

الباب الثانى
التآكل فى خطوط
نقل وتوزيع المياه

الفهرس

الصفحات	الموضوعات	البنود
١٠٢	مقدمة	
١٠٣	التآكل الكهروكيميائي	١
١٢٠	التآكل الجلفنى	٢
١٢١	التآكل فى خلية التركيز	٣
١٢٢	عوامل تنشيط التآكل فى السبائك المعدنية	٤
١٢٤	التآكل الثقبى	٥
١٢٥	التآكل الجوى	٦
١٢٥	التآكل فى التربة	٧
١٤٠	التآكل بفعل التيارات الكهربية الشاردة	٨
١٤٤	التآكل بفعل العوامل الميكانيكية	٩
١٤٥	التآكل البيولوجى والكبرىتى	١٠
١٥٢	عوامل تنشيط التآكل الداخلى للمواسير	١١
١٥٦	طرق قياس التآكل	١٢

مقدمة

تعريف التآكل:

التآكل هو التلف أو التغير في خصائص المادة نتيجة التفاعل مع المجال الملاصق.

وفي مجال المياه فإن المادة يمكن أن تكون ماسورة معدنية أو أسمنتية أما في المجال الملاصق فإنه المياه في داخل الماسورة أو خارجها.

التآكل يحدث لجميع المواد المعدنية بدرجات متفاوتة وأكثر المعادن مقاومة للتآكل هي المعادن الثمينة (الذهب، البلاتين، الفضة)، تآكل المعادن أو صدأ المعادن هو محاولة المعدن العودة الى خاماته الطبيعية التي أنتج منها عند تعرضه للمجال المائي أو رطوبة التربة أو الهواء. مثال ذلك تآكل معدن الحديد وتحوله الى اكسيد الحديد (الصدأ) وهذا المركب هو مركب خام الحديد الذي يسمى الهيماتيت. المياه سواء الملاصقة لسطح المعدن أو في التربة أو الهواء هي التي تسبب التآكل. ولتحديد خصائص المياه التي تسبب التآكل فإن الإجابة السليمة أن جميعها تسبب التآكل بنسب تعتمد على خصائصها الطبيعية والكيميائية وكذلك على طبيعة مادة الصنع للمواسير.

فمثلا المياه التي تكون عدوانية لماسورة من الحديد المجلفن قد لا تكون عدوانية لماسورة من النحاس.

التآكل يحدث نتيجة عوامل طبيعية وكيميائية وبيولوجية وكهروكيميائية للمواسير المعدنية أساسا وكذلك للمواسير الخرسانية المسلحة الخرسانية سابقة الإجهاد لوجود معدن الحديد في تسليح هذه المواسير. أما المواسير من المواد الخرسانية والبطانة من المونة الأسمنتية لمواسير الزهر أو الصلب ومواسير الأسبستوس الأسمنتية فإنها معرضة للتآكل الكيميائي أساسا حيث يتوقف معدل التآكل على الرقم الهيدروجيني للماء الملاصق أو التربة الملاصقة وكذلك على نوع الأسمت المستخدم في صناعة المواسير.

التآكل يحدث داخل المواسير أو خارجها.

١- نظرية التآكل الكهروكيميائي

أ- تعريف التآكل الكهروكيميائي

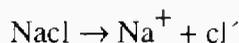
Electro Chemical Corrosion

التآكل الكهروكيميائي هو الشكل الرئيسي لتآكل المعادن ومن عوامل تنشيطه الظروف الطبيعية والكيميائية والبيولوجية والكهروكيميائية للمجال الملاصق الداخلي أو الخارجي (بالنسبة للمواسير) وكذلك طبيعة المعدن المعرض.

ولتوضيح طبيعة التآكل الكهروكيميائي للمعادن ونظرا لأن الماء (سواء داخل الماسورة أو في التربة أو في الهواء) هي السبب الرئيسي لحدوث التآكل في المعادن. لذلك يلزم الإشارة الى طبيعة المياه.

في الماء يذوب تقريبا كل الأملاح إلى درجة ما، وتتراوح الإذابة ما بين أقل من القليل الى تركيزات عالية تزيد على تركيز الملح في مياه البحر. عند إذابة الأملاح في الماء فإنها تنفصل الى نوعين من الأيونات وهما الكاتأيونات (Cations) والآن أيونات (Anions) التي لها شحنات كهربية متضادة وتنفصل من نفسها بالماء نفسه.

مثال: في حالة كلوريد الصوديوم المذاب في الماء يكون شكل الأيونات كالاتي:



كاتأيونات الصوديوم موجبة الشحنة وأن أيونات الكلورسالبه الشحنة.

هذه الأيونات التي توفر القدرة للماء على توصيل التيار الكهربى.

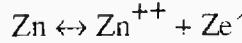
وذلك لأنها تعمل على تحول الماء (H₂O) الى كاتأيونات الهيدروجين الموجبة (H⁺) وأن أيونات الأيدروكيد السالبة (OH⁻).



المياه المقطرة بها أيونات أملاح قليلة جدا نسبيا لذلك فإن ٠,٠٠٠١ فى المائه من الماء تنفصل فقط الى كاتأيونات الهيدروجين وأن أيونات الأيدروكيد. بما يجعل المياه المقطره

الخالية من الأملاح المذابة لها قدرة صغيرة جدا على حمل التيار الكهربى وبالتالي القدرة المنخفضة جدا على توصيل التيار الكهربى. ولذلك فعند إذابة الأملاح فى الماء فإن الأيونات الناتجة تعمل على التوصيل اللازم لحدوث تيار التآكل، حيث تتجه الكاتأيونات الموجبه الى قطب الكاثود السالب والآن أيونات السالبه الى قطب الأنود الموجب.

عند وضع معدن فى ماء به أملاح مذابه يسمى الماء عندئذ الإليكتروليت (Electrolyte). عند سطح التلامس للمعدن مع الماء يحدث فرق فى الجهد ما بين الإليكتروليت وسطح المعدن الملامس. وفرق الجهد هو نتيجة محاولة المعدن التحول الى حالة الإتزان مع الإليكتروليت (Equilibrium). ويمكن توضيح ذلك عند وضع قطعة من الزنك فى الماء شكل (٤٣)، الزنك معدن يميل بشده الى الذوبان فى الماء ولهذا يعطى أيونات الزنك (Zn^{++}) والتي تظل قريبا من سطح المعدن



وكذلك الإليكترونات المنطلقة ولهذا فإن شريحة الزنك تكون سالبة بالنسبة للماء. وتقريبا يمكن إعتبار ذلك مكثف يحمل السالب والموجب فى طبقة مزدوجة سمكها حوالى (١٠^٧ سم) أى واحد نانوميتر وهذه الطبقة تسمى الطبقة الكهروكيميائية المزدوجة. فرق الجهد بين المعدن والإليكتروليت يكون كبيرا ويصل الى ٧١٠ فولت/ سم، حيث يكون جهد معدن الزنك سالب بالنسبة للماء المحتوى على أملاح مذابة (اليكتروليت) وبنفس الطريقة عند غمر شريحة من النحاس فى الماء (اليكتروليت) يكون له جهد موجب بالنسبة للماء شكل (٤٤) نظرا لأن النحاس قليل الميل الى التأين. وعموما عند وضع معدن فى ماء به املاح مذابة، عند سطح التلامس للمعدن مع الماء يحدث فرق فى الجهد بين الماء والمعدن. وفرق الجهد هذا هو نتيجة محاولة المعدن التحول الى حالة الاتزان مع اليكتروليت ويمكن توضيح ذلك بالمعادلة.



من هذه المعادلة يتضح أن المعدن يتآكل أو يذوب عندما يكون التفاعل فى اتجاه اليمين ويستمر هذا التفاعل حتى حدوث حالة الاتزان بين المعدن والإليكتروليت والذي يحتوى على أيونات المعدن. عند إتجاه التفاعل الى جهة اليمين تحدث الأكسده مع انتاج الإليكترونات

والتيار الناتج يسمى التيار الأنودي. وعند إتجاه التفاعل الى جهة اليسار فإن أيونات المعدن تختزل لاتحادها مع الإليكترونات والتيار الناتج في هذه الحالة يسمى التيار الكاثودي ولا يحدث تآكل. وهذه هي حالة الإتزان (Equilibrium). سرعة التفاعل الكهروكيميائي تتأثر بجهد المعدن.

ب- تعريف الأنود والكاثود:

الشكل (٤٣) يبين أن جهد معدن الزنك بالنسبة للماء سالب والشكل (٤٤) يبين أن جهد معدن النحاس بالنسبة للماء موجب. الشكل (٤٥- أ) يبين أنه في حالة توصيل معدني الزنك والنحاس المغمورين في الماء بموصل كهربى يصبح معدن الزنك الأنود ويتآكل ومعدن النحاس الكاثود ولا يتآكل ويتولد تيار كهربى نتيجة التفاعلات الكهروكيميائية وفي الشكل (٤٥- ب) حيث يتآكل معدن الزنك ولا يتآكل الجرافيت كما في البطارية الجافة والشكل (٤٦) يوضح جهد المعدن مقابل التيار الكهربى. المنحنى المتصل يوضح مجموع التيار الناتج بأكسده واختزال نصف التفاعلات. النتيجة أن التيار يساوى صفر عند تساوى جهد الأكسدة مع جهد الاختزال. الشكل (٤٧) يوضح صورة كمية لتوزيع الشحنة على سطح المعدن.

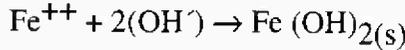
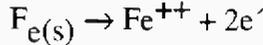
من هذا يتضح أن لكل معدن جهد يمكن قياسه مقارنة بالمجال المائى الملاصق وذلك بقطب عيارى (Standard Electrode) مثل قطب نحاس/ كبريتات نحاس أو قطب فضة/ كلوريد فضة. ونظرا لأن جهد المعدن يختلف طبقا لحالة المياه الملاصقة ورقمها الهيدروجينى (pH)، لذلك تم تعيين جهد المعادن المختلفة في مجال مائى واحد مقاسا بقطب عيارى. الشكل (٤٩) يوضح التسلسل في جهد المعادن في مياه الشرب والشكل (٤٨) التسلسل في جهد المعادن في مياه البحر، حيث القياس تم بواسطة قطب عيارى. من هذين الشكلين يتضح أن المعادن النفيسة (ذهب) بلاتين، فضة، لها أقل جهد وهى أقل نشاطا وهى كاثودية ولا تتآكل والمعادن الأخرى لها أكبر جهد وهى أكثر نشاطا وتتآكل.

الآنود هو القطب الذى يتحرك اليه الآن أيونات السالبة، الكاتأيونات الموجبه تتحرك في إتجاه الكاثود. الإليكترونات تنتقل من سطح الأنود خلال الموصل الكهربى الى سطح الكاثود

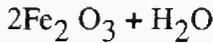
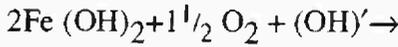
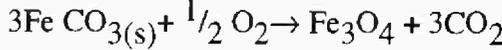
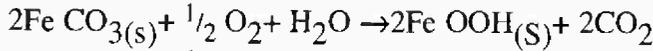
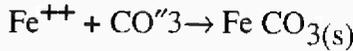
حيث تتفاعل مع الأيونات الموجبة مثل أيون الهيدروجين (H⁺). التيار الكهربى يسير عكس إتجاه تدفق الاليكترونات أى من الكاثود الى الأنود أشكال (٥٥-٥٠).

التفاعلات التى تحدث على سطح الأنود والكاثود:

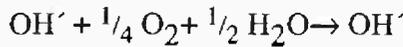
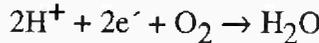
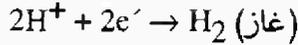
تفاعلات الأنود (معدن الحديد كمثال)



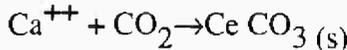
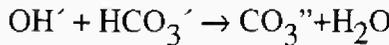
وقد تحدث التفاعلات التالية



وكذلك يوجد عند الكاثود كثير من التفاعلات منها عادة، هو جذب الإليكترونات بواسطة الأكسجين والهيدروجين



التفاعل الأخير يسبب إرتفاع فى الرقم الهيدروجينى قرب الكاثود ويعمل على تنشيط التفاعلات التالية:



الكربونات المرسية تحد من إستمرار تفاعلات التآكل كما أن تراكم غاز الهيدروجين عند الكاثود يوقف التآكل ومع وجود الاكسجين المذاب يتحول الى ماء ويستمر التآكل.

ج- خلية التآكل الكهروكيميائي:

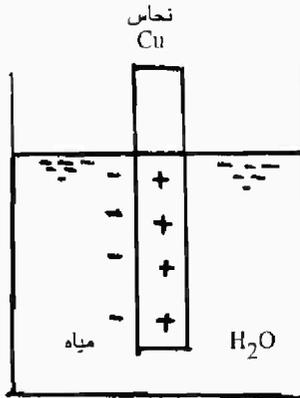
لحدوث التآكل في المعدن فإنه يلزم توفر خلية التآكل الكهروكيميائي

وهي تتكون من الأنود والكاثود وموصل كهربى بين الأنود والكاثود لانتقال الاليكترونات وعودة التيار الكهربى والسائل (الاليكتروليت) الذى يحمل الأيونات بين الأنود والكاثود.

الخلية الكهروكيميائية إذا كانت منتجة لطاقة كهربية مع إستنفاد طاقة كيميائية تسمى خلية جلفنية (Galvanic) أما إذا كانت تحصل على الطاقة الكهربائية من مصدر خارجى وتخزن طاقة كيميائية فإنها تسمى خلية اليكتروليتيية (Electrolytic Cell).

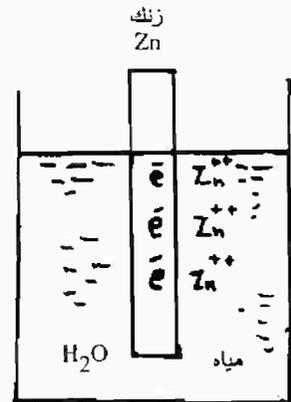
بعض الخلايا الجلفنيه يعطى لها أسماء مثل خلية التركيز (Concentration cell) وهى خلية جلفنية القطبين من نفس المعدن ولكن تركيز المالح المائى يختلف مما يجعل القطبين مختلفى الجهد كما أن المعدن نفسه يعمل كموصل كهربى بين القطبين وبهذا تكتمل مكونات الخلية الجلفنية. خلية التآكل هى خلية جلفنية.

خلية التآكل الصغيره جدا (١, ٠ مم) تسمى خلية محلية أو تسمى خلية ميكروجلفنية (Local cell or Microgalvanic Cell).



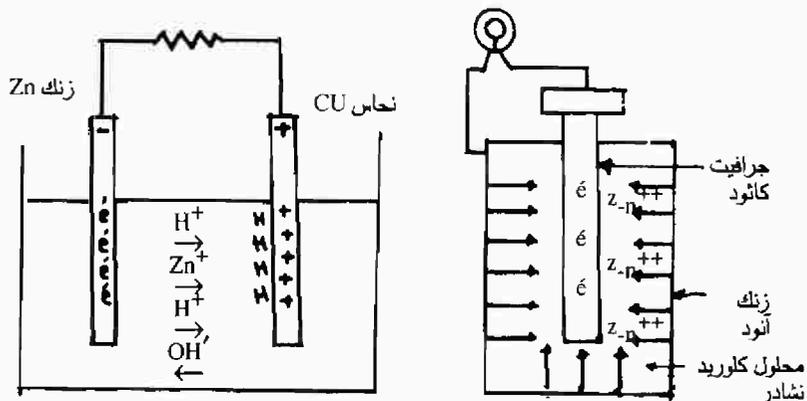
شكل (٤٤)

النحاس موجبة بالنسبة للماء

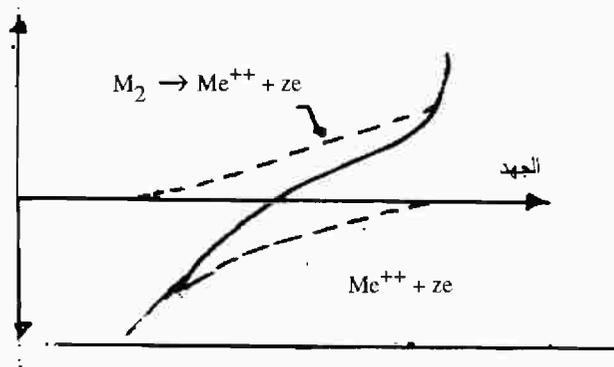


شكل (٤٣)

زنك سالبة بالنسبة للماء

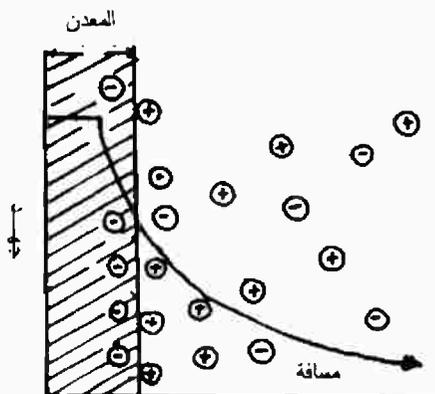


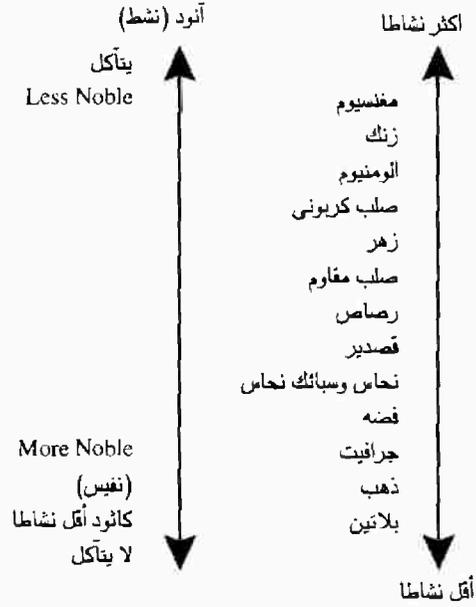
شكل (٤٥) حالات تدفق اليكترونات وأيونات وتوليد تيار كربي



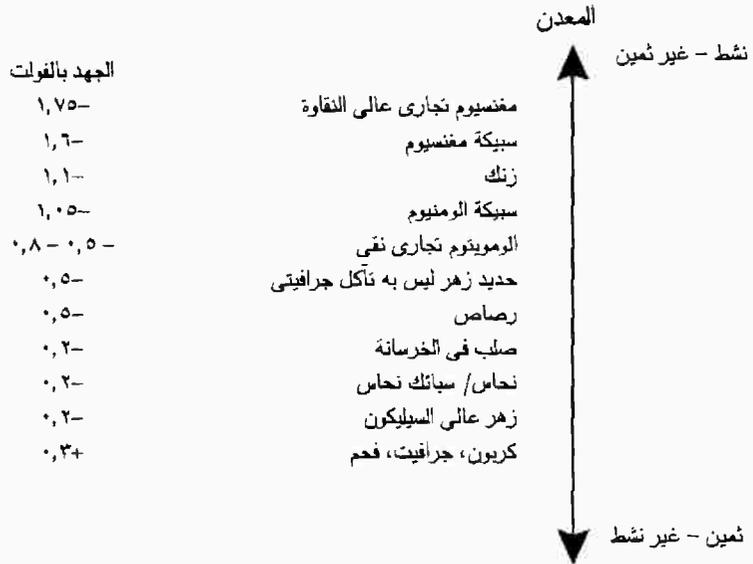
شكل (٤٦) الجهد مقابل التيار للتفاعل الكيميائي

شكل (٤٧) توزيع الجهد على سطح القطب المعدني



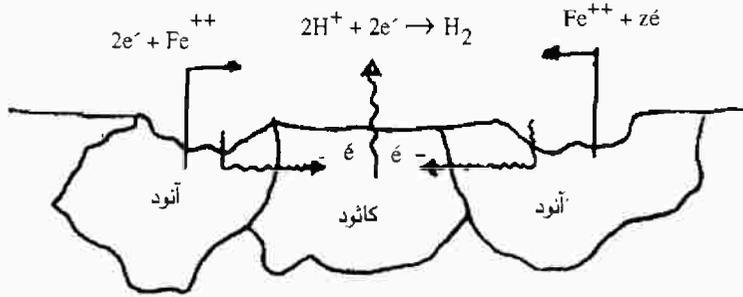


شكل (٤٨) التسلسل الجلفنى للمعادن فى مياه البحر مفاًس بقطب عيارى

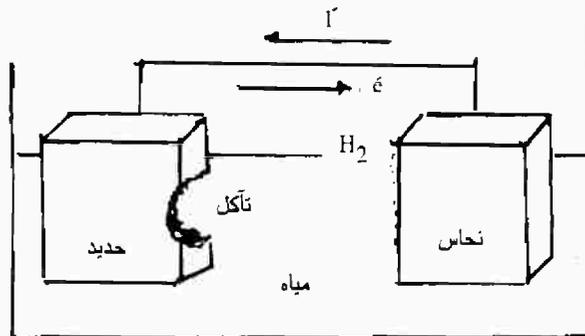


شكل (٤٩) التسلسل الجلفنى للمعادن فى مياه الشرب مفاًس بقطب عيارى (نحاس . كبريتات نحاس)

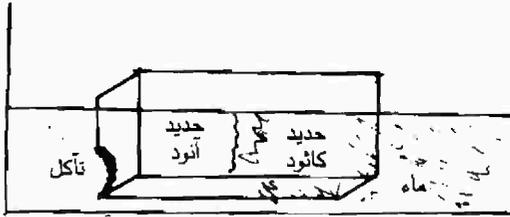
الخلايا المحلية أو الموضعية تحدث على السبائك ذات المحتوى المختلف من المعادن أو المحتوى على شوائب من الأكاسيد والكبريتيد والكربون.. الخ. الخلية الموضعية تؤدي الى تآكل موضعي مثل الثقوب (Pitting) أو التآكل الناتج عن التشقق بالإجهاد (Stress Corrosion Cracking)



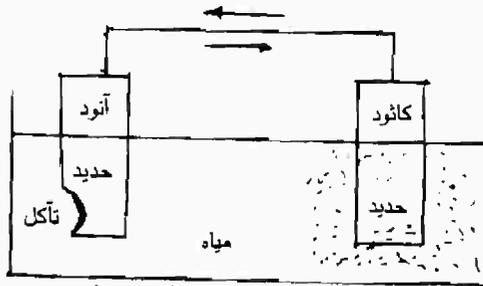
شكل (٥٠) تآكل الحديد في محلول حامضي



شكل (٥١) النحاس والحديد في الماء وبينهما موصل



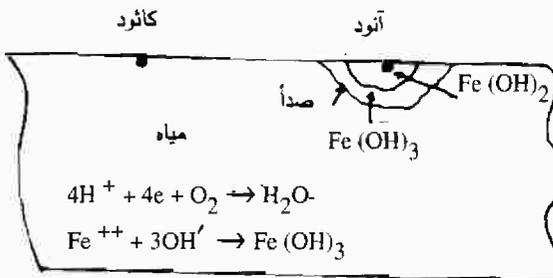
شكل (٥٢) حديد في الماء مختلف التركيز



شكل (٥٣) حديد في المياه الغير متجانسة



شكل (٥٤) تآكل موضعي للحديد



شكل (٥٥) تآكل للسطح الداخلي للماسورة

د - مخطط الجهد للمعدن - الرقم الهيدروجيني

Potential- pH Diagram

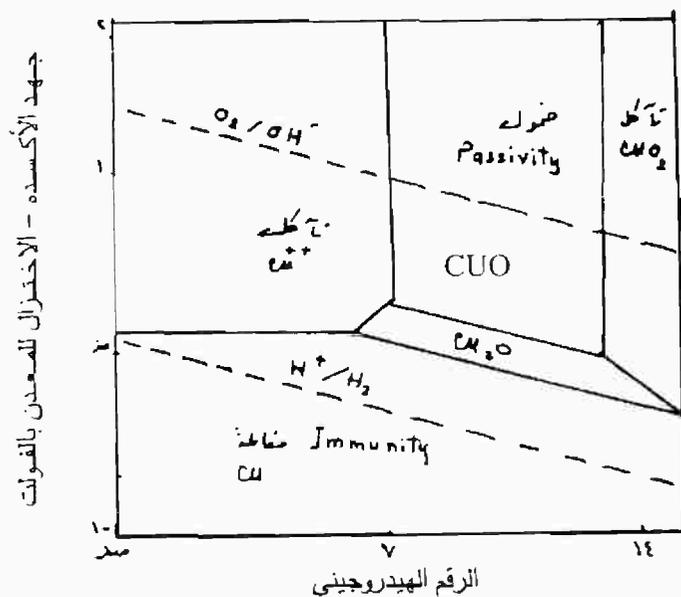
لدراسة حالات حدوث التآكل الكهروكيميائي في المجال الرطب، يستفاد بمخططات بوربياكس (Pourbiac's Diagrams) الشكل (٥٦)، الشكل (٥٧). في هذه المخططات يوجد على المحور الرأسي جهد الأكسدة والإختزال (Redox Potential) للمعدن وعلى المحور الأفقي الرقم الهيدروجيني.

الخطوط الغير متصلة المائلة تبين جهد الأكسدة وجهد الإختزال. يوضح المنحنى أن جهد الأكسدة والإختزال مع الأكسجين يتفوق في مقاومة التآكل بـ ٢٣، ١ فولت عن جهد الأكسدة والإختزال مع الهيدروجين. وكذلك فإن جهد الأكسدة والإختزال لكل من الأكسجين والهيدروجين يقل بـ ٠,٥٩ فولت لكل زيادة رقم هيدروجيني واحد. على المحور الرأسي جهد المعدن لا يتوقف على الرقم الهيدروجيني بل يشمل التغير في تكافؤ المعدن أو نواتج التفاعل في المجال الحامضي والقلوي والتعادل.

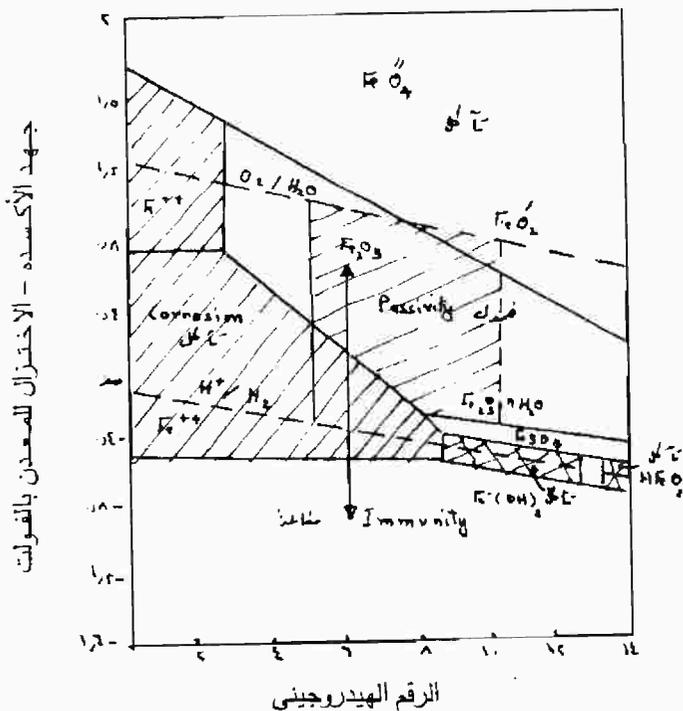
وفي حالة وجود المعدن في حالة المناعة (Immunity) لا يحدث تآكل أو أى تفاعلات على سطح المعدن وهي حالة الإستقرار. وعند تكون طبقة على سطح المعدن من مركبات المعدن مثل الأكسيد وتكون هذه الطبقة ثابتة ولا تذوب في الماء فإن المعدن يكون عندئذ في حالة خمول (Passive State) وفي حالة معدن الحديد فإن جهد قطب الهيدروجين يقع فوق منطقة المناعة (Immunity) على طول إختلاف الرقم الهيدروجيني وهذا يعنى أن الحديد قد يذوب مع تصاعد غاز الهيدروجين في المحلول المائي عند كل القيم للرقم الهيدروجيني. ولكن عند رقم هيدروجيني من ٩,٤ حتى ١٢,٥ تتكون طبقة خمول (Passivity Layer) من أكاسيد الحديد والتي تكون طبقة حماية.

وعند رقم هيدروجيني أقل يتآكل الحديد مع تكون طبقة أيون الحديدوز Fe^{++} .

وعند رقم هيدروجيني أعلا فإن إيدروكسيد الحديدوز يذوب في الماء مكونا مركب $NFeO_2$ وفي هذه الحالة يحدث ما يسمى بالتشقق القاعدي (Caustic Cracking) للصلب والذي هو أحد صور التشقق بفعل الإجهاد (Stress Corrosion Cracking). وعند زيادة الجهد في مجال التآكل تتكون طبقة خمول من أكاسيد الحديد الغير مذابة $(Fe_2O_3 \cdot nH_2O, Fe_3O_4)$ وفي المجال شديد الأكسدة تتكون أيونات FeO_4^{--} التي تذوب ويحدث التآكل.



شكل (٥٦) مخطط الجهد - الرقم الهيدروجيني للنحاس في محلول عند ٢٥°م



شكل (٥٧) مخطط الجهد - للحديد في محلول عند ٢٥°م الخاصة بمياه الشرب

مما سبق يتضح وجود ثلاث طرق مختلفة لإبعاد معدن الحديد من منطقة التآكل أو لحماية معدن الحديد من التآكل وهي:

• خفض جهد المعدن الى منطقة المناعة (Immunity) وذلك يجعل معدن الحديد كاثود في خلية جلفنيه أو اليكتروليتيه . وهذا ما يسمى بالحماية الكاثودية (Cathodic Protection)

• برفع جهد المعدن الى منطقة الخمول وفي بعض الحالات يمكن تنفيذ ذلك يجعل المعدن أنود في خلية جلفنيه أو خلية اليكتروليتيه . وهذا ما يسمى بالحماية الأنودية . والطريقة المتبعة لزيادة الجهد هو إضافة مثبط أنودي (Anodic Inhibitor) وهو عادة عامل مؤكسد يعمل على تكون طبقة خمول على سطح المعدن .

• يرفع الرقم الهيدروجيني أو قلوية الإليكتروليت حيث تتكون طبقة الخمول والنسبة للشكل (٥٦) الخاص بمخطط يوربواكس للنحاس نجد أن جهد القطب الهيدروجيني للنحاس يقع في منطقة المناعة في جميع قيم الرقم الهيدروجيني وهذا يعنى أن المحاليل الخالية من الهواء والأحماض الغير مؤكسدة والأملاح والقلويات لا تحدث تآكل في معدن النحاس . وفي المحاليل المحتويه على الهواء يتآكل النحاس . في المحاليل الحامضية والمحاليل شديده القلوية يتكون أيون CU^{++} نتيجة تكون إيذروكسيد النحاس الذى يذوب فى الماء . وفى المجال الهيدروجيني من ٦,٧ - ١٢,٧ يغطى سطح النحاس بأكسيد النحاس CuO الذى لا يذوب فى الماء . وفى حالة تكون طبقة من الاكسيد كثيفه وملتصقة يتوقف التآكل بسرعة . وعند رقم هيدروجيني فى الخطوط الفاصلة بين مناطق التآكل والخمول (قريبا منها) تحدث تغطية غير تامة مع إحتمال حدوث تآكل موضعى . هذا المخطط لا ينطبق فى حالات وجود مواد تذيب اكاسيد النحاس بما يزيد التآكل مثل النشادر والسيانيد .

هـ - مقارنة بين الخمول وطبقة الحماية

(Passivation and Protective Scales)

الكيموايات المؤكسدة يمكنها أن تحقق الخمول لمعدن الحديد اساسا وذلك نتيجة تغطية سطح المعدن بطبقة كثيفة من اكسيد المعدن . وفى حالة الخمول يكون معدل التآكل قليل جدا

ويمكن إهماله وفي التطبيقات الصناعية تستخدم الحماية الأنودية مثل أملاح الكروم (Chromates) لجعل الحديد في حالة خمول وتتوفر حالة الخمول بالعناصر المضافة للسبيكة مثل الكروم والنيكل وكذلك زيادة الرقم الهيدروجيني لها تأثير على بعض المعادن. وعلى الجانب الآخر فإن أيونات الكلوريد يمكن أن تسبب تلف لطبقة الخمول وتعجل التآكل الثقبي.

أما في حالة تكوين طبقة من الترسبات (Scales) مثل كربونات الكالسيوم وكربونات الحديد على سطح المعدن فإنها تكون عادة أكبر سمكا من طبقة الخمول (الأكسيد) ولها نفاذية أكبر من طبقة الخمول. وإن كانت هذه الترسبات تحد من التآكل لعدم وصول الأكسجين الى سطح المعدن. الخمول الحقيقي له اشتراطات خاصة حيث يجب أن تكون طبقة الأكسيد ثابتة ميكانيكيا وليس بها شروخ أو قشور وتكون مستمرة وليس بها نفاذية.

أما حالة المناعة (Immunity) فإنها تتم فقط في حالة الخمول والتغذية بطاقة كهربية خارجية وهو ما يسمى بالحماية الكاثودية.

و- التآكل العام والموضعي في خلية التآكل الكهروكيميائي

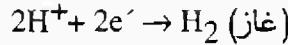
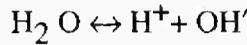
التآكل إما أن يكون تآكل عام أو تآكل موضعي. ولحدوث التآكل في المعدن يلزم توفر كل مكونات الخلية الكهروكيميائية. وهذه المكونات هي الأنود والكاثود وموصل خارجي بين الأنود والكاثود لنقل الايكترونات وموصل داخلي أو محلول الإليكتروليت الذي يوصل الأيونات بين الأنود والكاثود شكل (٥٨). الأنود والكاثود هما مواقع على سطح المعدن يوجد بينهما فرق في الجهد. في حالة عدم توفر مكونات خلية التآكل الأربعة أو أى منها لا تتكون خلية تآكل ولا يحدث تآكل كهروكيميائي للمعدن.

نحدث الأكسدة (فقد الإليكترونات) والإذابة للمعدن عند الأنود. الإليكترونات الناتجة عن الأكسدة الأنودية تتجه نحو الكاثود (خلال الموصل الخارجى) حيث تمتص بواسطة مستقبل للإليكترونات مثل أيون الهيدروجين (H^+). الأيونات الموجبة المتولده عند الأنود تتحرك نحو الكاثود والأيونات السالبة المتولده عند الكاثود تتحرك نحو الأنود طبقا للتدرج فى التركيز والمحافظة على محلول متعادل كهربيا.

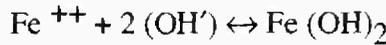
تتأثر الأشكال المختلفة للتآكل بنوزيع مناطق الأنود والكاثود على سطح المعدن فإذا كانت هذه المناطق ميكروسكوبية وقريبه من بعضها البعض فإن التآكل يكون منتظم نسبيا على كل سطح المعدن. ولكن في حالة إنتشار هذه المناطق وخاصة إذا كان الاختلاف في الجهد كبير يمكن تكون ثقوب (Pits) وأحيانا مع تكون ترسيبات غير منتظمة والتي تسمى (Tubercels).

ما يحدث في خلية التآكل هو تحرك للإليكترونات وتفاعلات كيميائية ولذلك سمي هذا النوع من التآكل بالتآكل الكهروكيميائي. في قطب الأنود الأكثر نشاطا حيث تنفضل الأليكترونات عن المعدن أى أن المعدن يتأكسد ويتحول الى أيون $M \leftrightarrow M^{+} + e^{-}$.

والتفاعل الآخذ هو ما يحدث في منطقة الكاثود (الأقل نشاطا) حيث تمتص الأليكترونات على سطح الكاثود (يحدث إختزال) بواسطة أيون الهيدروجين (H^{+}) والذي له وجود مستمر للتحلل الطبيعي للمياه مكونا غاز الهيدروجين.

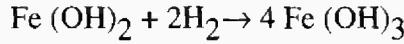


وأيونات معدن الحديد (الأنود) عند فقد ٢ إليكترون (حدوث الأكسدة) فإن هذه الأيونات تذوب في الماء لتحولها الى مركب الحديدوز المذاب.

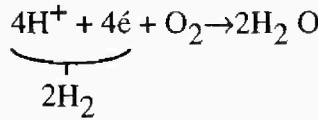


الإليكترونات تنتقل من الأنود الى الكاثود من خلال سلك موصل بين معدنين أو من خلال جسم المعدن نفسه حيث تتحد مع أيون الهيدروجين (H^{+}) على سطح الكاثود (إختزال) ويتكون غاز الهيدروجين الذى يتراكم على الكاثود وبذا يحدث إستقطاب (Polarization) ويتوقف التآكل. ويقوم الأكسجين بدور هام في تنشيط التآكل حيث يتفاعل مع نواتج التفاعل الاولى فى كل من الأنود والكاثود.

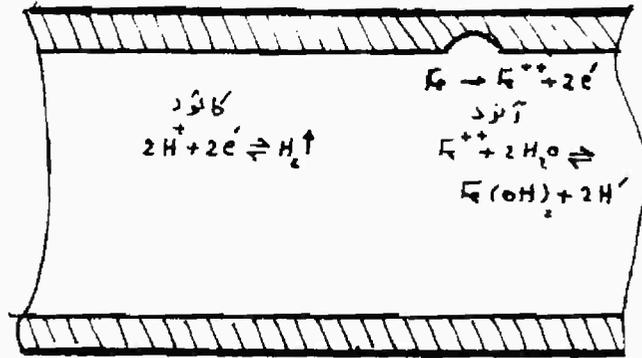
في منطقة الأنود يتفاعل مع إيدروكسيد الحديدوز الذي يذوب في الماء مكونا إيدروكسيد الحديدك أو الصدأ $Fe(OH)_3$.



وفي منطقة الكاثود يتفاعل الأكسجين مع غاز الهيدروجين مكونا الماء وبذا يمنع الاستقطاب ويستمر التآكل.



في الواقع فإن الأنود والكاثود ليسوا دائما منفصلين بل إنهما منتشرين على كل سطح المعدن الواحد نتيجة للمواد المضافة في سبيكة المعدن وكذلك لوجود الشوائب. توجد تفسيرات كثيرة لتفاعلات التآكل.



شكل (٥٨) تفاعلات مبسطة للأنود الكاثود للحديد في الماء

ز - التآكل الكهروكيميائي الموضعي والعام:

(Local and General Electrochemical Corrosion)

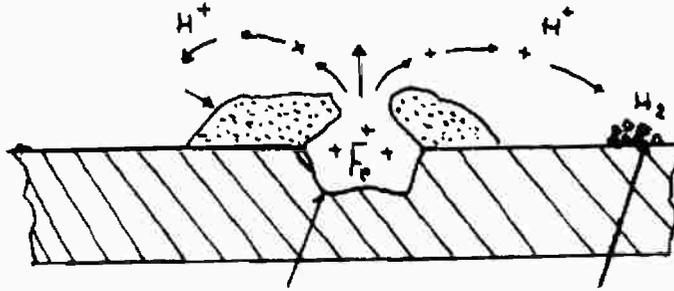
في حالة حدوث تآكل موضعي في خلايا تآكل واضحة فإن إزابة المعدن قد تحدث في أحد الأماكن وأكسدة نواتج التآكل في موقع آخر بينما ترسيبها في مكان ثالث شكل (٥٩)،

٦٠) في مثل هذه الحالة فليس من المحتمل تكون طبقة حماية لإيقاف التآكل. إذا كان سطح الأنود صغير مقارنة بسطح الكاثود فإن التآكل الموضعي يكون شديدا وإن كان الفقد في المعدن يكون صغيرا. وإذا كان سطح الأنود والكاثود غير واضحين أى فى مساحات صغيرة جدا أو أن يتغيرا على سطح المعدن فإن التآكل يكون منتظم وبالتالي يوجد احتمال تكون طبقة مستمره من نواتج التآكل وإيقاف التآكل. يمكن عندئذ القول بأن التآكل الكهروكيميائى العام يؤدي الى التآكل المنتظم بينما التآكل الموضعي الكهروكيميائى ينتج عنه تلف موضعي مثل الثقوب أو الشقوق.

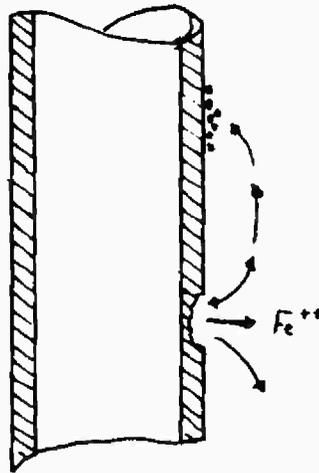
عند حدوث تآكل منتظم على سطح المعدن فإنه يمكن إعتبار المعدن متعدد الأقطاب (Polyelectrode). والسبب فى ذلك قد يكون لعدم تجانس المعدن حيث الاختلاف فى الجهد فى الأماكن المختلفة أو بسبب إختلاف التركيز لعوامل الأكسدة والإختزال فى المحلول بما يسبب إختلافات لحظية فى المحلول.

شواهد التآكل العام والموضعي جدول (٢٧)

التآكل الموضعي الكهروكيميائى	التآكل العام
الآنود والكاثود منفصلين الآنود أصغر من الكاثود جهد الآنود أصغر من جهد الكاثود نواتج التآكل لا تحقق حماية ينتج عنه تآكل موضعي	الآنود والكاثود غير منفصلين الآنود = الكاثود جهد الآنود = جهد الكاثود = جهد التآكل نواتج التآكل يمكن أن تحقق حماية ينتج عنه تآكل منتظم



شكل (٥٩) الأنود والكاثود يمكن أن يكونا متجاورين على سطح المعدن الواحد ويحدث التآكل



شكل (٦٠) تآكل الحديد عند الأنود ينتج عنه ترسيب أكسيد وإيدروكسيد الحديد عند الكاثود.

٢- التآكل الجلفني نتيجة التصاق المعادن الغير متماثلة:

Galvanic Corrosion

في حالة التصاق معدنين أو سبيكتين في مجال رطب فإن المعدن في الترتيب الأول للتسلسل الجلفني يكون الأنود والتالي يكون الكاثود شكل (٤٨، ٤٩). وكلما بعد الفاصل في التسلسل الجلفني بين المعدنين كلما زاد فرق الجهد بينهما وبالتالي زاد جهد التآكل وزاد معدل التآكل. كما يزداد معدل التآكل بزيادة الالتصاق وزيادة مساحة الكاثود عن مساحة الأنود وزيادة قدرة التوصيل الكهربى للماء بزيادة الأملاح المذابة والاكسجين المذاب.

التآكل الجلفني يسبب مشكلة عند التصاق النحاس الأصفر أو البرونز أو النحاس الأحمر مع الألومنيوم أو الحديد المجلفن أو الحديد. حيث المعادن المحتويه على النحاس تكون كاثودية بالنسبة للألومنيوم، والحديد المجلفن (أى الحديد المغطى بطبقة من الزنك) أو الحديد. في وجود الماء يتآكل الألومنيوم أو الحديد المجلفن.

في السباكة عند التصاق مواسير النحاس مع مواسير الحديد المجلفن يحدث التآكل الجلفني عند نقطة الالتصاق ويتآكل فيها الزنك لكونه أنود وتتم حماية النحاس من التآكل لكونه كاثود. وتزداد حدة التآكل الجلفني عند التصاق مواسير من معادن مختلفة عند الأكواع بالإضافة الى أن هذا التآكل متوقع عند التصاق معدنين مختلفين في أى موقع في الشبكة. عند إستخدام محابس النحاس الأصفر في خطوط المياه المجلفنه أو عند إستخدام وصلات الحديد المجلفن في خطوط المواسير من النحاس (وخاصة في سخانات المياه). في هذه الحالات يحدث التآكل في قلاووظ (Threads) الماسورة المجلفنه في شكل ثقوب وقد تظهر نواتج التآكل على السطح الخارجى للماسورة ثم تجف.. وتزداد شدة التآكل عند التصاق جزء صغير (وصلة) من معدن أكثر نشاطا مثل الحديد المجلفن. في خط مواسير من النحاس، فإن الوصلة الصغيرة من الحديد المجلفن تتآكل لكونها أنود صغير المساحة والنحاس لما له من مساحة كاثودية ذات جهد كبير لا يتآكل.

يمكن الحد من التآكل الجلفنى بتجنب الإلتصاق للمعادن المختلفة فى الجهد باستخدام عازل كهربى بينهما وكلما قرب المعدنين من بعضهما فى التسلسل الجلفنى كلما قلت فرص التآكل حيث يجب ألا يزيد الفرق فى الجهد بينهما عن ٥٠ مليفولت مفاى بقطب عيارى لنجنب التآكل.

٣- التآكل فى خلية التركيز : Concentration Cell Corrosion

يتغير جهد المعدن الواحد طبقا لتركيز المحلول المائى الملاصق (الاليكتروليت) . فى حالة إختلاف التركيز بين منطقتين للمعدن الواحد فإن هذا يعمل على تنشيط تفاعل التآكل، ويستمر التآكل حتى يتساوى التركيز وتساوى الجهد، ويسمى هذا تآكل خلية التركيز.

أحد الأسباب العادية للتآكل هو إختلاف تركيز الأكسجين المذاب أو الهيدروجين على سطح المعدن . عندما يكون السبب هو الأكسجين المذاب يسمى هذا تآكل لإختلاف تركيز الأكسجين (Oxygen Differential Concentration) . عادة المساحات التى يحدث فيها التآكل بسبب إختلاف الأكسجين تكون بين سطحين كما فى حالة مسامير البرشام، فى الفراغات تحت الورد ومسامير الرباط وكذلك فى المناطق أسفل طبقات التغطية لسطح المعدن مع وجود ثقوب (Pinholes) أو أسفل تراكمات البكتريا أو الترسبات . يشارك الأكسجين فى التفاعل الكاثودى فالجزء من المعدن الملاصق لتركيز عالى من الأكسجين يصبح الكاثود والجزء الملاصق للتركيز المنخفض يصبح الأنود ويتآكل . ويلاحظ هذا فى التآكل الذى يحدث أسفل الماصقات على الأسطح المعدنية .

النقص فى الأكسجين يمكن أن يكون بسبب تفاعلات التآكل كتفاعل الأكسجين مع الحديدوز أو استهلاك الأكسجين بفعل تراكما البكتريا الهوائية . وقد يرجع النقص فى الأكسجين نتيجة صعوبة وصول الأكسجين الى أماكن التراكمات ليكتيزيه أو الترسبات الكيماويه أو الدرنات أو لخفض الأكسجين فى الفراغات أو قلاووظ مسامير الرباط هذا مع وفره الأكسجين المذاب فى المناطق المجاورة الكاثودية . عندئذ يستمر التآكل فى المناطق ذات الأكسجين المنخفض بما يؤدى الى الثقوب وزيادة عمق الفراغات . ولهذا فإن الإختلاف فى تركيز الأكسجين هو السبب فيما يسمى بالتآكل الحفرى (Crevice Corrosion) .

نوع آخر من خلايا التركيز وهو خلية الإختلاف فى التهوية للمعدن الواحد. (Differential Aerafion Cell). وهذا يؤدي الى نوع من التآكل يسمى التآكل الخطى (Line Corrosion). وهذا النوع من التآكل يحدث للمعادن أسفل منسوب سطح الماء مباشرة فى حالة المعادن المغمورة جزئياً فى الماء. وكذلك للمعادن المغمورة جزئياً فى التربة وفى مياه البحر. وفى هذه الحالات يحدث التآكل للمعدن أسفل منسوب المجال الملاصق (الماء أو التربة) لكونه أنود حيث تركيز الأكسجين أقل من أكسجين الهواء الجوى بينما باقى المعدن المغمور جزئياً والمعرض للهواء الجوى يكون كاثود ولا يتآكل.

وفى حالة وجود خشونة أو عدم نعومة سطح المعدن المعرض فإنه توجد فراغات تفتقر الى الأكسجين عن بقية سطح المعدن والتي تصبح أنود وتتآكل. لذلك يوصى بالاعداد الجيد لسطح المعدن ليكون ناعماً باستخدام الرمال (Sand Blast Or Grit Blast). التآكل فى الفراغات والجيوب (Crevice Corrosion) وهو أحد أشكال تآكل خلايا التركيز الموضعى ويكون كذلك بسبب النقص فى الاكسجين والتغير فى الرقم الهيدروجينى والأيونات المذابة. ويحدث فى الفواصل بين الوصلات المعدنية والفراغات فى اللحامات المتداخلة إن وجدت وأسفل مسامير الرباط والبرشام وينشط التآكل أيون الكلور مثل التآكل الثقبى.

٤ - عوامل تنشيط التآكل بفعل الشوائب والعناصر المضافة فى السبائك المعدنية:

فى مكونات قطعة المعدن الواحد أو السبيكة الواحدة يوجد كقاعدة عامة أماكن بها عناصر مختلفة ومختلفة الجهد. ينطبق هذا على كل السبائك المعدنية. مثال ذلك الجرافيت فى الزهر الرمادى والزهر المرن ومركب الكربون والمغنسيوم فى الزهر المرن والجرافيت فى الصلب الكربونى. وهذه المركبات بين المعدن (Intermetallic Compounds) التى تتجمع حول الفواصل البينية للمعدن بما يجعل هذه الفواصل أكثر نشاط أقل ندرة (Less Noble) عن المعدن المجاور وبالتالي أكثر قابلية للتآكل ومناسبة لتكون خلية تآكل موضعية والتى تسبب التآكل البينى لبورات المعدن (InterCrystalline Corrosion)، مثال آخر وهو التآكل الجرافيتى (Graphitization) الذى يحدث للزهر الرمادى حيث يتحول الحديد الى صدأ

لكونه أتودى بالنسبة للجرافيت. عندئذ يكون الحديد مع الجرافيت مادة أسفنجيه ليس لها مقاومة ويسهل قطعها بالسكين كقطعه الجبن، وهذا النوع من التآكل يحدث للزهر الرمادى الذى لم تتوفر له الحماية وذلك فى حالة التصاقه بالماء أو التربة.

مقاومة التآكل للسبيكة المعدنية تتوقف على مكوناتها حيث تزداد المقاومة للتآكل بزيادة نسبة المعادن الأقل نشاط وأكثر ندره والتي تعتبر كاثوديه بالنسبة لمعدن الحديد حيث تكتسب السبيكة صفة مقاومة التآكل لهذا المعدن النقيس. مثال ذلك فى حالة الصلب المقاوم للصدأ فإن مقاومة السبيكة للتآكل مثل مقاومة الكروم الذى يدخل فى مكونات السبيكة. وكذلك فى حالة سبيكة البيرونز التى تتكون من النحاس والنيكل حيث تكتسب السبيكة مقاومة التآكل لمعدن النيكل وهو معدن نقيس مقارنة بمعدن النحاس. أما فى حالة سبيكة النحاس الأصفر والتى تتكون من النحاس والزنك ولكون الزنك أكثر نشاطا وأقل ندرة من النحاس فإنه يعمل كأنود ويتآكل ويسمى هذا التآكل بالتآكل الإختيارى (Selective Corrosion Or Dizenfication). وتظل السبيكة فى شكلها العادى مع وجود ثقب وانخفاض القدرة الميكانيكيه. وتحدث عملية التآكل هذه فى شكل خلايا تآكل جلفنى موضعية (Local Galvanic Corrosion Cell) حيث ينشط الزنك كأنود بينما ينشط الكاثود من النحاس بامتصاص الأوكسجين. وتعالج هذه الظاهرة بإضافة الأنتيمون أو الزرنيخ الى سبيكة النحاس الأصفر بما يجعله مقاوم لازالة الزنك.

كذلك فإن إضافة السيليكون فى صناعة الزهر والصلب فى شكل فيروسيليكون (FeSi) من عوامل مقاومة التآكل.

كما يحدث التآكل فى المناطق المحنويه على شوائب الكبريت الذى يمتص أيون أنكلوريد ويسبب التآكل البينى أو التآكل بفعل الإجهادات.

(Intercrystalline Or Fatigue Corrosion)

٥- التآكل الثقبي: (Pitty Corrosion)

التآكل الثقبي هو أحد أشكال التآكل الذي يحدث كثيرا على السطح الخارجي لمعدن الماسورة الملاصق للتربة أو في السطح الداخلي للماسورة الملاصق للمياه (مياه أو مياه صرف). التآكل الثقبي يكون في شكل ثقوب نافذة ويسبب التلف للماسورة في خلال أسابيع أو شهور بينما باقى معدن الماسورة لم يحدث له تآكل نسبياً. يحدث التآكل الثقبي عند إزالة جزء من مادة العزل للماسورة أو وجود ثقوب في مادة العزل بفعل العوامل الطبيعية أو الكيماوية أو لعدم كفاءة التغطية الكاملة لسطح المعدن أو في حالة الإزالة لطبقة الأكسيد جزئياً التي توفر الحماية لسطح المعدن.

عوامل تنشيط التآكل الثقبي هو وجود أيونات معدن كاثودي بالنسبة للحديد على سطح المعدن. فنرى أن الصلب والحديد المجلفن يحدث له تآكل ثقبي بكميات صغيرة من مثل هذه المعادن كالنحاس (حوالي ٠,٠١ ملجرام / لتر) حيث تتكون خلية جلفنية. وكذلك في حالة التغطية الأنودية للمعدن بأكسيد المعدن مع وجود أيون الكلوريد أو الكلور المتبقى يمكن أن يذيب طبقة الأكسيد وبمجرد تكون الثقب يحدث نقص في الاكسجين ويصبح أنود ثم يستمر التآكل حتى نهاية سمك الماسورة وكذلك يتكون التآكل الثقبي حول شوائب الكبريت في الصلب الكربوني. وعند التغطية الأنودية لمعدن الحديد بمادة أكثر ندرة من الحديد وأقل نشاطاً مثل مادة القصدير (Tin) وعند الإزالة الجزئية لطبقة الغطاء الأنودي. ولكون القصدير كاثودي بالنسبة للحديد يحدث التآكل الثقبي في المنطقة الخالية من الغطاء بالقصدير. وجود الأكسجين المذاب والكلور المتبقى يحدث التآكل الثقبي في النحاس.

التآكل الثقبي يحدث كذلك للصلب المقاوم في حالة وجود أيون الكلوريد بنسبة أكبر من ٠,٦ ملجرام/ لتر (٧٠٠ جزء في المليون) وخاصة في منطقة اللحامات والمناطق حيث لا يوجد عزل أو حماية وكذلك عند إزالة الدرنات (Tubercels) نتيجة سرعة المياه وكشف سطح المعدن. ويحدث كذلك في السطح الخارجي للمواسير المعرض للتربة وهو الظاهرة العامة للمواسير المعدنية بفعل التربة.

٦- التآكل الجوي: Atmospheric Corrosion

يختلف التآكل الجوي تبعا للموقع الجغرافي والظروف المحلية والتي تقسم الى مناخ المناطق الصناعية، المناطق الحضرية، المناطق الريفية، المناطق الساحلية البحرية. في المناطق الصناعية يمكن أن يكون التآكل مائة ضعف ما يحدث في الصحراء. التآكل يكون قليلا في الأجناب الشرقية والجنوبية بالنسبة للمعدن المعرض عن الأجناب الغربية والشمالية نظرا لتعرض الأجناب الشمالية والجنوبية لأشعة الشمس بعد سقوط الأمطار أو الندى و ثم جفافها. في المناطق الساحلية حيث المناخ البحري يكون تلوث الهواء بالملح هو المسبب للتآكل. ولذلك يقل التآكل مع زيادة البعد عن الساحل لانخفاض محتوى الهواء من الملح. ويزداد المحتوى من الملح وسرعة التآكل مع الإرتفاع عن سطح الأرض الى أقصى قيمة ثم ينخفض ثانيا وذلك لأن الأشجار والأحراش فوق سطح الأرض تبطيء من سرعة الرياح وتزيل رزاز الماء الملحي.

أخطر الملوثات الهوائية هو ثاني أكسيد الكبريت والذي يوجد في الأدخنة الناتجة عن إحتراق الفحم والبتروول وكثير من وقود المحركات نظرا لأن إستهلاك الوقود يزداد في فصل الشتاء. يختلف تركيز ثاني أكسيد الكبريت في المدن عن المناطق الصناعية ليكون من ١,٠ الى ١٠٠ ملجرام/ المتر المكعب. في الهواء الملوث يكون معدل التآكل منخفض مع إنخفاض الرطوبة في الجو لأقل من ٧٠%. ومع زيادة الرطوبة يزداد معدل التآكل في وجود ثاني أكسيد الكبريت حيث يتكثف بخار الماء وتتكون طبقة رقيقة من الايكتروليت التي تنشط التآكل الكهروكيميائي. في حالة إنخفاض درجة الحرارة الى أقل من الصفر لا يحدث تآكل نظرا لأنه يتطلب مياه في الحالة السائلة. ولكن مع تجمد المياه في الشقوق على الأسطح الخرسانية الغير ملساء فإن طبقة الخرسانة تتلف بفعل زيادة حجم المياه المتجمدة ويحدث هذا في المواسير الخرسانية المعرضة للجو وليس لها طبقة حماية خارجية.

٧- التآكل في التربة: Corrosion In Soil

تقسم مكونات التربة طبقا لحجم الحبيبات كما في الجدول (٢٨) التربة تكون بأحجام سائدة باستثناء الطفلة التي هي نتيجة تفتت الصخور. بصرف النظر عن التركيب الكيماوي

لنوع التربة فإن الخصائص الطبيعية والكيميائية وخصائص التآكل تتوقف على حجم الحبيبات الى درجة كبيرة كلما صغر حجم الحبيبات كلما زادت المساحة السطحية. زيادة المساحة السطحية تزيد من التفكك بالعوامل الجوية والذي ينتج عنه وجود أملاح قابلة للذوبان في الماء بالإضافة الى زيادة قدرة المادة على إحتواء المياه طبقاً لحجم حبيبات السطح المبتل والخاصية الشعرية. زيادة الخاصية الشعرية تقلل من النفاذية للماء والهواء جدول (٢٨).

الأراضي المنخفضة التي غمرت في الماضي بمياه البحر تحتوى على أملاح بما يجعلها عدوانية ومنشطة للتآكل. المناطق السكانية المزدحمة حيث الصرف العشوائي وارتفاع منسوب المياه الجوفية تكون التربة فيها عدوانية.

إن زيادة الفرق في المحتوى من المياه وكذلك الأكسجين بين التربة ذات الحبيبات الكبيرة والتربة ذات الحبيبات الصغيرة مثل الطفلة بما يجعل المعدن في مثل هذه الحالات معرض للتآكل لوجود خلايا إختلاف التهوية والتي ينشطها وجود الأملاح المذابة التي تسهل سريان تيار التآكل.

جدول (٢٨) ارتفاع الماء بالخاصية الشعرية طبقاً لنوع التربة

ارتفاع المياه بالخاصية القرية	قطر الجيئات بالملتر	حالة حبيبات التربة
-	أكبر من ٢٠٠	كتل حجرية
-	من ٢٠ - ٢٠٠	ركام حجرى
أصغر من ٣ سم	من ٢ - ٢٠	زلنط
من ٣ - ٣٠ سم	من ٠,٢ - ٢	رمل
من ٣٠ - ٣٠٠ سم	من ٠,٢ - ٠,٢	رمل ناعم
من ٣ - ٣٠ متر	من ٠,٠٠٢ - ٠,٠٠٢	طفله ورمل ناعم
من ٣٠ - ٣٠٠ متر	من ٠,٠٠٢ - ٠,٠٠٢	طفله خشنة
أكبر من ٣٠٠ متر	أصغر من ٠,٠٠٠٢	طفلة ناعمة

أ- العلاقة بين الماء والهواء في التربة:

التربة كمجال للتآكل يمكن إعتبارها جسم مثقب مكون من مواد صلبة ومواد هلامية ومواد مذابة ومواد أخرى جازية للمياه (Hydrescopic) وكائنات حية دقيقة وتحتوى كذلك على ماء وهواء فى الفراغات المسامية. فوق المياه الجوفية فإن منطقة الخاصية الشعرية تكون ممتلئة بالمياه فى التربة ذات الحبيبات الصغيرة جدا بينما التربة ذات الحبيبات الكبيرة تكون الفراغات الكبيرة بها ممتلئة بالهواء. فإذا كان منسوب المياه الجوفية على عمق 1 متر فإن الرمال على سطح التربة تكون جافة أما فى حالة كون طبقة الطفلة على سطح التربة تكون رطبة وذلك لأن الطفلة والمواد الهلامية لها قدرة كبيرة على إحتجاز المياه.

لحدوث التآكل يلزم وجود كميته مياه فى التربة وكقاعدة عامه فإن وجود الأكسجين أساسى لحدوث التآكل. ولكن تآكل الصلب يمكن أن يحدث فى الظروف اللاهوائية وذلك لوجود البكتريا المختزلة للكبريتات.

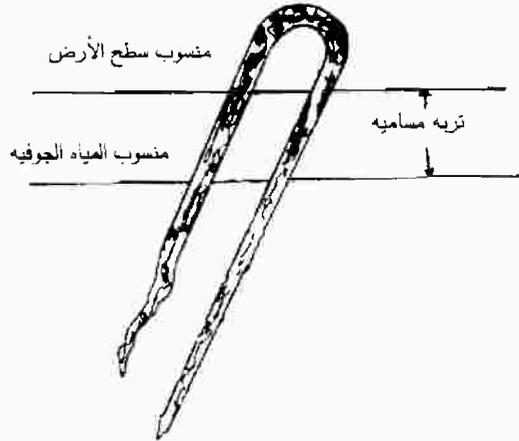
تنظيم وصول الهواء (الأكسجين) الى التربة يتم طبقا لحالة المياه فى التربة. إذا كانت مسام التربة ممتلئة جزئيا بالماء ويحدث إنتقال للأكسجين الى سطح المعدن بسرعة. كما فى حالة القشرة الأرضية التى تقع فوق منسوب المياه الجوفية والتى تسمى القشرة الجافة. أما أسفل منسوب المياه الجوفية فإن مسام التربة تكون ممتلئة بالمياه وهى تعمل كحاجز لمنع وصول الهواء الى المعدن.

أهمية محتوى الماء من الأكسجين يوضح السبب فى أن التآكل يكون كبيرا جدا فوق منسوب المياه الجوفية عنه أسفل منسوب المياه الجوفية. ولهذا يحدث تغير فى شدة التآكل فى التربة بسبب رطوبة التربة أثناء الأمطار. الامطار الحقيقية تزيد من التآكل بينما الأمطار الثقيلة المستمرة ينتج عنها تشبع للتربة وبالتالي إنخفاض عدوانية التربة. وعند توقف هطول الأمطار مع إمتلاء مسام التربة بالهواء بدلا من الماء فإن التربة تعود لتصبح شديدة العدوانية.

تختلف مكونات الهواء في التربة الرطبة عن مكوناته في الجو بسبب العمليات البيولوجية التي تحدث في التربة. في التربة ينتج ثاني أكسيد الكربون وينخفض أو يستهلك الأكسجين نتيجة تحلل المواد العضوية. ولهذا ينخفض المحتوى من الأكسجين أسفل المياه الجوفية بسرعة بينما يزداد المحتوى من ثاني أكسيد الكربون وخاصة في حالة عدم إمكان إمتصاص أكسجين الهواء الجوي طبقاً لنوع التربة. مع اذابة ثاني أكسيد الكربون فإن الرقم الهيدروجيني سينخفض الى حوالي ٥. ولهذا يحتوى صدأ الحديد في مثل هذه الحالات على كربونات الحديدوز شكل (٦١).

حالات إختلاف التهوية في التربة:

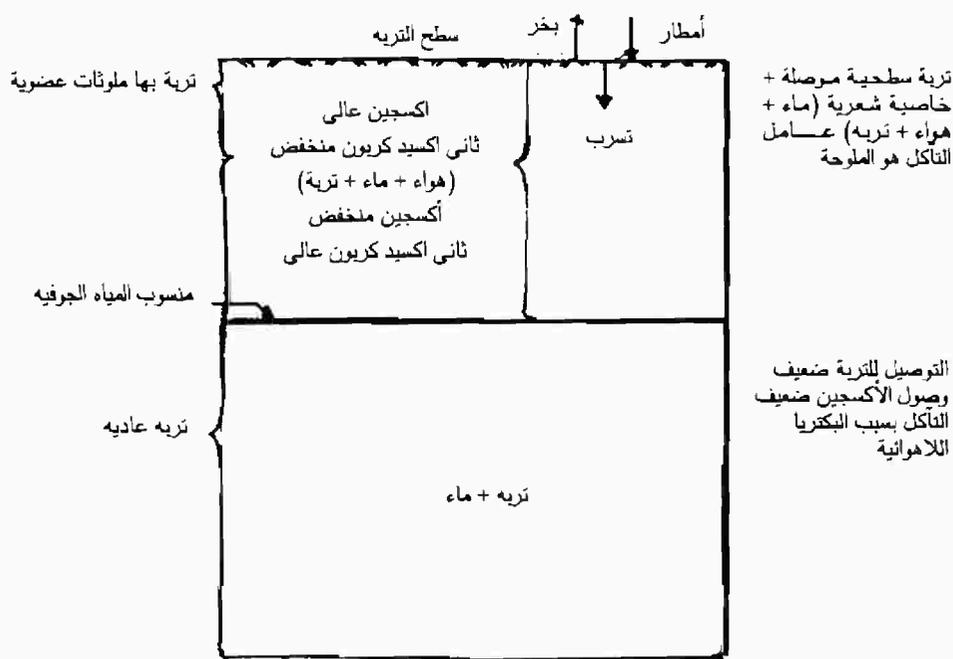
عند غرس قضيب من معدن الحديد في التربة المعرضة لاختلاف تركيز الأكسجين والذي ينخفض مع زيادة العمق حيث ينعدم أسفل منسوب المياه الجوفية. يحدث أكبر معدل للتآكل شكل (٦٢). خلايا إختلاف التهوية لا تتكون على الأعماق الكبيرة ولهذا لا تتكون خلايا إختلاف التهوية لانعدام محتوى التربة من الأكسجين.



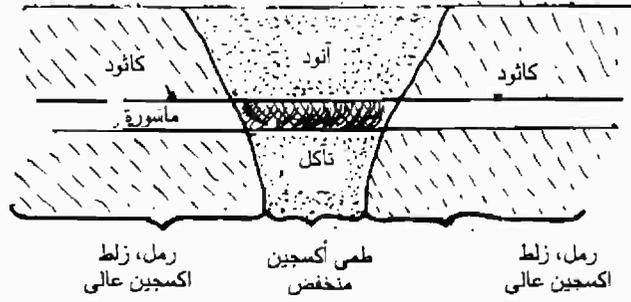
شكل (٦١) شوكة من الحديد تأكلت أسفل
منسوب المياه الجوفية لوجود خلية إختلاف التهوية

في الطبقة العليا من التربة تتكون خلايا إختلاف التهوية بكثرة على سطح أى منشأ معدنى وذلك تبعا لمكونات التربة والتي تتغير من نقطة الى نقطة حيث يختلف المحتوى من الماء وبالتالي الأكسجين. ولهذا يحدث التآكل فى الأراضى الرطبة من الطمي المحتوى على أحجام مختلفة من الزلط والرمل. عندئذ يكون الأنود محاط بالطين والكاثود محاط بحبيبات التربة ذات الحجم الكبير.

الشكل (٦٣) يوضح التآكل بفعل خلايا إختلاف التهوية. أما فى حالة إحاطة المعدن كلية بالطين فإنه تتوفر له الحماية. ولهذا فإن الطمي يمكن أن يسبب تآكل ويمكن أن يوفر حماية من التآكل. وكذلك فإن الطرق الخرسانية والأسفلتية تكون مجال يمنع وصول الأكسجين وبالتالي توفر الحماية من التآكل للمواسير أسفلها.



شكل (٦٢) حالات التآكل فوق وأسفل منسوب المياه الجوفية



شكل (٦٣) خلية تآكل بسبب اختلاف التهوية

ب- تقييم عدوانية التربة بالنسبة للمواسير المدفونة تحت الأرض:

(١) تقييم عدوانية التربة بالنسبة لمواسير الصلب:

من الناحية العملية فإن جدار مأسورة الصلب يكون محصوراً بين غطاء خارجي للعزل الكهربائي والمائي وبطانة داخلية لحماية السطح الداخلي. تتوقف عدوانية التربة بالنسبة للصلب على عوامل طبيعية وكيميائية وتعتبر المقاومة الكهربائية للتربة هي العامل المهم لتقييم عدوانيتها والذي هو دلالة للأملاح في التربة والتي تزيد من التوصيل الكهربائي. في الجدول (٢٩) يوضح تقييم عدوانية التربة بالنسبة للمقاومة الكهربائية والتي تزيد كلما قلت الاملاح العذبة والتالي خفض التوصيل الكهربائي.

جدول (٢٩) تقييم عدوانية التربة للصلب بالمقاومة الكهربائية:

المقاومة أوم - سم	الوصف	تقييم التربة
٦٠٠٠ - ١٠٠٠٠	ممتازة	١- قليلة العدوانية
٤٥٠٠ - ٦٠٠٠	جيدة	٢- متوسط العدوانية
٢٠٠٠ - ٤٥٠٠	متوسطة	٣- عدوانية
صفر - ٢٠٠٠	رديئة	٤- شديدة العدوانية

كما يمكن بالتعرف على بعض خصائص التربة وعمل بعض الإختبارات تقييم العدوانية للتربة بالنسبة لمواسير الصلب كالاتى:

• **تربة قليلة العدوانية:**

وهى التربة ذات التصريف الجيد والتهوية الجيده مع عدم وجود إختلاف فى لون التربة إطلاقاً وتجانسة. يكون منسوب المياه الجوفية منخفض جداً. ويشمل ذلك التربة الرملية- الطينية الرملية- الطفليه المساميه الى أعماق كبيرة.

• **تربة متوسطة العدوانية:**

التهوية والمساميه للتربة متوسطة والتصريف متوسط. التغير فى لون التربة طفيف (أصفر، بنى، أصفر، رمادى) حتى عمق ٦- ٨ متر. ويكون منسوب المياه الجوفية منخفض. وفى حالة الأرض الزراعية تكون التربة جيدة التصريف ولا تحتاج لنظام صرف وتشمل التربة الرملية- الطفالية، الطفليه- الطينية.

• **تربة عدوانية:**

تكون التربة ضعيفة التهوية والمساميه والتصريف. اللون يكون عموماً غامق. التغير فى اللون يكون قريباً من سطح التربة (٢- ٢,٥ متر). منسوب المياه على عمق ٢- ٤ متر. التربة عادة تكون ذات سطح مستوى وتحتاج الى نظام صرف وتتكون من الطفلة والطفلة الطينية.

• **تربة شديدة العدوانية:**

التهوية والتصريف ضعيف جداً. يكون اللون رمادى مائل الى الزرقه على أعماق حتى ٣- ٢ متر. منسوب خط المياه الجوفية قريب جداً من سطح الأرض. مساميه التربة ضعيفة جداً. تكون التربة محتويه على مخلفات نباتيه ومواد هلامية وكذلك التربة ذات منسوب المياه الجوفية المتغير. التربة الطينية أو الطفليه المحتويه على مواد عضوية.

(٢) تقييم عدوانية التربة بالنسبة لمواسير الزهر المرن والرمادي:

لتقييم عدوانية التربة لمواسير الزهر الرمادي والمرن يمكن الاسترشاد بنفس التقييم المتبع بالنسبة لمواسير الصلب. وقد قام إتحاد صناع الحديد الزهر في أمريكا بتقييم عدوانية التربة بالنسبة لمواسير الزهر طبقاً لقيم من خمسة إختيارات وملاحظات. وهذه القيم هي المقاومة الكهربائية للتربة، الرقم الهيدروجيني للتربة، جهد المعدن مقياس بقطب عيارى، وجود الكبريتيدات (Sulphides). والرطوبة فى التربة.

يتم الحصول على نتائج الإختبارات التى ذكرت للتربة وتقييمها طبقاً للجدول (٣٠). يتم جمع النقاط للخمسة إختبارات لعينة التربة.

وتقيم عدوانية التربة من واقع هذه القيم بجمع النقاط لكل الإختبارات وفى حالة نتيجة الجمع تكون عشرة فأكثر فإن التربة تكون عدوانية مما يتطلب عمل إجراءات الحماية.

جدول (٣٠) تقييم عدوانية التربة لمواسير الزهر

م	الإختبارات	نقاط التقييم	طريقة عمل الإختبار
١	٢	٣	٤
١	المقاومة أوم - سم أقل من ٧٠٠ ٧٠٠ - ١٠٠٠ ١٠٠٠ - ١٢٠٠ ١٢٠٠ - ١٥٠٠ ١٥٠٠ - ٢٠٠٠ أكثر من ٢٠٠٠	١٠ ٨ ٥ ٢ ١ صفر	قياس المقاومة الكهربائية دلالة لوجود الأملاح في التربة يتم الإختبار بواسطة جهاز المقاومة زو القطب الواحد للقياس على أعماق التربة المختلفة حتى الوصول الى التربة الأكثر مقاومة (أقل توصيل كهربائي) التي يمكن أن تلتصق بجسم الماسورة بعد دفنها في التربة.
٢	الرقم الهيدروجيني (PH) صفر - ٢ ٢ - ٤ ٤ - ٦,٥ ٦,٥ - ٧,٥ ٧,٥ - ٨,٥ أكثر من ٨,٥	٥ ٣ صفر صفر صفر ٣,٥	التربة ذات الرقم الهيدروجيني أقل من ٤ هي تربة حامضية وتعتبر عدوانية وكذلك تعتبر اليكتروليت جيد. التربة المتعادلة تساعد على نشاط البكتريا المختزلة للكبريتات. التربة حتى رقم هيدروجيني ٨,٥ غنية بالأملاح. عند زيادة الرقم الهيدروجيني حتى ١٢,٥ تتكون طبقة حماية. في حالة وجود كبريتيات وجهد المعدن سلبى يضاف ٣ نقاط للمجال المتبادل (٦,٥ - ٧,٥).
٣	جهد المعدن (الأكسدة والاختزال) أكبر من ١٠٠ ملفولت من ٥٠ - ١٠٠ ملفولت من صفر - ٥٠ ملفولت سلبى	صفر ٣,٥ ٤ ٥	يبين هذا الإختبار درجة التهوية للتربة. النتائج المنخفضة أو السلبية تبين أن التربة لاهوائية وسوف تساعد على نشاط البكتريا المختزلة للكبريتات. يمكن قياس الجهد بالجهاز المستخدم لقياس الرقم الهيدروجيني وقطب البلاتين. يتم حماية العينة من التعرض للجو حتى تمام القياس.

٤	٣	٢	١
<p>يتم الإختبار بخلط محلول ٣٪ من أزيد الرصاص فى ان عيارى محلول اليود فى أنبوبة اختبار محتوية على قليل من التربة على مستوى عمق دفن الماسورة. فى حالة وجود الكبريتيدات تكون عامل مساعد لاتمام التفاعل.</p> $2\text{Na N}_3 + 2\text{I} \rightarrow 2\text{NaI} + \text{N}_2$	<p>٣,٥ ٢ صفر</p>	<p>الكبريتيدات إيجابى آثار فقط سلبى</p>	<p>٤</p>
<p>تحفظ العينة بعيدا عن الجوحتى تمام الاختبار نظرا لأن رطوبة التربة قد تتغير على مدار العام، لذلك يتم تسجيل وملاحظة خصائص التصريف للتربة. وهذا أفضل من تقييم المحتوى من الماء الدائم التغير.</p>	<p>٢ ١ صفر</p>	<p>الرطوبة تربة دائمة الرطوبة وبطيئة التصريف تربة عادة رطبه وبطيئه التصريف تربة عادة جافة وبطيئة التصريف</p>	<p>٥</p>

(٣) أثر التربة على المواسير الخرسانية سابقة الإجهاد:

هذا النوع من المواسير أثبت كفاءة عند إنشائه بطريقة جيدة وفي الظروف المناخية العادية. ويرجع ذلك الى حماية الصلب المدفون بواسطة الخرسانة. الأسمنت الرطب قبل الشك يكون قلوياً من الناحية الكيماوية حيث له رقم هيدروجيني ١٢,٥ وعند التصاق الصلب المدفون بالخرسانة أو المونة الأسمنتية يكون الصلب في حالة خمول (Passivated) حيث تتكون طبقة منتظمة وثابتة من أكسيد معدن الحديد تحقق له الحماية من التآكل. الصلب في حالة الخمول لا يتآكل الا في حالة تكون خلية تآكل لها فرق جهد أكبر من ١,٥ فولت وهذا الجهد أكبر من جهد خلية التهوية أو خلية التركيز في ظروف الانشاءات الطبيعية. في حالة عمل خليه جلفنية بين صلب مغطى بالخرسانة (غير متآكل) وقطب قياسى (نحاس/كبريتات نحاس) فإن فرق الجهد سيكون من صفر حتى ٣٠٠ مليفولت. وهذا الجهد أقل من اللازم لحدوث التآكل للصلب المكشوف أو المغطى بمادة عضوية بحوالى من ٣٠٠ - ٥٠٠ مليفولت. وفي حالة عمل خلية جلفنية ولكن مع صلب معرض للتآكل ومغطى بطبقة من الخرسانة فإن قياس فرق الجهد سيكون مختلف. والفرق بين الجهد فى الحالتين للصلب المتآكل والصلب الغير متآكل يمكن الاستعانة به فى تقدير احتمالات التآكل للصلب فى الخرسانة.

فى بعض الحالات لا تحتاج الماسورة الخرسانية سابقة الإجهاد بالأسطوانة الصلب الى حماية خارجية. ولكن فى ظروف أخرى يلزم عمل إجراءات الحماية كما فى حالة وجود الكلوريدات التى تزيل طبقة الخمول أو التداخل الكاثودى الناتج عن التيارات الكهربية الشارده من مصادر مجاورة أو التربة شديدة الحموضة والتى يمكنها إتلاف طبقة التغطية من المونة الأسمنتية للسلك سابق الإجهاد أو التعرض المباشر للجو العادى الذى يمكنه كذلك إتلاف طبقة التغطية أو التربة الكبريتية. وتأثير كل من هذه العوامل التى تؤثر على الصلب فى المواسير سابقة الإجهاد وإلى درجة كبيرة فى المواسير الخرسانية المسلحة هو كالاتى:

• الكلوريدات:

إزالة طبقة الحماية (الخمول) من على سطح الصلب مع إحتمال التآكل يمكن أن يحدث فقط فى الخرسانة الجيدة فى حالة وجود أيونات سالبة معينة على سطح الصلب. الأيون

الوحيد الذى له تأثير عملى هو أيون الكلوريد. عند التعرض لتركيزات عالية من أيون الكلوريد والأكسجين فإن الحديد فى الصلب يتآكل. تركيز أيون الكلوريد اللازم على سطح المعدن لتنشيط التآكل يعتبر مرتفع نسبيا حوالى ٧٠٠ ملجرام/ لتر.

وفى المجال حيث التركيز العالى لأيون الكلوريد كما فى حالة الغمر المستمر فى مياه البحر حيث يصل تركيز الكلوريد الى حوالى ٢٥٠٠٠ جزء فى المليون لم يظهر أى تآكل للصلب فى الخرسانة وذلك للمعدل البطيء لتسرب الأكسجين خلال طبقة المونة الأسمنتية المشبعة وذلك رغم أن الأكسجين المذاب فى مياه البحر يكون متوفر نسبيا. أما فى حالة التركيزات المرتفعة لأيون الكلوريد وطبقة الحماية الخارجية من المونة الأسمنتية غير مشبعة باستمرار عندئذ يلزم الأخذ فى الاعتبار كلا من محتوى التربة من أيون الكلوريد والمقاومة الكهربية للتربة. فى حالة زيادة أيون الكلوريد عن ١٠٠٠ جزء فى المليون ومقاومة التربة فى أقصى ظروف الرطوبة أقل من ١٠٠٠ أوم- سم عندئذ يلزم حماية السطح الخارجى بالكولتار أو الربط الكهبرى لكل وصلات المواسير فى الخط وتوفير نظام مراقبة نشاط التآكل وعمل الحماية الكاثودية عند ظهور بوادر التآكل.

• التداخل الكاثودي:

سيناقش فى التآكل بفعل التيارات الكهربية الشاردة والحماية الكاثودية.

• التربة الحامضية:

إن تآكل الماسورة الخرسانية سابقة الاجهاد بالأسطوانة الصلب فى التربة الحامضية نادرا جدا وإن كان يحدث فقط فى التربة الملوثة بمخلفات الحريق أو المخلفات الصناعية. ويمكن أن يحدث التآكل للمواسير فى التربة ذات الرقم الهيدروجينى المنخفض وحموضه عالية مع التغيير فى منسوب المياه الجوفيه. ولا يحدث تآكل فى التربة حيث الرقم الهيدروجينى ٥ فأكثر طالما لا يوجد تحرك لمنسوب المياه الجوفية بالنسبة للماسورة. ولكن عند إنخفاض الرقم الهيدروجينى عن ٥ مع تحرك منسوب المياه الجوفيه فإن احتمال حدوث

التآكل قائم في حالة عدم حمل إجراءات الحماية مثل عمليات الردم الخاصة أو بتغطية السطح الخارجي كما سناقش في طرق الحماية الخارجية للماسورة .

• الظروف المناخية:

رغم أن الماسورة تكون عادة مدفونة تحت سطح الأرض إلا أنه يكون أحيانا من الضروري إنشائها فوق سطح الأرض حيث الظروف المناخية مختلفة عن دفنها تحت سطح الأرض . فالتغير السريع في درجات الحرارة بين الليل والنهار والتغير في المناخ بين الرطوبة والجفاف وكذلك التغير في درجات الحرارة بين الصيف والشتاء . والتمدد الناتج عن تجمد وزيادة حجم المياه (من الرطوبة في الجو) في الأسطح الخشنة للخرسانة يمكن أن يسبب إجهادات على سطح الماسورة بما يتلف طبقة المونة الاسمنتية أو الخرسانية . عموما فإن الظروف المناخية يمكن أن تسبب قصر عمر الماسورة في حالة عدم إجراء الحماية للسطح الخارجي .

• التربة الكبريتية:

التربة المحتوية على تركيزات عالية من كبريتات الصوديوم والمغنسيوم والكالسيوم تسمى التربة الكبريتية وهذه التربة عدوانية للإنشاءات الخرسانية وخاصة المعرضة جزئيا للهواء الجوى والملتصقة بالتربة . ولكن الماسورة الخرسانية بالأسطوانة الصلب يمكن أن تقاوم التربة الكبريتية في حالة المحتوى العالي من الاسمنت في مونة التغطية والذي يصل الى ٨ شيكارة في المتر المكعب .

(٤) عدوانية التربة على المواسير الأسمنتية المسلحة بشعيرات الأسبستوس:

تصنع مواسير الأسبستوس اما من الاسمنت البورتلاندى العادى حيث نسبة أكسيد الكالسيوم تكون ١٥% أو أكثر وهذا هو النوع I أما النوع الثاني II فيصنع من الاسمنت عالى الألومنيا حيث لا تزيد نسبة أكسيد الكالسيوم الحر عن ١% أو أقل . وقد يضاف الى الاسمنت وشعيرات الأسبستوس رمل السيليكا المطحون بنسبة ٣٠% . سلسلة المركبات الناتجة بعد

عمليات الشك للأسمت في البخار وفي درجة حرارة تصل الى 130° م تسمى Hydrogarnets وهي شديدة الثبات وذات مقاومة عالية للكبريتات.

الجدول (31) يوضح النقط الارشادية لاستخدام مواسير الاسبتوس في التربة الحامضية طبقاً لأدنى رقم هيدروجيني.

الجدول (32) يوضح عدوانية الكبريتات في التربة والماء على الماسورة بالنسبة للنوع I (اسمنت بورتلاندى).

جدول (31) استخدامات ماسورة الاسبتوس في التربة الحامضية

أدنى رقم هيدروجيني للتربة		حالة المياه في التربة
النوع II	النوع I	
4	5	شبه مستقرة
5	5,5	متوسطة الحركة
5,5	6,3	سريعة الحركة والدوران

جدول (32) عدوانية الكبريتات في التربة والماء على ماسورة الاسبتوس I

نسبة الكبريتات جزء في المليون	حالة المياه في التربة
أقل 1000	غير عدوانية
1000 - 2000	غير عدوانية الى حد ما
2000 - 20000	متوسط العدوانية
أكثر من 20000	شديدة العدوانية

(5) تقييم عدوانية التربة على مواسير النحاس:

رغم أن النحاس يمكن أن يقاوم التآكل بفعل التربة إلا أن هناك أنواع من التربة والظروف المناخية التي يمكن أن تسبب التلف لمواسير النحاس. التربة المحتوية على مواد

عضوية بنسبة عالية وكذلك التربة المحتوية على الفلويه حيث النسبة ما بين الكلوريدات والكربونات الى الكبريتات تكون عالية، وكذلك التركيزات العالية من الأحماض العضوية والغير عضوية وارتفاع تركيز الكلوريدات والكبريتات والتربة ذات التهوية الضعيفة والتي تنشط البكتريا المختزلة للكبريتات وارتفاع تركيزات النشادر في التربة نتيجة التحلل اللاهوائى للملوثات العضوية. وكذلك تزداد حدة تآكل النحاس في التربة عند استخدام الأسمدة والرى بالغمر للتربة ضعيفة التصريف.

لا يتم دفن مواسير النحاس في نواتج الحريق أو الأراضى ذات التغيير فى منسوب المياه الجوفية حيث يمكن حدوث التآكل بفعل المركبات الكبريتية. النحاس فى الخرسانة عادة يكون كاثودى بالنسبة للنحاس المدفون فى التربة بما يسبب التآكل للنحاس فى التربة. كما تعتبر مواسير النحاس للمياه الساخنة المدفونة تحت الأرض أنودية بالنسبة لمواسير نحاس المياه الساخنة فى مثل هذه الحالات يلزم العزل الكهربى بينهما.

(٦) عدوانية التربة على مواسير البلاستيك:

مواسير بى فى سى، البولى إيثيلين، البولى بروبيلين هى مواسير من بلمرات الثيرموپلاستيك المستخدمة عادة فى نقل المياه ومياه الصرف. هذا النوع من المواسير لا يحدث له تآكل كهروكيميائى كما فى حالة المواسير المعدنية نظرا لأنها غير موصلة للكهرباء وهى كذلك لا تتأثر بالأحماض والقلويات والأملاح المذابة ولهذا فإن إجراءات الحماية الخارجية والداخلية للماسورة غير مطلوبة.

ولكن هذه الأنواع من المواسير يمكن أن يتلف بفعل المواد التى تعمل على تحلل البلمرات وإزابتها أو نتيجة الشروخ فى جسم الماسورة بفعل الإجهادات الزائدة.

بعض المذيبات مثل الجازولين الأستون والكتون يمكن أن يذيب مادة الماسورة وكذلك التعرض المباشر لأشعة الشمس حيث تتحلل البلمرات بفعل الأشعة فوق البنفسجية (UV).

كما تتأثر مواد التيرموپلاستيك بالمركبات العضوية ذات الوزن الجزيء المنخفض مثل غاز الميثان والذي يكون من نواتج التحلل اللاهوائى للمواد العضوية فى التربة. ولهذا يوصى بعدم انشاء هذا النوع من المواسير فى تربة محتوية على مواد عضوية من الصرف الصحى أو الصناعى أو المخلفات النباتية. وهذه العوامل لها تأثير كذلك على مواسير البلاستيك من التيرموسيت ولكن بدرجة أقل.

٨- التآكل بفعل التيارات الكهربائية الشاردة:

أ- التآكل بفعل التيارات الشاردة: (Stray Currents Corrosion)

التيار الكهربى المستمر (Direct Current) الذى يسرى فى التربة فى منطقة خط المواسير أو المنشأ المعدنى يمكن أن يسبب تآكل للمعدن أو الماسورة. يسمى التيار الكهربى بالتيار الشارد فى حالة حيودة عن مساره فى الدائرة الكهربائية التى ينبعث منها. التيار الشارد هو مشكلة لخطوط المواسير المتصلة كهربيا والتي يمكن أن تشكل معر أقل فى المقاومة للتيار عن دائرته الأصلية. خطوط المواسير المعزولة كهربيا (باستخدام وصلات مطاط للعزل الكهربى) غير معرضة للتآكل بفعل التيار الشارد.

عند التخطيط لانشاء خطوط المواسير المعدنية وعند وجود احتمال تيار شارد يسبب التآكل. تكون الخطوة الأولى هو دراسة مصادر التيار الشارد المحتمل. مصادر التيار الشارد المستمر تكون من القاطرات التى تعمل بالكهرباء والترولى باس ومعدات اللحام وكذلك نظم الحماية الكاثودية بالتيار المستمر شكل (٦٤).

خطورة التآكل بالتيارات الكهربائية الشاردة أنها تحدث تآكل كهروكيميائى فى منطقة خروج التيار والذى يكون أنود. أما منطقة دخول التيار فهى الكاثود وقد يحدث فيها تآكل كذلك وذلك فى حالة وجود جيب على سطح المعدن الخارجى وفى منطقة دخول التيار حيث يتراكم الهيدروجين الذرى (H^+) على الكاثود ويحدث تلف للمعدن ويسمى هذا التآكل بالتآكل الهيدروجينى (Hydrogen Blistering Corrosion) والذى يحدث عادة فى السلك الصلب للمواسير الخرسانية سابقة الإجهاد، بما يترتب عليه تدمير للماسورة أما بالنسبة لمواسير الصلب فيحدث التآكل على السطح الخارجى للماسورة (فى منطقة خروج التيار فقط)

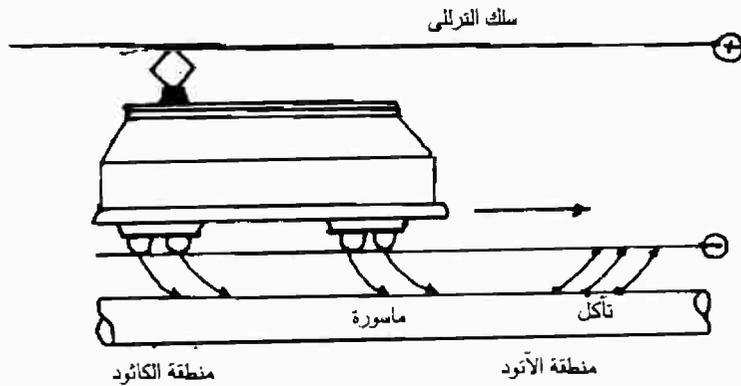
يستخدم عادة ثلاثة إختبارات لمعرفة وتقييم التيار الشارد فى الموقع . يتم كل إختبار بقياس فرق الجهد وهم:

إختبار قياس فرق الجهد بين الماسورة والترية، إختبار فرق الجهد بين نقطتين على خط المواسير وإختبار فرق الجهد بين نقطتين فى الترية.

عند وجود موصلات على خط المواسير على مسافات مناسبة فإنه يمكن الكشف عن التيارات الشاردة والتآكل النشط فى حالة المواسير المتصلة كهربيا.

لذلك فى حالة الرغبة فى الكشف عن التيارات الشاردة أو عمل الحماية الكاثودية يلزم عمل العزل الكهربى لقطاعات من خط المواسير.

سيتم باختصار وصف هذه الاختبارات مع مراعاة أهمية تسجيل نقط التوصيل والوصلات مع الخطوط الأخرى والمهمات المنشأة على الخط (محابس .. الخ) والقرب من الخطوط الأخرى أو الانشاءات التى يمكن أن تؤثر على بيانات القياس.

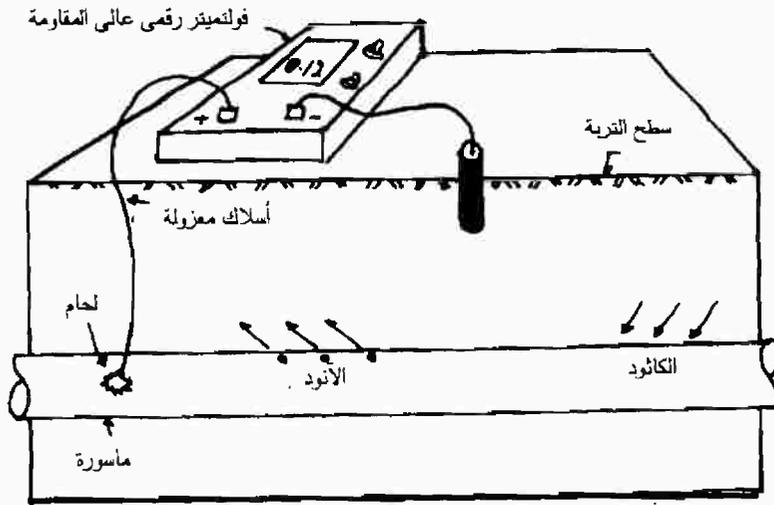


شكل (٦٤) التآكل لماسورة مدفونة بفعل التيارات الشاردة من تيار ثابت لترولى (التآكل فى منطقة (الآتود) خروج التيار.

ب- قياس الجهد بين الماسورة والترية:

الجهد بين الماسورة والترية هو الجهد بين معدن الماسورة وقطب عيارى يوضع ملتصقاً بالترية. القطب العيارى عبارة عن نصف خليه وهو عادة قطب من النحاس وكبريتات النحاس. تتكون نصف الخلية من قضيب من النحاس فى محلول مشبع من بلورات كبريتات النحاس. ونصف الخلية الأخرى هو المعدن فى اليكتروليت الترية. الخلية العيارية لها جهد ثابت ومستقر حيث يمكن قياس جهد أى معدن آخر مقارنة بها وذلك يشبه قياس الإرتفاعات بالنسبة لسطح البحر.

قياس الجهد بين الماسورة والترية عندما يصبح أكثر سلبياً مع تحريك الخلية العيارية بعيداً عن الماسورة تكون الماسورة أنودية وتميل إلى حدوث التآكل وعندما يصبح أكثر سلبياً كلما قربت الخلية العيارية من الماسورة تكون الماسورة كاثودية وغير معرضة للتآكل شكل (٦٥).



شكل (٦٥) إختبار الجهد بين الماسورة والترية

ب - قياس فرق الجهد على مسار خط المواسير Current Span

يستخدم قياس فرق الجهد في التعرف على التيارات الشارده على خط المواسير المستمر ولتحديد المناطق المعرضه للتآكل. يعين فرق الجهد بقياس الجهد بين نقطتين على خط المواسير ثم حساب التيار اللازم لإيجاد هذا الجهد في خط المواسير من مادة معينه وحجم معين. يجرى القياس باستخدام فولتمتر عالي المقاومه به قياسات بالمليفولت مع توصيل الأطراف بموصلات إختبار. يمكن تعيين التيار الشارد في مسافة القياس باستخدام تيار ثابت مضاد للتيار الشارد بين نقطتي الإختبار ثم ضبط التيار المستخدم حتى يصل القياس لفرق الجهد بين النقطتين الى صفر. التيار المستخدم المضاد للتيار الشارد يساوى التيار المار. عند عمل عدة إختبارات على خط المواسير يمكن تعيين مناطق خروج التيار (الآنود حيث يخرج التيار ويحدث تآكل).

ج - قياس التدرج في جهد التربة: (Ground Voltage Gradient)

قياس التدرج في جهد التربة يساعد في تحديد وجود تيار في التربة قريبا من خط المواسير أو منشأ معدنى تحت الأرض وكذلك في تعيين إتجاه التيار وهذا يساعد في تعيين مصدره .

عند القياس على إستقامة خط المواسير تمكن النتائج من تعيين المناطق الأنودية على خط المواسير.

يستخدم لقياس التدرج في جهد التربة مقياس المليفولت عالي المقاومه ووحدين نصف خلية من نحاس/ كبريتات النحاس متماثلتين. يمكن معايرة أنصاف الخلايا (البطاريات) بوضعهم جنبا الى جنب على سطح التربة.

عند وضع أنصاف البطاريات جنبا الى جنب على سطح التربة وعلى فواصل معينة بينهما مع تسجيل فرق الجهد بالمليفولت. في حالة وجود فرق من جهد يعنى ذلك وجود تيار أرضى. تجرى التجربة بعمل عدة قراءات على خط مستقيم وذلك بتحريك نصف البطاريات بطريقة قفز الضفدعة وذلك بترك نصف بطارية في مكانها وتحريك الأخرى على مكان

جديد بفواصل متساوية وعلى إستقامة واحدة بما يجعل عملية القياس تتم بسرعة. يراعى تسجيل القراءات فى كل قراءة جديدة. التغيير الواضح فى القراءات يبين المناطق الأنودية والكاثودية لخط المواسير فى حالة تنفيذ أعمال القياس فوق خط المواسير.

٩- التآكل بفعل العوامل الميكانيكية: شكل (٦٧)

هذه الأنواع من التآكل تتم لعوامل ميكانيكية وكيميائية. وطبقا للعوامل الميكانيكية يمكن التعرف على الأنواع الآتية:

أ- الإجهادات الميكانيكية داخل المعدن وتشمل:

- التآكل والتشقق بفعل الإجهاد (Stress Corrosion Cracking). وهذا النوع من التآكل يرجع الى إجهاد الشد على المعدن.
- التشقق الهيدروجينى (Hydrogen Cracking) ويرجع الى إجهاد الشد فى وجود الهيدروجين الذرى (H^+) كما فى حالة التيارات الشاردة حيث يحدث فى منطقة الكاثود وهى منطقة دخول التيار الشارد.
- التآكل بالإجهاد (Corrosion Fatigue) بسبب إجهاد التردد والإهتزاز

ب- التآكل بالبرى أو بالازالة الميكانيكية لطبقة الحماية من أكسيد المعدن وهذه تسمى Fretting Corrosion

وهذا النوع من التآكل يحدث عند التصاق معدنين أو سطح معدنى و سطح آخر غير معدنى تحت ضغط مع وجود حركة بينهما نتيجة إهتزازات أو زبزة مما ينتج عنه ازالة لطبقة الحماية من الأكسيد على سطح المعدن وتآكله.

ج- الأثر الميكانيكي للسائل على المعدن:

- التآكل بالنحت (Erosion Corrosion) نتيجة الإحتكاك بين السائل والمعدن بسبب التدفق المضطرب (Turbulent Flow).

- التآكل الكهفي (Cavitation) ويحدث نتيجة مطرقة للسائل عند تحوله الى نجار نتيجة الانخفاض المفاجيء فى الضغط ويحدث عادة فى قرص محابس القفل حيث تحدث ازالة لطبقة الأكسيد أو الحماية.
- التآكل بالاصطدام (Impinging Corrosion) ويحدث نتيجة إصطدام نافورة المياه تحت ضغط على سطح المعدن كما فى حالة التريز للمياه ونشرها فى أبراج التهوية.

١٠- التآكل البيولوجي والكبريتي:

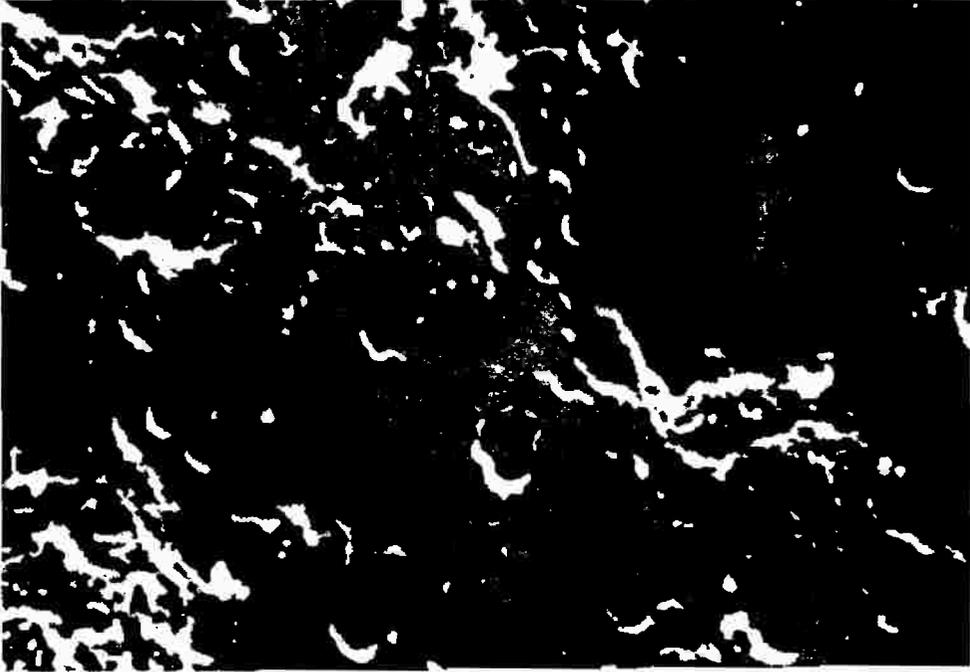
أ- التآكل البيولوجي (Biological Corrosion)

وهو ناتج عن التفاعل بين مادة الماسورة والكائنات الدقيقة مثل البكتيريا والطحالب والفطريات. وهذا النوع من التآكل يحدث عادة فى شبكات مواسير مياه الشرب حيث يحدث تغير فى المذاق والرائحة للمياه بالاضافة الى تلف المواسير. ويمكن تفادى هذا التآكل بعدم وجود نهايات ميتة أو وجود مياه راكده. يصعب مقاومة هذا التآكل وذلك لاختباء البكتريا فى الفراغات وتراكمها على الترسبات وأسفلها بما يجعل المقاومة بالمطهرات صعبة الأمر الذى يتطلب الإزالة والنظافة الميكانيكية للبكتريا.

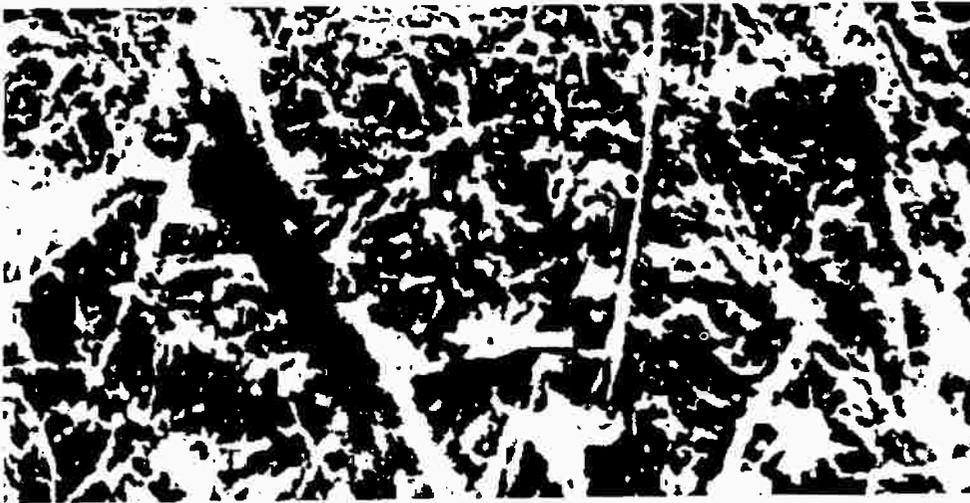
ب- التآكل الكبريتي Sulphur Corrosion

ويحدث هذا النوع من التآكل فى شبكات الصرف أساسا وذلك عند بطيء معدل التدفق ووجود زوايب صلبة فى قاع المواسير. وهذه الرواسب تتحلل لا هوائيا منتجة غاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S) الذى يتصاعد الى أعلا داخل الماسورة فوق سطح السائل ويتفاعل مع الأكسجين مكونا أحماض الكبريت التى تسيل على الجدار الداخلى للماسورة محدثة تآكل بين سطح السائل والفراغ. وهذا النوع من التآكل مدمر للمواسير المصنوعة من المواد الأسمنتية أساسا. شكل (٦٦) كما يتفاعل كبريتيد الهيدروجين مع معدن الحديد فى المواسير الحديدية مكونا كبريتيد الحديد ويتفاعل مع النحاس والمواسير المجلفنة مكونا مياه سوداء.

أشكال التآكل أرقام ٦٧ الى ٧٩ .

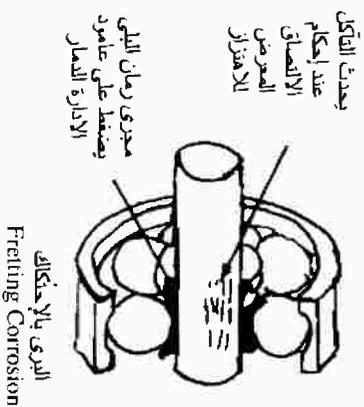
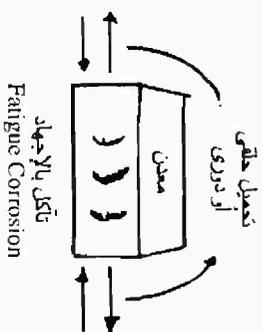
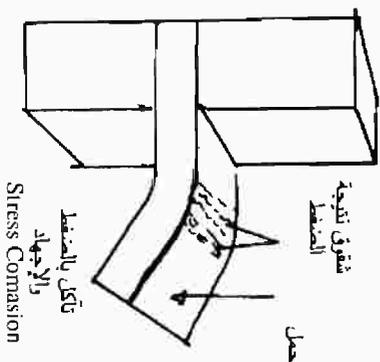


شكل (٦٦- أ) السطح الداخلي لمواسير الاسبستوس قبل حدوث التآكل

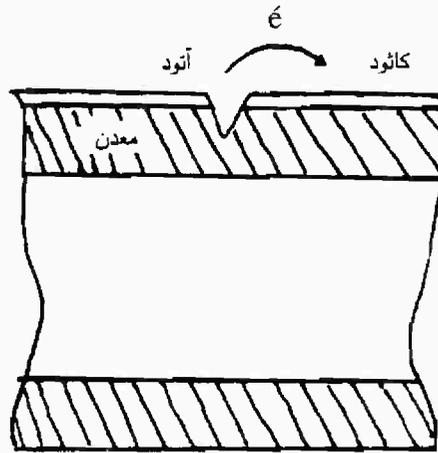


شكل (٦٦- ب) التآكل الداخلي لمواسير الاسبستوس حيث تزال

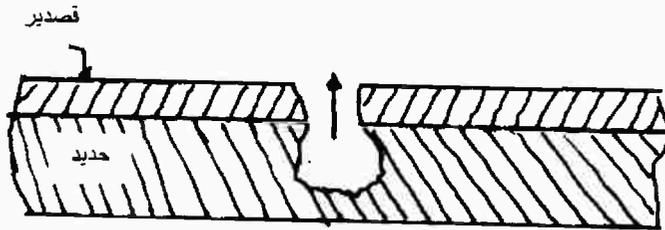
المادة الاسمنتيه وتحرر شعيرات الأسبستوس



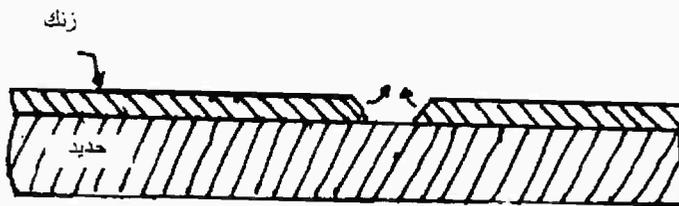
شكل (٦٧) أنواع التآكل الميكانيكي



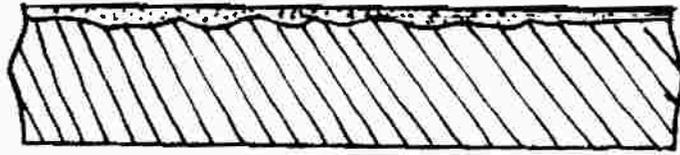
شكل (٦٨) تآكل ثقبي خارجي الماسورة معدنية



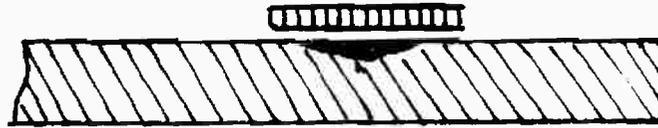
شكل (٦٩) تآكل جلفني الحديد آتود



شكل (٧٠) تآكل جلفني الحديد كاثود



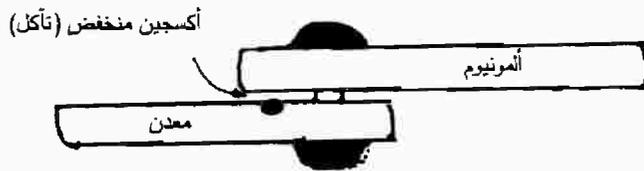
شكل (٧١) تآكل عام



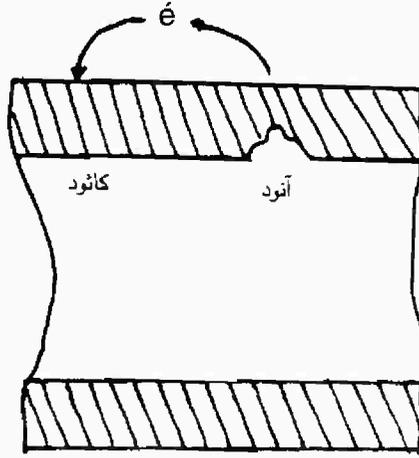
شكل (٧٢) تآكل حفري (حبيبي) Crevice



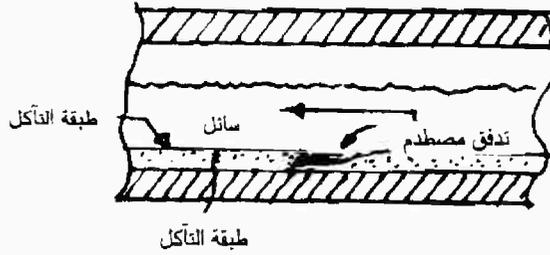
شكل (٧٣) تآكل طبقي (Layer Corrosion)



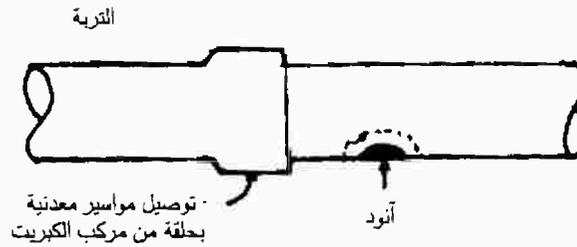
شكل (٧٤) تآكل لاختلاف تركيز الأكسجين



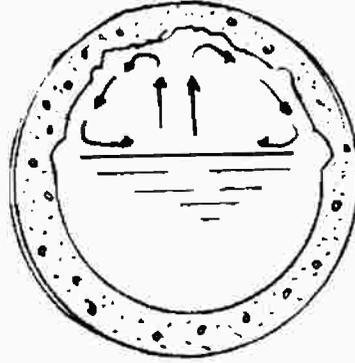
شكل (٧٥) تآكل ثقبى داخلى لماسورة معدنية



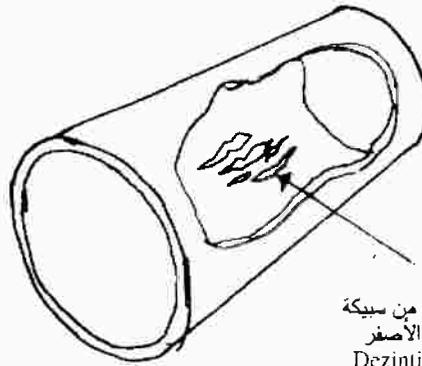
شكل (٧٦) تآكل بالاصطدام (Impingement)



شكل (٧٧) مجال عدوانى يسبب البكتريا المختزلة للبكتريئات



شكل (٧٨) في المواسير الخرسانية أو الاسبتوس يتآكل الأسمنت بفعل حامض الكبريتيك الناتج عن تصاعد كبريتيد الهيدروجين وتفاعله مع الاكسجين



إزالة الزنك من سبيكة
النحاس الأصفر
Dezintification

شكل (٧٩) تآكل تفضيلي Selection Corrosion

١١- عوامل تنشيط التآكل الداخلي لمواسير المياه

عوامل تنشيط التآكل الداخلي لمواسير المياه هي إما عوامل طبيعية أو عوامل كيميائية:

أ- العوامل الطبيعية لتنشيط التآكل الداخلي:

(أ) درجة الحرارة:

مثل معظم التفاعلات فإن معدل التآكل يزداد بارتفاع درجة الحرارة حيث يتضاعف تقريبا لكل عشرة درجات مئوية إرتفاع في درجة الحرارة. أما في حالة التعرض للهواء الجوى فإن معدل التآكل قد يزداد أولا ثم يقل مع إرتفاع درجة الحرارة نظرا لإنخفاض إذابة الغازات المذابة في الماء مع الارتفاع في درجة الحرارة حيث يتخلص السائل من الغازات المذابة بما يقلل من عدوانية المياه. ولهذا فعذوانية المياه تزداد بزيادة درجة الحرارة ثم تقل مع الاقتراب من درجة الغليان وذلك لفقد الغازات المذابة.

في النظام المغلق فإن معدل التآكل لا ينطبق عليه هذا الأمر نظرا لأن الضغط في النظام المغلق يمنع تسرب الغازات من السائل ولذلك يزداد معدل التآكل مع إرتفاع درجة الحرارة. وكذلك فإن الضغط يزيد من إذابة الغازات بما يزيد من عدوانية المياه. درجة الحرارة يمكن أن تغير في طبيعة التآكل. فالمياه المسببه للتآكل الثقبي في درجات الحرارة العادية يمكن أن تسبب تآكل عام في درجات الحرارة المرتفعة ولكن رغم أن كمية المعدن التي تزال بالتآكل العام تكون كبيره إلا أن طبيعة التآكل تكون أقل حده حيث لا يحدث التلف السريع للماسورة.

عند إرتفاع درجة الحرارة يتغير جهد التآكل للزنك والحديد (الحديد المجلفن) فعند إرتفاع درجة الحرارة أعلا من ٤٥° م يتحول الزنك في المواسير المجلفنة من الأنود بالنسبة للحديد الى الكاثود ويصبح الحديد أنود ويتآكل.

(٢) سرعة المياه:

سرعة المياه تحدث تآكل وتزداد حدة التآكل في حالة وجود مواد صلبة عالقة بما يسبب تآكل بالازالة لطبقة الأكسيد التي تحمي المعدن أو طبقة الحماية من على سطح المعدن وفي

حالة تكون طبقة اكسيد جديده تزال وهكذا. تساعد سرعة المياه على إنتشار الأكسجين المذاب والذي يعمل على تنشيط التآكل. وعلى العكس فإن المياه الراكدة أو في حالة السرعات البطيئة نسبيا تحدث نوع آخر من التآكل وهو التآكل الثقبي أو تكون درنات عالقة على سطح المعدن وهذه أنواع من التآكل الموضعي والذي قد يتحول الى تآكل عام عند إرتفاع درجات الحرارة وبذلك يزداد معدل التآكل على سطح المعدن.

يساعد إرتفاع درجات الحرارة وسرعة المياه على ترسيب طبقة من كربونات الكالسيوم على السطح الداخلى للمواسير ومن ثم حمايتها من التآكل وذلك في حالة المياه التي ترسب كربونات الكالسيوم.

عند الهبوط الحاد في ضغط المياه أو السائل عموما أقل من الضغط الجوى يحدث نوع آخر من التآكل وهو التآكل الكهفي أو التفريغى (Cavitation Corrosion) والذي يحدث عند السرعات العالية للمياه والتي يليها نقص مفاجيء في السرعة (الضغط) أو نتيجة التغير الحاد في مسار السائل بما ينتج عنه تلف وتدمير طبقة الحماية أو الجسم المعدنى للماسورة، كما أن السرعة العالية تسبب التآكل بالبرى.

السرعة البطيئة جدا تسبب كذلك تآكل في شبكات المياه، فالتدفقات البطيئة والمياه الآسنة تساعد على التآكل بالترسيبات والتآكل الثقبي وخاصة في مواسير الحديد كما تساعد كذلك على النمو البيولوجي. لهذا يلزم تجنب النهايات الميتة وعدم ركود المياه. السرعة المناسبة للمياه في المواسير هي من ٠,٩ - ١,١ متر في الثانية.

ب - العوامل الكيميائية لتنشيط التآكل:

وتشمل الرقم الهيدروجيني والأملاح المذابة والغازات المذابة في الماء وعوامل أخرى

(١) الرقم الهيدروجيني: (pH valve)

الرقم الهيدروجيني للماء ٥ فأقل يزيد من تآكل الحديد والنحاس بسرعة وإنتظام. وعند رقم هيدروجيني اكبر من ٩ يمكن أن يوفر حماية لسطح المعدن. وما بين رقم هيدروجيني

٥، ٩ فإن التآكل الثقيل محتمل حدوثه. الرقم الهيدروجيني له تأثير كذلك على تكون وإزالة طبقة الحماية.

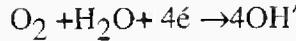
(٢) القلوية: Alkalinity

القلوية هي مقياس لقدرة الماء على معادلة الحامض. في مياه الشرب تكون القلوية غالباً من الكربونات والبيكربونات (CO_3^{2-} , HCO_3^-). وهذه المواد يمكنها أن تعادل الأحماض أما البيكربونات فقط فيمكنها معادلة الأحماض والقلويات وتسمى هذه الخاصية بالدرىء (Buffering). قياس هذه الخاصية يسمى طاقة الدرء (Buffer Capacity). الكربونات لا توفر قوة الدرء للقلويات لعدم وجود أيون الهيدروجين (H^+) لتفاعل مع القلوى. طاقة الدرء يمكن التعبير عنها بأنها مقاومة التغير في الرقم الهيدروجيني والعمل على ثباتها. كثير من التفاعلات في كيمياء التآكل تتأثر بالكربونات والبيكربونات بما فيها قدرة الماء على ترسيب طبقة حماية من الكربونات أو إزالتها أو إذابة الكالسيوم الموجود في بطانة المونه الأسمنتية، أو المادة الأسمنتية عموماً.

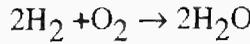
القلوية تقلل إذابة الرصاص في مادة اللحام ذات المكون الرئيسي من الرصاص.

(٣) الأكسجين المذاب:

الأكسجين عامل هام في التآكل الكهروكيميائي - الأكسجين يمتص الاليكترونات المنطلقة من المعدن المتآكل كالمعادلة



ويتفاعل مع الهيدروجين على الكاثود، وهذه التفاعلات تعمل على استمرار التآكل



(٤) الكلور المتبقي:

الكلور يزيد معدل التآكل للحديد في جرعات من الكلور الحر حتى ٤، ٠ ملجرام/ لتر أما الكلور المتحد في شكل المونوكلورامين والدايكلورامين فإنه يعمل على تثبيط التآكل للحديد عند تركيز ٤، ٠ - ٣، ٦ ملجرام/ لتر.

(٥) الكلوريدات والكبريتات:

أيونات الكلوريدات والكبريتات تزيد من تآكل الحديد الصلب بصرف النظر عن الكاتيون وتزداد حدة التآكل في المياه الغير محتوية على أملاح البيكربونات .

معدل التآكل لوجود الكلوريدات يزداد بالنسبة للصلب لازالة طبقة الخمول واحداث تآكل ثقبي .

وقد ثبت من الأبحاث أن نسبة كلا من الكبريتات والكلوريدات الى البيكربونات تمكن من تقدير عدوانيتها حيث يجب الا تزيد هذه النسبة عن ١ .

$$\frac{(CL^-) + 2(SO_4^{2-})}{(HCO_3^-)} < 1$$

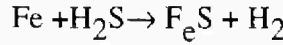
(٦) السيليكات والفوسفات Silicates and Phosphates

السيليكات والفوسفات تعمل كمثبطات وتكون طبقة حماية بين الماء والجدار الداخلى للماسورة . وهذه الكيماويات تستخدم عادة في مقاومة التآكل الداخلى للمواسير .

(٧) كبريتيد الهيدروجين (H₂S):

كبريتيد الهيدروجين هو ناتج الأكسدة اللاهوائية للمواد العضوية بفعل البكتيريا اللاهوائية التي تنشط في حالة عدم وجود أكسجين مذاب في الماء أو لوجوده بنسبة أقل من ١,٠ ملجرام/لتر. وتحدث هذه الأكسدة اللاهوائية في المياه الراكدة وفي النهايات الميتة للشبكات وفي مياه الخزانات الغير متجددة باستمرار وتحدث كذلك بدرجة كبيرة في مياه الصرف الصحي لاحتوائها على تركيزات عالية من المواد العضوية . كبريتيد الهيدروجين سريع الذوبان في الماء حيث يتكون حامض ضعيف يسبب التآكل الثقبي في الحديد ويذيب الكالسيوم في المواسير الاسمنتية . ويتفاعل مع الحديد يتكون كبريتيد الحديد الذي لا يذوب في الماء . وهو يتفاعل مع الحديد والصلب والنحاس والمواسير المجلفنة مكونا مياه سوداء .

كبريتيد الحديد كاثودي بالنسبة للحديد بما يجعل الحديد أنودي ويتآكل أى أن كبريتيد الهيدروجين ينشط التآكل الكهروكيميائي والتآكل الكيميائي كما يساعد على تنشيط شكل آخر من أشكال التآكل وهو التآكل الهيدروجيني والذي يسمى كذلك الانفجار الهيدروجيني والتشقق الكبريتي. كبريتيد الحديد الناتج يلتصق عادة بسطح المعدن كقشور أو مسحوق أسود. تفاعلات كبريتيد الهيدروجين معقده، عادة يظهر تأثيره فوراً أو قد لا يظهر لعدة شهور ثم يبدأ فجأة شديد العدوانية.



ج- التآكل البيولوجي الداخلي

يوجد نوعين من البكتريا العدوانية في إمدادات المياه وهما البكتريا المؤكسده للحديد والبكتريا المختزلة للكبريتات. كما يمكن أن تساعد البكتريا على التصاق الترسبات بجدار الماسورة. يزداد نشاط البكتريا بزيادة درجات الحرارة ويقل عند أقل من ١٠° م. أقصى نشاط للبكتريا هو عند رقم هيدروجيني ٧ ودرجة حرارة ٣٧° م.

التحكم في القضاء على البكتريا صعب في حالة كونها في الترسبات العالقة بجدار المواسير أو في النهايات الميتة بما لا يمكن الكلور من الوصول إليها. والبكتريا تعمل على تغير اللون والمذاق للمياه.

١٢- طرق القياس للتآكل

يوجد طريقتين لقياس التآكل وهما الطريقة المباشرة والغير مباشرة: الطريقة الغير مباشرة لقياس التآكل تشمل تسجيل وتحليل شكوى المواطنين المستهلكين للمياه ومؤشرات التآكل والتحليل الكيماوي لعينات المياه. الطريقة الغير مباشرة تمكن من الكشف عن حدوث التآكل من عدمه ولكن لا تقيس معدل التآكل.

الطريقة المباشرة: وتشمل الكشف والمعاتبه المباشرة أو قياس معدل التآكل بالنسبة للفقد في المعدن.

أ- الطرق الغير مباشرة لقياس التآكل:

تستخدم في حالة شبكات نقل مياه الشرب، حيث تكون شكوى المواطنين عادة هي الظاهره الأولى لمشكلة التآكل في شبكات المياه.

(١) شكوى المواطنين وأسبابها المحتملة كما في الجدول (٣٣)

جدول (٣٣) شكوى المواطنين من مياه الشرب وأسبابها:

شكوى المواطنين	الأسباب المحتملة
المياه الحمراء لطب زرقاء تلتصق بالآنية والملابس مياه سوداء رائحة و/ أو مذاق كريه الفقد في الضغط	تآكل المواسير الحديدية (أو لوجود مركبات الحديد في المياه من المصادر الجوفية) تآكل مواسير النحاس التآكل الكبريتي للنيحاس والحديد نواتج النشاط البيولوجي ترسيبات زائده، تكون درنات نتيجة التآكل الثقبي، التسرب في الشبكة لوجود ثقب أو تلف في المواسير أو الوصلات

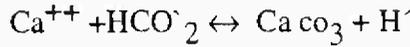
(٢) مؤشرات التآكل: Corrosion Indices

تستخدم مؤشرات التآكل لتقدير عدوانية المياه والتنبؤ بها وذلك في حالة تقدير التآكل الداخلي لمواسير نقل المياه أو حمايتها.

يوجد كثير من مؤشرات التآكل ولكن أكثرها شيوعاً هي مؤشر لانجيلير للتشبع (Langelier Saturation Index-LSI) ومؤشر العدوانية (Aggressive Index- AI)، ومؤشر الثبات لريزنر (Ryznar Stability Index- RSI).

وهذه المؤشرات تقدر إستعداد المياه لترسيب طبقة حماية من كربونات الكالسيوم على السطح الداخلى للماسورة أو إستعداد المياه لازالة الترسيبات أو تآكل المونة الأسمنتية بما يعرض السطح الداخلى للماسورة للتلف.

لتقدير إستعداد المياه لترسيب طبقة رقيقة من كربونات الكالسيوم على الجدار الداخلى للماسورة لمنع إتصال المياه بالماسورة وخفض فرص التآكل فإنه يلزم التعرف على تركيز كربونات الكالسيوم فى الماء لتقدير إستعداد المياه لترسيبها. ولكن فى حالة الترسيبات الزائدة من كربونات الكالسيوم فإن ذلك يقلل من طاقة التحميل لخط المواسير نتيجة النقص فى القطر الداخلى للمواسير بالاضافة الى زيادة طاقة الضخ للمياه. ترسيب كربونات الكالسيوم يحدث طبقاً للمعادلة.



فى حالة تقدم التفاعل جهة اليمين تحدث الترسيبات أما فى حالة تقدم التفاعل الى جهة اليسار تذوب وتتلاشى الترسيبات مع ترك الأسطح التى تم حمايتها معرضه للتآكل. عند التشبع التام للماء بكربونات الكالسيوم فإنه لا يحدث ترسيب أو إذابة لكربونات الكالسيوم من على سطح الماسورة. قيمة التركيز لكربونات الكالسيوم فى الماء تتوقف على تركيز أيون الكالسيوم وقلوية الماء ودرجة الحرارة والرقم الهيدروجينى والأملاح المذابة.

(أ) مؤشر لانجيلير للتشبع: LSI

هذا المؤشر هو الأكثر استخداماً فى مجال مياه الشرب. مؤشر LSI مبنى على تأثير الرقم الهيدروجينى فى إذابة كربونات الكالسيوم. الرقم الهيدروجينى الذى يعمل على تشبع الماء بكربونات الكالسيوم يعرف بالرقم الهيدروجينى للتشبع (pH_S). عند رقم هيدروجينى pH_S فإنه لا يحدث ترسيب أو إذابة لكربونات الكالسيوم. ويعرف LSI بالمعادلة التالية.

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_S$$

تقيم نتائج المعادلة كالاتى:

فى حالة LSI أكبر من صفر تكون المياه مشبعة وتعمل على ترسيب طبقة من كربونات الكالسيوم.

فى حالة LSI أصغر من صفر تكون المياه غير مشبعة وتذيب كربونات الكالسيوم الصلبه.

فى حالة LSI = صفر تكون المياه مشبعة ولكن لا تكون ترسيبات ولا تذيبها.

لحساب LSI يلزم توفير البيانات التالية:

القلوية الكلية (ملجرام / لتر) ككربونات كالسيوم

الأملاح الكلية المذابة ملجرام / لتر

الرقم الهيدروجينى.

درجة الحرارة

الرقم الهيدروجينى للتشبع pH_s .

قيمة pH_s يمكن حسابها بالمعادلة التالية

$$pH_s = A + B - \text{Log} (Ca^{++}) - \text{LogTotal alkalinity}$$

قيمة كلا من الثابت B و A كما فى الجدول (٣٤، ٣٥) لوغاريتم تركيز أيون الكالسيوم

والقلوية الكلية كما فى الجدول (٣٦).

جدول (٣٤) قيمة ثابت A بدلاله درجة الحرارة

قيمة ثابت A بدلاله درجة الحرارة °م			
الحرارة °م	ثابت A	الحرارة °م	ثابت A
٣٠	١,٩	صفر	٢,٦
٤٠	١,٧	٤	٢,٥
٥٠	١,٥٥	٨	٢,٤
٦٠	١,٤	١٢	٢,٣
٧٠	١,٣٥	١٦	٢,٢
٧٠	١,٣٥	٢٠	٢,١
٨٠	١,١١٥	٢٥	٢,٠

جدول (٣٥) قيمة ثابت B بدلالة الأملاح الكلية المذابة:

الاملاح المذابة ملجرام / لتر	ثابت A
صفر	٩,٧
١٠٠	٩,٧٧
٢٠٠	٩,٨٣
٤٠٠	٩,٨٦
٨٠٠	٩,٨٩
١٠٠٠	٩,٩

جدول (٣٦) لوجاريم تركيز الكالسيوم والمغنسيوم:

اللوجاريم	الكالسيوم أو القلوية ملجرام / لتر ككربونات كالسيوم
١	١٠
١,٣	٢٠
١,٤٨	٣٠
١,٦	٤٠
١,٧	٥٠
١,٧٨	٦٠
١,٨٤	٧٠
١,٩	٨٠
٢,	١٠٠
٢,٣	٢٠٠
٢,٤٨	٣٠٠
٢,٦	٤٠٠
٢,٧	٥٠٠
٢,٧٨	٦٠٠
٢,٨٤	٧٠٠
٢,٩	٨٠٠
٢,٩٥	٩٠٠
٣,٠٠	١٠٠٠

مثال: مياه صنوبر لها الخصائص الآتية طبقاً للتحاليل المعملية
الكالسيوم ككربونات كالسيوم ٨٨ ملجرام/ لتر
القلوية ككربونات كالسيوم ١٠٠ ملجرام/ لتر
الأملاح الكلية المذابة ١٧٠ ملجرام/ لتر

ثم أخذ عينتين لقياسات الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة في توقيتات متفاوتة حيث تم تسخين المياه في الحالة الثانية.

العينة الأولى الرقم الهيدروجيني ٨,٢ ودرجة الحرارة ٢٥° م

العينة الثانية الرقم الهيدروجيني ٨,٠٥ ودرجة الحرارة ٥٧° م

خطوات حساب LSI باستخدام الجداول (٣٤، ٣٥، ٣٦) وتقييم النتائج:

الحالة الأولى حيث $\text{pH} = 8.2$ ، درجة الحرارة ٢٥° م

$$\begin{aligned} \text{pH}_s &= A + B - \text{Log}(\text{Ca}^{++}) - \text{Log Alkalinity} \\ &= 2 + 9.81 - 1.94 - 2.04 \\ &= 7.83 \\ \text{LSI} &= \text{pH} - \text{pH}_s = 8.2 - 7.83 = 0.37 \end{aligned}$$

الحالة الثانية حيث $\text{pH} = 8.05$ ودرجة الحرارة ٥٧° م

حيث تم تسخين المياه في الحالة الثانية الى ٥٧° م عندئذ

$$\begin{aligned} \text{pH}_s &= 1.45 + 9.81 - 1.94 - 2.04 = 7.28 \\ \therefore \text{LSI} &= 8.05 - 7.28 = 0.77 \end{aligned}$$

نتائج الحسابات السابقة تقيم كالآتي:

الحالة الأولى حيث $\text{LSI} = 0.37$ ، الماء يميل الى ترسيب كربونات الكالسيوم

الحالة الثانية حيث $\text{LSI} = 0.77$ ، الماء يرسب كربونات الكالسيوم بالتأكيد

المثال السابق يوضح عاملين هامين

الأول هو مدى تأثير الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة في قيمة LSI وهذا يوضح الحاجة الى الدقة في قياسهما في الموقع .

الثاني: أن المياه يمكن أن ترسب طبقة رقيقة جدا عند درجة حرارة ٢٥ °م كما يمكنها ترسيب كميات كبيرة في أنظمة المياه الساخنة .

يوجد حدود لمؤشر LSI حيث أنه مناسب في مجال هيدروجيني ٦,٥ - ٩,٥ كما أنه يوضح نقط الاستعداد لحدوث التآكل من عدمه . ويستفاد به في تعيين احتمالات تكون طبقة حماية أو استعماله مع طرق أخرى مباشرة أو غير مباشرة للكشف عن التآكل .

(ب) مؤشر العدوانية: (AI - Aggressive Index)

مؤشر العدوانية شكل مبسط لمؤشر LSI وهو مبنى على الرقم الهيدروجيني وإذابة كربونات الكالسيوم . ويفيد في تقدير عدوانية المياه على المواسير الأسبستوس .

يعرف مؤشر العدوانية (AI) بالآتي

$$AI = pH + \text{Log} \{ (A) (H) \}$$

حيث A = القلوية الكلية ملجرام/ لتر ككربونات كالسيوم

H = عسر الكالسيوم ملجرام/ لتر ككربونات كالسيوم

pH = الرقم الهيدروجيني للماء .

وتقيم نتائج AI كالتالي:

AI أصغر من ١٠ تكون المياه عدوانية

AI = ١٠ - ١٢ تكون المياه متوسطة العدوانية

AI أكبر من ١٠ تكون المياه غير عدوانية

مثال: عينه من المياه تم تحليلها معمليا وكانت النتائج كالاتى:

$$A = 199 \text{ ملجرام/ لتر، } pH = 7.4, H = 153 \text{ ملجرام/ لتر}$$

$$AI = pH + \text{Log} \{(A) (H)\}$$

$$\therefore AI = 7.4 + \text{Log} 199 \times 153$$

$$= 7.4 + \text{Log} 199 + \text{Log} 155$$

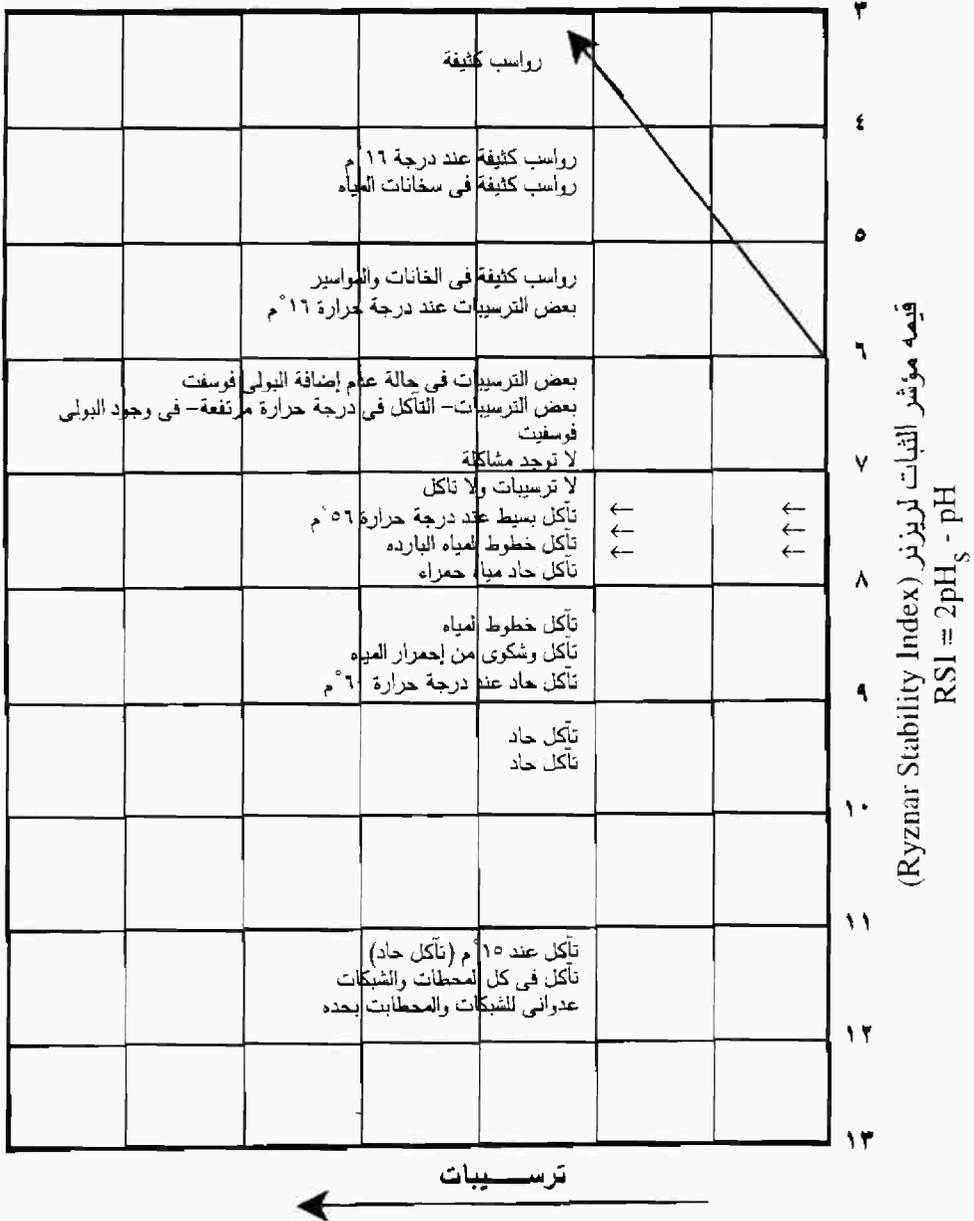
$$= 7.4 + 2.3 + 2.1 = 11.8$$

فى هذا المثال تقيم المياه كمتوسطة العدوانية.

(ج) مؤشر الثبات لريزنىر شكل (٨١ - أ) (RSI-Ry znar Stability Index)

فى هذا المؤشر إستخدم ريزنىر نفس البيانات مثل مؤشر لانجبلير للتشبع (LSI) وأعدت المعادلة التالية بالإضافة الى أنه قام بعمل منحنى على الملاحظات الميدانية والذي يوضح الترسيبات للحماية أو التآكل للصلب وهذا المنحنى موضع فى الشكل (٨١)

$$\text{معادلة ريزنىر } pH - 2pH_s = RSI$$



شكل (٨١) منحنى الثبات لريزناز والذي يوضح الترسيبات للحماية أو التآكل للصلب

ب- أخذ العينات والتحليل الكيمائية لتقدير عدوانية المياه:

ان أخذ عينات المياه بالطريقة الصحيحة وعمل التحاليل الكيماوية المطلوبة بدقة يمكن أن يوفر معلومات جيدة تفيد في تقدير نوعية المياه وعلاقتها بالتآكل . بعض المياه تكون عدوانية عن الأخرى بسبب نوعيتها .. فمثلا المياه ذات رقم هيدروجيني أقل من ٦ وقلويه منخفضه أقل من ٤٠ ملجرام/ لتر ومحتوى عالي من ثاني اكسيد الكربون تكون اكثر عدوانية عن المياه ذات رقم هيدروجيني ٧ وقلويه عالية ومحتوى منخفض من ثاني اكسيد الكربون .

التحاليل الكيماويه تتم في معظم محطات المياه لتحديد نوعية المياه بعد المعالجة ومدى مطابقتها للمعايير المقررة لمياه الشرب .

أدنى تحاليل وأخذ عينات لإعطاء مؤشر أولى عن عدوانية المياه موضح في الجدول (٣٧) . ولكن يلزم أخذ عينات إضافية وعمل التحاليل الكيماويه للكشف عن مدى حدوث التآكل ونواتج التآكل .

جدول (٣٧) التحاليل المطلوبة وأخذ العينات كحد أدنى

التحاليل	مكان أخذ العينات	مصدر المياه	عدد العينات في العام
* الرقم الهيدروجيني * القلوية ملجرام/لتر مقيمة ككربونات كالمسيوم * العسر ملجرام/لتر مقيم ككربونات كالمسيوم * الأملاح المذابة ملجرام/لتر	تؤخذ العينات من نقطة عند دخول المياه الى شبكة التوزيع	المياه الجوفية المياه السطحية أو المخلوطة بمياه جوفية	١ ٢ عينة في توقيتات مختلفة خلال العام مع اعتبار التغيرات الموسمية مثل درجة الحرارة ومعدل التدفق .

المواقع الإضافية لأخذ العينات لتقييم عدوانية المياه

بالإضافة الى أخذ العينات من المياه الداخلة الى شبكة التوزيع تؤخذ العينات من الأماكن التالية.

المياه فى خطوط التوزيع من مناطق مختلفة قبل خطوط التغذية المنزلية.

المياه من عدة خطوط تغذية منزلية.

المياه من صنوبر المستهلك

قياسات الرقم الهيدروجينى ودرجة الحرارة تتم فى الموقع.

ج- الطرق المباشرة للكشف على التآكل وقياس التآكل:

الكشف على مادة الماسورة

الكشف عن الترسبات داخل الماسورة هى طريقة مباشرة للتعرف على التآكل ونوعيه المياه وظروف الشبكة. كما تستخدم للكشف عن أسباب التآكل والحماية وذلك بالتعرف على نواتج التآكل وأشكال التآكل والترسيبات التى تحمى من التآكل مثل كربونات الكالسيوم.

يتم الكشف بالعين المجردة أو باستخدام أجهزة الكشف الميكروسكوبية أو أشعة إكس. حيث يمكن التعرف على الشروخ الشعرية وأشكال التآكل التى يصعب التعرف عليها بالعين المجردة. كما يمكن أخذ صور فوتوغرافية ومقارنتها بحالات كشف مستقبلية أو فى الماضى.

إستخدام أشعة إكس يمكن من التعرف على المكونات الكيماوية للمواد وذلك بمقارنة حيود الأشعة مع حيود الأشعة لمواد معروفة. كما يستخدم الإسكربوسكوب للتعرف على المركبات الكيماوية حيث يقاس إنعكاس الأشعة تحت الحمراء وتقارن بانعكاس الأشعة لمواد معروفة. وبذلك يمكن التعرف على المكونات الكيماوية بدون إزالة عينه من سطح الماسورة.

وفى الواقع فإن معظم مشاكل التآكل يمكن التعرف عليها بدون اللجوء الى البيانات الدقيقة لتلك التقنيات.

(١) قياس معدل التآكل: Rate Measurements

قياس معدل التآكل بطريقتين هما طريقة الفقد في الوزن لعينة الماسورة (Coupon Weight Loss Method) والطريقة الكهروكيميائية. يعبر عن قياس معدل التآكل بالإختراق في العام (أو النقص في سمك العينة في العام) والذي يسمى Mils في العام أو (MPY) وقيمة MPY كوحدة قياس هو ٠,٠٠١ بوصة = ٠,٠٠٢٥٤ سم = ٠,٠٢٥٤ مم.

(٢) طريقة الفقد في الوزن للعينة: شكل (٨١)

في هذه الطريقة تستخدم عينة إختبار من جسم الماسورة وتنظف وتوضح في المجال المطابق للواقع وهو عادة في منتصف مقطع الماسورة. تقاس العينة بميزان حساس بعد الجفاف قبل وبعد الغمر في المجال وبعد إزالة طبقة التآكل.

الفقد في الوزن يتحول الى معدل التآكل في العام طبقاً للمعادلة التالية

$$\text{معدل التآكل في العام (MPY)} = \frac{W \times ٥٤٣}{\text{DAT}}$$

حيث:

$$W = \text{الفقد في الوزن بالمليجرام}$$

$$D = \text{كثافة العينة جرام / سم}^3$$

$$A = \text{المساحة السطحية (بوصة مكعبه)}$$

$$T = \text{زمن التعرّف للمجال بالساعة}$$

طريقة القياس بالفقد في العينة لا تقيس التآكل الموضعي ولكنها طريقة جيدة في قياس التآكل العام والمنتظم. كما أنها مفيدة عندما يكون معدل التآكل مرتفع حيث يحدث الفقد في الوزن في زمن مناسب.

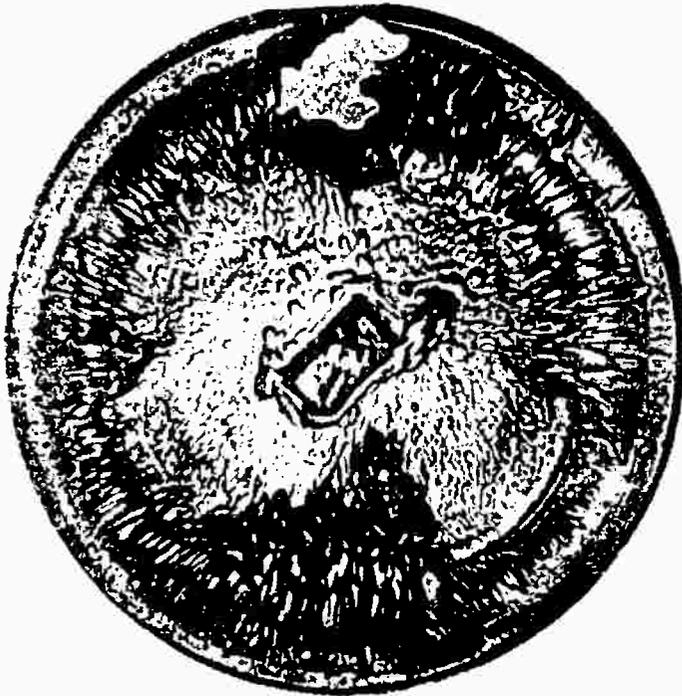
مزايا هذه الطريقة أنها توفر القياس للفقد في المعدن في زمن محدد وتحت ظروف تشغيل معينه وكذلك يمكن وضع العينة في الشبكة الحقيقية وعيوبها: أنها مكلفة نسبياً وتستغرق وقت طويل لقياس المعدل والذي يصل الى عدة شهور في حالة معدل التآكل

المنخفض أو البطيء. وهي لا تظهر التغير في معدل التآكل في فترة الاختبار. هذا بالإضافة الى أنه يمكن أن يكون الفقد في المعدن بسبب الاحتكاك (الوضع العينة في منتصف الماسورة) بالماء وليس بسبب التفاعل مع الماء. وكذلك هناك صعوبة في ازالة نواتج التآكل بدون ازالة بعض من المادة التي لم تتآكل.

الطريقة البديلة للقياس. حيث يستخدم بدلا من العينة من جسم الماسورة مقطع كامل من الماسورة حيث يوضع المقطع في الشبكة كما يمكن وضع هذه المقاطع في أماكن مختلفة لاختبار اثر التآكل لأنواع المياه المختلفة.. ثم يتم في المعمل تعيين معدل الفقد في المعدن وهذه الطريقة مكلفة وتستغرق زمن طويل قد يصل الى عدة شهور.

(٣) طرق قياس التآكل الكهروكيميائية:

تعتمد هذه الطرق على الطبيعة الكهروكيميائية لتآكل المعادن في الماء. يتوفر حاليا أعداد كبيرة من هذه الأجهزة وإن كانت مكلفة نسبيا.

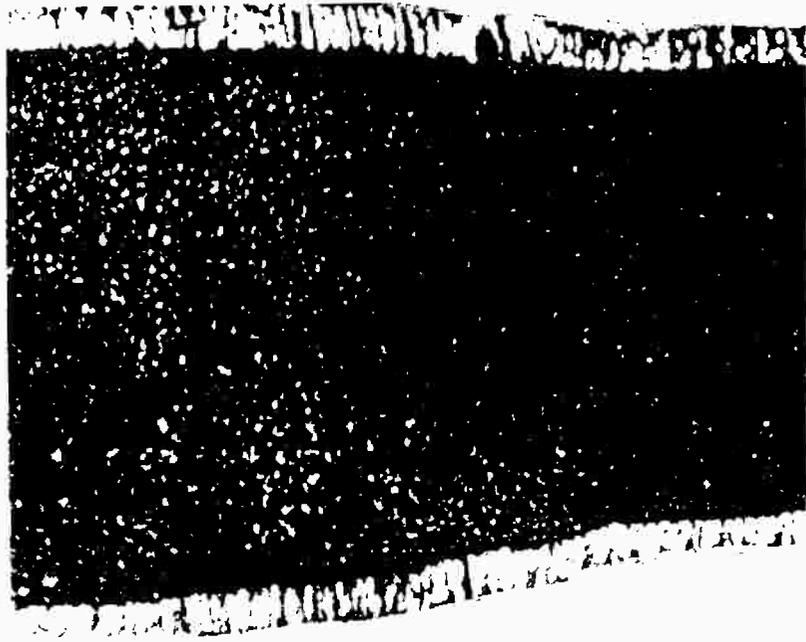


شكل (٨٢)
تآكل تفريغي
لدافع من
التحاس الأصفر

أحد أنواع أجهزة قياس المعدل بالطريقة الكهروكيميائية حيث يستخدم من ٢-٣ أقطاب معدنية متصلة بجهاز لقياس معدل التآكل في العام. وقد تصنع مادة الأقطاب من نفس المادة تحت الدراسة (مادة الماسورة) وتوضع هذه الأقطاب في المجال العدواني أو تثبت في الماسورة نوع آخر حيث الفقد في المادة مع الوقت يتم قياسه بزيادة الجهد في القطب المصنع من مادة الماسورة.

وخصائص القياس الكهروكيميائي للتآكل له مميزاته وعيوبه وتتلخص المميزات أنه يمكن التعرف على معدل التآكل كما يحدث بتوقيع البيانات على منحني. وكذلك عملية القياس تتم بسرعة.

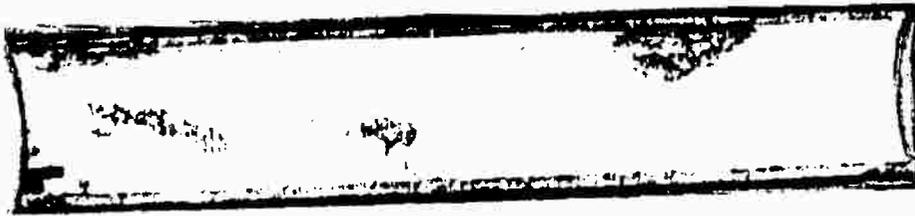
أما العيوب: فهي أن الأقطاب قد لا تمثل المعدن الحقيقي للماسورة، كما أنه يصعب قياس معدل التآكل البطيء بطرق المقاومة. تستخدم هذه الطريقة للمعادن فقط، يعتمد معدل التآكل على الوقت وكذلك تتطلب مهارات عالية لاستخدام هذه الأجهزة للحصول على البيانات وتقييمها. صور لبعض حالات التآكل أشكال رقم ٨٢، ٨٣، ٨٤، ٨٥



شكل (٨٣) تآكل ثقبى داخلي لماسورة من الصلب



شكل (٨٤) التآكل والتشقق بالإجهاد



شكل (٨٥) ، تآكل ثقبي في ماسورة من النحاس