مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (26) العدد (2)2004
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (26) No (2) 2004

تآكل المنشآت المعدنية

الدكتور غسان شيخ علي*
الدكتور قصي ندّاف**
سامر ساحللي***

(قبل للنشر في 2004/10/27)

□ الملخّص □

تكتسب ظاهرة تآكل الفولاذ أهمية خاصة نتيجة انتشارها الواسع في المنشآت الفولاذية المقامة في المنطقة الساحلية والتي أصبحت تشكل خطراً كبيراً على أمن بعض المنشآت المذكورة بالإضافة إلى تكاليف الصيانة الدورية المرتفعة.

و يبيّن هذا البحث بعض أنواع تآكل الفولاذ مع شرح مبسط لآلية حدوث كل نوع من هذه الأنواع وأسبابه بغية اختيار أفضل الطرق لمعالجة هذه الظاهرة، كما يعرض بعض الأمثلة التي وجدها الباحث في عدد من المنشآت المعدنية في الساحل السوري.

* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سوريا.
** مدّرس في قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سوريا.
*** طالب ماجستير في قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سوريا

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (26) العدد (2)2004
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (26) No (2) 2004

Corrosion of Steel Structures

Dr. Kassan Sheikh Ali*
Dr. Qousay Naddaf **
Samer Sahellie ***

(Accepted 27/10/2004)

□ ABSTRACT □

The corrosion of steel phenomenon has special importance because of its great spread in the steel structures which are built in the costal areas, the thing that imposes a great danger on the safety of these structures, in addition to the high costs of the periodic maintenance.

This study demonstrates some kinds of steel corrosion with a simple explanation of the mechanism and the reasons of corrosion in order to choose the best ways to treat this phenomenon, with a demonstration of some examples that are found in some steel constructions on the Syrian coast.

*** Associate Professor, Department Of Structural Engineering, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria .**
**** Lecturer At Department Of Structural Engineering, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria .**
***** Master Student, Department Of Structural Engineering, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

تشغل المنشآت المعدنية جزءاً كبيراً من المنشآت المدنية والصناعية وغيرها من المنشآت الخدمية الأخرى ، وتلاقي هذه المنشآت انتشاراً واسعاً على الصعيد العالمي لما تملكه من خصائص تحمل مرونة عالية في الاستخدام .

و تعتبر ظاهرة تآكل المنشآت الفولاذية المتجلية وصداً هذه المنشآت من العوامل الفتّاكة التي تؤدي إلى تخريب هذه المنشآت. إذ تصل خسائر بعض البلدان حسب التقديرات الإحصائية إلى (5% – 3%) من الدخل القومي الإجمالي لهذه البلدان.

لذا يجب أن تولى هذه الظاهرة اهتماماً كبيراً كما يجب ألاّ تقتصر دراسة هذه المنشآت على التصميم والتنفيذ بل تمتد لتشمل صيانتها وحمايتها من العوامل الضارة المتنوعة التي تسبب تآكلها في ظروف استثمارها وذلك بغية المحافظة على ديمومتها ورفع كفاءتها [2] .

وعموماً يمكن القول بأن المحافظة على هذه المنشآت وزيادة عمرها التصميمي الافتراضي أضحى من ضرورات تعزيز الاقتصاد الوطني لبعض هذه البلدان.

أضرار التآكل :

يعدّ التآكل من أخطر المشاكل التي تعاني منها المنشآت المعدنية نتيجة الأضرار التي يسببها لهذه المنشآت والتي من أهمها :

- تغير الأبعاد .
- انخفاض الخواص الميكانيكية .
- الإساءة إلى المظهر الخارجي بشكل سيء .
- ارتفاع تكاليف الإجراءات الوقائية .
- تعريض سلامة المنشآت للخطر .

و بغض النظر عن حجم التكاليف المادية التي تستنزفها هذه المشكلة من الميزانيات ، فمن الممكن أن تسبب أضراراً خطيرة تصل إلى حد تهديد أرواح الناس ، أو الإخلال بشروط استثمار المنشآت ، أو إيقافها عن الاستثمار لفترات طويلة ، حتى تتم عمليات الإصلاح والترميم والتبديل إذا لزم الأمر [8].

تعريف التآكل :

يمكن تعريف التآكل من وجهة نظر العلماء الكهروكيميائيين أنه رغبة المعادن بالعودة إلى الحالة الأكثر استقراراً ترموديناميكياً (الحالة الأولية) عند وجود العوامل والمسببات الطبيعية المؤدية للتآكل. كما يمكن تعريف التآكل من وجهة نظر أخرى كما يلي :

التآكل هو تفاعل مادة معدنية مع محيطها، الذي يسبب تغيرات في المادة يمكن قياسها مثل "الصدأ"، حيث يمكن أن ينتج عنه أضرار في وظيفة أو عمل العنصر الإنشائي المعدني بشكل خاص أو الجملة الإنشائية بشكل عام (إضعاف المقطع العرضي للعنصر الإنشائي المعدني).

و يمكن تعريفه بصيغة أخرى كما يلي: التآكل هو تلف (اهتراء) المعدن نتيجة رد فعله على البيئة المحيطة، ورد الفعل هذا هو عملية أكسدة كهروكيميائية تنتج عادةً الصدأ أو أشكال أخرى من أكسيد المعدن [7].

أنواع وأشكال التآكل:

يتخذ التآكل أشكالاً مختلفة ويحدث كل شكل بسبب حالات يفرضها نوع المعدن، طبيعة سطحه ، نوع الوسط وحالته ، ولكل شكل من أشكال التآكل أسلوب وقائي معين وعموماً يمكن أن نميز بين الأشكال التالية للتآكل [1,2,3,4,5,6,8] :

1. التآكل الكهروكيميائي العام (المنتظم).
2. التآكل الكهروكيميائي الموضعي (المركّز).
3. التآكل الغلفاني.
4. التآكل الناتج عن التشقق الهيدروجيني.
5. التآكل الناتج عن التيار الشاردي.
6. التآكل البيولوجي.
7. التآكل بالحت والتعرية.
8. التآكل الإجهادي.
9. التآكل الناتج عن الاحتراق (الأكسدة المباشرة).

و نشرح فيما يلي بشكل مبسّط كل نوع من هذه الأنواع مع التركيز أكثر على الأنواع الثلاثة الأولى كونها الأكثر انتشاراً وسنعرض أيضاً صوراً توضيحية لنماذج منها تمت مشاهدتها في بعض المنشآت المعدنية في الساحل السوري :

التآكل الكهروكيميائي العام (المنتظم) " Electro Chemical Corrosion " :

يحتاج هذا النوع من التآكلات لحدوث تفاعلات وعمليات كهروكيميائية *Electro Chemical Process* ويتطلب حدوث هذه التفاعلات [*6,8*] مايلي :

- القطب الموجب أو المصعد أو الأنود *Anode*.
- القطب السالب أو المهبط أو الكاثود *Cathode*.
- الناقل الكهربائي *Electrical conductor*.
- المحلول المائي *Electrolyte*.

وعندما تكون عملية التآكل منتظمة إلى حدٍ ما يدعى هذا التآكل بالتآكل المنتظم *Uniform Corrosion* وعندما يكون هذا الانتظام في التآكل في كل مكان على سطح العنصر المعدني عندئذ يدعى هذا التآكل بالتآكل العام *General Corrosion* .

آلية التفاعل الكهروكيميائي :

يقسم سطح العنصر المعدني إلى مناطق أنودية ومناطق كاثودية وتكون هذه المناطق متجاورة وصغيرة جداً وبوجود متزامن للماء (أو الرطوبة) والأكسجين تحدث مجموعة من التفاعلات الكيميائية التالية :

أ – الهجوم الابتدائي في المناطق الأنودية على سطح العنصر المعدني حيث يبدأ الحديد بالتأكسد ويتحول إلى شوارد الحديدي ثنائية التكافؤ Fe^{++} ويحرر خلال هذه العملية الإلكترونات وفق المعادلة :

عند الأنود: $Fe \longrightarrow Fe^{++} + 2e^-$

ب – تنطلق الإلكترونات بين الأنودات عبر العنصر المعدني إلى الكاثودات القريبة والمجاورة وتتحد مباشرة مع الأكسجين والماء لتشكل شوارد الهيدروكسيل وفق المعادلة :

عند الكاثود: $O_2 + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow 4OH^-$

ج – تنتقل شوارد الهيدروكسيل السالبة إلى الأنود حيث توجد شوارد الحديدي فتتحد معها مشكلة هيدروكسيد الحديدي الذي يتفاعل فوراً مع الأكسجين والماء متحولاً إلى هيدروكسيد الحديد كما في المعادلتين التاليتين :

$$Fe^{++} + 2\,OH^- \longrightarrow Fe(OH)_2$$

$$4Fe(OH)_2 + 2\,H_2O + O_2 \longrightarrow 4Fe(OH)_3$$

إن هيدروكسيد الحديد الناتج يعرف بالصدأ الأحمر ويمكن أن نلخص المعادلتين الأخيرتين بالمعادلة التالية :

$$4Fe + 3O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2Fe_2O_3H_2O$$

$$Steel + Oxygen + Water \longrightarrow Rust$$

ولكي يتآكل الفولاذ يجب أن يكون هناك حضور متزامن للماء (الرطوبة) والأكسجين وإن فقدان أحدهما سوف يمنع حدوث التآكل وعملية التآكل هذه تحدث على الأنود وبالتالي فإن الكاثود غير معرّض للتآكل وهذا الشرط متوفر في ساحلنا السوري .

و تبين الصور التوضيحية التالية مثالاً جيداً عن التآكل العام أو المنتظم الذي يصيب بعض العناصر المعدنية الموجودة في منصة الستاد الرئيسي في مدينة الأسد الرياضية وكذلك ستاد مدينة جبلة، كما تبين أنّ التآكل العام أو المنتظم هو التآكل المسيطر على منصة ستاد مدينة جبلة أكثر منه في مدينة الأسد الرياضية وذلك بسبب اتجاه هذه المنصة بالنسبة للبحر وتعرضها لتأثير الهواء والرذاذ البحري بشكل أكثر عمومية منه في المدينة الرياضية

التي لوحظ فيها أن التآكل حدث في الزاوية الجنوبية الغربية منها وهي الزاوية المكشوفة والمعرضة لتأثير الهواء والرذاذ البحري حيث يتم إزالة الأملاح عن هذه السطوح بالماء المضغوط.

الشكل (*1*) التآكل العام أو المنتظم في منصة الستاد الرئيسي
في مدينة الأسد الرياضية

الشكل (*2*) التآكل العام أو المنتظم في منصة الستاد الرئيسي في مدينة جبلة

<u>التآكل المركّز أو الموضعي :Localized Corrosion</u>

أطلق على هذا النوع من التآكل بالتآكل المركّز (الموضعي) لأنه يحدث ويتركز في نقاط معينة من سطح العنصر المعدني دون أن يصيب مواضع أخرى [*2,8*] ويمكن أن نميز نمطين لهذا التآكل :

1. التآكل النقري أو التحفيري .
2. التآكل الصدعي أو التكهفي .

التآكل النقري أو التحفيري :

نلاحظ في هذا النمط من التآكل ظهور التنقرات أو الحفر على سطح العنصر المعدني وتتخذ هذه الحفر أشكالاً مخروطية وتمثل هذه الفجوات الخلايا الكبيرة المتشكلة على سطح الفولاذ وهذه الخلايا هي عبارة عن أزواج من الأنودات والكاثودات وتشكل الأنودات المناطق الصغيرة التي فقدت حمايتها وحدث فيها تآكل الحديد أما الكاثودات فهي تلك المناطق الكبيرة التي مازالت محمية .

إن وجود هذه الفجوات الكبيرة على سطح العنصر المعدني تؤدي إلى إضعاف مقاومة المقطع العرضي للعنصر المعدني وذلك من خلال تقليل مساحة المقطع العرضي لهذا العنصر.

و تظهر الصور التالية . من منصة الستاد الرئيسي في مدينة الأسد الرياضية . مثالاً عن هذا النوع من التآكل:

الشكل (3) التآكل النقري أو التحفيري في ستاد المدينة الرياضية

التآكل الصدعي أو التكهفي:

إن التآكل الصدعي أو التكهفي هو تآكل موضعي شديد يتراوح من نخر صغير إلى منطقة متآكلة واسعة ويصيب أجزاء العناصر المعدنية في المناطق التالية [8] :

1 – الصدوع والفجوات: وهي عبارة عن ثقوب مغطاة بنواتج التآكل وفيها محلول راكد .

2 – الانتفاخات بين سطح العنصر المعدني ورأس البرغي.

3 – المناطق المستورة الواقعة تحت الحشوات.

4 – المناطق الواقعة تحت الترسبات الطينية.

5 – المناطق بين الوصلات المتراكبة.

6 – مناطق التماس سطح المعدن مع مواد لا معدنية مثل المواد البلاستيكية والمطاط.

7 – الثقوب الصغيرة والمناطق المشتركة للأنابيب أو داخل الوصلات المسننة... الخ .

و تتضمن كل هذه الحالات وجود حجم صغير من محلول راكد (الكتروليت) يسبب هذا النوع من التآكل الصدعي والذي يسمى أحياناً بتآكل الحشوات (*Gasket Corrosion*) وتآكل الترسبات (*Deposit Corrosion*). إن وجود الترسبات على سطح المعدن مثل الطين والأوساخ والرمل ونواتج التآكل والأجسام الصلبة الأخرى كلها تعمل على إنشاء ظروف أساسية ملائمة لحصول التآكل الصدعي وتشكل حاجزاً أو ستاراً فوق سطح العنصر المعدني الذي يؤدي إلى نشوء حالة محلول راكد بين سطح المعدن وهذا الساتر .

و يتطلب حصول التآكل الصدعي وجود انتفاخ أو فتحة مناسبة للسماح للسائل بالوصول لداخلها ويجب أن تكون ضيقة كي تبقى على حالة الركود الضرورية أي أنها لا تسمح لهذا السائل ولمكوناته بالخروج منها .

ولقد وجدنا أن المنصة الريئسية في المدينة الرياضية تحوي أمثلة عديدة عن هكذا نوع من التآكل وكان السبب الأساسي له هو التوضع الخاطئ للعنصر المعدني بحيث أنه يسمح بتجميع المياه الراكدة وكذلك الطين والأوساخ ونواتج التآكل كما هو مبين في الأمثلة التالية:

الشكل (*4*)
التآكل الصدعي أو التكهفي في عناصر معدنية في منصة المدينة الرياضية
نتيجة تجمع المياه الراكدة والطين والأوساخ

الشكل (5) التآكل الصدعي في العقد ووصلات البراغي والمناطق المحصورة

<u>التآكل الغلفاني (Galvanic Corrosion) :</u>

غالباً ما يدعى هذا النوع خطأ بالتآكل بالتحليل الكهربائي وهو شكل شائع للتآكل في البيئة المعرضة للأجواء البحرية [*1,4,6,8*] .

و يحدث التآكل الغلفاني عندما يوضع معدنين (أو أكثر) غير متماثلين في اتصال (احتكاك) كهربائي في وسط التآكل. عندما يتشكل زوج غلفاني فإن أحد معادن هذا الزوج فيصبح أنوداً ويتآكل بشكل أسرع مما لو كان يتعرض منفرداً لهذا الوسط الأكّال أما المعدن الآخر من هذا الزوج يصبح كاثوداً أو يتآكل بمعدل أبطأ مما لو كان بمفرده في هذا الوسط الأكّال حتى إنه يمكن أن يتوقف تآكله تماماً.

آلية التآكل الغلفاني :

يتضمن هذا النوع من التآكل نشوء تيار غلفاني عند حدوث تلامس كهربائي بين المعدنين في وسط التآكل وهذا التأثير (التيار الغلفاني) يؤدي إلى زيادة في معدل تآكل أحد المعدنين بسبب وجود فرق في الجهد الكهربائي بين المعدنين عندما يكونان على انفراد في وسط التآكل إن قيم الجهود في الحالة المنفردة للمعادن أو السبائك المختلفة في الوسط المعين يمكن ترتيبها بشكل متسلسل في سلسلة تدعى " السلسلة الغلفانية " .

إن المعادن عالية الجهد تتوضع في أعلى هذه السلسلة بينما المعادن منخفضة الجهد فتتوضع في أسفل السلسلة ، وبالتالي عند جمع أي معدنين من السلسلة فإن المعدن ذو الجهد الأعلى سيكون هو الأنود وسيتآكل بشكل أسرع بينما المعدن الآخر سيمثل الكاثود وسيتآكل بشكل أبطأ .

التآكل الناجم عن التشقق الهيدروجيني :

و يحدث هذا التآكل عند: أ – وجود غاز كبريت الهيدروجين H_2S

ب – الإفراط الزائد في الحماية الكاثودية [*1,3,5*] .

التقصف الهيدروجيني الناتج عن وجود غاز كبريت الهيدروجين H2S :

يعتبر غاز كبريت الهيدروجين H_2S عاملاً فتّاكاً للفولاذ ومسبباً رئيسياً لتآكله في وجود الرطوبة.

عندما تتعرض المنشأة المعدنية لغازات وأبخرة صناعية مثل غاز كبريت الهيدروجين H_2S وفي وجود الرطوبة فإن غاز كبريت الهيدروجين المنحل سوف يتحلل كما في المعادلة التالية:

$$H_2S \xrightarrow{\text{بوجود الرطوبة}} H^+ + HS^-$$

تكتسب شوارد الهيدروجين الموجبة H^+ المتواجدة على سطح المعدن الكترونات من المعدن (سعياً للعودة إلى حالتها المستقرة) كما يلي :

$$H^+ + e^- \longrightarrow H$$

تتغلغل ذرات الهيدروجين داخل البنية البلورية للمعدن نتيجة صغر قطر ذرة الهيدروجين ونتيجة هذا الانتشار لذرات الهيدروجين تتحد هذه الذرات لتشكل جزيئات هيدروجينية وفق المعادلة :

$$H + H \longrightarrow H_2$$

و بما أن قطر جزيء الهيدروجين أكبر من المسافة الفاصلة بين ذرتي فولاذ فإنه لن يكون قادراً على التحرك ضمن البنية البلورية للفولاذ أي أنه سوف يشكل فقاعة غازية ثم تتجمع تلك الفقاعات ويكبر حجمها حتى تؤدي إلى حدوث شقوق في الفولاذ نتيجة لذلك.

التشقق الهيدروجيني الناتج عن الإفراط الزائد في الحماية الكاثودية :

يحدث ذلك نتيجة تطبيق تيار حماية أعلى من الحد المسموح وهذه الزيادة في التيار وبوجود الرطوبة سوف تؤدي إلى تحلل الماء إلى شوارد هيدروجين وأكسجين كما في المعادلة :

$$H_2O \longrightarrow 2H^+ + O^{-2}$$

وسوف تتحول شوارد الأكسجين إلى ذرات وفق المعادلة :

$$O^{-2} \longrightarrow 1/2O_2 + 2e^-$$

وبعدها تكتسب شوارد الهيدروجين الالكترونات الحرة متحولة إلى ذرات وفق المعادلة :

$$H^+ + e^- \longrightarrow H$$

وكما ذكرنا في الفقرة السابقة فإن هذه الذرات تستطيع التغلغل داخل البنية البلورية للفولاذ ..... الخ .

التآكل الناتج عن التيار الشاردي Stray Current Corrosion :

يقصد بالتيارات الكهربائية الشاردية تلك التي تسير في مسارات غير دارتها الأساسية وبالتالي تؤدي هذه التيارات إلى تسريع تآكل الفولاذ بشكل كبير ، ويمكن أن تنشأ هذه التيارات من أنظمة الروافع ، والسكك الحديدية الكهربائية ، والمنشآت المؤرضة ، ومن أنظمة الحماية الكاثودية ..... إلخ [6].

التآكل البيولوجي Biological Corrosion :

و يطلق على هذا التآكل أيضاً بالتآكل المسرع بكتيرياً ويحدث هذا النوع من التآكل في البيئات البحرية بشكل خاص حيث أن البكتيريا *TDS* الذائبة في المياه البحرية مثل البكتيريا المختزلة للكبريتات والتي تتكاثر وتنمو بسرعة مستخدمة كغذاء لها الكبريتات المتوفرة في المياه البحرية وبالتالي تسرع هذه الكائنات الحية البحرية البيولوجية التآكل عن طريق تغير الاعتدال في البيئة المحيطة وذلك بخلق مستويات مختلفة من الأكسجين في الناقل (المحلول المائي ، الرطوبة) وأيضاً عن طريق إنتاج مخلفات ونواتج أكّالة خلال تحولاتها الغذائية أو تعفنها كما أنها تساهم في نقل الطبقة الواقية من نواتج التآكل من سطوح المعادن لذلك فإنها تشكل سبباً رئيسياً لتآكل المنشآت المعدنية المتواجدة في البيئات البحرية [*2,6*].

التآكل بالحت والتعرية Erosion – Corrosion :

يعرف هذا النوع من التآكل بالتآكل الذي يصيب سطح العنصر المعدني نتيجة وجود قوة احتكاك بغض النظر عن وجود وسط مساعد على التآكل أو عدم وجوده أي أن سبب هذا النوع من التآكل هو سبب ميكانيكي بحت وليس كيميائيا ، ولكن يمكن أن تكون القوة الميكانيكية أحياناً عاملاً مساعداً في بعض الأوساط على حصول التآكل

الكهروكيميائي وذلك عندما تتواجد المنشآت المعدنية التي تتعرض للحت والتعرية بشكل ما في الأجواء البحرية مثلاً [6,8].

التآكل الإجهادي Stress Corrosion Cracking :

يعرف هذا الشكل بالتآكل الذي يسبب تشققات ناتجة عن وجود إجهادات شد ساكنة في وسط معين مساعد على التآكل، وتنتشر التشققات أثناء عملية التآكل الإجهادي إمّا عبر حبيبات المعدن أو على طول حدود الحبيبات، كذلك يمكن أن تظهر تشققات التآكل الإجهادي بكلا الشكلين في نفس المعدن ويعتمد ذلك على الوسط وبنية المعدن.

ويمكن أن يكون مصدر الإجهادات المسببة للتآكل الإجهادي مؤثراً خارجياً أو جهوداً داخلية متبقية من خلال المعالجات الحرارية أو من خلال عملية التشكيل والتصنيع أو بسبب عمليات اللحام ، حيث تبقى قيمة الجهد الداخلي مقارنةً إلى قيمة إجهاد الخضوع وهذه قيمة عالية جداً وكافية لحصول التآكل الإجهادي خلال فترة زمنية قصيرة [6,8].

التآكل الناتج عن الاحتراق (الأكسدة المباشرة) Burning - Corrosion :

يعرف هذا النوع من التآكل بأنه التآكل الذي يصيب سطح العنصر المعدني بدون أن يتضمن تفاعلاً كهروكيميائياً بين سطح العنصر المعدني والوسط الموجود فيه بل يتضمن اتحاد مباشر بين هذا السطح وبعض العناصر الغازية الموجودة في الوسط مثل الأكسجين والكبريت، ويحدث هذا النوع من التآكل عادةً عند درجات الحرارة المرتفعة (احتراق مباشر ، أو تماس مباشر مع غازات الوقود في المراجل ...) [6] .

النتائج والمقترحات العامة :

إنّ مسألة تآكل المنشآت المعدنية هي مسألة معقدة لا تزال قيد الدراسة والبحث ، وهي تحتاج للكثير من الجهد والوقت ، نظراً لحداثة هذه المنشآت خاصةً في القطر العربي السوري .

و بالتالي فإنّ ما تمَّ عرضه في سياق البحث يمثل جزءاً بسيطاً من مشكلة كبيرة يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند دراسة وتصميم المنشآت المعدنية وبشكل خاص تلك المنشآت الموجودة في ظروف بيئية قاسية مثل المنطقة الساحلية، للتوصل إلى حلول عملية جيدة وممكنة لمعالجة هذه الظاهرة والحد منها ، حفاظاً على ديمومة هذه المنشآت واستثمارها بشكل مثالي خلال عمرها الافتراضي .

و من ذلك نخلص إلى النتائج والمقترحات التالية :

1 – يعتبر التآكل الكهروكيميائي العام (المنتظم) والتآكل الكهروكيميائي الموضعي (المركّز) هما النوعان الأكثر انتشاراً في المنشآت المعدنية المقامة في المنطقة الساحلية وذلك بسبب توافر عوامل التآكل بشكل عام (الرطوبة ، الأكسجين) معاً وبكثرة في هذه البيئة .

2 – إنّ توضع العناصر الإنشائية المعدنية وشكلها له دور كبير في زيادة معدلات التآكل ؛ فالعناصر الإنشائية المعدنية التي يسمح شكلها أو توضعها بتجميع المياه الراكدة تتعرض لتأثير التآكل بشكل أكبر من العناصر المعدنية الأخرى في نفس البيئة .

3 – يجب حساب معدلات تآكل المنشآت المعدنية وخاصة تلك المقامة في البيئات ذات الظروف القاسية والسيئة {مثل المنطقة الساحلية} .

4 – يجب التركيز على ظاهرة التآكل عند دراسة وتصميم المنشآت المعدنية فهي ظاهرة خطيرة – كما لاحظنا– لأنها تؤثر سلباً على ديمومة واستثمار هذه المنشآت وتقلل من عمرها الافتراضي .

5 – متابعة دراسة هذه الظاهرة والعمل على إيجاد أفضل طرق الوقاية والمعالجة للحؤول دون حدوث هذه الظاهرة في منشآتنا المعدنية .

المراجع :

.....

1) Dr.CLEMENA,G.2000- Evaluation of Anodes for Galvanic Cathodic Prevention of Steel Corrosion in Prestressed Concrete Piles in Marine Environments in Virginia

2) CHRISTIE,J.2001- Concentrated Corrosion on Marine Steel Piles – A Practical Introduction.

3) DAILY,S.F and SOMERVILLE,S.D.2000- Using Cathodic Protection to Control Corrosion of Masonry Clad Steel Framed Buildings.

4) HACK,H.P,PHD.1999- Galvanic Corrosion and Stainless Steel .

5) YORKSTON,G.K.2003-Sloving The Problems of Chloride Induced Corrosion in Marine Structures Using Stainless Steel Reinforcing, Australia.

6) Corus Construction Centre: www. Coruscon struction.com

7) Stahlbau Arbeitshilfen.2003- Korrosionsschutz: 1, 1.2, 1.3, 1.4 .

8) انديجاني ، اسماعيل ومالك ، أنيس الدين. حماية وحدات التحلية من التآكل – إدارة الموارد المائية في دول مجلس التعاون ، مركز الأبحاث والتطوير ، الجبيل.