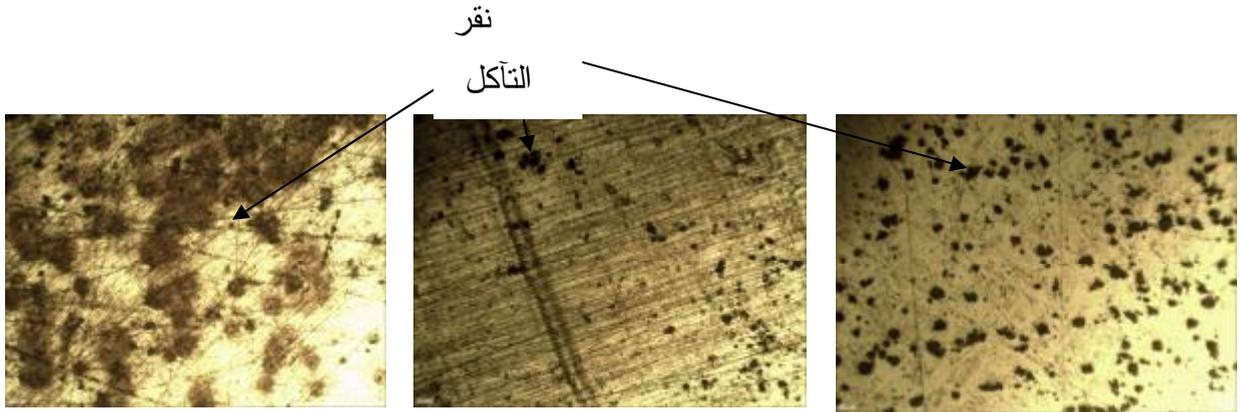
شكل (3) نتائج اختبار التآكل الكيميائي بطريقة الوزن المفقود بأوساط مائية مختلفة ودرجة حرارة الغرفة (25 درجة مئوية)



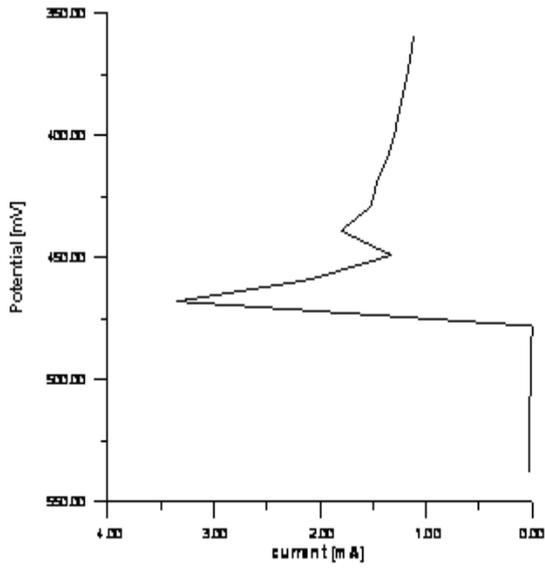
شكل (4) صور تبين التآكل الكيميائي للمعدن بأوساط مائية مختلفة (ماء المطر، ماء البحر، ماء عذب)



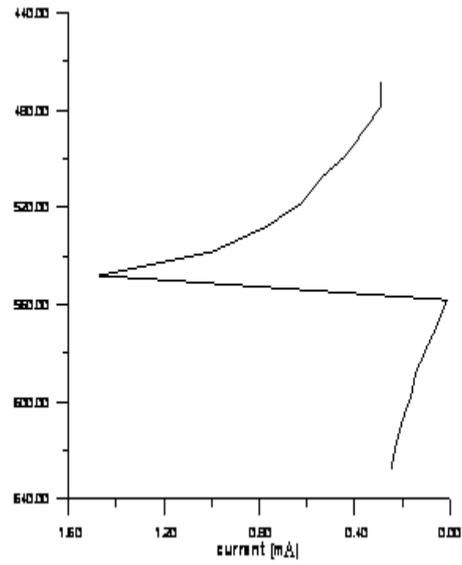
شكل (5) الخلية الكهروكيميائية مبين فيه القطب الموجب والقطب السالب



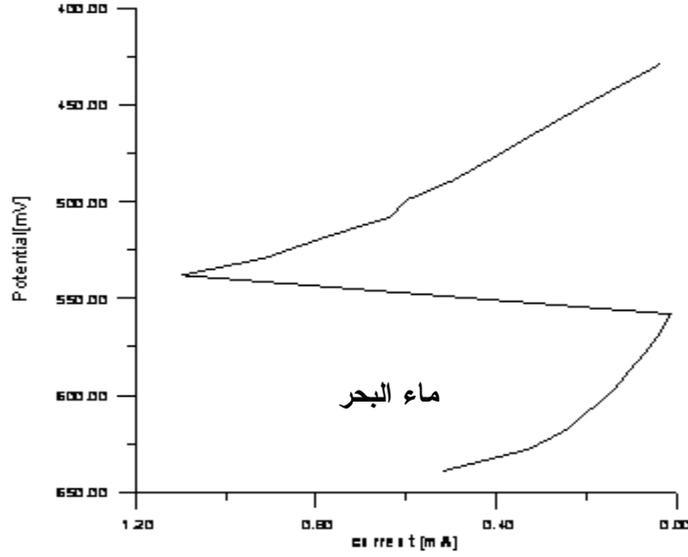
الشكل (6) صورة تبيين شكل التأكل لمجاميع العينات



ماء مطر



ماء عذب



الشكل (7) يبين نتائج اختبار التآكل الكهروكيميائي لحديد التسليح في درجة حرارة الغرفة (25 درجة)