

# خطر صدأ حديد التسليح على المنشآت الخرسانية وطرق الحماية منه

اعداد

رئيس مهندسين أقدم  
خلود الياس توما

## خطر صدأ حديد التسليح على المنشآت الخرسانية وطرق الحماية منه

تعتبر عملية حماية المنشآت ومعالجتها من صدأ حديد التسليح خاصة من أولى أولويات الدراسات المدنية الخاصة بالمنشآت الخرسانية ، فأغفالها وإهمالها يسبب الخسائر المادية والبشرية وزيادة مستمرة في تكاليف إنشاء وتشغيل تلك المنشآت... خصوصاً في المناطق ذات العوامل والظروف القاسية وغير الملائمة؟، حيث تؤثر الظروف البيئية السائدة في المدن الساحلية على متانة المواد الإنشائية المستخدمة في المباني الخرسانية إذا لم تتوفر الحماية اللازمة لها من التآكل ، ففي الولايات المتحدة الأمريكية مثلاً حصرت تكلفة الصدا السنوية في العقد السابق بحوالي 150 مليون دولار نتيجة لمشاكل الصدا علي المباني والجسور والتي تحدث في أمريكا وأوروبا نتيجة إذابة الجليد .

ان العمر الافتراضي للمباني السكنية الخرسانية لا يقل عن خمسين عاماً- كحد أدنى وفقاً للمعايير الدولية للتصميم المنشآت الخرسانية . ويجب أن تقاوم هذه المباني خلال هذه الفترة جميع العوامل الطبيعية والتشغيلية التي تؤثر على جودة ومتانة المنشأة [مكوناتها الإنشائية] دون الحاجة إلى إصلاحات رئيسية  
[ طبعاً مع الالتزام بتنفيذ أعمال الصيانة الدورية والوقائية اللازمة لها) .

إن أكثر البيئات تأثيراً على عمر المنشأة الخرسانية المسلحة هي البيئة البحرية بشكل عام من خلال عدة عوامل أهمها :

- 1-درجة الحرارة ونسبة الرطوبة في الجو .
- 2-درجة احتواء الغبار والرطوبة من الأملاح الضارة .
- 3-درجة تركيز الأملاح الضارة في التربة .

وهذه العوامل تحدث تفاعلاً كيميائياً مع الخرسانة العادية أو المسلحة مما يؤدي إلى تحليل المكونات الرئيسية للخرسانة ، وتآكلها مع التأثير السلبي على قضبان الحديد الأمر الذي يؤدي إلى تأكسدها ومن ثم تآكل الحديد وتكون طبقة من الصدا تعمل على تشقق الخرسانة .

## صدأ الحديد :

يتكون الصدأ بوجه عام نتيجة تعرض الحديد للهواء والماء, يبدأ صدأ حديد التسليح في التكون من نقرة صغيرة ( Pit Formation ) في السطح ثم تزداد هذه النقر ويحدث اتحاد بينها مما يكون الصدأ العام. والخرسانة بطبيعتها مادة مسامية تحوي رطوبة ولذلك من الطبيعي حدوث صدأ للحديد بداخلها!!!

ومن الأسباب غير المباشرة لتكون الصدأ البكتيريا الموجودة بالتربة ، والتي تقوم بتحويل الأملاح والأحماض إلى حمض الكبريتيك الذي يهاجم الحديد ويسبب عملية الصدأ. حيث تتآكل الخرسانة نتيجة للتفاعل الكيميائي الذي يحدث بين الكبريت الذائب (Soluble Sulphates) مع الأسمنت مما يؤدي إلى ضعف متانتها وبالتالي إلى تصدعها وتفتت أجزائها.

من المعلوم ان قلوية الخرسانة تعمل على وضع طبقة حول حديد التسليح تقوم بحماية الحديد من الصدأ بتكون طبقة قلوية كثيفة تمنع حدوث الصدأ [ طبقة حماية سلبية ]. ويحدث الصدأ نتيجة تكسير طبقة الحماية السلبية التي تحول دون وصول أملاح الكلورايد والأملاح الضارة على الخرسانة الى حديد التسليح وتدخل هذه الأملاح الى جسم الخرسانة عن طريق عوامل خارجية مثل :

- \* التربة المحيطة بالخرسانة .
- \* الرياح المحملة بغبار يحتوي على الأملاح .
- \* رذاذ المياه المشبع بالأملاح في المباني القريبة من البحر أو المواد التي تدخل في الخلطة الخرسانية مثل الرمل والحصى والمياه التي تحتوي على نسبة عالية من الأملاح .

**عمليا هناك عدة عوامل تؤدي الى كسر هذه الطبقة تتمثل في:**

- 1-الكربنة : Carbonation من الجو المحيط بالخرسانة.
- 2-مهاجمة الكلورايدات للخرسانة (من التربة المحيطة بالخرسانة والمواد المستخدمة بالخلطة الخرسانية وعدم استخدام المياه المناسبة للخلط)

كما أن دخول الأملاح الأخرى إلى مسامات الخرسانة وتبلورها بداخلها يتسبب في تفكك الأجزاء الخارجية للخرسانة تدريجياً وتظهر هذه المشكلة في الخرسانة الموجودة بالقرب من المياه المالحة والرمال المشبعة بالأملاح. وتتفاوت درجة تأثير تلك العوامل على الخرسانة بتفاوت نفاذية الخرسانة حيث كل ما زادت النفاذية زاد تأثير العوامل السابقة.

معدل الصدأ يرتبط بعوامل كثيرة ، وتعتبر الرطوبة ودرجة الحرارة عوامل رئيسية ومؤثرة بدرجة كبيرة جداً في معدلات الصدأ ولذلك يجب التحكم في تلك العوامل للحيولة دون الوصول الى مشكلة فنية واقتصادية علي المنشأة الخرسانية..

### **حماية المنشأة الخرسانية المسلحة من التآكل**

الوقاية خير من العلاج وإذا تم الحفاظ علي المنشأة الخرسانية من التعرض للصدأ يكون ذلك اكثر واقعية وحفاظاً علي الثروة الوطنية.

ويتم تقادي صدأ حديد التسليح في الخرسانة بالتقيد بمواصفات التصميم والتنفيذ وبتابع الكودات المختلفة الخاصة بتصميم القطاعات الخرسانية والتي تعمل علي تقليل احتمالات حدوث الصدأ في حديد التسليح.

ومن العوامل المهمة في حماية المباني الخرسانية من صدأ حديد التسليح طريقة استخدام الخرسانة وتحديد محتوى الإسمنت والاهتمام بالمعالجات الخرسانية أثناء التنفيذ.

### **وهناك طرق مختلفة لحماية حديد التسليح من الصدأ من أهمها:**

1. الحماية الكاثودية: تعتبر في الوقت الحالي أفضل طرق الحماية للمنشآت الخرسانية للمناطق الساحلية وخصوصاً منشآت مياه البحر لتبريد المصانع ، لكنها مكلفة نسبياً لذلك يفضل إجراء دراسة هندسة قيمية لإختيار الطريقة

التي تفي بالغرض.

2. إضافة بعض المواد الى الإسمنت لتقليل نفاذيته : قد تكون هذه العملية اقل كلفة من الحماية الكاثودية ولكن عمر حمايتها اقل بكثير من الحماية الكاثودية لذلك نحتاج الى الهندسة القيمة لاختيار طريقة الحماية.

3. موانع الصدأ : وهي نوعين يعتمد النوع الأول علي حماية الطبقة السلبية حول حديد التسليح ويعتمد النوع الآخر على منع توغل الأوكسجين داخل الخرسانة.

4. استخدام الحديد المجلفن Galvanized Bar ويعتبر الحديد المجلفن ذو كفاءة مناسبة خصوصا للمباني التي تتعرض للكربنة.

5. دهان حديد التسليح بـ (الابوكسي) هذه الطريقة أعطت نتائج إيجابية وخاصة لحديد التسليح المعرض لمياه البحر ، لكن ينصح بعدم طلاء حديد التسليح بـ (الإبوكسي) لأنه في حالة حدوث الصدأ لا يمكن حمايته بالحماية الكاثودية ولأنه في حالة حصول قصور في الطلاء فسيسرع عملية الصدأ في حالة وصول الكلورايد إليه .

4. حديد ستنلس ستيل : Stainless Steel نظرا لارتفاع تكاليف هذا النوع من الحديد فإن استخدامه يتم في نطاق محدود.

5. حماية أسطح الخرسانة من النفاذيه : وذلك إما باستخدام مادة سائله يتم رشها أو دهانها أو ألواح وطبقات من المطاط أو البلاستيك.

### الصيانة والكشف الدوري :

ونظرا للوجود المستمر للعوامل السلبية التي تفتك بالخرسانة المسلحة وتهدد السلامة العامة للمنشأة يجب المحافظة على الوجود المستمر لنظام الكشف

الدوري لأسطح الخرسانة المسلحة وفي حالة ملاحظة تصدعات أو آثار تدهور بسبب تآكل حديد التسليح ينصح بإجراء عمليات الصيانة والإصلاح المباشر لتفادي استمرار تدهور الخرسانة وتشمل طرق الإصلاح :

1- إزالة أجزاء الخرسانة المتضررة إلى ما وراء حديد التسليح بعمق 25 مم وتنظيف حديد التسليح جيداً من سطحه .

2- طلاء الحديد بمواد خاصة لهذا الغرض كالإيبوكسي المشبع بالزنك .

3- القيام بتجهيز المواد الأسمنتية البديلة ووضعها مكان الخرسانة المزالة وذلك حسب المواصفات وإرشادات الجهة المصنعة لهذه المواد .

4- يفضل أن تطلّى أسطح الخرسانات بعد الانتهاء من إصلاحها بمواد عازلة وذلك لتحسين أدائها المستقبلي .

5- استخدام دهانات مقاومة للعوامل الجوية في المناطق الساحلية .

وفي حال التصدعات كبيرة فإن عمليات الإصلاح تستدعي وجود أخصائيين في هذا المجال لتقويم مدى تأثير هذه الأجزاء الخرسانية المتضررة على سلامة المبنى واختيار المواد وإعداد طرق الإصلاح وفي كل الحالات يجب الحرص على اتباع إرشادات الجهات المصنعة لمواد عمليات الإصلاح.

## مراحل الصيانة والحفاظ على المنشأة الخرسانية :

إن اختيار المواد وأسلوب العمل يجب أن يكون معتمداً على دراسات دقيقة، و موثوق منها من خلال المختبرات المتخصصة، وذلك لتقييم مدى فعاليتها ومدى ضررها في بعض الأحيان ، ويمكن اعتبار التدرج الطبيعي لأعمال الحفاظ ، ولكنه لا يعني ضرورة الالتزام به في كل الأحيان على النحو التالي:

1-التنظيف: إزالة الأملاح والمواد الضارة على سطح المبنى وهذا يقتصر على إزالة الأجسام الغريبة مع الحفاظ على كل الخصائص الأصلية للسطح المراد تنظيفه .  
يمكن أن تسبب أعمال التنظيف مشاكل فنية يجب التعامل معها بحذر شديد

لتجنب أي تلف أو ضرر ، وتحافظ على تواصل طبيعة السطح، فمثلاً في حالة وجود تشققات على السطح فإنه من خلال التنظيف يمكن أن تتسرب المياه وما يتبعها من الغبار والأجسام الضارة إلى داخل هذه التشققات .  
وقد تعددت طرق التنظيف المسموح بها كاستخدام الماء بالرش ، الكمادات المائية، المحاليل المخبرية ، اللدائن، استخدام الليزر ، وهناك أيضا العديد من الطرق الميكانيكية في حال السطوح المتماسكة ،..... الخ.

2-الاصق: هو إعادة تركيب جزء أو أجزاء سقطت من السطح المراد ترميمه باستخدام مواد لاصقة أو معدنية تربط بين الجزء المضاف والسطح.

المواد اللاصقة لا بد أن تحتفظ بالمعايير الآتية :

-فعالية جيدة في اللصق .

-مدة طويلة في الفعالية .

-تقلص ضئيل في كثافة المادة .

-مرونة وصلابة حسب الوضع الخاص .

-الخصائص الميكانيكية يجب أن تتشابه لحد كبير مع السطح المراد لصقه

- استخدام قضبان معدنية لربط المواد على أن يكون معامل التمدد لها يتشابه مع

المواد المراد لصقها وتتسم بثبات كيميائي جيد .

-يجب الحذر من استخدام قضبان معدنية قابلة للصدأ مثل الحديد والنحاس.

3-المعجنة: هي تعبئة الفراغات والتشققات وإغلاقها للوصول إلى تجانس

نوعي للمادة وضمان استمرارية المواد وحمايتها من التعرض للمياه أو

العوامل الطبيعية الأخرى التي تساعد في تآكلها وتلفها .

يجب اختيار نوعية المعجنة المناسبة لكل حالة بحيث يكون

النتج النهائي قريب من السطح المراد معجنته وخاصة فيما

يتعلق بالمسامات والقدرة على امتصاص الماء والمقاومة

الميكانيكية ، مقاومة الضوء والتمددات الحرارية ، بخلاف ذلك

يجب أن تكون متشابه من ناحية بصرية .

4-التثبيت والتقوية : هي استخدام مادة لزجة أو محاليل تعمل

لدى وضعها على السطح على تقوية الترابط بين جزيئات المادة

التي تعرضت لتفكك أو

تلف بسبب عوامل الزمن أو أي أسباب أخرى .  
تتم عملية إزالة الأملاح قبل البدء في أعمال التقوية ، ثم تبدأ  
أعمال التقوية تكون على مراحل في جو معتدل، حيث أن سرعة  
تطاير المذيبات العضوية سوف تتسبب في تغير نسبة المحاليل  
كما أنها تؤدي إلى تراكم مواد التقوية على سطح المبنى ؛ ويجب  
البدء بمحاليل مخففة وبعد جفافها تستخدم محاليل أكثر تركيزاً  
وهكذا تتم عملية التقوية.

5-الحماية : تتم أعمال الحماية من خلال استعمال مواد كيميائية  
وغير كيميائية تهدف إلى تبطئ عملية التلف التي تتعرض لها  
المادة . ويفضل أسلوب الحماية باستخدام المواد الكيماوية في  
الحالات التي يكون التلف مؤثر بشكل دقيق على السطح  
الخارجي من المادة (تلوث بيئي، رطوبة، ... الخ). بينما لاينصح  
باستعمال هذه الطريقة في حالة كون المادة قادرة على امتصاص  
الماء من خلال الخاصية الشعرية من الأرض وفي حالة وجود  
تسرب مياه في مناطق يصعب الوصول إليها .

6-الترميم : ويعني استكمال الأجزاء والعناصر المفقودة . ويجب  
تحديد نسبة صلابة الحجر المراد ترميمه بالنسبة لصلابة المواد  
المستخدمة في الترميم عند الجفاف ؛ حيث تملأ الفجوات  
والشقوق إلى مستوى أقل من مستوى سطح استخدام اللدائن  
الصناعية القوية مثل الايبوكسي أو الأرالديت أو البولي أو  
الماريكوريزني

## الحماية الكاثودية

الحماية الكاثودية اجراء يتم اتباعه لحماية الهياكل المعدنية الحديدية  
والانابيب من التآكل جراء تعرض سطوحها الى تماس مع التربة او مع  
الماء.



لماذا يحدث التآكل؟

تتآكل السطوح الحديدية للهيكل المعدنية والالانابيب والمعدات الحديدية عموما عند تماس سطوحها بالتربة او الماء نتيجة لحدوث تفاعلات كيميائية مصحوبة بسريان الالكترونات (اي سريان للتيار الكهربائي) لذا يمكن القول بأن عملية التآكل هي عملية كهروكيميائية تؤدي بالنتيجة الى فقدان اجزاء من معدن الحديد وبالتالي تآكل السطح المعرض للتربة او الماء او حتى المعرض للجو الرطب حيث تتكون خلية كلفانية.

الخلية الكلفانية:

لو قمنا بغمس قطبين من معدنين مختلفين مثل الزنك و النحاس مثلا في محلول موصل للكهرباء وربطنا بينهما بسلك فإنه يتولد عن ذلك تيار كهربائي يسري من الزنك الى النحاس داخل المحلول ويكمل دورته خلال السلك الواصل بينهما. تعرف هذه الخلية الكهربائية باسم خلية كلفاني نسبة الى مكتشفها العالم الإيطالي كلفاني. يسمى القطب الذي يخرج منه التيار الى المحلول "أنود"، ويسمى القطب الذي يستقبل التيار "كاثود"، ويترتب على سريان التيار في الخلية حدوث تآكل على الأنود بينما يبقى الكاثود سليما ويترسب على سطحه طبقة خفيفة من الهيدروجين لو بقيت على سطحه لأحدثت استقطابا في الخلية تتلاشى معه شدة التيار في الخلية ومن ثم تتوقف عملية التآكل ولكن تحدث عند الكاثود تفاعلات كيميائية تمنع مثل هذا الاستقطاب فيستمر سريان التيار في الخلية وتستمر عملية التآكل. تتوقف عملية التآكل على الأنود على ثلاثة عوامل:

- نوع مادة الأنود.
- شدة التيار.
- المدة التي يستمر فيها سريان التيار.

مثلا - يتآكل الحديد بمعدل (9) كيلو غرام إذا سرى منه أمبير واحد لمدة عام.

كيف يحدث التآكل؟

Corrosion ان المسبب الاساس للتآكل هو تكون خلايا للتآكل تنتج عن وجود فرق جهد كهربائي بين المناطق المختلفة Cells

## للسطح المعدني

ان تكون هذا الفرق بالجهد يمكن ان يحدث لعدة اسباب منها:

\_ أختلاف خواص المعدن في مناطق مختلفة من الهيكل المعدني او خطوط الانابيب مثلا.

- أختلاف خواص وتجانس التربة التي هي في تماس مع الهيكل المعدني وهذا يظهر بوضوح في حالة خطوط الانابيب ذات المسارات الطويلة.

- أختلاف نسبة وجود الاكسجين في أماكن مختلفة من التربة وهذا يظهر في معابر الطرق والشوارع لخطوط الانابيب مقارنة بمسار الانبوب خارجها.

طرق مكافحة التآكل:

كل طرق مكافحة التآكل تركز على منع تسرب التيار الكهربائي من المنشآت الى ما يحيط بها من تربة أو ماء وفيما يلي الأساليب المتبعة لتحقيق ذلك:

- استخدام التغليف الجيد وتشمل الصبغ وهو عبارة عن عازل كهربائي يفصل بين المعدن و البيئة من حوله، من الخصائص الأساسية التي يجب أن تتوفر في التغليف الجيد هو أن يكون متوصلا وذو مقاومة عالية وجيد الالتصاق بالمعدن ولا يتأثر بالحرارة وأن تبلغ نفاذيته الى الدرجة التي لا تسمح بعبور الرطوبة من خلاله. وقد يكون على شكل أشرطة لاصقة أو بي في سي ملابس في المصنع وتتميز بفاعلية عالية.

- استخدام مانع للتفاعل الكيماوي

- وهي مادة كيماوية تضاف الى السوائل فتمنع التآكل على جدار الوعاء الذي يحتويها لأنها تحول دون حدوث التفاعلات الكيماوية عند الأنود

- أو الكاثود أو كليهما وتوقف بالتالي مفعول خلايا التآكل كما أنها تترك طبقة خفيفة عازلة على جدار الوعاء. يضاف مانع التفاعل الكيمياوي الى السوائل بتركيز معين دوريا ويمكن استعمال هذا الأسلوب في آبار الحفر و المراجل ومنظومات المياه.
- -استخدام مواد مقاومة للتآكل يعني ذلك اختيار المادة التي تقاوم التآكل في بيئة معينة على أن تكون ملائمة للظروف التشغيلية ومن المواد التي تستعمل لهذا الغرض هي الكروم والنيكل و الرصاص والقصدير والبلاستيك و المطاط والسيراميك والكونكريت والألياف الزجاجية.
- -يقصد بهذا (Environment Treatment) معالجة المحيط إحداث تغيرات في تركيب المحيط الملاصق للمعادن تمنع أو تقلل من التآكل عليها. أن التميز بين مانع التفاعل و معالجة المحيط غير واضح فوجود بيكاربونات الكالسيوم في الماء يرسب على جدار الوعاء الذي يحتويه طبقة من كربونات الكالسيوم تفصل بين الوعاء والماء فتحميه من التآكل ولكن بيكاربونات الكالسيوم لا تصنف في عداد مانعات التآكل. من الوسائل التي تستخدم في معالجة المحيط هو التخلص من الأوكسجين والرطوبة والأملاح المذابة والتحكم في درجة تركيز أيونات الهيدروجين.
- -اعتماد التصميم الجيد وهو ما يتحاشى أو يقلل من احتمال حدوث خلايا تآكل ويسهل تطبيق وسائل مكافحة التآكل على المنشآت أو الكشف عليها. من الأمور التي يجب الحرص عليها تجنب الاتصال المباشر بين معدنين مختلفين وعدم وجود مصائد لتجمع الماء أو الغازات أو الهواء والتقليل ما أمكن من وجود الأجزاء المضغوطة.
- -استخدام الحماية الكاثودية حيث أن التآكل في المعادن يقع في المنطقة الأنودية نتيجة تفريغ التيار الكهربائي منها الى البيئة من حولها مع بقاء المنطقة الكاثودية سليمة وخالية من التآكل. من الواضح أذن أن عملية التآكل تتوقف إذا أصبحت

- باستخدام جميع أجزاء المعدن كاثودية ويمكن تحقيق ذلك تيار كهربائي من مصدر خارجي يسري باتجاه مضاد لتيار خلايا التآكل وبكثافة كافية لتجعل من سطح المعدن بأكمله كاثوداً يستقبل التيار الكهربائي من البيئة التي حوله بدل أن يفرغه .

### أنواع التآكل:

هناك عدة تصنيفات لأنواع التآكل ولكن أفضلها هو ذلك الذي يقسم أشكال التآكل حسب المنحى الذي يسلكه المعدن المتآكل. كما يمكن الاستدلال, حسب هذا التصنيف, على نوع التآكل من خلال شكل المعدن المتآكل وغالبا ما يكفي النظر بالعين المجردة, ولكن في بعض الأحيان يكون التكبير ضروريا.

**التآكل حسب هذا التصنيف 8 أنواع:**

1-التآكل المتماثل أو التآكل العام (Uniform or General Corrosion)

2-التآكل الغلفاني أو ثنائي المعدن (Galvanic or Bimetallic Corrosion)

3-التآكل الصدعي (Crevice Corrosion)

4-التآكل النقري (Pitting Corrosion)

5-التآكل بين الحبيبي (Intergranular Corrosion)

6- الفصل الانتقائي (Selective Leaching)

7-التآكل الحثي (Erosion Corrosion)

8-التآكل الإجهادي التشققي (Stress Corrosion Cracking)