

## دراسة ظاهرة حدوث خلايا تاكليه ومعالجتها بتطبيق مبدأ الحماية الكاثودية باستخدام اوساط واقطاب مختلفة

\***ابتهاج زكي سليمان آل حليم** \***ليث ياسين قاسم العبيدي**

\*قسم الكيمياء / كلية التربية للبنات / جامعة الموصل

\***قسم التحليلات المرضية / كلية النور الجامعة**

تاريخ القبول 2013/05/20

تاريخ الاستلام 2013/03/13

### Abstract

Corrosion is one of the most serious problems facing the industry, which leads to loss billions of dollars annually. It is a complex problem known widely about it and despite intensive experiments and research is still the issue of erosion it and needs a lot of effort and investigation. A number of tests were conducted that leads the way for the conclusion that occurs from chemistry point of view. it was the reaction occurred in electrochemical cells (electrochemical). For the purpose of clarifying the phenomenon of cells erosion we have used different poles media and apply the principle of corrosion protection by using sacrifice anode with applying an electric current.

### الخلاصة

يعتبر التآكل واحداً من أخطر المشاكل التي تواجه الصناعة، حيث تؤدي إلى خسارة تقدر بمليارات الدولارات سنوياً. انها مشكلة معقدة يعرف عنها الكثير وعلى الرغم من التجارب والبحوث الكثيفة ما تزال مسألة التآكل قائمة وتحتاج الى الكثير من الجهد والتقصي. لذا تم اجراء عدد من الاختبارات التي تمهد للاستنتاج بان الذي يحدث من وجهة نظر الكيمياء هو حدوث تفاعلات كهروكيميائية عن طريق نشوء خلايا من نقاط التقاء او تقارب المعادن المتباينة في صفاتها الكيميائية (الكهروكيميائية) ولغرض توضيح ظاهرة حدوث خلايا تاكليه

استخدمنا اوساط واقطاب مختلفة وكذلك قمنا بتطبيق مبدأ الحماية من التآكل باستخدام الانود المضحي وبتسليط تيار كهربائي.

## المقدمة

هناك العديد من العوامل تؤثر على معدل التآكل في الوسط السائل منها الحامضية (pH) وكذلك معدل جريان الوسط المغمور به ودرجة حرارة الوسط وكذلك وجود عناصر في سبائك المعدن. إن الحامضية (pH) من العوامل المهمة ففي حالة كون حامضية (pH) الوسط قليلة فان مقدار الهيدروجين يزيد من معدل التآكل أي ان التآكل يستمر بينما في الوسط القاعدي(قلوي) يكون التآكل أبطئ<sup>(1)</sup>. وان التآكل يصيب المعدن نتيجة تفاعل كيميائي او كهروكيميائي مع الوسط الموجود فيه، حيث ان التآكل الكيميائي ينشأ بسبب التفاعل المباشر بين الفلز او السبيكة مع البيئة المتصلة بها اما التآكل الكهروكيميائي ينشأ بسبب تيار كهربائي يتعرض له المعدن نتيجة تسليط جهد خارجي او تآكل ناتج عن تفاعل كلفاني، ويتخذ التآكل عدة أشكال يعتمد على ظروف الوسط ومن أنواعه تآكل منتظم، تآكل إجهادي، تآكل غير منتظم، تآكل مابين الحدود الحبيبية، تآكل التعرية، تآكل نقري، تآكل التقشر وتآكل ميكانيكي<sup>(2)</sup>. يعد التآكل المعدني هو من المشاكل الخطيرة التي تواجه التقدم الصناعي ولهذا فقد سمي التآكل<sup>(1)</sup> بسرطان الصناعة،<sup>(3)</sup> فقد اشير الى معدل التآكل يزداد بازدياد تركيز ملح كلوريد الصوديوم<sup>(4)</sup> الى أن يصل الى حالة الأشباع وذلك عند تركيز يساوي تقريبا (3.5%) ثم يبدأ بالتناقص وذلك بسبب تضاؤل كمية الأوكسجين المذاب في المحلول وتمت دراسة تاثير درجة الحرارة على الفولتية المجهزة من قبل انود المغنيسيوم كأنود مضحي، ويمكن<sup>(5)</sup> التصدي للتآكل بالحماية الكاثودية أو الأنودية ، ففي الحماية الكاثودية يمكن ان تجهز المنظومة بتيار معاكس لأيقاف التآكل. أما الحماية الأنودية فيجب ضبط جهد الفلز المتآكل بحيث يبقى الفلز معرضاً للحماية. و اشار الباحث

(Nervana A. Abd Alameer, 2010)<sup>(6)</sup> استخدام المثبطات التي هي مادة كيميائية تضاف إلى السوائل فتمنع التآكل على جدار الوعاء الذي يحتويها لأنها تحول دون حدوث التفاعلات الكيميائية عند الأنود أو الكاثود أو كليهما وتوقف بالتالي مفعول خلايا التآكل كما أنها تترك طبقة خفيفة عازلة على جدار الوعاء. اما الباحث (Aramide, 2009)<sup>(7)</sup> فقد درس اضافة نترت الصوديوم بتركيز مختلفة على تآكل الفولاذ في ماء البحر باستخدام طريقة الوزن المفقود ووجد ان افضل تركيز هو نسبة 4%، كما اقترح الباحثان(Uhlig , Revie, 1985)<sup>(5)</sup> إضافة أقطاب أنود مساعدة (Sacrificial Anodes) لوسط التآكل وعلى إتصال مع الأنبوب المدفون تحت سطح

الارض، ويمكن إعطاء فولتية مباشرة (DC Voltage) لعمل قطب الكاثود. اما الباحث(كاظم، 1995) (8) فقد اعتبر ان السيطرة على الشقوق ومناطق التلامس بين المعادن هي من العوامل الأساسية لمنع حدوث التآكل والتي تلغي فعل الخلايا الكلفانية وخلايا تركيز الأوكسجين. وقد اكد الباحث (المؤنس، 2007) (9) ان غرس مسامير من الالمنيوم والخرصين ضمن سبيكية المغنسيوم وتسخينها وطرقها فان المادة المعالجة تتمتع بنشاط تاكلي اعلى من السبيكية الغير المعالجة حيث وصل جهدها الى (-1.7V). كما اشار الباحثون(حواس ، محمد ، موسى ، 2012) (10) الى دراسة تأثير بعض طرق الحماية على مقاومة التآكل الكهروكيميائي لفولاذ عالي الكربون (DIN CK 80) كما أشار الباحثون (Serir, Niboucha, Laoun1, 2008) (11) الى دراسة كيفية تكثيف الحماية الكاثودية على انابيب النفط ضد التآكل باستخدام نوعين من أنظمة الحماية الكاثودية اما باستخدام الأنود المضحى او عند استخدام الحماية باستخدام مولد كهريائي من نوع DC. وقد اشار الباحثون(النعمة، حمدون ، نجيب ، 2009) (12) الى مبدأ الحماية الكاثودية بالتيار المسلط لمكافحة التآكل على المنشآت الحديدية المدفونة في التربة أو المغمورة في الماء. كما اشار الباحثان (Ajeel , 2008) (13) لتحديد جهد الحماية الكاثودية ويكون من المهم التعامل مع الدراسات الكهروكيميائية للبحث عن جهد الدائرة المفتوحة والاستقطاب للصلب الكربوني المنخفض المستخدم في تطبيقات خطوط الانابيب في محلول (3.5 – 0.01) كلوريد الصوديوم عند مجال من الدرجات الحرارية (30- 50°C) ، كما اشار الباحث(جاسم، 2010) (14) الى عمل منظومة الحماية الكاثودية لانابيب الابار العميقة نتيجة التيار الدوار المتولد في موصل التأسيس بسبب الفيض المغناطيسي المتولد من التيار المار في موصلات التغذية المسايرة للموصل الارضي. وقد اكد الباحثون (Gad Allah, Al-Khalidi , 2007) (15) أن عملية التآكل تتأثر بظروف الاستقطاب أكثر من تأثرها بظروف الدائرة المفتوحة حيث أنها تسرع من عملية التآكل. واما الباحثان (احمد ،حامد) (16) فقد اشارا الى إجراء أختبارات كهريائية وكهروكيميائية تتمثل بأستقطاب الحديد كاثودياً لمستويات مختلفة من الجهد الخارجي وظهرت النتائج بان من الضروري تقسيم المنطقة المراد حمايتها كاثودياً تبعاً للمقاومة الكهريائية وجهد نصف الخلية. اما الباحث(2006) (Abo-Elenien), فقد درس (17) قابلية التآكل لثلاثي ايثوكسي سلايل ثنائي ايثايل فوسفيت (TEGSDEOP) على مقاومة التآكل لسبيكة الكربون ستيل A36 في الماء المقطر وماء الاسالة وماء البحر وحامض الهيدروكلوريك بتركيز 1 M بطريقة فقدان الوزن والطريقة الكهروكيميائية.

## الهدف من البحث

نظرا لأهمية هذا الموضوع تم عمل وانجاز هذا البحث والذي اشتمل على دراسة وفهم لهذه الظاهرة الخطيرة إلا وهي ظاهرة التآكل التي تحدث في الأنابيب الفولاذية المدفونة في التربة، وهناك عدد كبير من الأبحاث المنجزة في شتى أنحاء العالم والتي تحاول إن تجد حلولا مناسبة لتلافي حدوث عملية التآكل وذلك بتطبيق ودراسة العديد من الطرق والتي تهدف إلى منع حدوثه أو الإقلال من أثاره الجانبية وما ينتج عنها من خسائر فادحة بإيجاد طرق الحماية ذات الكلف الاقتصادية الأقل والكفاءة العالية.

## المواد وطرائق العمل

يتضمن الجزء العملي محورين، المحور الأول يتعلق باستخدام أوساط وأقطاب مختلفة لتوضيح ظاهرة حدوث خلايا تاكليه لذا فمنا بأجراء خمسة اختبارات مختبريه. أما المحور الثاني فيتعلق بتطبيق مبدأ الحماية الكاثودية من التآكل باستخدام الانود المضحي وبتسليط تيار .

اولا : تحضير المحاليل

1. المحلول المائي-: تم تحضير الوسط المائي الذي استخدم في الاختبار وهو ماء البحر المتكون من 1.5 غم غرام من ملح كلوريد الصوديوم في 500 مل من الماء المقطر .
2. محلول نترات الفضة وذلك باذابة 1.5غم من نترات الفضة في 500 مل من الماء المقطر
3. محلول كبريتات النحاس وذلك باذابة 1.5غم في 500 مل من الماء المقطر
4. المحلول المائي المخفف لحامض الهيدروليك عياريته 0.1N
5. تهيئة التراب المرطب بماء البحر المحضر اعلاة .

ثانياً: تحضير الاقطاب

1. تم تحضير قضيب من النحاس النقي،الحديد، المغنسيوم، الزنك ذي مساحات سطحية مختلفة ، النحاس ذي مساحة سطحية(4 cm<sup>2</sup>)
2. اميتر لقياس مقدار التيار المار في الدائرة .
3. ميزان كهربائي حساس (Balance) بدقة 10<sup>-4</sup> نوع (Sartorius 2004 MP6 Electronic)

Semi-micro

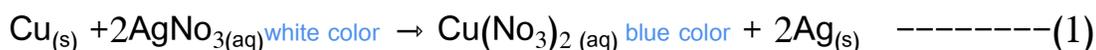
4. تم تنعيم الاقطاب بورق التنعيم مع استعمال الماء. وتتم عملية الصقل باستخدام قماش صقل مع مساعد صقل هو اوكسيد الالمنيوم (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ثم غسلها بالماء وبعد ذلك جففت للحصول على اقطاب نظيفة وناعمة.

## النتائج والمناقشة

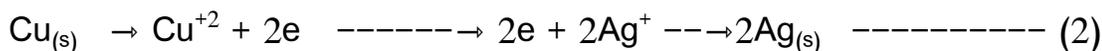
اختبارات التآكل: Corrosion Tests

الاختبار الأول :

غمر قضيب من النحاس النقي داخل محلول نترات الفضة لوحظ بعد فترة من الزمن ترسب عنصر الفضة على سلك النحاس بشكل شعيرات ابريه نقيه مع تغير لون محلول نترات الفضة من اللون الابيض الى اللون الازرق .والسبب في ذلك يعزى الى ان ايونات الفضة الملامسة لسطح معدن النحاس تنافسه على الالكترونات المتوفرة عنده فتأخذها منه وتؤينه على النحو التالي:



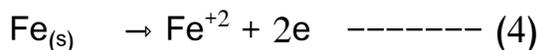
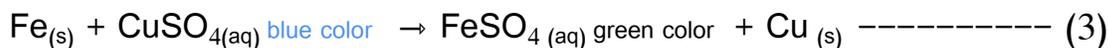
وهذا التفاعل يعتبر تفاعلا في آن واحد الاول وهو عبارة عن تفاعل أكسدة لذرات النحاس واما الثاني اختزال لايونات الفضة كما يلي :



وتتم هاتان العمليتان وتنقل الالكترونات من النحاس الى الفضة ويرافق حدوث هذا التفاعل طاقة متحررة بشكل حرارة تؤدي الى تسخين وسط التفاعل.ومن المعادلة اعلاة نلاحظ ترسب الفضة على الكاثود نتيجة عمليتا التاكسد الاختزال حيث يذوب قطب النحاس وتحرر الالكترونات وتكتسب ايونات الفضة هذه الالكترونات وتترسب على شكل ذرات الفضة ان التفاعل الذي يحدث عنده التآكل هو من النوع الكهروكيميائي سواء كان التفاعل قد تم في جو رطب أو في جو جاف ، وطبقا للنظرية الكهروكيميائية ينقسم تفاعل التآكل بالكامل إلى قطب أنود وقطب كاثود. 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 المجهرى (Microcell) (Corrosion) أو بين سطحين معدنيين فتسمى خلية التآكل العينية أو غير المجهرية (Macrocell) Corrosion شرط وجود الكتروليت في كلتا الحالتين<sup>(18)</sup>.

الاختبار الثاني:

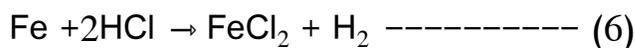
عند غمر قضيب من الحديد داخل محلول كبريتات النحاس المحضر لوحظ بعد فترة من الزمن ترسب فلز النحاس على قضيب الحديد في محلول كبريتات النحاس بشكل شعيرات ابريه نقيه مع تغير لون محلول كبريتات النحاس من اللون الازرق الى اللون الاخضر.والسبب في ان ايونات النحاس تسلك كعامل مختزل فيتأكسد الحديد الى الحديدوز ويفقد الكتروليت بينما يختزل النحاس الى النحاس اي إن هذا التفاعل تفاعل أكسدة واختزال وحسب المعادلة التالية:



ان الالكتروليت هو أي وسط ناقل يمكن إن ينقل الالكترونات بين موقعين ومن المعادلة اعلاة نلاحظ ترسب النحاس على الكاثود نتيجة عمليتا التاكسد الاختزال حيث يذوب قطب الحديد وتتحلل الالكترونات وتكتسب ايونات النحاس هذه الالكترونات وتترسب على شكل ذرات النحاس (19). أن العوامل التي تعزز عملية التآكل في التربة هي تركيز الكبريتات<sup>2-</sup>(SO<sub>4</sub>) وتركيز أملاح الكلوريدات (Cl<sup>-</sup>) المتواجدة في التربة فضلا عن كل من قيمة الأس الهيدروجيني (pH) والموصلية الكهربائية للتربة التي تعتمد على كمية الرطوبة والأملاح الموجودة في التربة والتي تمتاز بتأثيرها الكبير على سير وانتشار التفاعل الكهروكيميائي (20).

### الاختبار الثالث:

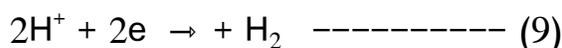
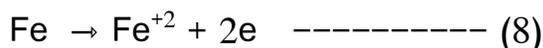
استخدمت طريقة الغمر البسيط لإجراء هذا الاختبار، وذلك بوضع قضيب من الحديد ذات مساحة (1cm<sup>2</sup>). في محلول حامض الهيدروكلوريك المخفف بتركيز (5%HCl) وقيمة الأس الهيدروجيني (pH=1.1)، وتم الأختبار بدرجة حرارة (30°C). لان الحديد هو اكثر المواد الانشائية للتشيد استخداما في الصناعة ولذلك تم اجراء هذا الاختبار لتوضيح النظرية الكهروكيميائية لعملية التاكل. وتم توضيح التفاعل في المعادلة التالية:



ان الذي يحدث داخل المحلول ان محلول HCl في التفاعل يتاين الى H<sup>+</sup> وايونات الكلوريد Cl<sup>-</sup> وكذلك كلوريد الحديدوز يتاين الى ايونات الحديدوز موجبة الشحنة Fe<sup>+2</sup> وايونات الكلوريد Cl<sup>-</sup> وبذلك يكن كتابة المعادلة كالتالي:



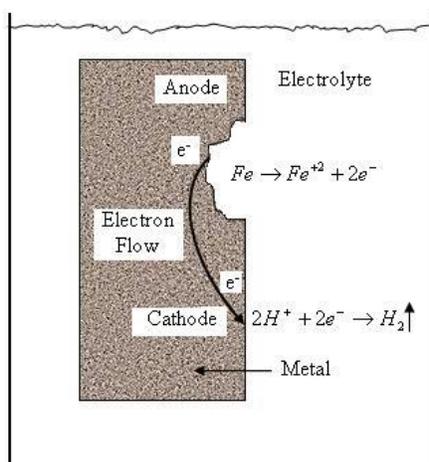
ان التفاعل الذي حدث هو تفاعل اكسدة واختزال حيث ان الحديد تاكسد الى ايونات الحديدوز الذي فقد الكترونين بينما ايون الهيدروجين موجب الشحنة قد تم اختزالها باكتساب الكترون لكل ذرة ويمكن التفاعل الكلي يتالف من تفاعلين هما:



وكلا التفاعلين يحدثان انيا على سطح الفلز الا ان تلك المساحات على سطح الفلز والتي تحدث عندها تفاعلات الاكسدة والتي يشار اليها بالمساحات الانودية والتي يحدث عندها ذوبان الحديد. أما تلك المساحات التي تحدث عندها تفاعلات الاختزال لايونات الهيدروجين ويشار اليها بالمساحات الكاثودية.

اي ان السطح الواحد للفلز سوف ينقسم الى نوعين من المساحات انودية وكاثودية ,ويحدث الذوبان الفلزي عند المساحات الانودية بينما يحدث تصاعد الهيدروجين عند المساحات الكاثودية هذا الفرق في الجهد يوجه الالكترونات الناتجة عبر المعادلة (8) الى اماكن استهلاكها عبر المساحات الكاثودية وكما هو مبين بالمعادلة(9).

ان ايونات الهيدروجين الموجودة بالقرب من المساحات الكاثودية لن يكون مرغوبا فيها هناك ولذلك فهي تسري تحت تاثير الانحدار في الجهد الى المساحات الكاثودية حيث تشارك في تفاعل الاختزال ومن ذلك يتضح ان هناك دائرة كهربائية متواجدة وان هناك تيار يسري بين الانود والكاثود. وكلما زاد معدل ذوبان الحديد وتحوله الى ايونات (كلما زاد معدل التاكل) كلما زاد التيار الساري في هذه الخلية التاكلية. ان التاكل الكهروكيميائي ينشأ بسبب تيار كهربائي يتعرض له المعدن نتيجة تسليط جهد خارجي او تاكل ناتج عن تفاعل كلفاني<sup>(2)</sup>.



شكل (1) تخطيط يمثل آلية التاكل على السطح المعدني<sup>(22)</sup>

فترات اختبار التاكل: أجريت اختبارات التاكل في ثلاث فترات زمنية وهي:-

1. الفترة الأولى :وكانت لمدة ( 4 ) أسابيع أي ( 672 ) ساعة.
2. الفترة الثانية :وكانت لمدة ( 6 ) أسابيع أي ( 1008 ) ساعة .
3. الفترة الثالثة :وكانت لمدة ( 8 ) أسابيع أي ( 1344 ) ساعة.

طريقة حساب معدلات التآكل : بعد الانتهاء من اختبارات التآكل رفعت النماذج من اوساط التآكل وتم تنظيفها من طبقات الصدأ الناتجة من عملية التآكل بالمعالجة الميكانيكية أولاً باستخدام فرشاة ناعمة (فرشات أسنان) وماء ثم بالمعالجة الكيميائية باستخدام الكحول ، وبعدها غسلت النماذج وجففت جيداً بعد التأكد من عدم وجود أي بقايا لأثار عملية التآكل . بعد ذلك مباشرة تم قياس الوزن النهائي للنماذج (Final Weight) ليتم حساب الفرق بينهما، (Weight Loss) وفيما يلي العلاقة التي استخدمت لحساب معدل التآكل (Corrosion Rate) (3,18,21,23,24,25)

$$\text{mpy} = \frac{K \times W}{P \times A \times t}$$

حيث أن :-

(mpy) : هي وحدة قياس معدل التآكل (mils per year).

(K): قيمة ثابتة وتساوي  $3.45 \times 10^6$  ليكون الناتج بـ (mpy)

(W): مقدار الفقدان في الوزن مقاس (g). بالغرام

(t) : فترة الاختبار مقاسه بالساعات (hr).

(ρ): الكثافة مقاسه بـ (g / cm<sup>3</sup>).

(A): المساحة السطحية المعرضة لأوساط التآكل مقاسه بـ (cm<sup>2</sup>).

جدول (1) تاثير الفترة الزمنية على معدل التآكل

معدل التآكل بوحدة (μmpy)	الفترة الزمنية للغمر بالساعات
4	672
15	1008
10	1344

ان تأثير عامل زمن التعرض للتآكل على معدل التآكل تناقص في معدلات التآكل بمرور الوقت وسبب ذلك هو وجود طبقات التآكل تشكل أغشية وقائية تقلل من تفاعل السطح المعدني مع الوسط المسبب للتآكل وهذا ما وجدته الباحثين (12,20,27,28,29) .

الاختبار الرابع:

استخدام قطب من النحاس ذات مساحة سطحية ( $4 \text{ cm}^2$ ) وتم اخذ مساحات سطحية مختلفة لقطب الزنك اما وسط التفاعل المستخدم هو التراب الرطب وغمرنا قطبي الزنك والنحاس داخل الوسط الالكتروليتي ربطت الأقطاب بأسلاك واميتير حيث اكتملت الدورة الكهربائية وذلك من خلال قراءة مؤشر الاميتير والسبب تكون خلية كلفانية تتالف من قطب الزنك الذي يتصرف في الخلية كاثود يفقد الالكترونات ويعطيها الى القطب الاخر الذي يتصرف ككاثود وتم ملاحظة ذلك من خلال قراءة الاميتير الذي يشير الى سريان تيار كهربائي من قطب الانود الى قطب الكاثود خلال الدائرة وعند استبدال قطب الزنك بقطب اخر ذي مساحة سطحية اصغر نلاحظ زيادة في قيمة التيار المتولد أي كلما صغرت المساحة السطحية للانود نسبة الى الكاثود زادت قيمة التيار المتولد بين الاقطاب أي ازداد التآكل وقد تم اخذ اقطاب للانود ذات مساحات سطحية مختلفة ووجد بانه كلما قلت المساحة كلما زاد قيمة التيار المتولد بين الأقطاب والسبب ان الكثافات التيارية تعتمد على الحجم النسبية للمساحات الانودية والكاثودية التي قد تسبب مشكلة تكوين نقرة او ثغرة من جراء التآكل (pit corrosion) التي تحدث عندما تكون المساحات الانودية صغيرة جدا ولهذا يعزز تكوين كثافة تيار عالية بسبب اختلاف فرق الجهد، طبقا للنظرية الكهروكيميائية وتسمى خلية أو (Microcell Corrosion) التآكل المجهرية أي كلما كان الفرق بين جهود الاقطاب كبيرة لمزدوجات التاكسد والاختزال يكون التآكل سريعا<sup>(19,32,33,34)</sup> وكما مبين في الجدول (2).

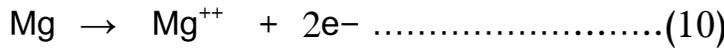
جدول (2) العلاقة بين المساحة السطحية للانود و قيمة التيار المتولد

المساحة السطحية للانود (سم <sup>2</sup> )	قيمة التيار المتولد (ملي أمبير)
1	48
1.5	40
2	32
2.5	29
3	14
3.5	2

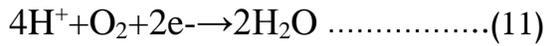
الاختبار الخامس:

استخدام قطب من الحديد و قطب من المغنسيوم اما وسط التفاعل المستخدم هو تراب مرطب بمياة البحر وغمرنا قطبي الحديد والمغنسيوم داخل الوسط الالكتروليتي (التراب المرطب بمياة البحر) يعتبر التآكل في التربة الرطبة الرخوة أكثر عنفاً من التآكل في التربة الجافة والتربة المشبعة بالماء، وذلك لان حدوث عملية التآكل يتطلب وجود الرطوبة والأوكسجين معاً، والمعروف إن التربة الجافة تقتدر إلى الرطوبة والتربة المشبعة تقتدر إلى الأوكسجين. (20)

ربطت الأقطاب بأسلاك واميتير حيث اكتملت الدورة الكهربائية وذلك من خلال قراءة مؤشر الاميتر الذي أشار إلى تيار متناقص مع الزمن إلى أن تآكل قطب المغنسيوم وذلك لان التيار الكهربائي يعتمد على قابلية توصيل الوسط او المحلول حيث يعتبر ذلك عاملاً مهماً في عملية التآكل فالتربة الرملية الجافة لها مقاومة كهربائية عالية بينما التربة الرطبة بماء البحر تكون مقاومتها اقل فتسهل وتسرع من تيار التآكل حيث يعتبر المغنسيوم في هذه الخلية الانود ويتميز بانه الفلز الذي يملك الجهد الاكثر سالبية ،اي يعطي اعلى معدل للتزويد بالتيار وبوقت قصير، وكما واضح في الشكل (3)، يحدث تآكل المغنسيوم (Mg) عند توفر الظروف المناسبة لذلك وهي الأوكسجين والرطوبة، أو المحاليل الكيميائية، وتتضمن تعرض مساحة الأنود لتأثير الألكتروليت الذي يزيل حالة التعادل الكيميائي عنها بفقدان واحد أو أكثر من الكتروناتها تفقد ذرة المغنسيوم غير القابلة للذوبان في الالكتروليت اثنين من الكتروناتها أي تتحول من ذرات المغنسيوم الى ايونات المغنسيوم ( $Mg^{++}$ ) التي تحدث عند قطب الانود (34,35)، كما في المعادلة التالية :



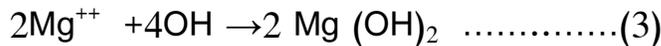
عند قطب الكاثود، تتحد أيونات الهيدروجين في الماء مع الإلكترونات المفقودة كما في المعادلة:



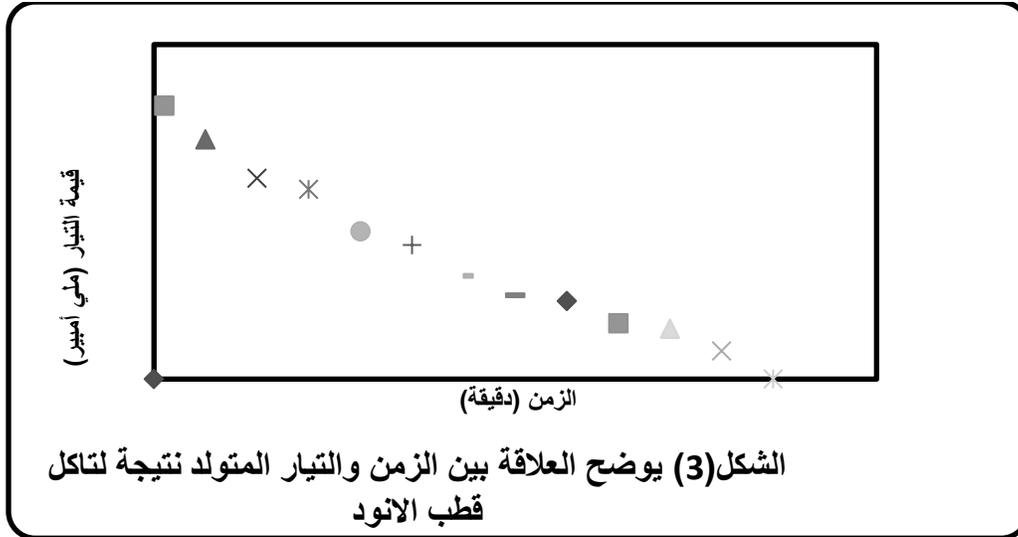
وعند غياب الماء كالكتروليت تكون المعادلة كما يلي:



إن أيونات الهيدروكسيد المتحررة عند قطب الكاثود تتفاعل مع أيونات المغنسيوم المنحلة لتكوين هيدروكسيد المغنسيوم  $Mg(OH)_2$  كما في المعادلة التالية:



وهذا يدل على أن طبيعة (الوسط) الذي يسبب التآكل له دور أساسي في التأثير على معدل التآكل.



### اختبارات الحماية من التآكل: Cathodic Protection Tests

هناك طريقتان للحماية الكاثودية:

أ الحماية الكاثودية باستخدام مجموعة انودات التضحية: (sacrificial anodes)

وتم ملاحظة كيفية حدوث الحماية الكاثودية بانودات التضحية من خلال الاختبارين الاول والثاني

ب الحماية الكاثودية بالتيار المسلط: (impressed current)

منظومات الحماية باستخدام التيار القسري Impressed Current تأتي التتمية من كون تيار

الحماية مسلط من مصدر خارجي وهذا ما تم ملاحظته من خلال الاختبار الثالث

الاختبار الأول :

استخدام قطب من الحديد وقطب من الزنك ووسط التفاعل المستخدم هو تراب مرطب بماء البحر

وربط قطب الحديد مع قطب الزنك مع بعضها ثم ربطت مع قطب المغنسيوم بأسلاك توصيل واميتير

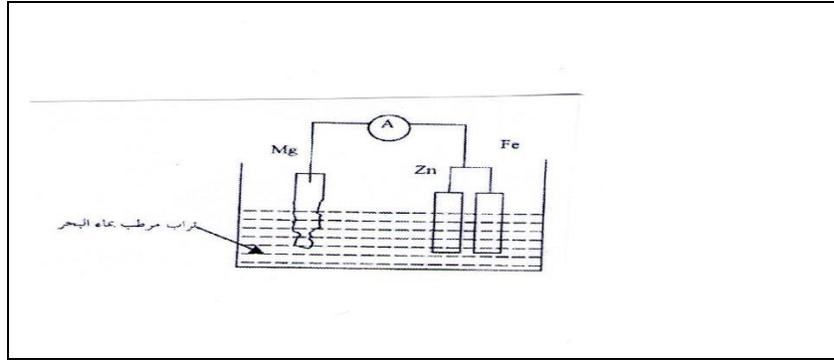
واخذت قراءات عديدة لتيار التآكل المتولد.

حيث ان قطبا الزنك والحديد عبارة عن قطبين في خلية التآكل تسري الالكترونات من القطب

الموجب (الزنك) الى القطب السالب (الحديد) وعند ادخال تيار من الالكترونات الى قطب الزنك من

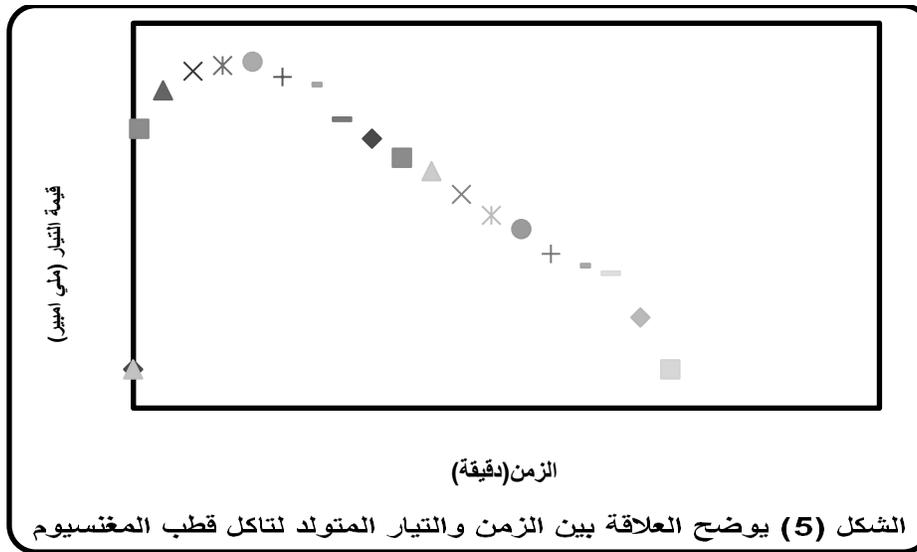
قطب اخر مثل المغنسيوم وبذلك يتحول التآكل من قطب الزنك الى قطب المغنسيوم وكما موضح

في الشكل (4).



شكل(4) يبين مخطط يبين طريقة الحماية الكاثودية باستخدام المغنسيوم انود مضحى

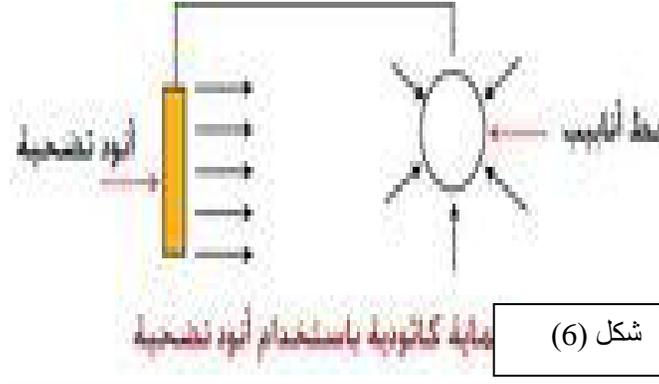
حيث يمكن ملاحظة تاكل المغنسيوم عند مرور تيار التاكل خلال مؤشر الاميتر وكما موضح في الشكل (5).



الشكل (5) يوضح العلاقة بين الزمن والتيار المتولد لتاكل قطب المغنسيوم

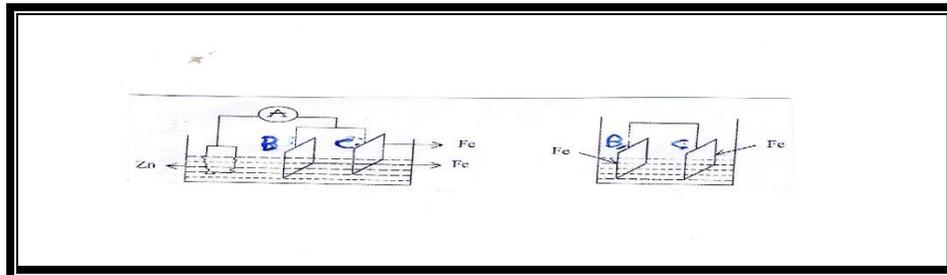
نلاحظ زيادة قيمة التيار بعد 40 دقيقة من بدء مرور التيار (تيار التاكل) وبعد ذلك تتناقص مع الوقت الى ان تاكل قطب المغنسيوم بالكامل بعد مرور ثلاث ساعات وانتهى عندها مرور التيار اي ان قطب المغنسيوم ضحى في سبيل حماية قطب الزنك الذي لم يفقد شئ من وزنه خلال هذه الفترة حيث عمل قطب المغنسيوم هنا كقطب موجب واصبح قطب الزنك والحديد قطبين سالبين اثبت قطب المغنسيوم كفاءة عالية حيث انه يولد تيار عالي رغم ان القوة الدافعة الكهربائية لخلية

المغنسيوم والفولاذ في وجود ماء البحر ليست عالية. لذلك يستخدم لحماية الانابيب المدفونة داخل الارض من التاكل .وهذا ما وجده الباحثين<sup>(12)</sup> حيث في الفعالية الكلفانية بين المعدن المراد حمايته وأقطاب التضحية المستخدمة تستخدم أقطاب تضحية من معادن تأتي في مقدمة السلسلة الكهروكيميائية مقارنة بالمعدن المراد حمايته، أي أنها ذات جهد طبيعي أكثر سالبية مقارنة بجهد المعدن المراد حمايته كما في الشكل (6) <sup>(30,31)</sup>.



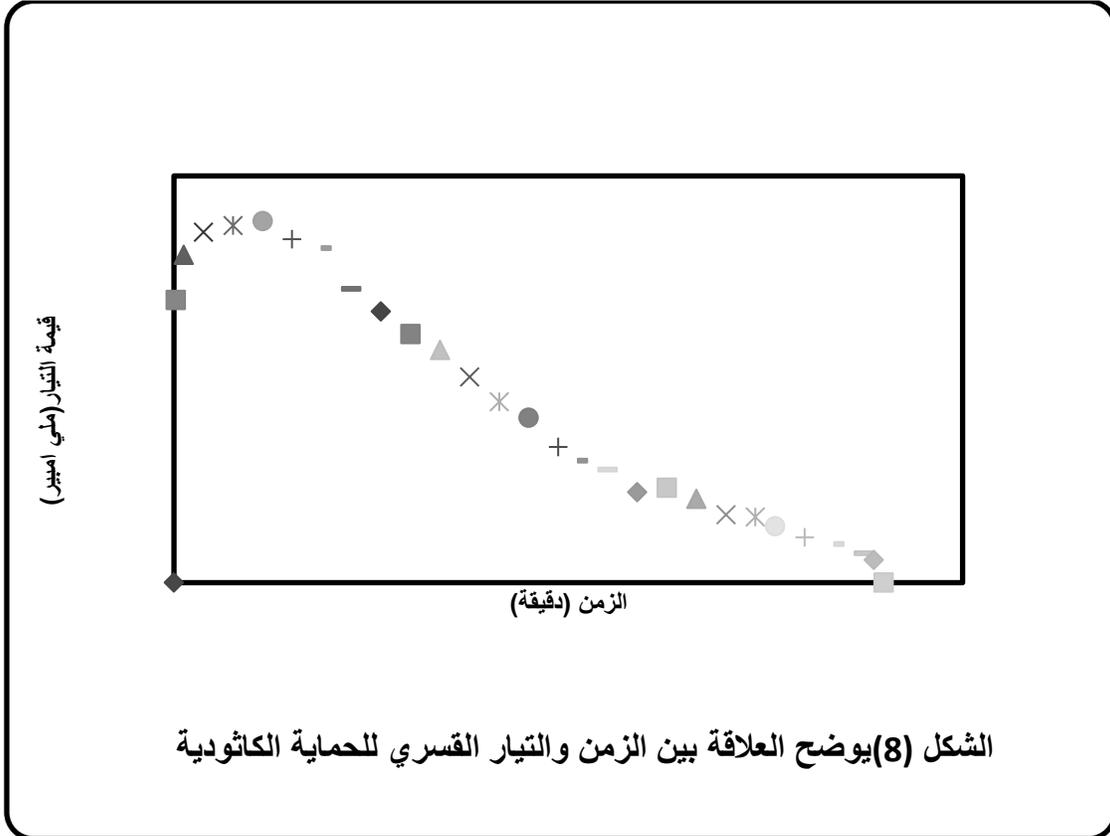
#### الاختبار الثاني:

استخدام قطبين من الحديد وقطب من الزنك الذي وزنه 10 غرام ووسط التفاعل المستخدم هو تراب مرطب بماء البحر و تم ربط قطبي الحديد مع بعضهما ثم ربطت مع قطب الزنك بأسلاك توصيل واميتير كما في الشكل (7) واخذت قراءات عديدة لتيار التاكل المتولد. عند غمر قطبا الحديد في وسط التفاعل تتكون خلية تاكلية تسري الالكترونات من القطب الموجب B الى القطب السالب C فيتاكل القطب B ولكن عند غمر قطب الزنك الى نفس الخلية وربطه باقطاب الحديد سوف يسري تيار من الالكترونات من قطب الزنك الى القطب B فيتحول التاكل من قطب الحديد B الى قطب الزنك الذي يتصرف كقطب موجب للخلية.



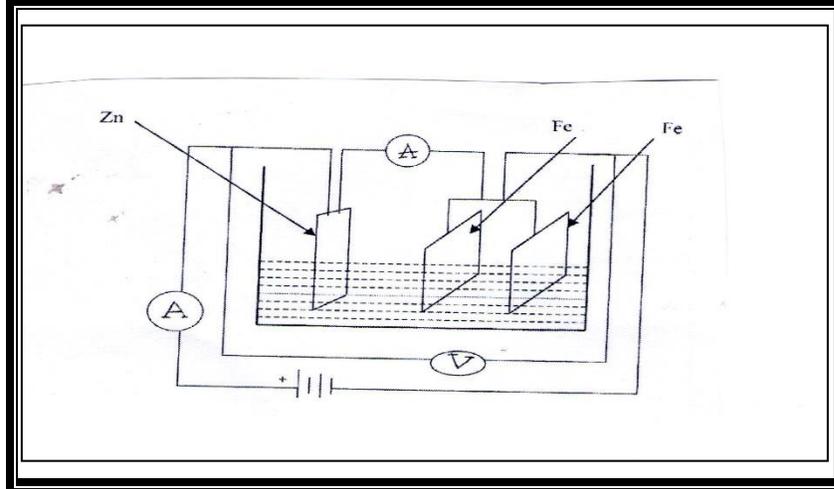
شكل (7) يوضح الحماية الكاثودية ويمثل قطب الزنك القطب المضحى

وتم اختبار قطب الزنك بانه ليس بافضل المعادن المستخدمة اذ يتغطي سطحه بمركبات تؤثر على جهده ومن ثم تقلل من فعاليته من خلال قراءة تيار التاكل الذي انتهى بعد فقدان 50 ملي غرام فقط من قطب الزنك وخلال 12 ساعة على عكس قطب المغنسيوم الذي تاكل نهائيا وبفترة 3 ساعات فقط وكما مبين في الشكل (8).



للسيطرة على التاكل والحد منه بتسليط تيار كهربائي الى داخل الفلز بمعدل مساوي او اكبر من معدل خروجه من الفلز عندما يتاكل ويتم تحديد التاكل من اختبارات النقص في الوزن للاقطاب كما في الاختبار التالي:

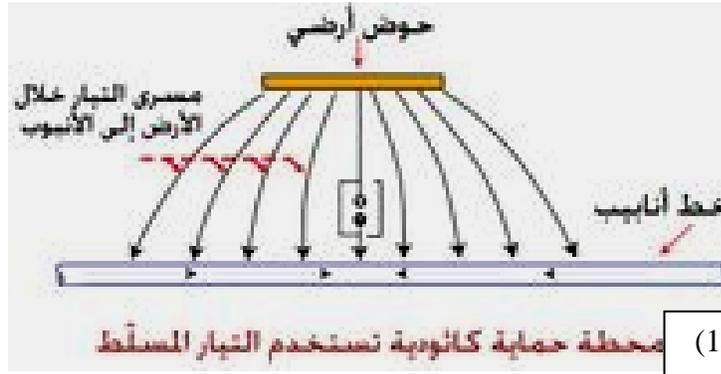
استخدام قطبين من الحديد وقطب من الزنك ووسط التفاعل المستخدم هو تراب مرطب بماء البحر واستخدام مصدر كهربائي وربط قطبي الحديد مع بعضهما ثم ربطت مع قطب الزنك بأسلاك توصيل واميتير وربطت الخلية ككل بمصدر للتيار الكهربائي كما موضح في الشكل (9).



شكل (9) يوضح الحماية الكاثودية باستخدام التيار القسري

يوصل قطب الحديد المراد حمايته بالقطب السالب للمصدر الكهربائي بقطب الزنك الذي يذوب اما قطب الحديد المراد حمايته فيكون الكاثود وعنده يحدث تفاعلين اما امتصاص الاوكسجين او تصاعد الهيدروجين .

عادة تستخدم خرقة الحديد او الكرافيت او الحديد ذي السيلكون العالي كاقطاب موجبة وتكون مدفونة في التربة او مغمورة في وسط التاكل ومربوطة كهربائيا الى الهياكل المراد حمايتها كما مبين في الشكل (10)



وان اسلوب الحماية الكاثودية في هذا الاختبار بتسليط تيار بعدة قراءات وملاحظة تأثيرها على وزن الاقطاب المراد حمايتها (اقطاب الحديد) فكانت افضل قراءة هي 60 ملي امبير كما موضح بالجدول (3) فالقراءات الاقل تسبب استمرار التاكل للاقطاب والقراءات الاكبر تسبب تصدعات او ضياع في التيار (التيارات الشاردة).

الجدول (3) يوضح العلاقة بين قيمة التيار القسري للحماية الكاثودية والزمن والتاكل

الملاحظات	الزمن (دقيقة)	قيمة التيار المسلط (ملي أمبير)
تصدعات وضياع في التيار كبيرين	2	100
تصدعات وضياع في التيار اقل	60	80
تصدعات وضياع في التيار بسيطين	72	70
بدون تصدعات داخل المعدن وتيار مثالي	102	60
استمرار التآكل للاقطاب	160	50

#### الاستنتاجات

عند تصميم منظومة حماية كاثودية يتطلب الأخذ بنظر الاعتبار النقاط الرئيسية التالية<sup>(19)</sup>:

1. نوع المنشأ والمعدن المطلوب حمايته.
2. المساحة السطحية للمنشأ المطلوب حمايته من التآكل.
3. المقاومة النوعية للتربة أو المحيط الذي يشكل وسط التآكل.
4. بطيء أو ضعف سرعة التفاعل الكهروكيميائي مع استمرار زمن التعرض للتآكل عما كان عليه في بدء.
5. تتغير معدلات التآكل بتغير وسط التآكل.
6. تتآكل الفلزات بسرعة كبيرة عند حدوث التفاعلات الانودية والكاثودية جنباً الى جنب.

#### المصادر

1. Alstom Bosch (2000), "Corrosion of Carbon Steel" , keyto Metals Steel. Mc Graw-Hill , New York ,
2. Dieter Landolt (2007), "Corrosion And Surface Chemistry Of Metals", EPFL Press, Italy.
3. William D., and Callister Jr., (2001), Fundamentals of Materials Science and Engineering, John Wiley & Sons, Inc., U. S. A..
4. K. T. Rashid, (2009), Eng. & Tech. Journal. Vol. 27, No. 8, pp.1640- 1653.
5. H.H. Uhlig & R. w. Revie, (1985) , "Corrosion and Corrosion Control", 3rd ed., John Weily and Sons Inc..
6. Nervana A. Abd Alameer (2010), " Studying the Effect of Sodium Silicate as Inhibitor on the Corrosion Rate of Carbon Steel" F.T.T. scientific International conference In Najaf .
7. Aramide Fatai Olufemi (2009), Leonardo journal of sciences, 15, PP.47-52.
8. كاظم ، نبيل لطيف، (1995)، "الطلاء اللاكهربائي لحماية الفولاذ"، رسالة ماجستير مقدمة الى قسم الهندسة الميكانيكية-جامعة بابل،
9. المؤنس، حامد، (2007)، مجلة جامعة كربلاء العلمية المجلد الخامس \العدد الرابع علمي، ص342-350.

10. حواس، مالك نعمة، محمد ، بشرى رشيد ، موسى ، نوال حمودي ،(2012) " K ، مجلة القادسيه للعلوم الهندسيه، المجلد الخامس، العدد الثالث95-105 .
11. B. Laoun1, K. Niboucha and L. Serir, (2009), Centre de Développement des Energies Renouvelables Revue des Energies Renouvelables, vol.12.
12. النعمة، مظفر أنور، حمدون ، سرى غالب ، نجيب ، سرى سالم، (2009)، مجلة جامعة كركوك الدراسات العلمية، المجلد (4) ، العدد (1) ،ص.1-10.
13. Ajeel ,Sami Abulnoun , Ghalib A. Ali,(2008),Eng.&Tech,Vol.26,No.6. PP.636-646
14. جاسم، داود مشير،(2010)، تأثير، مجلة القادسيه للعلوم الهندسيه، المجلد الثالث ، العدد الثالث.ص. 310 - 297
15. G. Gad Allah, M. A. Al-Khalidi and R. K. Al-Bilali, (2007), J. Saudi Chem. Soc., Vol. 11, No. 1; pp. 147-162.
16. احمد ، هشام خالد ، حامد، هشام هاشم، (2007) ، عليوي ، حيدر مجيد ، مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد 26، العدد السادس ، ص. 273 - 285.
17. O. M. Abo- Elenien,( 2006), Tikrit Journal of Pure Science Vol. 11 No. 1. PP.58-63
18. Wadullah H. Mohamed., (2006) , Msc. Dissertation. College Of Engineering. Department Of Mechanical Engineering , University of Mosul, Iraq, pp. 16-55.
19. Al-Abdullatif Mohammed O. M.,( 2007),PhD. Dissertation. College Of Engineering , Chemical Engineering Department, King Saud University, Kingdom Of Saudi Arabia , pp. 21-35,.
20. John F.K.,(1994),”Corrosion Control and Treatment Manual”,Kennedy Space Center, Revision C-TM-584C / Florida, U.S.A.,.
21. Fontana G. and Green D.,(1986), "Corrosion Engineering", 3rd Edition, McGraw-Hill International, U.S.A.,.
22. Roger H.,(2001),"The Prevention of Corrosion on Structure Steelwork", Construction and Industrial Center, U.S.A.,
23. Winston R., “Uhlig’s Corrosion Handbook”, John Wiley & Sons, Inc., Canada (2000).
24. Jeffrey T. B.,( 2000), M.Sc. Thesis of Chemical and Materials Engineering, University of Alberta, Canada,.
25. Yunping X., and Zhaohui X., (2002), U. S. A., Report No. CDOT – DTD – R, 4.
26. Trethewey K.R.,(1996),"Corrosion Science and Engineering", 2nd Edition, Wesley Longman Limited, London, U.K.
27. Vera R., and Rosales B. M. , (2002), Vol. 45, pp. 321 – 337,.
28. Huang R.T.,(2000),"Corrosion Protection of Carago Tanks", Chevron Shipping Company, Tokyo, Japan,
29. -Wall F. D., Martinez M. A., and Missert N. A., (2005),Journal of Corrosion Science, Vol. 47, pp. 17 – 32,
30. Myers, J. R. and Aimone, M. A., ( 1980 ), Corrosion Control for Underground Steel Pipelines ,A JI-eul;ie on Cathodic Protection, James R. Myers and Associates, Franklin, OH.
31. Peabody, A.W.,(1980) .Principles of Cathodic Protection, NACE Basic Corrosion Course(A.BraslInlls.Ed.).National Association of Corrosion Engineers, Housto`n TX.
32. Abdullah I., and Hossain A.S., (2004) ,The Journal of corrosion science and Engineering, Vol. 7, pp.1-12.
33. Ali ,J. M., Abbas, Q. M. ,( 2009), Al-Khwarizmi Engineering Journal, Vol. 5, No. 3, PP 60 - 71 .
34. احمد بشير ، إخلاص ، السراج ، غيداء إبراهيم حسين،(2012)، مجلة تكريت للعلوم الهندسية/المجلد/ 19 العدد 3/أيلول ،ص.14-25.
35. Wadullah H.M., , M.Sc. Thesis of Production and Metallurgy, University of Mosul, Iraq, (2006).