

دراسة مقارنة معدلات تآكل حديد التسليح المنتج محلياً والمستورد في أوساط مائية مختلفة

أ. سالم علي جبريل¹ أ. خالد عبد المجيد سويب² أ. عائشة محمد القفال³
كلية التقنية الصناعية مصراته¹ كلية العلوم - جامعة مصراته² كلية العلوم والتقنية- مصراته³
Salemjeb@gmail.com¹

الملخص:

في هذه الدراسة تم حساب معدلات التآكل لحديد التسليح المحلي والمستورد الموجود بالسوق المحلي في الأوساط المائية التالية (ماء الشرب ، ماء المطر ، ماء البحر) بطريقة فقد الوزن في الأزمنة (192 - 960) ساعة في درجة حرارة الغرفة ، حيث أشارت النتائج المتحصل عليها أن أعلى معدل تآكل لحديد التسليح بنوعيه المحلي والمستورد كان في ماء البحر ، كما أشارت النتائج أيضاً أن حديد التسليح المحلي أقل تآكلاً من حديد المستورد بفارق بسيط في جميع الأوساط المائية المستخدمة في هذه الدراسة ، كما تمت دراسة تأثير إضافة مركب أحادي هيدرات فوسفات الصوديوم ثنائية الهيدروجين (Sodium di hydrogen phosphate monohydrate) كمادة مثبطة للتآكل لحديد التسليح بنوعيه المحلي والمستورد في ماء البحر باعتباره الوسط الأكثر شراسة في تآكل الحديد، حيث أظهرت نتائج الدراسة أن نسبة كفاءة المثبط في حديد التسليح المحلي والمستورد كانت متقاربة، حيث وصلت في الحديد المحلي إلى 84.23% عند زمن 192 ساعة (8 أيام)، وفي الحديد المستورد وصلت إلى 83.53% عند زمن 192 ساعة (8 أيام) ، ثم بدأت تتناقص كفاءة المثبط بمرور زمن التعرض حيث وصلت إلى 79.94% و 79.03% لحديد التسليح المحلي والمستورد على التوالي عند زمن التعرض 960 ساعة (40 يوم) وبالرغم من ذلك تعتبر ذات فاعلية عالية نسبياً ، يمكن استخدامها كمادة مثبطة للحد من التآكل.

الكلمات المفتاحية: حديد التسليح، فقد الوزن، التآكل، كفاءة المثبط، المحلي، المستورد .

المقدمة :

يعتبر التآكل من الظواهر الطبيعية التي لا يمكن منعها ولكن يمكن الحد منها. ويعد تآكل حديد التسليح من أهم المشاكل التي تعاني منه معظم بلدان العالم مما يسببه من انهيار المنشآت الصناعية كالمباني والجسور و المنشآت البحرية، وأيضاً المنشآت المعرضة الى المياه الجوفية التي تحتوي على أيونات الكلوريدات التي تؤدي إلى انفصال طبقات من سطح أسياخ حديد التسليح، والتي ينتج مشاكل عنها لا حصر لها. كما أن للتآكل تأثيرات سلبية على البيئة كتلوث التربة و مياه الشرب. وأيضاً يترتب على التآكل تكاليف مادية ضخمة، ففي الولايات المتحدة الأمريكية على سبيل المثال تقدر تكلفة التآكل السنوية في العقد الماضي بحوالي 150 مليون دولار نتيجة لمشاكل التآكل في المباني والجسور بسبب إذابة الجليد باستخدام الملح. وفي بريطانيا أيضاً تقدر تكلفة إصلاح الجسور نتيجة للتآكل في حديد التسليح بحوالي 616 مليون جنيه إسترليني [1].

يعرف التآكل بأنه " فشل يصيب سطح المعدن ينتج بسبب عوامل كيميائية أو بسبب عوامل كيميائية تساعدها عوامل ميكانيكية متوفرة في الوسط الذي يعمل في المعدن [2]."

ويعرف أيضاً بأنه تلف أو تحلل المواد المعدنية كيميائياً بصورة تدريجية مما يؤدي لفقد لقوتها وممانتها متحولة الى مواد هشة نتيجة لتفاعلها الكيميائي أو الكهروكيميائي مع الأوساط المحيطة في وجود وسط مساعد مثل الحرارة و الرطوبة أو الأملاح وأيضاً هو رد فعل كهروكيميائي للمعادن المحاطة بمواد كيميائية من التربة أو الماء و هذه تشكل خلايا توصيل تولد الكهرباء نتيجة فرق الجهد الطبيعي بين المعادن و الذي ينتج عنه ذوبان المعدن الأكثر نشاطاً [3-6].

ويمكن تقسيم التآكل، نسبة إلى العوامل المسببة له، على النحو الآتي:

أ- تآكل فيزيائي، ينتج عن تأثر سطح المادة بالعوامل الفيزيائية، مثل الحرارة والرطوبة والضغط المرتفعة والإجهادات الميكانيكية، وغير ذلك.

ب- تآكل كيميائي، ينتج عن تأثير الأوساط الكيميائية الفعالة، السائلة أو الغازية على سطح المادة، مثل الهواء الجوي والأحماض والقواعد، وغيرها.

ج- تآكل بيولوجي، ينجم عن تأثير الكائنات الحية الدقيقة، كالبكتريا والفطريات، على سطح المادة.

وبما أن التآكل المعدني هو تفاعل بين المعدن والوسط التآكلي (الوسط المحيط) لذا لا بدّ من الوقوف على نوعية المعدن وطبيعته من حيث قابليته للتآكل [2].

وبشكل عام فإن معدل تآكل الحديد في المحاليل المائية عند درجات الحرارة الاعتيادية يعتمد بشكل كبير على كمية الأكسجين المذاب، أيضا تلعب الاملاح دورا مهما في معدلات تآكل المعادن سواء سلباً أو إيجاباً في عديد من الحالات ، ومن أهم الأملاح التي تؤدي الى زيادة معدلات التآكل املاح الكلوريدات في الأوساط المائية [7]. كما أن للأكسجين المذاب وثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء وبعض الشوائب الأخرى تأثير واضح على معدل التآكل، لذا فإن التآكل بواسطة الماء يصنف كنوع

من أنواع التآكل الكهروكيميائي [8].

استخدمت المثبطات للحد من عملية التآكل، وهي مواد كيميائية عضوية أو غير عضوية تضاف بتركيز قليلة جدا لوسط التآكل حيث بإمكانها تمنع أو تقلل من حدوث عملية التآكل الحادث في قضبان التسليح، وبالتالي تؤدي لزيادة عمر المنشأة الخرسانية[1].

وفي الآونة الأخيرة ازداد الاهتمام باستخدام المثبطات كمواد معيقة لعملية التآكل بشكل عام وفي حديد التسليح بشكل خاص ففي دراسة تأثير الملوحة ودرجة الحرارة على معدل تآكل حديد التسليح أظهرت النتائج المتحصل عليها أن جميع الأوساط المائية قيد الدراسة أدت الى زيادة معدل التآكل بنسب متفاوتة وكان معدل التآكل في ماء البحر هو الأعلى ، وأشارت النتائج أيضاً إلى أن سرعة التآكل تزداد بزيادة درجة الحرارة، كما أشارت النتائج الى فاعلية مركب بنزوات الصوديوم كمادة مثبطة لتآكل حديد التسليح حيث وصلت نسبة كفاءتها الى 100% في الوسط المائي العذب بينما تراوحت بقية النسب للأوساط المائية الأخرى (65-94)% [9].

وعلي أي حال هناك العديد من الدراسات والأبحاث التي تم فيها استخدام العديد من المواد المثبطة للحد من عملية التآكل في الحديد منها ثبييط معدل التآكل في حديد التسليح باستخدام مادتي فوسفات الصوديوم وسليكات الصوديوم [7]، واستخدام مثبط عضوي كمستخلص مائي من أشجار النخيل [10].

هدف الدراسة: تهدف هذه الدراسة الى مقارنة معدلات التآكل الحادثة في حديد التسليح المحلي والمستورد الموجودة بالسوق المحلي في الأوساط المائية المختلفة بطريقة فقد الوزن والحد من التآكل فيهما باستخدام مركب أحادي هيدرات فوسفات الصوديوم ثنائية الهيدروجين كمادة مثبطة .

الأجهزة و المواد المستخدمة:

استخدمت في هذه الدراسة الأجهزة التالية:

- ميزان دقيق وحساس من نوع (Balance Sartorius GmbH Gohngen) بدقة 9.999.
- قدمة ذات ورنية.
- فرن تجفيف.

كما استخدمت المواد التالية: أسياخ من حديد التسليح المحلي المنتج من الشركة الليبية للحديد والصلب بمدينة مصراته و الحديد المستورد التركي الموجود بالسوق المحلي بالمدينة، واستخدمت المواد الكيميائية التالية: أحادي هيدرات فوسفات الصوديوم ثنائية الهيدروجين (Sodium di hydrogen phosphate monohydrate) $(\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O})$ بنقاوة 99% من شركة BDH ومحلول $(\text{Cr O}_3 \text{ } 2\%)$ و $(\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ } 5\%)$.

تهيئة العينات:

استخدمت في هذا الدراسة نماذج من أسياخ حديد التسليح المحلي والمستورد (التركي) ذي قطر 10 مم ، تم الحصول عليها من السوق المحلي بمدينة مصراته - ليبيا، وتم تهيئة 14 نموذجاً أي 7 نماذج لكلا منهما، وذلك بتقطيع حديد التسليح على هيئة اسطوانات بطول 50مم وبقطر 10 مم وقد عولجت أسطح العينات بعملية التجليخ (Grinding) والسنفرة لإزالة الخشونة السطحية والزوايا الحادة غير المرغوب فيها وقد تم ترقيم تلك العينات، وأرسلت بعض النماذج للشركة الليبية للحديد والصلب بمدينة مصراته . لأجراء التحليل الكيميائي لمعرفة تركيبها الكيميائي باستخدام جهاز Emission Spectroscopy و النتائج موضحة بالجدول رقم (1) .

الجدول (1) التحليل الكيميائي لعينات لحديد التسليح المحلي والمستورد المستخدمة في هذه الدراسة

Element\%	S	P	Mn	Si	C	Fe
Local Iron	0.015	0.028	0.800	0.160	0.200	Bal
Imported Iron	0.020	0.018	0.830	0.146	0.320	Bal

تنظيف العينات قبل عملية الغمر:

تم تنظيف العينات باستخدام المحلول (2 % $Cr O_3$ و H_3PO_4 5%) ، قبل عملية الغمر في الوسط التآكلي ، وجُففت باستخدام فرن التجفيف عند درجة حرارة 70 درجة مئوية .

أوساط التآكل:

تم جمع حوالي 20 لتر مياه البحر من شواطئ منطقة الجزيرة بمدينة مصراته ومياه الشرب من شبكة مياه مدينة مصراته وأيضاً تم جمع حوالي 20 لتر من مياه الأمطار التي هطلت على المدينة في شهر يناير للعام 2017م. و يبين الجدول رقم (1) التحليل الفيزيائي والكيميائي لأوساط التآكل المستخدمة في هذه الدراسة الذي تم اجراءه في مركز الرقابة عن الأغذية والأدوية بمدينة مصراته .

الجدول (2) التحليل الفيزيائي والكيميائي لأوساط التآكل المستخدمة في هذه الدراسة

Properties	Drinking water	Rain water	Sea water
Total hardness (mg/l)	711	417	5810
PH	8	8.07	7.52
Electrical conductivity(EC)	567	694	775
(Mg^{+2}) (mg/l)	0.03	0.07	323
(Ca^{+2}) (mg/l)	51.25	44.68	104.4
NH_4^+ (mg/l)	0.04	0.09	-
(Cl^-) (mg/l)	210	120	19,370
SO_4^{-2} (mg/l)	195	64	-
HCO_3^- (mg/l)	262	213	-

حساب معدل التآكل:

استخدمت في هذه الدراسة طريقة فقد الوزن والتي تدعى أحياناً بالطريقة الوزنية لحساب معدلات تآكل الحديد، ومن مزايا هذه الطريقة سهولة المناولة، وتعطي نتائج متقاربة، معتدلة في سرعة الاستجابة للمتغيرات ومطبقة في أنواع عديدة من التآكل، كالتآكل المنتظم والتآكل الموضعي والتآكل الرطب [2] ، حيث تم غمر نماذج من حديد التسليح المحلي والمستورد في 200 مل في الأوساط المائية المستخدمة في هذه الدراسة وذلك في دوارق مخروطية سعة 250مل بعد تعليقها بخيط معزول كهربياً، وفي درجة حرارة الغرفة، وتم تعيين كتلتها قبل وبعد عملية الغمر بواسطة الميزان الحساس في تلك الأوساط المائية لفترات زمنية محددة (8،16،24،32،40 يوماً) ، و بعد كل عملية غمر يتم سحب العينة وتنظف من طبقات الصدأ الناتجة باستخدام فرشاة ناعمة والماء المقطر أولاً ثم يتم تنظيفها باستخدام المحلول (2% Cr O₃ و 5% H₃PO₄) لتنظيف الطبقات المتآكلة دون المساس بالمعدن، وتجفيفها باستخدام مجفف عند درجة حرارة 70مئوية، بعد ذلك يتم اعادة وزنها ثم يحسب معدل التآكل لكلا عينات حديد التسليح المحلي والمستورد من خلال العلاقة التالية [11].

$$CR = \frac{\Delta W}{A * t} \quad (1)$$

حيث :

ΔW : الفرق في الوزن (mg).

C_R : معدل التآكل بوحدة (mg.cm⁻¹.hr⁻¹) .

A : المساحة السطحية للعينة بوحدة (cm²) .

t : زمن التعرض بالساعة (hr) .

وتم حساب المساحة السطحية باستخدام العلاقة التالية :

$$A=2\pi^2+2\pi rL \quad (2)$$

r: نصف قطر الأسطوانة بوحدات (cm) .

L: طول الأسطوانة بوحدات (cm) .

حساب كفاءة المثبط :

تم حساب كفاءة التثبيط لحديد التسليح المستور والمحلي باستخدام المعادلة التالية [12]

$$IE\% = \frac{C_{R_o} - C_R}{C_{R_o}} \times 100 \quad (3)$$

حيث:

IE% : كفاءة المثبط %

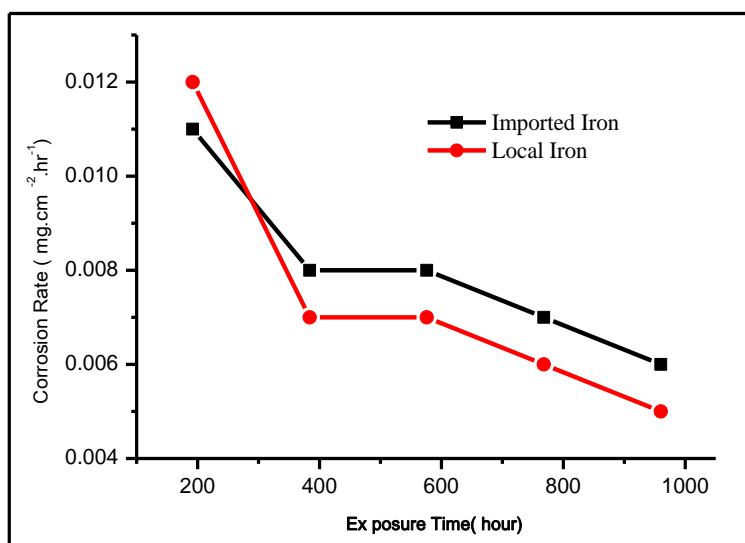
C_{Ro} : معدل التآكل بدون مثبط.

C_R : معدل التآكل بالمثبط.

النتائج و المناقشة

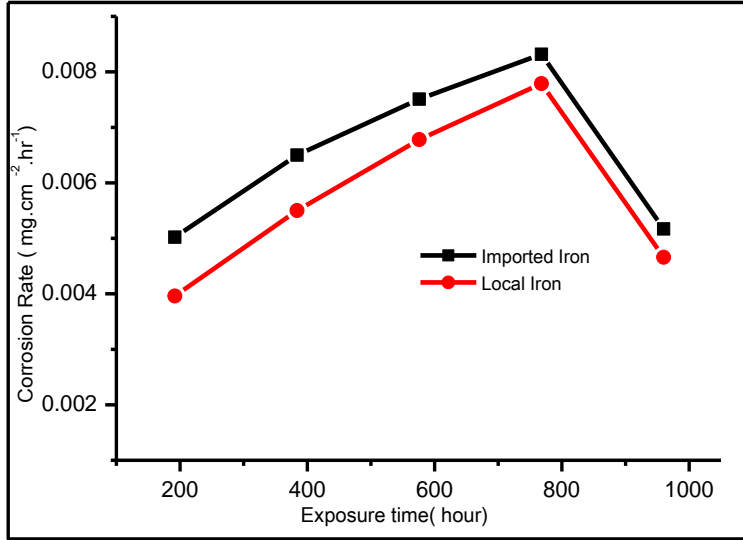
يختلف معدل التآكل في الأوساط المائية باختلاف درجة العدوانية لوسط التآكل والتي تزداد بزيادة نسبة الاملاح ودرجة تركيزها في وسط التآكل ، ويبين الشكل رقم (1) العلاقة بين معدل التآكل والزمن لحديد التسليح المستورد والمحلي في ماء الشرب و من خلال النتائج المتحصل في الشكل (1) نلاحظ أن معدلات التآكل للحديد المحلي أقل من معدلات التآكل للحديد المستورد في ماء الشرب ، وربما يعود ذلك إلى نسبة الكربون

في الحديد المحلي أقل من نسبة الكربون في الحديد المستورد، كما ذكر في الجدول رقم (1) ونتائج هذه تتفق مع ما ذكره [12،13] وأيضا يعزى كذلك لنسبة الكبريت، فعنصر الكبريت يعتبر من أكثر العناصر التي تسبب التآكل بسبب ميله للاتحاد مع عنصري الهيدروجين و الاكسجين .



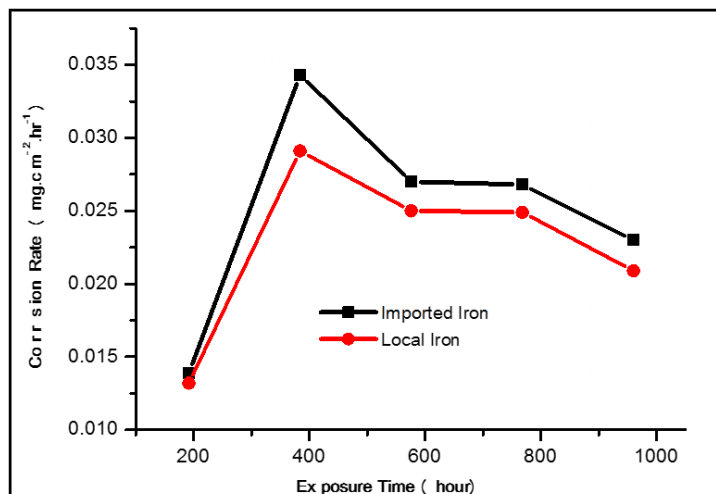
الشكل (1). العلاقة بين معدل التآكل والزمن للحديد المستورد والمحلي في ماء الشرب عند درجة حرارة الغرفة

وتشير النتائج المتحصل عليها في الشكل (2) أن معدل التآكل لحديد التسليح المحلي أقل من حديد التسليح المستور بفارق بسيط وخصوصاً في الأيام الأخيرة من التعرض لوسط التآكل.



الشكل (2). العلاقة بين معدل التآكل والزمن للحديد المستورد والمحلي في ماء المطر عند درجة حرارة الغرفة

ومن خلال النتائج المتحصل في الشكل (3) نلاحظ أن معدلات التآكل للحديد المحلي والمستورد في ماء البحر تزداد حتى اليوم السادس عشر من عملية الغمر ثم تبدأ في الانخفاض بمرور الزمن، ويعزى ذلك لتكون طبقة من أكسيد الحديد ومخلفات التآكل التي تقلل من سطح تفاعل المعدن مع وسط التآكل وأيضاً بسبب نقصان كمية الأوكسجين المذابة في الماء [14-16].



الشكل (3) العلاقة بين معدل التآكل والزمن للحديد المستورد والمحلي في ماء البحر عند درجة حرارة الغرفة

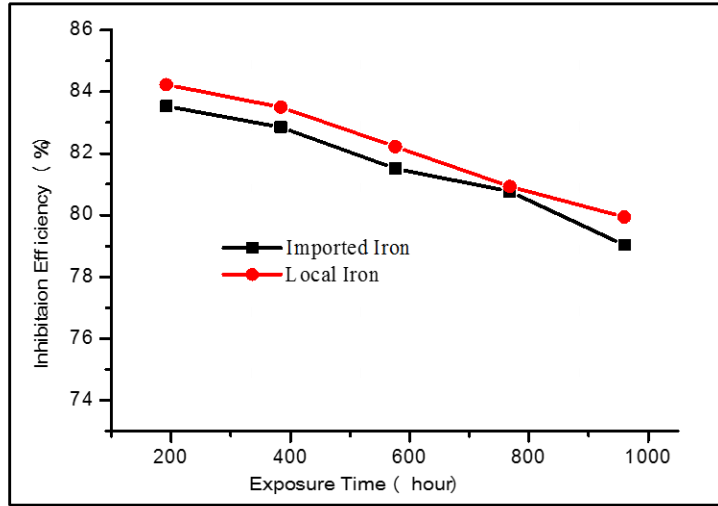
وبمقارنة الأشكال (1،2،3) نجد أن معدل التآكل في حديدي التسليح المحلي والمستورد في وسط التآكل (ماء البحر) أعلى من معدل التآكل في أوساط التآكل (ماء الشرب والمطر)، ويعزى ذلك لكون ماء البحر يعتبر وسطاً فعالاً في التفاعل الكهروكيميائي فوجود أيونات الكلوريد بتركيز عال في ماء البحر تؤدي لنشر التفاعل في معظم المساحات السطحية من خلال مقدرة التوصيل الكهربائي لتلك الأملاح، ومن خلال الجدول رقم (2) نلاحظ أن تركيز أيونات الكلوريد في ماء البحر أعلى من بقية الأوساط الأخرى، وهذا له دوراً مهماً في زيادة معدلات التآكل حيث تقوم أيونات الكلوريد بكبح المقاومة النوعية لوسط التآكل من خلال زيادة خاصية التوصيل الكهربائي فيه ليصبح وسط التآكل أكثر شراسة على عينات الحديد وبالتالي تؤدي الى زيادة معدل التآكل [8].

إن زيادة زمن التعرض لوسط التآكل له تأثير واضح على معدلات التآكل حيث تشير النتائج المتحصل عليها أن معدل التآكل يقل تدريجياً بزيادة زمن التعرض لوسط التآكل كما هو واضح في الأشكال (1،2،3)، ويعزى ذلك إلى بطء أو ضعف سرعة التفاعل الكهروكيميائي مع استمرار زمن التعرض عما كان عليه في بدء التفاعل ويعود ذلك لوجود مخلفات التآكل التي قد تشكل هذه المخلفات أغشية واقية تقلل من تفاعل سطح المعدن مع وسط التآكل مع استمرار الزمن حيث تجعل المعدن أقل نشاطاً في الوسط المسبب للتآكل [17]. هذه من ناحية ومن ناحية أخرى عملية فقدان الوزن مع زيادة زمن التعرض لا تمثل علاقة خطية فهي ليست ثابتة دائماً وإنما تمثل معادلة من الدرجة الثانية أو الثالثة كما ذكر الباحث [18] بسبب وجود طبقات التآكل المتكونة على سطح الصلب والتي تعيق استمرار فقد الوزن مع تغير الزمن بمعدل ثابت [19]، ويعزى أيضاً إلى عملية نفاذ الأكسجين المذاب في الماء الذي يؤدي في البداية لزيادة سرعة التفاعل الكهروكيميائي ويسجل معدلات تآكل عالية إلا أنه بمرور زمن التعرض تقل نسبة الأكسجين المذاب في الماء مما يؤدي إلى زيادة تركيز أيونات الهيدروجين أي زيادة حامضية وسط التآكل [10].

كفاءة الشبيط لمركب أحادي هيدرات فوسفات الصوديوم ثنائية الهيدروجين:

يبين الشكل رقم (4) العلاقة بين كفاءة مركب أحادي هيدرات فوسفات الصوديوم ثنائية كفاءة مادة مثبطة لمعدلات التآكل مع زمن التعرض لحديدي التسليح المحلي والمستورد في ماء البحر حيث يلاحظ أن أعلى كفاءة للمثبط للحديد بنوعيه المستورد والمحلي كانت عند نهاية فترة التعرض الأولى، ثم تبدأ في التناقص مع زيادة زمن التعرض، ويعزى ذلك ربما إلى تكون طبقة من مخلفات التآكل على سطح العينات تعمل كأغشية واقية تحجب سطح المعدن عن وسط التآكل، إلا أنها تبقى ذات فاعلية عالية نسبياً وهذا أمر جيد يشجع على استخدامها كمادة معيقة للتآكل [16].

كما يلاحظ من الشكل (4) عند استخدام أحادي هيدرات فوسفات الصوديوم ثنائية الهيدروجين كمادة مثبطة بتركيز (30ppm) في ماء البحر أن حديد التسليح المحلي و حديد التسليح المستورد أن نسب الكفاءة متقاربة حيث وصلت نسبة كفاءة إلى 84.23% عند زمن 192 ساعة (8 أيام) للحديد المحلي للمستورد وصلت إلى 83.53% عند زمن 192 ساعة (8 أيام) .



الشكل (4) العلاقة بين كفاءة (NaH₂PO₄-1- H₂O) بتركيز (30ppm) كمادة مثبطة لمعدلات التآكل مع زمن التعرض لحديد التسليح بنوعيه المحلي والمستورد في ماء البحر عند درجة حرارة الغرفة

الخلاصة و الاستنتاج:

-أظهرت نتائج الدراسة أن معدلات تآكل حديد التسليح المحلي و المستورد تختلف باختلاف أوساط التآكل ، وأشارت أن اعلى معدل تآكل كان في ماء البحر للحديد بنوعيه المحلي والمستورد وأن التآكل فيهما من النوع المنتظم .

- بينت نتائج الدراسة أن حديد التسليح المحلي كان الأقل تآكلاً من حديد التسليح المستورد بفارق بسيط في الأوساط المائية المستخدمة في الدراسة .

- أشارت نتائج الدراسة لفاعلية مادة أحادي هيدرات فوسفات الصوديوم ثنائية الهيدروجين كمادة مثبطة لتآكل حديد التسليح في الأوساط المائية المختلفة، فكانت نسب كفاءة تثبيط لحديد التسليح بنوعيه المحلي والمستورد متقاربة، حيث وصلت في حديد التسليح المحلي 84.23% عند زمن التعرض 192 ساعة (8 أيام) وفي الحديد المستورد، وصلت الى 83.53% عند نفس زمن التعرض.

- انخفضت كفاءة التثبيط لمادة أحادي هيدرات فوسفات الصوديوم ثنائية الهيدروجين بزيادة زمن التعرض حيث وصلت إلى 79.94% و 79.03% لحديد التسليح بنوعيه المحلي والمستورد على التوالي عند زمن التعرض 960 ساعة (40 يوم) وبالرغم من ذلك تعتبر ذات فاعلية عالية نسبياً، حيث يمكن استخدامها كمادة مثبطة للحد من التآكل.

المراجع :

[1] . عبيد، محمد (2014) حماية حديد التسليح المغمور في المحلول الألكتروليتي من التآكل باستخدام المثبطات ، مجلة بابل للعلوم الهندسية العدد (3) المجلد (22).

[2] .كاظم ، الموسوي (2000)، التآكل ، منشورات (ELGA).

[3] ASM Handbook: Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection ASM International, Volume13 (2003).

[4] M, Fontana, Corrosion Engineering Third Edition,(2006).

[5] NCS Schools Experiments Corrosion and Protection of Metals, Article given on the internet at the web site <http://www.npl.co.uk> (2005).

- [6] K, Trethewey , J. Chaberlain, Corrosion for Science and Engineering 2nd ed, printed in Singapore(1996).
- [7] W, Gossel, A, Sefelnasr et al, Modelling of paleo-saltwater intrusion in the northern part of the Nubian quifer System Northeast Africa: Hydrogeology journal. 18(2010),pp. 1447-1463.
- [8] T, Serhan,A Sabtan, Geotechnical and Geochemical Properties of Al-Nekhaila Sabkha. South of Jeddah , (1999 .
- [9] أبوبكر ، التوهامي و أوحيدة (2016) دراسة تأثير الملوحة ودرجة الحرارة على معدل تآكل الحديد الصلب ، المؤتمر الأول في مجال الهندسة الكيميائية والنفطية وهندسة الغاز .
- [10] راجح، السلطاني و حمزة (2008) استخدام مثبط عضوي لتحسين مقاومة التآكل للفولاذ واطيء الكربون في اوساط تأكليه مختلفة ، المجلة العراقية للهندسة الميكانيكية وهندسة المواد ،(8) (1).
- [11] O,U Abakedi ,Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid solution by Eremomastax poly sperm a leaves extract: Proceedings of 37th Annual International Conference, Workshop and Exhibition of Chemical Society of Nigeria, Uyo, (2014), pp. 220 – 223.
- [12] A, Najem, Al-Rubaiey, S, Fadhil. Kadhim, Mohamed G Albranzanjy, The Effect of on the Corrosion Characteristics of the Drilling Fluid Adding Carboxymethyl Cellulose and Zinc Sulfate: Al-Khwarizmi Engineering Journal, 15 (2019), PP. 125- 133.
- [13] هيثم ، العبيدي و عبد الرزاق ، (2010) ، دراسة تأثير نسبة الكاربون على معدل التآكل في الصلب الكربوني ، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 28 ،العدد 4.

- [14] . شرف (2012) ، دراسة سلوك تآكل الفولاذ الكربوني في الأوساط المائية ، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية المجلد الثامن والعشرون - العدد الأول.
- [15] . يعقوب ، كباش، و صالح ، (2011) ، تقييم مقاومة التآكل للحديد المستخدم في تقوية الخرسانة الكونكريتية في أوساط مائية مختلفة ، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 29، العدد 12.
- [16] . بلابلة و الطيب أميمة (2015) ، تقييم فاعلية سيليكات الصوديوم كمثبط للتآكل (حالة دراسية - مصنع النير للصابون بمصراته) ، مجلة العلوم والتقنية ، العدد الثالث ، 55-64.
- [17] H, Roger, The Prevention of Construction and Industrial Center: U. S. A, (2001) pp. 80-88.
- [18] Effect of The Exposure Angle in The Corrosion Rate of Plain Carbon Steel in a Marine Atmosphere: Journal of Corrosion Science , 45, (2002) pp. 321 – 337.
- [19] H, Wadullah , 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 , (2006) pp. 16-55.