التآكل في المنشآت وآثاره السلبية

م. عوده محمد الأغا *

ABSTRACT
Corrosion in structures

Corrosion structures is rapidly becoming a major problem through out the world. Concrete structures ,Steel structures, Marine structures , Sanitary and Water facilities , Buildings , Bridges and Industrial structures are being severely damaged by corrosion of the rebar . Corrosion of the reinforcing steel in concrete and the resultant cracking and spilling of the concrete is coasting millions of dollars each year . the annual coast of repair and maintenance for the corroded structures is too much . So we are invited to search for the basic method of mechanisms and methods of corrosion prevent in structure , and best solutions to avoid it .

الملخص

التآكل في المنشآت من أهم المشكلات التي تؤرق العاملين في حقل الإنتاج والتشغيل والصيانة

فهو التفتت الناتج عن تفاعل مادتين أو أكثر أو مكوناتهما في وجـود وسـط مـساعد كالحرارة والرطوبة والأملاح ، كما أنه إفساد للمادة أو خواصها نتيجة تفاعلهـا مـع المـؤثرات الخارجية أو الداخلية بحيث يفقد المنشأ مواصفاته التصميمية والغرض من استخدامه ، فالمنـشآت الصناعية و الأبنية السكنية والصحية والبحرية والجسور والمطارات كلها تتأثر سلبا بالتآكل فـي حال إهمال علاجه ويحتاج إلى تكاليف باهظة لإعادة استثمارها وتشغيلها ، لذا نحن مدعوين إلى البحث عن أفضل الحلول لتجنب حدوثه والإقلال من أضراره على المنشآت وعلاجها.

* Msc, in Engineering, KhanYouins, Palestine.

التآكل في المنشآت وآثاره السلبية

المقدمة:

يعرف التآكل بأنه إفساد المادة أو خواصها نتيجة تفاعلها مع مؤثرات خارجية أو داخلية، أو هو التلف الناتج عن تفاعل مادتين أو أكثر أو مكوناتهما في وجود وسط مساعد مثل الحرارة والرطوبة أو الأملاح .

ويحدث التآكل في المنشآت ببطء شديد وهدوء لكن الخسائر التي يسببها تفوق التصور ، فمنها خسائر مادية واقتصادية ومنها صحية تتعلق بصحة الإنسان وتؤثر عليه مباشرة والبيئة المحيطة به.

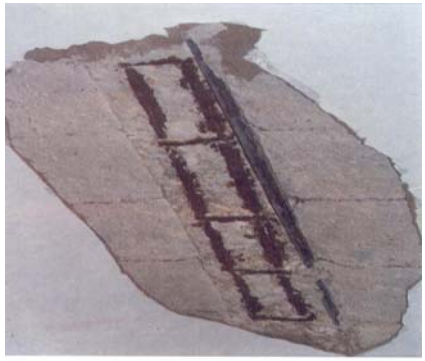
فالمنشآت الصناعية والمباني الخدمية مثل المدارس والمستشفيات ومحطات التوليد وأعمدة نقل الطاقة والجسور والطرق والموانئ والمطارات ، تتأثر سلبا بحدوث التآكل في أجزائها مما يؤدي إلى قصر عمرها والإقلال من فترة صلاحيتها وكفاءتها التشغيلية مما يزيد تكلفة صيانتها و تشغيلها ، كما أن شبكات نقل وتوزيع المياه ومحطات الضخ وتخزين المياه تتعرض إلى التآكل سواء من داخل خطوط النقل والتوزيع وملحقاتها أو من خارج الخطوط والأجزاء الظاهرة والتي تتعرض لتغيرات مختلفة بيئية ومناخية .

فعندما يبدأ التآكل في المنشآت خاصة الصناعية سواء في المباني أو في خطوط الإنتاج، نلاحظ انخفاض في مستوى الإنتاج والجودة في المنتج ، وأعطال مستمرة تؤدي إلى خسائر مرتفعة ، وكذلك عندما يبدأ التشقق والتآكل في المنشآت الخدمية كالمدارس أو الجامعات والمستشفيات تصبح الأخطار تهدد الطلاب والعاملين مثل انهيار بعض أجزاء المباني أو عدم صلاحية المكان لإتمام العملية التعليمية على أكمل وجه ، وكذلك المنشآت الصحية كالمختبرات ، والمستشفيات تصبح غير قادرة على احتضان المرضى للمعالجة حيث يتطلب الأمر أماكن غاية في النظافة والتهوية والتشميس وخالية من الشقوق ومرافقها الصحية تعمل بحالة جيدة بدون أعطال ولا عوائق ، أيضا محطات توليد الكهرباء وتحليه المياه وتنقيه مياه الصرف الصحي التي تتعرض لتأثيرات التآكل وينتج عن ذلك أعطال مستمرة تقلل من صلاحيتها للتشغيل و تقلل من إنتاجيتها، والمطارات أيضا تتعرض للتآكل سواء في مباني الخدمات أو مهابط الطائرات فتصبح غير قادرة على أداء مهمتها لان الأمر يتعلق بحياة المسافرين سواء القادمين أو المغادرين والعاملين فيها ، ومثل مهابط الطائرات ينطبق الأمر على الطرق والسكك الحديدية وأبراج الاتصالات وأبراج الطاقة وشبكات نقل وتوزيع المياه وملحقاتها ، ففي شبكات نقل وتوزيع المياه

يتعلق الأمر بصحة الإنسان وصلاحية المياه للاستخدام الآدمي ، بسبب التآكل في خطوط التوزيع حيث يتغير اللون والطعم والرائحة لمياه الشرب، والأمر الأهم في شبكات توزيع المياه تغير نسبة الحموضة في الماءPH تسبب تغيير صـلاحية الميـاه وتـوفر بيئـة مناسـبة لحـدوث تآكـل ميكروبيMIC الذي يزيد من حدوث اضطرابات معوية لمستخدمي المياه وفرصه لنقل الأمراض البكتريولوجية إلى جسم الإنسان أثناء استخدام المياه [Ref . 1]

هذه الخسارة التي يسببها التآكل تكلف مبالغ باهظة سواء فـي الـصيانة أو الإصـلاح والترميم وتزيد من تكلفة التشغيل ، ورغم أن التفكير في معالجة التآكل أو تجنب حدوثـه بـدأ مبكرا ، إلا أن الجهود لازالت حثيثة ومتواصلة لوقاية المنشآت وإتباع أفـضل الـسبل لتجنـب حدوثه.

Main Bathroom Reinforcement corrosion and spalling of column



Severely corroded reinforcement

شكل 1

التآكل في حديد التسليح في الخرسانة

كيفية حدوث التآكل:

التآكل في المنشآت وآثاره السلبية

لمعرفة كيفية حدوث التآكل ، يتوجب علينا معرفة الأساسيات التي يستند عليها حدوثه وهي:

1. و جوب توافر قطب / شحنة سالبة (الآنود). An Anoode
2. وجوب توافر قطب / شحنة موجبة (الكاثود) . A Cathode
3. وسط محلول موصل (الالكتروليت) An Electrol
4. توفر حالة توصيل بين الآنود والكاثود وذلك لحدوث تفاعل كيميائي عند مرور تيار كهربـي مهما كانت قليلة شحنته ،

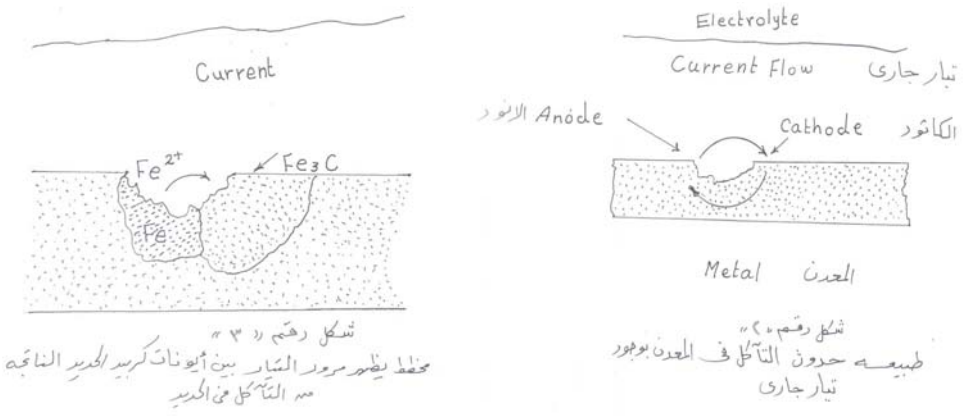
$$Fe \longrightarrow Fe^{++} + 2e^{-}$$

ويحدث اتحاد للشحنة السالبة مع الأكسوجين و في هذا الحيز في أغلب الأحوال :

$$\tfrac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^{-} \longrightarrow 2OH^{-}$$

وينتج جهد يقدر بـ ـ ـ 0.85- ڤ ولت فـي الحالـة الافتراضـية ضـد أو مقابـل cu_cuso4 وهو الالكترود وبعد عملية التفاعل يقل الڤولـت الافتراضـي بحـدود 0.40 + ڤولت وهذا التفاعل يحدث تيارا ساريا بحدود 1.25 أمبير. Ref. 2

ويساعد في زيادة حدوث التفاعل أيضا وجود الكلوريدات والأمـلاح والكبريتـات فـي التربة والمياه ومواد البناء المستخدمة في العملية الإنشائية حيث تشارك الأمـلاح فـي مهاجمـة أجزاء المنشأ خاصة حديد التسليح ويبدأ ذلك عند اتحاد مكونات الخلطة الخرسانية وأثناء فتـرة التصلب والترطيب curing فيتكون وسطا مناسبا من الحموضة PH تتمحور حول قضبان الحديد فيتأثر أو يصبح قادرا على الانحلال عندما تصبح درجة الحموضة PH 14– 13 . 3 . Ref



شكل (2)

طبيعة حدوث التآكل في المعادن

وتصبح ايونات الكلوريدات تهاجم الحديد وتسبب التآكل ببطء شديد يزداد بزيادة وجود ثاني أكسيد الكربون وتتحد مكونات الاسمنت والخطة مع الكالـسيوم والبوتاسـيوم والـصوديوم فتتكون الايدروكسيدات التي تذوب في الوسط الحمضي، وثاني أكسيد الكربون المتكون في هـذه العملية يتفاعل مع الايدروكسيدات أيضا ويكون الكربونات والماء .إذا ، نصل إلى أن متاعـب الخرسانة تزداد بوجود ثاني أكسيد الكربون أو اكاسيده ولكن أقل مما تسببه الكلوريدات و الأملاح المذابة في مكونات الخلطة ففي حال ملامسة ايونات الكلوريدات الـسطح الخـارجي لقـضبان الحديد تحدث تأثيرات سلبية إضافية تسهم في الإقلال من تماسك الحديد مع الخرسانه و تـضعف صلابتها و تزيد من درجة النفاذيه للخرسانة Permeability فيتخلل ايون الكلوريد بين اجـزاء الحصويات ويؤثر سلبا على مكوناتها ، كما أن الحديد المنحل يتآكل عند اتحاد شحنة موجبة أثناء الانحلال الايوني متزامنا مع وجود ايون سالب في وسط الخرسانة تاركه الاكسوجين ، فعنـدما يزداد الاكسجين تقل نسبة التآكل وعند زيادة تركيز أيون الهيدروجين يزداد معدل التآكل بوجـود وسط مساعد خاصة في حديد التسليح ferrous وهو المادة التي تتأثر مباشرة بالظروف البيئيـة والمناخية المحيطة بالمنشأ والتي تضعف من متانتها وتقلل من صلاحيتها للتشغيل ، ويتأثر الحديد سلبا بدرجة الحموضة PH من 12 – 14 عند ذلك تنشط ايونات الكلوريدات فتهاجم الحديـد من خلال اكاسيد الحديد :

$$Fe^{++} + 2OH^{-} \longrightarrow FeO + H_2O$$

التآكل في المنشآت وآثاره السلبية

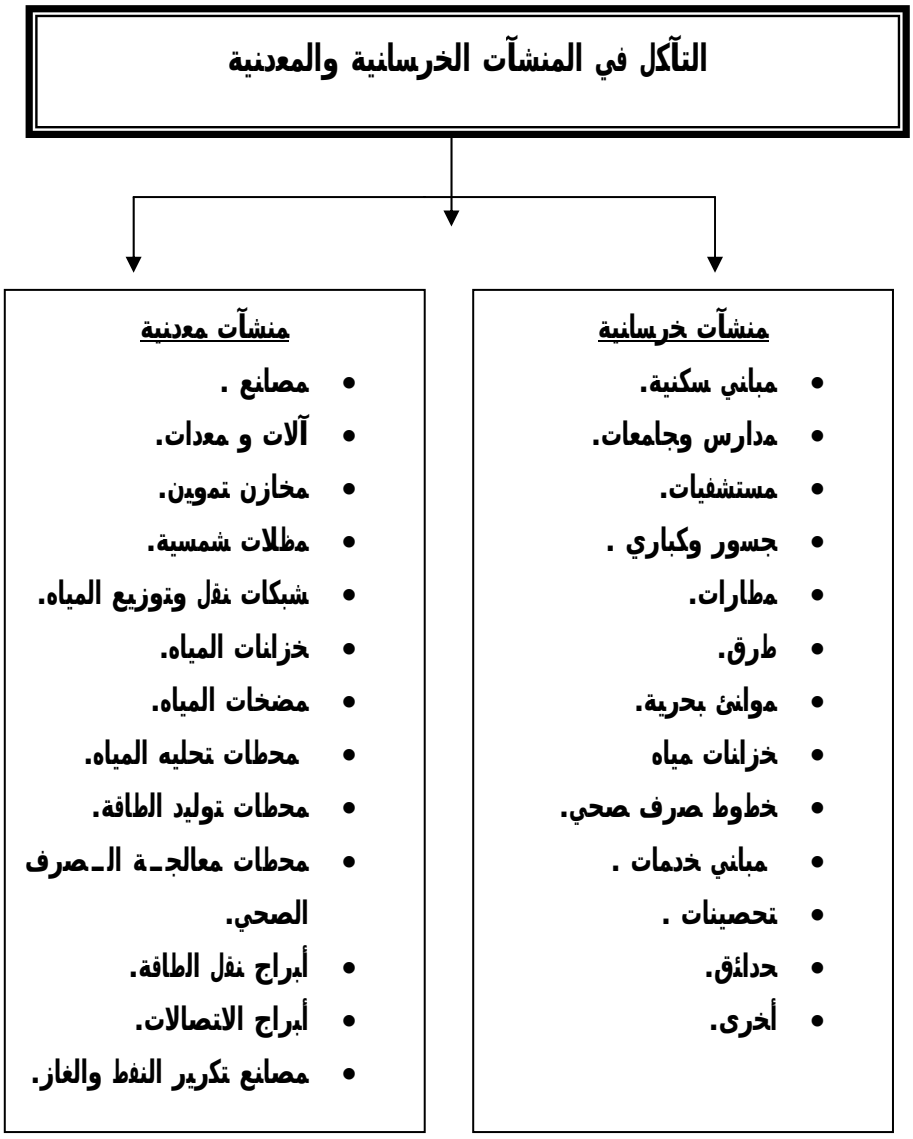
ويتحول أيون الحديد في وجود الكلوريدات إلى حالة معقده نظرا لاختلاف المؤثرات الخارجيـة والتي ينتج عنها الصدأ Rust :

$$Fe^{++} + CL^{-} \longrightarrow FeCL_2 + (complex)^{+}.$$

وينتج عن ذلك هيدروكسيد الحديد ، الذي يتحول الى بثور خارجية في الحديد :

$$2FeCL_2^{+} + \tfrac{1}{2}O_2^{+} + H_2O + 4\,OH^{-} \longrightarrow Fe_2O_3 + + 3\,H_2O + 4CL\ CL^{-}$$

يؤثر هذا الناتج على كلوريد الحديد المتواجد على سطح الحديد الخارجي مـسببا تآكـل موضعي يزداد بزيادة درجة الحموضةPH بنسبه عالية فيتكون نتوءات وبثور بنية اللون تـسمى الصدأ وهو التآكل السائد .



شكل (3) : مخطط التآكل في المنشآت الخرسانية والمعدنية

أولا : التآكل في الخرسانة

الخرسانة هي الحجر الصناعي الناتج عن تصلب الخلطة المنتقاة من الرمل والحصويات والمادة الرابطة وهي الاسمنت والماء ، وهي من أهم المواد الإنشائية لسهولة الحـصول عليهـا ورخص تكلفتها وتحملها للظروف البيئية المختلفة وهذا الحجر الصناعي ناتج عن تفاعلات معقدة

أكسيد الكالسيوم	CaO	بنسبة 64 – 67%
أكسيد السيليسيوم	SiO_2	بنسبة 19 – 24 %
أكسيد الالومنيوم	Al_2O_3	بنسبة 4 – 7 %
أكسيد الحديد	Fe_2O_3	بنسبة 2 – 6 %

بين المكونات الرئيسية للاسمنت والرمل والحصويات التي تتكون في الغالب من المواد التالية:

وأكاسيد أخرى مثل المغنيسيوم Mgo والبوتاسيوم K_2O وأكسيد الصوديوم.

تؤثر هذه النسب من الأكاسيد على جودة الاسمنت وظهور تشقق بنسب متفاوتـة فـي الخرسانة التي تساعد على دخول الأبخرة المائية والأحماض والكلوريدات إلى حديد التسليح فيبدأ التآكل ويزداد ببطء شديد فتبدأ عملية تخريب الخرسانة ، وبهذه التفاعلات الكيميائية والفيزيائيـة الحاصلة بعد خلط المواد المكونة للخلطة الخرسانية تنحل مكونات الاسمنت مكونة محلول غروي يغلف حبات الحصويات ثم إعادة تبلور جزيئات المواد المحيطة يصاحب ذلك تصلب في العجينة كما يلي:

$$3CaO.SiO_2 + (n + 1) H_2O = 2CaO.SiO_2\ nH_2O + Ca(OH)_2$$
$$2CaO . SiO_2 + nH_2O = 2CaO . SiO_2\ nH_2O$$
$$3CaO . AL_2O_3 + 6H_2O = 3CaO . AL_2O_3 . 6H_2O$$
$$4CaO . AL_2O_3 . Fe_2O_3\ mH_2O = 3CaO . AL_2O_3 . 6H_2O + CaO. Fe_2O_3. (m-6) H_2O$$

فان سرعة تفاعل هذه الأكاسيد هي التي تحدد سرعة تصلب الخلطة أما دور الأكاسـيد الفعالة مثل أكاسيد السيليسيوم الذي يتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ التي تتـشكل من سيليكات الكالسيوم الثلاثية التي تتصلب وترفع درجة مقاومة الاسمنت للتآكـل و فـي نفـس الوقت يحدث تفاعل الكربنة بين هيدروكسيد الكالسيوم وغاز ثاني أكسيد الكربـون مـن الهـواء الجوي و بخار الماء كما يلي :

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + nH_2O = CaCO_3 + (n + 1) H_2O$$

تتبلور كربونات الكالسيوم بسرعة أكبر .Ref. 4

شكل (4) التأثيرات البيئية و المناخية التي تزيد من التآكل

أسباب حدوث التآكل في الخرسانة:

تعود الأسباب التي تزيد من حدوث التآكل في المنشآت الخرسانية إلى :

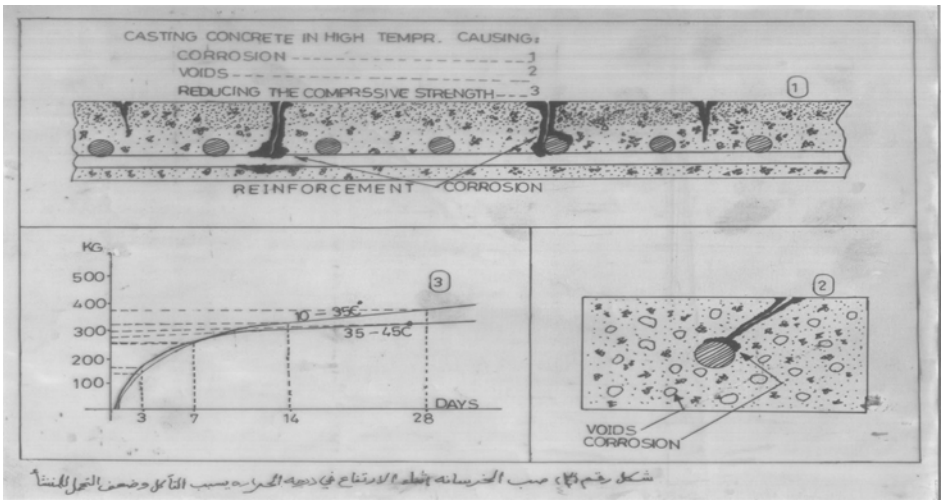
1. عدم كفاية الدراسة الأولية في التصميم الإنشائي للمنشأة ، وعدم إتباع المواصـفات القياسـية لتصميم وتنفيذ الخرسانة المسلحة خصوصا في حساب الأحمال المعرض لها المبنى و عـدم اختيار نظام إنشائي لنقل الأحمال بطريقة صحيحة أو على الأقل من نـسبة حديـد التـسليح، وإهمال الظروف المحيطة بالمنشأ، مثل منسوب المياه الجوفية ووجود الأملاح في التربة.
2. إهمال في طريقة التنفيذ في كامل أجزاء المنشأ مثل تـصميم الخلطـات الخرسـانية وعـدم استعمال المعدات الصحيحة في خلط وصب ودك الخلطة الخرسانية و قلة كفاءة الشده الخشبية وإهمال اختبار الجودة للخرسانة مثل: slump test وقلة كفاءة الشدة الخشبية أو فكها قبـل وصول مقاومة الخرسانة إلى مستوى مناسب وإهمال معالجة فواصل الصب أو إهمال الغطاء الخرساني المناسب حسب أجزاء المنشأ .
3. قصور وإهمال في مكونات الخرسانة مثل استعمال حصويات خير متدرجة وتحتـوي علـى أملاح ومواد عضوية، واستعمال اسمنت غير معروف المصدر منتهي الصلاحية، ثم استعمال مياه غير صالحة للخلطات أو وجود المياه في براميل بها زيوت وشحوم ومواد عضوية.
4. إهمال في عزل الماء والرطوبة حيث إن الإهمال في الأسطح و دورات المياه والأساسات عند ارتفاع منسوب المياه الجوفية ثم احتوائها على نسبة عالية من الكلوريدات أو الأملاح الضارة التي تتسرب بواسطة الخاصية الشعرية إلى داخل الخرسانة ثم تصل إلى حديد التسليح فيتسبب تآكل بدرجة عالية و عدم تماسك الغطاء الخرساني في المنشأ خاصة في الأساسات .

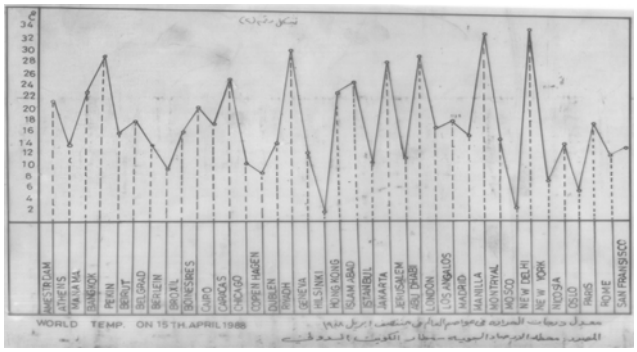
شكل (5) تآكل بفعل الخاصية الشعرية

5. هناك مؤثرات تؤثر سلبا على المنشأ لم تؤخذ في الحسبان عند التصميم مثل وجود الغـازات الضارة الموجودة بكثرة في الاجواء الصناعية أو تلف الأرضيات من جراء استخدام المـواد

الكيماوية في المختبرات ومصانع الاسمدة والبتروكيماويات ، أو تعـرض المنـشأ للـزلازل والاهتزاز الأرضي نتيجة لوجود المنشأ بالقرب من محطة و خطوط السكك الحديدية

6. الصب في درجات الحرارة العالية يؤدي إلى تشقق في الخرسانة و تكوين فجـوات هوائيـة داخل الخرسانة .Ref. 5





شكل (6) صب الخرسانة في درجات الحرارة العالية يضعف الخرسانة و يزيد من التشقق

ثانيا : التآكل في المنشآت المعدنية:

- **التآكل في خزانات وخطوط نقل وتوزيع المياه وآثاره السلبية على مياه الشرب:**

يعتبر التآكل في خزانات وخطوط نقل وتوزيع المياه من أهم المشكلات التي تؤرق المهندسين والعاملين في حقل التشغيل وتوزيع ونقل وتخزين المياه ، حيث أن هذه المشكلة أصبحت عالمية وملحة تتطلب البحث عن حلول جذرية لخفض نسبة الخسائر في المنشآت التي تتعرض لمختلف المؤثرات. وعملية التآكل هذه تحدث في أجزاء المنشآت وتزداد ببطء شديد ثم تبدأ بنهش الأجزاء المختلفة، مثل صعود الكره أعلى الجبل ثم تدحرجها عكسيا إلى أسفل ، وهو ما ينتج عنه تصدع مفاجئ وخسائر كبيرة.

ورغم البحث عن الحلول المناسبة لتجنب حدوث التآكل بدأ متأخرا ، إلا أن نتائج الابحاث التي تمت في هذا الحقل أدت إلى نتائج ايجابية تمكنت من إطالة عمر المنشآت ، ومنها خزانات المياه وخطوط نقل وتوزيع المياه وتحسين أدائها وتشغيلها وحمايتها بصورة دائمة ومن ثم الانتفاع بأقصى قدر منها و تجنب تلف أجزائها أو حدوث أخطار مفاجئة تلغي الدور الرئيسي للمنشأ.

ورغم أن التآكل في المواد المصنعة منها خزانات وخطوط نقل و توزيع المياه خاصة المعدنية منها هي ظاهرة طبيعية معقدة ، إلا أنها تؤثر سلبا على صلاحية المياه و نسبة الحموضة فيها بسبب وجود الأملاح والاكاسيد المذابة في الماء ، أثناء عملية إنتاج و تخزين ثم نقل المياه إلى الاستهلاك ، ويزيد من تلك التأثيرات السلبية حدوث الطاقة الناتجة عن ضخ المياه في شبكات التوزيع حيث تتولد هذه الطاقة من الملامسة والاحتكاك بحواف وجوانب خطوط المياه خاصة عند الوصلات المختلفة مثل الاكواع والمحابس بكافة أشكالها ، وحدوث الطاقة في هذا الوسط يولد أبخرة مائية و تيار كهروكيميائي Electrochemical current يزيد من حدوث التآكل خاصة في خطوط المياه المصنوعة من الحديد وأنواعه المختلفة بنسب متفاوته:

1. الحديد الزهر Cast Iron
2. الحديد المطاوع Wrought Iron
3. الحديد المجلفن Galvanized Iron
4. الحديد الصلب المرن Ductile Iron
5. الحديد الفولاذي الصلب Stainless Steel

ولمعرفة الحالة الطبيعية للحديد و كيفية حدوث التآكل فيه عن غيره من المعادن بسهولة نعود إلى مكونات هذا المعدن ، حيث أنه خليط من خام الحديد و الكربون بنسب متفاوتة وتزداد صلابة الحديد وتقل حسب هذه النسبة نتيجة اختلاط و تأثر هذه المكونات ببعضها ، إذا في هذه الحالة

يتوفر المعدن بحالتين هما مادة الحديد نفسها الخالصة ثم مادة الحديد مع الكربون وهي ما تـسمى كربيد الحديد "Fe_3c " الناتجة من تفاعل الحديد مع الكربون، و يتوزع كربيد الحديد هذا بـشكل شرائح ميكروسكوبية دقيقة جدا بداخل معدن الحديد أو مكونات أخرى، وتتمايز مكونـات هـذه المادة حسب تجانس كمية الكربيد بها لكي تحدد مدى صلابة الحديد [1] ، ومن ثم تحديد مواصفاته وصلاحيته للاستعمال في أي منشأ حيث يتم تسخينه أو تبريده حسب الحاجة للسيطرة على نـسبة الكربون فيها ، وهي التي تحدد خواص الحديد الميكانيكية والتشغيلية ودرجة الصلابة ، ويؤخـذ في الاعتبار مقاومة هذه المادة للتآكل عند الدراسة الأولية للمنشأ.

لهذا السبب يدخل الكربون في خواص الكثير من المعادن ويحدد مميزاتها ومواصفاتها سـواء كانت سبائك حديد فقط أو خليط ممن مواد مضافة إلى خام الحديد فتكون أما متجانـسة أو غيـر متجانسة ، حتى تكتسب الصلابة المطلوبة للتشغيل كيفما يراد بها .

كيفية حدوث التآكل في خطوط نقل و توزيع المياه :

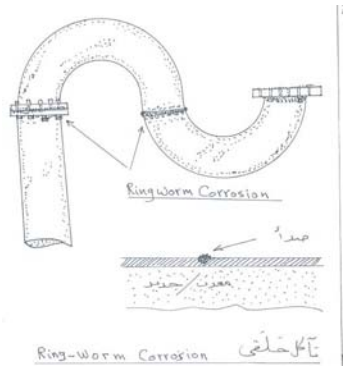
عند ضخ المياه في شبكات التوزيع و حدوث الطاقة الناتجة عن الاحتكاك المباشر أثناء التشغيل ، يتولد في هذا الوسط أبخرة مائية و تيار كهروكيميائي وتحدث دورة كهربائيـة كاملـة تمر بثلاثة مراحل :

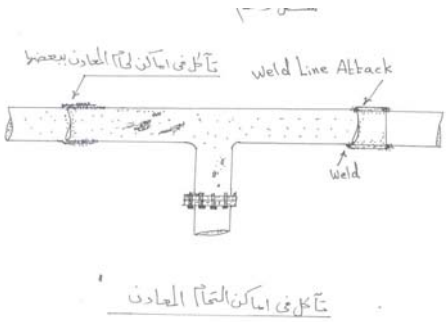
أولا : الأنود Anode :

وهو الجزء البارز من المعدن الذي يتآكل وتتم فيه عملية التحول الكيميائي إلى أيونـات سالبة وموجبة positively charged ions ، وهذا الفقد من الايونات يترك آثارا مختلفة تكون النتيجة:

$$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$$

تسمى هذه العملية الأكسدة Oxidation وهي التي تسبب خسارة في الالكترونات لأن ايون الحديد يتحول إلى حالة الذوبان ، أما الالكترونان الاثنين الآخران يتحولان إلى صلب المادة نفسها بدون خسارة ، فهذا الفقد من الايونات يكون المؤثر الفاعل في بداية عملية التآكل.





شكل (7) التآكل في أماكن التحام المعادن

ثانيا : الكاثود Cathode:

وهو الجزء الظاهر من المعدن الغير متآكل !! لكنه طرف رئيسي في عملية التفاعل[3] الكيميائي المسبب للتآكل ، لأن الالكترونات المتبقية من انحلال الحديد خلال حركة الانود بداخل المعدن وباتجاه الكاثود تعمل عملية اختزال مباشرة في وجود المياه المكونة بفعل الأبخرة المائية والرطوبة المحيطة. هذا الاستهلاك الفعلي للالكترونات يحدث تفاعل سلبي على مكونات المعدن بحيث يكون التأثير فعالا في الأسطح الخارجية و يصبح عرضة للتآكل كما هو ظاهر :

$$\underset{\text{Hydrogen Ions}}{2H^+} + \underset{\text{Electrons}}{2e^-} \longrightarrow \underset{\text{Hydrogen gas}}{2H_2}\uparrow$$

وفي حالة و جود غاز الأكسجين يسرع عملية اختزال بالشكل التالي :

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2O$$
$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow 4OH^-$$

وطالما أن غالبية خزانات المياه وشبكات وخطوط نقل وتوزيع المياه مصنعة من الحديد، وهو الذي يحتوي على نسب متفاوتة من ذرات الحديد والكربون ، فأن وجود هذه الذرات في حالة تحلل بسبب ظروف متفاوتة من الحرارة والرطوبة والطاقة الناتجة أثناء التشغيل و ضخ المياه في الخطوط يتكون لدينا عنصرين أساسيين هما الحديد في حالة تفكك مع الكربون ثم كربيد الحديد Fe_3c ، فيكون ناتج التفاعل موزعا تلقائيا من خلال ذرات المعدن نفسه ، لذا تكون قابليته للذوبان في الماء والانحلال في وجود الأكسجين ناتجة عن الضغط ودرجة الحرارة .

ثالثا : وجود الأملاح في الماء :

يساعد وجود أملاح متعددة بنسب متفاوتة مذابة في الماء بحيث يكون الأكـسجين هـذه الحالة مختلف عنه في الحالات العادية ويظهر ذلك من خلال تذوق عينات مختلفة مـن المـاء الصالح للشرب، مثل المياه الجوفية، ومياه الأمطار، والأنهار والينابيع والبرك والمياه الناتجة من تحليه مياه البحر . يظهر ذلك عند تفاعل الآنود :

$$Fe \longrightarrow Fe^{++} + 2e^{-}$$

وكذلك تفاعل الكاثود :

$$O_2 + 2H_2O + 4\,e^{-} \longrightarrow 4OH^{-}$$

عندها يحدث ذوبان ثاني أكسيد الكربون في الماء مكونا حمض الكربونيك يزيد مـن حموضـة الماء PH وهو الذي يؤثر على درجة صلاحية الماء للشرب.

$$\underset{\text{Carbon Doxide}}{CO_2} + \underset{\text{Water}}{H_2O} \longrightarrow \underset{\text{Carbonic acide}}{H_2CO_3}$$

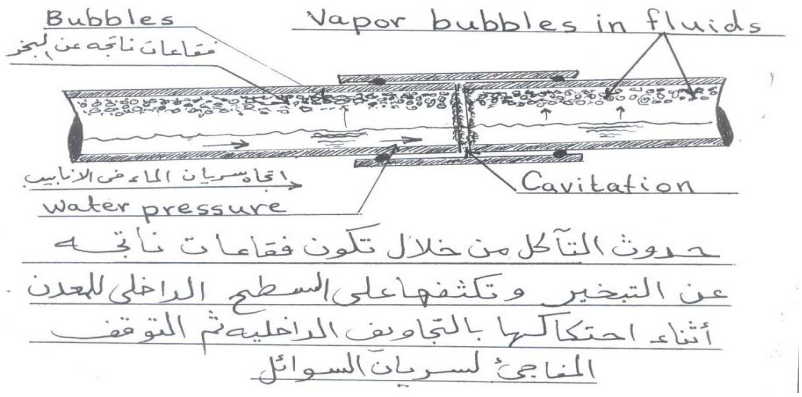
$$\underset{\text{Iron}}{Fe} + \underset{\text{Carbon acid}}{H_2CO_3} \longrightarrow \underset{\text{Iron Carbonate}}{FeCO_3} + \underset{\text{Hydrogen}}{H_2}$$

(corrosion products)

إن زيادة نسبة ايون الهيدروجين في الوسط المعرض للتآكل خاصة الحديد الذي يحتوي على نسبة عالية من الكربون أو ما يسمى بالحديد ذي المقاومة الضعيفة Low strength steel تحدث بثور أو قروح في الأجزاء السفلية من جدران الخزانات تظهر بوضوح لـدى الفحـص الدقيق وهذه القروح تظهر في خطوط توزيع المياه بسبب وجود الضغوط الكافية فيها مع ظروف تولد الطاقة الناتجة عن الاحتكاك بين الماء والأسطح الداخلية لخطـوط توزيـع الميـاه وحـول الفواصل والتوصيلات وأماكن اتصال القطع ببعضها البعض مثـل الاكـواع والمحـابس علـى اختلاف أنواعها ، وعند تثبيتها بمختلف الطرق والوسائل المستخدمة في التثبيت.

التآكل الميكروبي: (MIC (Microbial Influenced Corrosion

يحدث التآكل الميكروبي في خطوط وشبكات توزيع المياه عند ضخ المياه عبر الأنابيـب، فتدخل أنواع مختلفة من البكتيريا عبر الفتحات المختلفة مصحوبة برواسب و شوائب تترسب على جوانب الفتحات والمحابس Gate Valves مكونة أحمـاض عـضوية Organic Acids تسرع حدوث التآكل مكونة نُقر أو حفر في السطح الداخلي فتكون بيئة مناسبة لنشاط الميكروبات التي لا تظهر إلا في التحليل المخبري ويسمى هذا التآكل الميكروبي الذي يحدث غالبا في خطوط المياه و الغاز والصرف الصحي.



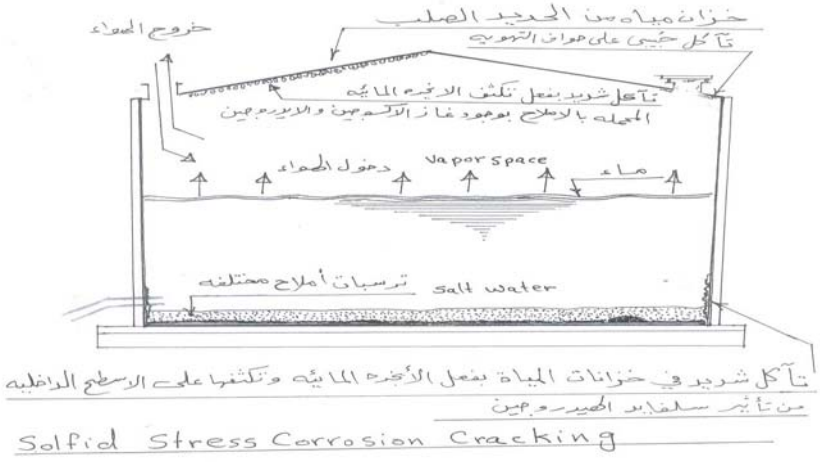
شكل (8) تآكل ميكروبي في خطوط المياه

وكما يحدث التآكل في الخطوط والتوصيلات فانه يتم أيضا في محطات ضـخ الميـاه والخزانات التي تستخدم في تخفيف الضغط على الخطوط الرئيـسيةBreak Pressure Tanks خاصة إذا كانت تثبت البراغي ويتم تركيبها وتثبيتها بالتدريج حـسب طـرق التـصنيع Steel Bolted Tanks حيث تحدث حركة ميكانيكية أثناء التعبئة والتفريغ تؤثر علـى تـرابط قطـع الخزان ببعضها وتكون الفرص مناسبة لتسرب المياه leakage خارج الخزان مما يـؤدي إلـى تكون وسط مناسب للتآكل من الخارج وتلوث المياه من الداخل عنـد اسـتمرار عمليـة التعبئـة والتفريغ و هذه الخزانات تتعرض دائما إلى عوامـل التعريـة Erosion Corrosion تظهـر مؤثراتها خارج الخزانات بشكل بثور وندوب ظاهرة و خفية وفي حالة هبـوب ريـاح شـديدة مصحوبة بأبخرة مائية محملة بالأملاح والكلوريدات خاصة في المناطق ذات التربـة الـصبخة القريبة من السواحل البحرية والمعرضة إلى عواصف رملية طينية متواترة تـزداد فـي حالـة التصادم مع المعدن خاصة الأسطح الخارجية ، ويشاهد هذا في حالة وجود أحد جوانب الخـزان

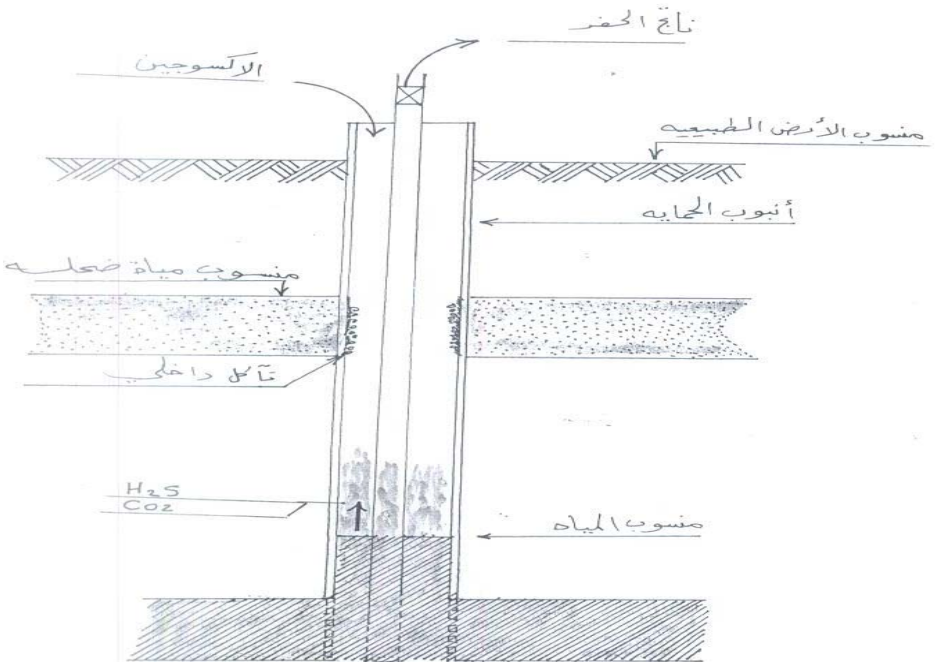
مقابل تيار هوائي كثيف من طرف واحد دون حدوثه في الجوانب الأخرى المحمية ببعض الموانع كالأشجار والمنشآت المجاورة له .

هناك تجاويف Cavitations تحدث من تكثف و تكون الأبخرة المائيـة علـى شـكل فقاعات Bubbles بأشكال مختلفة تختلف باختلاف مقدار الضغط الداخلي للمياه بداخل خطـوط المياه أيضا في حال تواتر ضخ المياه بالزيادة أو التوقف المفاجئ ، تلعـب دورا رئيـسيا فـي حدوث التآكل الداخلي ويشاهد بوضوح في توصيلات مضخات المياه ذات القدرات العالية .

هناك تآكل يحدث بشكل حبيبي Intergranuler Corrosion يظهـر علـى حـواف وفتحات خطوط المياه والخزانات وبشكل رئيسي في الفتحات العلويـة للتهويـة Vent Pipes حيث يحدث تكثيف كبير على الجوانب الداخلية لها وهذا التكثيف المحمـل بـالأبخرة المائيـة، وتتفاعل مع ما يترسب على الحواف الداخلية للفتحات المذكورة من غبار وأتربة وأوساخ تكـون هي مصدرا للأملاح التي تعجل من تحللها، وفي نفس الوقت تظهر تعاويج دقيقة جدا تزداد يومـا بعد يوم في حالة تحولها إلى حبيبات صدأ تتساقط داخل الخزان فتزيد من التلوث وعدم صلاحية الماء للشرب وتزيد حموضة الماء أيضا، ويمثل هذا ضررا بليغا على مستخدمي هذه الخزانـات ومستعملي المياه المخزنة فيها سواء للاستخدام الآدمي أو الصناعي .Ref . 6



شكل (9) تآكل في الخزانات المعدنية بفعل الأبخرة المائية



شكل (10) تآكل في آبار المياه الجوفية لوجود الأملاح (أملاح السالفايد)

وجود السلفايد بمختلف مركباته أيضا وخاصة إذا كانت المياه مشبعة بالأملاح مثل المياه الجوفية، مياه الإمطار، مياه الأنهار والينابيع تؤثر سلبا وتحدث تآكل Sulfide Stress Corrosion ناتج عن الحركة الميكانيكية أثناء التشغيل أيضا ينتج منها سلفايد الهيدروجين الخي يساعد في تحلل مكونات المعدن الحديدي للخزان على المدى البعيد. ولا يقتصر ذلك على الخزان نفسه بل في أجزاء الوصلات المثبتة على خطوط التغذية والتفريغ.

النتيجة: Result

إن وقاية المنشآت الخرسانية وحفظها من التآكل هو حفاظ لأمن المواطن و الحفاظ على ثروتنا الوطنية لذا يجب:

1. ضبط جودة المواد المستخدمة وأساليب البناء واستخدام العمالة الفنية الماهرة والمدربة من أجل الوصول إلى نتائج جيدة تحقق الأمان والاقتصاد للمنشأ والتنفيذ حسب المواصفات التصميمية.

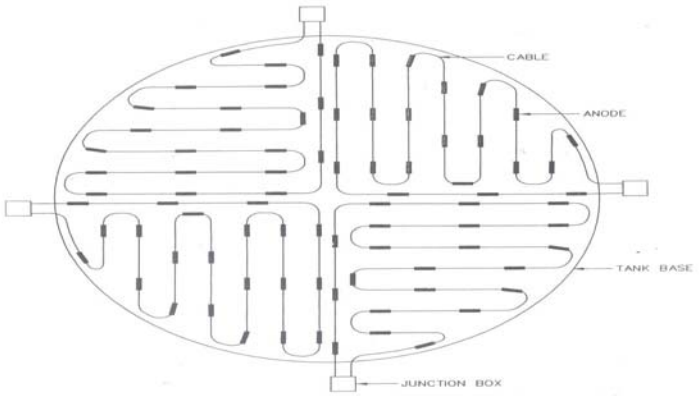
2. تجنب حدوث تشقق في الخرسانة التي تحدث نتيجة لعدة ظروف معقدة تتعـرض لهـا بعـد الصب مباشرة بساعات ثم بعد التصلب وأثناء تشغيل المنشأ.
3. استخدام إضافات لتقوية وحماية الخرسانة Additives وهي مواد تضاف إلى الخرسانة أثناء الخلط مباشرة وذلك لإعطاء الخرسانة خواص معينة أما لتسريع التصلب أو لإبطاء التـصلب بحيث أن لا تزيد من تكاليف الخرسانة ولا تغير من النسب المكونة للخلطـة وتـؤدي إلـى تحسين قابلية التشغيل والمحافظة على درجة حرارة الخلطة الخرسانية وتقليل النفاذية.
4. صيانة أجزاء المنشأ الخرسانية المعرضة للتشقق ومعالجة الشقوق والشروخ الشعرية النافـذة بالدهان عدة أوجه بمواد ذات لزوجة منخفضة مثل المواد الايبوكسية التـي تتـسرب داخـل الشقوق الشعرية بحيث يجب أن يكون سطح الخرسانة جافا تماما ونظيف من أجزاء الخرسانة الضعيفة وممكن معالجة الشقوق الغائرة في الخرسانة بالحقن حيث تحقن مواد لزجة بمكـبس خاص داخل الخرسانة تقوم بمليء الفراغ والشروخ الداخلية مهما كانت غائرة ويتم ذلك فـي حال خزانات المياه الخرسانية التي بها شقوق.

التوصيات: Recommendations

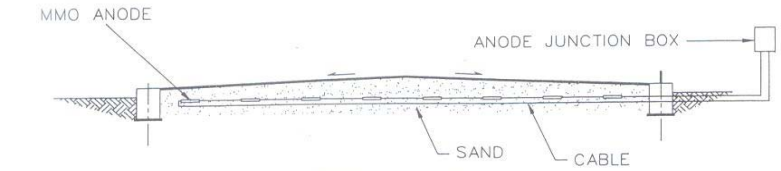
بعد تشخيص الحالات المختلفة التي تسبب التآكل ومعرفة أسباب و كيفية حدوثه نحتاج إلى:

1. ضرورة استخدام الاسمنت المقاوم للأملاح " sulfate Resistant Cement " S.R.S فـي الأجزاء الأرضية من المنشآت المعرضة بشكل دائم للرطوبة والأملاح والكلوريدات المذابـة في التربة والمياه الجوفية أو الأجزاء من المنشآت البحرية التي تتعـرض للأبخـرة المائيـة المحملة بالرطوبة .
2. استخدام الخرسانة الناعمة Fair-Face Concrete في الأجزاء الأرضـية مـن المنـشآت والمواجهة للحرارة والرطوبة خاصة الأبنية المقابلة للشواطئ وذلك لتفادي حدوث التـشقق أو الإقلال منه وتوفير الغطاء المناسب لحديد التسليح ثم استخدام الإضافات إلى الخرسانة عنـد الصب لتلائم الظروف البيئية وتحسن الخواص أثناء الصب سواء في المناخ الحار أو البارد.
3. ضرورة توفير مختبر لفحص مواد الإنشاءات قبل وأثناء وبعد صب الخرسانة واختيار المواد الإنشائية ذات المواصفات الجيدة والتأكد من صلاحيتها للاستخدام.

4. اختيار الكوادر الفنية الماهرة ذات الكفائة العالية وذلك لضمان التنفيذ الجيد بدون أخطاء ومتاعب وحوادث في موقع العمل مثل مشاجرات العمال وسقوط العمال من الأماكن العالية وحرائق الموقع وهروب المقاول وكفائة العمال لديه ثم إمكانيات المقاول والمعدات التي يستخدمها في العمل.
5. الاهتمام بترسية العطائات على المقاولين ذات الخبرات العالية والقدرة المناسبة لحجم المشروع.
6. استخدام مواسير المياه ذات التكسية الداخلية Internal Lining وهي في الغالب من الحديد الصلب المرن Ductile Iron وذلك لتحملها لكافة الظروف البيئية والمناخية ومقاومتها للتآكل بسبب تكسيتها من الخارج بطبقه واقية للتأثيرات الخارجية وتتحمل الضغوط الكبيرة.
7. عدم استخدام مواسير مياه رديئة حيث يتوفر في الأسواق أنواع مختلفة من المواسير ومميزات جيدة لكن قطعها وتوصيلاتها لا تتوفر بصورة كافية لجميع متطلبات العمل ولها مساوئ كثيرة.
8. استخدام خزانات المياه من نوع G.R.P. Glass Reinforcment Plastic وهي لا تتأثر بالأبخرة المائية ولا تنحل مكوناتها بفعل الحرارة أو الرطوبة.
9. طلاء الخزانات الخراسانية من الداخل بطبقة G.R.P وهي تعمل على حماية الخرسانة وتأمين عدم نفاذية الماء خلالها.
10. عمل حماية كاثودية لقواعد الخزانات المعدنية في حال إنشائها ، وذلك لتفريغ الشحنة السالبة عند حدوثها في مادة الخزان أثناء التشغيل.



TYPICAL ANODE LAYOUT – LARGE TANK BASE (SCHEMATIC)
FIG 2.2



شكل (11) الحماية الكاثودية لخزانات المياه المعدنية

11. استخدام نيترات الكالسيوم في الخرسانة ذات التأثير الفعال في منع حدوث التآكل عند إضافتها للخرسانة يتكون راسب في الوسط القلوي لا يذوب فيعمل على سد مسام الخرسانة ويمنع امتصاص الماء بالخاصية الشعرية وتكون الإضافة بنسبة 2% من وزن الاسمنت وكلما زادت مقاومة الخرسانة كلما كانت إضافة نيتريت الكالسيوم أكثر فعالية.
12. استخدام الأجزاء المسبقة الإجهاد في الأجزاء التي تتعرض لأحمال كبيرة مثل الجسور والكباري والمنشآت البحرية لتلائم التغير الناتج عن الحمولات الحية والميتة أثناء تشغيل المنشأة خاصة في عنابر الصناعة حيث توجد رافعات ضخمة.
13. التركيز على استخدام المواد العازلة للرطوبة والحرارة والتي لا تتأثر بالظروف المناخية المختلفة وتناسب أجزاء المنشأة المختلفة سواء خرسانية أو معدنية حيث إن لكل ما يناسبه وعدم التهاون في اختيار المواد العازلة ذات المواصفات العالمية وتناسب مناخ المنشأ.
14. استخدام حديد ذات مواصفات عالية ومقاومة للتآكل لأبراج الضغط العالي والكهرباء والمخازن.

المراجع:

أولاً: المراجع العربية:

1. خواص المواد الإنشائية و اختبارها.
2. محمد راتب سطاس، كلية الهندسة، جامعة دمشق 1975- 1976.
3. دراسة حول العيوب التي تهدد سلامة المنشآت.
4. محمد عبد العزيز صبيح، دائرة الخدمات الاجتماعية والمباني التجارية ، قسم المشروعات، 1995، أبو ظبي، دولة الإمارات العربية المتحدة.

ثانياً: المراجع الأجنبية:

1. Microbially Influenced Corrosion.
2.Environmentally Acceptable Methods Control Pipeline Corrosion " by : Rames R.Frank and Michel Enzien , May 1997 . USA
3.Cathodic Protection Of Steel and Concrete " . by :
William H.Hartt. . Department Ocean Engineering . Florida Atlantic Uneversity . Boca Raton , Florida 33431.1977. USA
4. " Michanism of Corrosion Of Steel in Concrete ".
Carl E.Lock ." University of Oklahoma , Oklahoma , 73019.1978 . USA
5. ACTEL . Activated Titanum Electrods Limited .
P.O. box 889 Chippengham . U.K.

الأشكال: