

حماية من التآكل لنماذج من أنبوب فولاذي مدفونة في التربة

هيثم محمد وعدا لله العبيدي/مدرس مساعد
الكلية التقنية /موصل / قسم هندسة تقنيات التبريد والتكييف

المستخلص

جرى في هذا البحث دراسة تأثير نوع الحماية من التآكل على مقاومة تآكل نماذج من أنبوب فولاذي مدفونة في التربة. تضمن العمل إعداد وتحضير نماذج من الصلب الكربوني غير المحمية وأخرى محمية من التآكل بطرق حماية مختلفة وهي الحماية بالغلفنة والحماية الكاثودية بمصدر جهد خارجي وحماية كاثودية بمزدوج غلفاني وحماية بالتغطية بالمطاط ، وضعت النماذج المحمية والنماذج غير المحمية في وسط التآكل والمتمثل بالتربة . تم استخدام علاقة رياضية مقاسه بوحدة (mdd) كدالة لقياس معدل التآكل. وتبين من النتائج إن معدل تآكل النماذج غير المحمية هو الأعلى بينما أظهرت الحماية الكاثودية أعلى مقاومة للتآكل.

الكلمات الدالة: حماية من التآكل، نماذج من أنبوب فولاذي، مدفونة في التربة

Corrosion Protection of Steel Pipe Samples Buried in Soil

Haitham M. Wadullah / Assist. Lecturer
Technical College / Mosul/ Dept. of Ref. & A/C Eng.

Abstract

The types of corrosion protection on corrosion resistance of steel pipe samples buried in soil have been studied in this research. Samples of unprotected carbon steel are used with other protected by different corrosion protection such as galvanic coating, rubber coating and two types of cathodic protection (impressed current and sacrificial anodes). The weight loss technique is used as a function of the corrosion rate (mdd).

The results, which have been obtained, show that the corrosion rates in the unprotected samples are high compared with the corrosion protected samples, and the maximum corrosion resistance is found to be at the cathodic protection systems.

Key words: Corrosion protection, Samples of steel pipe, Buried in soil

1. المقدمة:

يعد تآكل المنشأة المعدنية المغمورة (المدفونة) في التربة من أكبر المشاكل الهندسية والاقتصادية وأكثرها انتشاراً في العالم ويظهر ذلك جلياً من خلال التأثير الكبير لهذه المشاكل على تلك المشاريع. إن هذه المشاريع المعرضة للتآكل تشمل ملايين الكيلومترات من خطوط أنابيب نقل الغاز الطبيعي والزيوت الخام والمنتجات البتروكيميائية فضلاً عن مشاريع أخرى تحت سطح الأرض كالخزانات الأرضية المعدة لأغراض التخزين وخطوط نقل الاتصالات المحلية والدولية وشبكات توزيع مياه الشرب [1]. جميع دول العالم وخاصة الصناعية منها تعاني من مشكلة التآكل، لذلك فهي تحاول جاهدة التخلص من هذه المشكلة بوسائل شتى، فقد تسببت هذه الظاهرة في حدوث الكثير من الخسائر على الاقتصاد الأمريكي على سبيل المثال، حيث تم إنفاق مايربو عن 6 بلايين دولار بسبب خسائر صناعة الأنابيب جراء تعرضها للفشل بسبب التآكل. يضاف إلى ذلك خسائر أخر كفقدان المنتجات المنقولة بواسطة تلك الأنابيب المتآكلة وما ينتج عنها من حوادث وحوادث تؤدي إلى خسائر هائلة [2,3].

إن الاهتمام العالمي بهذه الظاهرة يعكسه العدد الكبير من الأبحاث المنجزة في شتى أنحاء العالم والتي تحاول إن تجد حلولاً هندسية مناسبة لتلافي حدوث عملية التآكل وذلك بتطبيق ودراسة العديد من الطرق الهندسية الحديثة والتي تهدف إلى منع حدوثه أو الإقلال من أثاره الجانبية وما ينتج عنها من خسائر فادحة. يكمن خطر التآكل في تنوعه وتنوع أسبابه ولهذا تنوعت وتعددت أساليب الحماية منه، علماً إن أكثر أنواع التآكل خطورة هو التآكل الذي يحدث في الأنابيب الفولاذية المدفونة تحت الأرض [4].

يعتبر التآكل في التربة الرطبة الرخوة أكثرُ عنفاً من التآكل في التربة الجافة والتربة المشبعة بالماء، وذلك لأن حدوث عملية التآكل يتطلب وجود الرطوبة والأكسجين معاً، والمعروف إن التربة الجافة تفتقر إلى الرطوبة والتربة المشبعة تفتقر إلى الأكسجين [5]. يسمى هذا النوع بالتآكل الرطب أما التآكل الجاف فيحدث عند درجات الحرارة المرتفعة ومن أمثلته الأكسدة، وتختلف طبقات التآكل المتكونة على السطح من ناحية الخواص الكيميائية والفيزيائية، كما تختلف هذه الطبقات بتغير وسط التآكل ففي الهواء الجوي تكون طبقات خفيفة وبسبك قليل جداً مقارنة بالتآكل بالماء أو بالتربة إذ تكون طبقات التآكل ذات سمك أكبر وتأثيرها سلبياً على المعدن [6, 7]. أن العوامل التي تعزز عملية التآكل في التربة هي الرطوبة النسبية وتركيز الأكسجين وتركيز الكبريتات (SO_4) وتركيز أملاح الكلوريدات (Cl) المتواجدة في التربة وقيمة الأس الهيدروجيني (PH) والمسامية (Porosity) والتيارات الشاردة والموصلية الكهربائية للتربة التي تمتاز بتأثيرها الكبير على سير التفاعل الكهروكيميائي، وتعتمد الموصلية الكهربائية على كمية الرطوبة والأملاح الموجودة في التربة [5].

إن تدفق التيار الكهربائي من مساحة الانود إلى مساحة الكاثود قد يولد خلايا تآكل موقعيه تبدأ أما على سطح معدني واحد بسبب اختلاف فرق الجهد بين نقطتين في المعدن وتسمى خلية التآكل المجهرية (Microcell Corrosion) أو بين سطحين معدنيين فتسمى خلية التآكل العينية أو غير المجهرية (Macrocell Corrosion) بشرط وجود الكتروليت في كلتا الحالتين [8]. إن عملية حماية الأنابيب المدفونة في التربة ليس بالأمر السهل فهو يحتاج إلى الدقة والاهتمام والمتابعة وذلك كون المتغيرات التي تساعد على نشوء التآكل الموقعي وتحفيزه متوفرة وبكثرة ومنها عدم تجانس التربة واختلاف مكوناتها ونسبة الرطوبة بين نقطة وأخرى وتركيز الأملاح ودرجة الحرارة ونوع المعدن المستخدم ومكوناته وغيرها من العوامل الكثيرة [9,1]. وقد أُستُخدم في هذه الدراسة تربة كبريتية تم جلبها من موقع صناعي وهو منشأة كبريت المشرق.

أجرى الباحث (Wadullah 2006) [8] اختباراً لنماذج الصلب الكربوني المعاملة حرارياً لدراسة تأثير ذلك على مقاومة التآكل في أوساط تآكل متعددة إلا إن أكثرها تأثيراً على المعدن ظهرت في التربة الرملية الرطبة المستخدمة في الدراسة. وأوعز سبب ذلك إلى إن التربة المستخدمة من النوع الهش الرطب، كما وتمتاز بالتوصيل الكهربائي العالي بسبب احتوائها على نسبة من الأملاح فضلاً عن الرطوبة. ودرس الباحث (Al-Abdullatif 2007) [4] إحدى طرق الحماية المستخدمة لمنع تآكل أنابيب الصلب الكربوني المدفونة في التربة، إذ استخدم الباحث الحماية الكاثودية على اعتبارها الأكثر كفاءة ودرس العلاقة بين التيار المعطى للحماية والموصلية الكهربائية للتربة المستخدمة في الاختبار. وتوصل

إلى علاقة رياضية أدت إلى تحسين كفاءة منظومة الحماية الكاثودية المستخدمة في المواقع الحقلية المختارة للاختبار والدراسة ، كما سجلت انخفاضا في معدلات التآكل بنسبة 3% وهذا بدوره أدى إلى خفض الطاقة المستهلكة.

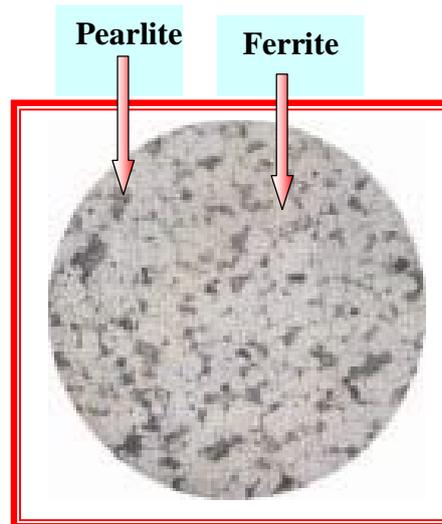
نظرا لأهمية هذا الموضوع تم عمل وانجاز هذا البحث والذي اشتمل على دراسة وفهم لهذه الظاهرة الخطيرة إلا وهي ظاهرة التآكل في الأنابيب الفولاذية المدفونة في التربة، وذلك من خلال عمل دراسة لأنظمة الحماية الممكنة والموجودة في بعض القطاعات الصناعية وتوفير قاعدة بيانات مختبريه تساعد في إيجاد طرق الحماية ذات الكلف الاقتصادية الأقل والكفاءة العالية .

2. الجزء العملي:

تم تهيئة عشر نماذج من الصلب منخفض الكربون (CK 15) والمعطى تركيبه الكيماوي في الجدول رقم (1) ، وتركيبه المجهرى في الشكل (1) . أخذت هذه النماذج من أنبوب لنقل النفط خارج عن الخدمة لصعوبة استخدام الأنبوب بأكمله في التجارب المختبريه. تضمنت مرحلة تهيئة النماذج تشغيل وأعداد سطوح نماذج الصلب المستخدمة بشكل متماثل والذي شمل التجليخ والتنعيم (Grinding) لإزالة الخشونة السطحية والزوايا الحادة غير المرغوبة وإزالة أي آثار لعملية تآكل سابقة وترقيم النماذج باستخدام قوالب لترقيم العينات وذلك لسهولة التعرف عليه وتمييزها ثم وزنها باستخدام ميزان كهربائي نوع (Mutler) ذو أربع مراتب بعد الفارزة (10^{-4}) . ولظمان عدم تفاعل النماذج مع الهواء وضعت في وعاء مفرغ من الهواء استعدادا لمرحلة الحماية من التآكل بالطرق المحددة للدراسة ثم الاختبار ومن ثم مرحلة إعداد النتائج .

جدول (1) : تحليل التركيب الكيماوي للصلب منخفض الكربون المستخدم في اختبار التآكل .

Type of steel	Composition (%)				
	C	Si	Mn	P	S
CK 15	0.14	0.40	0.38	0.029	0.03



الشكل(1): التركيب المجهرى للصلب منخفض الكربون المستخدم في اختبار التآكل.

ولتوضيح طرق الحماية المستخدمة في هذه الدراسة تم تقسيمها إلى مجاميع حسب نوع الحماية وهي:

1.2 (التغطية بالزنك (الغلفنة) Galvanic coating : تستخدم التغطية بالزنك لحماية المعادن الحديدية من التآكل، إذ تنظف الأسطح المراد تغطيتها بالزنك من الدهون وأثار الصدأ باستخدام المواد الكيميائية ثم تغسل وتجفف ، وتجري عملية التغطية بالزنك بالطلاء الكهربائي أو الغلفنة في المحاليل الحمضية حيث تكون طبقات الزنك الناتجة أفضل [11,10]. يتكون المحلول الحامضي المستعمل للتغطية بالزنك من (300) غم/لتر ماء مقطر من كبريتات الزنك المائية ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) و(30) غم/لتر ماء مقطر من كبريتات الصوديوم المائية ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) و(42) غم/لتر ماء مقطر من كبريتات الألمنيوم المائية ($Al_2(SO_4) 3 \cdot 18H_2O$) و(25) غم/لتر ماء مقطر من حامض البوريك (H_3BO_3). تتراوح قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) للمحلول من (3.5 – 4.5) ، ودرجة حرارة المحلول (20-30) درجة مئوية ، بينما تتراوح كثافة التيار الكهربائي بدون تحريك (1-5) أمبير/دسم² وكثافة التيار الكهربائي بالتحريك 10 أمبير/دسم². بعد الانتهاء من عملية الطلاء يتم مسح طبقات الزنك الناتجة بمحلول حامض النتريك بنسبة (0.3) غم/لتر ماء مقطر لمساعد على إزالة المخلفات القلوية التي قد تكون موجودة في محلول التحليل الكهربائي، ثم تعامل هذه الطبقات الجديدة من الزنك بمحلول الكرومات الذي يساعد على ثبات واستقرار طبقة الزنك، يعتمد سمك طبقة التغطية بالزنك وجودتها على كثافة التيار والزمن ، وكما مبين في الجدول التالي:

جدول (2): العلاقة بين سمك طبقة الزنك مع كثافة التيار والزمن اللازم [13,12]

الفترة الزمنية الضرورية (دقائق) لترسيب طبقات الزنك بالسمك المبين أدناه						كثافة التيار (أمبير/ دسم ²)
30 ميكرون	20 ميكرون	10 ميكرون	5 ميكرون	2 ميكرون	1 ميكرون	
210	140	70	35	11	7	0.5
105	70	35	17.5	7	3.5	1
52.5	35	17.5	9	3.5	1.8	2
35	24	12	6	2.4	1.2	3
27	17.5	9	4.5	1.8	0.9	4
21	14	7	3.5	1.4	0.7	5
10.5	7	3.5	1.8	0.7	0.4	10

2.2 (التغطية بالمطاط (Rubber coating): تغطي أسطح الأنابيب الفولاذية المراد حمايتها من التآكل بالمطاط بعد عملية التنظيف والتجفيف ويُفضل استخدام نوعية جيدة من الصمغ مثل صمغ البوتيل الذي تم الحصول عليه من جامعة الموصل لضمان جودة الحماية من التآكل. إذ يوضع الصمغ على أسطح نماذج الصلب الكربوني المأخوذة من الأنابيب الفولاذية والمراد حمايتها من التآكل ويوزع بشكل متجانس ، بعد ذلك يوضع المطاط على أسطح نماذج الصلب الكربوني المصمَّعة بشكل منتظم مع الضغط عليها في جميع الاتجاهات من أجل عدم ترك أي فجوات هوائية داخلية بين سطح النموذج المراد حمايته من التآكل وطبقة المطاط المستخدمة في الاختبار .

3.2 (الحماية الكاثودية بمزدوج غلفاني : إن مبدأ التآكل الغلفاني يمكن استخدامه لأغراض الحماية الكاثودية بمزدوج غلفاني وذلك بجعل المعدن المراد حمايته كاثود مقارنة بمعدن أخر مضمي به يسمى أنود، وأثناء عملية التآكل يتولد تيارا غلفاني يؤدي إلى التقليل أو الحد من معدل التآكل في المعدن المراد حمايته (الكاثود). وتعتبر هذه الحماية من أساليب الحماية ذات الأهمية البالغة كما أنها تعتبر طريقة

كهروكيميائية للحماية من التآكل [12,14]. تم ربط نماذج الصلب المجهزة في هذه الدراسة والمراد حمايتها بالحماية الكاثودية بمزدوج غلفاني بأقطاب الألمنيوم بطول 10cm وسماك 2cm. تمتاز أقطاب الألمنيوم بأنها ذات جهد يساوي (-0.1662 volts) مقارنة بجهد الهيدروجين القياسي كما موضح في الجدول (3)، وهي بهذا تمتاز بنشاطها العالي وبالتالي قابليتها للتفاعل فتتسلك سلوك الانود إذا ما قورنت بالحديد الذي يعتبر كاثود في هذا التفاعل الكهروكيميائي لأنه أكثر استقرارا ، كما تمتاز أقطاب الألمنيوم بسهولة الحصول عليها وأنها ذات كلفة منخفضة وتؤدي دورها بشكل جيد في هذا المجال. كما يمتاز الألمنيوم بقابليته الكبيرة على الاتحاد بالأوكسجين ، حيث يتشكل غشاء رقيقا من اوكسيد الألمنيوم يقيه من استمرار التآكل ولهذا تعزى مقاومة الألمنيوم الجيدة للتآكل . غير إن هذا الغشاء يقاوم وسط التآكل الأحامضي ولا يقاوم وسط التآكل القاعدي الذي يعمل على إذابة هذا الغشاء وبالتالي يصبح قطب الألمنيوم ضعيفا. وبما ان وسط التآكل المستخدم في هذه الدراسة قاعدي كما اثبت فحص قيمة الرقم الهيدروجيني (pH=8.7) الذي تم في جامعة الموصل لم يكون هناك سبب علمي يمنع من استخدام أقطاب الألمنيوم.

4.2) الحماية الكاثودية بمصدر جهد خارجي: ففي هذه الطريقة يسلط تيار خارجي مباشر (Direct current) يربط قطبه السالب بالأنبوب المراد حمايته (نماذج الصلب الكربوني في الظروف المختبرية) ويربط قطبه الموجب بالمعدن المضحي به (حديد السكراب) لتوفره ولرخص ثمنه نسبيا. حيث يسري التيار المسلط من مصدر جهد خارجي من القطب الموجب وخلال التربة إلى القطعة المختبرية المراد حمايتها والتي تمثل القطب السالب. ان التيار الخارجي المسلط يزداد بزيادة مساحة قطب الانود ويقال بنقصانها [15,16,17]، وهذا ما تم ملاحظته عند إجراء التجربة المختبرية.

بعد إجراء عمليات الحماية من التآكل لنماذج الصلب المستخدمة في هذه الدراسة وضعت في التربة المختبرية الجافة نماذج الصلب المحمية وغير المحمية لغرض المقارنة بينهم والتحليل من خلال معدل التآكل بعد انتهاء فترة الاختبار ، فضلا عن المقارنة بين أنواع الحماية المستخدمة في هذه الدراسة. ومن اجل توفير ظروف تآكل مشابهة للظروف الطبيعية التي تتعرض لها الأنابيب المدفونة ، وبما إن اغلب الأنابيب المدفونة تحت الأرض موجودة في المنشأة الصناعية لذلك تم اختيار وجلب تربة من منشأة كبريت المشراق التي تمتاز تربتها باحتوائها على مادة الكبريت .

تم الاختبار في أحواض زجاجية مختبرية بالأبعاد (60*30*25 cm) وبدرجة حرارة الغرفة علما إن الحوض ملئ بالكامل بالتربة المجهزة للاختبار. كما تم ترطيب التربة بأوقات محددة باستخدام الماء وبواقع 0.5 لتر/ أسبوع وعلى طول فترة الاختبار . والغرض من إضافة هذه الكمية القليلة من الماء هو زيادة التوصيل الكهربائي للتربة لغرض انتشار التفاعل الكهروكيميائي على مساحات سطحية اكبر مع ضمان المحافظة على مواصفات التربة المستخدمة والمتمثلة بالجفاف والوسط القاعدي كون إن قيمة الرقم الهيدروجيني (PH=8.7) .

جدول (3): سلسلة القوة الدافعة الكهربائية (EMF) [8]

Electrode reaction	Standard electrode potential. E volts, 25 °C
$K = k^+ + e^-$	- 2.924
$Ca = Ca^{++} + 2e^-$	- 2.87
$Na = Na^+ + e^-$	-2.714
$Mg = Mg^{++} + 2e^-$	- 2.363
$Be = Be^{++} + 2e^-$	- 1.71
$Al = Al^{3+} + 3e^-$	- 1.662
$Mn = Mn^{++} + 2e^-$	- 1.05
$Zn = Zn^{++} + 2e^-$	- 0.763
$Cr = Cr^{3+} + 3e^-$	- 0.744
$Ga = Ga^{3+} + 3e^-$	- 0.53
$Fe = Fe^{++} + 2e^-$	-0.44
$Cd = Cd^{++} + 2e^-$	- 0.403
$Tl = Tl^+ + e^-$	- 0.336
$Co = Co^{++} + 2e^-$	- 0.227
$Ni = Ni^{++} + 2e^-$	-0.250
$Sn = Sn^{++} + 2e^-$	- 0.136
$Pb = Pb^{++} + 2e^-$	- 0.126
$H_2 = 2H^+ + 2e^-$	0.000
$Cu = Cu^{++} + 2e^-$	+ 0.337
$Hg = Hg^{++} + 2e^-$	+ 0.788
$Ag = Ag^+ + e^-$	+ 0.799
$Pd = Pd^{++} + 2e^-$	+ 0.987
$Pt = Pt^{++} + 2e^-$	+ 1.2
$Au = Au^{3+} + 3e^-$	+ 1.498
$Au = Au^+ + e^-$	+ 1.68

3. اختبارات التآكل:

في هذا البحث تم إجراء اختبارات التآكل لفترة شهر أي أن زمن التعرض للتآكل لمدة 720 ساعة. وبعد انتهاء فترة الاختبار رفعت النماذج المحمية وغير المحمية من أوساط التآكل المختبرية المتمثلة في هذه الدراسة بالتربة لتنظف من طبقات التآكل الناتجة بالطريقة الميكانيكية باستخدام الفرشاة والماء أولاً ، ثم وضعت نماذج الصلب في محلول الـ (Clarck solution) وهو محلول يتفاعل ويذيب الطبقة المتآكلة من الصلب فقط دون المساس بالطبقة السليمة لذلك تكون نماذج الصلب بعد إخراجها من المحلول خالية من أي طبقات متآكلة على السطح بعد مضيء المدة المحددة للتفاعل وهي عشرون دقيقة ، مما يسهل احتساب الوزن بعد الاختبار (w_2).

يُحدد معدل التآكل (Corrosion rate) المقاس بوحدة ميلغرام / ديسمتر مربع / يوم (mdd) وهي (milligram per square decimeter per day) حسب ASTM G1 ، ومن خلال العلاقة التالية:-

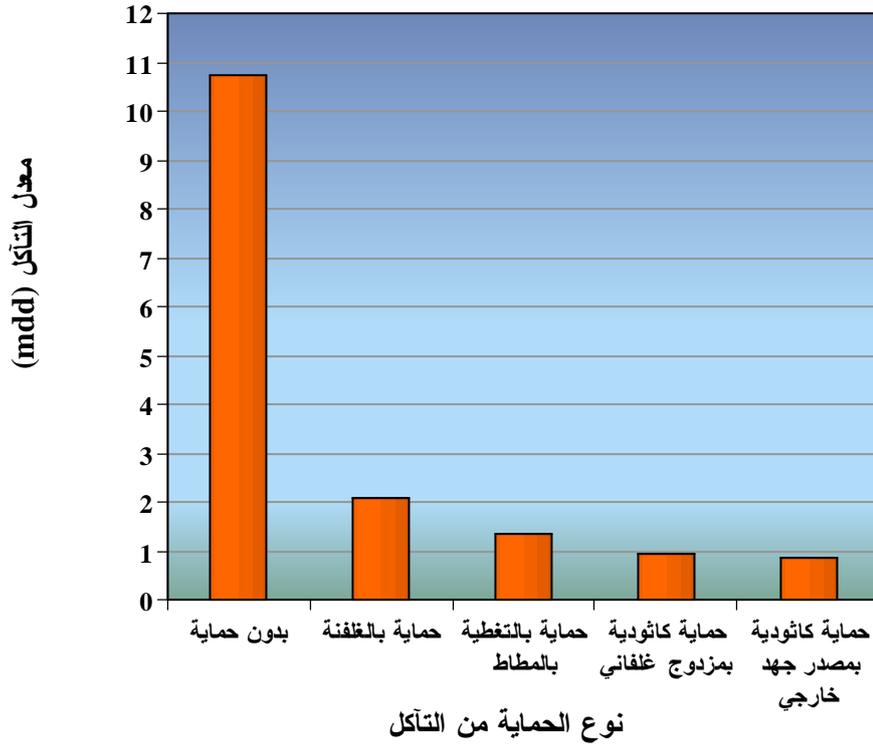
$$\text{Corrosion Rate (mdd)} = \left[\frac{KW}{AT} \right] \dots\dots\dots(1)$$

إذ إن :-

- (K) : قيمة ثابتة وهي (2.4×10^6) لغرض الحصول على وحدة ميلغرام / ديسمتر مربع / يوم.
 - (W) : الفقدان في الوزن بـ (g) ، وتمثل الفرق بين الوزن قبل الاختبار (w_1) وبعد الاختبار (w_2) .
 - (A) : المساحة السطحية بـ (cm^2) .
 - (T) : فترات الاختبار أي زمن التعرض للتآكل بـ (hours) .
- تستخدم هذه العلاقة في حساب معدل التآكل وقد ورد ذكرها في كثير من مصادر التآكل ومنها [18,19,20,21].

4. النتائج والمناقشة:

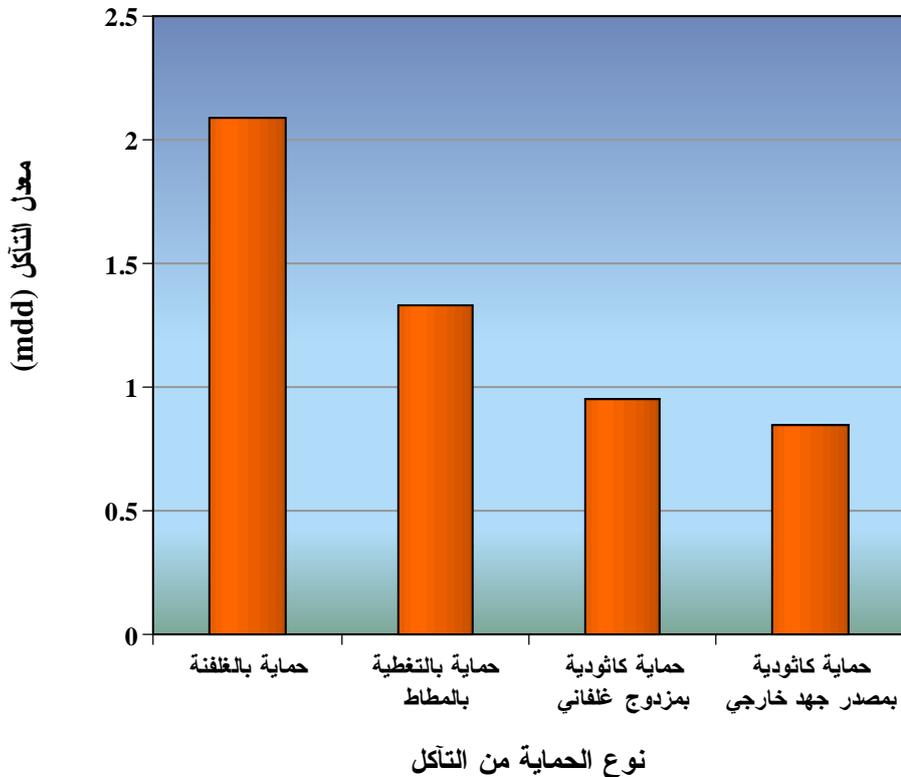
الشكل (2) يوضح مقارنة بين معدلات التآكل لنماذج محمية من التآكل بطرق مختلفة وهي الحماية بالغلفنة والحماية بالتغطية بالمطاط والحماية الكاثودية بنوعها (الحماية الكاثودية بمصدر جهد خارجي والحماية الكاثودية بمزدوج غلفاني وقد تم استخدام قطب مضحي من الألمنيوم) مع أخرى غير محمية مما يجعلها أكثر عرضة للتآكل.



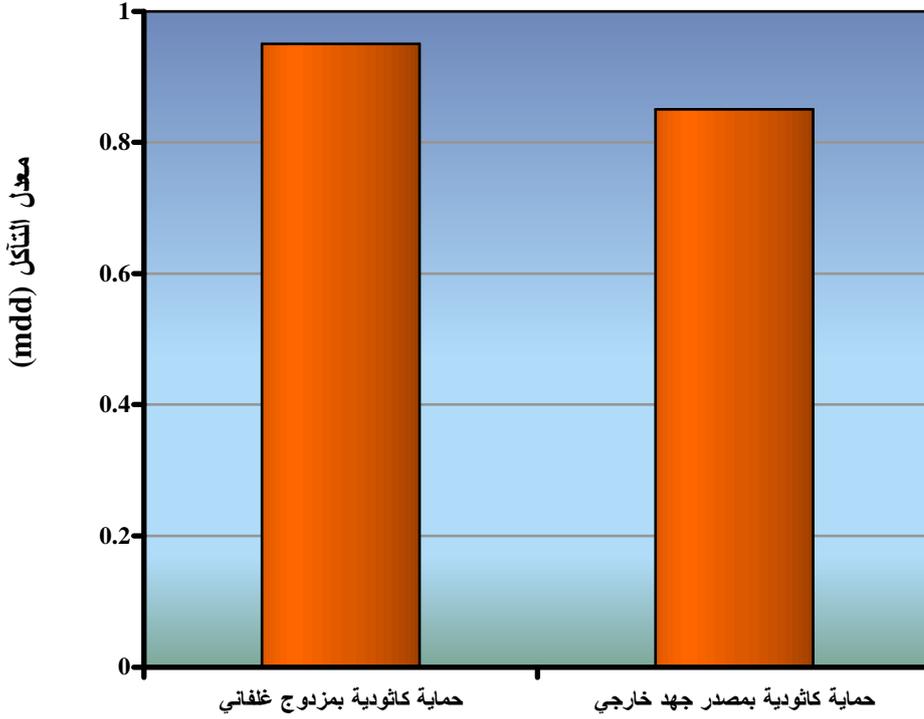
شكل (2): مقارنة بين معدلات التآكل لنماذج محمية من التآكل ونماذج غير محمية.

إذ تبين من خلال الشكل المذكور أعلاه إن النماذج غير المحمية من التآكل أعطت اقل مقاومة للتآكل مقارنة بالنماذج المحمية ويبدو ذلك واضحا من خلال الفرق الكبير بين معدلات تآكل النماذج غير المحمية والنماذج المحمية بغض النظر عن نوع الحماية، وهذا لا يقبل الشك فإن نماذج الصلب تكون أكثر عرضة للتآكل إذا توفرت الظروف المسببة للتآكل وهي الرطوبة و الأوكسجين. ويختلف تأثير وشدة التآكل على الصلب باختلاف نوع وطبيعة الوسط المحيط فضلا عن مدى مقاومة الصلب المستخدم والتي تختلف بالاعتماد على حالة الصلب وطبيعته وتجانس البنية المجهرية الطورية وعدد الأطوار وحجمها والشوائب والاجهادات ونسبة الكربون وغيرها من العوامل الكثيرة التي تزيد أو تضعف من مقاومة الصلب الكربوني للتآكل [8]. غير إن مقاومة تآكل الصلب الكربوني غير المحمي ضعيفة نسبياً فيما إذا قورنت بالمعادن الأخرى ، بسبب استعداد الصلب للتآكل لاختلاف طبيعة الأطوار والتراكيب الداخلة في بنيته المجهرية وكما مبين بالشكل (1)، واحتمال احتوائه على الشوائب ، وسهولة تفاعله مع البيئة المحيطة. والبيئة المحيطة (وسط التآكل) المستخدم في هذا الاختبار شديدة التأثير لأسباب عدة منها كون إن التربة المستخدمة في هذه الدراسة من النوع الهش وملوثة بالكبريت مما يحفز على نمو البكتريا المتغذية على الكبريت والمسببة للتآكل ، فضلا عن احتوائها على أملاح الكلوريدات (Cl) التي اثبت فحص وتحليل التربة إن ايونات الكلوريدات تساوي 1025 PPM (وحدة لكل مليون وحدة). إذ تقلل أيونات الكلوريد وايونات الكبريتات المقاومة النوعية للتربة من خلال زيادة التوصيل الكهربائي فيها ليكون الوسط بذلك اشد تأثيرا على الصلب المستخدم كما يقلل مقاومته للتآكل من خلال انتشار التفاعل الكهروكيميائي على المساحات السطحية الممكنة بشكل اكبر، وهذا ينطبق مع التربة المستخدمة العامل الذي يقلل من مقاومة الصلب للتآكل بسبب زيادة التوصيل الكهربائي مما يجعل انتشار عملية التآكل على مساحات اكبر من سطح الصلب.

إن نماذج الصلب التي تم حمايتها بالحماية الكاثودية بمصدر جهد خارجي والحماية الكاثودية بمزدوج غلفاني أعطت أفضل مقاومة للتآكل مقارنة بأنواع الحماية الأخرى المستخدمة في هذه الدراسة وكما موضح من خلال الشكل (3) والشكل (4) .



شكل (3): مقارنة بين أنواع الحماية من التآكل المستخدمة في البحث.



نوع الحماية من التآكل

شكل (4): مقارنة بين الحماية الكاثودية بمصدر جهد خارجي والحماية الكاثودية بمزدوج غلفاني

ومن خلال الشكل (4) يلاحظ بأنه لا يوجد فرق كبير بين معدلات التآكل في كل من الحماية الكاثودية بمزدوج غلفاني والحماية الكاثودية بمصدر جهد خارجي على الرغم من وجود فرق فني وتقني في كلا الطريقتين إلا أن الهدف هو حماية المعدن من التآكل [17]. يكمن الفرق الفني في كلا الطريقتين في إن الحماية الكاثودية بمزدوج غلفاني تتطلب اختيار معدن أكثر نشاطا وأكثر تفاعل وبهذا يسلك سلوك الانود وتعتمد سرعة التفاعل على الفرق في الجهد بين الانود والكاثود ، لاحظ الجدول (3) ، ويختلف ذلك في الحماية الكاثودية بمصدر جهد خارجي لان الذي يحدد الانود والكاثود هي الإشارة الكهربائية المسلطة على كل منهم فالإشارة السالبة تُعطى للجزء المراد حمايته ليشكل قطب الكاثود بينما تعطى الإشارة الموجبة للمعدن المراد التضحية به بغض النظر عن موقعه في سلسلة القوة الدافعة الكهربائية (EMF) ، ويفضل الأرخص والأكثر توفرا في الأسواق مثل السكراب.

تستخدم الحماية الكاثودية كأفضل وسيلة للحماية من التآكل ولمسافات كبيرة تصل إلى عشرات الكيلومترات وذات جدوى اقتصادية عالية كما أشار المصدر [4] . إذ استطاع تخفيض معدل التآكل بنسبة بلغت 3% لخط أنابيب شركة ارامكو لنقل الزيت الخام بطول أربعين كيلومتر (40 كم) تم حمايته بنظام حماية كاثودية مؤلف من 18 قطب أنود تخلصت بعد الدراسة إلى 17 قطب أنود فقط فضلا عن تخفيض الطاقة المستهلكة بمقدار 4.67% مقارنة بالطرق التقليدية الشائعة ، مع الأخذ بنظر الاعتبار المحافظة على درجة عالية من الكفاءة لعمل النظام الخاص بالحماية الكاثودية.

تكمن فكرة الحماية من التآكل بعزل سطح المعدن عن الرطوبة والأكسجين كوسيلة يبراد منها منع أو التقليل من تأثير عملية التآكل على المعدن ، وعلى هذا الأساس جرى العمل بالحماية بالتغطية بالمطاط والحماية بالغلفنة على الرغم من إن كلا الطريقتين تحتاج إلى تقنية عمل عالية . وتزداد كفاءة الحماية من التآكل في هاتين الطريقتين عند ضبط الشروط الفنية والتقنية المطلوبة لكل طريقة منهم ، لغرض عدم ترك أي ثغرة لوصول الأكسجين أو الرطوبة إلى سطح المعدن المراد حمايته مع الأخذ بنظر الاعتبار طبيعة المعدن المستخدم ومدى شدة وسط التآكل. لكن وكما يبدو من خلال الشكل (2)

والشكل (3) إن مقاومة النماذج المحمية بالمطاط هي الأفضل من النماذج المحمية بالغلفنة فيما يخص هذه الدراسة وهذا متوقع لأن الحماية بالغلفنة تكون غير مناسبة لأوساط التآكل غير المتجانسة حيث ينشط احد أنواع التآكل وهو التآكل النقري (Pitting Corrosion) [21]، وهذا ولاشك هو حال التربة فهي مزيج من الرمل والطين بنسب متفاوتة ومتماسكة بماد الغرين فضلا عن الشوائب وما قد تحتويه من مواد عضوية أو بكتريا محفزة لعملية التآكل.

وبذلك يلاحظ بأنه يمكن حماية الأنابيب المدفونة في التربة بطرق حماية مختلفة تبعا لطبيعة الظروف ، فمثلا عند حماية أنبوب لنقل الماء لا يمكن استخدام الحماية بالغلفنة إذا كان الماء المراد نقله ماء ساخن بسبب إمكانية حدوث التآكل النقري بشكل كبير ، كما أنه لا يفضل استخدام المطاط ولا يمكن استخدام الحماية الكاثودية لأن المسافة قد لا تتجاوز بضعت أمتار وبسبب وجود عامل مؤثر جديد وهو حرارة الماء المنقول من خلال الأنبوب ، ولهذا يفضل استخدام أنابيب من الصلب الكاربوني المحمية بطلاء الايبوكسي لعزل الأنبوب عن الرطوبة والأكسجين وكما مطبق صناعيا في معظم المصانع الغذائية والدوائية . بينما يكون ذلك غير مجدي في التربة الكبريتية ، ويفضل استخدام طرق حماية أخرى ذات جدوى اقتصادية كالحماية الكاثودية وكما أشار الباحث [4].

ومن أجل توضيح النتائج التي تم الحصول عليها بشكل أكثر سهولة تم إجراء مقارنة بين النماذج المحمية من التآكل والنماذج غير المحمية ، مع المقارنة بين أنواع الحماية المستخدمة على أساس النسبة المئوية لمقاومة الصلب للتآكل مع تغير نوع الحماية وكما موضح في الجدول (4) .

جدول(4): النسبة المئوية لمقاومة الصلب للتآكل .

النسبة المئوية % لمقاومة الصلب للتآكل			نوع الحماية
مقارنة بالحماية الكاثودية بمزدوج غلفاني	مقارنة بالحماية بالغلفنة	مقارنة بعدم الحماية	
10	59	92	كاثودية بمصدر جهد خارجي
0	54.5	91	كاثودية بمزدوج غلفاني
....	36	87.5	الحماية بالمطاط
....	0	80	الحماية بالغلفنة
....	0	بدون حماية

يلاحظ من الجدول أعلاه والذي يبين النسبة المئوية لمقاومة الصلب للتآكل إن نماذج الصلب التي تعرضت للحماية الكاثودية بمصدر جهد خارجي ذات مقاومة أفضل بنسبة 92% مقارنة بنماذج الصلب غير المحمية ، و 59% مقارنة بنماذج الصلب المحمية بالغلفنة ، و 10% مقارنة بنماذج الصلب المحمية كاثوديا بمزدوج غلفاني. كما يتبين من الجدول(4) ما يأتي:

1. ان النسبة المئوية لمقاومة الصلب للتآكل تأخذ العد التنازلي مع تغير نوع الحماية من التآكل حيث تبدأ بأعلى قيمة والمتمثلة بمقاومة نماذج الصلب التي تم حمايتها كاثوديا بمصدر جهد خارجي وتنتهي بالصفير وهي مقاومة نماذج الصلب غير المحمي ، والسبب في ذلك إن مقاومة تآكل نماذج

الصلب التي تم حمايتها كاثوديا بمصدر جهد خارجي كانت الأفضل حسب النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة ، بينما زاد معدل التآكل مع تغيير نوع الحماية إلى أن أصبح الصلب غير المحمي ذات المقاومة الأدنى كما موضح في العمود الأول من الجدول أعلاه.

2. عند المقارنة بين أنواع الحماية المستخدمة في الدراسة والمتمثلة في العمود الثاني من الجدول أعلاه يلاحظ بان اعلي مقاومة ظهرت لنماذج الصلب التي تم حمايتها كاثوديا بمصدر جهد خارجي ثم بدأت النسبة المئوية لمقاومة الصلب للتآكل تأخذ العد التنازلي أيضا مع تغيير نوع الحماية من التآكل ليثبت بان ادني مقاومة ظهرت في النماذج المحمية بالغلفنة .

3. إما عند المقارنة بين أنواع الحماية الكاثودية وكما موضح في العمود الثالث من الجدول أعلاه ، يلاحظ بان نماذج الصلب المحمية كاثوديا بمصدر جهد خارجي كانت ذات مقاومة تآكل اعلي ، بينما أعطت نماذج الصلب التي تم حمايتها كاثوديا بمزدوج غلفاني ادني مقاومة تآكل.

5. الاستنتاجات:

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة يمكن استنتاج ما يأتي:

1. مقاومة تآكل نماذج الصلب الكاربوني غير المحمي كانت اضعف بكثير من النماذج المحمية.
2. مقاومة التآكل لنماذج الصلب الكاربوني المحمية كاثوديا هي الأفضل مقارنة بطرق الحماية المستخدمة.
3. يمكن حماية الأنابيب المدفونة في التربة بطرق مختلفة تبعاً لطبيعة الظروف المحيطة والعوامل الاقتصادية ذات الصلة.

6. المصادر:

1. Salem A.H., and Saber T.M., "Inhibition of The Corrosion of Steel Pipes Carrying Potable Water", *Elsevier Science Publishers B.V.*, Amsterdam, Vol.93, 1993, pp.461-471
2. Frankel G. S., "Corrosion Science in The 21st Century", *Journal of Corrosion Science and Engineering*, Vol. 6 , 2003, pp. 1-15.
3. Michiel P.H. Brongers, Corrosion Control and Prevention, *CC Technologies Laboratories, Inc., Dublin, Ohio* , 2000, pp. 10-25
4. Al-Abdullatif Mohammed O. M. "*Design and Optimization of Cathodic Protection Systems Used In Prevention of Pipelines Corrosion*", PhD. Dissertation. College Of Engineering , Chemical Engineering Department, King Saud University, Kingdom Of Saudi Arabia , 2007, pp. 21-35,
5. John F.K., "Corrosion Control and Treatment Manual", *Kennedy Space Center*, Revision C-TM-584C / Florida, U.S.A, 1994, pp. 584.
6. Antunesa R. A., "Characterization of Corrosion Products Formed on Steels in the First Month of Atmospheric Exposure", *Journal of Matéria*, Vol 8, No 1, 2003 , pp 27-34
7. Dermaj A., Chikh Z.A., and Chebabe D., "Electrochemical and Analytical Study of Corrosion Inhibition on Carbon Steel in HCl Medium" , *Journal of Corrosion Science*, Vol. 47, 2005, pp. 447-459
8. Wadullah H. 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
9. Francis R., "Bimetallic Corrosion", *National Corrosion Service*, London, U.K. 2000, pp 34-43.
10. Hafiz M. H., "*Improvement of Hot Galvanizing By Nickel Under Layer*" , Eng. & Tech., Vol.26, No.6, 2008, PP 689

11. Hafiz M. H., and Kashan J. S., "Effect of Zinc Phosphating on Corrosion Control for Carbon Steel Sheet", Eng. & Technology, Vol.26 , No. 5 , 2008, pp 503
12. Breen J. E., and Krege M. E. 'Hot-Dip Galvanizing for Corrosion Protection of Steel Products', *American Galvanizers Association, U.S.A.* 2000, pp.21-35
13. Winston R., "Uhligh's Corrosion Handbook", John Wiley & Sons, Inc., Canada, 2000, pp. 100-125.
14. Stephen C.D., "Galvanic Corrosion", *University of Delaware, U.S.A.*, 2003, pp. 14-18.
15. Ashworth V., "Corrosion", Pergamon Books Ltd., London, U.K.,1987, pp. 200-230.
16. William H. Hartt and Wei Chu , ' Design of Cathodic Protection Systems for Deep Water Compliant Petroleum Production Risers ' , *Department of Ocean Engineering Florida Atlantic University – Sea Tech Campus, United States*, 2005, pp. 60-65
17. Jim B. "Monitoring Cathodic Protection System Performance in Deepwater" ,*Deepwater Corrosion Services Inc. & MPE Lindung Sdn. Bhd.*,2005 , pp. 181-194
18. Jeffrey T. B., "The Effect of Microstructure on Near-Neutral-pH SCC", M.Sc. Thesis of Chemical and Materials Engineering, University of Alberta, Canada, 2000, pp. 60-69.
19. Yunping X., and Zhaohui X., "Corrosion Effect of Magnesium Chloride and Sodium Chloride on Automobile Components", *University of Colorado, U. S. A.*, Report no. CDOT – DTD – R – 2004 – 4, 2002, pp. 55-60.
20. William D., and Callister Jr., "Fundamentals of Materials Science and Engineering", John Wiley & Sons, Inc., U.S.A, 2001, pp. 205-234.
21. Fontana G. and Green, D., "Corrosion Engineering", 3rd Edition, McGraw-Hill International, U.S.A , 1986, pp. 171-174 .

تم اجراء البحث في كلية الهندسة – جامعة الموصل