" تآكل حديد الصب الرمادي في ماء الشرب العادي والممغنط"

د. وليد جلال علي زينة ميسر عبد
قسم الهندسة الميكانيكية / جامعة الموصل

الخلاصة

أجريت بحوث ودراسات عديدة اعتمدت على دراسة التآكل وتأثيره في المعدن المستخدم والعوامل المؤثرة في مقاومة التآكل وطرق الحماية منه. وأستخدمت معظم هذه البحوث معادن حديدية وغير حديدية وبأوساط أكالة مائية مختلفة. والدراسة الحالية تعتمد على اخذ عينات من حديد الصب لدراسة التاكل في ماء الشرب العادي والممغنط وبطريقتين، الطريقة الاولى بغمر النماذج فقط في الماء (العادي والممغنط) لفترات زمنية مختلفة، والطريقة الثانية باستخدام جهاز يعمل على تغطيس النماذج في الماء(العادي والممغنط) ثم اخراجها للتعرض للظروف الجوية ولفترات زمنية أمدها نصف ساعة من التبليل ونصف ساعة من التجفيف تتكرر بشكل دوري طيلة فترة الاختبار. وتم تصميم الجهاز وتصنيعه لهذا الغرض ، و اظهرت النتائج ان الماء الممغنط يقلل من معدل تآكل حديد الصب الرمادي مقارنة مع نفس الماء الغير ممغنط وبكلا الطريقتين(الغمر ودورات التبليل والتجفيف).

" Corrosion Of Gray Cast Iron By Normal And Magnetic Water"

Dr. Waleed Jalal Ali. **Zenaa Moyaser Abid**
Mechanical Eng. Dept. / University of Mosul

Abstract

Researches have been conducted on corrosion, its effect on the metal used, and the factors affecting the corrosion resistance and methods of protection. In most of these researches ferrous and non-ferrous metal were tested in different water media. In this work , the corrosion of gray cast iron, In drinking water (normal and magnetic), was studied using two methods.

In the first method, the samples were immersed in water (normal and magnetic) for a different periods of time. In the second method the same number of samples were immersed in the water (normal and magnetic) for half an hour and dried for half an hour under the lab condition during the same above periods. A device was designed and manufactured for the immersion and drying purposes. The results showed that the corrosion rate of cast iron by the magnetic water is less than that by normal drinking water for both methods.

أستلم: 10-1-2013 قبل: 14-5-2013

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

المقدمة :

يمكن تعريف التآكل بعدة طرق لكن التفسير المتعارف عليه هو انحلال المعدن بسبب تفاعله مع بيئته وهو شائع في المعادن بتكوين طبقة رقيقة من الاوكسيد . مع ذلك فإن مثل هذه العمليات تحدث في المواد غير المعدنية ايضاً مثل البلاستك والكونكريت والسيراميك ولكن تكون العملية في هذه الحالة ليست كهروكيميائية.[1,2] أن السبب الرئيسي لتآكل المعادن واختلاف التآكل بين معدن وآخر يعود إلى طبيعة منشأ هذه المعادن حيث إن معظم هذه المعادن وخاصة غير النبيلة مثل الحديد والزنك لاتوجد في الطبيعة بشكل حر كمعدن نقي ولكن على شكل مركبات كيميائية والتي هي خامات هذه المعادن. وعند استخلاص هذه المعادن يتم بذل مقدار من الطاقة لتحرير هذه المعادن. لذلك يكون المعدن مجبراً على التواجد في الحالة غير المستقرة لذا فأنه يميل إلى ترك الحالة الجديدة المفروضة عليه والعودة إلى أصله أي إلى الخام . وهذه العملية تدعى التآكل. فمثلاً يتواجد الحديد في الطبيعة على شكل أوكسيد الحديد في معظم الحالات لذا عندما يتآكل الحديد فإنه يتحول إلى أوكسيد الحديد أو خليط من أكاسيد الحديد المختلفة. [3] ويكون التآكل على نوعين رئيسيين هما التآكل المنتظم أو العام (Uniform corrosion) و التآكل الموقعي (Localized corrosion) ، حيث إن التآكل المنتظم ينحصر على السطح المعدني أو انه ينتشر بشكل متكامل ليشمل السطح ككل وهو اكثر الانواع شيوعاً. أما التآكل الموقعي فيحدث بسبب فرق الجهد بين موقعين على سطح المعدن أو قد يحدث داخل البنية المجهرية للمعدن كحدوثه على حدود الخلايا أو الاطوار المجهرية المختلفة[4].

لقد زاد الاهتمام بالماء الممغنط مؤخراً نظرا للكثير من التغيرات الفيزيائية والكيميائية التي تطرأ على الماء عند معالجته مغناطيسيا مثل التغير في اللزوجة ودرجة الغليان والقابلية على المغنطة والتوصلية الكهربائية والشد السطحي والتقليل من عسرة الماء وذلك بالتقليل من نسبة وجود كاربونات الكالسيوم في الماء وهذا جيد من الناحية الصحية حيث إن له فوائد منها تحسين الدورة الدموية في جسم الإنسان ويمنع تلف الأسنان ويساهم في إذابة الحصى والرمل في المجاري البولية [5] وزيادة نمو المحاصيل الزراعية[6] ويزيد من مقاومة الكونكريت[7] ويستخدم في التطبيقات الصناعية حيث يمنع تكون الكلس على جدران الانابيب الداخلية الناقلة للموائع وخاصة الماء. لذلك فقد اصبحت معالجة الماء مغناطيسيا احد الحلول للحد من التكلسات المتكونة في الانابيب ومنظومات الماء الساخن وابراج التبريد والمبادلات الحرارية والمكثفات[8]

ويستخدم جهاز خاص لمغنطة الماء حيث ان اول جهاز تم اختراعه عام 1945 و استخدم منذ ذلك الوقت في اكثر من خمسين بلداً حول العالم مثل امريكا وروسيا وتواجد بكثرة في الاسواق منذ عام 1950 تقريبا وكنتيجة لسلسلة مستمرة ودائمة من البحوث تم تطويره ليقدم على اكمل وجه.واساس عمله يعمل على مبدأ الحث الكهرومغناطيسي الذي اكتشفه العالم فراداي عام 1832 .[7] ومع شيوع استخدام الماء الممغنط حديثاً وخاصة في المبادلات الحرارية ومحطات الطاقة وابراج التبريد مما شد الانتباه إلى معرفة تأثيره من ناحية التآكل على وسائل خزنه ووسائل نقله والتي هي عادة تكون مصنوعة اما من الصلب الكاربوني او السبائكي او حديد الصب الرمادي. لقد أستخدمت الانابيب المصنوعة من حديد الصب الرمادي منذ اكثر من 120 عاماً[9] وبسبب انخفاض وارتفاع مستوى المياه والحركة المستمرة لها داخل الخزانات والانابيب وما لهذا من تأثير في نتائج التآكل فقد تم اختيار اسلوب الغمر المتقطع او ما يسمى الغمر والتجفيف الدوري حيث تستمر الدورة لفترة ساعة واحدة وتتكون من 30 دقيقة من الغمر في الماء العادي والممغنط و30 دقيقة من التجفيف في الهواء وتتكرر هذه الدورة لمدة 24 ساعة في اليوم وعلى مدى مدة الاختبار.ويختلف معدل التآكل للمعدن المعرض لدورات التبليل والتجفيف عن المعدن المغمور بالالكتروليت حيث تتكون طبقة رقيقة من الالكتروليت الدائمة التجدد والتي تكون مشبعة بالاوكسجين[10] أن التآكل الذي سيتم تناوله في هذا البحث هو التآكل الرطب والذي يتضمن تفاعلات كهروكيميائية ويحصل هذا النوع من التآكل عندما يكون الوسط المتواجد به المعدن وسطاً ناقلاً للكهربائية (Electrolyte) حيث ان الوسط المستخدم في هذه الدراسة هو الماء العادي ونفس الماء بعد مغنطته. وقد تم التركيز على هذا النوع من التآكل الذي يصيب الاجزاء المعدنية ومثال ذلك تآكل الصلب الكاربوني عند وجود الماء والاوكسجين فتتكون خلية تآكل غلفاني (Galvanic corrosion) من قطبين احدهما أنود (Anode) والاخر كاثود (Cathode) وإن فرق الجهد بين الانود والكاثود يحصل في حالة كون قطبي الخلية من معدنيين مختلفين ، أو في داخل السبيكة الواحدة ومثال ذلك تآكل الصلب الكاربوني حيث تمثل حبيبات الفيرايت الكاثود وحبيبات البيرلايت الأنود.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

البحوث والدراسات السابقة:

بحث(2009) S.H .Al-Rifay [11] في تأثير تاكل حديد الصب الكرافيتي كمادة مركبة تحت ظروف محلية ومنها ماء الشرب وبين ان الشكل الشرائحي للكرافيت يسبب معدلات تاكل اعلى مما يسببه شكل الكرافيت الكروي او الزهري واشار إلى ان السبب في ذلك هو ارتباط وتداخل شرائح الكرافيت في حديد الصب الرمادي والتي تشكل شبكة مستمرة من الكرافيت تسمح بتغلغل وسط التآكل اما في حالة حديد الصب الزهري الكرافيت وحديد الصب الكروي الكرافيت فأن الكرافيت لايشكل شبكة مستمرة والتي تعمل على بقاء وسط التآكل منعزلاً مما يقلل من معدل التآكل مقارنة بحديد الصب الرمادي.وان معدلات التاكل لجميع انواع حديد الصب الكرافيتي تقل مع زيادة زمن التعرض للتاكل بالرغم من استمرار الزيادة في فقدان الوزن واعزى ذلك إلى ان نواتج التآكل المتكونة على سطح المعدن والتي قد تعوق عملية التآكل وتعمل على تقليل معدل التآكل مع مرور الزمن وقد تجعل المعدن اقل نشاطاً مع الوسط المسبب للتآكل او يعود السبب إلى تكوين طبقات وقائية تقلل تفاعل السطح المعدني مع الوسط المسبب للتآكل. كما قام الباحث M. Sancy. (2009) [12] وزملاؤه بدراسة التاكل في شبكة انابيب مياه الشرب المصنوعة من حديد الصب، حيث شملت الدراسة التاكل في الماء وفي التربة المشبعة بنفس الماء، و اظهر السطح الداخلي للانابيب معدل تاكل قليل نسبة للسطح الخارجي حيث بلغ معدل تآكل السطح الخارجي المعرض للتربة المشبعة بالماء كوسط للتآكل حوالي 10 اضعاف معدل تآكل السطح الداخلي المعرض للماء كوسط للتآكل، وعلل سبب ذلك بأنه في السطح الداخلي للأنبوب تتكون طبقة تآكل مسامية وهذه الطبقة تكون موصلة وهذا يقلل من وجود الاوكسجين على السطح الداخلي للأنبوب اما في السطح الخارجي فأن هذه الطبقة تكون موجودة ايضا ولكنها تكون غير موصلة حيث تعمل على تقليل معدل انتشار الاوكسجين.

ولاحظ الباحثان S. A. Ajeel and S. M. Hasoni (2007) [13]. عند دراسة خصائص البنية المجهرية والتحليل الكيميائي لكل من حديد الصب الرمادي (Gray cast iron) وحديد الصب الطروق (Malleable cast iron) لغرض استخدامها في تحليل نتائج البنية المجهرية بعد اختبارات التاكل بالغمر والاستقطاب لكلا المعدنين في تراكيز مختلفة من كلوريد الصوديوم (3.5%,0.58%,0.01%). أن مقاومة التاكل لكلا المعدنين ممتازة وان مقاومة التاكل لحديد الصب المطيلي افضل من حديد الصب الرمادي وان التناقص في معدل التاكل في كلا المعدنين مرتبط بالطبقة الحاجزة المترسبة (Barrier layer) والتي تكون اكثر تجانسا في الحديد المطيلي. كما تم اجراء الاختبارات الكهروكيميائية التي تضمنت قياس جهد التآكل في الدائرة المفتوحة ولكلا المعدنين واظهرت جهود التآكل المقاسة بإستخدام الدائرة المفتوحة في جميع المحاليل لحديد الصب الرمادي كانت قيمها اكثر نبلاً من تلك المقاسة لحديد الصب الطروق. اما نتائج البنية المجهرية خلال التآكل فأثبتت حصول طبقة حاجزة متجانسة على سطح حديد الصب الطروق وحصول عملية الكرفتة بحديد الصب الرمادي.

ودرس A.P.Yadav (2003) [10]تأثير التآكل الكهروكيميائي للصلب المغلون تحت ظروف دورة التبليل ثم التجفيف (wet-dry cycle) حيث عرضت النتائج لظروف متناوبة من التبليل والتجفيف ولازمان مختلف(3,7,11) ساعة عند درجة حرارة 298K ونسبة رطوبة 60%. ولاحظ ان جهد التآكل ولأول عدد قليل من الدورات يزاح لقيم اقل نبلاً،والسبب يعود لزيادة التصرف الانودي للطبقة الحامية ولاحظ انه بأزدياد عدد الدورات فأنه يعود لتصرفه ويتجه بأتجاه اكثر نبلاً. واستنتج ان التآكل يكون سريع في الفترة الاولى من هذه الدورة ويقل عند نهايتها ،وان قصر مدة التجفيف للدورة تؤدي إلى زيادة في معدل التآكل، والسبب في ذلك يعود إلى تكسر طبقة الاوكسيد المتكونة بفعل الهواء وإلى الزيادة الفعالة في نقصان الطبقة الحامية وذلك بسبب زيادة تركيز ايونات الكلوريد خلال فترة التجفيف. و قام R. S. Abdeltwab (2011) [8] بالبحث في تأثير اجهزة الماء الممغنط الصناعية على الاملاح الذائبة في الماء وخاصة ايونات الكالسيوم وايونات المغنيسيوم والرقم الهيدروجيني (pH). حيث استخدم اربع مجاميع مختلفة من الماء (مياه التصريف ومياه المستنقعات وماء الشرب والماء المالح)، واستخدم لكل عينة من الماء جهاز خاص لمغنطتها وانبوب مصنوع من مادة لدنة (PVC) بطول 1.5 متر لنقلها حيث تم ضخ الماء من خزان سعته 25 لتر. وجد انها تقلل نسبة الاملاح الذائبة في الماء وتزيد من قيمة الرقم الهيدروجيني حيث يرتبط الرقم الهيدروجيني بتركيز ايونات الهيدروجين فكلما قلت ايونات الهيدروجين قلت حموضة الوسط وازداد الرقم الهيدروجيني وبالتالي يقلل من نسبة التاكل. اما H. H. Ge (2010) [14] وزملاؤه فقد درسوا مقياس التثبيط للماء المعالج كهرومغناطيسيا والتآكل للصلب الكاربوني في هذا الماء. ووجدوا ان التآكل يثبط عند تعرض الصلب الكاربوني لهذا الماء لمدة من الزمن ويقل تأكل الصلب الكاربوني كلما زادت مدة تعرض الماء للمجال

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الكهرومغناطيسي. ودرس(2004) M.E. Botello-Zubiate [5] وزملاؤه تأثير الماء الممغنط على تكوين كاربونات الكالسيوم وسلوك التآكل الكهروكيميائي لحديد الصلب 1018 حيث تم استخدام مجال مغناطيسي شدته 1 تسلا مع سرعة جريان 0.77 m/s حيث تم دراسة سلوك التاكل باستخدام منحنيات الاستقطاب الكهروكيميائي حسب ASTM G5-94 بمدى فولطية قدره 900mV ± واثبتوا ان التآكل يعتمد على التحليل الكيميائي للماء حيث ان وجود كميات كبيرة من ايونات Ca, Na ,K تؤدي لزيادة في معدل التآكل كما ان معدل التاكل الكهروكيميائي يزداد عند معالجة الماء مغناطيسيا.كما ذكر (2002) L.A. Huchlor [15] في بحثه عن مبادئ منظومات معالجة المياه الغير كيميائية ان Baker and Judd وصفوا تأثير مختلف المكونات وصفات الماء الممغنط ومن ضمنها تاكل المنتجات الحديدية وايونات الزنك والمغنيسيوم ودرجات الحرارة وشدة المجال المغناطيسي كذلك وجدا من خلال التجارب المختبرية ان المعالجة المغناطيسية للماء تعتمد على شدة المجال المغناطيسي وطول الوقت الذي يتعرض فيه الماء للمجال المغناطيسي ومعدل جريان الماء. وبحث(2001) G.Bikulchyus [16] وزملاؤه في سلوك التآكل للصلب المنخفض الكاربون في الماء الممغنط حيث تضمن البحث امرار الماء وتدويره في مجال مغناطيسي شدته 0.05 تسلا وتم استخدام سخان لتسخين الماء إلى (40ºC او 70º)حيث وضع حلقات قياسية من الصلب الذي يحتوي على (0.15%wt.C) وبمساحة سطحية قدرها $132cm^2$ فوق السخان مباشرة واستغرقت التجربة ساعتين ثم تم وزن الحلقات لمعرفة معدل التاكل كما قاس نسبة وجود الاوكسجين والتوصيلية الكهربائية للماء واستنتج أن مغنطة الماء تقلل من معدل التاكل بنسبة 14% مهما كانت درجة الحرارة.وذكر C.J Quinn(1997) [17] في دراسته عن معالجة الماء مغناطيسيا انها تمنع الترسبات الداخلية للانابيب(لان مغنطة الماء تقلل من وجود ايونات الكالسيوم وبالتالي تقلل من تكوين كاربونات الكالسيوم) ان وكالة ناسا اختبرت تاكل الصلب في الماء الممغنط وقارنته بمثبطات التاكل الكيميائية التي يكون معدل التاكل فيها من (1-50 mpy) (حيث ان معدل التاكل 4mpy يعتبر مقبولا) بينما سجلت معدل تاكل مقداره 0 mpy للماء الممغنط واعتبر الباحث انه بالرغم من ان البحث اجري بمختبرات وكالة ناسا الا انه من المستحيل ان لايظهر للماء الممغنط تأثير للتاكل ولكن اثبت انه ناجح جدا لتقليل معدل التاكل.

الجانب العملي:-

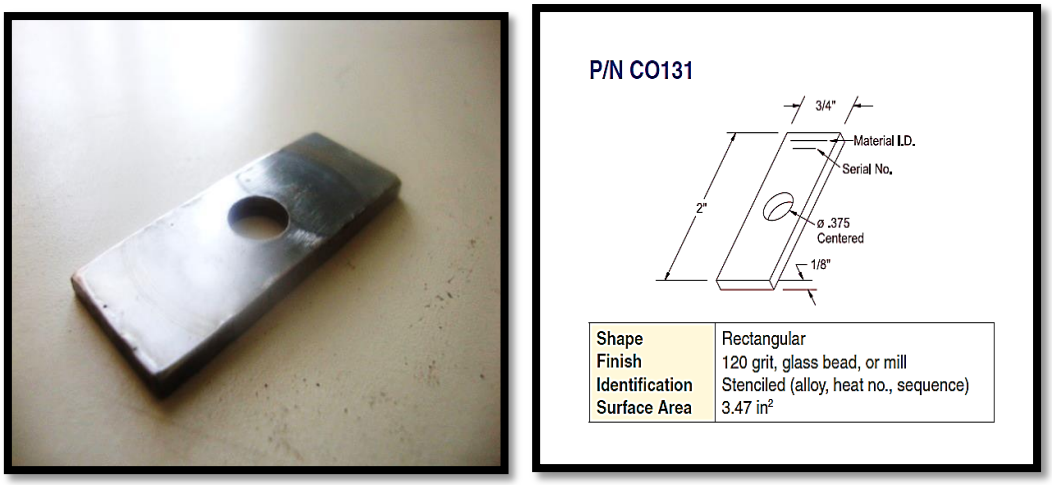
تهيئة نماذج الاختبار:

تم تهيئة 24 نموذج من حديد الصب الرمادي البيرلايتي وقد جمعت النماذج من بعض العدد والآلات المستهلكة وحللت كيميائياً ونتائج التحليل مدرجة في الجدول(1) وأجريت عمليات التشغيل الميكانيكي والتي شملت القطع والقشط والتجليخ إلى ان تم الحصول على جميع النماذج حسب النموذج القياسي (strip corrosion coupons) [18] كما موضح في الشكل (1) وبعد الانتهاء من تصنيع النماذج بالشكل والقياسات المطلوبة تم معالجتها حراريا لإزالة الاجهادات الناتجة عن عمليات التشكيل وخاصة التجليخ،ثم تم اعداد السطوح بشكل متماثل بتجليخها بورق صقل (120,80) وبالتتابع. و تم وزن النماذج بدقة باستخدام ميزان حساس نوع (Micro-Balance) تبلغ درجة حساسيته(0.0001g).ثم وزعت العينات على اوساط التآكل المختارة التي شملت الماء العادي والممغنط (استخدم في هذا الاختبار جهاز لمغنطة الماء من انتاج شركة الرافدين شدة مجاله المغناطيسي تساوي 500غاوس (0.05 تيسلا) وتم توصيل الماء بواسطة انابيب بلاستيكية وتم ابعاده عن اي مجال مغناطيسي او كهربائي بمسافة لاتقل عن متر). وزعت النماذج على اربعة احواض زجاجية متساوية الحجم (45x40x50) سنتمتر، حيث تم استخدام حوضين من اجل الاختبار بواسطة جهاز دورة التبليل والتجفيف حيث وضع في احدهما ماء الشرب العادي كوسط للتآكل ونفس الماء بعد مغنطته في الآخر لغرض المقارنة بينهما، واستخدم الحوضين الآخرين للأختبار بطريقة الغمر فقط، و استخدم ماء الشرب العادي كوسط للتآكل في احدهما وماء ممغنط في الآخر.وضخ الهواء بمعدل جريان قدره(.$1m^3/hr$) داخل الاحواض الزجاجية.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

جدول (1) التحليل الكيميائي لحديد الصب الرمادي

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	Ni%
3.01	2.02	0.371	0.132	0.127	0.180	0.0134	0.0851
Al%	Co%	Cu%	Nb%	Ti%	V%	W%	Pb%
0.0048	0.0106	0.236	0.0067	0.0185	0.0125	0.0147	<0.0040
Sn%	Mg%	As%	Zr%	Bi%	Ce%	B%	Zn%
0.0149	0.00097	0.0186	0.0017	<0.0040	<0.0030	0.00085	0.0080
La%	Fe%						
<0.0010	93.7						



شكل(1) نموذج الاختبار القياسي (strip corrosion coupon)

جهاز دورة التبليل والتجفيف (wet-dry cycler):

لغرض معرفة تأثير التآكل على السبائك المستخدمة عند التبليل والتجفيف تم تصميم وانشاء جهاز لإجراء دورة التبليل والتجفيف (الشكل (2)) حيث يعمل هذا الجهاز على غمر النماذج في الماء لمدة نصف ساعة ثم رفعها في الهواء للتعرض للظروف الجوية لنصف ساعة من الزمن ايضاً[21] ،ان هذا الجهاز يتكون من جزء الكتروني للسيطرة على عمل محرك كهربائي ذو تيار مباشر (DC motor) حيث يتكون الجزء الالكتروني من محولة للطاقة الكهربائية وعدد من المؤقتات(Timers) التي تعمل على تحديد زمن الغمر وزمن التجفيف. ويتم السيطرة وتحديد الزمن من خلال هذه المؤقتات حيث تعطي اشارة للمحرك بالعمل ليتم غمر النماذج اولاً وبعد فترة نصف ساعة تعطي اشارة للمحرك بالعمل ولكن بالاتجاه المعاكس ليتم رفع النماذج من الماء لفترة نصف ساعة من الزمن وهكذا وربطت على المحرك بكرة أُلف حولها خيط وعلقت في نهايته شبكة معدنيةعلقت عليها النماذج قيد الدراسة لغرض غمرها وتبليلها وتجفيفها بواسطة خطافات بلاستيكية لتكون معزولة كهربائياً ولتغمر داخل حوض زجاجي قياسه (50 × 40 ×45) سنتمتر و يوضح الشكل (2) مخطط الجهاز وصورته.

الطريقة المستخدمة لإيجاد معدلات التآكل:

تم التحضير لإيجاد معدلات التآكل للمعادن الحديدية المستخدمة وكان ذلك على عدة مراحل،هي:

إيجاد الفقدان في الوزن:

بعد اعداد النماذج بالشكل والحجم المطلوبين،تم تنظيفها وتجفيفها قبل وزنها بواسطة الميزان الحساس (Micro-Balance) وبعد اكمال وزنها تم توزيعهاعلى اوساط التآكل لإختبارها.وبعد انتهاء كل فترة اختبار(بلغت فترات الاختبار

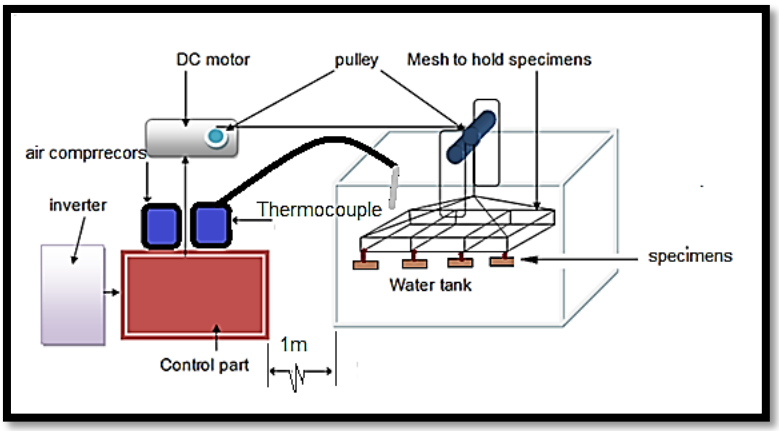
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

اسبوعان، اربعة اسابيع، ستة اسابيع، ثمانية اسابيع، عشرة اسابيع، اثنا عشر اسبوعاً) رفعت النماذج المحددة لتلك الفترة من اوساط التآكل ثم نظفت بواسطة فرشاة بلاستيكية ناعمة(فرشاة اسنان) وماء ومن ثم بإستخدام محلول كيميائي خاص للتنظيف من نواتج التآكل المكون من (500ml HCl,3.5g Hexamethylenetetramine and water to make 1000 ml) وذلك حسب المواصفة (C.3.5) للمواصفات القياسية الإختبارية [19].بعد ذلك تم غسل النماذج مباشرة بالماء وجففت بالميثانول،بعدها نقلت إلى فرن كهربائي بدرجة 80ºC لمدة ساعة لضمان جفافها كليا وذلك لإحتواء حديد الصب على الكرافيت والذي قد يمتص الماء عند ملامسته له لفترة طويلة [20] ، ثم وزنت النماذج لإيجاد الوزن الجديد.

حساب الكثافة: لإيجاد معدل التآكل لحديد الصب كان لابد من ايجاد كثافته ولغرض زيادة الدقة في النتائج تم حساب الكثافة عملياً وذلك باستخدام قاعدة ارخميدس وحسب المواصفة (ASTM-C373-88)،وتم ذلك بوزن النماذج وهي في الهواء ثم تم وزنها وهي معلقة ومغمورة في الماء المقطر'وبأستخدام المعادلة (1)تم حساب الكثافة لحديد الصب[18]، ووجد انها تساوي 7.1197 g/cm^3

$$\rho_b = \left[\frac{M_d}{M_w}\right]\rho_o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

ρ_b:الكثافة المراد حسابها، ρ_o:كثافة الماء، M_w: وزن النموذج في الماء، M_d: وزن النموذج في الهواء



-أ-

-ب-

الشكل(2) يوضح أ- مخطط لجهاز دورة التبليل والتجفيف (Wet-dry cycler) ب-صورة فوتغرافية

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

إيجاد معدل التآكل:

تم حساب معدل التآكل لحديد الصب الرمادي بأستخدام العلاقة:

$$\text{Corrosion rate(mils/year)(mpy)} = 534 \times \left(\frac{W}{DAT}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

W: فقدان الوزن (mg)، D : كثافة حديد الصب (g/cm^3)، T : مدة التعرض للتآكل (hours)،

حيث ان الـ (mils) تعادل (0.001 in) وهي وحدة قياس معدل التآكل ومن المعادلة اعلاه يتم تحديد مقياس التآكل وذلك بالاعتماد على الدالة الرئيسية لذلك وهي الفقدان في الوزن في اثناء فترة الأختبار اما ثوابت الاختبار فهي كثافة المعدن ومساحته [11].

أوساط التآكل:

تم اجراء اختبارات التآكل في ماء الشرب العادي المتداول في مدينة الموصل /الجانب الايسر وتم اجراء اختبار ثاني بأستخدام نفس الماء بعد مغنطته وذلك للمقارنة بينهما.حيث يعتبر الماء صالح للشرب عند معالجته بأضافة الكلور او الاوزون لقتل البكتريا،وان الماء الذي يستخدم في المنازل لأغراض الطبخ والأستحمام والغسيل وسقي الحدائق والتسخين والتبريد يعالج كماء صالح للشرب.

اما الماء الممغنط هو الماء الذي يمر من خلال مجال مغناطيسي قبل استخدامه مما يؤثر على ترتيب جزيئات الماء والخواص الفيزيائية والكيميائية له فعند تسليط مجال مغناطيسي على الماء فإن جزيئة الماء المستقطبة(تتكون من ذرتي هيدروجين موجبة الشحنة وذرة اوكسجين سالبة الشحنة) تترتب بشكل منتظم وبأتجاه موازي لخطوط المجال المغناطيسي وتسحب بعضها بعضاً كما لو انها مرتبطة بنابض فيعمل هذا الاستقطاب على منعها من الحركة بحرية[17]،ويتم ذلك باستخدام جهاز خاص لمغنطة الماء.وفي هذا الاختبار تم تعليق نماذج المعادن بشكل مسطح مع مراعاة وجود مسافة بين نموذج وآخر لاتقل عن خمسة سنتمترات حيث تم استخدام حوضين زجاجين لهما نفس الحجم (45x40x50)سم[21] تم تعليق وغمر ستة نماذج في احدهما كليا في ماء الشرب وغمر نفس العدد في الماء الممغنط، واستخدم نفس العدد من النماذج في الشبكة المعدنية الخاصة بالجهاز وعلى ارتفاع 25 سم (بلغ ارتفاع منسوب الماء في الحوض 17 سم) بأستخدام خطافات بلاستيكية وذلك من اجل عزل النماذج كهربائياً وتم تعريضها لعدد من دورات التبليل والتجفيف في نفس حجم الماء (العادي والممغنط) المغمورة به النماذج في الحوضين الأوليين من اجل نتائج دقيقة للمقارنة بينهما، وتم تعريض النماذج لفترة نصف ساعة من التبليل ونصف ساعة من التجفيف وبلغ زمن خروج النماذج ودخولها إلى الماء حوالي 3 ثواني.

ان اختبار التبليل والتجفيف مشابه لتطبيقات حقيقية في حياتنا اليومية حيث يتعرض المعدن للتبليل والتجفيف المستمر كما في خزانات المياه وانابيب نقل الماء بسبب اختلاف منسوب الماء في داخلها ولهذا السبب دعت الحاجة لدراستها بأستخدام الماء العادي والماء الممغنط كوسط للتآكل.وقد تم تحليل مكونات الماء فيزيائيا وكيميائيا في بداية الأختبار وفي نهاية الأختبار ويمكن ملاحظة التحليل الكيميائي والفيزيائي لماء الشرب العادي والممغنط في الجدول(2)

جدول(2) التحليل الفيزيائي والكيميائي لماء الشرب العادي والممغنط

Type of water	period	PH		$CaCO_3$ (m g / L)		Mg (m g / L)	
		Immersion	Cycler	Immersion	Cycler	Immersion	Cycler
Drinking water	Before test	8.32	8.32	0.85	0.85	0.21	0.021
	After test	8.39	8.42	0.65	0.6	0.018	0.015
Magnetic water	Before test	8.23	8.23	0.7	0.7	0.017	0.017
	After test	8.37	8.4	0.65	0.6	0.015	0.013

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

كما تم قياس درجات الحرارة للماء باستخدام المزدوج الحراري الذي تم تثبيته داخل الحوض وكان معدل درجات الحرارة في تلك الفترات مابين (21ºC -26ºC) كما تم تعويض النقص الحاصل في الماء نتيجة عملية التبخير وذلك بأضافة كميات من نفس الماء المستخدم بأستمرار.

النتائج والمناقشة:

ان النتائج التي تم الوصول اليها من اختبارات التآكل التي اجريت على نماذج من حديد الصب الرمادي تم عرضها على شكل منحنيات وجداول لتسهيل دراستها وتحليلها،كما تم تحليل النتائج ومناقشتها والتوصل إلى الاستنتاجات النهائية بشأنها وتم التركيز على العوامل المؤثرة في معدلات التآكل مثل وسط التآكل(الماء العادي والممغنط) وتأثير دورات التبليل والتجفيف وتأثير زمن التعرض للتآكل، وعرضت نماذج حديد الصب الرمادي للتآكل في الماء العادي والممغنط للمقارنة بينهما وبطريقتين للأختبار الاولى بالغمر فقط والثانية بدورات مستمرة من التبليل والتجفيف كما ذكر سابقاً و بلغت فترات التعرض للتآكل اسبوعان واربعة اسابيع وستة اسابيع وثمانية اسابيع وعشرة اسابيع واثنا عشر اسبوعاً مستمراً.

المقارنة بين تآكل حديد الصب المغمور بالماء العادي و المغمور بالماء الممغنط:

من اجل المقارنة بين الماء العادي والممغنط تم غمر ستة نماذج من حديد الصب الرمادي في الماء العادي وستة نماذج اخرى في الماء الممغنط وبفترات تآكل التي ذكرت سابقاً.

ان سبب التآكل لحديد الصب الرمادي البيرلايتي يرجع إلى خلايا التآكل الكلفانية والمتمثلة بخلايا البيرلايت الثنائية الطور اذ تكون البنية المجهرية للبيرلايت من طورين هما السمنتايت والفيرايت وعلى شكل طبقات متجاورة فيمثل السمنتايت المناطق الانودية في حين يمثل الفيرايت المناطق الكاثودية وبذلك فأنهما يمثلان اقطاب خلايا التآكل الغلفاني بين الاطوار المجهرية وبسبب اختلاف فرق الجهد بينهما وبزيادة عدد خلايا التآكل الغلفاني (السمنتايت والفيرايت) فهذا يؤدي لزيادة معدل التآكل في حين ينخفض معدل التآكل بنقصان عدد خلايا التآكل الغلفاني الذي يحدث بين الاطوار المجهرية كما ان تداخل شرائح الكرافيت التي تشكل شبكة مستمرة من الكرافيت حيث تعمل كالأسفنجة فيمتص الماء (الالكتروليت) إلى داخل بنية السبيكة وكما ذكر الرفاعي (2009)[14]،كما ان وجود الاوكسجين بوفرة في اوساط التآكل نتيجة لأستخدام ضواغط الهواء في اثناء فترة الاختبار ادى لزيادة في معدل التآكل وهذا مطابق لما ذكره الباحث M.Sancy.(2009)[15].

لقد اظهرت النتائج والمبينة بالشكل (3) ان معدل تآكل حديد الصب الرمادي في الماء الممغنط اقل من معدل تآكله في الماء العادي والسبب يعود إلى سرعة تكوين نواتج التآكل على سطح النماذج في الماء الممغنط مقارنة لتلك في الماء العادي حيث ان قلة ايونات Ca^{+} وايونات Mg^{+} في الماء الممغنط كما قد بُينت في التحليل الفيزيائي والكيميائي للماء الممغنط في الجدول(2) وهذا تماما ما اثبته الباحث C.Jack Quinn(1997) [22] في دراسته عن معالجة الماء مغناطيسيا انها تمنع الترسبات الداخلية للانابيب(لان مغنطة الماء تقلل من وجود ايونات الكالسيوم وبالتالي تقلل من تكوين كاربونات الكالسيوم) كما ان ارتفاع قيمة الرقم الهيدروجيني للماء الممغنط نسبة إلى الماء العادي اي ان الماء الممغنط يحتوي على ايونات هيدروجين اقل من الماء العادي وهذا يتفق مع ماذكره Rameen S.Abdeltwab (2011) [18] حيث ان قلة هذه الايونات تفتح المجال امام الاوكسجين المذاب في الماء ليستقبل الالكترونات وليزيل طبقة الهيدروجين في بداية الاختبار مما يسرع في تكوين نواتج التآكل على سطح المعدن والتي تعمل فيما بعد كطبقة حامية (barrier layer) حيث تعيق وصول الالكتروليت إلى سطح المعدن وبالتالي تؤدي إلى نقصان معدل التآكل، اي ان التآكل في الماء الممغنط يقل لفترة من الزمن وهذا يقترب مما استنتجه Hong Hua Ge (2010) [19].

المقارنة بين تآكل حديد الصب المعرض لدورات التبليل والتجفيف بالماء العادي والماء الممغنط:

الشكل(4) يبين منحنيين للمقارنة بين نماذج حديد الصب التي عرضت لدورات من التبليل والتجفيف في الماء العادي والممغنط وقد اظهرت النتائج ان معدل تآكل حديد الصب في الماء الممغنط اقل من معدل تآكله في الماء العادي اذا ما استثنيت مدة الاختبار الاولى(النقطة الاولى في المنحني). ان السبب في ظهور هذا المعدل العالي للتآكل في الوسطين في اول فترة(اسبوعين) انه في هذه الفترة قد حدث تكسر في طبقة الاوكسيد غير القابل للألتصاق(non adherent rust)

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

على سطح النموذج مما جعله اكثر تعرضاً للوسط الأكال فأصبحت المنطقة المغطاة كاثوداً نسبة إلى بقية السطح غير المغطى الذي اصبح آنود وهذا ادى إلى زيادة معدل التآكل حيث ان قلة مساحة الانود نسبة لمساحة الكاثود الكبيرة زاد من معدل التآكل وهذا ما استنتجه[17]A.P.Yadav (2003) الذي استنتج ان دورات التبليل والتجفيف تؤدي لزيادة في معدل التآكل والسبب يعود لتكسر طبقة الاوكسيد المتكونة بفعل الهواء وإلى الزيادة الفعالة في نقصان الطبقة الحامية بسبب زيادة ايونات الكلوريد خلال فترة التجفيف، اما في الفترة مابين الاسبوع الثامن إلى الثاني عشر فنلاحظ تقارب في سلوك حديد الصب الرمادي عند تعرضه لدورات التبليل والتجفيف في المائين العادي والممغنط فقد يعود السبب لتكوّن الطبقة الحامية من الاكاسيد الملتصقة بسطح المعدن(adherent rust) في هذه الفترة التي تعيق وصول الالكتروليت إلى سطح المعدن وبالتالي يقل معدل التآكل ويتجه المعدن نحو الاستقرار.

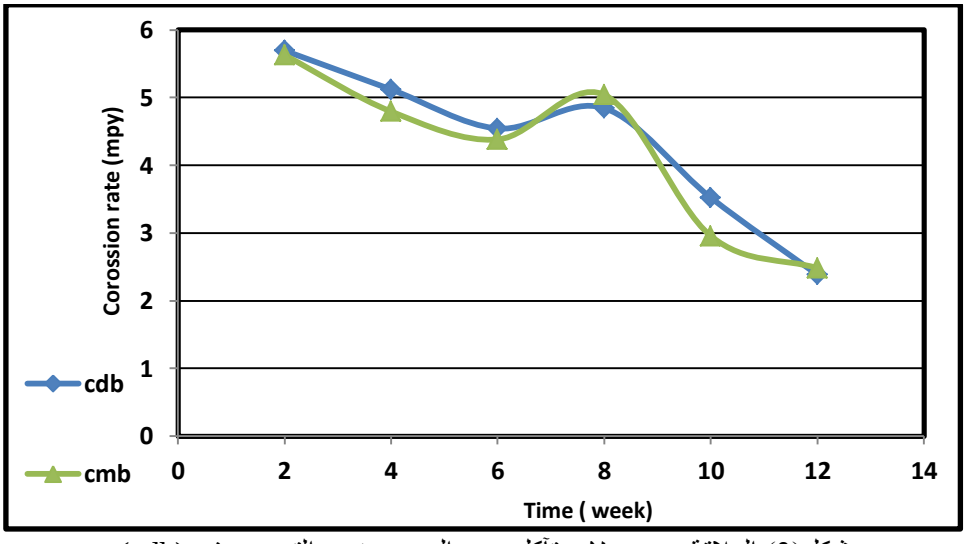
كذلك فأن قلة نسبة وجود $CaCO_3$ وايونات Mg^+ نسبة إلى الماء العادي(كما لوحظ في الجدول(2)) ادت إلى قلة تكوين الطبقة الحامية (barrier layer) على سطح النموذج مما يزيد من معدل التآكل للماء العادي. وهذا يتفق مع ماذكره الباحثانAjeel.S.A. and Hasoni.S.M[16] من ان التآكل في حديد الصب الرمادي مرتبط بالطبقة الحاجزة المترسبة.

المقارنة بين تآكل النماذج المعرضة لدورات التبليل والتجفيف والغمر بالماء العادي والممغنط:

لقد اظهرت الدراسة الحالية فرقاً واضحاً في معدل التآكل لنماذج حديد الصب الرمادي المعرضة لدورات التبليل والتجفيف عن تلك المعرضة للغمر فقط في كل من وسطي التآكل(الماء العادي والممغنط) والشكل(5) يوضح النتائج التي تم الحصول عليها، ويعود ذلك الفرق في معدلات التآكل لعدة اسباب منها تعرض النماذج المعرضة لدورات التبليل والتجفيف إلى وسطي تآكل هما تآكل بالماء وتآكل بالجو وبسبب ارتفاع زمن البلل اثناء فترة التجفيف بالهواء الجوي فأن النماذج تتعرض للتآكل بسرعة اكبر من النماذج المعرضة للغمر فقط.

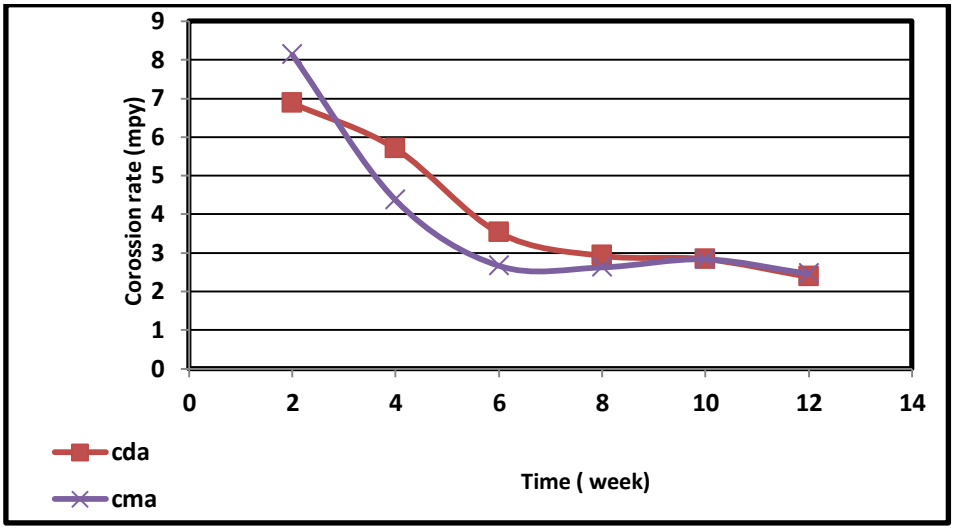
وقد يعود السبب في ارتفاع معدل تآكل النماذج المعرضة لدورات التبليل والتجفيف هو تكسر طبقة الاوكسيد المتكونة بفعل الهواء(منطقة آنود) وإلى نقصان الطبقة الحامية (منطقة كاثود) بسبب زيادة تركيز ايونات الكلوريد خلال فترة التجفيف وهذا يتطابق مع ما استنتجه [17]A.P.Yadav (2003) الذي استنتج ان دورات التبليل و التجفيف تؤدي لزيادة في معدل التآكل والسبب يعود لتكسر طبقة الاوكسيد المتكونة بفعل الهواء وإلى الزيادة الفعالة في نقصان الطبقة الحامية بسبب زيادة ايونات الكلوريد خلال فترة التجفيف.

كما اظهرت النتائج ان معدل التآكل في الماء العادي اعلى من معدل التآكل في الماء الممغنط عند تعرضها لدورات التبليل والتجفيف ويعود السبب في ذلك ان جزيئات الماء الممغنط مقيدة الحركة بسبب الاستقطاب الناتج عن المجال المغناطيسي بالاضافة إلى قلة ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم نسبة إلى الماء العادي فتعمل على اعاقة الايونات المسببة للتآكل.

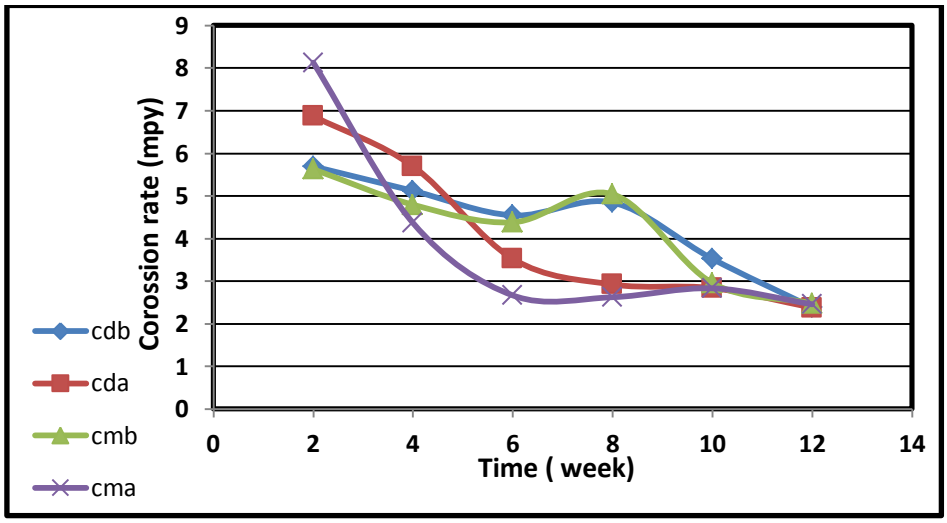


شكل(3) العلاقة بين معدلات تآكل حديد الصب وزمن التعرض في:(cdb) الغمر بالماء العادي و (cmb)الغمر بالماء الممغنط.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل(4) العلاقة بين معدلات تآكل حديد الصب وزمن التعرض في:
(cda) الغمر والتجفيف بالماء العادي و (cma)الغمر والتجفيف بالماء الممغنط.



شكل(5) العلاقة بين معدلات تآكل حديد الصب وزمن التعرض في: (cdb) الغمر بالماء العادي و (cda) الغمر والتجفيف بالماء العادي، و (cmb) الغمر بالماء الممغنط و(cma) الغمر والتجفيف بالماء الممغنط.

الاستنتـــــــاجات:

1. معدلات التآكل عند الغمر والتجفيف اكبر من التآكل عند الغمر فقط في كلا الوسطين الماء العادي والممغنط.
2. معدلات التآكل في الماء الممغنط اقل من معدلات التآكل في الماء العادي وفي كلتا الحالتين عند الغمر والتجفيف وعند الغمر فقط.

المصادر:

1. Einar Bardal,"Corrosion and protection",springer,London,(2004),p.1-2.
2. Lin Lu, "Experimental study of reverse crevice corrosion of copper",M.Sc.thesis, University of Saskatchewan, Department of Chemical Engineering,Canada,pp1-3,(2005).

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

3. R.Winstone.R,"Uhlig's corrosion handbook"2nd edition ,John Wiley and sons Inc.,(2000), New York, pp.3-343.
4. Huang R.T., "Corrosion Protection of Carago Tank", Chererson shipping company, Tokyo, Japan,(2000).
5. M.E. Botello –Zubiate ," Influence Of Magnetic Water Treatment On The Calcium Carbonate Phase Formation And The Electrochemical Corrosion Behavior Of Carbon Steel" ,Journal of Alloys and Compounds 369 (2004) 256–259.
6. I. J. Lin , and , J. Yotvat " Exposure Of Irrigation And Drinking Water To Magnetic Field With Controlled Power And Direction",Jornal of magnetism and magnetic materials,(1990),pp.525-526
7. Ahmed.Saddam.M.,"Effect Of Magnetic Water On Engineering Properties Of Concrete",Al-Rafidain engineering,Vol.17,No.1,(2009).
8. Rameen S. AbdelTawab ,et.al.," Testing Commercial Water Magnetizers: A Study Of TDS and PH" Fifteenth International Water Technology Conference, IWTC -15 (2011), Alexandria, Egypt.
9. Makar, J.M.,Rajani.B.B ,"Grey Cast Iron Metallurgy", Jornal Of Materials In Civil Engineering, Vol.12, No.3,(2000),PP.245-253.
10. A.P. Yadav ,et.al." Electrochemical Impedance Study On Galvanized Steel Corrosion Under Cyclic Wet–Dry Conditions—Influence Of Time Of Wetness". Japan(2003).
11. Al-Rifay.Sabhan.H."Corrosion Behavior Investigation Of Graphite Containing Cast Irons as composite Material Using Local Selected Corrosion Environments", M.Sc. thesis, University of Mosul, Mechanical Engineering, Iraq, Mosul, (2009).
12. M. Sancy,et.al," Mechanism Of Corrosion Of Cast Iron Covered By Aged Corrosion Products: Application Of Electrochemical Impedance Spectrometry", Corrosion ScienceVol. 52, Issue 4, (2010), PP. 1222-1227.
13. Ajeel.S.A. and Hasoni. S.M., "Ductile And Grey Cast Irons Deterioration With Time In Various NaCl Salt Concentrations",Eng. & Tech.Vol.26,No.1,(2008).
14. Hong-Hua Ge,et.al.," Scale Inhibition of Electromagnetic Water Treatment and Corrosion Behavior of Carbon Steel in Simulated Water",Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE), (2010).
15. L. A. Huchler ,et.al.," Non-chemical Water Treatment Systems: Histories, Principles and Literature Review" ,International Water Conference, Pittsburgh, PA, (2002).
16. G.Bikul'chyus et.al.," Corrosion Behavior Of Low Carbon Steel In Tap Water Treated With Permanent Magnetic Field" ,protection of metals,Vol.39,No.5,PP.443-447.(2001).
17. C. Jack Quinn," Magnetic treatment of water prevents mineral build-up",Iron and Steel Engineer, (1997), 47-53.
18. ASTM G4 Standard, "Conducting Corrosion Coupon Tests in Plant Equipment," American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
19.ASTM Designation :G1-90,"Standard Practice For Preparing,Cleaning,And Evaluating Corrosion Test Specimens".
20. Cao X.And Xu .C.C.,"Effect Of Chloride On The Atmospheric Corrosion Of Simulated Artifact Iron In NO_3 Bearing Pollutant Environment",ACTA Metallurgical Since English Letters.Vol.19,No.1,Pp34-42,(2006).
21. "ASM handbook",vol.13,USA, (1987) pp.496-498.

The work was carried out at the college of Engineering. University of Mosul

www.manaraa.com