قياس تكاليف التآكل – نموذج مقترح

Measuring Corrosion costs - a proposed model

بحث من إعداد / عبد الرحمن عبد الهادى سعد فايد

الأستاذ الدكتور / نجاتى إبراهيم عبد العليم (٢)

أستاذ المحاسبة

عميد كلية التجارة (سابقا)– جامعة بنى سويف

[١] **هذا البحث مشتق لرسالة ماجستير يعدها الباحث بعنوان "قياس تكاليف التاكل واثر ذلك على القدرة التنافسية للمنشاة : نموذج مقترح دراسة تطبيقية "**

٢ المشرف على البحث .

Measuring Corrosion costs - a proposed model

Abdelrahman abdelhadi saad fayed

Dr. Nagaty Ibrahim Abdelaleem

ملخص

تمثل الهدف الرئيسي لهذا البحث في تحديد وقياس تكلفة التآكل كنموذج مقترح، حيث أن التآكل كظاهرة، يؤثر على كافة المنشآت في عدة مجالات سواء مرافق عامة أو بنية تحتية أو في مجال النقل والطاقة ، فالتآكل له تكلفته التي يتحمل عبئها الأفراد والمنظمات ، والاقتصاديات القومية. فعلى المستوى الفردي، يتحمل الفرد التكلفة المباشرة للتآكل نتيجة تآكل ممتلكاته الخاصة، كما يتحمل في نفس الوقت التكلفة غير المباشرة للتآكل والتي تنتقل إليه نتيجة تحمله لتكلفة التآكل التي يتكبدها المنتجون أو الموردون والتي يتحملها المستهلك النهائي. ولذلك تناول هذا البحث التأصيل العلمي لمفهوم التآكل وأنواعه، وتكلفة التآكل وأنواعها المختلفة وكيفية قياس كل منها، وقدم البحث نموذج لكيفية قياس تكلفة التآكل على مستوى المنظمات وعلى المستوى القومي.

الكلمات الدالة: تكلفة التاكل

Abastract

The main objective of this research was to identify and measure the cost of corrosion as a proposed model. as corrosion as a phenomenon affects all facilities in several fields, whether public facilities or infrastructure or in the field of transportation and energy. Corrosion has a cost that can be borne by individuals, organizations, and national economies. At the individual level, the individual bears the direct cost of corrosion as a result of the erosion of his private property, and at the same time it bears the indirect cost of corrosion that is transmitted to him as a result of the corrosion cost incurred by producers or suppliers and borne by the final consumer.Therefore, this research dealt with the scientific rooting of the concept of corrosion, the cost of corrosion and its different types and how to

measure each of them. The research presented a model of how to measure the cost of corrosion at the organizations and national levels.

Kwyword: *Corrosion costs*

مقدمة

خضعت تكلفة التآكل CORROSION COST للدراسة من جانب العديد من الدول ففى الولايات المتحدة الأمريكية نال موضوع تكلفة التآكل أهمية بالغة نتيجة الدراسات المشتركة بين العلماء والمعاهد العلمية، وفى بريطانيا لعبت لجنة "هور" دورا محوريا فى تقدير تكلفة التآكل ، وفى الصين تم أجراء دراسة لتتبع آثار الترسبات الحمضية وقياس تكاليف التآكل للزنك بتمويل من البنك الدولى، حيث تم تقدير تكلفة التآكل نتيجة تأثير العوامل الجوية والترسبات الحمضية على سطح معدن الزنك وانتشاره فى المقاطعات الصينية.[١] وفى المجال البحرى فقد تم إجراء دراسة لتقليل التآكل فى خزانات السفن ورد فيها أن هناك أكثر من بديل لتقليل تكلفة التآكل وقد تم التوصل إلى البديل الأفضل والأكفأ والأقل تكلفة من خلال قياس تكاليف التآكل.[٢]

ولا شك أن التآكل له تكلفته التى يتحمل عبئها الأفراد والمنظمات ، والاقتصاديات القومية. فعلى المستوى الفردى، يتحمل الفرد التكلفة المباشرة للتآكل نتيجة تآكل ممتلكاته الخاصة، كما يتحمل فى نفس الوقت التكلفة غير المباشرة للتآكل والتي تنتقل إليه نتيجة تحمله لتكلفة التآكل التى يتكبدها المنتجون أو الموردون والتى يتحملها المستهلك النهائى. كذلك لا تقتصر تكلفة التآكل على التكلفة المادية، حيث يترتب على التآكل خطورة على

1 - Johan Tidblad, Vladimir Kucera and Alexander A. Mikhailov. (2001), mapping of acid deposition effects and calculation of corrosion costs on zink in china, water,air,and soil pollution***, Netherlands , kluwer academic publishers***, vol. 130, pp 1469:1474.

2 - Kris De Baere a, Helen Verstraelen a, Philippe Rigo b, Steven Van Passel c,d, Silvia Lenaerts c, Geert Potters a,c,(2013), Reducing the cost of ballast tank corrosion: an economic modeling approach***, Marine Structures***, vol. 32, pp: 136–152.

حياة الإنسان نفسه[١]، فقد يؤدى تآكل حديد التسليح إلى تلف المباني والمنشآت أو فشل جزء من الطرق، كما قد يؤدى التآكل إلى انهيار الأبراج الكهربائية والجسور ، فعلى سبيل المثال في عام ١٩٦٧ في الولايات المتحدة الأمريكية انهار جسر (Silver Bridge) فوق نهر أوهايو فى بوينت بليزانت وأدى ذلك إلى فقدان ٤٦ شخص وتكلف الملايين من الدولارات.

مشكلة البحث

تمثل تكلفة التآكل نسبة لا يستهان بها من الناتج المحلى؛ ففى الولايات المتحدة الأمريكية وحدها بلغت تكلفة التآكل فى عام (١٩٩٨) ٢٧٦مليار دولار أى بما يعادل ٣,١ % من الناتج المحلى الإجمالى الأمريكى. كما تضاعف الاستهلاك الكلي من موانع أو مثبطات التآكل من حوالي ٦٠٠ مليون دولار في عام ١٩٨٢ إلى حوالي ١.١ مليار دولار عام ١٩٩٨ ومن المتوقع أن يرتفع الطلب الأمريكي على موانع أو مثبطات التآكل إلى ٢.٥ مليار دولار في عام ٢٠١٧[٢] ، و في المملكة المتحدة فى عام (١٩٧٠) تم قياس تكلفة التآكل على مستوى الاقتصاد الكلى والتى بلغت (١,٣٥٦) مليار جنيه استرلينى ، والذى يمثل ٣.٥ % من الناتج المحلى الإجمالي لعام[٣] ، وعلى مستوى العالم قدرت تكلفة التآكل لعام واحد بمقدار (٢,٢) تريليون دولار عام ٢٠١٠ م. بما يمثل ٣% من الناتج العالمي الإجمالي لنفس العام.[٤]

تؤثر عملية التآكل على كافة المنشآت فى عدة مجالات سواء مرافق عامة أو بنية تحتية أو فى مجال النقل والطاقة ؛ كما أن تكلفة التآكل تشكل نسبة كبيرة من الناتج المحلى للكثير من الدول الأمر الذى يستلزم ضرورة قياس تكاليف التآكل.

وفى ضوء ما سبق تتضح مشكلة البحث فى اقتراح نموذج لقياس تكاليف التآكل.

---

1 - J.C. Scully, ***The Fundamentals of Corrosion***, 3rd ed., Pergamon Press, 1990.

[1-] Bineet Kumar Sing etl,، "Estimating the Cost of Corrosion in Indian industry" ,***Petrotech***-(31 October-3 November 2010, New Delhi, India

[3] - Hoar T.P., (1971) **, *Report of the Committee on Corrosion and Protection***, A Survey of Corrosion Protection in the United Kingdom, Chairman, 1971.

[4] - http://www.g2mtlabs.com**, *NACE cost of corrosion study*** , update 06/2011.

خطة البحث

من أجل تحقيق أهدافه تم تقسيم البحث إلى ثلاث نقاط بخلاف والمراجع وهى:

١ : التآكل:المفهوم والتصنيف

٢ : الدراسات السابقة لقياس تكلفة التآكل

٣ : نموذج مقترح لقياس تكاليف التآكل

وفيما يلى يتناول الباحث كل نقطة من النقاط السابقة بشئ من التفصيل

١ – التآكل : المفهوم والتصنيف

يعتبر التآكل كظاهرة لها آثارها الاقتصادية والاجتماعية على مستوى الفرد والمنظمة والاقتصاد القومى. إن التآكل ظاهرة طبيعية وعملية مكلفة شأنها شأن الزلازل والأعاصير والفيضانات والثورات البركانية مع فارق رئيسى واحد ألا وهو أن الإنسان يقف موقف المتفرج الصامت أمام تلك الظواهر الطبيعية السابق ذكرها، أما فى حالة التآكل فيمكن للإنسان أن يتدخل لمنع أو حتى على الأقل للوقاية من التآكل ، فظاهرة التآكل ليست حالة لحظية بل يجب الاهتمام بها منذ مراحل تطوير المعدات والنظم والبرامج وفحصها حتى إعادة تدويرها أو التخلص منها (من المهد إلى اللحد – Cradle to Grave).[١] ومن الضرورى الفهم المتعمق لظاهرة التآكل، من وجهة النظر العلمية والتكنولوجية لكى يمكن تطوير الاستراتيجيات التى من شانها أن تدنى التكاليف المرتبطة بتآكل الموارد.وعند الحديث عن التآكل يجب الجمع بين المواد وبيئتها؛ حيث أن تآكل المادة يعتمد على البيئة المحيطة بها. كما يعتمد تأثير البيئة وتآكلها للمادة على نوع المادة. وهنا يجب الإشارة إلى أن هناك نوعين من التركيبات بين المواد وبيئتها:(١) تركيبات طبيعية لا تسبب التآكل، (٢) وتركيبات غير طبيعية تسبب التآكل. [٢]

1 - ***USA, Office of the Under Secretary of Defense*** . (2014),Corrosion Prevention and Control Planning Guidebook for Military Systems and Equipment , guidebook, pp:1:88

2 - The Material Information Society, "Corrosion: Understanding the Basics", ***ASM International***, 2000.

١/١ مفهوم التآكل:

تعددت التعريفات المتعلقة بمفهوم التآكل حسب الخلفية العلمية للكاتب (هندسية أو اقتصادية أو محاسبية). ورغم اختلاف طرق التعبير فمعظم التعريفات ركزت على التغير فى الخواص الميكانيكية للمواد بطريقة غير مرغوب فيها، فقد تم تعريف التآكل على أنه التفاعل الكيميائى – الفيزيائى الذى يأخذ طبيعة كيميائية تؤدى إلى تغييرات فى خصائص المعدن والتى تؤدى إلى فشله فى أداء وظيفته ، أو فشل فى البيئة المحيطة به ،او فشل فى النظام الفنى للمادة.[١] وعرف ايضا بأنه التدهور فى حالة المادة نتيجة فقد الطاقة.[٢] كما تم تعريفه ايضا بأنه التغير فى حالة المادة نتيجة تدفق الالكترونات من مادة إلى أخرى أو نتيجة استقبال بعض الالكترونات من سطح مادة إلى سطح مادة أخرى أو انتقال الالكترونات من جزء من سطح المادة إلى جزء آخر.[٣] كما عرف ايضا بأنه "التفاعل الكيميائى والكهروكيميائى بين المواد ، والتى عادة ما تكون بين المواد وبيئتها والتى ينتج عنها تدهورا فى حالة المادة وخصائصها"[٤].

بناء على التعريفات السابقة، يحدث التآكل للأصل (معدن أو غيره) نتيجة تركيب وخصائص مكونات الأصل، ونتيجة التفاعل بين الأصل ومكونات بيئته، فالعلاقة المتبادلة بين الأصل ومحيطه الخارجي ، تتكون من تفاعلات وتأثيرات كيميائيه أو كهروكيميائية والتي تسبب تغيرات فى خصائص وطبيعة المادة، وقد تؤدى إلى تلفها وتغير مواصفاتها من حيث مقاومتها الكيميائية والميكانيكية وحتى الجمالية، وهنا تنشأ حالة التآكل مسببة خسائر ماديه عاليه وقد يؤدي لحوادث غير متوقعة.

---

1 - Mattson, E. (1989), ***Basic Corrosion Technology for Scientists and Engineers***, Ellis Horwood Publishers. P:23

2 - Amir Samimi,(2012), "Studying Corrosion Electrochemical Mechanism in Tube Line and Gas Wells", ***Science and Engineering Investigations*** ,vol.1, issue 10.

3 - Vinod S. Agarwala And Siraj Ahmad.(2000), " Corrosion Detection And Monitoring - A Review", ***Corrosion***, Vol. 67, Paper No. 00271, Pp:432:451.

4 - john wiley&Sons, inc (2008), ***Corrosion and corrosion control***, p1.

٢/١ تصنيف التآكل :

تصنف الدراسات التآكل وفقا لأربعة أسس:- [١]

١/٢/١ تصنيف التآكل على أساس درجة الحرارة:

تلعب درجة الحرارة دورا هاما فى حدوث التآكل وتتفاوت درجة التآكل من مادة إلى أخرى حسب درجة الحرارة فهناك تآكل يحدث عند درجات الحرارة العالية وهناك تآكل يحدث عند درجات الحرارة المنخفضة

٢/٢/١ تصنيف التآكل على أساس آلية التآكل:

يتم التآكل من خلال آليتين أولهما التآكل الكيميائى وهو الذى ينشأ بسبب التفاعل المباشر بين الفلز والبيئة المتصلة به، وثانيهما التآكل الكهروكيميائى وهو الذي ينشأ بسبب تيار كهربائي يتعرض لها الفلز أو السبيكة.

٣/٢/١ تصنيف التآكل على أساس طبيعة التآكل :

يصنف التآكل على أساس طبيعته إلى نوعين أولهما التآكل الرطب وهو الذي يحدث في وسط سائل وثانيهما التآكل الجاف وهو ما يحدث في غياب السائل.

٤/٢/١ تصنيف التآكل على أساس مظهر التآكل[٢]:-

إن تأثير التآكل على سطح المعدن يتخذ أشكالاً مختلفة يعتمد على مظهر هذا التآكل وحالة الوسط وظروفه التي تؤدي إلى حدوثه. وعلى هذا يمكن تمييز أنواع من التآكل أبرزها ما يلي :

- التآكل المنتظم (العام): وفيه يتم حصول التآكل على جميع أجزاء المعدن بنفس المعدل ويحدث عندما تكون فرصة وصول المحلول إلى جميع أجزائه متساوية.

---

1 - Steven J. SUESS& Stork Technimet, Inc. ***Recognition and Analysis of Corrosion Failure Mechanisms,*** New Berlin, WI 53151, U.S.A.pp 1:7

2 -D. Talbot and J. Talbot,(1997), ***Corrosion Science and Technology***, CRC Press.

- التآكل الجلفانى: ينتج هذا النوع عندما يتماس معدنان مختلفان من حيث النشاط الكهروكيميائي في وسط تآكل
- تآكل الشقوق الإجهادي: يحدث هذا النوع من التآكل للسبائك المتعرضة لإجهاد شد ساكن في ظروف بيئية معينة، ويظهر على هيئة شقوق في بعض المناطق على سطح المعدن دون غيرها.
- تآكل ما بين الحبيبات: يحدث عندما يكون المعدن في حالة معينة تؤدي إلى جعل منطقة حدود الحبيبات أكثر نشاطاً من مناطق الحبيبات نفسها.
- تآكل النزع الاختياري : في هذا النوع تتعرض بعض السبائك في أوساط وتحت ظروف معينة إلى ما يسمى بالنزع الاختياري وهو زوال أو ذوبان أحد عناصر السبيكة الأكثر نشاطاً وبقاء العنصر أو العناصر الأخرى .
- التآكل بالتعرية: يحدث هذا النوع بسبب عاملين أحدهما كيميائي والأخر ميكانيكي؛ فنتيجة للحركة النسبية بين المعدن والمائع (السائل أو الغاز) المساعد على التآكل يحصل زيادة أو تعجيل في معدل تحلل المعدن. والضرر الذي يصيب المعدن بسبب التعرية ليس ميكانيكياً بحتاً وإنما يساعد في حدوثه – أيضاً – الطبيعة الكهروكيميائية المساعدة على التآكل لهذا الوسط المتحرك.
- التآكل الشقي أو التصدعي: هو تآكل موضعي شديد يصيب الأجزاء المعدنية في مناطق الشقوق والمناطق المغطاة.
- التآكل النقري: في هذا النوع من التآكل تتكون نُقَر على أجزاء من سطح المعدن دون غيرها.

٢ – الدراسات السابقة لقياس تكلفة التآكل

يتناول هذا الجزء الدراسات التى أتيحت للباحث والتى تتناول قياس تكاليف التآكل

١/٢ تقرير يوهليج ١٩٤٩ (UHLIG) [١]

تمثل دراسة يوهليج (Herbert H. Uhlig) (The Uhlig Report 1949) أول الجهود التي بذلت لقياس تكلفة التآكل فى الولايات المتحدة الأمريكية– بواسطة العالم يوهليج – وقد قدرت تلك الدراسة تكلفة التكلفة السنوية للتآكل بالولايات المتحدة الأمريكية بمبلغ (٥,٥) خمسة ونصف مليار دولار أمريكى آنذاك، أى بما يعادل ٢.١ % من الناتج القومي الإجمالى لعام ١٩٤٩ م. وقد صنفت هذه الدارسة تكلفة التآكل على أنها تشمل التكاليف المباشرة وغير المباشرة. وأوضحت تلك الدراسة أن التكاليف المباشرة هى التكاليف التى يتحملها المالك أو المُنتِج أو القائم بالتشغيل مثل تكاليف (الطلاء ، الطلاء المعدني، والمثبطات، والمواد المقاومة للتآكل ، واستصلاح واستبدال الخطوط المدفونة تحت الأرض ، والغلايات وغيره من سخانات ومبردات المياه). أما التكاليف غير المباشرة فهى تلك التكاليف التى يتحملها المستهلك مثل تكاليف (إصلاح محركات السيارات، واستبدال سخانات المياه على المستوى العائلي Domestic، واستبدال السيارات المتهالكة والتى انتهت صلاحية استخدامها).

وتتميز هذه الطريقة بان البيانات التى تتطلبها متاحة فى كل القطاعات الإنتاجية والخدمية، وتجدر الإشارة إلى أن التكلفة التقديرية للتآكل تعتمد بشكل كبير على تكلفة الطلاء والتي تحتل أكثر من ٦٠% من تكلفة التآكل الإجمالية.[٢]

ويؤخذ على هذه الطريقة انه بالرغم من سهولة هذه الطريقة فى التوصل إلى تكاليف التآكل كنسبة من الناتج القومى، وتوافر البيانات اللازمة لحساب هذه التكلفة. وتضمينها للتكاليف المباشرة وغير المباشرة للتآكل. إلا أن هذه الطريقة تتعامل مع تكلفة التآكل على المستوى الإجمالى للاقتصاد ككل دون التميز بين القطاعات المختلفة.

---

1 -H.H. Uhlig, (1949). "The Cost of Corrosion to the United States**,"** ***Chemical Engineering News***, Vol. 27.

2 -***Committee on Cost of Corrosion in Japan***, (2001), "Report on Cost of Corrosion in Japan", Japan Society of Corrosion Engineering and Japan Association of Corrosion Control,.

2/٢ لجنة هور ١٩٧٠ (Hoar, 1970) [١]

أُسِّسَت لجنة لاكتشاف التآكل برعاية وزارة التكنولوجيا مكونة من ٢٥ عضو يرأسها احد خبراء التآكل اسمه (هورHoar T.P) ، وذلك لتقدير تكلفة التآكل في المملكة المتحدة ، وقد أصدرت اللجنة تقريرها والذى تضمن قياس تكلفة التآكل على مستوى الاقتصاد الكلى للملكة المتحدة بمقدار (١,٣٥٦) مليار جنيه استرلينى سنويا ، والذى يمثل ٣.٥ % من الناتج المحلى الإجمالي لعام ١٩٧٠ ، كما أوضح التقرير أيضا أن اللجنة تعتقد انه يمكن تجنب تكلفة تآكل تُقدر بمبلغ ٣١٠ مليون جنيه استرلينى سنويا إذا ما كان هناك استغلال أفضل للمعلومات والتكنولوجيا المتقدمة، وهذا المبلغ يعادل تقريبا من ٢٠ إلى ٢٥% من إجمالي تكلفة التآكل القومية.

طبقا لتقرير هو ر تم تقدير تكلفة التآكل لكافة القطاعات الصناعية بالاقتصاد القومي البريطاني ، فقد تم احتساب تكلفة التآكل لكل صناعة على حده ثم تم تجميعها معا للتوصل إلى تكلفة التآكل التي يتحملها الاقتصاد القومي البريطاني ، ثم تم تقييم وتلخيص النفقات المباشرة بالنسبة للمالك والمشغل في كل قطاعات الاقتصاد البريطاني أما بالنسبة للتكاليف غير المباشرة الخاصة بالمستخدم النهائي فلم تدرج في الدراسة.

تم تجميع المعلومات من خلال المقابلات الشخصية مع خبراء التآكل الذين يعملون في هذه الشركات التابعة لتلك القطاعات ، ومن خلال دراسة النفقات الخاصة بممارسات الحماية من التآكل ، قام الخبراء بتقدير تكلفة التآكل الفعلية وتكلفة التآكل التي من المحتمل تجنبها بناء على خبرتهم ، وقد تم تعميم هذا الأمر على كافة قطاعات الاقتصاد البريطاني، كما تم الحصول على معلومات بشأن التعليم والبحث في مجال التآكل بواسطة استبيان وزع على الجامعات والكليات التقنية كما امتد البحث ليشمل الجمعيات البحثية، والرابطات التنموية والدوائر الحكومية ، وقد ساعدت الجمعيات التجارية والمهنية فى جمع المعلومات ،

1 -Hoar T.P., (1971) , ***Report of the Committee on Corrosion and Protection***, A Survey of Corrosion Protection in the United Kingdom, Chairman, 1971.

وقد تم استخدام المعلومات التي تم جمعها لصناعة معينة لتقدير التكاليف في القطاعات الصناعية الأخرى المماثلة.

تتضمن التكلفة (تكلفة التآكل) التكاليف المباشرة للتآكل في كل قطاع وفى بعض الحالات تتضمن التكاليف التي يتكبدها المستخدم النهائي مثل تكلفة عمليات الإصلاح والصيانة وذلك في القطاعات التي لم يتم تضمينها ضمن الدراسة ، بالرغم من أن هذه الدراسة أظهرت أن تكلفة التآكل في بريطانيا باهظة إلا أنها لم تكن مرتفعه كما كان متوقع لها أن تكون استنادا إلى النظر للنفقات السنوية لممارسات وتقنيات الحماية من التآكل .

ويؤخذ على هذه الطريقة انه بالرغم من أنها حاولت علاج الانتقاد الأول لطريقة يوهليج، وذلك بدراسة تكاليف التآكل على مستوى كل قطاع من قطاعات الاقتصاد القومى، وتجميع تكاليف التآكل فى هذه القطاعات لكى تعطى رقم إجمالى لتكاليف التآكل على المستوى القومى، إلا أنها اقتصرت فقط على التكاليف المباشرة للتآكل، كما أنها لم تتضمن قياس تكاليف اكتشاف التآكل ، أو تكاليف معالجة التآكل أو تكاليف معالجة الأضرار المترتبة على التآكل.

3/٢ طريقة المدخلات والمخرجات ١٩٧٥ [١]

اسند الكونجرس الامريكى إلى المكتب القومى للمعايير (NBS) دراسة وتقدير تكلفة التآكل للولايات المتحدة الأمريكية ، الذى اسندها بدوره الى معامل باتيل كولومبوس (BCL) ، وكانت هذه الدراسة هى الأولى من نوعها التى تجمع بين خبراء التآكل وخبراء الاقتصاد لتقدير أثر التآكل على الاقتصاد الامريكى .

ويلاحظ أن قياس تكلفة التآكل فى الولايات المتحدة الأمريكية والتى قام بها NBS-BCL فى عام ١٩٧٥ قد اعتمدت على النسخة المعدلة لقياس تكلفة التآكل ألا وهى طريقة

1 - R. Winston Revie, , John Wiley & Sons, Inc, (2000), "Cost of Metallic Corrosion", ***Uhlig's Corrosion Handbook***, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc , PP: 3-10.

المدخلات \ والمخرجات (In put\out put model) ، وهذا النموذج تم تناوله فى العديد من المقالات ، كما تم تناوله فى الكثير من المحاضرات المتعلقة بالتآكل.

وتناولت هذه الدراسة (١٣٠) قطاع من القطاعات المكونة للاقتصاد القومي ، وقد كانت عناصر تكلفة التآكل –المستخدمة فى هذا النموذج و فى تلك الدراسة– كالاتى :–

- المواد والعمالة و النفقات المرتبطة بالوقاية من التآكل ، كتطبيق الحماية الكاثودية ، واستخدام الطلاء، واستخدام مثبطات.
- النفقات الناتجة عن استخدام مواد إضافية أو عمالة إضافية للوقاية من التآكل
- النفقات الناتجة عن استبدال أجزاء تضررت بسبب التآكل.
- النفقات الناتجة عن استخدام المعلومات ونقل التكنولوجيا والبحث والتطوير، والعرض التوضيحي لأساليب للتعامل مع الآثار المدمرة لتآكل المعادن.

وهناك عامل هام يجب أخذه فى الاعتبار عند قياس تكاليف التآكل على المستوى القومى ألا وهو المدة التى قضاها الأصل فى الإنتاج ومقارنته بقيمته الاستبدالية نتيجة الضرر الناتج عن التآكل. وقد كانت عناصر تكلفة التآكل التى تم استخدامها فى نموذج المدخلات والمخرجات فى تلك الدراسة كالآتى:

- تكاليف رأسمالية وتشمل التكاليف المترتبة على (استبدال المعدات والمباني–الطاقة الإنتاجية الفائضة–المعدات الزائدة عن الحاجة)
- التكاليف التى يمكن التحكم فيها وتشمل التكاليف المترتبة على (تكاليف الصيانة والإصلاح– تكاليف مكافحة التآكل)
- تكاليف التصميم وتشمل (تكاليف مواد البناء– تكاليف المواد– البديلة المقاومة للتآكل– تكاليف معالجات خاصة)
- تكاليف أخرى وتشمل التكاليف المترتبة على(فقدان المنتج– الدعم الفني– تأمين ضد التآكل– تكاليف جرد الأجزاء و المعدات)

وقد افترضت الدراسة أن العالم يأخذ ثلاثة صور هى:

- العالم الأول (١) : عالم الواقع (الحقيقى) وهو العالم فى وجود التآكل.
- العالم الثانى (٢): العالم الافتراضى وهو عالم لا يوجد به تآكل.
- العالم الثالث(٣): وهو العالم الافتراضى البديل والذى يفترض وجود التآكل ولكن تستخدم الوسائل الفعالة لمنع التآكل.
- ويتم حساب تكاليف التآكل بإتباع المعادلات التالية :
- التكاليف الكلية = تكاليف العالم الأول(١) – تكاليف العالم الثانى (٢)
- التكاليف التى يمكن تجنبها = تكاليف العالم الأول (١) – تكاليف العالم الثالث(٣)
- والتكلفة التى لا يمكن تجنبها = تكاليف العالم الثانى (٢) – تكاليف العالم الثالث(٣)
- واستخدمت هذه الطريقة نموذج المدخلات والمخرجات والذى يشمل كلا من التكاليف المباشرة وغير المباشرة للتآكل فى كل قطاع وكذلك التداخلات أو التفاعلات بين القطاعات المختلفة .[١]

وتوصلت هذه الدراسة إلى أن عناصر تكاليف التآكل يمكن تجميعها فى عنصرين (١)تكاليف يمكن تجنبها: وهى تلك التى فى الإمكان تقليلها من خلال استخدام بعض النظريات الاقتصادية أو التقنيات التكنولوجية أو كليهما معا ، و(٢) تكلفة التآكل: وهى التكاليف الحتمية التى لا يمكن تجنبها. وطبقا لبيانات العام ١٩٧٥ فقد قام (BLC) بتقدير تكلفة التآكل بمبلغ (٨٢ مليار دولار) اى بما يعادل ٤.٩% من الناتج القومى الاجمالى (GNP) الذى بلغ لنفس العام (١٦٧٧ مليار دولار) ، كما تم تقدير تكلفة التآكل التى يمكن تجنبها بمبلغ (٣٣ مليار دولار) اى بما يعادل تقريبا ٤٠% من اجمالى تكلفة التآكل، ولتحديد مستوى دقة هذا النموذج فقد تمت مقارنة نتائج (BLC) وتقارير (NBS) عن معدل التآكل السنوي الذي بلغ (٧٠ مليار دولار) اى بما يعادل ٤.٢% من الناتج القومي

1 -R. Winston Revie, , John Wiley & Sons, Inc, (2000), "Cost of Metallic Corrosion", ***Uhlig's Corrosion Handbook***, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc , PP: 3-10.

الاجمالى (GNP) وبالتالي تم تقدير عدم التأكد طبقا لهذا النموذج بمعدل ٣٠% تقريبا ، وبناءا عليه فإن مستوى الدقة في هذا النموذج هى ٧٠% تقريبا.

فى تقرير (NBS) تم تقدير تكلفة التآكل التى يمكن تجنبها بما يعادل ١٥% من اجمالى التكلفة ولكن لاحتمالات الخطأ فقد تم تقدير نسبة عدم التأكد مابين (١٠ – ٤٥)%

ويؤخذ على هذه الطريقة انه بالرغم من اعتماد هذه الطريقة على حساب تكلفة التآكل وتكلفة التآكل التي يمكن تجنبها. بإجراء حسابات على الناتج القومى فى ثلاثة حالات ؛ إلا أنها تتعامل على مستويات الأرقام الإجمالية للناتج القومى، ولم تتضمن كافة الجوانب المختلفة لقياس تكلفة التآكل (تكاليف الاكتشاف، ومعالجة الأضرار).

4/٢ دراسة محطة سياتيل(Ceattel) لضخ المياه بالولايات المتحدة الأمريكية:[1]

استهدفت هذه الدراسة قياس وتحليل تكاليف التآكل في كل من : (١) محطات الضخ وشبكة توزيع المياه في محطة سياتل، (٢) قياس وتحليل تكاليف التآكل في توصيلات وأنابيب المياه داخل مبانى المستخدمين. ووجدت الدراسة أن تكاليف التآكل في أنابيب ووصلات المياه لدى للمستفيدين وفى محطات الضخ كانت أعلى بعشرة أضعاف من التكاليف الرأسمالية لإنشاء هذه الخطوط وشبكة التوزيع، وتمثل تكاليف التآكل عشرين ضعف لتكلفة الصيانة السنوية لشبكة توزيع المياه من المحطة للمستفيدين.

وقد اعتمدت الدراسة مدخل لقياس تكاليف التآكل فى مواسير التوصيلات لدى المستخدمين، وقد تم تقسيمها إلى: مسكن الأسرة الواحدة، والمساكن المزدوجة، والمساكن متعددة الأسر – عمارات–، والمبانى ذات الغرض التجارى، والمبانى ذات الغرض الصناعى، والمنشآت المملوكة للدولة. مع الأخذ في الاعتبار: العمر الزمنى للتركيبات وعدد محطات الخدمة في كل منطقة.

1 - Robert A. Ryder (1980), The Costs of Internal Corrosion in Water Systems, ***American Water Works Association***, Vol. 72, No. 5,, pp. 267-279.

فبالنسبة لتكلفة التآكل في نظم التوصيل داخل مساكن المستفيدين، تم تقدير تكلفة التآكل على النحو التالى:

١- بالنسبة للمساكن الفردية والمزدوجة، فإن عناصر تكلفة التآكل تمثلت فى: تكلفة الإصلاحات المؤقتة والاستبدال النهائي للأجزاء التي يمكن الوصول إليها من مواسير ووصلات المياه الساخنة والباردة،إلى إصلاحات التسرب . وقد بلغت تكاليف إصلاح التآكل ٦٥دولار لكل إصلاح ١٠٠ دورلار لاستبدال أنابيب المياه الساخنة والباردة التي يسهل الوصول إليها دون استبدال التشطيبات الهامة ؛ 50 دولار لكل إصلاحات للتسرب. و ٧٥دولارً لك إصلاح لأضرار التسرب.

٢- بالنسبة للوحدات السكنية متعددة العائلات، تمثلت عناصر التكلفة فى إصلاحات، واستبدال أنابيب توزيع المياه الساخنة، وتركيب أنظمة المعالجة الكيميائية، وفقدان الإيجار المحتمل في بعض المباني حيث تجاوزت تكلفة الإصلاح أو الاستبدال إمكانات الإيجار المحتملة. وقدمت الدراسة جدول لهذه التكاليف حسب العمر الزمنى للتركيبات.

٣- بالنسبة للمنشات التجارية والصناعية والحكومية: تم الاعتماد على البيانات التي لدى هذه المؤسسات لقياس تكلفة التآكل في نظم توزيع المياه داخلها.

٥/٢ تتبع آثار الترسبات الحمضية وحساب تكاليف التآكل للزنك فى الصين:[١]

وفى هذه الدراسة تمت الاستعانة بنموذج لتقدير تكلفة التآكل التى حدثت بسبب ترسبات الزنك، وقد تم تقدير تكلفة التآكل نتيجة تأثير العوامل الجوية والترسبات الحمضية على سطح معدن الزنك وانتشاره فى المقاطعات الصينية، والنموذج الذى تمت الاستعانة به:

$$Ka = K.S. (Lp-1 – Lc-1)$$

1 -Johan Tidblad, Vladimir Kucera and Alexander A. Mikhailov. (2001), mapping of acid deposition effects and calculation of corrosion costs on zink in china, water,air,and soil pollution***, Netherlands , kluwer academic publishers***, vol. 130, pp 1469:1474.

حيث :

Ka هى تكاليف التآكل (التى يجب ان تضاف الى تكاليف الاحلال والتجديد)

K هى تكلفة الترسبات الحمضية على مساحة سطح المعدن

S هى مساحة سطح المعدن المعرض لمخاطر التآكل بسبب الترسبات الحمضية

Lp-1 المدى الزمنى لصيانة المساحة الملوثة

Lc-1 هى مدى الصيانة فى المساحة فى الجزء النظيف

٦/2 تقليل التآكل فى خزانات السفن – نموذج اقتصادى:[١]

تهدف هذه الدراسة إلى تقدير التكلفة الكلية لعدة بدائل تستخدم لتقليل تكلفة التآكل فى صهاريج السفن كما يلى:

البديل الأول : ويتعلق بالصهاريج المستخدمة حاليا والتى تبنى من صلب من الدرجة (أ) بسمك ١٤ مم ومطلى بمادة معيارية (PSPC15) ومجهز بأقطاب تسريب من الزنك ومثل هذا الصهريج يستمر عمره الاقتصادى ل خمس سنوات تقريبا ومن ثم يبدأ الطلاء فيه بالتدهور ويحدث التآكل مما يتطلب إعادة إحلال الصلب وإعادة الطلاء مرة أخرى كذلك يتم استبدال الأقطاب كل خمس سنوات .

البديل الثانى : ومحورها هو السماح بالتآكل . والسماح بالتآكل هو الفقد فى سمك الصلب نتيجة التآكل وفقا للمعايير المقبولة من المجتمع والتى تعنى أن عمر السفينة عند نسبة معينة من التآكل تكون قادرة على الخدمة دون تعرض سلامة السفينة لمخاطر هيكلية وفى هذه الحالة يتم استبدال الصهريج عندما يقل سمك الصلب إلى ٨٠% من السمك الاصلى .

1 - Kris De Baere a, Helen Verstraelen a, Philippe Rigo b, Steven Van Passel c,d, Silvia Lenaerts c, Geert Potters a,c,(2013), Reducing the cost of ballast tank corrosion: an economic modeling approach, ***Marine Structures***, vol. 32, pp: 136–152.

وهذا الحد المسموح به للتآكل هو تصنيف احتياطى أو تصنيف للمحافظة على عمر السفينة حتى ٢٠سنة من تصنيعها وفى هذه الدراسة تم اختيار هذا البديل بحيث يكون الحد المسموح به للتآكل فى سمك الصلب هو ٣ مم عندها يتم إعادة الطلاء بمادة (PSPC15) مرة أخرى وتغيير أقطاب الآنود كل خمس سنوات.

البديل الثالث : يتم طلاء الصهريج بالطلاء (TSCF25) على سمك ١٤ مم للوح الصلب. ويفترض أن هذا الطلاء يحافظ على العمر لمدة ٢٥ سنة وهى العمر الاقتصادى للسفينة ومن خلال الإعداد الجيد وتحسين ظروف الطلاء يتم زيادة سمك الطلاء وبالتالى ليست هناك حاجة إلى استبدال الصلب كذلك تقل الحاجة إلى إعادة الطلاء . وبناءا عليه فإن معدل تآكل السطح سوف ينخفض وكذلك يقل معدل استهلاك أقطاب الآنود وبالتالى سوف يتم استبدال الآنود مرة أخرى كل ١٠سنوات.

البديل الرابع : يتم بناء الصهاريج من مادة الصلب المقاوم للتآكل الذى لا يصدأ ويتم طلائه بطلاء جمالى أبيض وفقا لمعايير المنظمة البحرية الدولية ولكن يصبح إصلاح الطلاء عملية ضرورية كما أن استخدام الآنود يصبح عملية زائدة وليست هناك حاجة لاستخدامها.

البديل الخامس : يتم بناء التانكات من الصلب من الدرجة (أ) وطلائه بالايبوكسى المعيارى (PSPC15) وتستخدم الحماية الكاثودية من خلال استخدام أقطاب من الألومونيوم تكفى لمدة ٢٥ سنة وهى العمر الاقتصادى للسفينة . وتم احتساب التكلفة الكلية للصهريج على أساس أنها:

التكلفة الكلية للصهريج = الاستثمار المبدئى + تكاليف الاستخدام خلال ٢٥ سنة – القيمة المتبقية من السفينة كخردة كمعدل خصم.

ت ك = ث م + (تكلفة الاستخدام ÷ (١+معدل الخصم)ن) – (قيمة الخردة ÷ (١+ معدل الخصم)٢٥)

حيث (ث م) تشير إلى الاستثمار المبدئى ويقدر الاستثمار المبدئى لكل بديل كالتالى:

- الاستثمار المبدئى = تكلفة الصلب + تكلفة الطلاء + تكلفة الآنود
  - حيث:

- تكلفة الصلب = الوزن × سعر الصلب الجديد
  - حيث : الوزن = المساحة × السمك × الكثافة
- تكلفة الطلاء = المساحة × تكلفة طلاء كل ملليمتر من المساحة
- تكلفة الآنود = عدد الآنود المستخدم × تكلفة تركيب كل آنود.

- تكلفة الاستخدام تأخذ فى الاعتبار خمس عناصر وهى تكلفة إعادة تجديد الصلب، وتكلفة إصلاح الطلاء، وتكلفة استبدال الانود، وتكلفة عدم وجود السفينة، وتكلفة انخفاض الحمولة.

تم تطبيق تقدير تكاليف البدائل على دراسة حالة فى شركة داناماكس للصهاريج وتم حساب معادلة التكلفة الكلية لكل بديل مع الأخذ فى الاعتبار عدة متغيرات مالية مثل معامل تعديل التضخم وسعر الصلب ومعدل الخصم وتم التوصل إلى أن البدائل الأول والثالث والخامس من أفضل البدائل ثم تم إجراء تحليل الحساسية واستخدام تحليل المحاكاة بالاعتماد على طريقة مونت كارلو وتوصل تحليل الحساسية وأسلوب مونت كارلو إلى أن البديل الثانى هو بديل غير اقتصادى وأن أفضل بديل هو حماية التانكات باستخدام مادة (PSPC15).

وبذلك فان قياس تكاليف التآكل لعب دورا هاما فى اتخاذ القرار واختيار البديل الأمثل.

ويرى الباحث أن الدراسات التى تمت سواءا على المستوى القومى او على مستوى المنشاة لم تعتمد على نموذج موحد لقياس تكلفة التآكل لديها وإنما كان لكلٍ طريقته الخاصة التى تتناسب مع ظروف الدولة او المنشاة.

فإذا كان هناك نموذج يمكن استخدامه لقياس تكاليف التآكل فى مجال شبكات ضخ وتوزيع المياه ، وكان هناك نموذج يمكن استخدامه لقياس تكاليف التآكل الناتجة عن الترسبات الحمضية مثل الزنك ، وكان هناك نموذج يمكن استخدامه لقياس تكاليف التآكل فى خزانات السفن ؛ فإن هناك الكثير من المجالات التى لا تزال بحاجة إلى قياس تكاليف التآكل فيها ، بالإضافة إلى أن كل من الطرق السابقة لا تكون مناسبة إذا ما تغير المكان والزمان، وعليه

فانه لا يمكن تعميم اى من تلك النماذج ، وتظل المشكلة قائمة بأنه يجب اقتراح نموذج يمكن تطبيقه بشكل عام فى أى بلد وفى أى مجال.

٣- نموذج مقترح لقياس تكاليف التآكل

مما سبق وفى ضوء المفاهيم المتعددة لتكلفة التآكل؛ يرى الباحث أن تكاليف التآكل هى تلك التكاليف اللازمة لمنع واكتشاف ومعالجة التآكل وكذلك التكاليف المترتبة على معالجة آثار الأضرار الناتجة عن حدوث التآكل والتى تشمل تكاليف الاستبدال وتكاليف الخردة وتكاليف إعادة التشغيل والتعويضات ؛ مع الأخذ فى الاعتبار كلا من تكلفة الوعى وكذلك خسائر الشهرة نتيجة انخفاض سمعة المنشأة فى السوق بسبب تآكل منتجاتها.

وبالتالى يقترح الباحث نموذج يمكن من قياس تكاليف التآكل فى ظل مجموعة من الاعتبارات الواجب مراعاتها عند تصميمه

١/٣ متغيرات النموذج المقترح وكيفية تحديدها

تتمثل هذه المتغيرات فيما يلى:

- **تكاليف منع حدوث التآكل:** وهى تلك التكاليف التى تلزم لمنع حدوث التآكل ومن ثم منع حدوث الأضرار ، ويتم تحديد هذا المتغير – خلال مراحل تخطيط وتصميم الشئ المعرض للتآكل – بمجموع التكاليف اللازمة للقيام بالأمور التى تضمن منع أو الحد من حدوث التآكل أثناء فترات استخدام الشئ المعرض للتآكل مثل المادة الخام أو الطلاء أو استخدام الحماية الكاثودية أو تكاليف تعديل التصميم لجعله مقاوم للتآكل وكذلك كافة التكاليف التى تلزم لمنع حدوث التآكل.
- **تكاليف اكتشاف التآكل:** وهى تلك التكاليف التى تلزم لاكتشاف وتحديد الأجزاء التى أصابها التآكل أثناء استخدام المنتج ، وتتحدد بمجموع التكاليف التى تحدث لاكتشاف التآكل أثناء استخدام الشئ المصاب بالتآكل.
- **تكاليف معالجة التآكل:** وهى تلك التكاليف التى تلزم لمعالجة التآكل أثناء استخدام الشئ المصاب بالتآكل (المتآكل) ، وتتحدد بمجموع التكاليف التى تلزم لمعالجة التآكل

الذى تم اكتشافه فى المرحلة السابقة وذلك بما يتفق وأنواع التآكل المتوقع حدوثها ، وهذه التكاليف تحدث فى مرحلة الاستخدام.

- **تكاليف معالجة الأضرار المترتبة على حدوث التآكل:** وهى التكاليف التى تلزم لمعالجة آثار الأضرار الناتجة عن حدوث التآكل ، وتتحدد بمجموع التكاليف التى تلزم لإصلاح ما حدث من أضرار ، بالإضافة إلى التكاليف اللازمة لتعديل وتصليح الأجزاء التى أصابها التآكل التى تسببت فى حدوث الأضرار. وعلى ذلك فإن تكاليف معالجة الأضرار المترتبة على حدوث التآكل تتضمن ما يلى:
  - تكاليف استبدال وحدات تسبب الضرر (متآكلة) ، وذلك إما بواسطة أقسام داخل المنشأة نفسها أو بواسطة أجهزة الرقابة والتفتيش الخارجية ، وتحسب على أنها عدد الوحدات التى يتقرر استبدالها مضروبا فى تكلفة استبدال الوحدة.
  - تكاليف تكاليف الخردة وتتمثل فى صافى خسارة وحدات متآكلة تسبب الضرر ، ولكن يصعب تعديلها ولهذا تباع كخردة ، وتحسب تحسب تكلفة الخردة على أساس عدد الوحدات التى يتم تخريدها مضروبا فى صافى خسارة الوحدة .
  - تكاليف إعادة تشغيل وحدات متضررة من التآكل وتشمل التكاليف اللازمة لمعالجة الأجزاء المتآكلة التى تسبب الضرر والتى يتم اكتشافها بواسطة المستهلك حيث يتم رد تلك الوحدات للمنشاة ، على أن يتم معالجة التآكل بالطريقة التى تتناسب مع الحالة ثم يتم إعادتها للمستهلك مرة أخرى ، على سبيل المثال إذا كان هناك آلة ما متعددة الأجزاء – كما هو الحال فى السيارات والطائرات والسفن و.....الخ – فإن هناك أجزاء صغيرة تتضرر بسبب التآكل ففى هذه الحالة يتم نزع هذا الجزء ومعالجته ثم إعادته مرة أخرى . وتحسب تكلفة إعادة التشغيل فى هذه الحالة على أنها عدد الوحدات المرتجعة من المستهلك مضروبا فى تكلفة إعادة تشغيل الوحدة.

- تكاليف أخرى وتشمل التعويضات والغرامات التى يتم تحملها نظير الأضرار التى تصيب المستهلك أو البيئة أو المجتمع ، وتفرض هذه الغرامات هيئات معينة مثل المحاكم و أجهزة التفتيش والرقابة.

- **تكاليف تنمية وعى المستهلك** هى التكاليف التى يتم تحملها لتنمية وعى المستخدم عن كيفية الاستخدام السليم للاشياء ومواعيد الصيانة الدورية سواءا كانت فى شكل تعليمات او نشرات او اعلانات.
- **خسائر الشهرة:** فقد يترتب على حدوث التآكل والتأثر بأضراره التحول عن تلك الأشياء أو الأجزاء التى أصابها التآكل والاتجاه نحو أشياء أو أجزاء تحقق نفس الهدف الذى كانت تحققه الأشياء أو الأجزاء التى أصابها التآكل.

٢/٣ الصياغة الرياضية للنموذج المقترح

يقترح الباحث استخدام المعادلة التالية لقياس تكاليف التآكل

تكلفة التآكل = ت م + ت ك + ت ج + ت ض + ت و + خ ش

حيث :

ت م تكاليف منع حدوث التآكل

ت ك تكاليف اكتشاف التآكل

ت ج تكاليف معالجة التآكل

ت ض تكاليف معالجة الأضرار المترتبة على حدوث التآكل ، وتتحدد كما يلي :

ت ض = س + ر + أ + غ حيث :

س تشمل تكاليف استبدال اشياء او اجزاء تسبب الضرر (متآكلة) وتحسب كما يلى :

ع س × ت س حيث :

ع س عدد الاشياء او الاجزاء المستبدلة

ت س تكلفة استبدال الوحدة

ر تكاليف الخردة وتحسب كما يلى :

ر = ع ر × د ر حيث :

ع ر عدد اشياء او اجزاء يتقرر تخريدها

د ر صافى خسارة الشئ او الجزء الذى يتم تخريده

أ تكاليف إعادة تشغيل اشياء او اجزاء متآكلة وتحسب كما يلي :

أ = ع أ × ت أ حيث :

ع أ عدد الاشياء او الأجزاء المتآكلة المرتجعة من العميل

ت أ تكلفة إعادة تشغيل الشئ او الجزء

غ التعويضات والغرامات التي يتم تتحملها بسبب التأثير غير المرغوب فيه بسبب التآكل على المستهلك أو البيئة أو المجتمع.

منتجاتها المتآكلة على المستهلك أو البيئة أو المجتمع.

ت و تكاليف تنمية الوعى لدى المستهلكين او المستفيدين من الأشياء أو الاجزاء المعرضة للتآكل.

خ ش خسارة الشهرة نتيجة التأثر بأضرار التآكل.

ويساهم النموذج المقترح فى توفير معلومات عن :

- تكاليف تفصيلية عن التآكل ، حيث تفيد هذه المعلومات فى تخطيط ورقابة هذه التكاليف ، وإعداد برامج للتعامل مع هذا النوع من التكلفة.
- مؤشرات يمكن اتخاذها كإنذار مبكر ، لمعرفة ما إذا كانت هناك أى آثار سلبية تؤثر على سمعة المنشاة فى المستقبل.

- إمكانية تحقيق تخفيض حقيقى فى تكلفة التآكل.
- إمكانية تحقيق تغذية مرتدة، حيث فى ضوء الأجزاء التى يتم إعادة تشغيلها والمرتجعة من المستهلك يمكن تحديد الأجزاء التى يتضح أنها غالبا ما تتعرض للتآكل ، وفى ضوء ذلك يتم التركيز عليها ومراجعتها تجنبا لحدوث التآكل والتأثر بأضراره.

٣/٣ الاعتبارات التى يجب مراعاتها فى النموذج المقترح

- تحديد تكاليف كل عنصر من عناصر النموذج بصورة تفصيلية حيث يوضح تكاليف منع حدوث التآكل واكتشافه وأيضا تكاليف معالجته ، بالإضافة إلى التكاليف المترتبة على معالجة الأضرار التى نشأت بسبب حدوث التآكل، وهذا من شانه المساهمة فى إمكانية تخطيط ورقابة كل عنصر تكلفة من هذه التكاليف؛ بالإضافة إلى إمكانية تخطيط ورقابة تكاليف التآكل ، والعمل على تخفيضها.
- النموذج المقترح يتناول كافة المراحل المتعلقة بالتآكل وهى مراحل متكاملة ، حيث انه يوضح التكاليف اللازمة لمنع حدوث التآكل من البداية وبعد ذلك يوضح التكاليف اللازمة لاكتشاف ومعالجة التآكل، ثم بعد ذلك يوضح تكاليف الأضرار التى ترتبت على حدوث التآكل، برغم الجهود التى بذلت منذ البداية لمنع حدوثها واكتشاف حدوثها ومعالجتها.

قائمة المراجع

(A) Books:

1. - John wiley&Sons, inc (2008), ***Corrosion and corrosion control***.
2. J. Kruger, "Cost of Metallic Corrosion", ***Uhlig's Corrosion Handbook,*** Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., (2000).
3. J.C. Scully, ***The Fundamentals of Corrosion***, 3rd ed., Pergamon Press, 1990.
4. R. Winston Revie, , John Wiley & Sons, Inc, (2000), "Cost of Metallic Corrosion", ***Uhlig's Corrosion Handbook***, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.
5. Uhlig, H.H. (1985), ***Corrosion and Corrosion Control***, 3rd ed. New York: John Wiley and Sons.
6. ***USA, Office of the Under Secretary of Defense*** . (2014),Corrosion Prevention and Control Planning Guidebook for Military Systems and Equipment , guidebook, www.corrdefense.org

(B) Periodicals:

1. Amir Samimi,(2012), "Studying Corrosion Electrochemical Mechanism in Tube Line and Gas Wells", ***Science and Engineering Investigations*** , vol. 1, issue 10.
2. Amir Samimiã and Soroush Zarinabadi,(2011), An Analysis of Polyethylene Coating Corrosion in Oil and Gas Pipelines, ***Journal of American Science***,vol.7, no.1.
3. Bineet Kumar Sing etl,، "Estimating the Cost of Corrosion in Indian industry" ,***Petrotech***-(31 October-3 November 2010, New Delhi, India)
4. H.H. Uhlig, (1949). "The Cost of Corrosion to the United States," ***Chemical Engineering News***, Vol. 27.
5. J. C. Schouten And P. J. Gellings, (1987), Quantitative Measures of Corrosion and Prevention : Application to Corrosion In Agriculture***, J. Agric. Engng. Res***, Vol. 36.
6. Johan Tidblad, Vladimir Kucera and Alexander A. Mikhailov. (2001), mapping of acid deposition effects and calculation of

corrosion costs on zink in china, water,air,and soil pollution, ***Netherlands , kluwer academic publishers***, vol. 130.

7. Kris De Baere a, Helen Verstraelen a, Philippe Rigo b, Steven Van Passel c,d, Silvia Lenaerts c, Geert Potters a,c,(2013), Reducing the cost of ballast tank corrosion: an economic modeling approach, ***Marine Structures,*** vol. 32.
8. Robert A. Ryder (1980), The Costs of Internal Corrosion in Water Systems, ***American Water Works Association***, Vol. 72, No. 5.
9. Steven J. SUESS& Stork Technimet, Inc. ***Recognition and Analysis of Corrosion Failure Mechanisms,*** New Berlin, WI 53151, U.S.A.
10. Vinod S. Agarwala And Siraj Ahmad.(2000), " Corrosion Detection And Monitoring - A Review", ***Corrosion***, Vol. 67, Paper No. 00271.

(C) Others:

1. ***ASM Intrnational*** (2000) "Corrosion: Understanding the basics",. www.asminternational.org/bookstore product code: #066916.
2. ***Committee on Cost of Corrosion in Japan***, (2001), "Report on Cost of Corrosion in Japan", Japan Society of Corrosion Engineering and Japan Association of Corrosion Control.
3. D. Talbot and J. Talbot,(1997***), Corrosion Science and Technology***, CRC Press.
4. Hoar T.P., (1971) , ***Report of the Committee on Corrosion and Protection***, A Survey of Corrosion Protection in the United Kingdom, Chairman .
5. http://www.g2mtlabs.com, NACE cost of corrosion study , update 06/2011.
6. www.almalnews.com (2014), Monday 27 oct 11:44 am