تقييم أداء أنظمة الحماية الكاثودية (الانودات المضحية والتيار المسلط) في ظروف العراق البيئية المختلفة.

عمر أكرم أحمد; رياض محمد نعمان ;كريم بهلول عفن
هشام قاسم حسن ; مثنى محمود قاسم ;خالد وليد أسعد
مركز البحوث الكيمياوية والبتروكيمياوية - هيأه البحث والتطوير الصناعي

الخلاصة :-

الحماية الكاثودية هي وسيلة لحماية السطوح الخارجية للمعادن من التآكل أينما وجدت هذه المعادن مغمورة في المياه أو مدفونة تحت الأرض والهدف الرئيسي للبحث هو القيام بدراسة متكاملة عن أداء عدد من منظومات الحماية الكاثودية وطبيعة الوسط الذي تعمل به في مناطق مختلفة من العراق (مقاومية التربة ، كمية الأملاح TDS، مقاومية الترسبات الطينية التي تتكون حول ركائز أرصفة الموانئ) وهذه الدراسة تصلح أن تكون قاعدة بيانات أولية للاستفادة منها في دعم الدراسات الموسعة في هذا المجال مستقبلاً.

ولانجاز خطة البحث لتقييم منظومات الحماية الكاثودية بنوعيها (**الانودات المضحية** والتيار المسلط) والظروف البيئية المختلفة المحيطة بالهياكل الحديدية المحمية جرى العمل على النحو التالي:-

- قام فريق البحث بزيارات متكررة إلى شركة مصافي الشمال والى ميناء خور الزبير وأجرى تقييم لأداء عدد من منظومات الحماية الكاثودية العاملة هناك (نوع **الانودات المضحية)** وتم توثيق المعلومات التي تتعلق بأداء هذه المنظومات والوسط المحيط بالهياكل الحديدية المطلوب حمايتها وهي:-
  - ✓ الجهد الكهربائي الذي تجهزه المنظومات إلى الهياكل الحديدية المحمية.
  - ✓ مقاوميه التربة (الترسبات الطينية المحيطة بركائز أرصفة الموانئ).
  - ✓ كمية الأملاح (TDS) لمياه خور الزبير ومن ثم حساب ألمقاوميه لها.
- صممت ونفذت منظومات حماية كاثودية بنوعيها (**الانودات المضحية** والتيار المسلط) لحماية أنبوب من الفولاذ الكاربوني غير مغلف بطول (1.5متر وقطر4 أنج) في موقع مركز البحوث الكيمياوية والبتروكيمياوية في مجمع الجادرية وتم تقييم عمل هذه المنظومات ومراقبتها عن قرب يومياً وتوثيق المعلومات وكمايلي:
  - ✓ قياس جهد الأنبوب قبل وبعد تشغيل منظومات الحماية الكاثودية.
  - ✓ قياس مقاومية ورطوبة التربة المحيطة بالأنبوب المحمي على أعماق مختلفة.
- تم استخدام جهاز قياس الفولتية بمقاومة داخلية عالية وأقطاب فحص للتقييم والمعايرة.

المفتاح:- الحماية الكاثودية ، نقاط الفحص ، أقطاب الفحص ، مقاومية ، الفولاذ الكاربوني

ألمقدمة:-

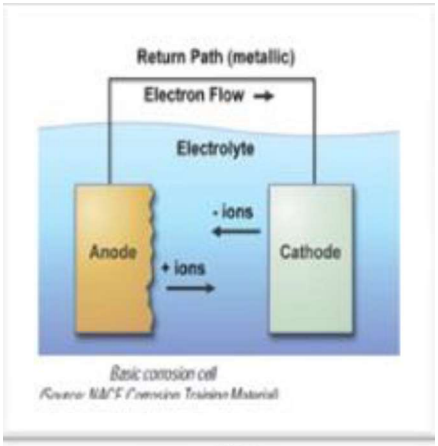
لكي نعرف أهمية أنظمة الحماية الكاثودية في حماية المنشآت المتكونة من هياكل حديدية لابد من معرفة المخاطر الكبيرة التي يسببها التآكل في السطوح الخارجية لهذه المنشآت (مصافي النفط ، محطات توليد الطاقة الكهربائية ، ركائز أرصفة الموانئ ، أنابيب نقل مياه الشرب والصرف الصحي.....الخ) وكذلك علينا أن نخمن أي نوع من أنواع التآكل قد تتعرض له المنشاة لأن التآكل الكهروكيميائي هو عملية طبيعية في البيئة تحدث نتيجة تكون خلايا التآكل حيث تكون حركة الإلكترونات بين المناطق الانودية و الكاثودية (في هذه الخلايا) نتيجة فرق الجهد الطبيعي بين المعادن والذي ينتج عنه ذوبان المعدن الأكثر نشاطاً.

1-1مكونات خلية التآكل:[1]

تتكون خلية التآكل من العناصر التالية:-

- كاثود (Cathode)
- أنود (Anode)
- الموصل المعدني (Metallic path)
- الوسط الالكتروليتي (Electrolyte)

ومكونات خلية التآكل وحركة الايونات الموجبة والسالبة داخل الوسط موضحة في الشكل رقم (1-1).



شكل (1-1)

1-1 كلف التآكل في المنطقة العربية [2] Corrosion Cost.

أظهرت دراسة اجريت سنة (2005) في المنطقة العربية أن كلف التآكل تبلغ (5%)من الناتج المحلي الاجمالي (Gross Domestic Product) والجدول رقم (1-1) يوضح كلف التآكل في الدول العربية وتكون على شكل خسائر تقسم الى:-

1- خسائر مباشرة :
   - المواد الداخلة في بناء المنشأة.
   - الصيانة المستمرة.
   - التصاميم الإضافية لإعادة التأهيل.
   - استخدام مواد عالية الجودة.
2- خسائر غير مباشرة :
   - التوقف المفاجئ للمنشات.
   - المنتجات المتسربة وخصوصاً الثمينة.
   - تلوث البيئة المحيطة بالمنشأة.

جدول (1-1) [كلف التآكل في المنطقة العربية [3]]

Country	Gross National Product GNP (in billions of U.S. dollar)	Annual Corrosion Cost (in billion U.S. dollars)
Algeria	89.6	4.480
Bahrain	10.3	0.515
Egypt	92.9	4.645
Iraq	16.0	0.800
Morocco	52.3	2.615
Oman	23.0	1.150
Qatar	15.0	0.750
Saudi Arabia	289	14.450
Sudan	23.3	1.165
Syria	26.4	1.320
Tunisia	29.0	1.450
U.A.E	112	5.600
Yemen	12.7	0.635

GNP data is based on year 2005

2- الجزء النظري

2-1التآكل [4] Corrosion

وفقا للمعيار البريطاني (BS7361) يعرف التآكل بأنه عملية كهروكيميائية أو كيميائية بين المعدن والبيئة المحيطة به ، ينتج عنها تدهور تدريجي للمعدن وبالتالي انهيار الهيكل المتكون من ذلك المعدن.

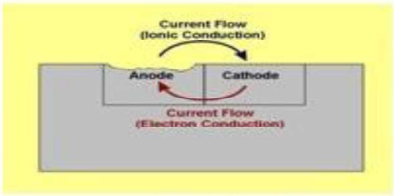
أنواع التآكل[5,6]

تأكل تحت خط الماء

تأكل التقصف الهيدروجيني

التأكل التنقري

تأكل الكبريتيد



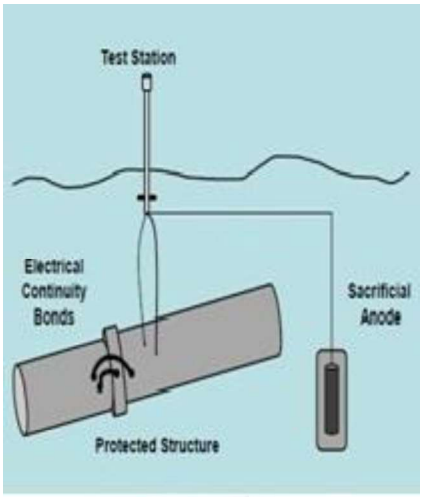
التـأكل الكلفاني

2-2منظومات الحماية الكاثودية :[7]

تقسم منظومات الحماية الكاثودية إلى نوعين:-

1-2-2 منظومات الانودات المضحية:Sacrificial Anodes

أساس عمل هذه المنظومات هو تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية حيث تعتمد أسلوب الفعالية إلكلفانية (Galvanic Action) بين المعادن و تستخدم أنودات مضحية من معادن تأتي في مقدمة السلسلة الكهروكيميائية مقارنةً بالمعدن المراد حمايته أي أنها ذات جهد أكثر سلبا (More Negative) من المعدن المحمي. **توصل الانودات إلى الهيكل الحديدي المراد حمايته بواسطة سلك معدني (Insulated Copper Wire) وكما في الشكل رقم (1-2) وهذه الانودات سوف تتآكل في الخلية الكلفانية بمرور الوقت وتنتج تيار كهربائي ينتقل إلى الهيكل الحديدي عبر الوسط المحيط.**



شكل (1-2)

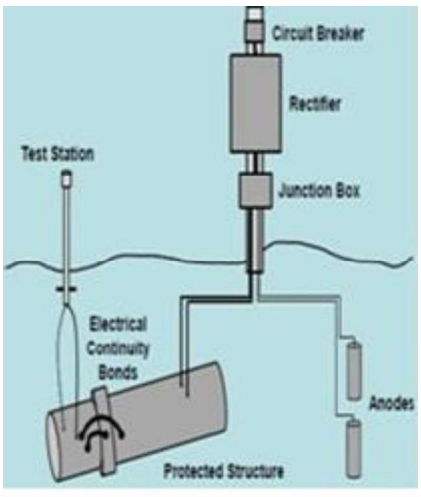
متى يستخدم هذا النوع من الحماية؟

يستخدم هذا النوع من المنظومات في الحالات التالية:-

- حماية هياكل حديدية ذات مساحات سطحية محدودة (Limited Area).
- حماية الهياكل الحديدية الموجودة في وسط (تربة ، مياه) قليل ألمقاومية.
- الحماية من تأثيرات تداخل التيارات الشاردة عند وجود هياكل معدنية قريبة من السطوح المراد حمايتها (منطقة مزدحمة بالهياكل الحديدية).
- في حالة عدم توفر مصادر الطاقة الكهربائية التقليدية.
- الحماية الوقتية خلال مرحلة التشييد.
- حماية الأسطح الداخلية للخزانات.

2-2-2منظومات التيار المسلط: Impressed Current

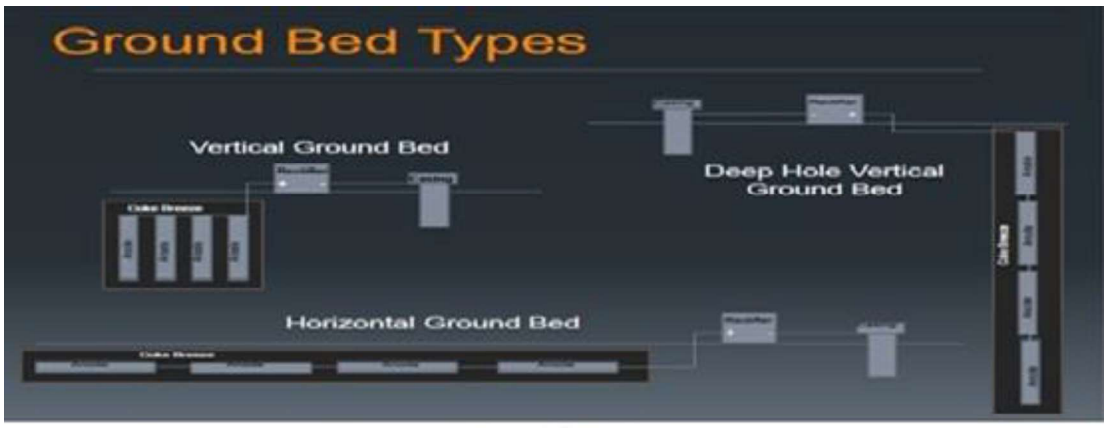
يعتمد هذا النوع من الحماية على وجود مصدر خارجي للتيار المستمر(DC power supply) ويتم الحصول عليه بتحويل التيار المتناوب (AC) إلى تيار مستمر (DC) ثم يوصل الطرف السالب للمصدر بالهيكل المراد حمايته بينما يتم توصيل الطرف الموجب بالـ (Ground bed) كما موضح في **الشكل رقم (2-2)** والانودات المستخدمة من النوع الخامل (Inert anodes) وأن معدل استهلاك هذا النوع من الانودات يكون أقل مقارنتاً بمعدل استهلاك الانودات المستخدمة في منظومات **الانودات المضحية ومن أنواعها** (Silicone cast iron، Graphite ، MMO). **ومن الجدير بالذكر أن ألواح الخلايا الشمسية هي المصدر الرئيسي للتيار الكهربائي لهذه المنظومات.**



شكل (2-2)

[8]: Ground Bed

ترتيب انودات منظومات الحماية الكاثودية في التربة المحيطة بالهيكل الحديدي بطريقة معينة يسمى الـ (Ground Bed) والغرض منه هو توفير مسار للتيار الكهربائي الذي تجهزه هذه الانودات باتجاه الهيكل الحديدي المراد حمايته عبر ذلك الوسط (التربة) والشكل رقم (2-3) يبين عدد من أنواعها.



شكل (2-3)

متى يستخدم هذا النوع من الحماية؟

يستخدم هذا النوع من منظومات الحماية في الحالات التالية:-

- حماية هياكل حديدية ذات مساحات سطحية كبيرة.
- مقاومية الوسط المحيط بالهيكل الحديدي المراد حمايته عالية.

3- الجزء العملي

3-1 فحص وتقييم **أداء منظومات الحماية الكاثودية:**

3-1-1 منظومة الانودات المضحية في شركة مصافي الشمال [9]

صممت ونفذت هذه المنظومة من قبل كادر مركز البحوث الكيمياوية والبتروكيمياوية في سنة 2011، وكان تاريخ تقييم الأداء في 2013/7/25 وتتكون من (25) أنود نوع مغنيسيوم موزعة على شبكة أنابيب التبريد وإطفاء الحريق لحمايتها من التآكل وإطالة عمرها التشغيلي والمساحة السطحية لهذه الأنابيب هي (628 م^2) ومدفونة بعمق (1.5م) والجدول رقم (3-1) يوضح قراءات الجهد لنقاط الفحص الموجودة وباستخدام قطب الفحص (Cu/CuSO4).

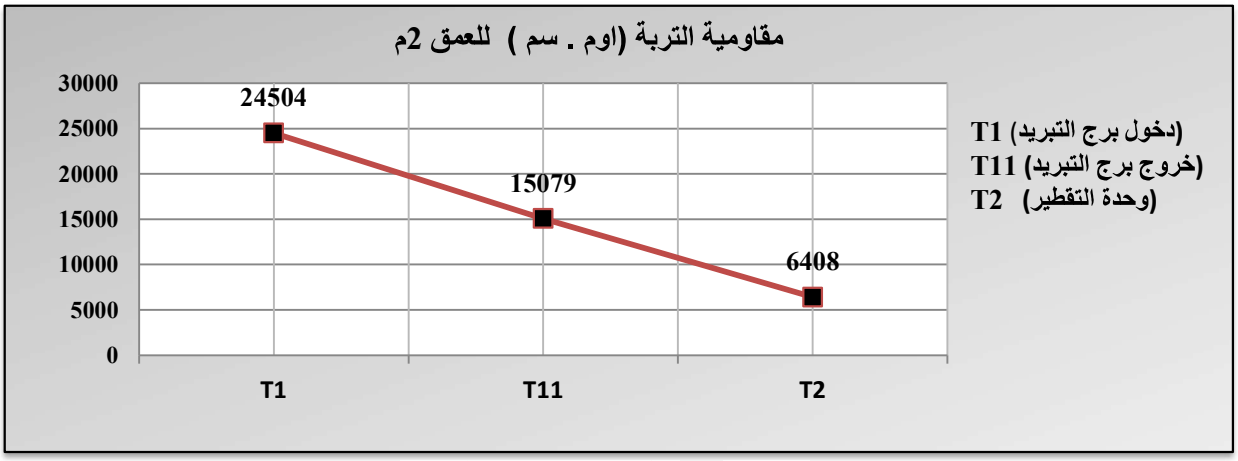
جدول (3-1) تقييم منظومة حماية كاثودية (أنودات مضحية) في شركة مصافي الشمال

TP No.	Potential(mV)	Date	الملاحظات
1	-960	2013/7/25	أعداد ومعايرة خلية الفحص الحقلية
2	-1040		
3	-1060		
4	-1020		

أبعاد أنود المنظومة ونوع التربة المحيطة بالأنابيب موضحة في الجدول رقم (3-2) والمخطط رقم (3-1) يوضح مقاوميه التربة على عمق (2م) لعدد من المناطق على طول خط الأنابيب.

جدول(3-2) طبيعة التربة المحيطة بالأنابيب وأبعاد أنود المغنيسيوم

Soil		Anode Dimensions &Weight		
Type	pH	Length(mm)	Diameter(mm)	Weight(Kg)
Sulfate	7.00	640	104	7.7



مخطط (3-1) التربة في عدد من المواقع

3-1-2 منظومات الأنودات المضحية لميناء خور ألزبير في جنوب العراق[10&11]

قام فريق البحث بزيارات متكررة إلى ميناء خور الزبير في شركة موانئ العراق لتقييم أداء منظومات الحماية الكاثودية المستخدمة في حماية الركائز الحديدية لأرصفة الموانئ ، حيث استمرت هذه الزيارات لمدة ثلاثة أشهر والجدول رقم (3-3) يوضح قراءات الجهد لنقاط الفحص لعدد من الأرصفة في ميناء خور الزبير وباستخدام قطب الفحص (Ag/AgCl).

TP No.	Potential(mV)	أقطاب الفحص	تأريخ التقييم
1	-835	Ag/AgCl	2013/9/18
2	-932		
3	-1004		
4	-972		
5	-975		
6	-976		
7	-955		
8	-970		
9	-1012		
10	-1014		

جدول (3-3) تقييم منظومة حماية كاثودية (أنودات مضحية) لنقاط فحص ثلاثة أرصفة في خور الزبير

وأجريت مجموعة من الفحوصات موضحة بالجدول رقم (3-4) للتعرف على طبيعة الوسط المحيط بالركائز (ماء مالح وترسبات طينية) مياه خور الزبير .

جدول (3-4) : طبيعة الوسط المحيط بالركائز

Electrolyte type	TDS(ppm)	Resistivity(Ω.m)
Seawater	35000	0.16
Sediment	———	0.32

3-2منظومات حماية الكاثودية (الانودات المضحية والتيار المسلط) في الجادرية:[12]

3-2-1 منظومة **الانودات المضحية** Sacrificial Anodes:

صممت منظومة حماية **نوع الانودات المضحية** لحماية أنبوب من الفولاذ الكاربوني غير مغلف والجدول رقم (3-5) يوضح متطلبات تصميم وتنفيذ هذه المنظومة (كثافة التيار، التيار المطلوب للحماية ونوع الأنود ووزنه) علما أنه تم أستخدم أنود مغنيسيوم بنفس المواصفات في الجدول رقم (3-2) وهو المتوفر لدينا.

جدول رقم (3-5) متطلبات التصميم وأنود منظومة الحماية الكاثودية

Current density (mA/m^2)	$I_{req.}$(mA)	Anode Type	Anode Weight
50	25.9mA	Magnesium	7.7(kg)

الجدول رقم (3-6) يوضح الأبعاد والمساحة السطحية للأنبوب ومعيار المادة المصنوع منها.

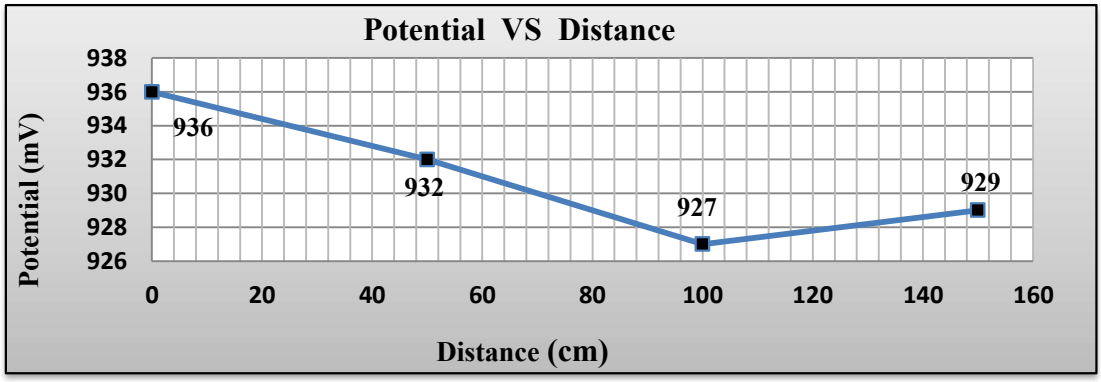
جدول (3-6) المساحة السطحية ومعيار المادة المصنع منها الهيكل المحمي

Bar Carbon Steel Pipe			
length(m)	diameter(inch)	Surface Area (m^2)	(material) standard
1.5	4.0	0.518	A 105/A105M(2009)

ولمعرفة توزيع الجهد على طول خط الأنبوب المحمي تم أخذ عدة قراءات له باستخدام قطب الفحص (Cu/CuSO4) وكما موضح في الجدول رقم (3-7) والمخطط رقم (3-2).

جدول (3-7) جهد الحماية على طول مقطع الأنبوب

Distance (cm)	Potential(mV)
0	-936
50	-932
100	-927
150	-929



مخطط (3-2) جهد الحماية على طول مقطع الأنبوب

3-2-2 منظومة التيار المسلط : Impressed Current

صممت هذه المنظومة لحماية الأنبوب الغير مغلف المذكورة مواصفاته في منظومة **الانودات المضحية** أعلاه مكونة من مصدر للتيار المستمر(شاحنة بطاريات) Battery Charger وأنود، والمواصفات الفنية لكليهما موضحة في الجدول رقم (3-8).

جدول (3-8) المواصفات الفنية للشاحنة والانود

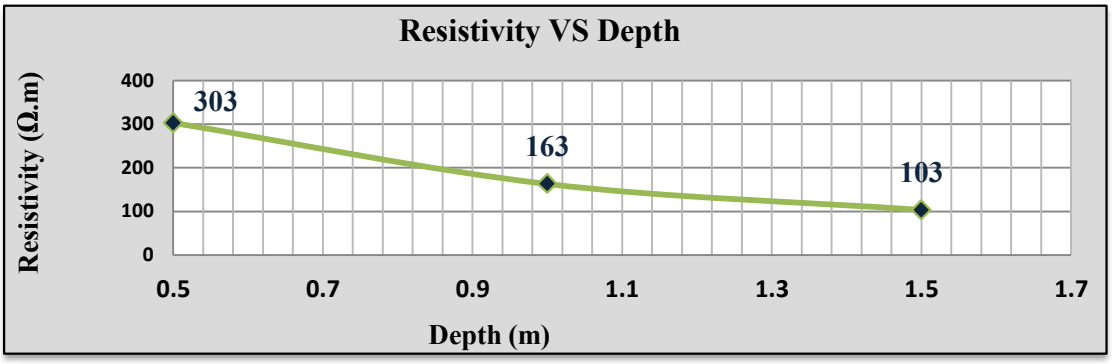
Battery charger			Anode	
			Type	Weight
AC Input (Single Phase)	DC Output		Scrape Steel	5(kg)
	Voltage(Volt)	Current (Amp.)		
220-240 Volt	6.0	15.0		

بعد تشغيل المنظومة ومراقبتها لفترة بحدود (24) يوم ، أستقر جهد الأنبوب عند قيمة (-1173mV) وتيار الحماية عند قيمة (57mA) وكما موضح في الجدول رقم (3-9) ولا يوجد تغير في قيمة الجهد على طول خط الأنبوب كما حصل في منظومة **الانودات المضحية** التي يكون فيها تيار الخرج (Output Current) محدود على عكس مما تتمتع به منظومات التيار المسلط من تيار وجهد ممكن التحكم بهما. يضاف إلى ذلك قصر طول الأنبوب المستخدم في التجربة وهذا ما سمحت به ظروف موقع تنفيذ المنظومة.

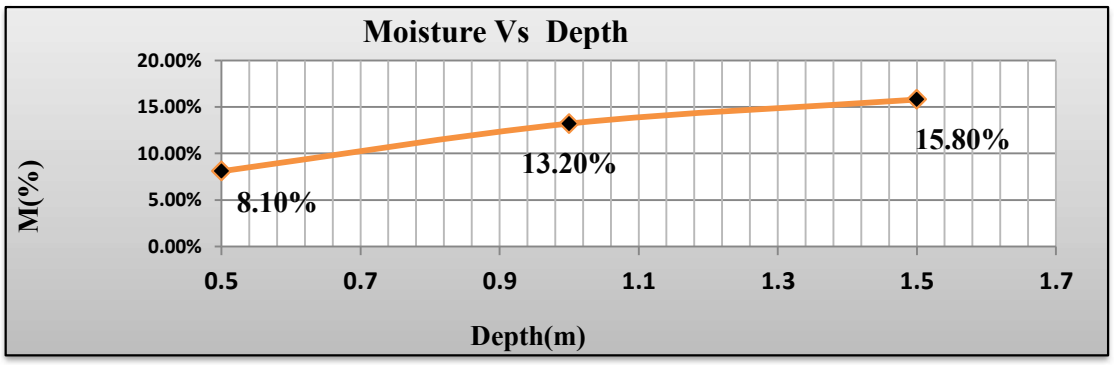
جدول (3-9) جهد الهيكل المحمي قبل وبعد تشغيل المنظومة

Initial Potential (mV)	Protected Potential (mV)	Protected Current (m A)
-500	-1173	57

تم فحص مقاوميه ورطوبة التربة المحيطة بالأنبوب المراد حمايته وعلى أعماق مختلفة والمخططات رقم [(3-3) ، (3-4)] توضح علاقة ألمقاومية والرطوبة مع العمق وعلى التوالي.



مخطط (3-3) تغير ألمقاومية مع العمق



مخطط (3-4) تغير الرطوبة مع العمق

أجهزة الفحص والقياس:

1. جهاز قياس الجهد (أفوميتر) ذو مقاومة داخلية عالية (10MΩ) نوع Fluke .
2. أقطاب فحص لإغراض الفحص الحقلي وأخرى لغرض المعايرة.
3. جهاز قياس مقاومية التربة والترسبات الطينية.
4. جهاز قياس كمية الـ TDS.

أجهزة وأدوات الفحص والقياس

4-الاستنتاجات والتوصيات

4-1 الاستنتاجات:-

4-1- 1معايير تصميم منظومات الحماية الكاثودية وتقييم أدائها مقسمة حسب طبيعة عمل الهيكل الحديدي المطلوب حمايته والوسط المحيط به مثل (أنبوب مدفون تحت التربة أو مغمور في المياه، ، ركائز أرصفة الموانئ.....الخ) وكما موضح بالجدول رقم (4-1).

جدول (4-1) المعايير المعتمدة في تصميم وتقييم أداء منظومات الحماية الكاثودية

الهيكل الحديدي المحمي	معيار تصميم منظومة الحماية الكاثودية	معيار تقييم الأداء
الأنابيب المدفونة تحت الأرض	NACE Standard SP0169-2007	NACE TM 0497-2002
ركائز أرصفة الموانئ	DNV-B401-2010	EN ISO12473 General principles of CP sea water

4-2 التوصيات:-

4-2-1 دراسة واقع عمل منظومات الحماية الكاثودية العاملة في الوقت الحاضر وفي مناطق العراق المختلفة وبما تسمح به الظروف.

4-2- 2أنشاء جداول خاصة بطبيعة (تربة ومياه العراق) لأهميتها في تصميم منظومات الحماية الكاثودية وذلك باستخدام جهاز فحص ألمقاوميه وفقا للمعيار ASTM-G-57-95a: .

4-2-3 يجب أن يكون جهد الهياكل المحمية من (-850) mV إلى(-1200) mV وفي حالة تجاوز الجهد (-1200)mV) سوف يتضرر تغليف هذه الهياكل بسبب تحرر ذرات الهيدروجين.

4-2-4 يجب مراعاة ظروف الموقع الذي تعمل فيه منظومات الحماية الكاثودية فعندما يكون الموقع مزدحم بالهياكل الحديدية المدفونة مثل (مصفى نفطي) ، يكون اختيار المنظومة من نوع الانودات المضحية لمنع تداخل التيارات الكهربائية مع الهياكل غير المعنية بالحماية الكاثودية ، حتى لو كانت مقاوميةالتربة عالية والمساحات السطحية للهياكل المراد حمايتها كبيرة.

4-2- 5 من المهم إدخال التقنيات الحديثة في تقييم أداء منظومات الحماية الكاثودية:

- ✓ تقنيات الـ CIPS & DCVG.
- ✓ السيطرة عن بعد على عمل هذه المنظومات (Remote Monitoring).
- ✓ تقنيات السيطرة الالكترونية على عمل مجهزات القدرة (T/R) في منظومات الحماية الكاثودية (نوع التيار المسلط).

المصادر

1- Company (Feng Hongchen HuangHua Risen Corr Stop Ltd.) -2007 – CP Systems Operation and Maintenance.

2- Dr.T.K.G.NAMBOODHIRI Professor of metallurgy-1998- Corrosive Damage in Materials and Its Prevention.

3- Dr. Iftikhar Ahmad-2005-Corrosion Costs And Preventive Strategies- -Libyan Corrosion Society (LCS)-Benghazi (Libya).

4- BS 7361--1991 Part 1: Code of practice for land and marine applications.

5- Atkinson, J.T.N., Van Droffelaar, H.-1995-Corrosion and Its Control (NACE International: Houston, Texas).

6- Boteler, D.H., Seager, W.H., Johan son, C., and Harde, C.-1999-Cold Climate Corrosion Special Topics: Telluric Current Effects on Long and Short Pipelines (NACE International: New York, New York) pp 67-79.

7- P.R. Roberge-1999-Handbook of Corrosion Engineering,

8- Company (CAT-TEK Cathodic Services Ltd.)- 1996- Smart Cathodic Protection for well casing.

9- NACE TM 0497-2002- Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems

10- DNV-B401-2010-Cathodic Protection Design.

11- EN ISO12473-2006-General Principles of CP Sea water - First Edition.

12- NACE Standard SP0169-2007-Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.

ملحق الصور

منظومة الحماية الكاثودية في الجادرية

منظومة الحماية الكاثودية لميناء أبو فلوس

منظومة الحماية الكاثودية لميناء خور الزبير