وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

الجامعة التقنية الوسطى

المعهد التقني ـ الكوت

# الكشف عن تآكل خطوط الانابيب المعدنية المدفونة تحت الارض

مقدم الى قسم التقنيات البتروكيمياويات / المعهد التقني – الكوت

لنيل شهادة الدبلوم

تقدم به الطالب

**باسم محمد عليوي**

بأشراف الاستاذ

**م. صدام حسن رحيمة**

٢٠٢٢ م ١٤٤٣ هـ

## الاية القرآنية:

**بسم الله الرحمن الرحيم**

﴿ يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ ﴾

**صدق الله العظيم**

سورة المجادلة الآية ١١

## شكر وامتنان

الشكر والحمد لله، أولا الذي وفقني لإنجاز هذا العمل المتواضع، فحمدا لله على كل ما آتانا من فضل ما نحن فيه.

كما أشكر واعترف بفضل كل من مد يد العون لي وساهم في هذا البحث حتى تخرج إلى النور، فإن أصبنا فبفضله عز وجل وكرمه، وان كانت الأخرى فهذا لنقص وضعف جهودنا وفوق كل ذي علم عليم.

فحين يحيط بنا الكثير من المساندين تكثر عبارات الشكر حاملة معاني الامتنان والتقدير، حينها يدفعنا فضلهم إلى شكر جهدهم فأتقدم بجزيل الشكر إلى **الأستاذ م. صدام حسن رحيمة** لفضله بالإشراف على هذا العمل، مساهما بكل ما لديه من جهد ووقت لإنجاحه، وهذه العبارات لن تفيه حقه ونرجو من الله أن يكون هذا العمل تقديرا لجهوده وعطائه الكبير ...

## الإهداء

إلى الوالدين الكريمين، إلى إخوتي وأخواتي

إلى الأهل والأقارب وإلى الأساتذة والطلبة الكرام

إلى زملائي وجميع الإخوة والأصدقاء أهدي هذا

العمل المتواضع

**فهرست المحتويات**


| ت | الموضوع | الصفحة |
|---|---|---|
| ١ | عنوان البحث | |
| ٢ | الآية القرائية | أ |
| ٣ | الشكر وامتنان | ب |
| ٤ | الاهداء | ت |
| ٥ | قائمة المحتويات | ث |
| ٦ | المستخلص | ١ |
| ٧ | الفصل الاول: منهجية البحث | ١ ـ ٤ |
| ٩ | الفصل الثاني: دراسة نظرية للتأكل والحماية منه | ٥ ـ ٩ |
| ١٠ | الفصل الثالث: الجانب العملي | ١٠ ـ ١٦ |
| ١١ | الفصل الرابع: النتائج والمناقشة | ١٧ ـ ٢٤ |
| ١٢ | المصادر | ٢٥ |

**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 الكاربوني 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) كدالـة لقياس معدل التآكل. وتبين من النتائج إن معدل تآكل النماذج غير المحمية هو الأعلى بينما أظهرت الحماية الكاثودية أعلى مقاومة للتآكل.

**Abstrac**

The types of corrosion protection on corrosion resistance of steel pipe samples buried in soil have been studied in this tresearch. 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.

# الفصل الاول

# منهجية البحث

## المقدمة

شكل النفط والغاز العصب الرئيسي في الاقتصاد العالمي وقد طرحت الشركات النفطية العديد من المشاكل المترتبة عن ضخ النفط في الانابيب وذلك خلال عملية الإنتاج ، والنقل ومعالجة النفط الخام وعلى الرغم من الحلول المطروحة إلا أن بعضها ظل قائما يحتاج للدراسة ومن بين هذه المشاكل التآكل الواقع على مستوى معادن الانابيب المستعملة لنقل النفط وغيره من المشتقات البترولية، فالتآكل عند عامة الناس هو صورة الصدأ الناتج عن المنتجات الحديدة وكون الحديد هو المعدن الذي يستطع أن يبرز هذه الظاهرة إلا أن جميع المعادن تعاني من ذلك، فهو عبارة عن تلف المعدن بواسطة تفاعل كيميائي أو إلكتروكيميائي مع الوسط المحيط به، حيث يكون في حالة تلامس مباشر معه سواء أكان الوسط هو الهواء الجوي أو محيط كيميائي.

ان مقاومة التآكل تتطلب جهودا كبيرة، سواء أكان ذلك بتعويض الآلات والمنشآت التالفة، أو الانفاق على الحماية واستعمال المثبطات، فيعد استعمال المثبطات من أهم الطرق الوقائية من التآكل.

ان موضوع التآكل ذو اهمية بالغة لذا تم تقسيم بحثنا هذا الى قسمين القسم الاول الدارسة النظرية المتمثلة بمشكلة البحث واهميته واهدافه وايضا تناولت في المبحث الاول التآكل وانواعه واسبابه وطرق الحماية منه. اما الجانب العملي كان على مبحثين الاول تناولت فيه الدراسة الميدانية والمبحث الثاني عرض النتائج ومناقشتها ومن الله التوفيق.

**مشكلة البحث:**

ان مشكلة تآكل الانابيب المدفونة تحت الارض لا زالت تشغل الكثير من المنشاة الحيوية والصناعية لما لها من تأثير بالغ في اعاقة العمل وتعطيله ولابد من ايجاد الحلول الناجحة في التخلص من التآكل باستخدام انواع جيدة من الطلاء او غلونة الانابيب لتكون اكثر قوة في مواجهة الرطوبة والعوامل المؤثرة في سطح المعدن والتحمل لأكبر فترة من الزمن والاعتماد عليها وايجاد حلول اخرى في عملية الدفن بمنع وصول الرطوبة والاملاح الموجودة في التربة وتوفير حماية اكبر للأنابيب المدفونة.

**أهمية البحث :**

مما لا شك فيه أن التقدم الصناعي الذي يشهده العالم في الآونة الأخيرة أمر حيوي للغاية اذ ان القوة الاقتصادية لأي دولة تعتمد إلى حد كبير على التقدم الصناعي، ومن هنا تأتي أهمية هذا البحث. فقد أدى التقدم الصناعي في مجال المعادن إلى ارتفاع الطلب على مثبطات التآكل والتركيز على مثبطات ذات كلفة منخفضة من جهة وغير ضارة بالبيئة والإنسان من جهة أخري الأمر الذي يرفع من أهمية هذا البحث علميا واقتصاديا على حد سواء . ويمكن تسليط الضوء على أهم النقاط التي تبرز أهمية هذا البحث بالإضافة إلى ما سبق:-

١. إتاحة الفرصة لإيجاد كهرليتات جديدة للطلاء بالتوتياء بدال من الكهرليتات السامة المستخدمة في الصناعات حيث تتمتع بمزاياها وتخلو من عيوبها.
٢. إيجاد الشروط المثلى لتحضير هذه الكهرليتات والتي تعد منظمات ترسيب جيدة على المساري الصلبة

**أهداف البحث**

١. البحث في معدلات تآكل الانابيب وعلاقتها بوسط التآكل و pH الوسط ودرجة الحرارة.

٢. .دراسة تأثير تركيز مثبطات كيميائية ( حمض الساكسينيك) و(الفانيلين) في الوسط الحمضي وبدرجات حرارة مختلفة وحساب بعض المقادير الترموديناميكية.

٣. البحث في تأثير تركيز أيون التوتياء في تثبيط التآكل باستخدام الفانيلين في الوسط الحمضي وبدرجات حرارة مختلفة .

٤. الطلاء الغلفاني للحديد بالزنك بوجود حمض الساكسينيك ككهرليت منظم، وايجاد الشروط المثلى لهذا الطلاء.

## الفصل الثاني

## دراسة نظرية للتآكل والحماية منه

التآكل كلمة لها مدلول كبير كونها ظاهرة تتعرض لها مختلف المواد وعلى رأسها المعادن حيث لا تخلو الصناعة من مخاطره، كما يعتبر أهم المشاكل التي تهدد الاقتصاد العالمي فالصناعات البترولية خاصة صناعة تكرير البترول، هي بالا شك الأكثر تضررا، وتجدر الإشارة إلى أن غالبية الدول العربية وعلى رأسها العراق تعتمد في اقتصادها على الصناعات البترولية والنفطية(١).

ومع أن القضاء على هذا المشكلة مستحيل إلا أن العلماء توصلوا إلى إمكانية الحد من مخاطره وأضراره باستعمال مثبطات التآكل ولقد شهد استخدام المثبطات تطورا سريعا في السنوات الأخيرة وفي مختلف المجالات(٢).

**تعريف التآكل**:

وصف التآكل بانه الإتلاف للمادة وٌكون عادة في المعادن وذلك بالتفاعل الكيميائي مع الوسط المحيط، وللتآكل أشكال ومستويات مختلفة تتراوح بين التغيير البسيط على سطح المعدن إلى الفقدان الكلي للخواص الميكانيكية للمعدن(٣).

وعرف أيضا بانه ظاهرة طبيعية يتعرض لها أي معدن في ظروف معينة للرجوع إلى الحالة الاصلية أي حالة التوازن، وهذه الظاهرة تعتمد كليا على الخصائص

---

(١) د. قحطان خلف محمد الخرزجي، عبد الجواد محمد أحمد الشريف ،التآكل: أسبابه، أنواعه، طرق الحماية منه ، مديرية دار الكتاب للطباعة النشر جامعة الموصل،٦٩ص.

2)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

(٣) سمية شيحي ، دراسة الفعالٌة النثبيطية للمستخلص الفالفوني لنبات Guyonianaعلى تآكل الفولاذ في وسط حامضي، مذكرة ماجستير ،جامعة ورقلة ٢٠٠٩م، ص٥٢.

الميكيانيكية له ولا تقتصر هذه الظاهرة على المعادن فقط فحتى الزجاج يتاثر بفعل البكتريا، والإسمنت يتفكك ويتبخر[١].

كما يعرف على أنه تفاعل سطحي غير عكوس في الشروط العادية يحدث عند السطح الفاصل له مع الوسط المحيط به مؤديا بذلك إلى تلفه وانحلاله، أما كيميائيا فيعتبر هذا التفاعل عبارة عن تفاعل أكسدة إرجاعيه حيث تحدث عملية الأكسدة على مستوى المعدن أما عملية الإرجاع فتحدث لاحد مكونات الوسط الملامس له.

**انواع التآكل**

يقسم التآكل تبعا لطبيعة الوسط الاكال الى عدة انواع نلخص مجملها فيما يلي[٢]:

**اولا: التآكل البيولوجي:**

يحدث التآكل البيولوجي نتيجة للنشاط الحيوي لمختلف الكائنات الدقيقة في وسط خالي من الأوكسجين O2 في وجود الحرارة والرطوبة، والتي تتخذ من المعادن وسطا لإفراز نواتج تؤدي إلى تلفها ويعتبر هذا النوع من التآكل أكثر خطورة خاصة ذلك الذي تسببه البكتريا المختزلة للكبريتات، والتي تنشط في الأتربة الهوائية الحاوية على الكبريتات والمواد العضوية[٣]، ولقد أثبتت الأبحاث الحديثة التي أجريت حول فعل البكتريا تجاه التآكل وجود نوعين من البكتريا بعضها ينشط التفاعلات المهبطية ويرجع ذلك لاستخدامها الهيدروجين في معيشتها.

---

1)Frankel G. S., "Corrosion Science in The 21st Century", Journal of Corrosion Science and Engineering, Vol. 6 , 2003, pp. 1-15.

(٢) ر. شاربي، دراسة مقارنة للفعل التثبيطي لبعض المركبات ثنائي ثيول الحلقي وثالثي مثيل ففيروسينيل أمنيوم ،مذكرة ماجستير، جامعة ورقلة ص٥٠.

3) Michiel P.H. Brongers, Corrosion Control and Prevention, CC Technologies Laboratories, Inc., Dublin, Ohio , 2000, pp. 10-25

**ثانيا: التآكل الالكتروكيميائي:**

هو أكثر الأنواع مصادفة في الطبيعة ، يحدث في الالكتروليتات (المحاليل الناقلة للتيار الكهربائي) ويتبع هذا النوع من التآكل الطريقة الإلكتروكيميائي ويحدث التفاعل وفق معادلتين حيث يتم فيهما التبادل الإلكتروني[١].

**ثالثا: التآكل الكيميائي**

ينتج عن الإصابة الكيميائية المباشرة ويشمل جميع أنواع التآكل التي يلاحظ فيها انسياب تيار خلال المعدن لمسافة محسوسة ، إلا أن هذا التعريف لا ينفي اشتراك القوى الكهربائية ولو بجزء بسيط في الإصابات الكيميائية المباشرة كما هو الأمر في جميع التفاعلات الكيميائية فالشي المميز لهذه الصورة من آلية التآكل هو أنه ليس هناك مرور تيار ملحوظ بدرجة واضحة ويحدث بفعل ثالث غازات[٢].

- التآكل بفعل الاوكسجين
- التآكل بفعل $H_2S$
- التآكل بفعل $CO_2$

**الحماية من التآكل**

مع تطور التقنيات الصناعية تظهر بشكل مستمر مشاكل جديدة بخصوص التآكل تستوجب إُجاد أساليب حماية فعالة، ونظرا لاختلاف طبيعة وأنواع التآكل الممكن

---

(١) ر. شاربي، دراسة مقارنة للفعل التثبيطي، المصدر نفسه.

2) John F.K.,"Corrosion Control and Treatment Manual", Kennedy Space Center, Revision C-TM-584C / Florida, U.S.A, 1994, pp. 584.

حدوثها وأيضا اختلاف الظروف التي تساعد على حدوث هذه الأنواع المختلفة، مما استدعى الاستخدام عدة أساليب للحماية من التآكل، وفي ما يلي نذكر أهمها[١] :

**اولا: الحماية بالتغطية :**

الحماية بالتغطية هي أكثر الطرق شيوعا للتصدي لعملية تآكل المعادن، فبعد إعداد الأسطح يتم تغطيتها بطبقة واقّة ضد التآكل من معدن مقاوم أو مادة غير معدنية، ومن الأساليب المتبعة للتغطية نذكر[٢]:

- التغطية بالغمر في المحاليل المعدنية .
- التغطية بالمعادن المنصهرة .
- التغطية بترسّب معدن فً الطور الغازي .
- التغطية بطبقة من الطور المعدني الجامد .

**ثانيا: الوسط الآكال :**

إن عملية التغيير في خصائص الوسط تضمن بشكل أفضل السيطرة على عملية التآكل، ومن أهم هذه الخصائص: التحكم في درجة الحرارة، سرعة الجريان، إزالة الأكسجين أو العوامل المؤكسدة.

**ثالثا: التحكم في التآكل بالتصميم :**

حيث يتم تصميم الخزانات والحاويات بالأخذ بعين الاعتبار حالة تدفق الوسط وعدم تواجد منخفضات وشقوق وأركان مغلقة.

---

(١) د. قحطان خلف محمد الخرزجي، عبد الجواد محمد أحمد الشريف ،التآكل: أسبابه، أنواعه، مصدر سابق، ص٦٩.

2)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

**رابعا: الحماية الكهروكيميائية :**

يمكن تحقيق الحماية الكهروكيميائية من التآكل إما بالحماية الكاتودية أو بالحماية الانودية وهي من أساليب الحماية ذات الاهمية البالغة ، إذ تستخدم بشكل واسع في حماية المعادن ضد التآكل في التربة وفي الأوساط المائية وذلك بإزاحة جهد القطب في الاتجاه الموجب أو السالب[١].

**خامسا: الحماية الكاتودية:**

يستخدم هذا النوع من الحماية للحد أو المنع من التآكل داخل الوسط الالكتروليتي، فتعمل هذا الطريقة على تحويل الأقطاب المهبطة إلى أقطاب مصعدة، فيعاد المعدن إلى منطقة المناعة ضد التآكل ويكون التآكل مستحيل[٢] .

**سادسا: الحماية الانودية:**

في بعض المعادن مثل الفولاذ المقاوم للصدأ يجرى عليه الحماية يجعلها أقطاب موجبة وذلك بإزاحة الجهد إلى الجهود الموجبة يستعمل هذا النوع من الحماية في حالة حمض كبريتيك وهذه الطريقة تطبق أيضا في بعض الأحماض كحمض الفوسفات.

---

(١) سمية شيحي ، دراسة الفعالّة التثبيطية للمستخلص الفالفوني، مصدر سابق. ص٥٤.

2) Francis R., "Bimetallic Corrosion", National Corrosion Service, London,U.K. 2000, pp 34-43.

## الفصل الثالث

## الجانب العملي

تم تهيئة عشر نماذج من الصلب منخفض الكاربون (CK 15) والمعطى تركيبه الكيمياوي في الجدول رقم (١) ، وتركيبه المجهري في الشكل (١) .

أُخذت هذه النماذج من أنبوب لنقل النفط خارج عن الخدمة لصعوبة استخدام الأنبوب باكمله في التجارب المختبريه. تضمنت مرحلة تهيئة النماذج (Grinding) تشغيل وأعداد سطوح نماذج الصلب المستخدمة بشكل متماثل والذي شمل التجليخ والتنعيم لإزالة الخشونة السطحية والزوايا الحادة غير المرغوبة وإزالة أي أثار لعملية تاكل سابقة وترقيم النماذج باستخدام قوالب لترقيم العينات وذلك لسهولة التعرف عليه وتمييزها ثم وزنها باستخدام ميزان كهربائي نوع (Mutler) ذو أربع مراتب بعد الفارزة (٤-١٠) . ولظمآن عدم تفاعل النماذج مع الهواء وضعت في وعاء مفرغ من الهواء استعدادا لمرحلة الحماية من التاكل بالطرق المحددة للدراسة ثم الاختبار ومن ثم مرحلة إعداد النتائج .

جدول( ١ ) : تحليل التركيب الكيمائي للصلب منخفض الكاربوني المستخدم في اختبار التاكل .

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

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

١ ) التغطية بالزنك (الغلفنة) Galvanic coating : تستخدم التغطية بالزنك لحماية المعاد ن الحديدية من التاكل، 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. يتكون المحلول ألحامضي المستعمل للتغطية بالزنك من(٣٠٠ ) غم/لتر ماء مقطر من كبريتات الزنك المائية (7H2O ZnSO4) و(٣٠) غم/لتر ماء مقطر من كبريتات الصوديوم المائية (Na2SO4.10H2O) و(٤٢) غم/لتر ماء مقطر من كبريتات (H3BO3) و(٢٥) غم/لتر ماء مقطر من حامض البوريك ( Al2(SO4) 3.18H2O) الألمنيوم المائية تتراوح قيمة الرقم الهيدروجيني(pH) للمحلول من (٤.٥ – ٣.٥)، ودرجة حرارة المحلول (٢٠–٣٠) درجة مئوية ، بينما تتراوح كثافة التيار الكهربائي بدون تحريك (٥–١) أمبير/دسم٢ وكثافة التيار الكهربائي بالتحريك ١٠ أمبير/دسم٢ . بعد الانتهاء من عملية الطلاء يتم مسح طبقات الزنك الناتجة بمحلول حامض النتريك بنسبة (٠.٣) غم/لتر ماء مقطر ليساعد 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 (٢): العلاقة بين سمك طبقة الزنك مع كثافة التيار والزمن اللازم

| كثافة التيار (أمبير/ دسم٢) | الفترة الزمنية الضرورية(دقائق) لترسيب طبقات الزنك بالسمك المبين أدناه | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 ميكرون | 2 ميكرون | 5 ميكرون | 10 ميكرون | 20 ميكرون | 30 ميكرون |
| 0.5 | 7 | 11 | 35 | 70 | 140 | 210 |
| 1 | 3.5 | 7 | 17.5 | 35 | 70 | 105 |
| 2 | 1.8 | 3.5 | 9 | 17.5 | 35 | 52.5 |
| 3 | 1.2 | 2.4 | 6 | 12 | 24 | 35 |
| 4 | 0.9 | 1.8 | 4.5 | 9 | 17.5 | 27 |
| 5 | 0.7 | 1.4 | 3.5 | 7 | 14 | 21 |
| 10 | 0.4 | 0.7 | 1.8 | 3.5 | 7 | 10.5 |

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

٣ ) الحماية الكاثودية بمزدوج غلفاني : إن مبدأ التاكل الغلفاني يمكن استخدامه لأغراض الحماية الكاثوديه بمزدوج غلفاني وذلك بجعل المعدن المراد حمايته كاثود مقارنة بمعدن أخر مضحى 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 التاكل. تم ربط نماذج الصلب المجهزة في هذه الدراسة والمراد حمايتها بالحماية الكاثودية بمزدوج غلفاني بأقطاب الألمنيوم بطول ١٠cm وسمك ٢cm. تمتاز أقطاب الألمنيوم بأنها ذات جهد يساوي ( volts 0.1662- ) مقارنة بجهد الهيدروجين القياسي كما موضح في الجدول (٣ )، وهي بهذا تمتاز بنشاطها العالي وبالتالي قابليتها للتفاعل فتسلك سلوك الانود إذا ما قورنت بالحديد الذي يعتبر كاثود في هذا التفاعل الكهروكيميائي لأنه اكثر 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 وساط التآكل ألحامضي ولا يقاوم وساط 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 المعهد التقني لم يكون هناك سبب علمي يمنع من استخدام أقطاب الألمنيوم.

٤ ) الحماية الكاثودية بمصدر جهد خارجي: ففي هذه الطريقة يسلط تيار خارجي مباشر (Direct current) يربط قطبه السالب بالأنبوب المراد حمايته (نماذج الصلب الكاربوني في الظروف المختبرية) ويربط قطبه الموجب بالمعدن المضحى 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 ويقل بنقصانها، 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 مشابها للظروف الطبيعية التي تتعرض لها الأنابيب المدفونة ، وبما إن اغلب الأنابيب المدفونة تحت الأرض موجودة في المنشأة الصناعية لذلك تم اختيار وجلب تربة من حقل الاحدب التي تمتاز تربتها باحتوائها على مادة الكبريت .

تم الاختبار في أحواض زجاجية مختبريه بالأبعاد (60*30*25 cm) وبدرجة حرارة الغرفة علما إن الحوض ملئ بالكامل بالتربة ألمجهزة للاختبار. كما تم ترطيب التربة بأوقات محددة باستخدام المـاء وبواقع ٠.٥ 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 لكبر مع ضمان المحافظة على مواصفات التربة المستخدمة والمتمثلة بالجفاف والوسط القاعدي كـون إن قيمة الرقم الهيدروجيني (PH=8.7).

جدول (٣): سلسلة القوة الدافعة الكهربائية ( EMF)

| Electrode reaction | Standard electrode potential. E volts, 25 0C |
|---|---|
| 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 = Al3+ + 3e− | − 1.662 |
| Mn = Mn++ + 2e | − 1.05 |
| Zn = Zn++ + 2e | − 0.763 |
| Cr = Cr3+ + 3e+ | − 0.744 |
| Ga = Ga3+ + 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 |
| H2 = 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 = Au3++ 3e | + 1.498 |
| Au = Au++ e | + 1.68 |

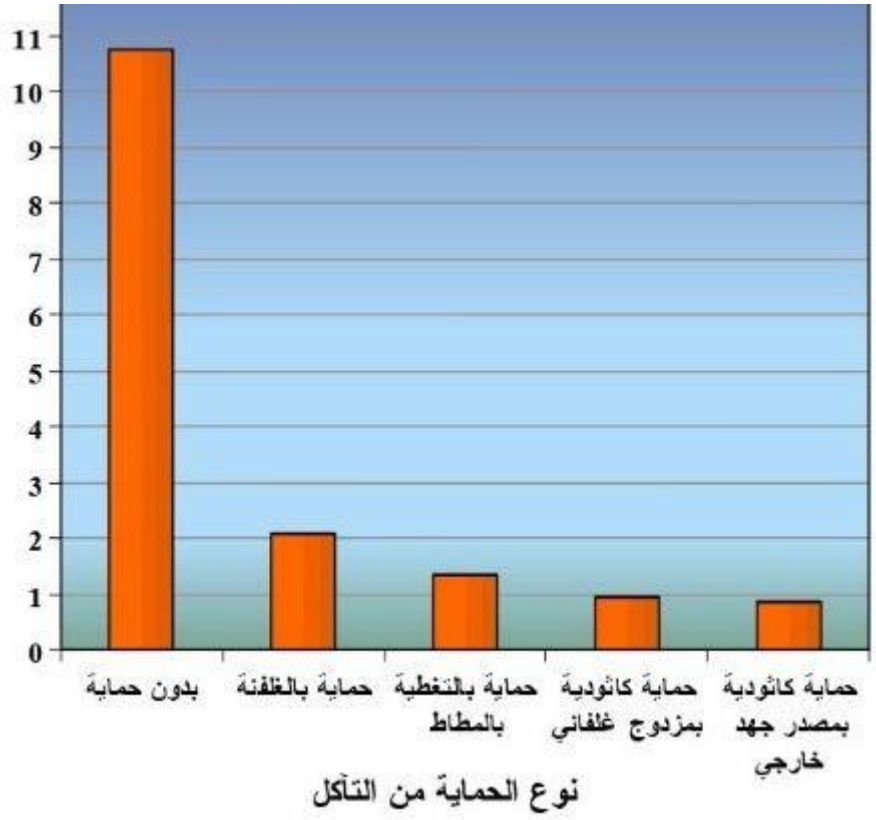
**٣. اختبارات التآكل:**

في هذا البحث تم إجراء اختبارات التآكل لفترة شهر أي أن زمن التعرض للتآكل لمدة ٧٢٠ساعة. 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 مضي المدة المحددة للتفاعل وهي عشرون دقيقة ، مما يسهل احتساب الوزن بعد الاختبار (w2).

## الفصل الرابع

## النتائج والمناقشة

الشكل (٢) يوضح مقارنة بين معدلات التآكل لنماذج محمية من التآكل بطرق مختلفة وهي الحماية بالغلفنة والحماية بالتغطية بالمطاط والحماية الكاثودية بنوعيها (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.

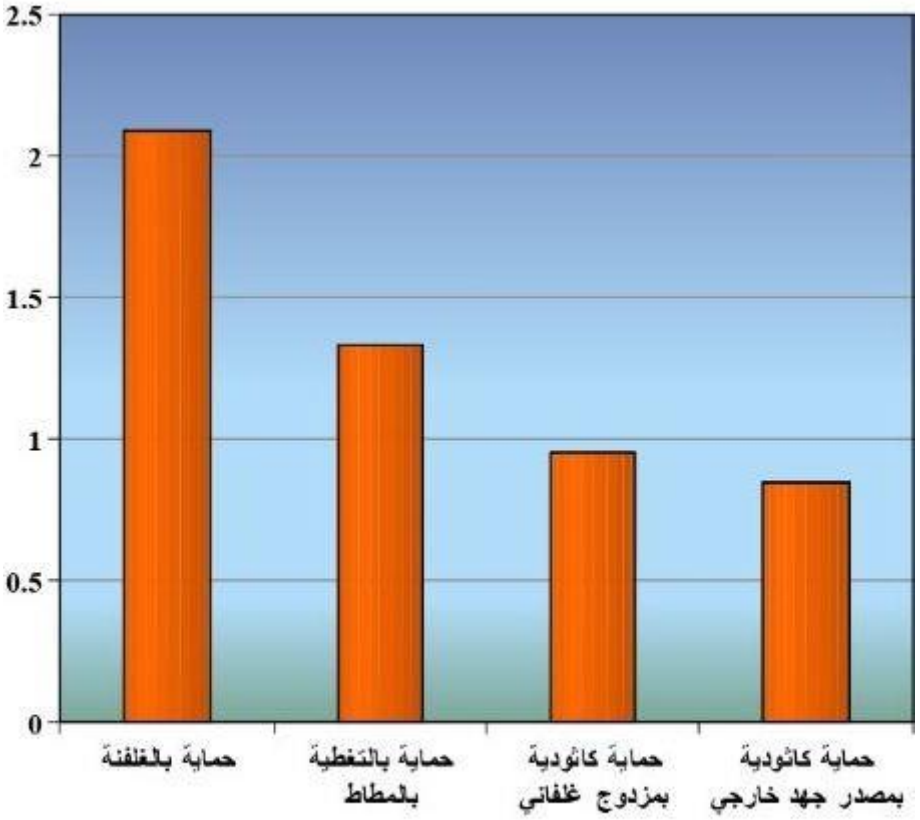



إذ تبين من خلال الشكل المذكور أعلاه إن النماذج غير المحمية من التآكل أعطت اقل مقاومة للتآكل مقارنة بالنماذج المحمية ويبدو ذلك واضحا من خلال الفرق الكبير بين معدلات تآكل النماذج غير المحمية والنماذج المحمية بغض النظر عن نوع الحماية، وهذا لا يقبل الشك فأن نماذج الصلب تكون أكثر عرضة للتآكل إذا

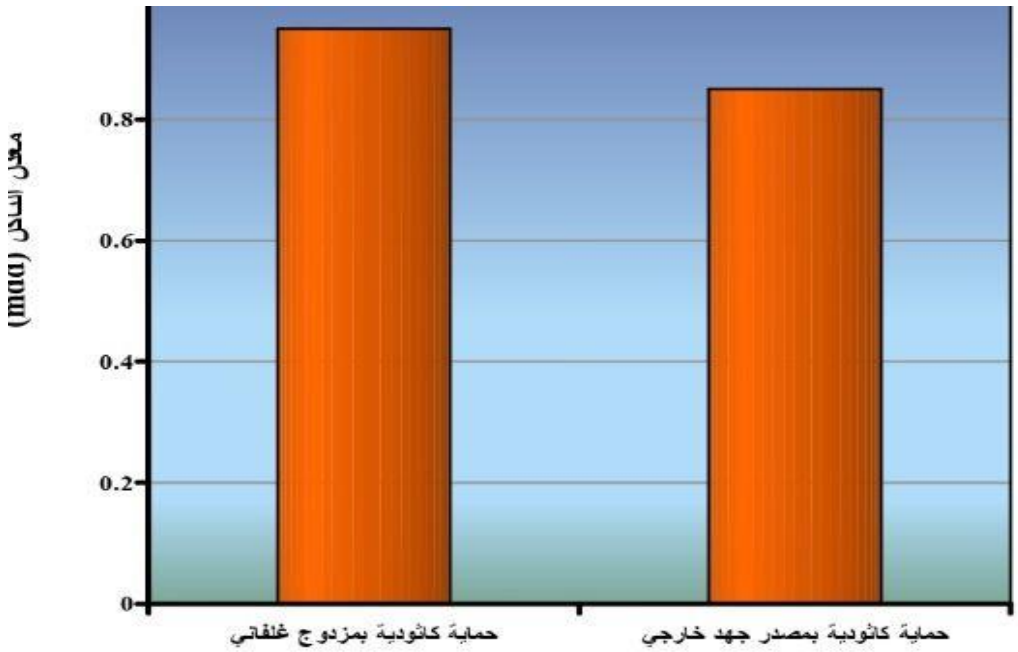
توفرت الظروف المسببة للتآكل وهي الرطوبة والأوكسجين. ويختلف تأثير وشدة التآكل على الصلب باختلاف نوع وطبيعة الوسط المحيط فضلا عن مدى مقاومة الصلب المستخدم والتي تختلف بالاعتماد على حالة الصلب وطبيعته وتجانس البنية المجهرية الطورية وعدد الأطوار وحجمها والشوائب والاجهادات ونسبة الكاربون وغيرها من العوامل الكثيرة التي تزيد أو تضعف من مقاومة الصلب الكاربوني للتآكل،غير إن مقاومة تآكل الصلب الكار بوني غير المحمي ضعيفة نسبياً فيما إذا قورنت بالمعادن الأخرى ، بسبب استعداد الصلب للتآكل لاختلاف طبيعة الأطوار والتراكيب الداخلة في بنيته المجهرية وكما مبين بالشكل(١)، واحتمال احتوائه على الشوائبِ ، 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

الحمايات الأخرى المستخدمة في هذه الدراسة وكما موضح من خلال الشكل (٣) والشكل (٤) .




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




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

ومن خلال الشكل (٤) 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. 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 (٣) ، ويختلف ذلك في الحماية الكاثودية بمصدر جهد خارجي لان الذي يحدد الانود والكاثود هي الإشارة الكهربائية المسلطة على كل منهم فالإشارة السالبة تعطى للجزء المراد حمايته ليشكل قطب الكاثود بينما تعطىالإشارة 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. إذ استطاع تخفيض معدل التآكل بنسبة بلغت ٣% لخط أنابيب حقل الاحدب لنقل النفط الخام بطول اربعة كيلومتر( ٤ كم) تم حمايته بنظام حماية كاثودية مؤلف من ١٨ قطب أنود تقلصت بعد الدراسة إلى ١٧ قطب أنود فقط فضلا عن تخفيض الطاقة المستهلكة بمقدار ٤.٦٧% 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 والأوكسجين كوسيلة يراد 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 الأوكسجين أو الرطوبة إلى سطح المعدن المراد حمايته مع الأخذ بنظر الاعتبار طبيعة المعدن المستخدم ومدى شدة وسط التآكل. لكن وكما يبدو من خلال الشكل (٢).

والشكل (٣) إن مقاومة النماذج المحمية بالمطاط هي الأفضل من النماذج المحمية بالغلفنة فيما يخص هذه الدراسة وهذا متوقع لان الحماية بالغلفنة تكون غير مناسبة لأوساط التآكل غير المتجانسة حيث ينشط احد أنواع التآكل وهو التآكل ألنقري(Pitting Corrosion]، 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 ألنقري بشكل كبير ، كما أنه لا يفضل استخدام المطاط ولا يمكن استخدام الحماية الكاثودية لان 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 والأوكسجين 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.

ومن اجل 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 أساسالنسبة المئوية لمقاومة الصلب للتآكل مع تغير نوع الحماية وكما موضح في الجدول(٤) .

جدول(٤): النسبة المئوية لمقاومة الصلب للتآكل .

| نوع الحماية | النسبة المؤية لمقاومة الصلب للتاكل | | |
|---|---|---|---|
| | مقارنة بعدم الحماية | مقارنة بالحماية بالغلفة | مقارنة بالحماية الكاثودية بمزدوج غلفاني |
| كاثودية بمصدر جهد خارجي | ٩٢ | ٥٩ | ١٠ |
| كاثودية بمزدوج غلفاني | ٩١ | ٥٤.٥ | ٠ |
| الحماية بالمطاط | ٨٧.٥ | ٣٦ | ..... |
| الحماية بالغلفنة | ٨٠ | ٠ | ..... |
| بدون حماية | ٠ | ..... | ..... |

يلاحظ من الجدول أعلاه والذي يبين النسبة المئوية لمقاومة الصلب للتآكل إن نماذج الصلب التي تعرضت للحماية الكاثودية بمصدر جهد خرجي ذات مقاومة أفضل بنسبة ٩٢% مقارنة بنماذج الصلب غير المحمية ، و٥٩% مقارنة بنماذج الصلب المحمية بالغلفنة ، و ١٠% مقارنة بنماذج الصلب المحمية كاثوديا بمزدوج غلفاني. كما يتبين من الجدول(٤) ما يأتي:

١. 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 بالصفر 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 تغير نوع الحماية إلى أن أصبح الصلب غير المحمي ذات المقاومة الأدنى كما موضح في العمود الأول من الجدول أعلاه.

٢. 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 تغير نوع الحماية من التآكل ليتبين بان ادني مقاومة ظهرت في النماذج المحمية بالغلفنة .

٣. 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، بيمنا أعطت نماذج الصلب التي تم حمايتها كاثوديا بمزدوج غلفاني ادني مقاومة تآكل.

**الاستنتاجات:**

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

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

**المصادر العربية:**


١. قحطان خلف محمد الخرزجي، عبد الجواد محمد أحمد الشريف ،التآكل: أسبابه، أنواعه، طرق الحماية منه ، مديرية دار الكتاب للطباعة النشر جامعة الموصل،٦٩ص.

٢. سمية شيحي ، دراسة الفعالّة النثبيطية للمستخلص الفالفوني لنبات Guyonianaعلى تآكل الفولاذ في وسط حامضي، مذكرة ماجستير ،جامعة ورقلة ٢٠٠٩م، ص٥٢.

٣. شاربي، دراسة مقارنة للفعل التثبيطي لبعض المركبات ثنائي ثيول الحلقي وثالثي مثيل ففيروسينيل أمنيوم ،مذكرة ماجستير، جامعة ورقلة ص٥٠.


**المصادر الاجنبية:**


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. John F.K.,"Corrosion Control and Treatment Manual", Kennedy Space Center, Revision C−TM−584C / Florida, U.S.A, 1994, pp. 584.
5. 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
6. Francis R., "Bimetallic Corrosion", National Corrosion Service, London,U.K. 2000, pp 34-43.