

تأثير ملوحة مياه نهر دجلة في مقاومة التآكل للفولاذ منخفض الكربون (St37)

م.م سهام حسين إبراهيم م.م إخلاص احمد عبد الرزاق م.م إزهار عبد الحسين إبراهيم
هيئة التعليم التقني – معهد التكنولوجيا – بغداد

الخلاصة :

نفذ هذا البحث لدراسة تأثير ملوحة مياه نهر دجلة في مقاومة التآكل الكهروكيميائي لفولاذ منخفض الكربون St37، جمعت كميات من مياه نهر دجلة من أربعة مناطق مختلفة في مدينة بغداد هي (التويثة والدورة والباب الشرقي وباب المعظم) وقدرت فيها بعض الصفات الكيميائية وتحديد نوعيتها، استخدمت عينات من الفولاذ منخفض الكربون St37 بالأبعاد $1.5 \times 1.5 \times 0.5$ cm وفق المواصفة القياسية ASTM G71-31. اجري اختبار التآكل كهروكيميائي للمعدن بطريقة المجهاد الساكن بإمرار تيار كهربائي في خلية تتألف من قطبين أحدهما عينة الاختبار والثاني قطب من الكالوميل القياسي عند جهد (-0.44 فولت) حدد من دائرة مفتوحة حسب موقع المعدن في السلسلة الكهروكيميائية، بعدها تم زيادة الجهد الى $(\pm 1.0$ ملي فولت) حيث تم قراءة التيار عند كل 10 ملي فولت ورسم العلاقة بين الجهد والتيار ومن نتائج السلوك الكاثودي والانودي واللذان تم تمثيلهما بمنحنين. رسم مستقيمان يمثلان ميل هذه المنحنين وان نقطة تقاطع المستقيمان تمثل قيمة تيار التآكل الذي يؤدي إلى تغيير في الجهد واعتمادا على معادلة تافل تم احتساب معدل التآكل.

أوضحت نتائج اختبار التآكل بأن أعلى معدل للتآكل كان في الوسط الذي يمثل الماء في منطقة باب المعظم (نحو ملوحة $983 \mu s/m$ عند درجة $25^\circ C$) لوجود نسبة كلوريدات أعلى من معدلاتها في المياه الأخرى إضافة إلى ارتفاع كمية الأوكسجين المذاب فيها، والذي يؤدي الى تكون الصدأ الناتج من اتحاد الأوكسجين مع الحديد. في حين أظهرت نتائج التآكل في المناطق الأخرى معدلات تآكل متقاربة.
المفتاح : ملوحة المياه؛ تآكل الفولاذ منخفض الكربون St37؛ التآكل الكهروكيميائي.

The Effect Of Tigris River Water Salinity On Corrosion Resistance Of Low Carbon Steel (St37)

Asst. Lecturer

Asst. Lecturer

Asst. Lecturer

Siham Hussein Ibrahim

Ikhlas Ahmed Abd Al-Razak

Azhar Abd Al-Hassan Ibrahim

Technical education Institution-Technology institute-Baghdad

Abstract :

The aim of this work is to study the effect of Tigris river water salinity on the corrosion resistance of low carbon steel (St37). Water samples were collected from four location in Baghdad city (Towitha, Doraa, Bab - Alshrke and Bab- Almouadem), some chemical properties were measured and its quality were classified. Specimens were prepared in dimensions of (1.5 X 1.5 X 0.5 cm) according to ASTM G71-31. Corrosion tests were investigated by electrochemical potential state cell where the test specimen represents the positive electrode (anode) while standard calomel electrode (SCE) represents the cathode, the voltage was determined by open circuit and compared with the positional of metal in the electrochemical series it is found equal to (-0.44volt) then voltage was

increased ± 100 mv, at each 10mv increasing the current was registered, the cathodic and anodic behavior drawn as curves the slopes of them represented by a line of interaction which will represent the corrosion current, then corrosion rate calculated by Tafel equation.

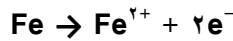
The results of corrosion test showed that the river water from Bab – Almouadem area (with salinity $983 \mu s/m$ at $25^\circ C$) gives the highest corrosion rate because of the high percentage of chloride in comparison with another waters also increasing in the dissolved oxygen which combined with iron to form iron oxide, while the other areas give very close values of corrosion rate.

Key world: water salinity; corrosion resistance of low carbon steel (St^{3V}); Electrochemical corrosion.

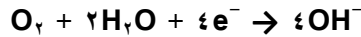
المقدمة :

يستخدم الفولاذ في صناعة أجزاء من وسائل النقل البحرية ومعظم أجزاء وسائل النقل البرية وكذلك في أنابيب نقل البترول وهياكل البنائيات والجسور^[1]. ونظراً لأهمية الفولاذ في التطبيقات الهندسية ومقاومته الضعيفة للتآكل في معظم الأوساط، لذا فقد اهتم العديد من الباحثين في دراسة مقاومته للتآكل والبحث عن الوسائل الممكنة لتلافي هذه الظاهرة. إن التآكل هو فشل يصيب المعدن نتيجة تفاعل كيميائي أو كهربائي مع الوسط الموجود فيه المعدن، فالتآكل الكيميائي ينشأ بسبب التفاعل المباشر بين المعدن أو السبيكة مع البيئة المتصلة به، إما التآكل الكهروكيميائي فينشأ بسبب تيار كهربائي يتعرض له المعدن نتيجة تسليط جهد خارجي، أو تآكل ناتج عن تفاعل كلفاني. يتخذ التآكل عدة أشكال اعتماداً على ظروف الوسط ومن أنواعه تآكل منتظم، تآكل إجهادي، تآكل تقصف الهيدروجين، تآكل ما بين الحدود الحبيبية، تآكل التعرية، تآكل نقري، تآكل التقشر.

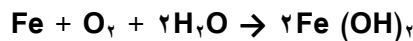
إن التيار الكهربائي المسبب للتآكل ينشأ من سريان الأليكترونات من المنطقة الكاثودية إلى المنطقة الانودية من خلال التربة أو الماء وعند تلامس الحديد مع الماء المحيط بالهيكل المعدني تفقد ذرات الحديد الكثرونات تحوله إلى أيونات الحديد الموجبة وكما يلي:



هذه الأليكترونات تتحد مع الأوكسجين المذاب بالماء مكونة أيون الهيدروكسيد.



أيونات الحديد تتحد مع أيونات الهيدروكسيد مكونة هيدروكسيد الحديد



ويستمر التفاعل تتكون هيدرات الحديد المؤكسدة التي تعرف بالصدأ.



هناك العديد من العوامل تؤثر على معدل تآكل المعدن في الوسط السائل منها:

١. موقع المعدن في السلسلة الكهروكيميائية، وهذا الموقع يعتمد على جهد الأختزال القياسي للمعدن فكلما كانت قيمة جهد الأختزال أقل من الصفر فان ذلك يدل على ان المعدن له قابلية للأكسدة.
٢. درجة حموضة الوسط أي الأس الهيدروجيني للمحلول، ان زيادة درجة حامضية الوسط والنتيجة عن اتحاد أيون الهيدروجين الموجب مع أيون الكلور السالب لتكوين حامض يساهم في تكسر طبقة الصدا التي يكونها المعدن ليتعرض المعدن للتآكل من جديد.
٣. درجة الحرارة، ان زيادة درجة الحرارة تزيد من سرعة تفاعلات التآكل.
٤. وجود عوامل مسرعة أو مثبطة لعملية التآكل، وهي مواد تغير من فرق الجهد الكهربائي وبالتالي اما تزيد او تنقص من معدل التآكل للمعدن.
٥. لسرعة حركة الوسط تأثير واضح على معدل التآكل بزيادة حركة الوسط مسببا تآكل التعرية بينما يقل في التآكل العام لمساهمة السرعة في ابعاد الالكترونات من التجمع على اللاقطاب.
٦. مكونات الوسط، من حيث نوع العناصر التي يتكون منها الوسط المائي وتراكيزها، مثل O_2 ووجود أيونات مؤكسدة اخرى مثل أيونات Ag^+ او Fe^{2+} التي يمكن ان تختزل وبالتالي تؤدي لتآكل المعدن ويعتبر الأوكسجين أكثر عامل مؤكسد له تأثير في عملية التآكل، وتميل غالبية المعادن للتآكل في وجود الأوكسجين ومن المعروف أن سرعة التآكل في وجود الأوكسجين أكثر بكثير منها عند غيابه. وتوجد أحيانا بعض الملوثات التي قد تزيد من حدة التآكل مثل ثاني أكسيد الكبريت حيث وجد أن هناك ارتباط كبير بين مستوى التلوث بثاني أكسيد الكبريت ومعدل تآكل الخارصين والحديد الصلب.
- وقد يسرع التآكل بوجود كائنات ميكروبية أما بسبب تكوينها مواد عنيفة (Aggressive) مثل البروتونات وأيونات الكبريتيد أو لأنها تحفز التفاعلات الكهروكيميائية. وغالبية هذه الكائنات الفعالة هي بكتيريا طولها (١-٥ μm) وتقوم إما باختزال أو أكسدة مركبات الكبريت كجزء من عملها^[٧].

لقد تناول العديد من الباحثين في دراستهم العوامل المؤثرة في مقاومة المعادن للتآكل منهم:

- الباحث M.ORUC واخرين^[٤] حيث دراسوا تأثير الظروف الجوية في مقاومة التآكل للفولاذ St٣٧، وتحديد أفضل الظروف الملائمة لاستخدامه، وبشكل أكثر أمان لتقليل الخسائر الاقتصادية الناجمة عن استخدام هذه السبيكة.
- اما الباحثة Kamilia Gruskevica واخرين^[٥] فقد درسوا تأثير تغير سرعة الوسط في مقاومة التآكل في الأنابيب الفولاذية وتوصل الى أن مقاومة السبيكة للتآكل تزداد في الوسط الذي يكون فيه سرعة الجريان منخفضة أو معتدلا وبنسبة ٢٠-٥٠%، مقارنة بالجريان السريع.
- في حين تناول ليث يوسف يعقوب^[٦] مقاومة حديد التسليح للتآكل في عدة إوساط مائية مختلفة الملوحة (ماء البحر وماء المطر وماء الإسالة)، وتوصل الى ان ماء البحر هو أكثر تأثيرا في التآكل وكذلك ماء المطر بسبب زيادة تركيز أيونات الكلور الذائبة فيها مقارنة بماء الإسالة.
- اما سعد متي بطرس^[٧] فقد درس سلوك التآكل لثلاث أنواع من الفولاذ وفي وسطين مائين احدهما بحري والآخر نهري ووجد ان معدل التآكل لكافة انواع الفولاذ المدروس وفي ماء البحر قد كان أعلى مقارنة بماء النهر، وعزى السبب في ذلك الى تغير قيم الاس الهيدروجيني للماء، وعند دراسته لمعدل التآكل لنفس أنواع الفولاذ في ثلاث مياه نهريّة مختلفة في درجة ملوحتها، وجد ان زيادة ملوحة الوسط تزيد من معدل تآكل الفولاذ بسبب اختلاف مكونات الوسط .

الجانب العملي

حيث تضمن ما يلي :

١- اختيار المعدن

تم اختيار الفولاذ منخفض الكربون St37 والتعرف على تركيبه الكيميائي باستخدام جهاز المطياف والجدول (١) يوضح ذلك.

الجدول (١) التحليل الكيميائي للمعدن المستخدم في الدراسة.

Wt% of element	C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	Co	V	W	Ai	Ni	P	S
Actual value %	٠.٢	٠.٠٠٩	٠.٦٥	٠.٠١١	٠.٠٠٤	٠.٠٠٤١	٠.٠٠٤	٠.٠٠٠٩	٠.٠٠٣	٠.٠٠١	٠.٠٠٢	٠.٠٠٩	٠.٠٠٥
Standard value %	٠.١٨- ٠.٢٣	٠.٠١	٠.٣- ٠.٦	-	-	-	-	-	-	-	-	٠.٠٠٤	٠.٠٠٥

٢- تصنيع عينات الاختبار

تم تصنيع عدد من عينات اختبار التآكل من المعدن المستخدم وفق المواصفة القياسية للاختبار G٧١-٣١ ASTM. وبأبعاد هي (١.٥سم×١.٥سم×٠.٣سم).

٣- فحص البنية المجهرية للمعدن

من أجل التعرف على البنية المجهرية للمعدن المستخدم في الدراسة، تم تحضير عينة منه للفحص بعد إمراره بمراحل تضمنت التنعيم بورق تنعيم بدرجات من ١٨٠ – ٢٤٠ – ٣٢٠ – ٥٠٠ – ٨٠٠ – ١٠٠٠. صقلت بعدها بقماش صقل خاص مع محلول الألومينا ذو حجم حبيبي (٠.٠٠٠٢ mm) [٢]. بعدها تمت المعالجة الكيميائية للسطح باستخدام محلول النيترال المتكون من ٢% حامض نيتريك و ٩٨% كحول مثيلي، بعدها تم فحص البنية المجهرية للمعدن وتصويره بواسطة مجهر ضوئي بقوة تكبير ٤٠٠X، وكما موضح في الشكل (١).

٤- عينات مياه النهر

جمعت كميات من مياه نهر دجلة وواقع ٢.٥ لتر على بعد ٥ أمتار عن ضفة النهر في اوعية معقمة عند أربعة مناطق مختلفة في مدينة بغداد وهي (التويثة والدورة والباب الشرقي وباب المعظم)، وقدرت فيها مباشرة بعض الصفات الكيميائية وتحديد نوعيتها حيث استخدم جهاز قياس دالة الحامضية نوع (Werkstatten (Germany) ، وجهاز قياس التوصيل الكهربائي نوع (Werkstatten (Germany) وقياس الأوكسجين المذاب باستخدام جهاز Shimadzu-Lc-٦A(Japan) ، واستخدمت طريقة الكشف المباشر Direct Microscopy لتحديد كثافة المجاميع البكتيرية في المياه وحسب الطريقة الواردة في [٨].

اختبار التآكل الكهروكيميائي

أ- تهيئة الوسط المائي

تم تهيئة الوسط المائي للاختبار من مصادر مياه لنهر دجلة المذكورة أعلاه.

ب- اختبار التآكل بطريقة المجهاد الساكن

تم إجراء اختبار التآكل باستخدام جهاز المجهاد الساكن (potentiostat) نوع (Mlab ٢٠٠ of Bank Elec). ذو منشأ المائي معدل سرعته تساوي ٣ mV./Sec باستعمال الخلية الكهروكيميائية المبينة في الشكل (٢) ثلاثية الأقطاب والتي تتكون من:

- ١- القطب العامل يمثل العينة المراد اختبارها.
- ٢- القطب المسرع يمثل القطب الذي تتجمع عنده الألكترونات المتحررة من قطب الأنود، والمصنعة من البلاتين في هذه الخلية.
- ٣- قطب الكالوميل القياسي (SCE) Calomel electrode.
- ٤- محلول الوسط الأليكتروليتي وهو مياه نهر دجلة التي جمعت من أربع مناطق مختلفة.
- ٥- مصدر للتيار الكهربائي.

ت- آلية عمل الخلية

يتم إمرار تيار كهربائي عند جهد يتم تحديده حسب نوع المعدن من دائرة مفتوحة، وحسب موقع المعدن في السلسلة الكهروكيميائية، وقد وجد بأن الجهد هو -٠.٤٤ ملي فولت بعدها تم زيادة الجهد ± ١٠٠ ملي فولت حيث تم قراءة التيار عند كل ١٠ ملي فولت (حيث تم اختيار هذا المدى لمعرفة السلوك العام)، بعدها رسمت العلاقة بين الجهد والتيار ومن ميل المستقيم الناتج للسلوك الكاثودي والأنودي ونقطة تقاطع المستقيمين حدد قيمة تيار التآكل الذي يؤدي الى تغيير في الجهد. بعدها تم حساب معدل التآكل اعتماداً على معادلة تافل^[٧] وكما موضح في المعادلة التالية:

$$C.R (mpy) = ٠.١٣ * I_{corr} * eq.wt/ d$$

حيث ان:

mile per year = mpy (ملي لكل سنة)

I_{corr} = corrosion current density, ($\mu A/cm^2$) (كثافة تيار التآكل)

equivalent weight of the corroding species = eq.wt (الوزن المكافئ للعينة)

density of the corroding species, (g/cm^3) = d (كثافة المعدن المتآكل)



الشكل (٢) الخلية الكهروكيميائية المستخدمة في الدراسة.

النتائج والمناقشة

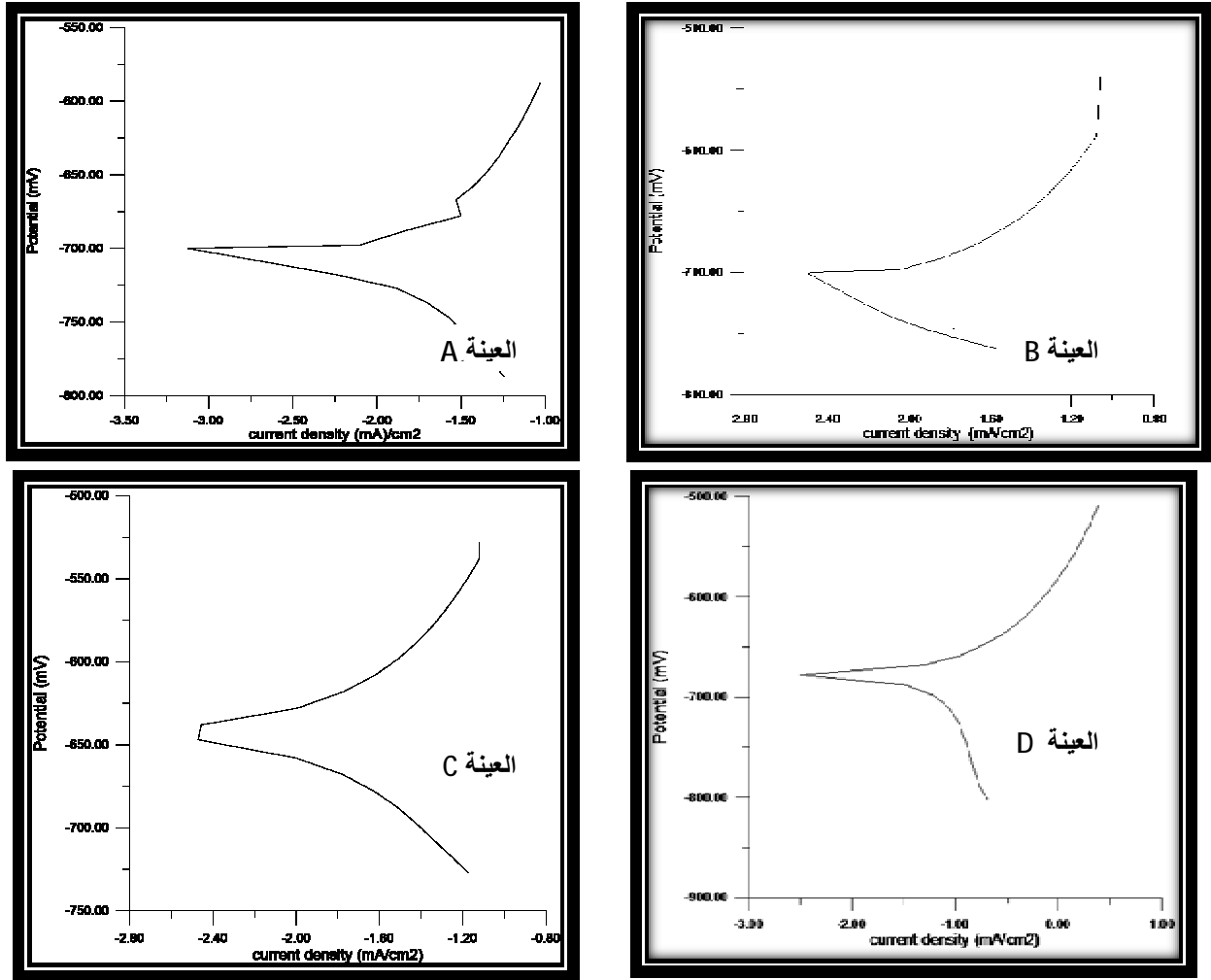
يوضح الجدول (٢) بعض الصفات الكيميائية لمياه نهر دجلة عند المناطق المنتقاة للدراسة، حيث يتضح ارتفاع الموصلية الكهربائية لنماذج مياه نهر دجلة عند موقع باب المعظم مقارنة بالمواقع الأخرى، مع تميزه بانخفاض حامضيتها التي بلغت ٧.٤ مقارنة بباقي المواقع التي بلغت عندها كمعدل ٧.٦. أن قيم الحامضية المقاسة لكافة عينات الماء المستخدمة في الدراسة تشير الى أن الماء المستخدم هو متعادل الحامضية. إلا أن كمية الأملاح الذائبة في المياه والمشار إليها بدلالة الموصلية الكهربائية فقد كانت متفاوتة في قيمها، وذلك حسب قرب عينة الماء من مصادر التلوث. وأن ارتفاع الموصلية الكهربائية لمياه النهر عند موقع باب المعظم قد انعكس على محتوى هذه المياه من الكلوريدات التي ازدادت بنسبة ٣٣.٣ % مقارنة ببقية مياه المواقع قيد الدراسة. إما من حيث كمية الأوكسجين الذائب في مياه المواقع فالملاحظ من الجدول (٢) بأنها قد تراوحت بين ٥٣ - ٧٩ % حيث سجل إدى تركيز عند موقع التويثة في حين أعلى تركيز لهذا المكون كان عند موقع باب المعظم.

يوضح الجدول (٣) والشكل (٣) النتائج التي تم الحصول عليها بعد اختبار التآكل الكهروكيميائي الذي اجري على الفولاذ منخفض الكربون St٣٧، حيث أظهرت عينات المجموعتين D و C أعلى في معدل التآكل مقارنة بعينات المجموعتين B و A، ويعزى هذا التفاوت في مقدار معدل التآكل الى كون عينات المجموعتين C و D قد غمرت في مياه نهر دجلة في منطقتي الباب الشرقي وباب المعظم، حيث تمتاز كلاهما بارتفاع كمية الأوكسجين الذائب فيهما والموضحة نتائج فحوصاتهما في الجدول (٣)، أن اتحاد الأوكسجين مع الحديد المكون للسبيكة يكون اوكسيد الحديد الذي يطلق عليه تسمية الصدأ. ويوضح الشكل (١) البنية المجهرية للمعدن قبل المعاملة، والذي يمثل الأطوار المكونة للمعدن والتي هي البرلايت والفرايت اللذان يتحدان مع الأوكسجين المولد للتآكل، في حين أن معدل التآكل في عينات المجموعة A و B قد كان أقل وذلك لنقص كمية الأوكسجين الذائب فيهما ولوجود البكتريا الناجمة عن رمي الفضلات في النهر عن طريق شبكة الصرف

الجدول (٢) نتائج الفحوصات المختبرية لمياه نهر دجلة المستخدمة في الدراسة.

النتائج	نوع العينة	الايصالية الكهربائية	تركيز الكلوريد ملي مكافئ/لتر	الرقم الهيدروجيني pH	العدد الكلي للبكتريا في العينة No./ml	كمية الأوكسجين (%) المذاب في الماء
التويثة	A	٨٩٢	٣.١٣	٧.٦	٩٢	٦٨
الدورة	B	٨٨٣	٣.٠٣	٧.٦	١١٢	٥٣
الباب الشرقي	C	٨٩٣	٣.١٦	٧.٥	٥٦	٧٤
باب المعظم	D	٩٨٣	٤.١٤	٧.٤	٧١	٧٩

الصحي عند هاتان الموقعان، حيث تتغذى هذه الميكروبات وتتغذى الأوكسجين الذائب في الماء مسببة نقصاناً في قيمه مما ساهم في التقليل من التآكل أي عملت كمثبط للتآكل (الجدول ٣). أن ارتفاع كمية الأملاح الذائبة في عينة الماء عند

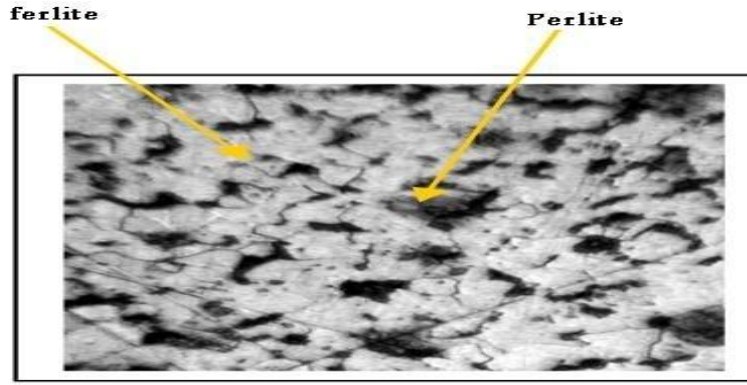


الشكل (٣) نتائج التآكل الكهروكيميائي لمجاميع العينات قيد الدراسة.

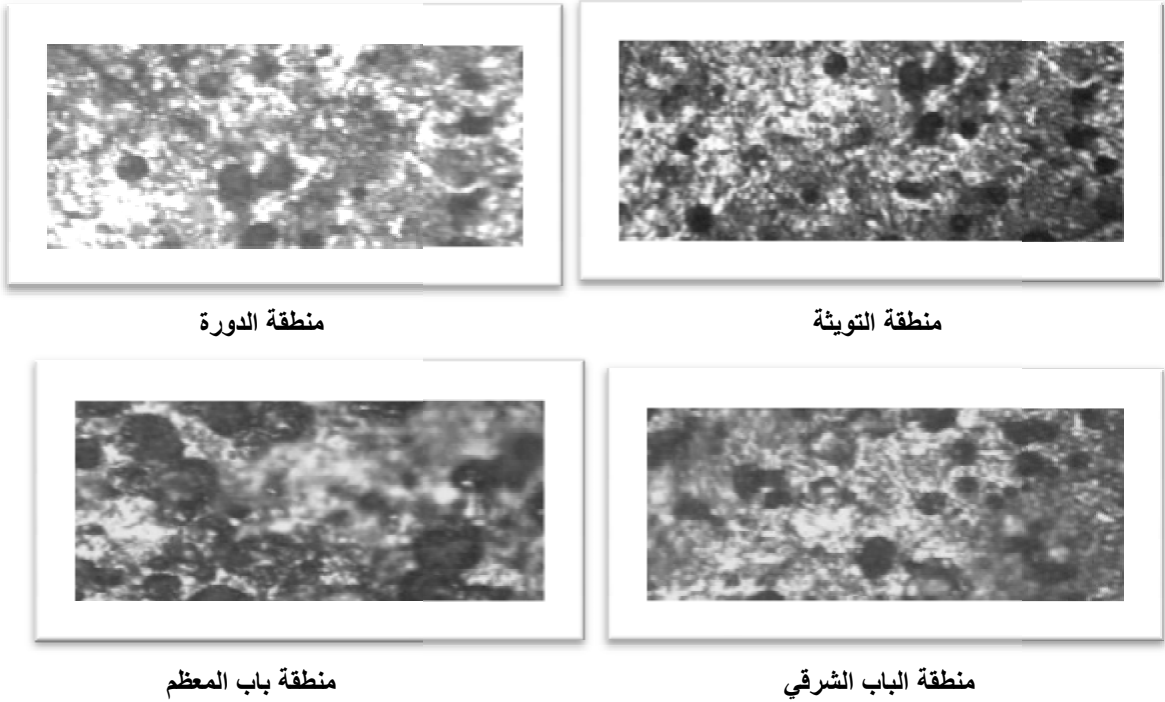
منطقة الباب الشرقي (D) قابلها أعلى تركيز للكلورايت مما سبب في زيادة سرعة تآكل السبيكة في مثل هذه الظروف. أن النتائج الموضحة في الجدول (٣) تشير بان ارتفاع قيمة خاصية التوصيل الكهربائية Electrical Conductivity في العينة D قد أظهرت أقل مقدار جهد تآكل، وبالتالي زيادة التآكل للسبيكة تحت هذه الظروف نتيجة تقليلها مقدار الهبوط في جهد الماء. والشكل (٤) يوضح البنية المجهرية للسبيكة بعد معاملتها بمياه نهر دجلة حسب المواقع المنتقاة للدراسة.

الجدول (٣) نتائج اختبار التآكل الكهروكيميائي التي اجريت على كافة مجاميع العينات.

رمز العينة	كثافة تيار التآكل $\mu A/cm^2$	فرق الجهد بالملي فولت	معدل التآكل (MPY)
A	٨.٠٦	-٦٤٧.٦	٣.٥٤٦
B	٨.٧٧	-٧٠٩.٤	٣.٨٥٨
C	١٢.٠٣	-٦٤٥.٢	٥.٢٩٣
D	١٣.٣٤	-٥٢٢.٥	٥.٨٦٠



الشكل (١) البنية المجهرية للفولاذ المستخدم في الدراسة بقوة تكبير $400\times$ قبل المعاملة بمياه نهر دجلة.



الشكل رقم (٤) يوضح صور التآكل للسبيكة بعد معاملتها بمياه المناطق المنتقاة للدراسة بقوة تكبير $400\times$.

الاستنتاجات

- ١- ان مياه منطقة الباب المعظم قد أعطت أعلى معدل تآكل بسبب ارتفاع كمية الأوكسجين المذاب في الماء.
- ٢- العينة B أظهرت أكثر سالبية للجهد من بقية العينات وهذا يعني أن العينة المغمورة في وسط مدينة الدورة أكثر ميلا للتآكل.
- ٣- أظهرت صور البنية المهجرية للمعدن والتي هي البرلايت والفرايت هما اللذان يتحدان مع الأوكسجين المولد للتآكل، وقد أظهرت صور التآكل بعد الاختبار أن نوع التآكل هو من نوع التآكل العام.
- ٤- النسب المتقاربة لمقدار الأس الهيدروجيني أكدت أن مصادر المياه للمناطق التي تناولها البحث هي مياه متعادلة كيميائياً مما ساهم في تقليل معدل التآكل.

المصادر

- ١- Alstom Bosch, "Corrosion of Carbon Steel", key to Metals Steel, ٢٠٠٠.
- ٢- Dieter Landolt, "Corrosion and surface chemistry of metals", EPFL Press, Italy, ٢٠٠٧.
- ٣- L. L. Shreir, R. A. Jarman and G.T. Burstein, " Corrosion Control ", ٣^{ed} Vol. ٢, ٢٠٠٣
- ٤- M. Oruc, H. Babahmetovic and D. Pihura," Resistance to atmospheric corrosion of low-carbon steel grade weight ٣٧" Metalurgija, ٤٣(٢)١٣٥-١٣٩, ٢٠٠٤.
- ٥- Kamilia Gruskevica, Kristina Tihomirova, Talisjuhna and Stein W. Qstehus'" Influence of Water velocity and composition on corrosion of iron pipes', J. Al-Aqsa Univ., ١٠ (S.E.) ٢٠٠٦.
- ٦- ليث يوسف يعقوب " تقييم مقاومه التآكل للحديد المستخدم في تقوية الخرسانة الكونكريتيه في اوساط مائيه مختلفه" مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد ٤، ٤١ - ٣٣ pp، ٢٠١١.
- ٧- سعد متي بطرس" قياس معدلات التآكل في المعادن المختلفه وفي بيئات مختلفه للاستخدامات في الصناعات البحرية" مجلة أبحاث البصرة (العلميات)، العدد الحادي والثلاثون، الجزء الأول ٣٠-٤١ pp، ٢٠٠٥.
- ٨- Chapman H.D. and P.F. Pratt," Methods of analysis for Soil, Plants and Waters". Univ. of California. Division of Agric. Sci. pp.٦٨, ١٩٦١.