جامعة افريقيا العالمية

عمادة الدراسات العليا والبحث العلمي والنشر

تقييم وتحكم نظام الحماية الكاثودي لانابيب النفط الخام

بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير

في الكيمياء الصناعية

اعداد الطالب :

مهند محمد بابكر محمد احمد

(بكالريوس الصناعات الكيميائية 2015 – جامعة البحر الأحمر)

إشراف :

د/ سلمى عمر الحاج

مايو 2019م

الآية الكريمة

قال تعالى :

﴿فتعالى الله الملك الحق لا إله إلا هو رب العرش الكريم﴾

صدق الله العظيم

سورة النور : الآية (166)

الإهداء

اهدي هذا البحث :

الى جنة الله في ارضه امي العزيزه

الى مصدر اعتزازي وفخري ابي العزيز

الى من كانوا سندي وعوني اخوتي واخواتي الأعزاء

شكر وعرفان

من لا يشكر الناس لا يشكر الله هكذا كانت تعاليمنا الاسلامية توصينا باحقاق كل ذي حق حقه فكان علي ان اختص هذه المساحة لابعث بايآت الشكر والعرفان الى من لا يستطيع اللسان ان يوفيهم حقهم .

الشكر موصول الى التي لم تبخل علي بشئ كان يصب في اكمال البحث لما هو عليه الان واختصتني بكامل وقتها

د. سلمى عمر الحاج

واسمى ايآت الشكر والعرفان للمهندسين في

مرسى بشائر وشركة بترودار

واخص بالشكر والتقدير للذي ابت نفسه الا ان تكون لها البصمه الواضحة في مواصلة طريق البحث العلمي واخراج البحث بالصورة التي عليه

د. محمود محمد علي

م. علاء الدين الأمام

والشكر اجزله لمن كان سند ودعم لي في كل خطوه من خطوات انفاذ هذا البحث .

مستخلص الدراسة

هدفت هذه الدراسة الى تقييم نظام الحماية الكاثودية المطبق لحماية انابيب النفط الخام من التآكل ودراسة التحكم فيه , ووجد بالتالي من خلال النتائج ان معدل التآكل في الانبوب المحمي يقل على ما هو عليه في الانبوب غير المحمي مما يزيد من عمر الانبوب وهذا ما يجعل من تطبيق الحمايه الكاثوديه عامل مهم وضروري لتلافي مخاطر التآكل بصورة عامه.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the cathode protection system applied to protect the crude oil pipes from corrosion and control it, the results showed that the corrosion rate in the protected tube is lower than in the non-protected tube, which increases the life of the tube. This makes the application of cathode protection an important and necessary factor to avoid the risk of corrosion in general.

فهرس المحتويات

الموضوع	الصفحه
الأية	I
الإهداء	II
الشكر والعرفان	III
مستخلص الدراسة	IV
Abstract	V
الفهرس العام	VII
فهرس الجداول	IX
فهرس الاشكال والمخططات	X
فهرس الملاحق	XI
قائمة المصطلحات والرموز	XII

الفصل الأول		
الرقم	**الموضوع**	**الصفحة**
1.1	المقدمة	1
2.1	مشكلة البحث	3
3.1	اهمية البحث	3
4.1	اهداف البحث	3
الفصل الثاني		
1.2	خطوط الانابيب	4
1.1.2	تصميم خطوط الانابيب	4
2.1.2	تصنيف خطوط الانابيب	5
3.1.2	انواع خطوط الانابيب	6
4.1.2	خواص النقل بخطوط الانابيب	6
5.1.2	المنشآت الرئيسية لخطوط الانابيب	6
2.2	التآكل	9
1.2.2	تكاليف التآكل	9
2.2.2	ميكانيكية التآكل	10
3.2.2	تصنيف التآكل	12
4.2.2	انواع التآكل	12
5.2.2	الحماية من التآكل	13
6.2.2	العوامل المساهمة في تآكل خطوط الانابيب	15
7.2.2	طرق الحماية من التآكل	18
8.2.2	التصدي للتآكل باستخدام الحماية الكاثودية	19

9.2.2	الاعتبارات التصميمية لمنظومة الحماية	23
10.2.2	ملحقات نظام الحماية الكاثودية	24
11.2.2	التحكم في اداء محطات الحماية ومراقبتها	26
12.2.2	الاجراءات المتبعة لمراقبة الخط الناقل للنفط	27
	الفصل الثالث **التجارب المعملية**	
1.3	قياس فرق الجهد لخطوط انابيب النفط	28
1.1.3	الغرض من التجربة	28
2.1.3	منطقة الدراسة	28
3.1.3	طريقة إجراء الاختبار	28
4.1.3	الاجهزة والادوات المستخدمة	28
5.1.3	طريقة العمل	28
	الباب الرابع **النتائج والمناقشة**	
1.4	النتائج	30
2.4	المناقشة	33
3.4	الخاتمة	34
4.4	التوصيات	35
5.4	المراجع	36

فهرس الجداول

الرقم	الجدول	الصفحة
1.2	خصائص وامثلة لبعض انواع التآكل	13
2.2	فرق الجهد القياسي لبعض الانودات	22
1.4	نتائج فرق الجهد لمنطقة الجبلين	30
2.4	نتائج فرق الجهد للمنطقة بين العيلفون ومصفاة الجيلي	31

فهرس الأشكال والمخططات

الرقم	الشكل اوالمخطط	الصفحة
1.2	منشآت خطوط نقل النفط	7
2.2	عملية التآكل الكهروكيميائي	11
3.2	الحماية باقطاب بديلة للتآكل	21
1.4	مخطط فرق الجهد لمنطقة الجبلين	32
2.4	مخطط فرق الجهد للمنطقة بين العيلفون ومصفاة الجيلي	32

فهرس الملاحق

الملحق	الصفحة
انبوب متآكل لنقل النفط الخام	38
جهاز الحماية الكاثودية (CP)	38
طريقة اختبار فرق الجهد	39
انود الماغنسيوم المضحي	39
ملتيميتر واسلاك توصيل	40
خلية النصف ونقطة الاختبار	40
مصدر تيار منظومة الحماية الكاثودية	41
مسمار اللحام الاصفر للحماية الكاثودية	41
اسلاك وكابلات الحماية الكاثودية	42
ركيزة تجريبية لنظام الحماية الكاثودية	42
علبة التوزيع لنظام الحماية الكاثودية	43
الكترود مقارنة لنظام الحماية الكاثودية	43

قائمة المصطلحات والرموز

المصطلح او الرمز	المعنى	المصطلح او الرمز	المعنى
Corrosion	التآكل	Galvanic action	الفاعلية الكهربائية
Corrode	الصدأ	More negative	الاكثر سالبية
Erosion	التعرية	Transformer rectifier	التيار المستمر
Electrolyte	المحلول الكهربائي	Ground bed	التوصيل الارضي
Anode	القطب الموجب	PVDF	ليندن فلوريد البولي فينيل
Cathode	القطب السالب	HMWPE	البولي اثيلين ذو وزن جزيئي عال
Steel	الفولاذ	SCE	قطب لومل المشبع
Stray currents	التيارات الشارة	Scada	نظام اقمار صناعية
Corrosion inhibiter	مانع التآكل	Intelligent piggent	الكاشط الذكي
Sacrificial anodes	الانودات المتآكلة		
Impressed current	التيار المسلط		

الباب الأول

المقدمة

1.1المقدمة:

تبين بنتيجة الدراسات وعمليات البحث والتنقيب عن مادة النفط انه غالبا ما يكون العثور عليها في مناطق نائية وبعيدة , ليس فقط عن معالم العمران المأهولة بالسكان , بل وحتى موانئ التصدير ومراكز الاستهلاك الرئيسية . ولظاهرة اكتشاف آبار النفط الخام في حقول نائية اثرها الفعال في اعتبار الاعمال البترولية من حفر الي استخراج الي نقل وتكرير وتوزيع وتسويق وحدة متكاملة لا يمكن فصلها عن بعضها . بمجرد التفكير في استخراج هذه المادة من باطن الارض , يتوجب تهيئة الوسيلة لنقلها عبر مسافات طويلة من اجل تسويقها وتوزيعها على مختلف المراكز في كل الارجاء . ولربما كانت عملية نقل المواد البترولية من مكان الى آخر من اكثر الامور تعقيدا واكثرها خطورة . وسر الخطورة يكمن في طبيعة هذه المادة , سوا كانت من النفط الخام المستخرج مباشرة من الابار المكتشفة ام من المنتجات البترولية البيضاء الناتجة عن اعمال التكرير والتصفية. (الخزرجي,2011)

حرصا على الاستفادة من استخدام هذه المواد في شتى الميادين الصناعية وتسهيل وصولها بدقة وانتظام الى كل ارجاء المعمورة , اخذ التفكير الجدي يشق طريقه الى معرفة كيفية تأمين سلامة وصولها بالسرعة الممكنة بغية ضمان استمرار دورة عجلة الصناعة . ولهذا كان لابد من اختيار اسلم الوسائل واقلها كلفة لاستخدامها في نقل الموارد البترولية الضخمة الى مراكز الاستهلاك وتمخض هذا التفكير عن ظهور وسائل عديدة ومتنوعة تعنى كلها بعمليات النقل لكافة المنتجات البترولية . غير ان الضغط الشديد المتواصل على طلب مادة البترول بكميات كبيرة في كل انحاء الدول المتقدمة صناعيا , وكذلك في الدول السائرة في طريق النمو الصناعي والتقدم الاقصادي , ابرز اهمية بعض هذه الوسائل وتفضيل بعضها على البعض الأخر .

ولعل ابرز واهم وسيلة من وسائل نقل النفط الخام هي النقل بواسطة خطوط الأنابيب , وذلك نظرا لما تؤمنه من مرونة في سرعة الحركة وقدرتها على نقل المواد البترولية بشكل متواصل عبر عشرات المئات من الكيلومترات , وتضمن في الوقت نفسه وصول هذه المواد الى المصافي والى مراكز الاستهلاك بسرعة وبأقل التكاليف . ومن الجدير ذكره ان هذا النوع من الأنابيب باستطاعته نقل ملايين الاطنان من النفط الخام من حقول البترول وآبارها ومن المصافي ومعامل التكرير كمنتجات بيضاء الى مراكز التصدير الرئيسية من اجل توزيعها على المراكز الاستهلاكية المختلفة في كل ارجاء العالم. (امين , 2004)

ومن الصعب جداً إن نعيش دون نفط هذه الأيام على إعتبار إنه اصبح يشكل العصب الرئيسي أو العمود الفقري للإقتصاد العالمي ، مع العلم ان الصناعة النفطية طرحت العديد من المخاطر المحتملة والمشاكل عندما يضخ النفط في الأنابيب وذلك خلال عملية الإنتاج والنقل ومعالجة النفط الخام . وعلى الرغم من إن هذه المشاكل يسعى إلى حلها عن طريق العاملين في الصناعة النفطية إلا إن بعضاً منها قد استعصى على الحل وأصبح يشكل مسألة معقدة بحاجة إلى الدراسة.

ومن بين هذه المشاكل أيضا التآكل في الأنابيب الناقلة للنفط الخام التي تقوم بنقل النفط الخام من حقول الإنتاج إلى محطة التكرير ، وتعتبر هذه المشكلة من المشاكل البالغة التعقيد في الصناعة النفطية بسبب تعدد مكونات النفط الخام وتعقيدها الأمر الذي يجعل من الصعب إن نحصي جميع مسببات التآكل ومن ثم توضيح تأثيراتها مجتمعة ، ولا يقتصر الأمر فقط على الرطوبة الناتجة عن وجود نسبة من الماء في النفط الخام ، والأملاح المعززة لحدوث التآكل وإنما وجود أنواع مختلفة من الحموض في النفط الخام ، والتي يمكن أن تسبب حدوث مشاكل متفاقمة من التآكل مما يخلق تحدياً لهذه الدراسات بأن تتنبأ بالفعالية التآكلية للنفط الخام وتأثيراتها المظهرية في المعدن ، ومن هنا فانه لا يمكن استخدام معظم النماذج المستخدمة في هذه الحالة للتنبؤ بالقدرة الآكلة للنفط الخام مع وجود متغيرات متعددة بدءاً من الجزيئات وتأثيرها وانتهاء بالتأثير الكيميائي في المعدن.

ونسبة لأن مشاريع المنشآت المعدنية المدفونة في التربة المعرضة للتآكل تشمل ملايين الكيلومترات من خطوط الأنابيب الناقلة للنفط لذلك نجد ان هذه الظاهرة تسببت في الفترات السابقة على سبيل المثال في حدوث الكثير من الخسائر على الإقتصاد السوداني بسبب تكاليف تغيير الأنابيب جراء تعرضها لهذا النوع من التآكل. يضاف إلى ذلك خسائر أخري كفقدان المنتجات المنقولة بواسطة تلك الأنابيب المتآكلة وما ينتج عنها من حوادث وحرائق تؤدي إلى خسائر هائلة. (شلش,1980)

ونجد إن الاهتمام بهذه الظاهرة يعكسه العدد الكبير من الأبحاث المنجزة في شتى إنحاء العالم والتي تحاول إن تجد حلولاً مناسبة لتلافي حدوث هذا النوع من التآكل وذلك بتطبيق ودراسة العديد من الطرق الهندسية التي تهدف إلى منع حدوثه أو الإقلال من أثاره الجانبية وما ينتج عنه من خسائر فادحة.

وتعتبر من أشهر الطرق الهندسية والانظمة الوقائية المتبعة وأكثرها استخداماً في الوقت الراهن لحماية الانابيب المدفونة الناقلة للنفط هي تلك الأنظمة المسماة بأنظمة الحماية الكاثودية . (منصور,1980)

2.1 مشكلة البحث :

تؤدي ظاهرة التآكل الى تعطيل كثير من العمليات الصناعية وفقدان ساعات العمل ونقص في الانتاج مصحوبة بزيادة في التكلفة الفعليه .

3.1 أهمية البحث :

الحد من حدوث عملية التآكل عن طريق تطبيق مبدأ الحماية الكاثودية في أنابيب النفط الخام .

4.1 أهداف البحث :

1. دراسة جدوى تطبيق الحماية الكاثودية من حيث:
   I. القدرة على الحد من ظاهرة التآكل بأنابيب النفط الخام
   II. القدرة على تحديد نقاط القوة والضعف للمنظومة
2. القدرة على التحكم والمراقبة لمنظومة الحماية الكاثودية

الباب الثاني

أدبيات البحث

1.2 خطوط الأنابيب :

خطوط الانابيب هي عبارة عن انابيب تنقل من خلالها المنتجات البترولية المستخرج من حقول الإنتاج إلى مراكز التكرير أو إلى مرافئ التصدير ، وتصمم هذه الخطوط باعتبار ظروف بيئة معينة حتي تكون في توافق تام مع البيئة. (الخليل , 2005)

وتعتبر من أهم الوسائل وأكثرها أماناً، بجانب أنها الأسرع حيث لا توجد عوائق أو حواجز تقلل من سرعة وصول النفط الخام إلى مصافي التكرير أو الموانئ ، وكذلك منتجاته , الا ان الاحتكاك بين المادة النفطية مع جدران الأنابيب يقلل من سرعتها ، وبالتالي تحتاج إلى مرحلة جديدة من الضغط ، علاوة على الضغط العالي المفعل في بداية الخط لضمان تدفق المادة النفطية أو مشتقاتها ، لذا يستوجب لكل حوالي 50 إلى 250 كيلومترا وجود نقاط تقوية. وربما لا يكون من المبالغة القول بأن النهضة الصناعية والحضارية تستمر في شتى الأماكن حول العالم بسبب مد هذه الخطوط التي يصل طولها إلى آلاف الكيلومترات.

وتصنع الأنابيب بأقطار مختلفة وتمتد إما على سطح الأرض أو تحتها مع ضرورة وضع علامات تعريفية لمنع الحوادث وكذلك توضع على ركائز مثبتة وعبر الصحاري وفوق الجبال، كما يمكن مدها تحت سطح الماء أي توجد الأنابيب في كافة التضاريس الجغرافية مع مراعاة وسائل السلامة البيئية نظرا للمخاطر المتعلقة بالحوادث والتسرب. وعلى الرغم من التكلفة المرتفعة لمد خطوط الأنابيب إلا أنها أسرع وأرخص في التشغيل والصيانة. (Yong ,2005)

1.1.2 تصميم خطوط الأنابيب :

وعند تصميم خطوط النقل يجب مراعاة ان يتضمن اسوأ الظروف التي يعمل فيها الخط لمنع توقف عمله , وان تراعى طبيعة وحجم المائع المراد نقله , طول خط النقل , طبيعة الأرض التي تنقل عبرها الخطوط وطبيعة البيئة في تلك المناطق.

بعد وضع هذه الاعتبارات في الحسبان تجري دراسات وذلك بغرض تحديد قطر خط النقل المناسب ونوع المادة المناسبة في جودتها وتكلفتها التي يجب ان يصنع منها الخط من اجل الحصول علي اقصي كفاءة نقل , كما تساعد هذه الدراسات في تحديد متطلبات الضغط والضخ للمائع بالاضافة الي تحديد موقع خط النقل , وإضافة إلى ذلك توجد عوامل رئيسية تؤثر في تصميم خطوط نقل البترول وهي:

I. خواص المائع المنقول خلالها حيث يؤثر ذلك في تحديد نوع مادة خط النقل والقطر المناسب له .

II. حالات التصميم.

III. العرض والطلب.

IV. الرموز والمقاييس.

V. التأثير البيئيي حيث تصمم خطوط النقل علي حسب البيئة التي تستعمل بها وذلك لكي تكون ملائمة لها.

VI. النواحي الإقتصادية حيث يراعي تكلفة مادة خط النقل مع الاخذ في الاعتبار المادة الأجود.

VII. تأثير الزلازل والبراكين من المعايير المهمة التي يجب أن توضع في الحسبان. (Parker,2002)

2.1.2 تصنيف خطوط أنابيب نقل النفط :

تم تصميم خطوط الأنابيب بأقطار مختلفة عادة قد تصل إلى 1400 ملم ، وتُصنف خطوط أنابيب النفط ومنتجاته بحسب أقطارها إلى الأصناف الأربعة الآتية :

الصنف الأول: ويشمل خطوط الأنابيب ذوات الأقطار الأكبر من 1000 ملم حتى 1400 ملم.

الصنف الثاني: ويشمل خطوط الأنابيب التي تتراوح أقطارها بين 500 ملم حتى 1000 ملم.

الصنف الثالث: ويشمل خطوط الأنابيب التي تتراوح أقطارها بين 300 ملم حتى 500 ملم.

الصنف الرابع: ويشمل خطوط الأنابيب ذوات الأقطار الأصغر من 300 ملم.

وفي السنوات الأخيرة أنشئت خطوط أنابيب فولاذية نفطية عديدة وبأقطار مختلفة على امتداد مئات الكيلومترات ، وهناك خط أنابيب نفط قطره نحو 1200 ملم ، وطوله نحو 10000 كم مع تفرعات بطول 6500 كم ، وهو الاطول عالمياً ، ويسمى بخط أنابيب "الصداقة" الروسي .

وقد ازدادت في الآونة الأخيرة استطاعة خطوط أنابيب النقل ازدياداً ملحوظاً حتى زادت على 50 مليون طن في السنة.

وعندما يتم نقل النفط أو منتجاته المكررة بالضخ في خطوط أنابيب ممتدة إلى مسافات بعيدة لابد من إنشاء عدد من محطات الضخ موزعة على طول مسار خط الأنابيب ، وذلك لضمان جريان النفط وتعويض الضغط الضائع بالاحتكاك في أثناء جريان السائل ضمن خطوط الأنابيب. (الخزرجي , 2011)

3.1.2 انواع خطوط الانابيب حسب المنتج المراد نقله :

وغالباً ما تسمى خطوط الأنابيب باسم المادة التي تنقلها ، فعلى سبيل المثال يمكن تقسيمها الى:

I. خطوط أنابيب المنتجات البترولية البيضاء (بنزين ، كيروسين ، وقود الديزل).

II. خطوط أنابيب المنتجات البترولية العالية اللزوجة (الفيول) ، وهي تنقل المنتجات البترولية من مصافي التكرير أو الخزانات إلى مراكز التوزيع أو إلى مراكز الاستهلاك الصناعية أو إلى مرافئ التصدير.

وبالطبع فإن سرعة الغاز الطبيعي أثناء التحرك داخل هذه الخطوط تكون أعلى من النفط الخام أو المواد عالية اللزوجة. (السكري , 2006)

4.1.2 خواص النقل بخطوط أنابيب النفط :

من أهم خواص النقل بخطوط انابيب النفط وصفاته :

I. تستخدم هذه الطريقة عادة عندما يكون إنتاج النفط الخام أو منتجاته المكررة كبيراً.

II. تعد خطوط الأنابيب أقصر مسافة ممكنة بين مركزين (مثلاً بين حقل النفط ومصفاة التكرير).

III. يتم إسالة النفط بخطوط الأنابيب من دون انقطاع ، وهذا ما يسمح بتزويد أماكن الاستهلاك بحاجاتها من المنتجات النفطية بانتظام ومن دون توقف.

IV. إن الكميات الضائعة عند نقل النفط الخام أو منتجاته المكررة في خطوط الأنابيب (التهريب ، التسرب ، التبخر...) أقل بكثير مما يضيع بوسائل النقل الأخرى.

V. يمتاز النقل بخطوط الأنابيب بسهولة التشغيل والاستثمار.

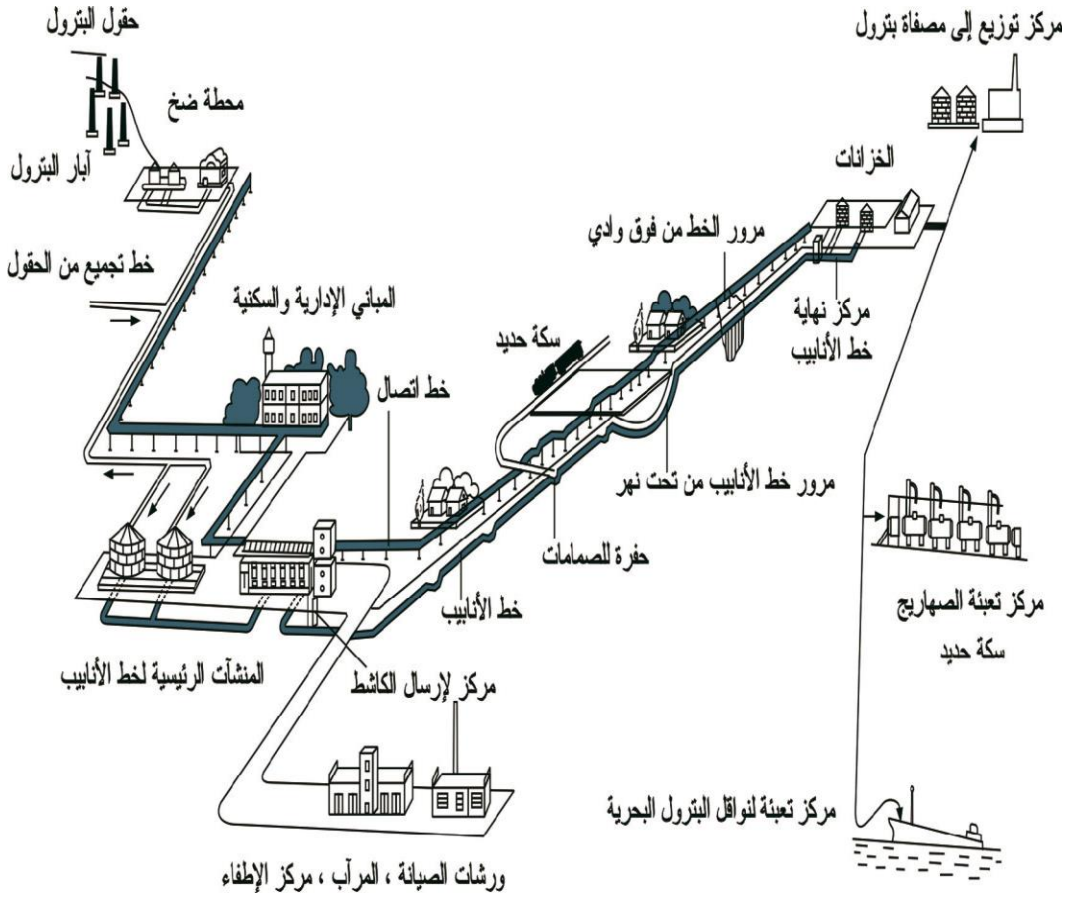
VI. إن بناء خطوط الأنابيب يكلف كثيراً لأنه يتطلب آلاف الأطنان من الفولاذ وحجماً كبيراً من الأعمال. (امين , 2004)

5.1.2 المنشآت الرئيسية التي تجهز بها خطوط أنابيب نقل النفط :

تركب على طول خطوط أنابيب نقل النفط مجموعة من المنشآت المختلفة تضمن لها الكفاءة العالية في إيصال النفط أو منتجاته المكررة إلى أماكن استهلاكها على مدار السنة أو على مدار الأربع والعشرين ساعة يومياً، ومن أهم هذه المنشآت :

1. محطة الضخ الرئيسية :

وتقع في بداية خط الأنابيب ووظيفتها ضخ النفط الخام أو منتجاته إلى خط الأنابيب الرئيسي ، تبنى محطة الضخ الرئيسية عادة بالقرب من حقول إنتاج النفط أو مصافي التكرير، ويجب أن توفر السعة التخزينية لخزاناتها تدفق النفط في الأنابيب مدة يومين أو ثلاثة أيام من دون توقف ، وذلك تحسباً لحدوث طارئ ما يمنع وصول النفط من الحقول أو من المصافي.



شكل (1.2) : منشأت خطوط نقل النفط

(Robert , 2016)

2. خط الأنابيب :

ويتألف من أنابيب فولاذية ملحومة بعضها إلى بعض على طول المسار، ومطمورة في خندق يحدد عمقه على أساس الطقس والشروط الطبوغرافية والتضاريس ودرجة حرارة السائل المنقول ، ويطمر الأنبوب عادة على عمق يصل إلى متر واحد.

3. محطات الضخ المساعدة :

وهي تسهل عملية ضخ النفط المتدفق وحركته ضمن هذا الخط حتى يصل السائل إلى محطة النهاية ، يتم تعيين مواقع هذه المحطات على طول مسار خط الأنابيب وفقاً للحسابات الهيدروليكية الخاصة بخط الأنابيب ، وتقدر المسافة الوسطية بين محطتي ضخ متعاقبتين تقريباً بنحو 100- 200 كم

4. محطة نهاية خط الأنابيب :

وتتجلى وظيفتها الرئيسية في تجميع النفط الخام الواصل إليها في خزانات خاصة ، وهي تقوم بدورها بإرسال النفط الخام إلى المصافي أو إلى التصدير أو يتابع النفط طريقه باستخدام وسائل النقل الأخرى ، إذا كانت المادة المنقولة في خط الأنابيب هي مشتقات النفط المختلفة فعندها يمكن لمحطة النهاية أن تكون في الوقت ذاته قاعدة لتخزين هذه المنتجات ومن ثم توزيعها إلى أماكن الاستهلاك المختلفة أو إلى التصدير.

5. الصمامات البوابية :

تكون موزعة على طول المسار وعلى مسافات معينة تراوح من 10- 30 كم بهدف عزل أجزاء من خط الأنابيب في الحالات الطارئة أو عند إجراء عمليات الصيانة والإصلاح.

6. المنشآت الإضافية الأخرى :

كمحطات الحماية المهبطية ، وخطوط الاتصال، وورشات الصيانة وغيرها. (Yong,2005)

2.2 التآكل :

يعرف التآكل بأنه التلف (جزئى أو كلى) الذى يحدث للفلز أو السبيكة من حيث المظهر أو الأداء بسبب التفاعل الذى يحدث بين الفلز أو السبيكة مع الأجواء المحيطة به سواء كانت غازية أو سائلة.

أو هو تلف المعدن نتيجة تدهور فى خواصه الطبيعية أثر التفاعلات التى تحدث له فى التربة المحيطة .

وكلمة Corrosion مشتقة من الكلمة اللاتينية Corroder والتي هي ظاهرة كيميائية من شأنها التسبب في تآكل المنشآت وإنهيارها وبذلك يتميز عن نوع آخر من التآكل Erosion والذي يدل على الإتلاف بالعوامل الميكانيكية . (Roberge,1999)

ويعتبر التآكل احدى المشاكل التى تتعرض لها و تعانى منها الكثير من المنشآت البترولية كخطوط البترول و الغاز و الخزانات وأبراج التقطير كما يحدث فى الكثير من القطاعات الأخرى الهامة كقطاعات الصناعة و النقل البحرى و المعدات و المنشآت العسكرية ويحدث التآكل تلف شديد فى المنشآت مما ينتج عنه تكاليف ضخمة تتمثل فى فواقد الانتاج و بالتالى قلة الكفاءة بالإضافة إلى تكاليف الإحلال و تطبيق أساليب مقاومة التآكل . (Ashworth,1998)

1.2.2 تكاليف التاكل :

ويمكن تقسيم هذه التكاليف الى تكاليف مباشرة وغير مباشرة

I. **التكاليف المباشرة :** تشمل :

1. انتهاء العمر الافتراضى للمعدن (تلف كلى) .
2. تكاليف عملية الحماية من التآكل و تتضمن عملية تعديل مواد التصنيع باستخدام مواد أكثر مقاومة للتآكل و أعلى تكلفة , تكاليف المواد المانعة للتآكل , تكاليف الحماية الكاثودية و عملية الزيادة في التصميم .

II. **التكاليف غير المباشرة :** تشمل :

1. نقص الانتاج :

عمليات الاصلاح و التجديد التى تجرى للأجزاء المتآكلة من المعدات تحتاج إلى ايقاف المصنع أو الوحدة لمدة معينة حتى إذا كان سعر تلك الأجزاء صغيراً , كما أن زيادة معدل التآكل يؤدى فى كثير من الأحيان إلى حدوث إيقافات إضطرارية مما يؤدى

إلى زيادة عمليات الصيانة للمعدات ووقف عمليات الإنتاج لمدد أطول من اللازم وهذا التوقف يؤدى إلى زيادة التكاليف ونقص الإنتاج .

2. تقليل الكفاءة :

تؤدى عمليات التآكل إلى تقليل كفاءة المعدات أو الخطوط و ذلك نتيجة تراكم نواتج التآكل حيث يؤدى ذلك فى بعض الأحيان إلى زيادة القوة المطلوبة لدفع السائل داخل الخطوط و كذلك تقليل الحيز اللازم لمرور السائل و يمكن أن يؤدى تراكم التآكل إلى تقليل الانتقال الحرارى من خلالها أو إنتاج منتجات معيبة .

3. التلوث بنواتج التآكل :

بعض الصناعات مثل الصناعات الكيميائية أو صناعة الأغذية لا تسمح بتلوث منتجاتها بأكسيد المعدن ولتجنب هذا التلوث الناتج عن التآكل فإنه يتم تصنيع الأوعية و الخطوط من الصلب الذى لا يصدأ .

4. الفقد أو الخسارة العامة :

التآكل يمكن أن يؤدى إلى حدوث خطورة على أرواح العاملين بالوحدة أو المصنع و هذه خسارة غير محسوبة فى التصميم و لكن يجب أن تؤخذ فى الاعتبار .

2.2.2 ميكانيكية التآكل :

تعد ظاهرة التآكل من الظواهر المؤثرة جداً على تطور الصناعة وتقدمها حيث أن التآكل يعطل الكثير من العمليات الصناعية فبحدوثه يضطر المنتج إلى إيقاف عمليات التصنيع ليقوم بصيانة عدته وآلياته التي تعرضت للتآكل مما يتسبب في تأخير زمني وخسارة إقتصادية يحولان دون مواصلة في عمليات التصنيع ويؤديان إلى الكثير من الأضرار الأخرى . (Lindsay,1995)

ولكى يحدث التآكل فهناك شروط يجب توافرها لتكوين خلية التآكل هذه الشروط هى :

I. لابد من وجود قطبى التفاعل (الآنود – الكاثود) .

II. لابد من وجود فرق جهد كهربى بين الكاثود و الآنود لا يقل عن 50 ملى فولت (هذا الفرق يتولد نتيجة لعدة أسباب مثل اختلاف التركيزات أو اختلاف المواد أو اختلاف نسب الأكسجين ... الخ) .

III. لابد من وجود اتصال معدنى أو مادى بين الآنود و الكاثود يساعد على مرور التيار الكهربى من خلاله .

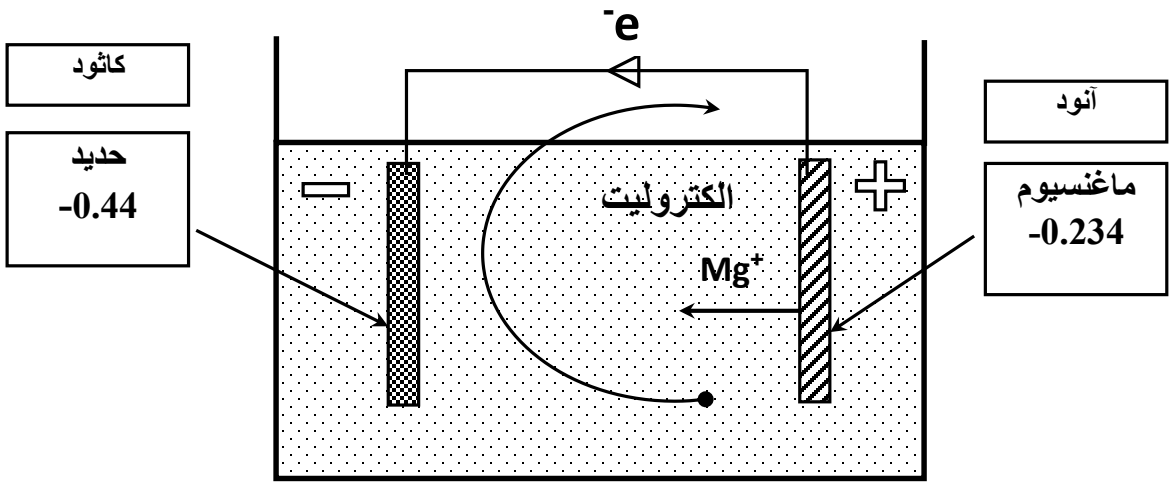
IV. لابد من وجود وسط ينغمس به كلاً من الآنود و الكاثود و يجب أن تتوفر فى هذا الوسط الموصلية الكهربية .

V. فى حالة توافر تلك الشروط مجتمعة تتكون خلية التآكل و يبدأ المعدن فى التآكل و بذلك تبنى نظريات منع التآكل على إحداث خلل فى أحد الشروط السابقة بغرض منع حدوث التآكل كليا . (Pierre, 2008)

وتتآكل السطوح الحديدية للهياكل المعدنية والأنابيب والمعدات الحديدية عموما عند تماس سطوح بالتربة أو الماء، نتيجة لحدوث تفاعلات كيماوية مصحوبة بسريان إلكترونات (أي سريان للتيار الكهربائي).

لذا يمكن القول بأن عملية التآكل هي عملية كهروكيميائية تودي بالنتيجة أي فقدان أجزاء من معدن الحديد وبالتالي تآكل السطح المعرض للتربة أو الماء أو حتى المعرض للجو حيث تتكون خلية جلفانية . (Denny,1996)

التآكل الكهروكيميائي يعرف بأنه ذلك التآكل الذي بواسطته تتأكسد ذرات الفلز الصلبة متحولة إلي أيونات موجبة التكهرب تذوب في المحلول ، وعملية التأكسد هذه تحدث في مساحات علي سطح الفلز يشار إليها بالمساحات الأنودية وكنتيجة لعملية التأكسد هذه فأن هناك تيار من الإلكترونات يسري خلال جسم الفلز من المساحات الأنودية إلي المساحات الكاثودية حيث يمكن التخلص منه هناك بواسطة تفاعلات الإختزال , وحتى يحدث التفاعل الأخير فإن الوسط الآكل يجب أن يحتوي علي أيونات تكمل الدائرة الكهربية بين المساحات الأنودية والكاثودية.



شكل (2.2) : عملية التآكل الكهروكيميائي

فمثلا عند غمس قضيبين من الماغنسيوم والصلب فى وسط موصل للكهرباء ELECTROLYTE وعند توصيل القضيبين خارجياً بسلك يصبح قضيب الماغنسيوم آنود ANODE بينما قضيب الصلب يصبح كاثود CATHODE , حيث ينساب إلكترون e^- سالب الشحنة خلال سلك التوصيل من قضيب الماغنسيوم إلى قضيب الصلب و للاحتفاظ بحالة التوازن ينساب أيون موجب الشحنة Mg^+ فى الوسط الإلكتروليتى من قضيب الماغنسيوم متجه إلى قضيب الصلب و هكذا يحدث تآكل فى قضيب الماغنسيوم و لا يحدث تآكل فى قضيب الصلب. (شلش , 1980)

3.2.2 تصنيف التآكل:

1. حسب طبيعة الوسط الآكل :

وعلى هذا الأساس يمكن تقسيم التآكل إلى مبتل وجاف وحسب التسمية فإنه من الضروري تواجد سوائل أو رطوبة لكي يحدث التآكل من النوع الرطب بينما لا يستوجب التآكل الجاف ذلك والذي يحدث عادة عند درجات الحرارة المرتفعة أي بين الفلزات والغازات كما يحدث في بعض المداخن.

2. حسب ميكانيكية عملية التآكل :

أي حسب المسلك الذي تسلكه عملية التآكل وبهذا الخصوص ينقسم الى تآكل كيماوي وآخر كهروكيماوي.

3. حسب المظهر للفلز المتآكل :

وفي هذه الحالة يتم تقسيم التآكل متساوياً عبر السطح الفلزي ككل وتآكل موضعي أو مركزي وفي هذه الحالة يتركز التآكل في مساحات محددة وللتآكل الموضعي نوعين احدهما يشار إليه بالتآكل الماكروسكوبي والأخر بالتآكل الميكروسكوبي ، في التآكل الماكروسكوبي يمكن رؤية اثر التآكل الموضعي بالعين المجردة أي إن أثاره تكون كبيرة بينما في الميكروسكوبي فان آثار التآكل تكون متناهية في الصغر بحيث لا يمكن إدراكها إلا باستخدام المجهر. (Fontana,1986)

4.2.2 أنواع التآكل :

تؤجد انواع مختلفة منه تختلف باختلاف البيئات والعوامل المسببه للتآكل نفسه وباختلاف مظهر التآكل للمعدن المحدد ولتجانس عملية التآكل من حيث الموضع والشكل.

جدول (1.2) : خصائص وامثلة لبعض انواع التآكل

النوع	الخصائص	الأمثلة
التآكل العام	تآكل جميع أجزاء سطح المعدن بنفس المعدل تقريباً	إنحلال الفولاذ الكربوني في حامض الهيدروكلوريك المخفف
التآكل الجلفاني	تآكل موضعي يحصل بسبب وجود معدن آخر في وسط التآكل يختلف في طبيعته عن المعدن المتآكل	تآكل المعدن المطلي طلاءاً معدنياً مثل صفائح الفولاذ المطليه بالقصدير عند حدوث خدش
التآكل ما بين الحبيبات	تآكل موضعي يحصل في مناطق الحبيبات لوجود اختلاف في الخواص الميتالورجيه لهذه المنطقه عن المناطق الأخرى	تآكل منطقه التأثير الحراري للفولاذ المقاوم للصدأ (انحلال اللحام)
التآكل التصدعي	تآكل موضعي يحصل بسبب وجود اختلاف في طبيعه الوسط في المنطقه المتآكله عن بقيه أجزاء سطح المعدن	تآكل المنطقه المغطاه بالطين والترسبات على سطح بعض مناطق المعدن المغطاه بمواد لا معدنيه
التآكل بالنزع الانتقائي	انحلال أحد مكونات عناصر السبيكه عند سطح المعدن وبقاء المكون الآخر	إزاله الزنك من سطح سبيكه النحاس الأصفر)

5.2.2 الحماية من التآكل :

يلعب التآكل دوراً هاماً في كثير من مجالات الحياة , وهناك العديد من الأسباب التي تدفعنا لدراسة التآكل ومحاولة التحكم فيه والحد من آثاره الضارة ومن هذه الأسباب :

أسباب اقتصادية , أسباب أمنيه , أسباب صحية والمحافظة على الموارد الطبيعية.

I. الاسباب الإقتصادية :

إن التآكل مكلف جدا في عام 1980 قدرت تكاليف التآكل في الولايات المتحدة الأمريكية بحوالي 70 بليون دولار حاليا تقدر بـ 276 بليون دولار سنوياً. أما في بريطانيا فقد قدرت تكاليف التآكل بحوالي 1.4 بليون جنيه إسترليني عام 1971 أي حوالي 3% من الناتج الوطني. وبسبب التآكل فان هناك دائما الحاجة إلى الدهان وإعادة الدهان للحديد الصلب (Steel) ، بالإضافة إلى مئات الآلاف من الدولارات التي تنفقها الشركات لتصنيع مواد جديدة أكثر مقاومة للتآكل. وقد قدرت كمية الحديد التي أتلفها التآكل بربع أو ثلث الإنتاج السنوي في بلجيكا , كما أن هناك تكاليف إغلاق المصانع للصيانة الدورية للأجهزة إضافة إلى تكاليف الأجهزة التي تتعطل بفعل التآكل.

II. الاسباب الامنية :

أن التآكل يسبب مضايقات عديدة للناس وقت يفقدهم الحياة فهناك العديد من الحوادث التي تسبب فيها التآكل من سقوط الطائرات إلى غرق السفن ولعل أشهر حادث هو انفجار المفاعل النووي في ثري مايل أيلاند الذي كان سببه الرئيسي التآكل. ولا ننسى حادث الطائرة المشهور الذي حدث في هاواي بسبب التأثير المزدوج للإجهاد الميكانيكي والتآكل الجوي في بيئة مدارية. وفي حرب فوكلاند عانى بعض طائرات السلاح الجوي البريطاني في فشل أجهزتها عام 1982 بسبب التآكل وكذلك إنفجار مصنع كيميائي بولاية بوبال في التسعينات الميلادية حيث أدى الحادث إلى قتل المئات من الناس وإصابة المئات بالعمى ، إنفجار سخانات المياه بسبب تراكم نواتج التآكل على الأنابيب.

III. الاسباب الصحية :

عند تأكل الأنابيب النفطية المدفونة في الأرض فإن هذا يؤدي إلى تلويث للبيئة وتسرب مواد سامة إلى النباتات والمياه وبالتالي إلى الإنسان مما يعرضه لمشاكل صحية خطيرة.

IV. المحافظة على الموارد الطبيعية :

إن التآكل يسبب فقداً للموارد الطبيعية فمثلا في بريطانيا يتحول طن من الحديد الصلب تماماً إلى صدأ كل 90 ثانية وبالإضافة لفقدانه فقد حصل فقدان للطاقة التي استهلكت في إنتاجه ، ويسبب التآكل تدهور الخارصين وأسطح الرصاص كما يؤدي تأكل أنابيب المياه وتشققها إلى فقد للمياه الطبيعية. وتعاني صناعة البترول أيضا من مشاكل التآكل حيث تحتوي بعض الآبار على

غاز كبريتيد الهيدروجين الذي يساهم في انخفاض الأس الهيدروجيني كما توجد ايونات الكبريتيد وكلاهما يسرع عملية التآكل للأنابيب في ظروف الحرارة العالية للآبار بالإضافة إلى أن تشققات أنابيب نقل البترول يؤدي إلى فقد هذه الثروة بالإضافة لتلويثها للبيئة.

إن ما سبق ذكره يعتبر أمثلة بسيطة على التكاليف المباشرة للتآكل ولكن التكاليف غير المباشرة الناتجة عن التآكل الفعلي أو الممكن حدوثه قد يصعب تقديرها ومنها :

1. إضاعة الوقت في المصانع نتيجة التوقف لإصلاح الأجزاء المتآكلة للأجهزة وهو جزء بسيط من التكلفة الفعلية فهناك تكاليف الصيانة الدورية المرتفعة فقد يكلف إيقاف مفاعل نووي ملايين الدولارات كل يوم.
2. تكاليف الدعاوي القضائية التي يرفعها المستهلكون بسبب تلف الأجهزة بسبب التآكل.
3. انخفاض كفاءة الأجهزة بسبب تراكم نواتج التآكل.

وبالإضافة لكل ما سبق فانه يجب الانتباه إلى اختيار العمر الافتراضي الصحيح للأجهزة والالتزام به. إن اختيار المواد ونظام الحماية الذي يحسن من مقاومة التآكل لجهاز ما في عمره الإفتراضي يقلل من تكلفة الصيانة وبالرغم من إن التكاليف الابتدائية قد تكون أعلى فان التكلفة الكلية على المدى البعيد تكون اقل. (شلش , 1980)

6.2.2 العومل المساهمة في تآكل خطوط انابيب النفط :

1. **خواص المعدن :**

من حيث حالته الفيزيائية ، وجهده الكهروكيميائي ، والحجم النسبي لذراته واكسيده ، وكذلك المساحة النسبية لسطحه.

2. **خواص الوسط المحيط المسبب للتآكل:**

ويشمل تآثير الاتي :

I. الرطوبه :

فمثال على ذلك يحدث التآكل لمعدن الحديد بشكل بطئ في التربة الجافة عند مرور الانبوب من خلالها ، ولكن يكون اسرع عند مروره بمنطقة آخرى تحتوي على الرطوبة.

وعند وجود هذه الرطوبة فإن جزيئات صغيرة من الشوائب كالصخام والرماد المتطاير وبعض انواع الاتربة تعمل كمراكز للتآكل.

II. الرقم الهيدروجيني :

تركيز ايون الهيدروجين في الوسط المسبب للتآكل هو عامل مهم في عملية التآكل ، فتآكل المعادن النشطه بواسطة الحوامض القوية معروف لدى الجميع الا ان القيمة الحقيقية للرقم الهيدروجيني للمياه او السوائل التي تكون في تماس مع الهياكل المعدنية او الانابيب او الاجهزة لا تُاخذ بعين الاعتبار بشكل ملموس.

ويتميز التآكل بسرعة ثابته عملياً عند رقم هيدروجيني يتراوح من 4 او 5 الى 10 او 12، وان القيمة الحقيقية تعتمد على تركيز الاكسجين.

III. الاكسجين والخلايا التركيزية :

ان تأثير الاكسجين على سرعة تآكل الحديد في محاليل ذات ارقام هيدروجينية مختلفة تزداد بزيادة كمية الاكسجين. وبما ان طبقة الاكسيد تعتبر ذات طبيعة سالبة مقارنة مع سطح المعدن فإن زيادة كمية الاكسجين يمكن اعتبارها زيادة في مساحة القطب السالب.

ايضا فإن الاستقطاب بسبب اختزال ايونات الهيدروجين سيكون اقل عند وجود تراكيز عالية من الاكسجين. وبالتالي فأن الاختلاف في تركيز الاكسجين يؤدي الى التآكل بتكوين هذا النوع من الخلايا التركيزية.

IV. قابلية التوصيل الكهربائي لوسط التآكل :

يعتمد تيار التآكل الكهربائي على قابلية توصيل الوسط او المحلول ، حيث يعتبر ذلك عاملاً مهماً في عملية تآكل خطوط انابيب نقل النفط المدفونة في التربة. فمثلاً باخذ التربة الجافة فهي تعرف بالمقاومة الكهربائية العالية ، بينما التربة ذات الرطوبة النسبية تكون مقاومتها اقل بكثير حيث ان التيارات الشاردة (Stray Currents) تكون ذات ضرر اكبر على الانابيب في مثل هذه التربة ، اي التي لها قابلية عالية للتوصيل الكهربائي.

V. طبيعة الايونات الموجبة والسالبة في وسط التآكل :

ان كلوريدات المعادن القلوية ومعادن الاتربة القلوية هي بشكل خاص مضرة بمعادن وسبائك عديدة ، حيث ان الكلوريد يحطم طبقة الاكسيد الواقية او الغير فعالة على سطح المعدن ، بينما من ناحية آخرى بعض الايونات السالبة تكون ناتجاً غير ذائب بتفاعلها مع المعدن مما يؤدي الى حمايته ، وهي بذلك تكون مانعة للتآكل (Corrosion Inhibiter). اما بالنسبة لطبيعة الايونات

الموجبة فايضاً تؤثر على عملية التآكل ، فمثلاً وجود كميات من املاح النحاس او اي معدن ثمين آخر في ماء التربة يؤدي الى تآكل انبوب الحديد.

ولذلك يفسر هذا ظاهرة تآكل الانابيب الناقلة للنفط في املاح الالمونيوم بسرعة اكبر مما في املاح الصوديوم ذات التركيز المشابه.

VI. وجود مانع التآكل (Corrosion Inhibiter) او عدمه :

هذه الموانع عباره عن مركبات كيميائية عضوية ولا عضوية تحد من عمليات التآكل وذلك بتأثيرها على القطب الموجب ، وبالرغم من ذلك لاينصح باستعمالها في ظروف معينة نسبة لآثارها الجانبية.

ويمكن اعتبار مانع التآكل بانه يعمل بشكل معاكس لفعل العامل المساعد الكيميائي ، فمثلا بعض انوع الموانع يعطي حماية لمعدن الانبوب (الحديد) وفي نفس الوقت يزيد من تآكل الخارصين والنحاس والنيكل وذلك لانها تكون ايونات موجبة معقدة مع هذه المعادن تؤدي بالتالي الى تكوين مركبات ذائبة مع هذه المعادن.(Dariva and Galio , 2014)

VII.البكتريا المختزلة للكبريتات الموجوده بالتربة :

النوع المسبب لهذه المشكله من انواع البكتريا ينشط فقط في التربة اللاهوائية المحتوية على الكبريتات والمواد العضوية (الطفلة المشبعة بالماء) ، فعند تعقيم التربة غير المحتوية على اكسجين حر فإنها عادة لا تسبب التآكل ، بحيث ان هذه البكتريا تجعل الكبريتات كمستقبلات هيدروجين مع اختزالها الى كبريتيدات.

ونجد ان التربة المحتوية على قليل من الاحماض المنشطه للتآكل مع تصاعد الهيدروجين ، وكذلك تلك التي تحتوي على قليل من الاكسجين لتفاعلات الاختزال تعاني من تأثيرات خطيرة في وجود هذه البكتريا.

ويكون التأثير وضعياً واحياناً سريع جداً للحديد الزهر والصلب ، ففي الحديد الزهر تبقى الشبكة الجرافيتية بدون تغيير مما يجعل الانبوب يبدو سليم حتى يتم اختباره عن طريق (سن سكينه) ينكشف ان هنالك اجزاء اصبحت في منتهى اللين ، اما بالنسبة للحديد الصلب لايؤجد تآكل جرافيتي وكذلك فإن معدل الثقب الحقيقي يكون أبطأ.

واثبتت الابحاث الحديثه ان هذه البكتريا تتصرف تصرفات مختلفة فبعضها ينشط التفاعلات المهبطيه ؛ لانها تستخدم الهيدروجين في معيشتها ، والبعض الاخر ينشط التفاعلات المصعديه.

VIII. فرق تركيز الاملاح :

عند مرور خطوط انابيب النفط عبر اراضي مختلفة في طبيعتها ، نجد ان هنالك اجزاء تحتوي على نسبة عالية من الاملاح واجزاء اخرى تحتوي على نسبة منخفضة من الاملاح ، وبالتالي تعمل كخلية تركيز يتولد نتيجة لها تيار كهربائي يجعل مناطق من تلك الانابيب تعمل كمصعد والاخرى تعمل كمهبط ، ويتبع ذلك تآكل المناطق المصعديه , (منصور، 1980)

7.2.2 طرق الحماية من التآكل:

1. اختيار التصميم المناسب :

من حيث البساطة فى التصميم , تجنب تكوين الخلايا الجلفانية وتجنب الرطوبة .

2. تعديل نوعية المعدن :

من حيث إزالة العناصر المضادة المسببة للتآكل , إضافة العناصر المحسنة لمقاومة التآكل وإتمام أعمال المعالجة لإزالة الاجهادات المتوافرة التى نتجت عن أعمال اللحام .

3. تعديل و تغيير وسط التآكل :

من حيث إزالة الأملاح عن طريق أعمال التأين , إزالة الأحماض بإضافة الجير و المواد القلوية وتقليل نسبة تواجد الأكسجين بإضافة موانع التآكل (كلوريد الصوديوم و الأمونيا و موانع التآكل و المواد الكيماوية المقاومة لعملية التآكل) .

4. التغطية :

هى وسيلة الغرض منها تكوين غشاء متصل من مادة عازلة للكهرباء على سطح المعدن المراد حمايته عن الوسط الالكتروليتى الملامس له والمحيط به وكذلك اعتراض الدائرة (الآنودية – الكاثودية) عن طريق ذلك الغشاء ذو المقاومة الكهربية العالية وبالتالى يضمحل بل ويكاد يتلاشى تيار التآكل .

ومن المعلوم أن أساليب التغطية الجيدة والمناسبة و التى تكون كفاءتها أكثر من 99% من سطح المنشأ المعدنى تحمى هذا المنشأ تماماً من التآكل إلى جانب هذا إذا طبق نظام للحماية الكاثودية للمنشآت بالتغطية فإنه يكون نظام بسيط نسبياً حيث تكون المساحات المكشوفة أو الضعيفة التغطية هى فقط المراد حمايتها بواسطة أساليب الحماية الكاثودية .

ونقص المعرفة يؤدى إلى عمل تغطية ضعيفة بسبب عدم معرفة نوع التغطية المناسبة وعدم الاهتمام بتجهيز السطح ومعاملة مادة التغطية بإهمال بعد إتمام عملية التغطية وأثناء الردم بالإضافة إلى اهمال عملية الفحص النهائى بعد انتهاء عملية التغطية ويجب التأكد من الخصائص التالية لمادة التغطية :

بان تكون سهلة التطبيق على الخط (التطبيع على الخط) , جيدة التلاصق , مقاومة للصدء , مرنة , مقاومه لإجهاد التربة والماء , مقاومة كهربية عالية , مقاومة للبكتريا ومتزنة فى الخواص الطبيعية و الكيميائية .

5. الحمايات الكاثودية والانودية :

التصدي للتآكل بالحمايات الكاثودية والأنودية تحد من تكاليف الصيانة والإستبدال وتسمح كذلك بإستخدام مواد أرخص للإنشاء والتشييد فمن المعروف إنه عندما يتآكل فلز يمر تيار كهربائي بين المساحات الكاثودية والمساحات الأنودية المتواجدة على سطح الفلز وإنه كلما زادت قيمة هذا التيار كلما زاد معدل التآكل فإذا أستخدمنا دائرة كهربائية فإنه يمكننا فرض تيار إضافي على الفلز ومن ثم نتمكن من تغيير السيطرة على معدل التآكل الخاص به ونحن نستطيع إن نطبق تيار معاكس لإيقاف التآكل تماماً كما هو الحال في الحماية الكاثودية. (Smith,1993)

8.2.2 التصدي للتآكل بإستخدام الحماية الكاثودية :

الحماية الكاثودية يمكن تعريفها على انها هي التقنية لخفض تآكل سطح المعدن وذلك بتمرير تيار كاثودي كافي نحوه ليسبب انخفاض معدل تآكله الأنودي الى حد غير مقدر .

وتعتبر الولايات المتحدة الامريكية اول من اتبع وعمل على تطوير نظام الحماية الكاثودية وتعتبر الحماية الكاثودية هى الطريقة الاساسية لحماية اى منشأ معدنى من التآكل فى اى وضع (معدن مغمور فى الماء او مدفون تحت الارض او متبث فى خرسانة) ولكن الحماية الكاثودية لا يتم استخدامها فى الحماية من التآكل الهوائى ، وهي طريقة لمنع التآكل في الأسطح المعدنية بجعلها القطب السالب من الدائرة الكهربائية. (السكري , 2006)

اصبح امراً شائعاً في الثلاثينات من القرن الماضي 1930 في ساحل خليج الولايات المتحدة ، حيث استعمل للسيطرة على تآكل خطوط الانابيب التي تتعامل مع الهيدروكربونات من نفط خام وغاز ومنتجات نفطية ، حيث طبقت الحماية الكاثودية للسيطرة

على تآكل خطوط الانابيب الفولاذية المدفونة. (الخزرجي , 2011)

تستعمل الحماية الكاثودية لحماية خطوط الأنابيب الفولاذية ، والخزانات ، والهياكل الفولاذية ، والسفن ، وأرصفة تحميل النفط عن الشواطئ والبطانات المعدنية لآبار النفط ، وذلك بجعل الجسم المعدني المطلوب حمايته من التآكل كاثود سالب بالنسبة للتربة المحيطة. عمليا كل خطوط الأنابيب الحديثة مكسوة بمواد عازلة وطلاء وقائي عضوي ، والذي يعتبر مكملا لأنظمة الحماية الكاثودية والتي تقوم بالواقع في حماية الثقوب والخدوش والخلل الموجود أو الحاصل علي الطلاء أو العازل ، فكلما كان العازل جديد وجيد وخالي من العيوب فان تيار الحماية الكاثودية يكون بأقل ما يمكن.

تحتاج حماية الأسطح غير المطلية أو المعزولة إلي كمية كبيرة من التيار الكهربائي ، ومن هنا يتضح بضرورة عدم ترك المادة المترسبة أو الاشنات النامية علي سطح المعدن في الخزانات المائية والمنشأت البحرية وقشطها لأنها تعمل كمادة عازلة وتساعد في خفض كمية التيار اللازم للحماية. يتم حساب تيار الحماية الوقائي استنادا علي سلامة طلاء الهيكل المعدني ومقاومة عزله والمقاومة النوعية للتربة وكمية التيار وفرق الجهد الكهربائي المطلوب توفيره من المحلول الكهربائي طوال العمر التشغيلي للتركيب الفولاذي المراد حمايته. (امين , 2004)

نظام الحماية الكاثودية الجيد يحمي التركيب بدون التسبب بتطور وتكون الهيدروجين الذي قد يتسبب بتلف الترابط والتلاصق بين الهيكل المعدني والطلاء العازل نتيجة لضغط الهيدروجين المتكون ، وتلافيا لتجمع كميات كبيرة من الهيدروجين علي سطح الأنبوب يتولد عنه ضغط مرتفع فيحدث شقوقا في غلاف الأنبوب يجب أن لا يزيد فرق الجهد بين أي نقطة علي سطح الأنبوب والتربة عن (2.5) فولت.

تعتمد نظرية عمل نظام الحماية الكاثودية على منع سريان تيار التآكل من الجسم المراد حمايته (خط الصلب) فإذا تم عكس الفولت فان التيار ينساب من التربة إلى سطح الجسم وبذلك يتوقف التآكل .

وحيث أن أيونات الصلب أوالحديد Fe^{++} تنتقل إلى الوسط الالكتروليتى المحيط بالمنشأ سواء كان تربة أوماء إذا ما توافر فرق جهد كافى بين ذلك الجسم والوسط ونتيجة لذلك ينساب الأيون الموجب Fe^{++} من الجسم إلى التربة. (Parker,2002)

فإنه إذا انتقل تيار كهربى مستمر من الوسط الالكتروليتى إلى سطح المنشأ (فى عكس اتجاه تيار التآكل) فإن سطح المنشأ يصبح كاثود ولا يتآكل .

و هذا يتحقق بطريقتين :

1. منظومات الحماية باستخدام أقطاب بديلة للتآكل Sacrificial Anodes .
2. منظومات الحماية باستخدام التيار المسلط Impressed Current .

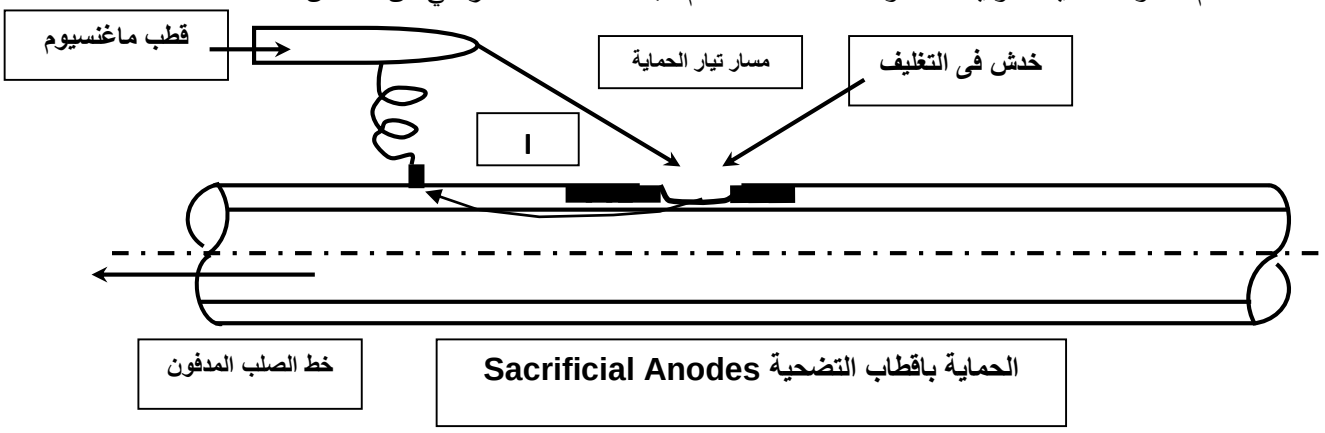
ولكل طريقة مجال تطبيق معين وتعتمد المفاضلة بينها على عوامل فنية واقتصادية ومع ذلك يمكن الجمع بين النظامين فى مشروع واحد .

1. منظومات الحماية باستخدام أقطاب بديلة للتآكل Sacrificial Anodes :

يعتمد هذا الأسلوب على الفعالية الجلفانية Galvanic Action بين المعدن المراد حمايته وأقطاب بديلة للتآكل المستخدمة حيث تستخدم أقطاب بديلة من معادن تأتي في مقدمة السلسلة الكهرو كيميائية مقارنة بالمعدن المراد حمايته أي أنها ذات جهد طبيعي أكثر سالبيه More Negative مقارنة بجهد المعدن المراد حمايته.

يستخدم هذا النوع من المنظومات في حالة الحاجة لحماية جيدة لأنابيب ذات مساحة سطحية محدودة أو لغرض الحماية من تأثيرات التداخل عند وجود هياكل معدنية قريبة من السطوح المراد حمايتها أو في حالة عدم توفر مصدر للطاقة الكهربائية أو في حالة الحماية الوقتية خلال مرحلة التشييد وكذلك في حالات حماية الأسطح الداخلية للخزانات والأوعية.

يوجد أنواع عديدة من هذه الاقطاب علي سبيل المثال يمكن حماية الحديد باستخدام الماغنسيوم (Mg) أو الألمونيوم (Al) أوالزنك (Zn). وتجدر الإشارة هنا إلى أن الحديد (Fe) واستناد إلى نفس المبدأ سوف يتعرض إلى التآكل في حالة ربطه بالنحاس بدون استخدام منظومة حماية كاثودية كما هو الحال عند استخدام شبكات الاتصال الأرضي من النحاس.



الشكل (3.2) : الحماية باقطاب بديلة للتآكل

مميزات هذه الطريقة :

تتميز هذه الطريقة بالمرونة حيث انه من الممكن إنشاء هذا النظام في تطبيقات متنوعة ولا تحتاج إلي تيار كهربائي ، فحيث يمكن استخدامها في الآتي :

1. في حالة الحاجة لحماية جيدة لأنابيب ذات مساحة سطحية محدودة.
2. لغرض الحماية من تأثيرات التداخل عند وجود هياكل معدنية قريبة من السطوح المراد حمايتها.
3. في حالة توفر مصدر للطاقة الكهربائية.
4. في حالة الحماية الوقتية خلال مرحلة التشييد.
5. في بعض حالات حماية الأسطح الداخلية للخزانات والأوعية.

عيوب هذه الطريقة :

1. الاحتياج الى السيطرة على مستوى الحماية.
2. صعوبة السيطرة علي مستوي الحماية.
3. لها عمر زمني محدد يعتمد على كفاءة الأنود. (Anna , 2015)

جدول (2.2) : فرق الجهد القياسي لبعض الأنودات

مادة الانود	فرق الجهد القياسي عند درجة 25^{5}م
الماغنسيوم (Mg)	− 2.37
الالمونيوم (Al)	− 1.66
الزنك (Zn)	− 0.763
الحديد (Fe)	− 0.44
النحاس (Cu)	+ 0.34

2. منظومات الحماية باستخدام التيار المسلط Impressed Current :

تأتي التسمية من ان تيار الحماية مسلط من مصدر خارجي ، ويتم الحصول عليه من تحويل مصدر التيار المتردد الي تيار مستمر (Transformer Rectifier) بحيث يتم توصيل جسم المعدن المراد حمايته لمصدر التياروبتم توصيل الطرف الموجب بالـ (Ground Bed) وتكون من الحديد السلكونكي وتبعد عن مصدر التيارفي حدود (100. 150متر) ويتم استخدام هذه الطريقة من الحماية الكاثودية في حاجة الحالة لحماية خطوط الانابيب وقواعد الخزانات ذات الاسطح الكبيرة والتي تتطلب تيار حماية عالية ولفترات طويلة تمتد علي عمر المشئات التي تعود عليها 20 سنة فاكثر كما يتوفر في هذه المنظومات امكانية السيطرة علي الحماية ومراقبتها.

مميزات هذه الطريقة :

1. استخدامها في المشاريع او التطبيقات ذات المساحات الكبيرة وتكون اقل تكلفة من طريقة انودات التضحية.
2. طالما المصدر الكهربي موجود فيكون النظام فعال وبذلك يكون لها عمر زمني اكبر من طريقة اقطاب التضحية.
3. القدرة علي مقاومة تيار عالي الكثافة علي سطح المعدن.
4. قدرة التوصيل كهربية العالية.

عيوب هذه الطريقة :

1. احتياجها الى صيانة مستمرة.
2. صعوبة الحصول علي مصدر كهربي للتيار المستمر احيانا. (منصور , 1980)

9.2.2 الاعتبارات التصميمية لمنظومة الحماية الكاثودية :

عند تصميم منظومة حماية كاثودية يتطلب الأخذ بنظر الاعتبار النقاط الرئيسية التالية :

1. نوع المنشأ والمعدن المطلوب حمايته.
2. المساحة السطحية للمنشأ المطلوب حمايته.
3. نوع التغليف المستخدم في تغطية السطح المطلوب حمايته.

4. المقاومة النوعية للتربة او الوسط الذي يشكل وسط التآكل.
5. الحماية الكاثودية المتواجدة في المنطقة والتي يجب ان تكون لها سعة كافية حتي تستطيع حماية الاحمال الاضافية.
6. طول وقطر الانابيب المتواجدة او الجديدة.
7. خطط التوسع المستقبلية.

والنقاط أعلاه مجتمعة سوف تؤدي للتوصل إلى نتائج أولية لتقديرات كثافة تيار الحماية المطلوب (أمبير/ متر^2) وبالتالي إلى تقديرات التيار الكلية. (السيد , 2008)

10.2.2 ملحقات نظام الحماية الكاثودية :

إن تكنولوجيا نظام الحماية الكاثودية هو نوع من تكنولوجيا الحماية الكهروكيميائية. المبدأ أن تسلط تيار كهربياً على سطح المعدن. تصبح الهياكل المحمية كاثوديةً و يجعل ذلك بدوره هجرة إلكترونات المعدن طائعة ما يمنع أو يضعف التآكل. تشمل ملحقات نظام الحماية الكاثودية الخاص بنا مسمار لحام النحاس الأصفر، أسلاك وكبلات نظام الحماية الكاثودية، محطات الاختبار، علبة التوزيع، إلكترود مقارنة، ومحول المقوم.

مسمار لحام النحاس الاصفر :

مسمار اللحام النحاسي الأصفر هو سريع التثبيت و يمتلك قوة ميكانيكية عالية و مقاومة منخفظة جدا , ويعتبر مسمار اللحام هذا مناسب جدا لتطبيقات بما فيها إستمرار الربط بين الأنابيب (ربط ، قياس ، إختبار الكابلات ، تركيب الأنودات المتأكلة) و كذا محطات إختبار السكك الحديدية والميترو .

اسلاك وكابلات نظام الحماية الكاثودية :

تستخدم أسلاك وكبلات الحماية الكاثودية بصورة عامة في أنظمة التيار الكهربي المسلط للحماية الكاثودية. لدى كبلات الحماية الكاثودية المعزولة هذه خصائص كهربية ، خصائص ميكانيكية ، خصائص عمرية حرارية طويلة، مقاومة قوية ضد التقلبات البيئية والتآكل الذي تحدثه الكيماويات. لدي أسلاك الحماية الكاثودية خاصية امتصاص ماء منخفضة وشكلاً بسيطاً ، إضافة إلى أن كبلات الحماية الكاثودية سهلة الاستعمال .

ليس هنالك حد لإنطواء رأسي أثناء تمدد الكبل. الطبقة العازلة الأولى هي ليندن فلوريد البولي فينيل (PVDF) ، والكم الخارجي (العازل الثانوي) هو طبقة من البولي اثيلين ذو وزن جزيئي عال (HMWPE) . إن كابلات (PVDF) و (HMWPE) تستخدم بصورة كبيرة في نظام الحماية الكاثودية للأوساط شديدة التآكل.

محطات الاختبار :

تعتبر محطة الاختبار جزءً مهماً في نظام الحماية الكاثودية (صهاريج ، أنابيب ، رصيف وأشكالاً معدنية أخرى). تستخدم عادة لفحص ومراقبة فعالية و متابعة معطيات الحماية الكاثودية.

الركيزة التجريبية للحماية الكاثودية تطبق أيضاً لاختبار امكانية الحماية ، ويمكن أن تستخدم في اختبار تيار أقطاب التضحية والوصلات العازلة. موقع التركيب لمحطة الاختبار عليه أن يحدد أين يندر حدوث الإنجراف، الإنزلاق الأرضي ، الإنزلاق الطيني. إن تركيب هذه الركيزة التجريبية للحماية الكاثودية عليه أن يضمن ثبات القاعدة، الذي يمكن من تجنب الانجراف وميلان الركائز.

علبة التوزيع :

علبة التوزيع هي جهاز يحتوي على الأسلاك الموصلة ، وهي التي تسمح للأسلاك بأن تتصل في البيت أو المبنى بمزود الطاقة ، وتعد علبة التوزيع عملية أكثر من التوصيلات السلكية المكشوفة ، وهذه العلبة هي جزء من دائرة الحماية.

عند تركيب نظام الحماية من الحريق الذي يكون حول الكبلات الداخلة أو الخارجة يجب أن يمدد ليغطي علبة التوزيع الكهربية , التي تمنع حدوث دائرة القصر أثناء حوادث الحريق. وتصنع العلبة عادةً من المعدن أو البلاستيك الصلب ويكون الشكل العام لها إما مربعاً أو مستطيلاً ، وتثبت العلبة عادةً في الجدران داخل البيوت بفتحة أمامية فقط للفحص.

إن القيمة الحقيقية لعلبة التوزيع هي أن توفر درجة من الحماية للأسلاك المتصلة في مناطق تلاق مختلفة ، وهنالك مفتاح أمان يسمح بإغلاق التوصيل داخل العلبة في حالة الطوارئ ، وعمر علبة التوزيع القياسي يمكن أن يحسب بالعقود ، ولا يحتاج الشخص لإستبدالها إذا كانت الأسلاك في حالة جيدة.

الكترود مقارنة :

هو قضيب كهربي ذو إمكانية كهربية مستقرة ومعروفة. يستخدم بأشكال مختلفة ، فمثلاً يستخدم كنصف خلية لبناء الخلية الكهروكيميائية ، يمكن أن يستخدم القضيب الكهربي هذا في قياس عمل جهد الإلكترود لخلية كهروكيميائية ، لكن يجب أن يكون لهذا القطب عند استخدامه للحماية الكاثودية جهداً كهروكيميائي مستقراً شريطة أن لا يمر عبره تيار.

أكثر أقطاب المقارنة المعملية هي قطب كالومل المشبع (SCE) وقطب الفضة / كلوريد الفضة ، وبإختصار إن من وظائف هذا القضيب أيضاً قياس جهد الإلكترود ، وقليلاً ما يستخدم قطب الملح الذائب كقطب مقارنة للحماية الكاثودية بينما يعتبر قطب الهيدروجين مثالياً لكن لا يمكن الحصول عليه بسهولة.

محول المعدل :

يمكن أن يصنع محول المعدل بتحكم مختلف حسب الطلب أو وفقاً لتصميم الحماية الكاثودية ، وإن أنظمة التبريد في ملحقات الحماية الكاثودية هي من نوع خاص ، ودرجات الحماية لكل من محول المعدل لمبرد الهواء و محول معدل مبرد الزيت يكون حسب الطلب.

صممت محولات معدلات تبريد الزيت خصيصاً لتزيد من الحماية في الظروف الصعبة ، وفي محولات المعدلات المحول والجسر المقوم والمصفى (الفلتر) يغمسون في الزيت ، ويكون نظام التبريد في محولات معدلات كهذه هو من نوع خاص. (Bent,2004)

11.2.2 التحكم في اداء محطات الحماية الكاثودية ومراقبتها :

يوجد العديد من انظمة الحماية وتتعدد طرق مراقبتها عن طريق نظام الاسكاد Scada او الاقمار الصناعية منها ما يمكن التحكم به من غرفة تحكم مركزية ومنها ما يعطي قراءات فقط ، ومن اهم القراءات التي يتم مراقبتها التيار الناتج وفرق الجهد الناتج وهي المؤشرات التي تعطينا حالة المحطة والانبوب التي تحميه هذه المحطة ، ويتم ايضا عمل مرور على المحطات للتأكد منها ومرور كل 6 اشهر على الخط واخذ قراءات كل 2 كيلو في حالة تشغيل محطة الحماية.

في حالة توقف المحطة يستخدم جهاز قاطع التيار والذي منه يتم معرفة حالة الانبوب عموماً ، بعدها يستخدم جهاز الماسح في

المنطقة التي تكون قراءة الجهد فيها ضعيفة لتحديد مكان التسريب. (Dillon,2001)

12.2.2 الاجراءات المتبعة لمراقبة الخط الناقل للنفط :

تقوم مجموعة محدده مسبقا من مهندسين وفنيين بمسح شهري لمحطات الحماية الكاثودية وتسجيل القراءات من وحدة قياس الجهد والتي يجب ان تكون اكثر من (0.85mv).

المسح السنوي لكل الخط الناقل وتؤخذ القراءات لكل 2 كيلومتر ، وعند وجود نقص في الجهد عند احد الكيلومترات يتم قياس الجهد كل 25 متر منه ، حتى يتم ايجاد المنطقة التي يوجد بها عطب (خلل).

يوجد فحص كل 5 سنوات بواسطة جهاز يسمى Intelligent Piggent ، وهو جهاز يوضع داخل الانبوب ويقوم بقياس القطر الداخلي للانبوب وبالتالي يحدد معدل التآكل الداخلي.

يوجد ايضاً جهاز يسمى C Scan Surver وهذا الجهاز يتم تمريره على طول الخط ليكشف عن المواضع التي يكون فيها خلل في التغطية ويستعمل كل 5 سنوات ، وتكلفته عالية.

عند حدوث مشاكل طارئة مثل السيول والانفجارات تكون وحدات الطوارى المنتشرة على طول الخط جاهزة لاصلاح العطل في فترة لا تتعدى 72 ساعة كحد اقصى. (الخليل ، 2005)

الباب الثالث

التجارب المعملية

1.3 قياس فرق الجهد لخطوط انابيب النفط :

1.1.3 الغرض من التجربة :

معرفة فعالية الحماية الكاثودية المطبقة على الانابيب ، ومقارنتها مع انابيب اخرى غير مطبقة عليها وفقا لفرق الجهد القياسي.

2.1.3 منطقة الدراسة (Study Area) :

تم اخذ القراءات من خلال نقاط الاختبار بخط أنابيب البترول للمنطقة الواقعة بين منطقتي العيلفون ومصفاة الجيلي وكذلك لمنطقة الجبلين وذلك لمعرفة كفاءة تطبيق الحماية الكاثودية عليها والتحكم في نظامها.

3.1.3 طريقة اجراء الأختبار :

تم اخذ القراءات بواسطة جهاز الملتيميتر مباشرة من محطات الأختبار المتواجدة على طول الأنبوب المحمي.

4.1.3 الأجهزة والأدوات المستخدمة (Apparatus) :

الملتيميتر (Multimeter)

خلية نصف (Half Cell)

أسلاك توصيل

محطة أختبار (Test Post)

مصدر للتيار المستمر (DC Source)

5.1.3 طريقة العمل (Method) :

قيست قراءة فرق الجهد بين الخط و التربة عن طريق جهاز قياس فرق الجهد " الملتيميتر " و الخلية على التوازى وترك الجهاز لفترة حتى استقرت القراءة على شاشة الجهاز.

وضعت حول مكان تثبيت الخلية بالتربة قليل من الماء لتقليل مقاومة التربة ووضغت فوق الخط مباشرة لتقليل مقاومة الدائرة و ابعاد تاثير جهد الآنود على قراءة الجهاز.

وصل خط الخدمة بالطرف الموجب لجهاز قياس فرق الجهد " الملتيميتر " ووصلت الخلية بالطرف السالب للجهاز على العلم باختلاف شكل الـ TEST POST فى طريقة التيار المسلط (كابلين) عنها فى طريقة الاوانيد المضحية (5 كابلات). وقيس الانود بذاته بدون اى توصيلات مع الجراب وذلك لفحص جهد الانود ومعرفة مدى قدرة هذا الأنود على الحماية.

الباب الرابع

النتائج والمناقشة

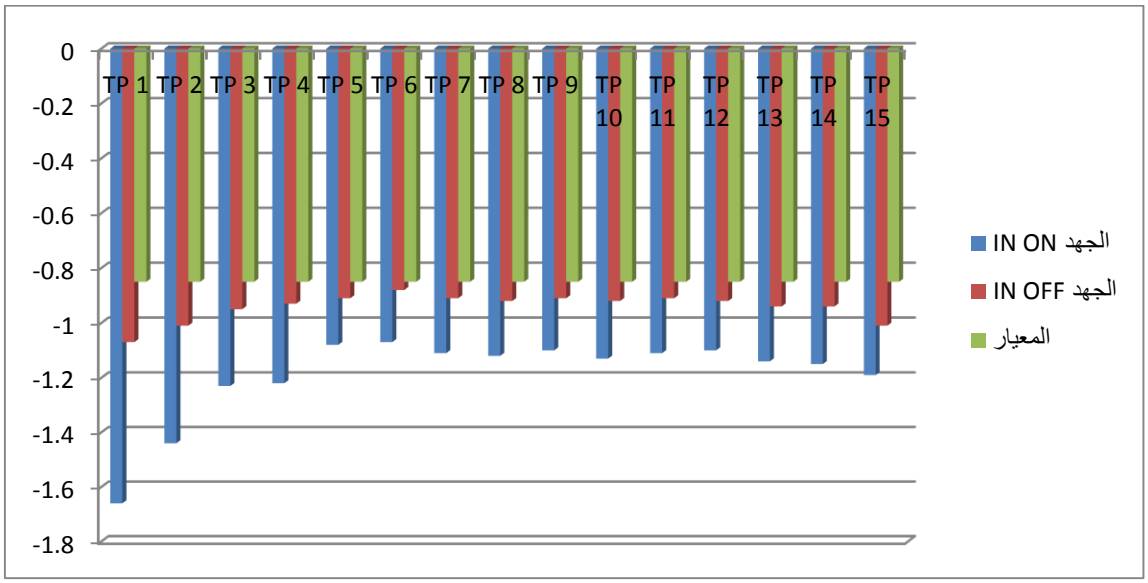
1.4 النتائج (Results) :

جدول (1.4) : نتائج فرق الجهد لمنطقة الجبلين

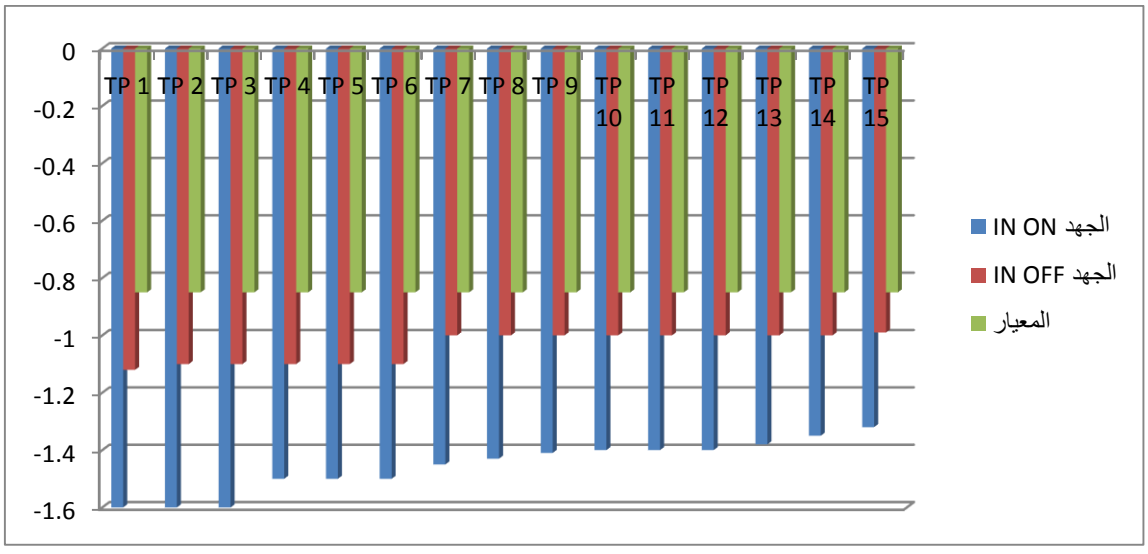
التاريخ	محطة الاختبار	رقم الكيلو Kilo post	المعيار	الجهد In on	الجهد In off
17/2/2019	TP 1	Kp239	−0.85	−1.66	−1.07
17/2/2019	TP 2	Kp241	−0.85	−1.44	−1.01
17/2/2019	TP 3	Kp243	−0.85	−1.23	−0.95
18/2/2019	TP 4	Kp245	−0.85	−1.22	−0.93
18/2/2019	TP 5	Kp247	−0.85	−1.08	−0.91
18/2/2019	TP 6	Kp249	−0.85	−1.07	−0.88
19/2/2019	TP 7	Kp251	−0.85	−1.11	−0.91
19/2/2019	TP 8	Kp253	−0.85	−1.12	−0.92
19/2/2019	TP 9	Kp255	−0.85	−1.10	−0.91
20/2/2019	TP 10	Kp257	−0.85	−1.13	−0.92
20/2/2019	TP 11	Kp259	−0.85	−1.11	−0.91
20/2/2019	TP 12	Kp261	−0.85	−1.10	−0.92
21/2/2019	TP 13	Kp263	−0.85	−1.14	−0.94
21/2/2019	TP 14	Kp265	−0.85	−1.15	−0.94
21/2/2019	TP 15	Kp267	−0.85	−1.19	−1.01

جدول (2.4) : نتائج فرق الجهد للمنطقة بين العيلفون ومصفاة الجيلي

التاريخ	محطة الاختبار	رقم الكيلو Kilo post	المعيار	الجهد In on	الجهد In off
3/3/2019	TP 1	Kp520	−0.85	−1.60	−1.12
3/3/2019	TP 2	Kp522	−0.85	−1.60	−1.10
3/3/2019	TP 3	Kp524	−0.85	−1.60	−1.10
4/3/2019	TP 4	Kp526	−0.85	−1.50	−1.10
4/3/2019	TP 5	Kp528	−0.85	−1.50	−1.10
4/3/2019	TP 6	Kp530	−0.85	−1.50	−1.10
5/3/2019	TP 7	Kp532	−0.85	−1.45	−1.00
5/3/2019	TP 8	Kp534	−0.85	−1.43	−1.00
5/3/2019	TP 9	Kp536	−0.85	−1.41	−1.00
6/3/2019	TP 10	Kp538	−0.85	−1.40	−1.00
6/3/2019	TP 11	Kp540	−0.85	−1.40	−1.00
6/3/2019	TP 12	Kp542	−0.85	−1.40	−1.00
7/3/2019	TP 13	Kp544	−0.85	−1.38	−1.00
7/3/2019	TP 14	Kp546	−0.85	−1.35	−1.00
7/3/2019	TP 15	Kp548	−0.85	−1.32	−0.99



مخطط (1.4) : مخطط فرق الجهد لمنطقة الجبلين



مخطط (2.4) : مخطط فرق الجهد للمنطقة بين العيلفون ومصفاة الجيلي

2.4 المناقشة (Discussion) :

اخذت نتائج الجدول (1.4) عن طريق اجراء التجربة في احد خطوط إنابيب نقل النفط بمنطقة الجبلين في حالتي الـ ON والـ OFF ووجد أن الأنابيب بحالة جيدة وأن الخط من ناحية التغليف والحماية أيضاً جيد ، وأن الحماية الكاثودية به تؤدي دورها بفعالية , بحيث ان فرق الجهد بين الخط و التربة كان ما بين (850 – 1700 ملى فولت) وبالتالي هذه المنطقة آمنة و الخط فيها بحالة جيدة من حيث التغليف و الحماية.

وكذلك اخذت نتائج الجدول (2.4) عن طريق تجربة في احد خطوط انابيب نقل النفط بين منطقتي العيلفون محطة الضخ رقم (4) ومصفاة الجيلي ووجد ايضا ان المنطقة امنة وفقا لما ذكر سابقا وبالتالي الانابيب بحالة جيدة.

اما إذا وجد أن فرق الجهد بين الخط و التربة ما بين (250 – 850 ملى فولت) تكون هذه المنطقة غير آمنة و يمكن تقسيمها كالآتى :

إذا وجد جهد الخط من (650 – 850 ملى فولت) فإن الخط فى هذه الحالة يكون مغلف و لكن بدون حماية و الخط معرض للتآكل ، إذا وجد جهد الخط من (450 – 650 ملى فولت) فإن الخط فى هذه الحالة يكون مغلف تغليف ضعيف و بدون حماية أى أن الأنود متآكل أو غير موصول و الخط معرض للتآكل , إذا وجد جهد الخط من (250 – 450 ملى فولت) فإن هذا يمثل الجهد الطبيعى للصلب فى السلسة الكهروكيميائية أى أن الماسورة عارية (بدون تغليف) و بدون حماية أى أن الآنود متآكل تماماً أو غير موصول و الخط معرض للتآكل .

ولكن اذا وجد فرق الجهد بين خط الخدمة و التربة بالموجب فإن هذا يعنى أن ذرات المعدن تحولت إلى أيونات موجبة بفعل التأثيرات الكهربية و هذا يعنى وجود تآكل بالخط و فى هذه الحالة يلزم تركيب آنود جديد لكى يوقف تحول ذرات المعدن إلى أيونات.

3.4 الخاتمة (Conclusion) :

الحمد لله الذي وفقني وأعانني في إستكمال هذا البحث الذي تطرقت فيه لظاهرة تآكل أنابيب النفط الخام والتركيز فيه على طريقة المعالجة وتلافي المشكلة بنظام الحماية الكاثودية.

وكانت الأسباب التي دفعتني لأختيار هذا البحث هو ما يسببه تآكل الأنابيب من آثار أقتصادية ومالية وهي التي تتحملها الدولة وتتمثل في الخسائر الفادحة التي تحدث سواء كانت في المعدات والآلآت والانابيب الناقلة للنفط او عن طريق فقدان جزء من الخام المنقول عبر هذه الأنابيب , إضافة إلي الآثار الإجتماعية المتمثلة في إنهيار المنشآت وإصابات العاملين وقد تؤدي إلي وفاة العاملين أحياناً.

وقد قمت بإجراء قياسات لجهود الأنابيب المحمية بنظام الحماية الكاثودية لمنطقتين مختلفتين وفقا لابعاد ثابته ومسافات محددة مسبقا وتمت مقارنتها مع النتائج القياسية للمعدن في متوسط الظروف المحيطة .

وقد تم التوصل إلي أن معدل التآكل للانابيب المحمية في المنطقتين كانت قليلة وفي الوضع الآمن لذلك ورغم اختلاف البيئات بين المنطقتين الا ان الحماية كانت قادرة على حماية الانابيب وجعل قراءات الجهود في المدى المناسب وبالتالي قدرتها على اطالة عمر الانابيب والمحافظة عليها .

4.4 التوصيات (Recommendation) :

1. تطبيق نظام الحماية الكاثودية للمنشأت المدفونة تحت سطح التربة.
2. توفير معدات قياس متطورة لمتابعة جودة ومستوى عمل منظومة الحماية الكاثودية.
3. الصيانة الدورية للانابيب تسهل عمل الحماية الكاثودية وتحمي الأنابيب من أخطاء القراءة.
4. تنظيف السطح الداخلي للانابيب باستخدام القاشط الذكي وبالتالي ينتج دقة في القراءات.
5. استخدام نظام الأسكادا أو الأقمار الصناعية في مراقبة الحماية الكاثودية.

5.4 المراجع (References) :

1/ ابراهيم سالم منصور (1980) , هندسة التآكل والطرق الفنية للتصدي له , منشورات دار الراتب الجامعية , بيروت.

2/ احمد محمد السكري (2006) , الحماية الكاثودية , جامعة اسيوط , كلية الهندسة , القاهرة.

3/ حسين باقر رحمة الله (1990) , هندسة التآكل وحماية سفوح المعادن , وزارة التعليم العالي والبحث العلمي , الجامعة التكنلوجية , بغداد.

4/ سامح السيد (2008) , الحماية الكاثودية , دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع , القاهرة .

5/ عادل شلش (1980) ، تآكل المعادن , دار العارف , القاهرة.

6/ قحطان خلف الخزرجي (2011) , اختيار المواد الهندسية , دار دجلة , عمان.

7/ محمد احمد السيد الخليل (2005) , الحماية الكاثودية لخطوط المواسير , دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع , القاهرة .

8/ سيد طاهر محمد امين (2004) , نمذجة نظام الحماية الكاثودية للهياكل المدفونة , جامعة الملك سعود , كلية الهندسة , قسم الهندسة الكيميائية , الرياض.

9- Anna A. T. (2015), Cathode Protection Systems of cross-country pipelines , Houston , Texas.

10- Ashworth V. (1998) , Corrosion, institution of corrosion science and technology , 2nd Edit Birmingham , Horwood.

11- Bent M. C.(2004), Cathodic Protection Theory and Practice , 3rd Edit , Wiley , Uk.

12- Dariva G. and Galio A. (2014), Corrosion inhibitors , McGraw Hill, New York

13- Denny A. J.(1996), Principles and Prevention of Corrosion, 2nd Edit., Prentice Hall Inc. USA.

14- Dillon C. P.(2001), Corrosion Control in the Chemical Industries, 2nd Edit , McGraw-Hill, New York.

15- Fontana M. G.(1986), Green .N.D, Corrosion Engineering, 3rd Edit., McGraw Hill, New York.

16- Laque F. L.(2000), Marine Corrosion, Causes and Prevention, 3rd Edit , J. Wiley, New York.

17- Lindsay M. A.(1995), Cathodic protection., 3rd Edit , McGraw Hill, New York.

18- Parker M. E.(2002), Pipeline Corrosion and Cathodic Protection, 3rd Edit , Gulf publishing company , Houston , Texas.

19- Pierre R. R.(2008)., "Chapter 5: Corrosion Kinetics and Applications of Electrochemistry to Corrosion", McGraw-Hill Companies, Inc., New York.

20- Robert D. J. (2016), Experimental investigation of factors influencing external corrosion of buried pipes , SCMT ’16 , las vegas , USA.

21- Roberge P. R.(1999), "Handbook of Corrosion Engineering", McGraw Hill, New York

22- Smith W. F.(1993), Foundations of Materials Science and Engineering ,. McGraw Hill, New York.

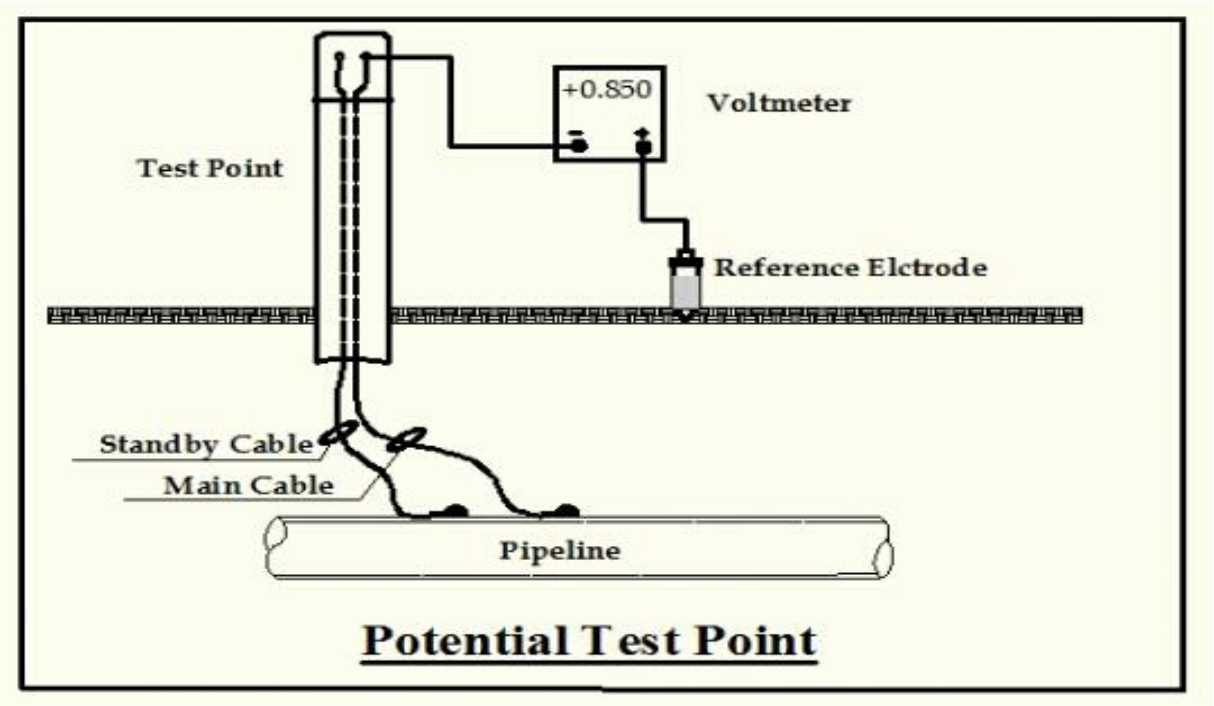
23- Yong Q. B.(2005), Subsea Pipelines and risers ., 1st Edit ., CLARCS , London.

الملاحق

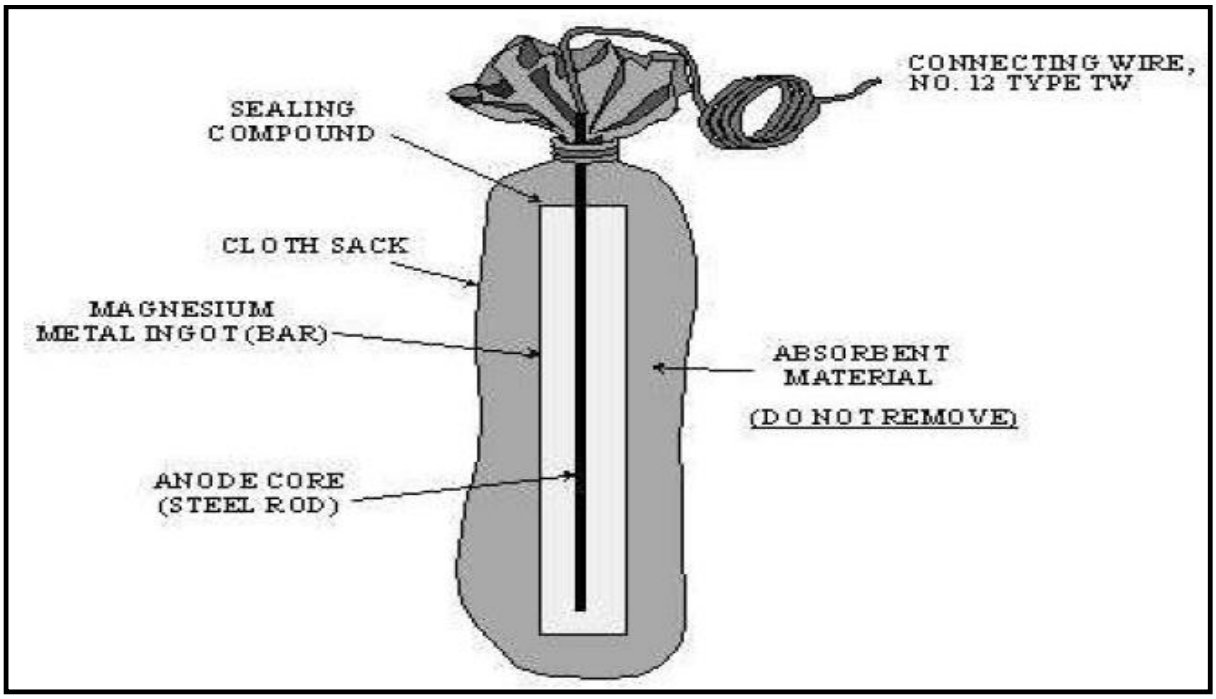
(Appendix)

انبوب متآكل لنقل النفط الخام

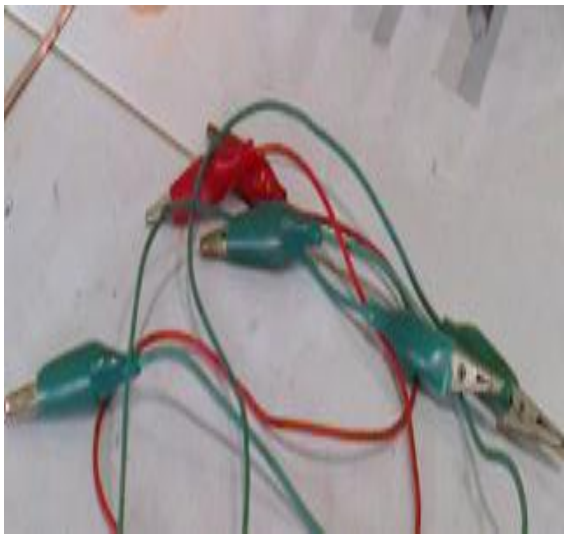
جهاز الحماية الكاثودية (CP)



طريقة اختبار فرق الجهد



انود الماغنسيوم المضحي



ملتيميتر واسلاك التوصيل

خلية النصف ونقطة الاختبار

مصدر تيار منظومة الحماية الكاثوديه

مسمارالحام الاصفر للحماية الكاثودية

اسلاك وكابلات الحماية الكاثودية

ركيزه تجريبية لنظام الحماية الكاثودية

علبة التوزيع لنظام الحماية الكاثودية

الكترود مقارنه لنظام الحماية الكاثودية