مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (3) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (3) 2011

العلاقة بين الحماية المهبطية والأثر البيولوجي على التآكل

الدكتور أحمد محمود سلامة*
مها رجب**

(تاريخ الإيداع 13 / 1 / 2011. قُبِل للنشر في 2/ 6 / 2011)

□ ملخّص □

التآكل المتأثر بالأحياء الدقيقة هو أحد أعظم الألغاز أمام العلم وهندسة التآكل، وهو التآكل الناتج عن وجود الكائنات الحية بالإضافة إلى نشاطها مثل البكتريا والفطور. فهو المسؤول عن حوالي 27% من التآكلات الخارجية التي تحدث في خطوط الأنابيب المدفونة في التربه وتستخدم للحماية ضد أشكال التآكل والتصدع الخارجي عدة مواد للتغطية مثل الإسفلت وأشرطة البولي أوليفين وأشرطة الدمج الايبوكسية، إضافة لذلك تعزز حماية خطوط الأنابيب بواسطة الحماية المهبطية **CP**. بالرغم من كل هذا يحدث التآكل الحيوي.

الكلمات المفتاحية: التآكل ، طبقة البكتريا، الكائنات الحية المجهرية ، الحماية المهبطية

* مدرس – قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية –جامعة تشرين –اللاذقية –سورية.
** مشرفة على الأعمال– قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين –اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (3) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (3) 2011

The relationship between Cathodic Protection and Microbiologically-influenced Corrosion

Dr. Ahmad Mahmoud Salamah*
Maha Rajab**

(Received 13 / 1 / 2011. Accepted 2 / 6 / 2011)

□ ABSTRACT □

Microbiologically-influenced corrosion (MIC) is one of the greatest mysteries of corrosion science and engineering. (MIC) is corrosion resulting from the presence and activities of microorganisms, including bacteria and fungi. It is responsible for 27% of the corrosion deposits on the exterior of line pipe. To protect against all forms of external corrosion and cracking, several coating materials are used including asphalts, polyolefin tapes, and fusion-bonded epoxies (FBE). Line pipe is further protected by an impressed current or cathodic protection (CP). MIC can occur in the presence of these preventative measures.

Key word: Corrosion, Microscopic Organisms, Biofilm, Cathodic Protection

*Assistant Professor, Department of Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
**Work Supervisor, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia Syria.

مقدمة:

التآكل علم من العلوم التكنولوجية، يهتم بدراسة المادة ومحيطها الخارجي، والعلاقة المتبادلة بينهما من تأثيرات فيزيائية وكيميائية، والتي تسبب التغيرات الحاصلة للمعدن، وتؤدي إلى تلفه، أو تغير مواصفاته، من حيث مقاومته الميكانيكية والكيميائية وحتى الجمالية، ويتسبب في خسائر مادية عالية من جراء توقف المنشآت بصورة دائمة أو مؤقتة، فالتآكل يكلف سنوياً البلايين من الدولارات في الصناعة الكيماوية والنفطية، وتكون تأثيراته مدمرة إذا لم تتخذ الوسائل الملائمة لمراقبتة والحد من حدوثه، وخاصة عندما تكون المشكلة غير متوقعة كما هو الحال في منشآت الصناعة النفطية (أنابيب، خزنات، أبراج تبريد...).

توجد مجموعة واسعة من الأحياء المجهرية في كل البيئات المائية والطبيعية، وتعد البكتيريا أكثر الأحياء المجهرية وجوداً فى الأرض، سواء من ناحية الأعداد أو من ناحية عدد الأجناس والأنواع والنشاط، كما تعد أكثرها أهمية في التغيرات الحيوية التى تؤثر في التآكل. تنمو هذه الأحياء المجهرية الموجودة في المياه على السطوح المغمورة للمواد الإنشائية ، فتؤدي إلى تشكل طبقة بيولوجية مستمرة أو متقطعة ، فالبكتيريا هي إحدى المكونات الثلاثة لحصول التآكل الحيوي (المعدن والبكتريا والماء)، وهي أول الكائنات الحية على كوكبنا، فهي توجد على شكل مستعمرات في كل بيئة من البيئات(هواء، ماء، تربة) الموجودة على كوكبنا، ويبين الجدول(**1**) تعداد هذه البكتريا في الأوساط الثلاثة (هواء، ماء، تربة)، وحسب مكان وجود هذه الأوساط **[1]**

الجدول(1) تعداد البكتريا في الأوساط الثلاثة (هواء، ماء، تربة)، وحسب مكان وجود هذه الأوساط

الوسط	مكان وجود الوسط	عدد البكتريا
هواء	الخارج	$10^2 \sim 10^3 / m^3$
	البيت	$10^3 \sim 10^4 / m^3$
	المحطة	$10^6 \sim 10^8 / m^3$
ماء	المحيط	10^2/ ml
	الماء الجوفية	10^6/ ml
	أنهار	10^3~10^4ml
	مياه معدنية	10^3~10^5ml
تربة	تربة	10^6~10^9/g
	الجليد	10^2~10^5/cm^2

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في دراسة الطبيعة الكهروكيماوية للتآكل الحيوي، وأثر نوع البكتريا في نواتج التآكل، والعلاقة بين الأثر البيولوجي في تآكل المنشآت المعدنية والحماية المهبطية لهذه المنشآت.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد البحث على إجراء دراسة نظرية حول الخصائص الفيزيائية للبكتريا، ثم إجراء تجارب مختلفة لتحديد:

- أثر نوع البكتريا في نواتج التآكل.
- تأثير الحماية المهبطية في تكاثر البكتريا، وبالتالي في التآكل (العلاقة بين الحماية المهبطية وتكاثر البكتريا).

الخصائص الفيزيائية للبكتريا وأنواعها:[2]

إنَّ الكائنات الحية لها تأثير مهم في التآكل، ولا سيما الكائنات الحية المجهرية مثل البكتريا والطحالب والفطور وغيرها، من خلال الأثر البيولوجي في التآكل الكهروكيماوي. يتراوح طول الكائنات الحية المجهرية بين $[0.1 \sim 5\mu m]$ وعرضها حوالي **3µm** ، ويمكن أن تكون عدة مئات من الميكرونات مثل الأشكال الشعرية وهي متحركة تسبح من وسط غير مناسب إلى وسط مناسب، ويمكن لهذه الكائنات أن تعيد انتاج نفسها في مدة قصيرة وفي شروط مناسبة ،إذ إنَّ بعض البكتريا يتضاعف عددها كل **20 min** دقيقة أو أقل، أي أن بكتريا وحيدة يمكن أن تنتج كتلة فيها أكثر من مليون كائن حي مجهري في أقل من سبع ساعات، وهذه البكتريا تعيش ضمن الظروف البيئية التالية:

في مجال درجات الحرارة $[-10 \sim 100°C]$، وفي مجال درجة حموضة $PH\,[0 \sim 10.5]$ وضغط أقل من الضغط الجوي حتى **31MPa** ، وفي أوساط مختلفة درجة الملوحة $[0 \sim 30\%]$ على الرغم من هذه المجالات الواسعة من التحمل للأحياء الدقيقة، إلا أنَّ أكثر البكتريا المسببة للتآكل تعيش في مجال درجات الحرارة بين $[15 \sim 45°C]$ ودرجة حموضة $PH\,[6 \sim 8]$ ،ويتفاوت طلبها للأوكسجين على نحو واسع حسب النوع، فالبكتريا الهوائية **aerobes** تتطلب أوكسجيناً للنمو، بينما تنمو البكتريا اللاهوائية **anaerobes** بدون أوكسجين تماماً. وبعضها ينتج أبواغاً مقاومة للظروف الطبيعية والصناعية، مثل الغليان والتجفيف والتجميد، فقد وجدت أبواغاً حية في شروط قطبية ،وقد نمت عندما وضعت في شروط مناسبة.إنَّ الكثير من الجراثيم والبكتريا تتكيف بسرعة مع المركبات الجديدة فتغير مصدر غذائها ، وبالتالي تملك قابلية عالية للبقاء في ظروف بيئية متغيرة.

البكتريا اللاهوائية المختزلة للسلفات(SRB):

تنمو في التربة والماء النقي أو المالح تحت الشروط اللاهوائية، وهي تعمل في وسط ذي درجة حرارة $[22 \sim 25°C]$ ودرجة حموضة $PH\,[5 \sim 9]$ ، ولهذا النوع دورٌ كبيرٌ في تآكل الخلائط ذات الأساس المعدني في مجموعة من البيئات [3]. إنَّ وجهة النظر التقليدية تقول إنَّ غالبية البكتريا المختزلة للسلفات أحياء مجهرية لاهوائية، بالرغم من أنها تسرع التآكلات في البيئات المكشوفة، لأن عملها يتم بوجود ترسبات scale أو أوساخ slime sludge على سطح المعدن، يمنع أكسجين الهواء من الوصول إلى السطح، مما يوفر جواً لاهوائيّاً ملائماً تماماً لتقوم هذه البكتريا بعملها الاستقلابي، المتمثل بإرجاع الكبريتات إلى كبريتيد يتفاعل مع الهيدروجين (الهيدروجين الناتج عن التفاعلات الكاثودية لعملية التآكل)، ويتشكل كبريتيد الهيدروجين، ويؤدي بدوره إلى انخفاض درجة الـ PH / الأس الهيدروجيني، وناتج التفاعلات هو غاز الأكسجين الذي يؤدي إلى زيادة الاستقطاب الكاثودي، أي سحب الكترونات من الكاثود مما يحفز التفاعلات الأنودية ، ونتيجة لهذا تحدث خلية غلفانية (كهروكيميائية) الشكل(1) وفق المعادلات التالية:

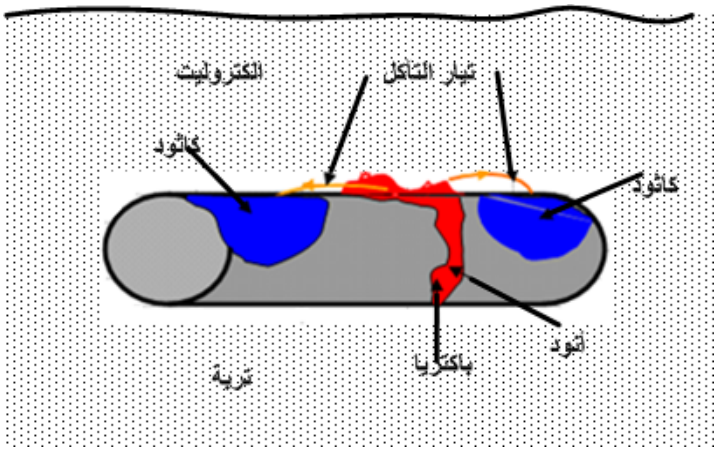
$$SO_4^{-2} \rightarrow SO_2 + O_2 + 2e^- \text{.....(1)}$$

$$SO_4^{-2} \rightarrow S^{-2} + 2O_2 \text{.....(2)}$$

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3 \text{.....(3)}$$

$$Fe + H_2SO_3 \rightarrow FeSO_3 + H_2 \text{ ...(4)}$$

$$SO_4^{-} + 5H_2 \rightarrow H_2S + 4H_2O \text{.....(5)}$$



الشكل(1) عمل الخلية الكهروكيميائية بسبب البكتريا

تعدّ البكتريا اللاهوائية من أهم الأحياء الدقيقة المؤثرة في عمليات التآكل التحت أرضي ،الذي يشمل جميع التآكلات في الأنابيب والمعدات والتراكيب الواقعة تحت الأرض، والتي تتأثر بمحتويات التربة من أملاح ورطوبة ومعادن ومكونات التربة المختلفة، بما في ذلك الأحياء الدقيقة الموجودة تحت الأرض، مثل البكتريا اللاهوائية، والتي تنشط في التربة المحتوية على القليل من الأوكسجين، وعلى ماتتطلبه هذه البكتريا من مواد غذائية لا عضوية من الفوسفات والكبريتات بصورة رئيسية، مع أنَّ هذه التآكلات تحصل في أجواء قليلة التهوية (قليلة الأوكسجين)، إلا أنها تآكلات كهروكيماوية في طبيعتها [4] . تتغذى البكتريا الكبريتية واللاهوائية على الكبريتات، وتحولها إلى أيون الكبريتيد الذي يتحول إلى كبريت الهيدروجين H_2S بوجود أيون الهيدرونيوم

$$SO_4^- \rightarrow S^- + 2O_2 \ldots..(6)$$

إن الأوكسجين المتولد في المعادلة السابقة يستهلك من قبل البكتريا والأحياء الدقيقة الأخرى الموجودة داخل التربة أو يزيد من الاستقطاب على الكاثود، ووجود *SRB* يخفض قيمة درجة الحموضة PH، ويزيد من سرعة التآكل الموضعي والتآكل النقريPitting .إنَّ التفاعلات التي تحصل تحت الأرض بسبب البكتريا اللاهوائية *SRB* والتي تسبب التآكل موضحة في المعادلات التالية:

التفاعلات الأنودية

$$\left\{\begin{array}{l} Fe \rightarrow Fe^{+2} + 2e^- .....(7) \\ 8H_2O \rightarrow 8H^+ 8OH .....(8) \end{array}\right\}$$

التفاعلات الكاثودية

$$\left\{\begin{array}{l} H^+ 8e^- \rightarrow 8H ....(9) \\ SO_4^{2-} + 8H \xrightarrow{SRB} S^{2-} + 4H_2O .....(10) \end{array}\right\}$$

ناتج التآكل

$$\left\{\begin{array}{l} 3Fe^{2+} + 6(OH)^- \rightarrow 3Fe(OH)_2 .....(11) \\ Fe^{2+} + S^{2-} \rightarrow FeS .....(12) \end{array}\right\}$$

كما نلاحظ من المعادلات السابقة أن نواتج التفاعلات عبارة عن هيدروكسيد الحديدي أو كبريتيد الحديدي مصحوباً بتحرير الأوكسجين والهيدروجين عند الأنود والكاثود وطاقة تستهلك في زيادة سرعة نمو البكتريا.

نلاحظ من خلال المعادلات السابقة أنَّه بدون وجود *SRB* تتوقف العملية بعد المعادلة (3)، عندما يصبح السطح مغطى بطبقة من الهيدروجين، وفقاً لهذه النظرية يتم نزع هذه الطبقة بالبكتريا، وهي عملية معروفة بإزالة الاستقطاب الكاثودي، إذ تسمح هذه العملية باستمرار التآكل. مع أنَّ هذه الآلية تلعب دوراً مهماً، لكنها لا تمثل كامل العملية.

تحديد أثر وجود البكتريا المختزلة للسلفات *SRB* في نواتج التآكل

من أجل تحديد هذا الأثر قمنا بتحليل عينة أخذناها من أنبوب لنقل النفط، ومن ثم بحثنا في السوق المحلية عن معدن مشابه أو قريب في تركيبه من العينة السابقة. أجرينا تحليلاً لثماني عينات مختلفة من الفولاذ من السوق المحلية، على جهاز التحليل الطيفي في مخبر المعادن، للحصول على تركيبها الكيميائي ومعرفة اسم المعدن النظامي، اعتماداً على برنامج (Key To Metals Steel 2008) [5] ، فتبين لنا أن إحدى العينات التي تركيبها الكيميائي قريب جداً من التركيب الكيميائي للعينة المأخوذة من الأنبوب وهو موضح بالجدول (2) هي من نوع الفولاذ هو St35.8 . بعد ذلك قمنا بتحضير أربع عينات من الفولاذ St35.8، على شكل مستطيل أبعاده (100x50mm) وسماكة 1mm .

الجدول(2) التركيب الكيميائي وتسمية الفولاذ

Material	Standard	Country	Subgroup	Numerical Designation
St35.8	DIN	Germany	DIN 17175 (1979)	1.0305

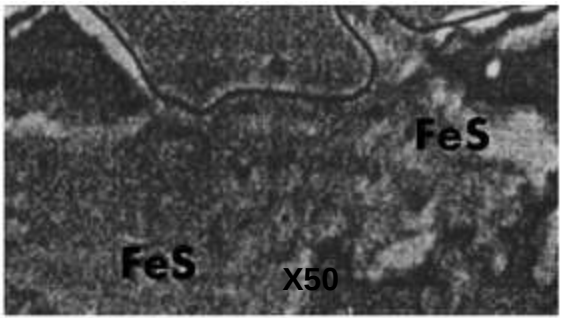
Composition (%) Chemical								
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Average	97.6	0.17	0.182	0.442	0.04	0.04	0.0411	0.005
	Ni	Al	Co	Cu				
Average	0.121	0.001	0.0081	0.11				

- أوعية بلاستيكية محكمة الاغلاق. مياه عذبة تحتوي على البكتريا *SRB* بدرجة حرارة الغرفة **25C**.
- تم وزن العينات قبل التجربة وبعدها على ميزان حساس بدقة **0.001g** نوع (**Sartorius**) الجدول(**3**) فتبين أن مقدار الفقد في الوزن قليل جداً، مما يدل على أن طبقة كبريت الحديد شكلت عامل وقاية لسطح العينات من التآكلات التي يمكن أن تحدث في وسط كالماء.

الجدول(3) وزن العينات قبل وبعد التجربة والوزن المفقود

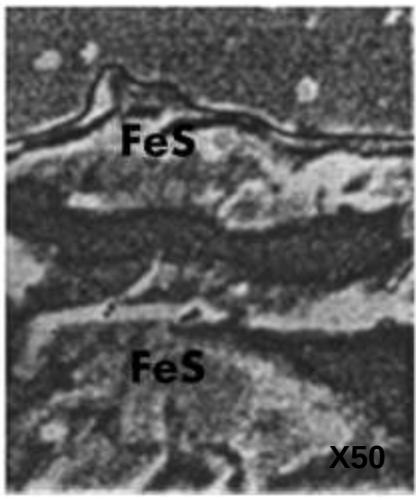
العينة	وزن العينة قبل الاختبار gram	وزن العينة بعد الاختبار gram	الوزن المفقود من العينة خلال 60 يوم gram
1	38.702	36.475	2.227
2	38.415	35.665	2.75
3	38.620	36.077	2.543
4	39.023	36.927	2.096

- تم غمر عدة عينات في المياه، والموضوعة في وعاء مغلق لمدة شهرين. عند رفع العينات من المياه لاحظنا تكون طبقة مستمرة على كامل سطح بعض العينات الشكل(2). تمت إزالتها وتحليل النواتج فتبين أن معظم تركيبها من كبريت الحديد **FeS**.
- تم إجراء صور للطبقة المستمرة على سطح العينات بواسطة مجهر عادي مجهز بكميرا، وموصول إلى الحاسب، موجود في المخبر الجرثومي التابع لقسم الوقاية البيئية في المعهد العالي للبحوث البيئة.



الشكل(2) مقطع في عينة بتكبير X50 من الفولاذ St35.8 المتآكل بعد غمرها لمدة شهرين في مياه عذبة حاوية على البكتريا المختزلة للسلفات *SRB* نلاحظ تكون طبقة مستمرة من كبريت الحديدFeS

بعض العينات كانت تملك طبقة متقطعة وغير مستمرة ، الشكل(3) من مركب كبريت الحديد Fes، مما شكَّل خلايا غلفانية (مناطق أنودية وأخرى كاثودية)، وجعل التآكل في هذه العينات كبيراً نسبياً بالنسبة للعينات السابقة .



الشكل(3) مقطع في عينة بتكبير X50 من الفولاذ St35.8 المتآكل بعد غمرها لمدة شهرين في مياه عذبة محتوية على البكتريا المختزلة للسلفات *SRB* نلاحظ تكون طبقة غير مستمرة من كبريت الحديدFeS

العلاقة بين نشاط البكتريا *SRB* والحماية المهبطية CP

يتم بشكل عام حماية أنابيب النفط بطلائها بطبقة بوليميرية ذات سماكة معينة، تضمن عزل معدن الأنبوب عزلاً ميكانيكياً و كيميائياً وكهربائياً بالإضافة إلى استخدام تقنية الحماية المهبطية، كإجراء مكمل لحماية الأنبوب من التآكل

إن مبدأ الحماية المهبطية ينطلق من مخطط الاستقطابية للمعدن (كمون . تيار) وذلك عن طريق تطبيق كمون سالب للمعدن، ينقل المعدن من منطقة التفاعلات الانودية إلى منطقة التفاعلات الكاثودية يجعل المعدن دائماً مذوداً بتيار سالب[6] (يسمى تيار الحماية المهبطية)، ويجدر بالذكر أنَّ هناك نوعين من الحماية المهبطية :

1. الحماية بواسطة الانود المضحي
2. بواسطة التيار المقدم عن طريق منبع خارجي

إن الطريقة الأولى تعتمد على مبدأ التآكل ثنائي المعدن أو ترتيب المعدن في السلسلة الكهربائية (جهد القطب للمعادن بالنسبة لجهد الهيدروجين المساوي للصفر) حيث إن معدناً كالتوتياء (E= −0.76v) أو الألمنيوم(E=−1.66) أو المغنيزيوم (E=−2.38V) موصولاً إلى معدن الحديد (E=−0.44V) يجعل هذه المعادن أكثر تأثراً بوسط التآكل من الحديد فتتآكل بدلاً عنه.

أما الطريقة الثانية فتستخدم مصدراً خارجيا للطاقة، لتزويد المعدن بالتيار السالب اللازم، حيث يوصل المعدن المراد حمايته بالقطب السالب والقطب الموجب لمعدن غير قابل للأكسدة .حيث يبقى المعدن المراد حمايته دائماً في منطقة الحماية حسب مخطط (Pourbaix)، [3] في هذه الحالة يسري التيار من القطب الموجب، ومن ثم عبر الوسط الأكال، متجها إلى المعدن المراد حمايته، ومن ثم إلى القطب السالب.

إن اختيار إحدى هاتين الطريقتين يعتمد على عدة عوامل منها تكاليف التركيب والصيانة وشكل المنشأة وفترة الحماية المطلوبة[7] .

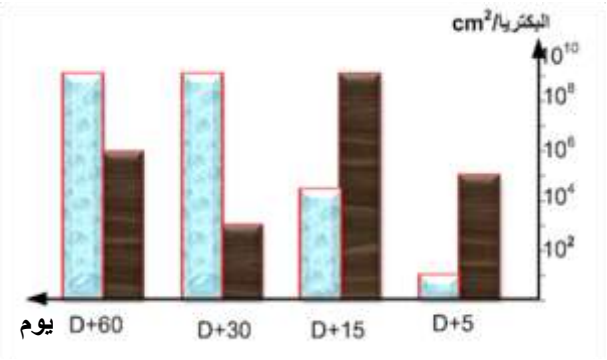
ضمن هدف تقييم أثر الحماية المهبطية على نشاط البكتريا المختزلة للسلفات *SRB* . أخذنا أربعاً وعشرين عينة من الفولاذ St35.8 وقسمناها إلى قسمين من أجل مقارنة نشاط البكتريا على المعدن في غياب الحماية المهبطية وبوجودها وضعنا القسم الأول من العينات موزعة إلى أربع مجموعات، كل مجموعة ثلاث عينات، وتم اجراء التجربة للمجموعات بفترات زمنية مختلفة، يبين الجدول (4) مدة التجربة لكل مجموعة في الحالتين تحت تأثير تيار الحماية المهبطية في وسط يحوي بكتريا، وبدون حماية مهبطية لنفس الوسط.

الجدول(4) عدد العينات وزمن التجربة في الحالتين بوجود حماية وبدونها

عدد العينات	زمن التجربة باليوم
3	5
3	15
3	30
3	60

كانت النتائج كما يلي: في الشكل (4) نجد أن البكتريا المدروسة كان نموها أسرع في ظروف الحماية المهبطية عند الأسبوعين الأوليين وبعد ذلك فإن عدد البكتريا لا يتأثر بتطبيق الحماية المهبطية. وهذا بسبب أن السطوح المستقطبة سلبياً تجذب الكائنات الحية المجهرية بما فيها *SRB* وتحفِّز نشاطها في الأسبوعين الأوليين قبل أن تشكل مستعمرات تغطي سطح العينة بشكل كامل، حيث يبدأ انخفاض معدل التكاثر، لتبدأ من جديد الامتداد باتّجاه أسطح جديدة حيث يزداد نشاطها. بينما نلاحظ من الشكل(4) أن نشاط البكتريا وتكاثرها على العينات غير المحميَّة بالحماية

المهبطية يبدأ ببطْء حتى يصل إلى تشكيل مستعمرة تغطي جزءاً كبيراً من العينة خلال الشهر الأول من التجربة ومن ثم يستقر نشاطها، الشكل(4).

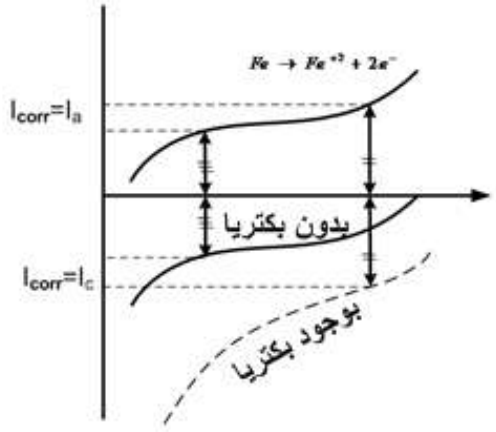


تكاثر البكتريا بوجود حماية مهبطية

تكاثر البكتريا بدون حماية مهبطية

الشكل(4) تأثير تيار الحماية على تكاثر البكتريا

إنَّ نشاط البكتريا زاد من معدلات التآكل الحيوي، لأنه نقل المستوى الكموني المطلوب لتقليل التآكل إلى قيم أكثر سلبية. يبين الشكل(5) التغير في قيم التيار الكاثودي (تيار التآكل) بوجود البكتريا، حيث ازدادت حركية تفاعلات التآكل. مما يتطلب زيادة تيار الحماية عند استخدام الحماية المهبطية لإحداث مستوى الاستقطاب المطلوب.



الشكل(5)التغير في قيمة التيار الكاثودي عند وجود بكتريا(تغير في تيار التآكل)

(I_{corr} (بوجود بكتريا) $<I_{corr}$ (بدون بكتريا)

يبين الجدول(5) متوسط نتائج التجارب التي أجريناها لحساب تأثير وجود البكتريا *SRB* على معدل التآكل، بوجود تيار حماية مهبطية وبدون تيار، حيث تم حساب معدل التآكل بطريقة فقد الوزن بالعلاقة التالية:

$$Vcor = \frac{W_1 - W_2}{S \times t}[g/m^2 day].....(1)$$

Vcor– معدل التآكل $[g/m^2day]$.

W_1– وزن العينة قبل التجربة.

W_2– وزن العينة بعد التجربة.

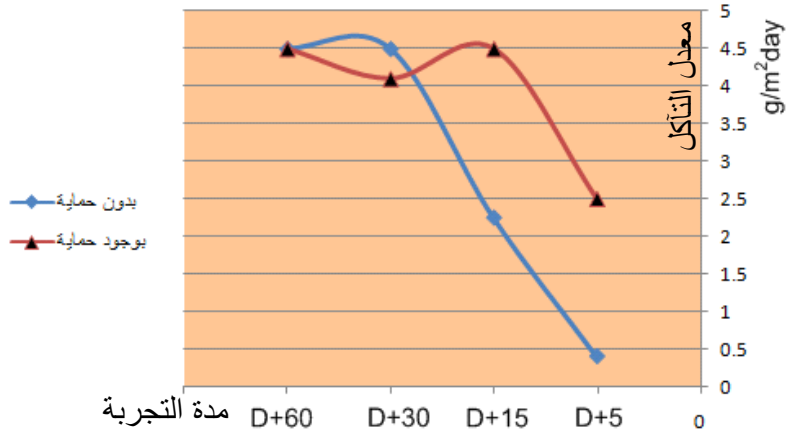
S – المساحة السطحية الكلية للعينة $S = 0.05 \times 0.1 \times 2 = 0.01m^2$.

t – زمن التجربة باليوم.

الجدول(5) متوسط نتائج التجارب

نوع التجربة	زمن التجربة باليوم	وزن العينة قبل التجربة g W1	وزن العينة بعد التجربة g W2	الفقد في الوزن g W1–W2	معدل التآكل g/m^2day
بدون تيار حماية	5	38.702	38.682	0.02	0.4
	15	38.546	38.2235	0.3225	2.15
	30	38.448	37.098	1.35	4.5
	60	38.654	35.954	2.7	4.5
بوجود تيار حماية	5	38.235	38.11	0.125	2.5
	15	38.568	37.893	0.675	4.5
	30	38.275	37.045	1.23	4.1
	60	38.625	35.925	2.7	4.5

كما يبين الشكل (6) معدلات التآكل في العينات المدروسة كتابع لزمن التجربة (بوجود حماية مهبطية وبدون حماية)، حيث نلاحظ عدم فاعلية الحماية المهبطية في تقليل التآكل، نتيجة الزيادة في بناء مستعمرات البكتريا في الأسبوعين الأوليين من التجربة مما يزيد التفاعلات الأنودية وفق المعادلتين (7،8)، والتفاعلات الكاثودية وفق المعادلتين (9،10) على سطح العينات المحمية، وبالتالي زيادة معدلات التآكل. بينما معدلات التآكل في العينات غير المحميّة نلاحظ أنها نمت ببطء متوافقة مع تكوّن مستعمرات البكتريا، أي أن التفاعلات الأنودية والكاثودية كانت أبطأ في بداية التجربة، وزادت معدلات التآكل بعد ذلك نتيجة التخريب الذي أصاب الطبقة السطحية الواقية.



الشكل(6) تأثير البكتريا *SRB* على معدل التآكل مع وجود تيار الحماية CP وبدونه

النتائج والمناقشة:

1-بوجود الأحياء الدقيقة والبكتريا اللاهوائية ينتج غاز الكبريت H_2S، وهذا يغير مقاومة التربة الكهربائية قليلاً، ويخفض قيم PH ، مما يزيد العمليات الأنودية والكاثودية، وبالتالي يزيد إجمالي سرع التآكل.

2- على عكس النظرية القائلة بأن امتصاص الماء هو شيء جيد لأنه يزيد من تأثير الحماية الكاثودية (**CP**)، إلا أن الماء ينتقل خلال العازل ويسبب نمو البكتريا اللاهوائية التي تسبب التآكل.

3-السطوح المستقطبة سلبياً تجذب البكتريا المختزلة للكبريت *SRB* ، وبالتالي فإن الحماية المهبطية تحفز التآكل الحيوي بدرجة أعلى.

4-تنتج البكتريا المختزلة للسلفات *SRB* أحياناً طبقة من كبريت الحديد FeS ، تشكل طبقة حماية نسبياً إذا كانت مستمرة ، وتزيد التفاعلات الغلفانية إذا كانت متقطعة (غير مستمرة)

الاستنتاجات والتوصيات:

1. نشاط البكتريا ينقل المستوى الكموني المطلوب لتقليل التآكل إلى قيم أكثر سلبية، مما يزيد حركية تفاعلات التآكل (الأنودية والكاثودية). وهذا يتطلب زيادة تيار الحماية المهبطية لتكون أكثر فاعلية.

2. نرى من خلال البحث أن البكتريا اللاهوائية تحفز التآكلات الكيميائية والكهروكيميائية في المنشآت المعدنية المدفونة في التربة، بالرغم من تأمينها عند التصميم بالحمايات المطلوبة لمنع تآكلها.

3. من خلال ما توصلنا إليه في هذا البحث يجب دراسة المنشآت المعدنية المراد حمايتها بالحماية المهبطية دراسة دقيقة، لتحديد نوعية الطلاء أو التغليف المقاوم لتأثير البكتريا، وقيم التيار اللازمة لتأمين مستوى الاستقطاب المطلوب ضمن ظروف الوسط ونوعية المنشأة.

المراجع:

1.EVANS, L.V. *Recent Advances in Their Study and Control,* Harwood Academic Publishers,2000. 490

2.DEXTER, S.C. *Microboilogically Influenced Corrosion,* corrosion fundamentals ,tesing and protection,Vol 13A, ASM Handbook, ASM International,2003. P 398- 416

3.Roberge, P. R. *Handbook of Corrosion Engineering* . McGraw.Hill Companies,2000, 1193

.4.JACK T.R., BOVEN, V. G. Wilmott M. Worthingham, R. *Materials Performance*, 1996, 39

5-Key to Metals Steel, 1999-2008 The World s Most Comprehensive Steel Database.

6-BEECH, I.B. *role of sulphate-reducing bacteria.* In Encyclopaedia of Environmental Microbiology,. Edited by G. Bitton. Chichester: Wiley 2002, 465-475.

7- MARSHALL, E. Parker Edward G. Peattie. *Pipe Line Corrosion and Cathodic Protection*, Third edition Copyright © 1999 by Elsevier Science (USA). 177.