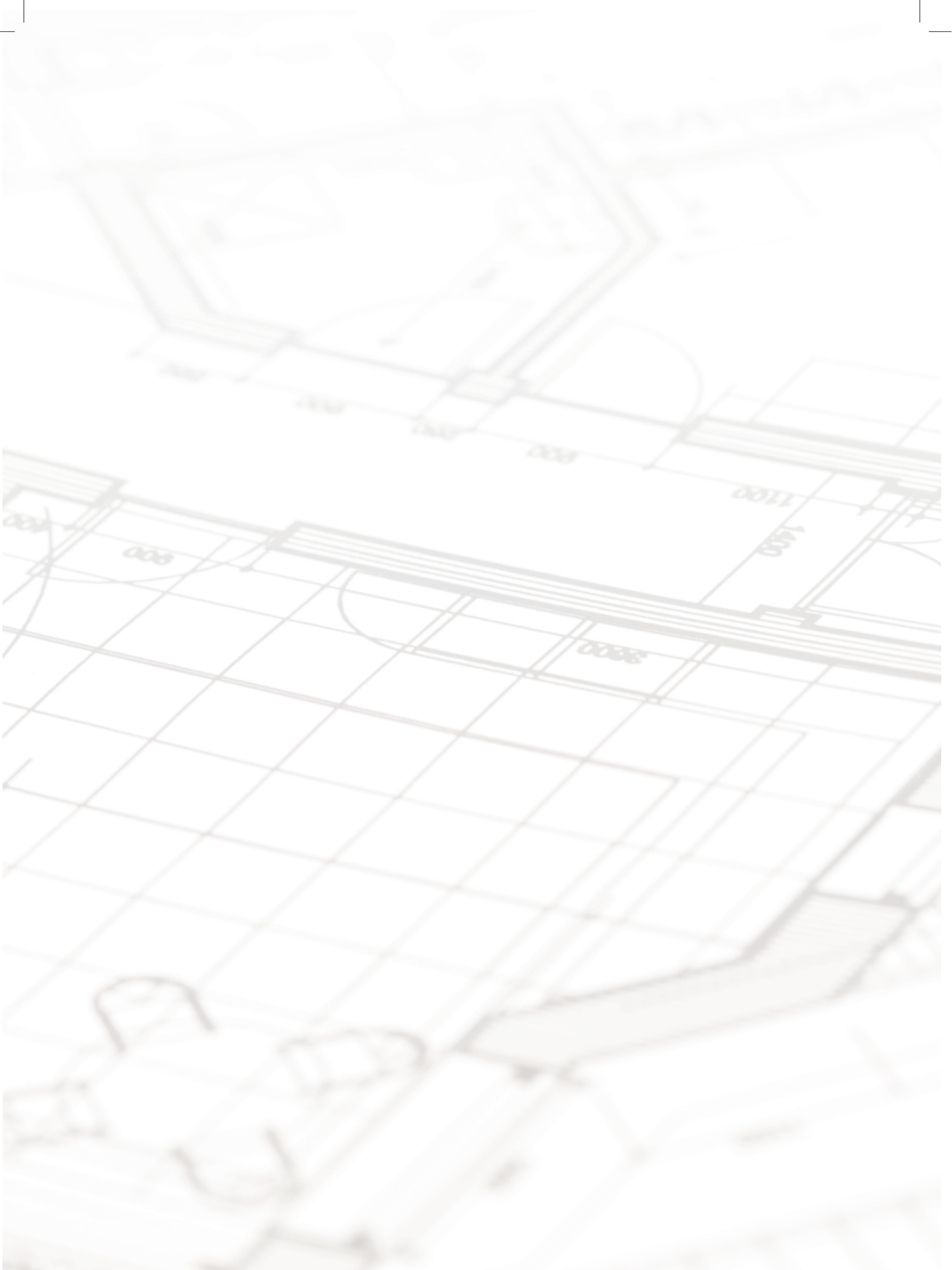


7	مقدمة	I
11	أهداف البحث	II
15	تصنيف الشروخ	III
35	تقييم المنشآت الخرسانية	IV
49	طرق ترميم الشروخ وتصنيف خيارات الترميم	V
63	طرق تقدير وتقييم معدل التآكل	VI
75	تقدير العمر التشغيلي	VII
97	تحسين خصائص مقاومة صدأ حديد التسليح	
119	تعزيز وتقوية المنشآت ترميم	
135	ترميم المنشآت لخفض الكلفة الشد	
149	صور لفماتق (أ) الشروخ الخرسانية	
153	ملحق (ب) - بعض مواد الترميم المحلية والمستخدمة في علاج المشاكل المختلفة للخرسانة	
157	نموذج الفحص (بصري)	
161	ملحق (د) -- زيارات ميدانية	
167	تقنيات الفحص (ب) المختلفة	
181	ملحق (و) -- الصيانة الوقائية	



I - مقدمة

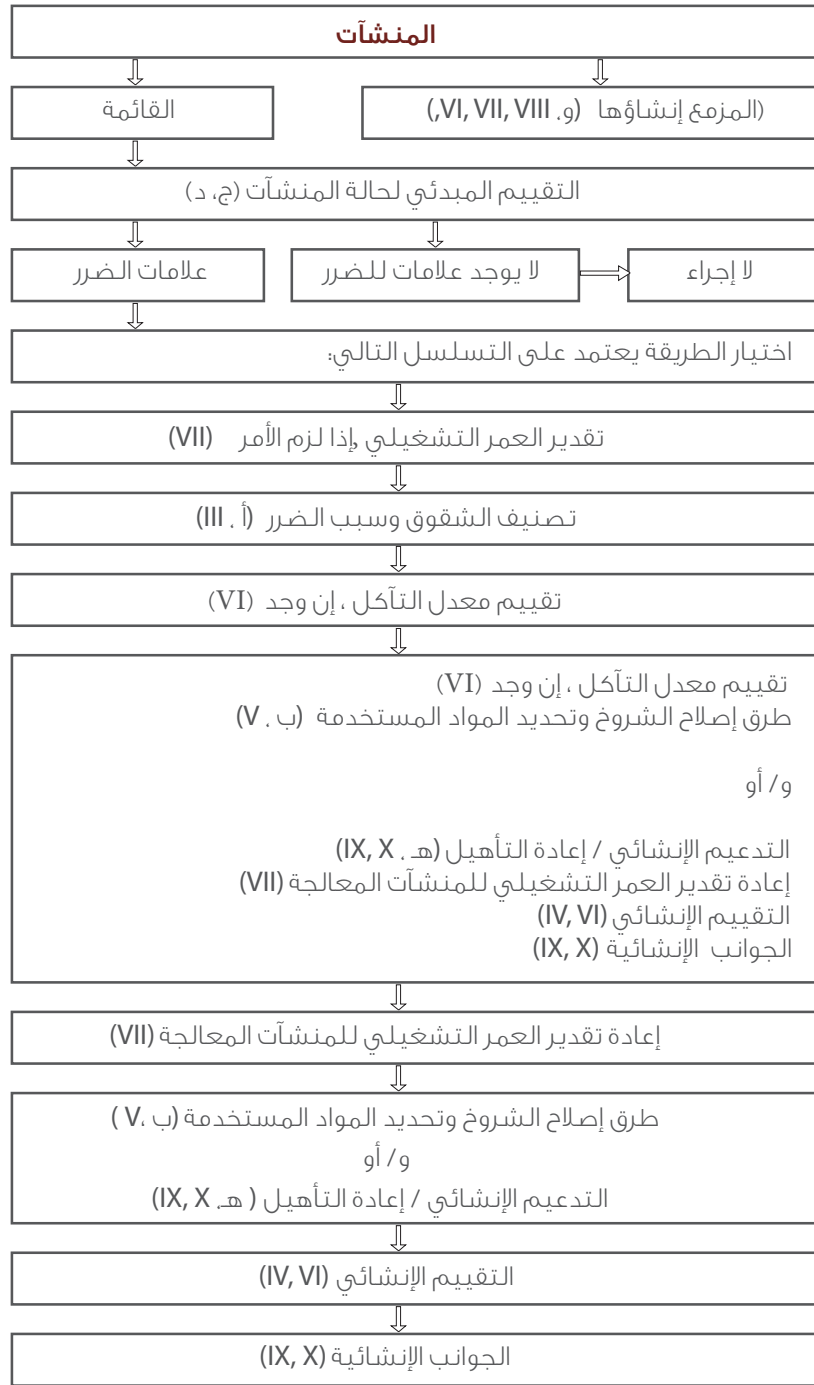
هناك عدد كبير من منشآت الخرسانة المسلحة القائمة في دبي ، ودولة الإمارات ككل يعاني من مشاكل في الديمومة (التحمل مع الزمن) مما أدى إلى تسارع التدهور و التصدع ، وبالتالي تقليل مدة العمر الافتراضي أو التشغيلي. مصادر التمويل ليست متاحة عموماً للاستعاضة عن المنشآت المتدهورة ، وبالتالي هناك حاجة إلى إنشاء الصيانة الوقائية والإجراءات التصحيحية لتمديد العمر الافتراضي أو التشغيلي بطريقة فعالة من حيث التكلفة.

تصميم العمر التشغيلي أو الافتراضي للمنشآت يعتمد بالدرجة الأولى على جودة الخرسانة والظروف البيئية المحيطة بها. التدابير اللازمة لتمديد العمر التشغيلي لمنشآت الخرسانة المسلحة يعتمد على ما إذا كان الهدف من الحماية هو السيطرة على نسبة الضرر الناتجة عن التآكل ، رفع الكفاءة الإنشائية للمنشآت التالفة ، أو كليهما. كذلك بيانات عن أداء المنشآت بعد الترميم خلال العمر التصميمي، بالإضافة لمعلومات عن التمديد المفترض للعمر التصميمي تحتاج إلى تقييم.

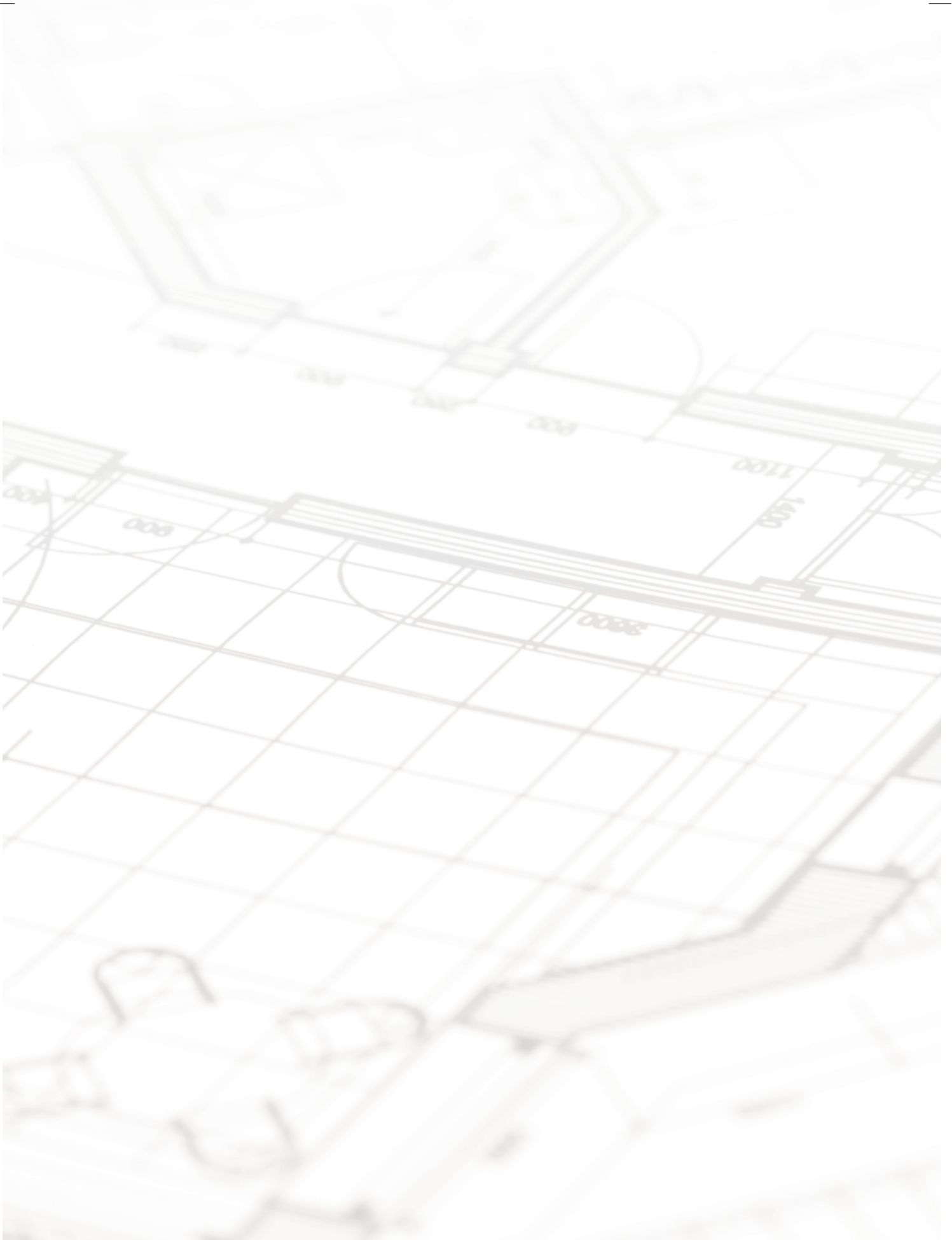
ولذلك ، هذا البحث يهدف إلى وضع دليل ترميم يلخص أسباب تدهور الخرسانة والتصدع ، الطرق المختلفة للترميم وتقدير العمر التشغيلي. ويتضمن الدليل أيضاً مبادئ إرشادية لمتانة المنشآت الخرسانية.

كيفية استخدام هذا الدليل

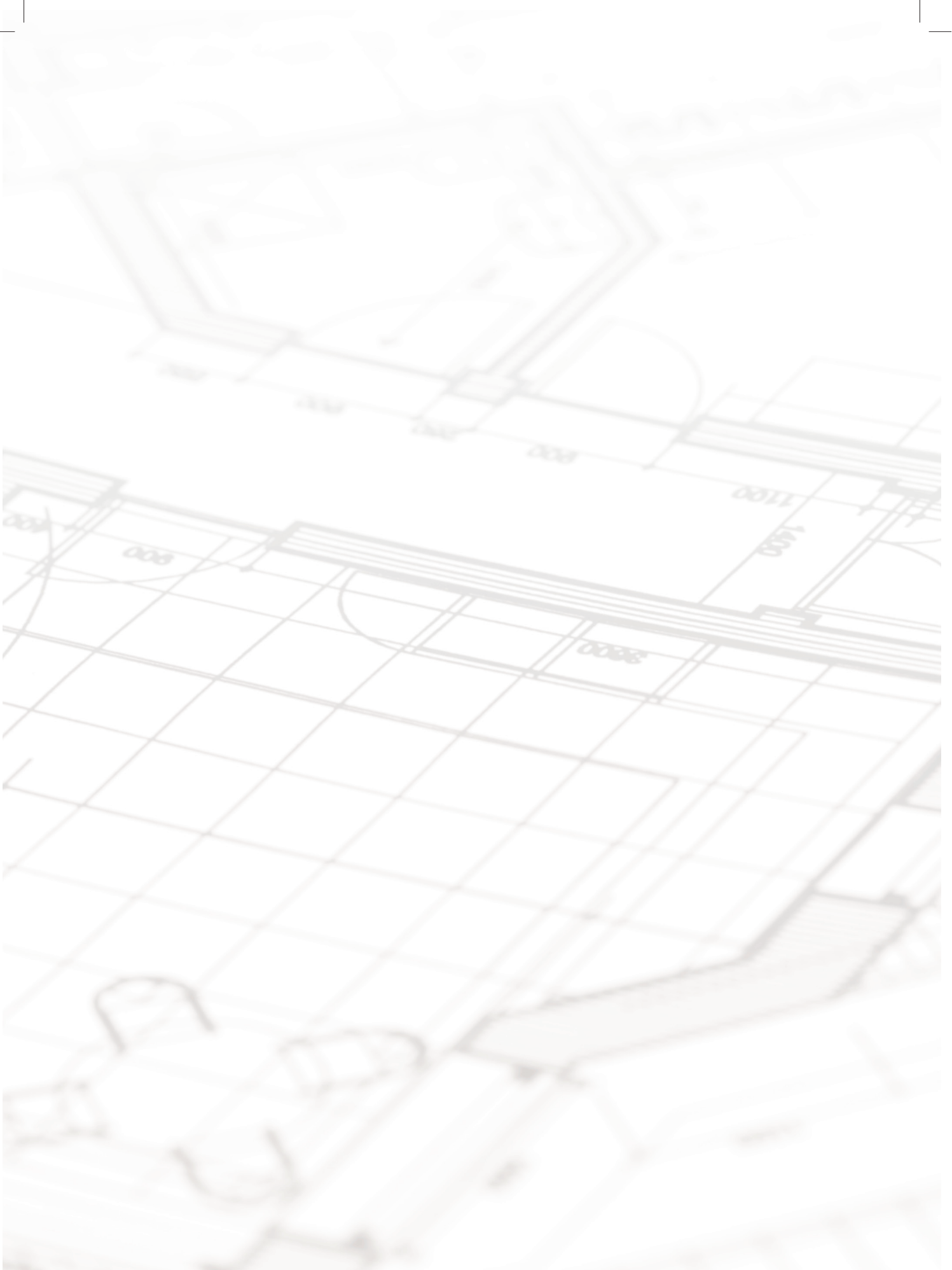
الشكل (1) هو مخطط يلخص الاستراتيجية النموذجية الواجب اتباعها للمنشآت القائمة والجديدة من الخرسانة المسلحة. ويرتبط هذا بالدليل بحيث تتصل كل خطوة مع الفصول ذات الصلة أو الملاحق (كما هو مبين بين قوسين في هذا المخطط).



الشكل (أ): استراتيجية نموذجية للمنشآت القائمة والجديدة وفقا لهذا الدليل

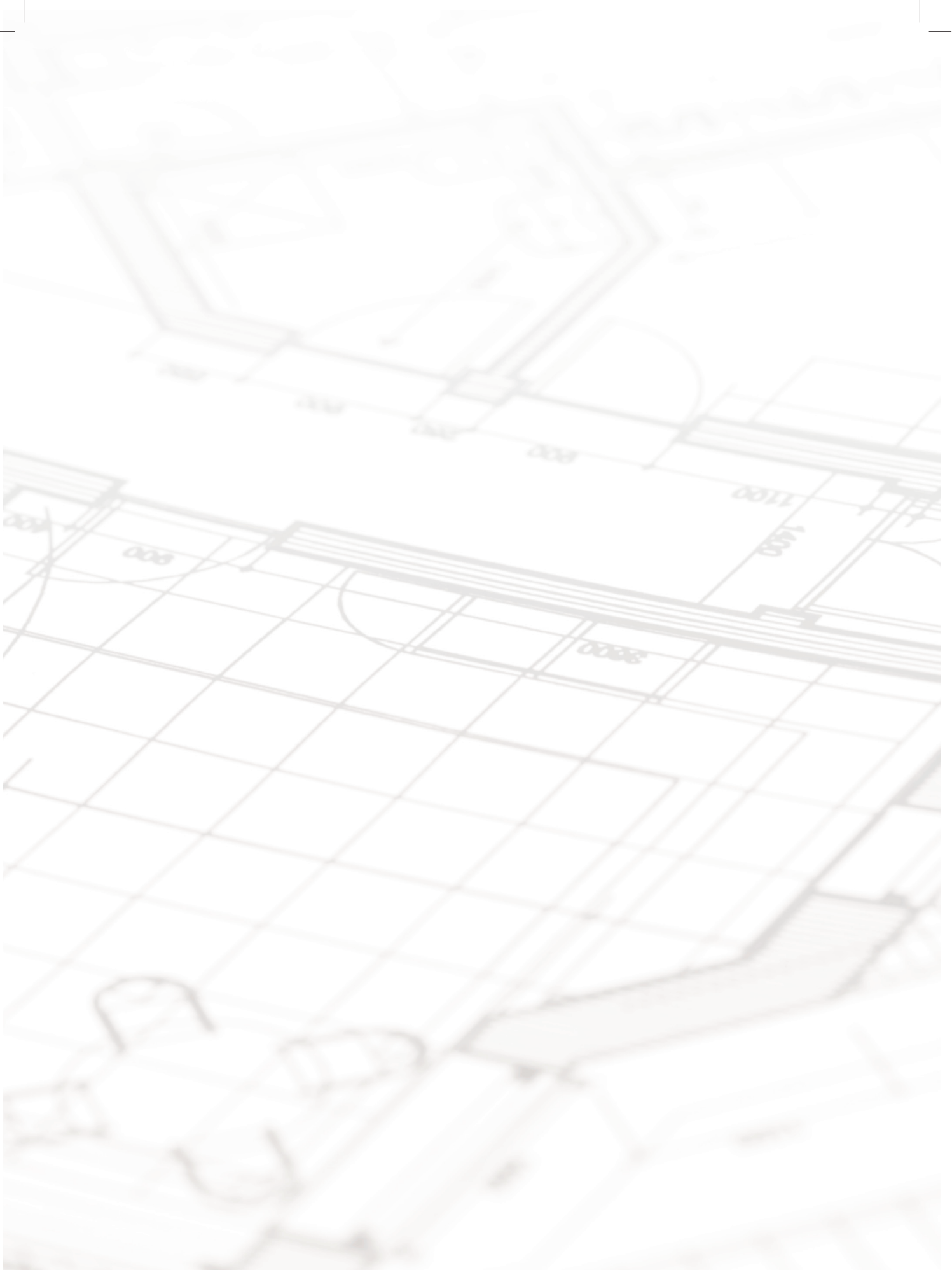


II - أهداف البحث



الهدف الرئيس من هذا البحث هو إعداد " دليل ترميم" لتدهور منشآت الخرسانة المسلحة والمبادئ الإرشادية لمتانة المنشآت الخرسانية . و الأهداف الرئيسة هي :

- تصنيف الشروخ في المنشآت الخرسانية.
- استعراض وسائل لترميم الشروخ.
- استعراض وسائل لتقدير وتقييم معدل التآكل.
- استعراض أساليب لتقدير العمر التصميمي المتبقي للمنشآت.
- تقديم توصيات لاختيار نوع مثبطات التآكل وطرق التطبيق.
- توفير وسائل لإعادة تأهيل المنشآت الخرسانية المتضررة من التآكل.
- توفير طرق للتقييم الإنشائي بعد الإصلاح.



III - تصنيف الشروخ

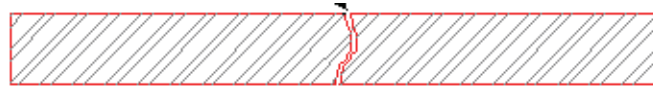
1. مقدمة

يمكن تصنيف الشروخ في المباني إلى نوعين رئيسيين: الشروخ في حوائط المباني، والشروخ في العناصر الخرسانية.

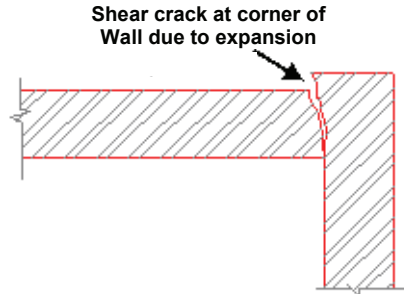
2. الشروخ في حوائط المباني

2.1. عام

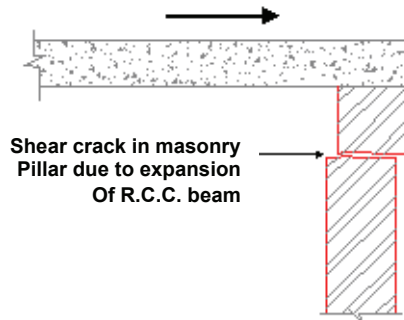
معظم مواد البناء التي تخضع للتصدع مثل الطوب ومونة الأسمنت إلخ، تكون ضعيفة في تحمل قوى الشد والقص، وبالتالي تأثير أي قوى حتى ولو كانت ضعيفة تكون قادرة على أن تسبب شروخا. من الممكن أن نميز بين شروخ الشد والقص من خلال الفحص عن كثب للخصائص المادية. الشكل (1) يوضح الاختلافات بين شروخ الشد والقص.



TENSILE CRACK IN MASONARY WALL



SHEAR CRACK IN MASONARY WALL



SHEAR CRACK IN MASONARY PILLAR AT BEAM SUPPORT

الشكل (1) : شروخ الشد وشروخ القص في الطوب (Bureau of Indian Standards)

قد تختلف الشروخ في العرض من شروخ شعيرية رقيقة جدا تكاد ترى بالعين المجردة (قاربة 0.01 ملم في العرض) إلى شروخ بعرض 5 ملم أو أكثر. تصنيف الشروخ المعروف على أساس العرض هو :

(أ) رقيقة -- أقل من 1 ملم في العرض

(ب) متوسطة -- إلى 2 ملم في العرض

(ج) واسعة -- أكثر من 2 ملم في العرض

قد يكون للشروخ عرض موحد أو قد تكون ضيقة في إحدى النهايات. يمكن أن تكون الشروخ مستقيمة ، مسننة، متتالية، أو قد تكون عشوائية ويمكن أن تكون رأسية، أفقية أو مائلة. قد تكون الشروخ على السطح فقط أو قد تمتد إلى أكثر من طبقة . وتسمى أحيانا حدوث شروخ دقيقة متقاربة عن كثب على السطح تجزع. الشروخ الناتجة من أسباب مختلفة تختلف في خصائصها، ومن خلال الرصد الدقيق لهذه الخصائص نتمكن من التشخيص الصحيح لسبب أو أسباب التصدع واعتماد التدابير العلاجية المناسبة.

اعتمادا على خصائص معينة في مواد البناء ، قد تكون الشروخ الناتجة عن الانكماش واسعة ولكن متباعدة ، أو قد تكون دقيقة ولكن متقاربة. كقاعدة عامة ، الشروخ الدقيقة ، حتى ولو كثيرة ومتقاربة ، تكون أقل ضررا للمنشأ ولا تؤثر على النواحي الجمالية والاعتبارات الأخرى بخلاف العدد الأقل من الشروخ الواسعة.

المنشآت الحديثة تكون نسبيا طويلة ونحيلة، تحتوي على حوائط رقيقة وتم تصميمها لتتحمل ضغوطاً أعلى وتبنى بوتيرة سريعة. لذلك فإن تلك المنشآت تكون أكثر عرضة للشروخ مقارنة بالمنشآت القديمة، والتي عادة ما تكون منخفضة ، ذات حوائط سميكة وبنيت بوتيرة بطيئة. وعلاوة على ذلك فإن الرطوبة يمكن أن تصل بسهولة إلى داخل المباني الحديثة نتيجة لاستخدام الحوائط الرقيقة. وبالتالي فإن اتخاذ التدابير اللازمة للسيطرة على الشروخ في المباني أصبح له أهمية أكبر بكثير من أي وقت مضى.

تحدث الشروخ الإنشائية أساسا للأسباب التالية :

(أ) حدوث خلل في التصميم والأحمال المفترضة وتحديد سلوك المنشأ.

(ب)التقييم غير الصحيح لقدرة تحمل التربة والأساسات.

(ج) حدوث خلل في تفاصيل روابط المكونات الإنشائية مثل ربط السقف مع زاوية الحائط المبنى من الطوب.

(د) حدوث خلل في التفاصيل الإنشائية لحديد التسليح.

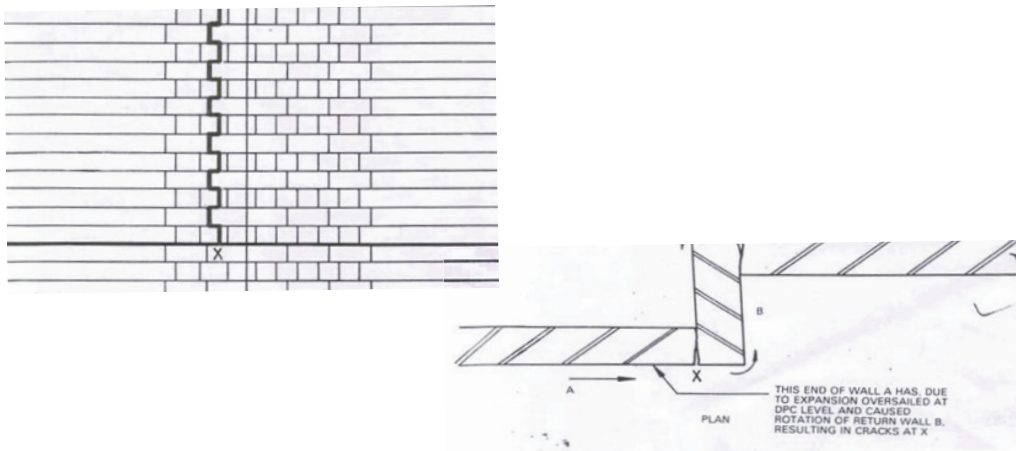
(هـ) وجود نقص في مراقبة الجودة أثناء الإنشاء.

ويمكن تصنيف الشروخ في حوائط المباني إلى قسمين : الشروخ غير الإنشائية وتشمل الشروخ الناتجة عن التمدد والانكماش، والشروخ الإنشائية وتشمل الشروخ الناتجة عن الهبوط والأحمال.

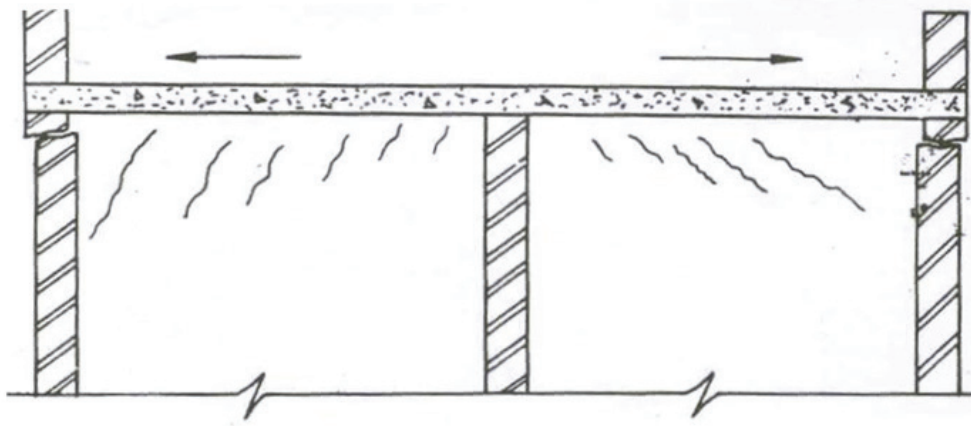
2.2. الشروخ غير الإنشائية في حوائط المباني

2.2.1. الشروخ الناتجة عن التمدد

الشروخ الناتجة عن التمدد يمكن أن تكون ناتجة عن تمدد داخلي للحوائط أو نتيجة للعناصر المتصلة بتلك الحوائط كما هو موضح بالأشكال (2) ، (3).

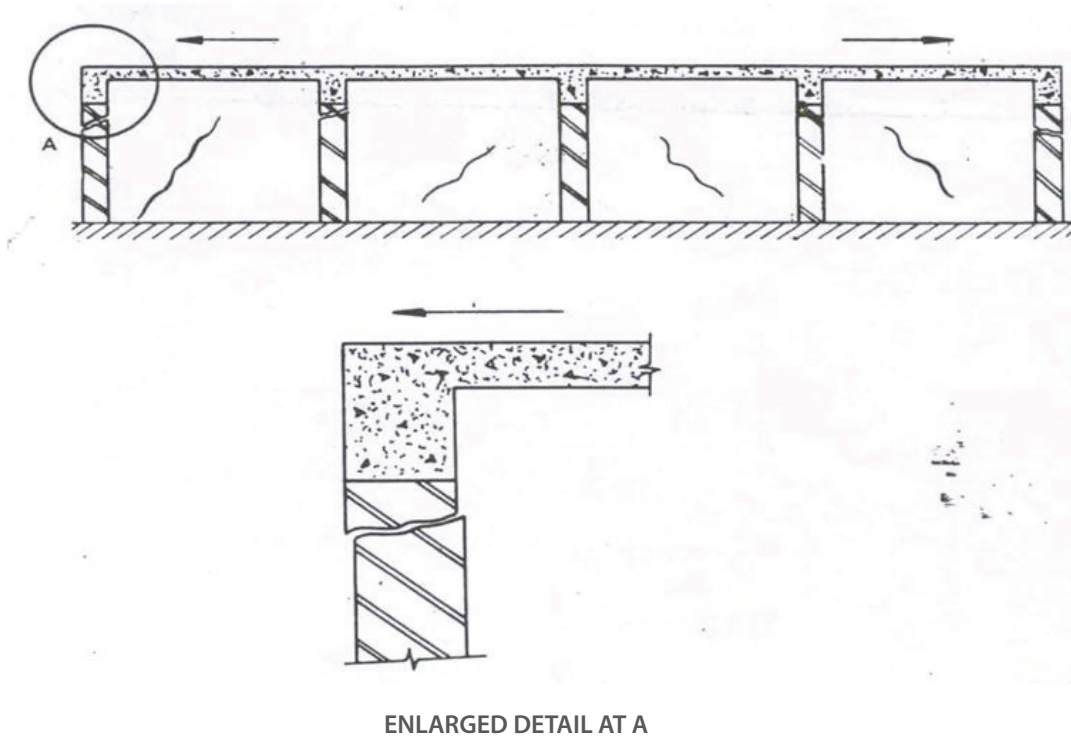


الشكل (2): شروخ ناتجة عن التمدد المبدئي للطوب (Bureau of Indian Standards)



الشكل (3): شروخ ناتجة عن التمدد الحراري لجسور وبلاطات الطابق مركزة على حوائط طوب حاملة (Bureau of Indian Standards)

في حالة المباني الإطارية وبسبب التمدد الحراري يحدث تشوه للإطارات وتظهر الشروخ كما هو مبين في الشكل (4).



الشكل (4): تصدع في التكسية والحوائط العرضية للهيكل الإطاري (Bureau of Indian Standards)

2.2.2. الشروخ الناتجة عن التمدد والانكماش

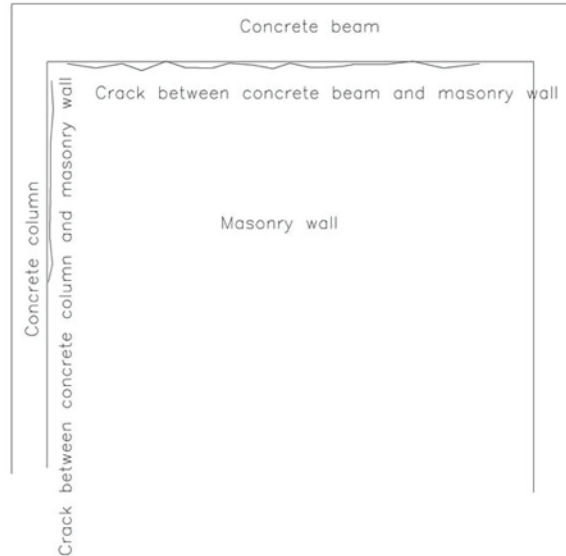
الشروخ الناتجة عن الانكماش تظهر في موقعين أساسيين في معظم الحوائط : نقطة منتصف القطاع الطولي تقريبا من الحائط، وأضيق قطاع للحائط مثل أعلى الباب أو النافذة. الشروخ الناتجة عن الانكماش تكون موحدة تقريبا في العرض من أعلى إلى أسفل، وعادة ما تمتد من أعلى الحائط إلى ما يقارب بضع أقدام من الأساسات.

الشروخ الناتجة عن الانكماش تنتج عادة عن عدد غير كاف من روابط التحكم أو الروابط الإنشائية خلال الحائط. وهناك قاعدة عامة من الخبرة لوضع هذه الروابط حيث توضع على مسافات لا تزيد عن ثلاثة أضعاف إرتفاع الحائط ، أو أربعين قدماً. هناك العديد من الحالات التي بموجبها تكون هذه المسافات كبيرة جدا. واحدة من تلك الحالات هي أن يكون شكل الحائط غير منتظم. وهذا النوع من الحوائط يتطلب ضعف عدد روابط التحكم مرتين مثل الحوائط العادية المسطحة ذات الاتجاه الواحد.

ثمة سبب آخر شائع لحدوث الشروخ الناتجة عن الانكماش في الحوائط الخرسانية وهو الزيادة المفردة في محتوى الماء داخل الخلطة الخرسانية مما يؤدي إلى زيادة كبيرة في الانكماش. هذا واضح تماما في بعض الجدران الخرسانية حيث يوجد عدد كبير من الشروخ.

سبب شائع آخر يسبب الشروخ الناتجة عن الانكماش في حوائط الطوب هو استخدام وحدات الطوب من دون معالجة. عندما تستخدم الوحدات غير مكتملة القوة ، أو غير المعالجة لبناء حائط، فإن مكوناتها سوف تستمر في التفاعل بمجرد وضعها في مكانها مما يؤدي إلى انكماش مفرط للحائط. يحدث الانكماش بدرجة عالية في وحدات الطوب أثناء المعالجة. وإذا لم يكتمل انكماش وحدات الطوب أثناء المعالجة قبل استخدامها في بناء الحائط ، فإن ذلك سيؤدي إلى زيادة عدد الشروخ الناتجة عن الانكماش في الحائط بعد استكمال بنائه. الشروخ الناتجة عن الانكماش في الحائط الخرساني تقع عادة في الجزء الأوسط من طول الحائط وتتحرك تقريبا في اتجاه رأسي. الشروخ الناتجة عن الانكماش في حوائط الطوب عادة ما تجد نقطة ضعف في الحائط مثل موقع الاختراقات العديدة للمواسير أو المسارات. من هذه النقطة، فإنها تتحرك رأسي في أغلب الأحيان بنمط درج السلم لتتبع روابط المونة الأسمنتية ولكن إذا كان هناك رابط جيد بين المونة الاسمنتية ووحدات الطوب، فإن الشروخ الناتجة عن الانكماش قد تمتد من خلال وحدات الطوب نفسها مما يؤدي إلى حدوث شرخ رأسي.

الشروخ بين حوائط الطوب والعناصر الخرسانية مثل الأعمدة والجسور عادة ما تكون نتيجة لاختلاف العوامل المؤثرة على الانكماش بين تلك المواد ، ونظرا للتغير في درجة الحرارة. الشكل (5) يوضح نموذجا لهذه الشروخ .



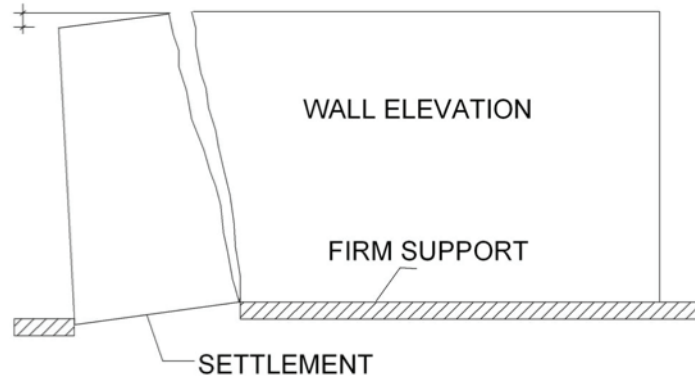
الشكل (5): شروخ بسبب تباين درجات الحرارة بين حوائط الطوب والعناصر الخرسانية (Cracks in Concrete)

3.2. الشروخ الإنشائية في حوائط الطوب

3.2.1. الشروخ الناتجة عن الهبوط

الشروخ الناتجة عن الهبوط ، كما يوحي الاسم ، يحدث نتيجة هبوط الدعامات. هذه يمكن أن يكون نتيجة هبوط التربة التي يستقر عليها الحائط، ويعتمد على دعمها، أو نتيجة هبوط عمود أو غيره من عناصر التثبيت التي تدعم إحدى نهايتي الحائط. في كلتا الحالتين، الشروخ الناتجة عن الهبوط تحدث نتيجة التغيير في المستوى الرأسي لمقطع واحد من الحائط بالنسبة إلى ما تبقى من الحائط.

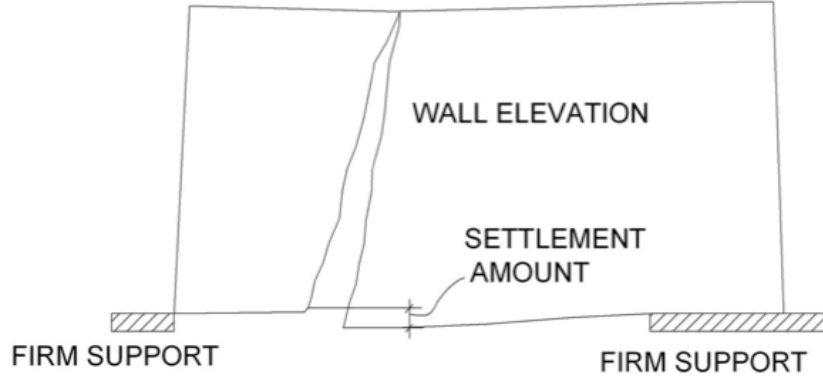
الشروخ الناتجة عن الهبوط تظهر عادة في موقعين مختلفين. الموقع الأول والأساسي أن تكون في زوايا ونهايات الحائط. هذا النوع من التصدع هو نتيجة هبوط زاوية أو إحدى نهايتي الحائط و عادة ما يسبب هذا شروخاً مائلاً بالقرب من الزاوية أو نهاية الحائط من أعلى ويكون بعيداً عن الزاوية في نهاية الحائط من أسفل. هذا النوع من التصدع موضح في الشكل (6). سمة أخرى من سمات الشروخ الناتجة عن الهبوط في موقع ما هو أنه سوف يكون أوسع بكثير في الجزء العلوي من الحائط في هذا الموقع ، ويتناقص إلى إغلاق في الجزء السفلي بطريقة متناسقة.



الشكل (6): هبوط في نهاية الحائط (Cracks in Concrete)

هناك نوعان من المسببات التي تؤدي إلى غالبية الشروخ الناتجة عن الهبوط المذكورة أعلاه. الأول هو تآكل التربة الذي يبدو أنه يحدث بسرعة أكبر عند نهاية الحائط أو في زاوية المبنى. وهذا التآكل سوف يؤدي إلى إزالة التربة الداعمة تحت هذه الزاوية ، والذي يسمح بحدوث الهبوط.

السبب الثاني الأكثر شيوعاً هو أن تركز الأحمال المؤثرة على الحائط تكون في زاوية أو نهاية الحائط. ويمكن أن يكون هذا الحمل ناتجاً عن عمود بالأعلى أو نتيجة وضعية تحميل الجسور. وفي حالة عدم الأخذ في الاعتبار تأثير هذا الحمل الإضافي المركز عند تصميم الأساسات، يحدث إجهاد أعلى بكثير تحت القاعدة عند نهاية الحائط أو الزاوية عن باقي الحائط. وهذا يؤدي في كثير من الأحيان إلى هبوط الزاوية مقارنة بما تبقى من الجدار. هناك نوع آخر من الشروخ الناتجة عن الهبوط والذي يحدث في زاوية أو نهاية الحائط يكون له سمات معاكسة تماماً تم وصفه للتو. هذا النوع من الشروخ ينبع بالقرب من الزاوية في أسفل الجدار ، و يبتعد عن الزاوية في أعلى الجدار ، ويكون على أوسع في الجزء السفلي من الحائط مما هو عليه في الجزء العلوي. خصائص هذا الشروخ تشير إلى أن السبب هو قوة التثبيت عند زاوية أو نهاية الحائط أقوى بكثير منه في الجزء المتبقي من الحائط. يسمح هذا للمنطقة الوسطى من الحائط لمزيد من الهبوط إما داخل الأرض أو فيما يدعمها من أسفل في حين لا تزال منطقة الزاوية مثبتة وباقية في مكان صلب. مثل هذا الشروخ يمكن أن يحدث عندما يتم بناء الحائط فوق جسر خرساني ذي صلابة غير كافية مع وجود أعمدة التثبيت في نهاية أو زاوية الحائط مما يسمح بحدوث ترخيم للجسر مما يكفي للسماح بتصدع الحائط. هذا النمط من التصدع موضح في الشكل (7) والصورة (1).



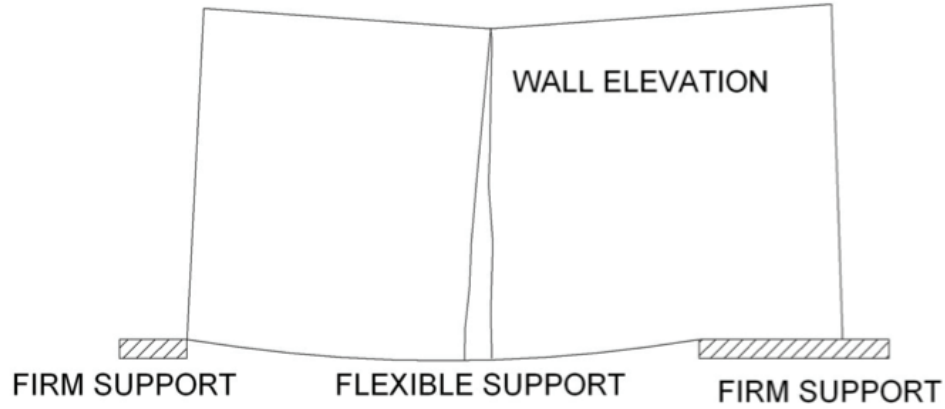
الشكل (7): تفاوت الهبوط بين الدعامات (Cracks in Concrete)



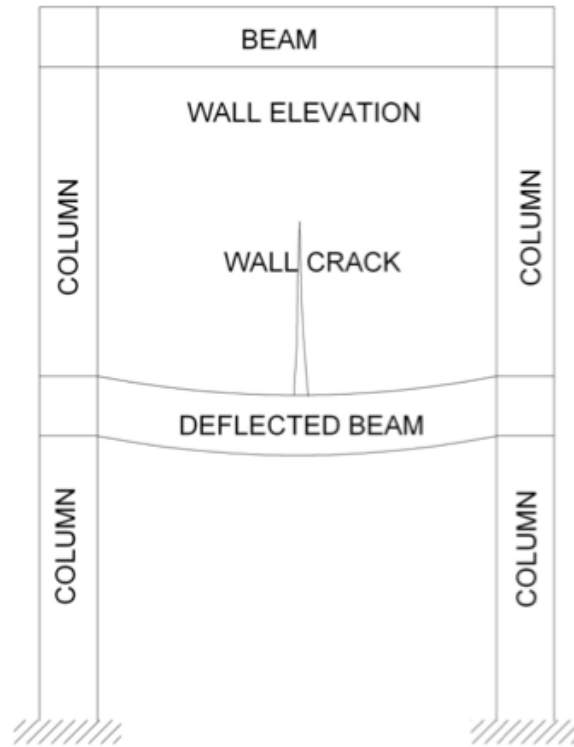
الصورة (1): تفاوت الهبوط بين الدعامات في حوائط سور بالإمارات العربية المتحدة

هناك حالة أخرى شائع فيها حدوث تصدع وهي تكون نتيجة هبوط المنطقة الوسطى من الحائط. عادة يكون الشرخ رأسياً في حالة الحائط الخرساني ويكون مائلاً على شكل درج السلم في حالة حائط الطوب. عرض هذا الشرخ يكون أكبر بكثير عند أسفل الحائط مما هو عليه بأعلى الحائط حيث يكون تقريباً مغلقاً تماماً.

وهذا النوع من التصدع غالباً ما يحدث عندما تكون المنطقة الوسطى من الحائط مبنية على عنصر مرن مثل الإطار الداخلي للسطح الذي يكون بمثابة دعامة مرنة تسمح بكثير من الهبوط للمنطقة الوسطى من الحائط ينتج عنه شروخاً. انظر الشكلين (8) و (9) لمزيد من التوضيح لهذا النوع من التصدع.

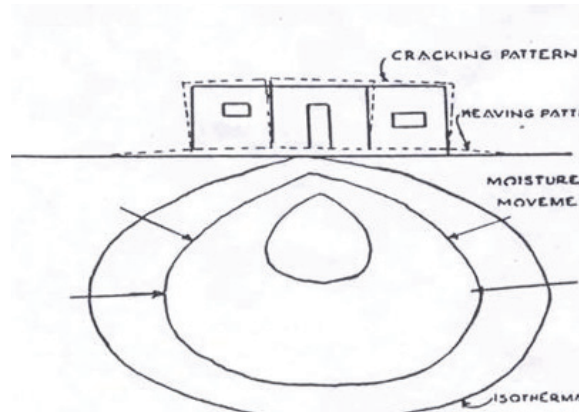


الشكل (8): شروخ انحناء نتيجة هبوط منتصف بحر الحائط (Cracks in Concrete)



الشكل (9): شروخ في الحوائط نتيجة ترخيم الجسر الخرساني (Cracks in Concrete)

المباني على التربة الطينية معرضة للشروخ. حركة التربة الطينية تكون ملحوظة أكثر لعمق يصل من 1.5 إلى 2م، وهذا يسبب الانتفاخ والانكماش ويؤدي إلى تصدع المنشأ. الشروخ بسبب هبوط التربة عادة ما تكون في شكل مائل. الشروخ بسبب انتفاخ التربة موضحة في الشكل (10).

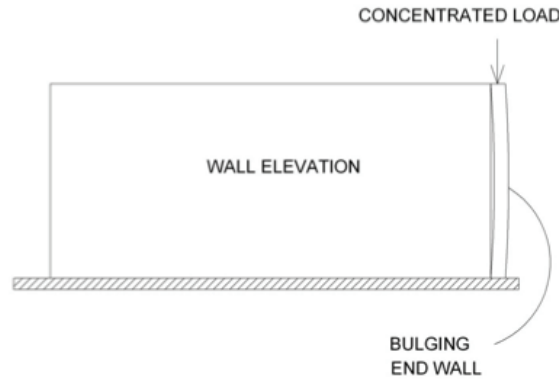


الشكل (10): تصدع المبنى نتيجة انتفاخ التربة (Bureau of Indian Standards)

2.3.2. شروخ التحميل

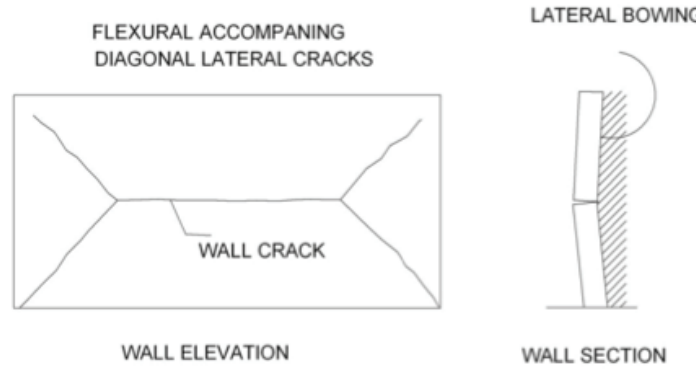
شروخ التحميل تكون نتيجة الحمل الذي يتعرض له الحائط. من شأن الحائط المصمم بشكل سليم ألا يحدث فيه هذه الشروخ، ولكن الحائط المصمم بشكل غير سليم يكون معرضاً جداً لهذا الضرر. الشرخ نتيجة التحميل يوجد في أغلب الأحيان في المنشآت السكنية أكثر من المنشآت التجارية أو الصناعية وهذا يرجع لدقة التصميم الإنشائي في المشاريع التجارية والصناعية. هناك ثلاثة أنواع أساسية من الشروخ نتيجة التحميل والتي تحدث مراراً وتكراراً: الشرخ الرأسى في نهاية الحائط، الشرخ الرأسى في وسط الحائط والشرخ الأفقى في وسط الحائط.

الشرخ الرأسى في نهاية الجدار هو عادة بسبب قوة مركزة تؤثر في الجزء العلوي من الحائط تتجاوز قدرة الحائط لمقاومة قوى الفص في نهاية قطاع الحائط مما يسبب شرخاً رأسياً في نهاية قطاع الحائط. هذا النوع من الشروخ يكون ضيقاً في الأعلى والأسفل ولكن قد تظهر فجوة أوسع على ارتفاع حوالي منتصف الحائط تقريباً هذا من شأنه أن يشير إلى حدوث انبعاج في نهاية الحائط بعيداً عما تبقى من الحائط. ويتضح هذا الشرخ في الشكل (11).



الشكل (11): شروخ في الحائط بسبب الأحمال المركزة العالية في نهاية الحائط (Cracks in Concrete)

يرجع حدوث الشرخ الأفقي في وسط الحائط إلى الضغوط الجانبية على الحائط والتي تتجاوز قدرة الحائط لمقاومة قوى الانحناء. تتولد عادة هذه الضغوط بسبب حالة التربة المشبعة التي تؤثر على حوائط الطابق السفلي (القبو). عندما تزيد الضغوط المؤثرة من التربة خلف الحائط عن قدرة الانحناء للحائط، يتولد الشرخ. الشرخ على الوجه الظاهر من الحائط يكون أوسع بكثير منه على الوجه غير الظاهر. يحدث أيضاً تقوس للحائط بدرجة ملحوظة مما يؤدي إلى انتفاخ في منتصف الارتفاع في منطقة القبو. هذا النوع من الشروخ موضح في الشكل (12).



الشكل (12): الشرخ الأفقي بوسط الحائط الضغط الجانبي على الحائط (Cracks in Concrete)

عادة ما يحدث شرخ التحميل الرأسي وسط الجدار نتيجة لضغوط جانبية تزيد عن قدرة الحائط لمقاومة قوى الانحناء. في هذه الحالة عادة ما يكون الحائط غير مثبت بالقدر الكافي من أعلى مما يؤدي إلى تقوس للداخل بالقرب من أعلى الحائط. حين تؤدي الضغوط الناتجة خلف الحائط إلى إجهادات تزيد عن قدرة تحمل الحائط يحدث شرخ رأسي. هذا الشرخ يكون أوسع بكثير بأعلى الحائط مما هو عليه بالقرب من أسفل الحائط. و يرافق هذا الشرخ تقوس ملحوظ للداخل في الجزء العلوي من الحائط عند مكان الشرخ.

يمكن القيام بترميم الشروخ بعد التأكد من أسباب ظهور الشرخ. وهناك بعض المبادئ الأساسية إذا ما اتبعت يكون الترميم أكثر فعالية :

1. يتم ترميم الشرخ الذي يقل في العرض عن اامم بعد مراقبته لبعض الوقت بإغلاقه بمونة اسمنتية ضعيفة من الاسمنت والرمل.
2. الشروخ التي يتغير عرضها موسمياً ينبغي ترميمها بعمل مفاتيح القص على أن تملأ بحشوة مرنة مثل السيليكون (Silicon) أو مركب بولي يوريثين (Polyurethane).
3. شرخ القص يتم ترميمه عن طريق خرسانة مسلحة بما لا يقل عن 1.5% من حديد التسليح على مسافات متساوية من 1.0م.
4. إذا كانت الشروخ ناتجة عن حركة التربة، فإنه يجب التأكد من منع اختراق الرطوبة في المناطق المحيطة بها عن طريق توفير غطاء عزل للماء. وينبغي أيضاً فصل حائط الطوب تحت مستوى سطح الأرض عن التربة المجاورة وذلك باستبدال التربة الأساسية بتربة خشنة متدرجة.

3. الشروخ في العناصر الخرسانية

موضح أدناه التصنيف العام لأنواع الشروخ المختلفة في الخرسانة مع بيان الظواهر، التشخيص، الأسباب و الآثار المترتبة على حدوثها بالإضافة إلى تدابير الوقاية والحماية للحد من أو منع حدوث هذه الشروخ.

جدول رقم (1): أنواع الشروخ في العناصر الخرسانية:

التدابير الحماية / الوقاية	التأثير	السبب	التشخيص	النوع عمر مبكر
<ul style="list-style-type: none"> • خفض معدل التبخر بواسطة المعالجة المبكرة • استخدام قوّهات الضباب لتشييع الهواء بالرطوبة فوق السطح • استعمال لفاقات البلاستيك لتغطية السطح بين عمليات التشطيب. • استخدام مصدات الرياح للحد من سرعة الرياح ومطبات لخفض درجة حرارة السطح. • تجنب صب الخرسانة أثناء الطقس الحار والعاصف مع انخفاض نسبة الرطوبة. • التسوية الجيدة والصحيحة لسطح الخرسانة. • تطبيق الاحتياطات اللازمة لمنع فقدان السريع للرطوبة بسبب الطقس الحار (ACI 208R, 308R, & ACI 209R) والرياح الجافة (308R). 	<ul style="list-style-type: none"> • يوفر مسارات داخل طبقة غطاء الخرسانة للأوكسجين والرطوبة والأملاح 	<ul style="list-style-type: none"> • انكماش الطبقة السطحية نتيجة لتبخر الرطوبة من سطح الخرسانة الطازجة بشكل أسرع من حالته بمياه النضج (معدل التبخر يتجاوز معدل الإحلال). فقدان السريع للرطوبة من الطبقة السطحية يكون نتيجة درجة الحرارة العالية للهواء والخرسانة؛ الرطوبة النسبية المنخفضة وارتفاع سرعة الرياح على سطح الخرسانة • نتيجة تقييد طبقة الخرسانة السطحية الطازجة بالطبقة الجافة المتصلدة تحتها، تتولد فيها إجهادات الشد. • الخرسانة ذات مياه نضج قليلة، مثل تلك التي تحتوي على الإضافات المعدنية خاصة (silica fume) تكون أكثر عرضة لشروخ الانكماش في عمر مبكر للخرسانة. 	<ul style="list-style-type: none"> • شروخ سطحية بأعماق متفاوتة تكون في شكل عشوائي أو موازية لبعضها البعض. • الشروخ عادة ما تكون 2-3 ملم في العرض، 30-50 مم في الطول، و 2-5 مم في العمق. • في بعض الحالات تمتد بكامل عمق العنصر. 	انكماش الخرسانة الطازجة

التدابير الحماية / الوقاية	التأثير	السبب	التشخيص	النوع عمر مبكر
<ul style="list-style-type: none"> تقليل سيولة الخرسانة الطازجة وهبوطها من خلال إضافة ألياف أو خلطات تحتوي على فقاعات الهواء. التصميم السليم للشدات طبقاً للمواصفات (ACI ٣٠٩R) الدمك السليم للخرسانة (ACI ٣٠٩R). استخدام أدنى حد ممكن لسيولة الخرسانة. زيادة الغطاء الخرسانتي. استخدام أسياخ الحديد ذات الأقطار الصغيرة. توفير فواصل زمنية بين صب الخرسانة في الأعمدة أو الجسور العميقة وصب الخرسانة في البلاطات والجسور (ACI ٣٠٩R) 	<ul style="list-style-type: none"> فقدان التماسك بين الأسياخ العلوية والخرسانة يوفر مسارا داخل طبقة غطاء الخرسانة للأوكسجين والرطوبة والأملاح. 	<ul style="list-style-type: none"> زيادة كمية مياه البضخ وهبوط الخرسانة الطازجة في وجود عنصر مقيد لترسيب الخرسانة. ترسيب الخرسانة (يقاوم داخليا عن طريق حديد التسليح أو الشدات) بعد الصب ، والاهتزاز ، والتسوية. عدم كفاية عمليات هز و دمك الخرسانة. استخدام شدات تسمح بتسرب المياه أو مرنة للغاية. شروخ هبوط الخرسانة الطازجة تزداد مع زيادة أقطار حديد التسليح ، زيادة سيولة الخرسانة الطازجة وقلّة سمك غطاء الخرسانة. 	<ul style="list-style-type: none"> شروخ وفراغات أو كلالهما و التي تظهر في الخرسانة الطازجة المتأخمة لعنصر مقيد لترسيب للخرسانة (مثل قضيب من حديد التسليح ،خرسانة متصلدة أوالشدات). عادة ما يكون عرض هذه الشروخ ا ملمم على السطح وتمتد عادة من السطح إلى مستوى أسياخ الحديد. عادة ما تحدث هذه الشروخ على السطح العلوي وعادة ما تتبع الأسياخ العلوية ، لتشكل سلسلة من الشروخ المتوازية. قد تظهر أيضا شروخ أقصر فوق الأسياخ في الاتجاه العرضي. 	<p>الهبوط اللدن للخرسانة الطازجة</p>

التدابير الحامية / الوقائية	التأثير	السبب	التشخيص	النوع عمر مبكر
<ul style="list-style-type: none"> • وضع فواصل حركة لتجنب حدوث تقييد خارجي. • تقليل الفواصل الزمنية بين الصبات لتجنب حدوث تقييد خارجي. • تأخير إزالة الشدات للسيطرة على معدل تبريد السطح وتجنب التقييد الداخلي. • استخدام المواد العازلة للحفاظ على السطح دافئاً ، تأخير بداية تبريد الطبقة السطحية لتجنب حدوث تقييد داخلي. • استخدام أسياخ ذات الأقطار الصغيرة ، تقليل المسافة بين الأسياخ. • تقليل الغطاء الخرساني للحد الأدنى المسموح به • كلما قلت ضخامة المنشأ قلت احتمالات اختلاف درجات حرارة الخرسانة. • الخرسانة المحتوية على الحجر الجيري والجرانيت لديها معامل تمدد حراري أقل منه في الخلطات الخفيفة الركام ، وبالتالي فإنها أقل عرضة لحدوث شروخ تمدد حرارية. • خفض درجة الحرارة الداخلية عن طريق الحفاظ على الخرسانة الأساسية باردة (مثل حقن النيتروجين السائل). • زيادة قوة الشد للخرسانة باستخدام الألياف الفولاذية في الأرضيات للمساعدة في السيطرة على الشروخ. • استخدام الاسمنت المخلوط (GGBS & PFA) للحد من ارتفاع حرارة الخرسانة (يجب الأخذ في الاعتبار أن هذا سوف يقلل من مطوئية الخرسانة و قوة تحملها للشد في عمر مبكر). • اتباع التدابير و الأساليب الأخرى المستخدمة للحد من الشروخ في الخرسانة الضخمة طبقاً للمواصفات (ACI 307R, 307.2R, 307.4R, 324R) 	<ul style="list-style-type: none"> • يوفر مسارات داخل طبقة غطاء الخرسانة للأوكسجين والرطوبة والأملاح. 	<ul style="list-style-type: none"> • الحرارة الناتجة عن تفاعل الاسمنت ترفع حرارة الخرسانة • بعد أيام قليلة تبرد الخرسانة مما يسبب تقلص العنصر الخرساني. • التقلص ، عندما يقيد ، يسبب الشروخ. • أنواع القيود تشمل: القيود الخارجي : صب الخرسانة على قاعدة سابقة التصلب أو بين عناصر متصلة من دون فواصل حركة ، والقيود الداخلي : في القطاعات السمكية ، السطح يبرد أسرع مما يسبب اختلافاً في درجات الحرارة وتفاعلات عبر القطاع وبالتالي تصدع الطبقة السطحية. 	<ul style="list-style-type: none"> • شروخ سطحية موازية لبعضها البعض. • الحوائط الخرسانية الكابولية تكون معرضة جداً لهذه الشروخ في وقت مبكر (الخرانات ، وجدران سند التربة ، دعائم الجسور والأقبية) • في حالة صب حائط رأسي على قاعدة شريطية متصلة تظهر الشروخ عند القاعدة وتتحرك رأسيًا. • قد تكون الشروخ قرب نهاية البلاطات مائلة على 45 درجة 	التمدد الحراري المبكر

النوع	التشخيص	السبب	التأثير	تدابير الحماية / الوقاية
بيئي الانكماش الجاف والتجزع	<p>الانكماش الجاف</p> <ul style="list-style-type: none"> • شروخ سطحية متقاربة ورفيعة على سطح الحوائط أو البلاطات • تصدع الطبقة السطحية من الخرسانة و تقسيمها إلى مناطق أصغر متجاورة غير منتظمة الشكل (سطح متجزع - نمط عشوائي) على سطح الحوائط. الشروخ عادة ما تكون عمودية على اتجاه التقييد. <p>التجزع</p> <ul style="list-style-type: none"> • شروخ رقيقة (قرارية ا. ملم) ضحلة مترابطة الحلقات عادة على شكل مضلع مغلق، مساحات المضلعات عادة ما تكون ٧٥-١٠ ملم والشروخ عادة ما يكون عمقها ملليمترات قليلة. 	<ul style="list-style-type: none"> • الانكماش الجاف يحدث بسبب فقد المياه أثناء عملية التصلب والتعرض للهواء غير المشبع والذي ينتج عنه تصدع في الخرسانة إذا تم تقييد الحركة بطريقة ما . • فقدان الرطوبة من المونة الاسمنتية الملاصق للقيود ، التي يمكن أن تقلص بنسبة قد تصل إلى ١ % • في العناصر الخرسانية الضخمة ، إجهادات الشد تسبب شروخاً بسبب الفرق بين انكماش الخرسانة السطحية والداخلية. • الانكماش الزائد على السطح يؤدي إلى زيادة الشروخ و التي مع الوقت قد تخترق عمق الخرسانة. • قد تنتشر هذه الشروخ تحت تأثير إجهادات أقل بكثير من قدرة تحمل الخرسانة للشد (ACI ٤٤٦,IR). • وتتأثر كمية الانكماش الجاف بكمية ونوع الخلطة ومونة الاسمنت (الاسمنت والماء) و محتويات الخلطة. • التجزع يحدث عادة عند زيادة محتوى الماء بالطبقة السطحية من الخرسانة عنه بالخرسانة الداخلية بسبب المنواله والتسوية الزائدة على سبيل المثال وعدم الدمك السليم قرب السطح. 	<ul style="list-style-type: none"> • تقلص / ترخيم العنصر الخرساني 	<ul style="list-style-type: none"> • خفض محتوى الماء (وليس نسبة ماء / اسمنت) • توفير التسليح والروابط الكافية. • كلما زادت كمية و تدرج الركام قل الانكماش الجاف. • كلما زادت صلابة و تدرج الركام، كان أكثر فعالية في الحد من انكماش الخرسانة • انكماش الخرسانة المحتوية على الحجر الرملي أكثر من ضعف انكماش الخرسانة المحتوية الجرانيت والبازلت والحجر الجيري عالي الجودة. • انخفاض محتوى الماء والاسمنت يقلل كمية الانكماش الجاف. • يمكن التحكم في شروخ الانكماش باستخدام قواصل تقلص • يمكن تقليل حدوث شروخ الانكماش أو حتى القضاء عليها باستخدام إضافات معوضات الانكماش . أو إضافات موانع الانكماش. • المعالجة الكافية للأسطح المكشوفة • عمل قواصل حركية من أجل القضاء على القيود الخارجية. • المراقبة الجيدة للشروخ والتوزيع السليم لتحديد التسليح. • استخدام GGBS/ PFA للحد من نسبة مياه الخلط.

التدابير الحماية / الوقاية	التأثير	السبب	التشخيص	النوع كيميائي
<p>لحماية حديد التسليح من التآكل/الصدأ يجب وقف أو عكس التفاعلات الكيميائية. ويمكن القيام بذلك عن طريق:</p> <ul style="list-style-type: none"> • تقليل أو منع إمدادات الأكسجين أو الرطوبة • زيادة الأيونات في أماكن الأيونات لمنع تشكيل أيونات المعادن (الحماية الكاثودية). • لعموم المنشآت الخرسانية ، أفضل حماية ضد تآكل/صدأ الحديد المسبب انفصال الخرسانة هو استخدام: • خرسانة ذات نفاذية منخفضة وغطاء كافٍ. • زيادة الغطاء الخرساني فوق حديد التسليح يؤثر في تأخير عملية الصدأ عن طريق الحد من اختراق الكبريت ، فضلا عن تأخير وصول الأوكسجين والرطوبة والكلوريدات ، وكذلك مقاومة قوى الشد الناتجة عن الصدأ. • في حالة ا سباح ذات ا قطار الكبيرة والغطاء السميك ، قد يكون من الضروري إضافة تسليح عرضي صغير (مع الحفاظ على الحد الأدنى من سمك الغطاء) للحد من الانقسام والتي تقلل عرض الشرخ السطحي (ACI 308R). • ينبغي أن تحتوي الخرسانة المعرضة للمياه المالحة على فقاعات هواء بشكل كافٍ. • استخدام غطاء كلاف لحديد التسليح. • استخدام الخرسانة عالية الجودة والنفاذية المنخفضة. <p>في الظروف القاسية جدا ، قد يقتضي اتخاذ تدابير وقائية إضافية مثل:</p> <ul style="list-style-type: none"> • دهان حديد التسليح با يوكسي (يجب استخدام هذه الطريقة بحذر وبدرجة مراقبة جيدة عالية). • استخدام دهانات عازلة للمياه والرطوبة بسطح الخرسانة. • استخدام الخلطات مثبتة للصدأ. • الحماية الكاثودية. • في معظم الحالات أن يسمح لتبخر المياه من الخرسانة. • استرجاع الكلوريدات من الخرسانة. • إعادة القلوية للخرسانة. 	<ul style="list-style-type: none"> • انفصال الغطاء الخرساني • فقدان أجزاء من مساحة القطاع الخرساني الفعال • فقدان أجزاء من مساحة حديد التسليح • فقدان تماسك حديد التسليح بالخرسانة • تقليل قدرة تحمل القطاع الخرساني المسلح 	<ul style="list-style-type: none"> • التعرض للكلوريدات يضعف حماية الحديد. • انخفاض قلوية الخرسانة من خلال الكبريتة • وجود شروخ رقيقة نتيجة زيادة إجهادات التماسك بين الحديد و الخرسانة. الشد العرضي، الانكماش، الهبوط ، و التي توفر مسارات داخل طبقة غطاء الخرسانة للأوكسجين والرطوبة والأملاح مما يسرع معدل صدأ الحديد 	<ul style="list-style-type: none"> • ظهور بقع الصدأ • شروخ طولية في اتجاه مواز لفضبان حديد التسليح. • سقوط أجزاء من الغطاء الخرساني • قد يحدث شرخ واسع على نفس مستوى حديد التسليح مواز لسطح التام للغطاء الخرساني والتي هي مشكلة معروفة في بلاطات الجسور. 	<ul style="list-style-type: none"> • تآكل/صدأ الحديد • نتيجة الكبريتة • نتيجة الكلوريدات

النوع	التشخيص	السبب	التأثير	تدابير الحماية / الوقاية
كيمياي تفاعل - السيليكا القلويات (ASR)	شبكة من الشروخ	<ul style="list-style-type: none"> قد تتصدع الخرسانة مع مرور الوقت نتيجة تطور تفاعلات التمدد بين حبيبات الركام المحتوية على السيليكا النشطة والقلويات الناتجة من تفاعل الأسمنت مع الماء والإضافات، والمياه الجوفية ، والمواد الكيميائية الذاتية ، والمحاليل القلوية المخزنة أو المستخدمة في أعمال التشطيبات). عندما تتفاعل القلويات في الأسمنت مع جزئيات الركام، تنتج طبقة من الجل حول حبيبات الركام ، و الذي يتمدد في وجود الرطوبة ، مما يسبب تصدعا وربما تؤدي في نهاية المطاف إلى التدهور الشامل للمنشأ. استعمال الركام الذي يحتوي على نوعيات خاصة من الكربونات التي تتفاعل مع القلويات مما ينتج تمددا صاروا وتصدعا. هذه التفاعلات الصارة غالبا ما تحدث في وجود حبيبات ناعمة من الحجر الجيري و الحولوميت الطيني (F.i.r)، و يتميز تفاعل الكربونات-القلويات عن تفاعل القلويات - السيليكا بعدم تكون الجل. 	<ul style="list-style-type: none"> فقدان قوة تحمل الخرسانة لقوى الضغط فقدان قوة تحمل الخرسانة لقوى الشد فقدان أجزاء من مساحة القطاع الخرسانى الفعال 	<ul style="list-style-type: none"> استخدام ركام غير التفاعلي ، اسمنت منخفض القلوية. هذا الاجراء قد يمنع حدوث المشكلة . بينما يوجد تدابير أخرى تؤدي إلى خفض نسبة تفاعل السيليكا-القلويات ، و ذلك بتشكيل هيدرات سيليكات الكالسيوم القلوية. تجنب استخدام الركام المتدرج المحتوي على السيليكا النشطة. استخدام أصغر حجم مسموح به من حبيبات الركام المتدرج ، استخدام الاسمنت منخفض القلوية (ACT) (F.i.R).
هجوم الكبريتات	<ul style="list-style-type: none"> ضعف و نعومة الطبقة السطحية للخرسانة شروخ متقاربة المسافات 	<ul style="list-style-type: none"> يغض الكبريتات في التربة والمياه تشكل خطورة على الخرسانة. عندما تخترق الكبريتات مونة الأسمنت، تتفاعل مع الأيونات الكالسيوم المائية. يتم تكوين كبريتات الكالسيوم المائية والتي تؤدي إلى زيادة في الحجم. تشكيل مواد متمددة في الخرسانة المتصلدة مما يسبب التصدع والتفتير. ضعف و تفكك المركبات الاسمنتية المائية نتيجة للهجوم المباشر على هذه المركبات من الكبريتات أو تحللها عندما يتفاعل هيدروكسيد الكالسيوم مع الكبريتات. 	<ul style="list-style-type: none"> ضعف الغطاء الخرسانى فقدان أجزاء من مساحة القطاع الخرسانى الفعال انخفاض في الخواص الميكانيكية (الصلابة ، وقدرة تحمل قوى الضغط والشد) 	<ul style="list-style-type: none"> استخدام الاسمنت المقاوم للكبريتات طبقا للمواصفات (ASTM C10). والذي يحتوي على نسبة منخفضة من الأيونات الكالسيوم، وعليه يقل تكون كبريتات الكالسيوم المائية. استخدام الاسمنت المقاوم للكبريتات طبقا للمواصفات (ASTM C090 & C107). استخدام مركبات الاسمنت التي تم اختيارها والتأكد من مقاومتها لهجوم الكبريتات. استخدام الخرسانة التي تحتوي على نسبة منخفضة من الماء/الاسمنت يوفر الحماية ضد هجوم الكبريتات.

التدابير الحامية / الوقاية	التأثير	السبب	التشخيص	النوع إنشائي
<ul style="list-style-type: none"> التصميم الإنشائي السليم فهم شامل للسلوك الإنشائي. مراجعة دقيقة للتصميم الإنشائي 	<ul style="list-style-type: none"> تخفيض قدرة التحمل الفعلية لمستوى أقل من قدرة التحمل التصميمية. 	<ul style="list-style-type: none"> خطأ في التصميم التحميل الزائد 	<ul style="list-style-type: none"> شروخ متقاربة المسافات تسير باتجاه عمودي على اتجاه حديد التسليح الرئيسي الطولي الشروخ موزعة بشكل متجانس في المناطق المعرضة لأقصى عزوم انحناء. 	انحناء
<ul style="list-style-type: none"> التصميم الإنشائي السليم فهم شامل للسلوك الإنشائي. مراجعة دقيقة للتصميم الإنشائي 	<ul style="list-style-type: none"> تخفيض قدرة التحمل الفعلية لمستوى أقل من قدرة التحمل التصميمية. 	<ul style="list-style-type: none"> خطأ في التصميم التحميل الزائد 	<ul style="list-style-type: none"> شروخ بالقرب من الدعامات مائلة ٣٠ إلى ٥٥ درجة. شروخ القص مائلة في الاتجاه نفسه على كلا الجانبين من الجسر. شروخ الالتواء مائلة وموازية لبعضها البعض ولكنها تسير في اتجاهين معاكسين على جانبي الجسر على نمط لولبي. 	القص / الالتواء
<ul style="list-style-type: none"> التصميم الإنشائي السليم فهم شامل للسلوك الإنشائي. مراجعة دقيقة للتصميم الإنشائي 	<ul style="list-style-type: none"> تخفيض قدرة التحمل الفعلية لمستوى أقل من قدرة التحمل التصميمية. 	<ul style="list-style-type: none"> خطأ في التصميم التحميل الزائد 	<ul style="list-style-type: none"> شروخ تتشكل في جانب الشد من البلاطة المسطحة منبثقة من العمود. ويمكن أن تنضم إليها سلسلة من الشروخ الأخرى حول العمود على مسافة قرابة ٣ مرات سمك البلاطة من وجه العمود. 	القص المسبب للثقب (الانزلاقي)
<ul style="list-style-type: none"> التصميم الإنشائي السليم فهم شامل للسلوك الإنشائي. مراجعة دقيقة للتصميم الإنشائي 	<ul style="list-style-type: none"> تخفيض قدرة التحمل الفعلية لمستوى أقل من قدرة التحمل التصميمية. 	<ul style="list-style-type: none"> خطأ في التصميم التحميل الزائد 	<ul style="list-style-type: none"> Longitudinal cracks parallel to the steel reinforcement in columns شروخ طولية موازية لحديد التسليح في الأعمدة. 	محوري

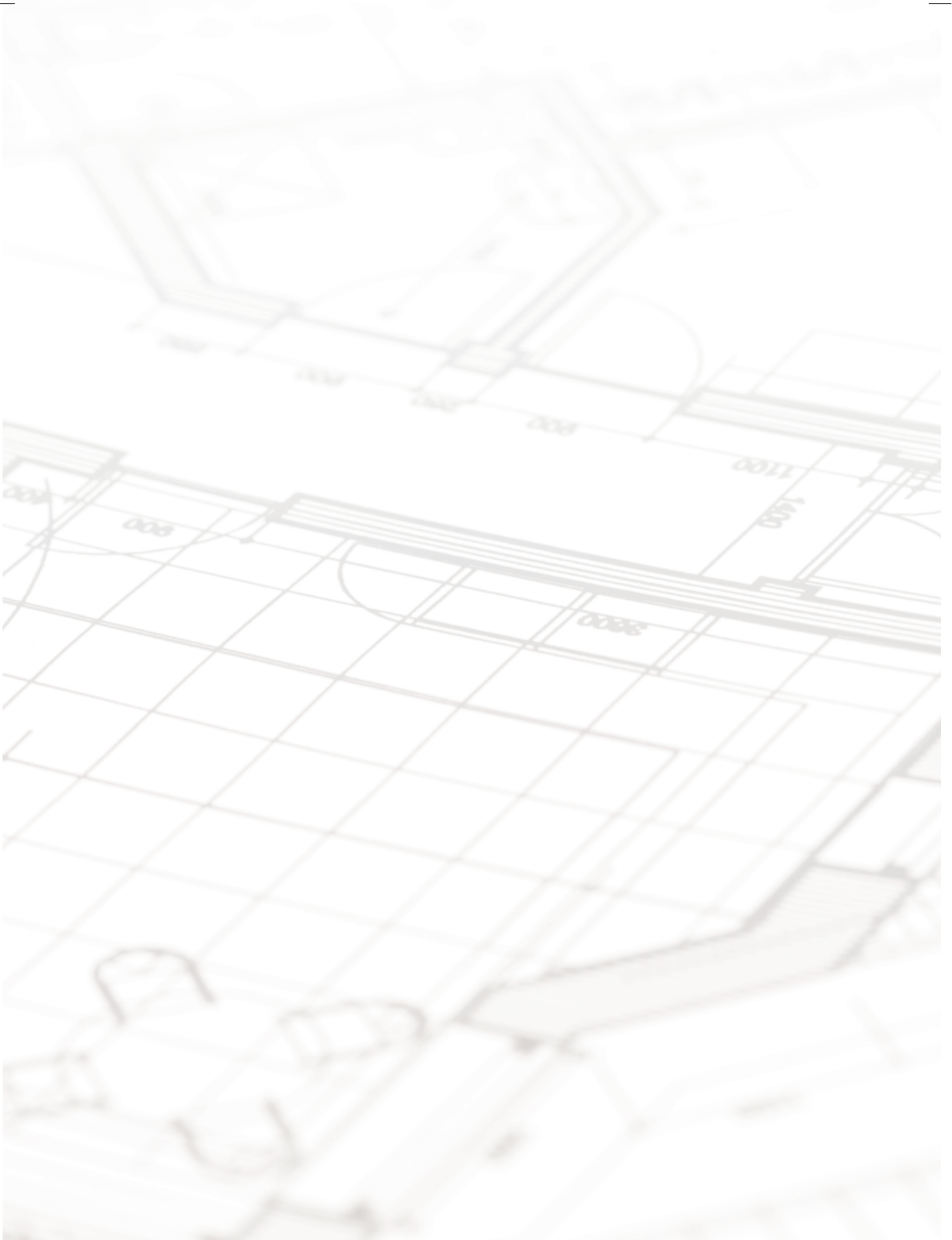
التدابير الحماية / الوقاية	التأثير	السبب	التشخيص	النوع إنشائي
<ul style="list-style-type: none"> • فحص سليم للتربة و طبقاتها تحت سطح الأرض • التصميم الإنشائي السليم • فهم شامل للسلوك الإنشائي. • مراجعة دقيقة للتصميم الإنشائي 	<ul style="list-style-type: none"> • حدوث إجهادات شد كبيرة وتعبير في توزيع الإجهادات التي تم على أساسها التصميم الإنشائي (مثل مناطق عزوم القص يمكن أن تتعرض إلى عزوم انحناء بدلا من ذلك). • قد يسبب ضررا يؤثر على استقرار المنشأ مثل تصدع وتشويه أعضاء التدعيم الذي قد يؤدي إلى انهيار كامل للمبنى. <p>الهبوط المتجانس</p> <ul style="list-style-type: none"> • عادة لا يسبب إجهادات إنشائية زائدة و لكن قد يؤدي إلى ضرر الخدمات المتصلة بالمنشأ. 	<ul style="list-style-type: none"> • خطأ في تصميم الأساسات • الافتراض غير الصحيح حول خصائص طبقات التربة تحت المنشأ. • خطأ في التصميم الإنشائي لعناصر الأساسات مثل القواعد فوق الخوازيق. • ترسيب أو هروب التربة الناعمة أو العضوية • وجود التربة التمددية. • هبوط في طبقات الردم العميقة. • وجود تجاوير الحجر الجيري أو ثقوب بالتربة. • خلخلة التربة نتيجة استخراج النفط أو المياه الجوفية. • تسرب المياه إلى باطن الأرض و التي تسبب انهيار التربة غير المستقرة. • الحفريات المجاورة أو انهيار تجاوير الحجر الجيري أو تجاوير المناجم تحت الأرض والأفناق. 	<ul style="list-style-type: none"> • الهبوط المتفاوت • صعوبة في تشغيل الأبواب أو النوافذ . • تصدع في البلاستر أو الجوانب الجيسية مائلة على قرينة ٤٥ درجة. • تصدع في واجهة مباني الطوب مائلة على قرينة ٤٥ درجة قطري • بطريقة متدرجة على طول وصلات المونة الاسمنتية بين قوالب الطوب. • سلسلة من الشروخ المائلة بين النوافذ وتكون مكدسة رأسيا • شروخ مائلة في زاوية النوافذ والأبواب <p>الهبوط المتجانس</p> <ul style="list-style-type: none"> • ضرر في الخدمات المتصلة بالمنشأ. 	<p>هبوط الأساسات</p>

4. الاحتياطات لتجنب هبوط الأساسات

- فحص سليم للتربة و طبقاتها تحت سطح الأرض
- التصميم الإنشائي السليم للأساسات و الجسور الرابطة
- الدمك السليم لطبقات التربة وفقا لتقرير فحص التربة
- تجنب الإفراط في الري بالقرب من الأساسات للحد من تسرب المياه إلى باطن الأرض
- تجنب هبوط التربة نتيجة استخراج النفط أو المياه الجوفية بجانب الأساسات.
- تجنب الحفر العميق بجانب أساسات المبنى القائمة ما لم يتم توفير حوائط سند التربة و جوانب الحفر
- العزل السليم للأساسات لتفادي تدهور الخرسانة بسبب وجود المياه الجوفية أو المواد الضارة
- التصميم السليم لنظام الصرف الصحي لتجنب تسرب أو تسلل المياه إلى باطن الأرض

5. مراجع

- ACI 201.1RGuide for Making a Condition Survey of Concrete in Service
- ACI 201.2RGuide to Durable Concrete
- ACI 201.3RGuide for Making a Condition Survey of Concrete Pavements
- ACI 207.1RGuide to Mass Concrete
- ACI 207.2REffect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete
- ACI 207.3RPractices for Evaluation of Concrete in Existing Massive Structures for Service Conditions
- ACI 207.4RCooling and Insulating Systems for Mass Concrete
- ACI 222RProtection in Metals in Concrete Against Corrosion
- ACI 224RControl of Cracking in Concrete Structures
- ACI 224.2RCracking of Concrete Members in Direct Tension
- ACI 224.3RJoints in Concrete Construction
- ACI 228.2RNondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures
- ACI 302.1RGuide for Concrete Floor and Slab Construction
- ACI 304RGuide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete
- ACI 305RHot Weather Concreting
- ACI 308RGuide to Curing Concrete
- ACI 309RGuide for Consolidation of Concrete
- ACI 309.2RIdentification and Control of Visual Effects of Consolidation Formed Concrete Surfaces
- ACI 318Building Code Requirements for Structural Concrete343RAnalysis and Design of Reinforced ConcreteBridge Structures
- ACI 345RGuide for Concrete Highway Bridge DeckConstruction
- ACI 345.1RGuide for Maintenance of Concrete Bridge Members
- ACI 347Guide to Formwork for Concrete
- ACI 446.1RFracture Mechanics of Concrete: Concepts,Models, and Determination of Material Properties
- "Cracks in Concrete",Au Yong TheanSeng , E-book, www.madisonvelocity.blogspot.com.
- ACI 503RUse of Epoxy Compounds with Concrete
- ACI 504RGuide to Sealing Joints in Concrete Structures
- ACI 517.2RAccelerated Curing of Concrete at AtmosphericPressure
- ACI 546RConcrete Repair Guide
- ACI 546.1RGuide for Repair of Concrete Bridge Superstructures
- ACI 546.2RGuide to Underwater Repair of Concrete548.1RGuide for the Use of Polymers in Concrete
- Bureau of Indian standards, "Handbook on Causes and Prevention of Cracks in Buildings", SP 25:1984, pp68.
- "Cracks in Concrete", Au Yong TheanSeng , E-book, www.madisonvelocity.blogspot.com.



IV - تقييم المنشآت الخرسانية

1. مقدمة

يمكن البدء في التقييم الإنشائي عندما يحدث تغيير في المقاومة مثل التدهور الإنشائي بسبب العمليات المعتمدة على الوقت (مثل الصدأ ، والإجهاد) أو الأضرار الإنشائية نتيجة الحوادث. أيضا عندما يكون هناك تغيير في التحميل (مثل زيادة أحمال مرور السيارات) ، أو تمديد العمر التصميمي التشغيلي. ويمكن أيضا أن يكون التقييم بهدف تحليل الاعتمادية الإنشائية الحالية (على سبيل المثال الأخطار البيئية مثل الزلازل أو الرياح الشديدة و / أو الموجات).

هذا القسم من هذا التقرير يقدم الإطار المنهجي لتقييم المنشآت القائمة وتلخيص الأساليب المتعددة التي وضعت في السنوات الأخيرة للتقييم الإنشائي. إنه يهدف إلى وصف الاتساق والاختلاف بين الأساليب وتقديم الفهم ومساعدة المهندسين في العثور على إجراءات تقييم مناسبة اعتمادا على أهداف التقييم وكذلك على الشروط الحدودية المختلفة.

من الضروري عند تقييم المنشآت توحيد طريقة التقييم ، بحيث يتم تقييم منشآت مختلفة بنفس الطريقة لتعطي نتائج قابلة للمقارنة بين المناطق والسلطات أو البلدان المختلفة. الخطوط التوجيهية العامة لهذا التقرير هي لتوفير إطار لتحقيق هذا الهدف. هذا التقرير يهدف إلى شرح مبادئ التقييم الإنشائي ويميز عدة مستويات من التقييم الإنشائي بدءا من أساليب بسيطة ولكنها أكثر أمانا مما نحتاجه إلى أساليب أكثر دقة ولكن أيضا أكثر تكلفة.

ويمكن تطبيق ما جاء في هذا التقرير لجميع أنواع المنشآت القائمة (مثل الجسور والأنفاق والمباني والمنشآت الصناعية والبحرية) المنشأة من أي نوع من المواد الإنشائية (الخرسانة وال فولاذ والأخشاب ، الطوب ، والمواد المركبة). ويمكن تصميم المنشآت التي سيتم تقييمها على أساس المبادئ الهندسية المقبولة و قواعد التصميم فضلا عن العمالة الجيدة والتجربة التاريخية والممارسة المهنية المقبولة. نظرا لأن مقاومة الحريق تتطلب خصائص مختلفة عن تلك الخاصة بالسلامة الإنشائية، فإن تقييم مقاومة الحريق ليس جزءا من هذا التقرير.

2. أساسيات ومبادئ التقييم الإنشائي

2.1 الأهداف

عموما فإن التقييم الإنشائي هو طريقة لتحديد كيف يمكن الاعتماد على المنشأ القائم وتحديد قدرته على تحمل الأحمال الحالية والمستقبلية ، والوفاء بمهمته لفترة زمنية معينة. يجب أن تكون الخطوة الأولى في عملية التقييم دائما هي تحديد واضح للهدف من التقييم. هذا أمر ضروري لتحديد الحدود الأكثر أهمية. ترتبط مع تلك الحدود المتغيرات الإنشائية التي يجب أن يتم التأكد منها وبذلك يمكن تطبيق خطوات التقييم عليها.

هناك مجموعة واسعة من إجراءات التقييم المختلفة مع وجود صعوبات متفاوتة واختيار الإجراء المناسب يعتمد بشكل كبير على الاحتياجات المحددة للتقييم. هناك نوعان من الأهداف الرئيسية لإجراء تقييم المنشآت القائمة ، هما ضمان السلامة الهيكلية والسلوك الإنشائي أثناء الاستخدام وكذلك تقليل التكاليف.

2.2 السلامة الإنشائية والسلوك الإنشائي أثناء الاستخدام

المهمة الرئيسية للتقييم هو التأكد من أن المنشأ أو أجزاء من المنشأ لا تنهار تحت التحميل. ويتم إجراء التقييم بناء على الحدود القصوى للتصميم ، وهي :

- فقدان الاتزان في المنشأ أو أجزاء منه كجسم جامد (الانقلاب على سبيل المثال)
- تحقيق أقصى قدر من القدرة على المقاومة
- تحويل الهيكل أو جزء منه إلى آلية.
- عدم الاستقرار في المنشأ أو جزء منه.
- تغيير النظام الإنشائي المفترض فجأة إلى نظام آخر جديد

قد يكون التقليل من القدرة على السلوك الإنشائي أثناء الخدمة يؤدي إلى الحد من الاستخدام وبالتالي تقييم السلوك الإنشائي أثناء الخدمة قد يصبح ضرورياً. وحدود حالة السلوك الإنشائي أثناء الخدمة تشمل ما يلي :

- الضرر الداخلي الذي قد يقلل من العمر التشغيلي للمنشأ.
- التشوهات غير المقبولة التي تؤثر على كفاءة الاستخدام.
- الاهتزازات المفرطة التي تسبب الإزعاج للناس.

ويمكن تقييم السلامة والخدمة التشغيلية لمجموعة متنوعة من الأسباب ، مثل التخيرات في الاستخدام أو زيادة الأحمال، وأثار التدهور والضرر نتيجة للوصول إلى قيم التحميل القصوى و مراجعة الأخطاء في التصميم و التنفيذ ومدى جودة نوعية مواد البناء و العمال. زيادة حدود الحمولة القصوى و تخيرات الاستخدام هي على الأرجح الأسباب الرئيسية للتقييم الإنشائي. و في حالة المباني فإنه يمكن الحاجة إلى التدعيم لتحمل الزيادة في أحمال المنشأة. و بالنسبة للجسور هناك حاجة ملحة لزيادة قدرة تحمل الأحمال المرورية في جميع أنحاء العالم.

من المحتمل لأي منشأ أن يمر بدرجة من التدهور. آثار التدهور الإنشائية تعتمد و بخاصة على التكوين الإنشائي و موقع المنشأ. أما بالنسبة للقوة الإنشائية فإن الصدا و الإجهاد يمثلان العاملين الرئيسيين لعملية التدهور الإنشائي. أيضا فإن حدوث الشروخ و تدني حالة السطح هي مؤشرات نموذجية على التدهور. كذلك فإنه من الممكن أن تؤدي الزلازل أو الصدمات أو عواصف الرياح إلى أضرار بالمنشأ. قدرة التحمل الاستيعابية المتبقية تحتاج إلى تحليل بعد التعرض لمثل هذه الأحداث. قد يكون من الضروري لتقييم المنشآت القائمة أن يؤخذ بعين الاعتبار في التقييم تدني نوعية مواد البناء المستخدمة أو العمالة.

2.3. المنهجية

ويمكن إجراء تقييم المنشآت القائمة بأساليب متفاوتة التطور والجهد. الأهداف الأساسية ، على النحو الموصوف أعلاه، هي تحليل القدرة الحالية على التحمل وتنبؤ الأداء في المستقبل بأقصى قدر من الدقة وأقل قدر من الجهد. في معظم الحالات من الأفضل البدء باستخدام طرق التحليل الأقل دقة و الأكثر أمنا ثم يتبع ذلك استخدام إجراءات أكثر تطورا فقط عند الحصول على نتائج غير مرضية. وينبغي إجراء التقييم الإنشائي عموما على حدود الحالة القصوى (limit state principles) باستخدام القيم المميزة (characteristic values) وعوامل السلامة الجزئية (partial safety factors). إذا كان استخدام الأساليب الأكثر دقة ضرورياً فإن النهج الاحتمالي لابد من تطبيقه، إذا كان ذلك اقتصاديا. إذا نتج عن تقييم المنشأ عدم إظهاره لقدرة مقبولة على التحمل، يمكن للمهندس تقديم توصية ، ولكن الهيئة التقنية من المرجح أن تكون في نهاية المطاف مسؤولة عن السلامة العامة ، وبالتالي لها علاقة بالقرار النهائي. المنشأ الذي فشل في التقييم، قد يستخدم إذا كان يشكل خطرا منخفضا ويخضع للمراقبة.

2.4. تقييم يستند إلى قياس السلوك الإنشائي أثناء الخدمة

مع التركيز على المنشآت الخرسانية، مجموعة مهمة من وسائل الاختبار متاحة للاستخدام خلال الفحص ، أو على العينات المستخرجة من المنشأ للتحقيق المختبري. للمنشآت القائمة ، قد تنشأ الحاجة للاختبار إلى مجموعة متنوعة من الأسباب التي يمكن أن تشمل ما يلي :

- أ) تغير استخدام أو توسعة المنشأ.
- ب) إمكانية الشراء أو التأمين للمنشأ.
- ج) تقييم السلامة الإنشائية أو السلامة الناتجة عن تدهور المواد ، أو الأضرار الإنشائية مثل الناجمة عن الانفجار ، والحرائق أو زيادة التحميل.
- د) القدرة التشغيلية أو كفاءة العناصر الإنشائية التي تحتوي على المواد غير المطابقة للمواصفات ، أو مع أخطاء التصميم

هـ) رصد تطور قوة التحمل فيما يتعلق بتجريد الإطار ، الإجهاد المسبق أو الأحمال المطبقة.

اختبارات المنشآت الخرسانية يمكن تصنيفها إلى غير متلفة (NDT)، وهي ليست ضارة ، وشبه متلفة أو ثانوية التلف (MDT) ، والتي تسبب عادة ضرراً طفيفاً في المنشأ ولكن يمكن تداركه ، والاختبارات المتلفة (D) ، والتي هي الأكثر استخداماً على العينات. في المنشآت الخرسانية ، عادة ما يكون هناك حاجة لفهم أفضل أو تقييم خواص المواد المستخدمة لأغراض الترميم وإعادة التأهيل ، وخصوصاً عندما لا يكون هناك ما يكفي من المعلومات ، مثل الوثائق . في مثل هذه الحالات ، ينبغي أن ينظر فقط للاختبارات غير المتلفة باعتبارها مناسبة ، من أجل عدم إلحاق الضرر وعدم التسبب في أي تغيير لأجزاء من المنشأ. عموماً ، ومع ذلك يمكن أن تعطي NDT نتائج إيجابية في معظم الحالات ، ومعاييرها يمكن أن تكون صعبة نوعاً ما. نتيجة لهذا ، يمكن أيضاً أن تستخدم MDT أساساً لمعايرة NDT.

وفقاً للحاجة للمعلومات المطلوب الحصول عليها بخصوص المنشأ فإنه يوجد مجموعة متنوعة من الاختبارات التي يمكن إجراؤها. الخيارات الرئيسية لطرق هذه الاختبارات موجودة في الجدول التالي رقم (1). عموماً يمكن أن يتم تنفيذ هذه الاختبارات على أنها غير متلفة ، وباستثناء الطرق الكيميائية والصخرية والتي تتطلب قطع أو حفر عينات صغيرة من الخرسانة. العديد من هذه الأساليب يتطلب معدات غالبية الثمن ، مع اتخاذ احتياطات سلامة واسعة في بعض الحالات. اعتبارات لها علاقة بالتكلفة ، فضلاً عن أن الضرر والوقت والموثوقية (الدقة) من الممكن أن تؤثر تأثيراً قوياً على اختيار طريقة الاختبار الذي سيتم تنفيذه. يبين الجدول (2) الأضرار الناتجة عن اختبارات قدرة التحمل كذلك القيود الرئيسية في كل حالة. بينما ، يقدم الجدول (3) معلومات حول التكاليف النسبية ، السرعة ، الضرر وموثوقية المعايرة لكل اختبار.

الجدول (1) - اختبارات الخرسانة في الموقع

المعلومات المطلوبة	الأساليب المتاحة
• سلوك العضو وقدرته التحميلية	اختبارات التحمل مع قياسات الترخيم والانفعال
• قوة تحمل الخرسانة	مطرقة الارتداد Reboundhammer قلب (نواة) Cores الكسر والسحب Break off and pull off مقاومة الاختراق Penetration resistance بالموجات فوق الصوتية Ultrasonic pulse velocity
• التصدع	الموجات فوق الصوتية Ultrasonic pulse velocity الانبعاثات الصوتية Acoustic emission سرعة النبض التجسيدي holography
• التعشيش والدمك	بالموجات فوق الصوتية Ultrasonic pulse velocity γ - القياس الشعاعي Radiography القلب (النواة) Cores الصدى pulse echo
• الكثافة	القياس الإشعاعي Radiography
• النفاذية	اختبارات الامتصاص Absorption الخاصة الشعيرية Capillary rise
• محتوى الرطوبة	الطرق النووية Nuclear methods المقاومة الكهربائية Electrical resistivity امتصاص الميكروويف Microwave absorption
• محتوى الاسمنت	الطرق النووية Nuclear methods التحليل الكيميائي Chemical analysis
• خصائص ومكونات تجانس الخلطة	التحليل الكيميائي Chemical analysis القلب (النواة) Cores الطرق المصغرة Micrometric methods
• كشف حديد التسليح	الطرق المغناطيسية Magnetic methods γ - لقياس الشعاعي Radiography
• تدهور الخرسانة	التحليل الكيميائي Chemical analysis الاختبارات الحرارية Thermo-luminescence الموجات فوق الصوتية وسرعة النبض Ultrasonic pulse velocity الطرق المصغرة Micrometric methods
• مقاومة التآكل والصمم	المطرقة الارتدادية Rebound hammer الاختبارات الغطائية Wear tests الطرق الفيزيائية Physical methods الأشعة تحت الحمراء الحرارية Infrared thermo-graphy

الجدول (2) - اختبارات قدرة التحمل : الأضرار والقيود

نوعية الاختبار	الضرر المحتمل	القيود الرئيسية
إختبار حمل الانهيار Collapse load test	تدمير العضو	• يجب عزل الأعضاء ، ويفضل إزالتها عن باقي المنشأ قبل الاختبار
اختبار الحمل الزائد Overload test	احتمال فقدان الأعضاء	• يجب عزل عضو أو اعتماد توزيع الحمولة على بعض المناطق المحاذية للمنشأ.
القلب (النواة) Cores	الثقوب يجب أن تكون جيدة	• الحد من حجم ونسبة عينات قلب الخرسانة. • احتياطات السلامة للأعضاء الحرجة.
مقاومة الاختراق (مستكشف وندسور) Penetration resistance -(Windsor probe)	مخروط قطره تقريبا. ٥٠ مم. يسوى بطريقة جيدة.	• الحد الأدنى من مسافة الحافة. • الحد الأدنى من سماكة العضو.
الانسحاب Pull-out	بقاء فتحات المسامير.	• تخطط مسبقا
الكسر الداخلي Internal fracture	المسامير يجب أن يقتص أو المخروط بقطر تقريبا ٧٥ مم. يعمل بطريقة جيدة.	• صعوبات الحفر
الفوق صوتيات Ultrasonics	لا شيء	• اثنان من الأسطح الملساء ضرورية
المطرقة الارتدادية Rebound hammer	لا شيء (للخرسانة الناضجة)	• سطح أملس ضروري

الجدول (3) - اختبارات قدرة التحمل : المزايا النسبية

نوعية الاختبار	التكلفة	التكلفة	الأضرار للخرسانة	التمثيل /التوضيح	موثوقية معايرة قدرة التحمل
اختبار حمل الانهيار Collapse load test	مرتفع	بطيء	كامل	جيد	جيد
اختبار الحمل الزائد Overload test	مرتفع	بطيء	متغير	جيد	جيد
القلب (النواة) Cores	مرتفع	بطيء	معتدل	معتدل	جيد
مقاومة الاختراق (مستكشف وندسور) Penetration resistance (Windsor probe)	معتدل	سريع	قليل	بالقرب من السطح فقط	معتدل
الانسحاب Pull-out	معتدل	سريع	قليل	بالقرب من السطح فقط	معتدل
فوق الصوتيات Ultrasonics	منخفض	سريع	لا شيء	جيد	معتدل
المطرقة الارتدادية Rebound hammer	منخفض جدا	سريع	غير مفضل	السطح فقط	ضعيف

3. المعايير القياسية والمواصفات والإجراءات

لتقديم المشورة بشأن طرق الاختبار ، يجوز لمنظمة المعايير الوطنية أن تضع مبادئ توجيهية أو توصيات لمساعدة مستخدمي تقنية معينة. لا تسمى هذه الأنواع من الوثائق عادة في العقود المبرمة بين المنظمات.

3.1. الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد (ASTM)

- | | |
|-----------------------|--|
| (1) ASTM C 42 - 87, | Standard Test Method (STM) for obtaining and testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete, Annual Book of ASTM Standards, 1988, ASTM, Philadelphia, USA |
| (2) ASTM C85 - 66, | "Cement content of hardened Portland cement concrete", ASTM, Philadelphia, USA |
| (3) ASTM C457 - 80, | "Air void content in hardened concrete", ASTM, Philadelphia, USA |
| (4) ASTM C823 - 75, | "Examining and sampling of hardened concrete in constructions" |
| (5) ASTM C779- 76, | "Abrasion resistance of horizontal concrete surfaces" |
| (6) ASTM C944 -80, | "Abrasion resistance of concrete or mortar surfaces by the rotating cutter method" |
| (7) ASTM C856 -77, | "Petrographic examination of hardened concrete" |
| (8) ASTM D4788 - 88 | Standard Test Method for detecting Delamination in Bridge Decks using Infrared Thermography |
| (9) ASTM D6087 - 97 | STM for Evaluating Asphalt covered Concrete Bridge Decks using Ground Penetrating Radar |
| (10) ASTM D4580 - 86 | (1997) Standard Practice for measuring Delamination in Concrete Bridge Decks by Sounding |
| (11) ASTM D2950 - 91 | (1997) STM for Density of Bituminous Concrete in place by Nuclear Methods |
| (12) ASTM C1383 - 98 | a STM for measuring P wave Speed and the Thickness of Concrete Plates using the Impact-Echo Method |
| (13) ASTM C1150 - 96 | STM for the Break off Number of Concrete |
| (14) ASTM C1040- 93 | STM for Density of Unhardened and Hardened Concrete in place by Nuclear Methods |
| (15) ASTM C900- 94 | STM for Pullout Strength of Hardened Concrete |
| (16) ASTM C876 -91 | STM for Half-cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete |
| (17) ASTM C805 - 97 | STM for Rebound Number of Hardened Concrete |
| (18) ASTM C 803 - 82, | STM for Penetration Resistance of Hardened Concrete |
| (19) ASTM C801- 98 | STM for Determining the Mechanical Properties of Hardened Concrete under Triaxial Load |
| (20) ASTM C597- 97 | STM for the Pulse Velocity through Concrete |

1.1.3. فحوصات لتقييم المنشآت الخرسانية القائمة وفقا لمعايير ASTM

الجدول (4) -- اختبار غير تدميري لتحديد خصائص المواد الخرسانية الصلبة (ACI 228.2R-98)

تعليق	الطرق الممكنة		الخاصية
	ثانوي	أساسي	
قدرة تحمل الضغط	مقاومة الاختراق (ASTM C803 : اختبار الانسحاب)	قلب الخرسانة لاختبار الضغط (ASTM C42 و C39)	قدرة تحمل الضغط
قدرة تحمل الضغط النسبية	—	المطرقة الارتدادية (ASTM C805) : سرعة النبض بالموجات فوق الصوتية (ASTM C597)	قدرة تحمل الضغط النسبية
عدد الضربات تتأثر بخصائص السطح القريب : بالموجات فوق الصوتية وسرعة النبض يعطي نتيجة متوسطة من خلال السمك	—	الانشطار - قوة الشد لقلب الخرسانة (ASTM C496)	قدرة تحمل الشد
تقييم قوة الشد من الخرسانة	اختبار السحب في المكان ACI 503R BS 1881 : Part207	الوزن النوعي للعينات (ASTM C642)	الكثافة
—	مقياس نووي	مقياس الرطوبة	محتوى الرطوبة
—	—	اختبار الضغط لقلب الخرسانة (ASTM C469)	معامل المرونة الإستاتيكي
يتطلب معرفة الكثافة ونسبة بواسون (باستثناء ASTM C215) : معامل المرونة الديناميكي هو عادة أكبر من معامل المرونة الاستاتيكي	بالموجات فوق الصوتية وسرعة النبض (ASTM C597). وأثر التحليل الطيفي للارتداد بالموجات السطحية	مدوية تردد اختبار العينات المقطوعة ASTM C215	معامل المرونة الديناميكي
قياس معدل التغير المحتمل تدريجيا للطول.	—	تغيير طول عينات الحفر أو القطع ASTM C 341	الانكماش / التمدد
يحدد القابلية النسبية للخرسانة لاقتحام أيون كلوريد وتقييم فعالية السدادات الكيميائية ، والأغشية والتراكيب.	مؤشر القدرة الكهربائية لقابلية الخرسانة لمقاومة اختراق أيون كلوريد (ASTM C1202)	اختبار الغمر لمدة 90 يوما AASHTOT_259	مقاومة اختراق الكلوريد
مساعدة في تحديد سبب / أسباب من فقد الإجهاد ودرجة الضرر كفاءة الخرسانة وقت الصب وحاليا.	صخرية فحص الركام ASTM C294 ASTM 295	فحص عينات خرسانية من المنشأ : (ASTM C856 , ASTM C457) : محتوى الاسمنت (ASTM C1084)	محتوى الهواء : محتوى الاسمنت ، وخصائص الركام (زيادة التفاعل القلوي الكلي ، والتجمد وقابلية الذوبان)
يوضع في الموقع إذا لوحظ تدهور يرجع إلى تفاعل السليكا القلوي	—	كورنيل / SHRP اختبار سريع (SHRP - C - 315)	التفاعل القلوي السيليكا
تقييم مقدار حماية الصدأ في الخرسانة مع العمق وقابلية حديد التسليح للصدأ وعمق الكربنة	مؤشرات الرقم الهيدروجيني الأخرى (مثل ورقة عباد الشمس)	الفينولفثالين (مؤشر نوعي) : مقياس الرقم الهيدروجيني	الكربنة ، ودرجة الحموضة
عدد الضربات الارتدادية يوضح حدود الخرسانة المتضررة.	بالموجات فوق الصوتية وسرعة النبض ، وأثر الصدى : الاندفاع والاستجابة	البيتروغرافيا وصف الصخور وتصنيفها	أضرار الحريق
—	مناشير ، والاستجابة النبضية	البيتروغرافيا وصف الصخور وتصنيفها	أضرار التجميد والذوبان
دخول الكلوريد يزيد قابلية حديد التسليح للصدأ	قطب محدد الايون (SHRP - S - 328)	حمض قابل للذوبان (ASTM C1152) ، ويذوب في الماء (ASTM C1218)	محتوى الكلوريد
تدابير مؤشر النفاذية في الموقع بالقرب من سطح الخرسانة (15mm)	—	طريقة تدفق الهواء السطحي (SHRP - S - 329)	نفاذية الهواء
المقاومة مفيدة لتقييم فعالية الخلطات والإضافات الاسمنتية : SHRP طريقة مفيدة لتقييم فعالية السدادات.	اختبار مقاومة السطح (SHRP - S - 327)	المقاومة باستخدام مقياس مقاومة بأربع أقطاب	المقاومة الكهربائية للخرسانة

الجدول (5) - طرق اختبار غير تدميري لتحديد الخصائص الإنشائية وتقييم حالة الخرسانة (ACI 228.2R - 98)

تعليق	الطرق الممكنة		الخاصية
	ثانوي	أساسي	
مكان حديد التسليح وتوزيعه : الغطاء الخرساني	الأشعة السينية والتصوير بالأشعة السينية .	مقياس الغطاء الخرساني ؛ اختراق الرادار الأرضي (GPR) (ASTM D4748)	مكان حديد التسليح
التحقق من سمك الخرسانة ، وتوفير مزيد من اليقين في حسابات القدرة الإنشائية ، يتطلب معرفة سرعة الموجة ، و GPR من ثابت العزل الكهربائي	أقطاب داخلية للتحقق	تأثير الصدى (GPR (ASTM D 4748 : (IE)	سماكة مكونات الخرسانة
مراقبة وقياس الصداً ونقص مساحة الحديد، لاحظ صداً المكونات سابقة الشد ؛ تحقق من المكان ومدى التدهور ، وتوفير مزيد من اليقين في حسابات القدرة الإنشائية.	أقطاب داخلية للتحقق ؛ التصوير الشعاعي	مقياس السماكة بالموجات فوق الصوتية (يتطلب الاتصال المباشر مع حديد التسليح)	نقص مساحة حديد التسليح
التأكد من القبول من دون إصلاح أو تقوية ، وتحديد دقيق لمعدل التحميل	مقاييس التسارع ، الانفعال ، والمسافات	اختبار التحميل ، أو قياسات الترخيم والانفعال	قدرة التحمل والسلوك الدلخلي والخارجي
تحديد موقع حديد التسليح النشط للصدأ.	—	نصف الخلية المحتملة (ASTM C876)	إمكانية الصداً
معدل التآكل من الحديد غير الظاهر ؛ المعدل يتأثر بالظروف البيئية	—	الاستقطاب الخطي (S - SHRP - 324 و S - 330)	معدل الصداً
تقييم خفض الخصائص الإنشائية، مدى وموقع الضرر والعيوب الداخلية ؛ الصوتيات تقتصر على الانفصال السطحي.	الصوتيات (ASTM D4580)؛ نبض الصدى ؛ SAWs، الحفر والملاحظة.	تأثير الصدى ؛ الحراري الأشعة تحت الحمراء الحرارية (ASTM D4788) ؛ الاندفاع والاستجابة للأشعة ؛ GPR	مواقع الانفصال ، الفراغات ، وغيرها من العيوب الخفية

2.3. المعهد البريطاني للمقاييس

- (1) BS 1881: Part 102: 1983 - Method for Determination of Slump
- (2) BS 1881 Part 5:1970 - Testing Concrete. Methods of testing hardened concrete for other than strength. Determination of dynamic modulus of elasticity by electromagnetic method
- (3) BS 1881 Part 205:1970 - Testing Concrete. Recommendations for radiography of concrete
- (4) BS 1881 Part 206:1986 - Testing Concrete. Recommendations for determination of strain in concrete. Advice on the use of mechanical, electrical resistance and vibrating wire gauges and electrical displacement gauges
- (5) BS 1881 Part 202:1986 - Testing Concrete. Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer
- (6) BS 1881: Part 114: 1983 - Methods for Determination of Density of Hardened Concrete
- (7) BS 1881: Part 116: 1983 - Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes
- (8) BS 1881: Part 117: 1983 - Method for Determination of Tensile Splitting Strength
- (9) BS 1881: Part 118: 1983 - Method for Determination of Flexural Strength
- (10) BS 1881: Part 120: 1983 - Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cores
- (11) BS 1881: Part 121: 1983 - Method for Determination of Static Modulus of Elasticity in Compression
- (12) BS 1881: Part 122: 1983 - Method for Determination of Water Absorption
- (13) BS 1881: Part 201: 1986 - Guide to the Use of Non-Destructive Methods of Test for Hardened Concrete
- (14) BS 1881: Part 202: 1986 - Recommendations for Surface Hardness Testing by Rebound Hammer
- (15) BS 1881: Part 203: 1986 - Measurement of the Velocity of Ultrasonic Pulses in Concrete
- (16) BS 1881: Part 204: 1986 - Recommendations on the Use of Electromagnetic Covermeters
- (17) BS 1881: Part 207 1992 - Recommendations for the Assessment of Concrete Strength by Near-Surface Tests
- (18) BS 8110: Part 1: 1985 - Structural Use of Concrete: Code of Practice for Design and Construction
- (19) BS 8110: part 2: 1985 - Structural Use of Concrete: Code of Practice for Special Circumstances
- (20) BS 4408: pt. 4, "Non-destructive methods of test for concrete - surface hardness methods" British Standards Institution, London
- (21) BS 1881: pt. 4, "Methods of testing concrete for strength", British Standards Institution, London
- (22) BS 4408: pt. 5, "Non-destructive methods of test for concrete - Measurement of the velocity of ultrasonic pulses in concrete", British Standards Institution, London
- (23) BS 4408: pt. 2, "Recommendations for non-destructive methods of test for concrete – strain gauges for concrete investigations", British Standards Institution, London, 1969,(83)
- (24) BS 4408: pt. 1, "Non-destructive methods of test for concrete-electromagnetic cover measuring devices", British Standards Institution, London
- (25) BS 4408: pt. 3, 1970 "Non-destructive methods of test for concrete-gamma radiography of concrete", British Standards Institution, London
- (26) BS 1881: pt. 6, "Methods of testing concrete: analysis of hardened concrete", British Standards Institution, London
- (27) BS 4551, "Methods of testing mortars, screeds and plasters", British Standards Institution, London
- (28) BS 812: pt. 1, "Methods for sampling and testing of mineral aggregates, sands and fillers", British Standards Institution, London.

4. أساليب التحليل الإنشائي

تقع في هذه الفئة كل إجراءات التقييم ، حيث يتم تحديد أثار الحمل عن طريق تحليل النموذج الإنشائي القائم. وباستخدام هذا الأسلوب يمكن عمل نموذج على الحاسب الآلي لتحديد الحد الأقصى وقدرة التحمل الإنشائية وتقييمها وهي طريقة مكونة من ثلاثة مكونات هي كالتالي :

- الحصول على البيانات من التحميل والمقاومة.
- حساب أثار الحمل على النماذج الإنشائية
- التحقق من السلامة و التصرف الإنشائي.

يجب تحليل الأداء الإنشائي باستخدام نماذج تمثل بدقة التحميل على المنشأ، سلوكه ومقاومة عناصره. يجب أن يعكس النموذج التحليلي الحالة الفعلية للمنشأ الحالي.

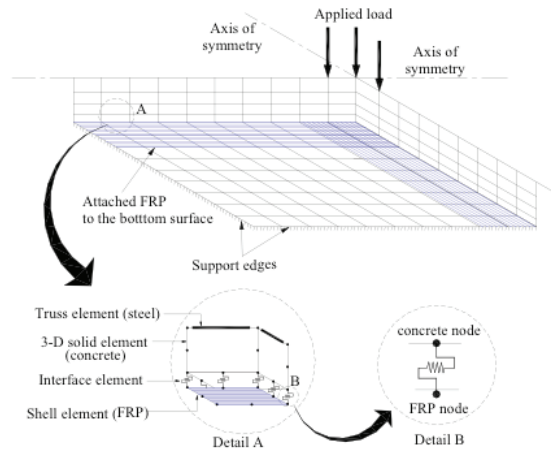
1.4 أساليب التحليل البسيطة

غالباً ما يكون الأسلوب الفعال لحساب تأثير الأحمال هو استخدام طرق بسيطة و لكنها أكثر أمناً وذلك باستخدام نماذج إنشائية بسيطة. يشترط مع ذلك أن يتم الأخذ في الاعتبار عوامل الأمان الكافية لتفادي التأثير السلبي للتقريب المصاحب لاستخدام طرق التحليل الإنشائي البسيطة. من أساليب التحليل البسيطة الشائعة الاستخدام، تحليل الأطر frames والعوارض في الأبعاد الثلاثية 3-Dimensions بالإضافة للتوزيع البسيط للأحمال. يضاف إلى ذلك استخدام نموذج خطي السلوك و مرن للمادة. و ذلك يؤدي إلى الحد الأدنى للحل المتوازن.

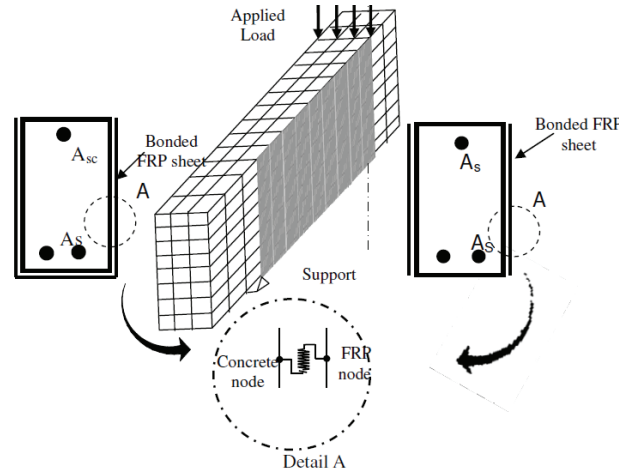
2.4 أساليب التحليل المركبة

في أساليب التحليل الإنشائي المركبة أو المعقدة يتم إعادة حساب الأحمال بشكل أكثر دقة. وتشمل هذه الأساليب أساساً طرق تحليل العناصر المحدودة وغير الخطية مثل تحليل خط الخضوع ، حيث إنها قد تؤدي إلى حساب قدرات تحمل أعلى من تلك التي تم الحصول عليها باستخدام أساليب التحليل البسيطة. خاصة وأن النمذجة المحددة لسلوك المادة مثل السلوك الذي يتغير مع الزمن (مثل انكماش وزحف الخرسانة) والنظر في التفاعلات الموجودة بين مكونات المادة (مثل الترابط وصلادة الشد) سوف تكشف الاحتياطيات الخفية لقدرة تحمل المنشأ وتحد من كون التصميم آمناً بدرجة زائدة عن الضروري.

بتطبيق طريقة التحقيق المبني على استخدام عوامل السلامة، فإنه يمكن استخدام ما يطلق عليه العناصر Finite Elements الفارق هنا بين النماذج الحسابية المستخدم فيها العناصر المحددة العشوائية و تلك المستخدم فيها العناصر المحدودة التقليدية هو أن العناصر العشوائية تأخذ العلاقة المكانية للمتغيرات العشوائية في الاعتبار. ويوضح الشكل (1) أمثلة على النمذجة لبلاطة من منشأ قائم من الخرسانة المسلحة. وتم تدعيم هذه البلاطة باستخدام FRP Fiber reinforced polymers أو البوليمرات المسلحة بالألياف. في مثل هذا التحليل المركب، الترابط بين الخرسانة و FRP يؤخذ في الاعتبار باستخدام عناصر خاصة من العناصر المحدودة. في الشكل (2) ، مثال لنموذج عنصر محدود من كمرة من مكونات المنشأ المقواه باستخدام FRP لمقاومة نقص القص.



الشكل (1): نموذج العناصر المحدودة لبلاطة (Elsayed⁹ 2009)



الشكل (2): نموذج العناصر المحدودة لكمرة (Elsayed 2009^b)

3.4. الآليات الموصى بها من ACI لتقييم قوة المباني الخرسانية القائمة

عندما يتم تحديد المكونات الإنشائية الحرجة من خلال تقييم الحالة ، تكون هناك حاجة إلى التقييم الإنشائي لتحديد الوضع الحالي ، لتشكل أساساً لتقدير الأداء في المستقبل أو الخدمة التشغيلية ، أو كليهما . كجزء من عملية التقييم من المهم أن نلاحظ عدم الانتظام أو عدم الاتساق في خصائص المواد و في التصميم و في ممارسات البناء والصيانة، وكذلك وجود وتأثير العوامل البيئية. على الرغم من أن تقييم المنشأ ينطوي على أكثر من مجرد حساب قدرة تحمل المنشأ (على سبيل المثال ، نفاذية المنشآت الهيدروليكية) ، التقييم الإنشائي يتطلب حساب قدرة تحمل المنشأ كخطوة أولى ثم تتم معالجة متطلبات الأداء الأخرى من خلال اختبارات القدرة الإنشائية التكميلية للخصائص ، مثل معدل التسرب أو النفاذية.

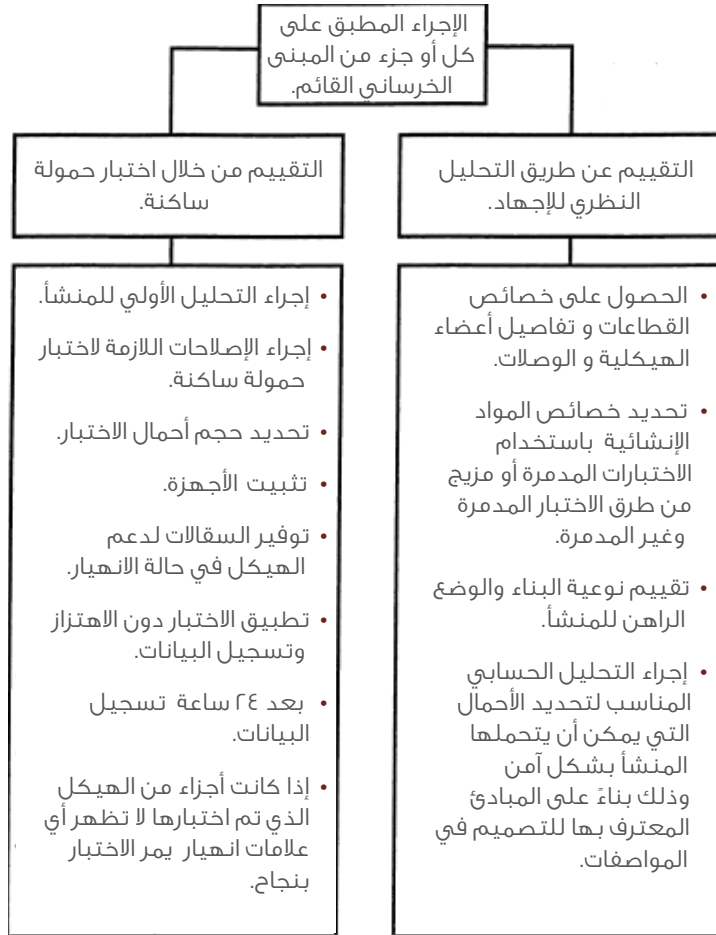
وقد نشرت إجراءات لتقييم قوة المنشآت القائمة (ACI 437R). والقصد منها وضع توصيات للأحمال التي يمكن أن تستمر بأمان وخدمة تشغيلية بواسطة مبنى قائم في ظل ظروف عديدة منها :

- هناك دليل على الضعف الإنشائي المحتمل (على سبيل المثال ،التصدع الزائد أو الانفصال).
- المبنى أو جزء منه يشهد ضرراً عاماً أو جزئياً (على سبيل المثال ،الآثار البيئية أو الزلزال).
- ليس هناك شك بشأن قدرة المنشأ.

أجزاء من المبنى يشتهيه في وجود عيوب في التصميم ،التفاصيل ، المواد أو البناء .

طرق تقييم قوة المنشآت الخرسانية القائمة تشمل إما تقييماً تحليلياً أو اختبار التحميل كما هو مبين في الشكل ٣. ينصح بالتقييم التحليلي عندما تتوفر معلومات أساسية كافية (على سبيل المثال ،خصائص القطاعات ،خصائص المواد وجودة البناء)، أو أن اختبار التحميل الإستراتيجي غير عملي بسبب تعقيد الاختبار أو حجم الحمولة المطلوبة، أو حدوث الانهيار المفاجئ أثناء اختبار التحميل الإستراتيجي والذي يمكن أن يشكل خطراً على سلامة العضو أو المنشأ بأكمله .

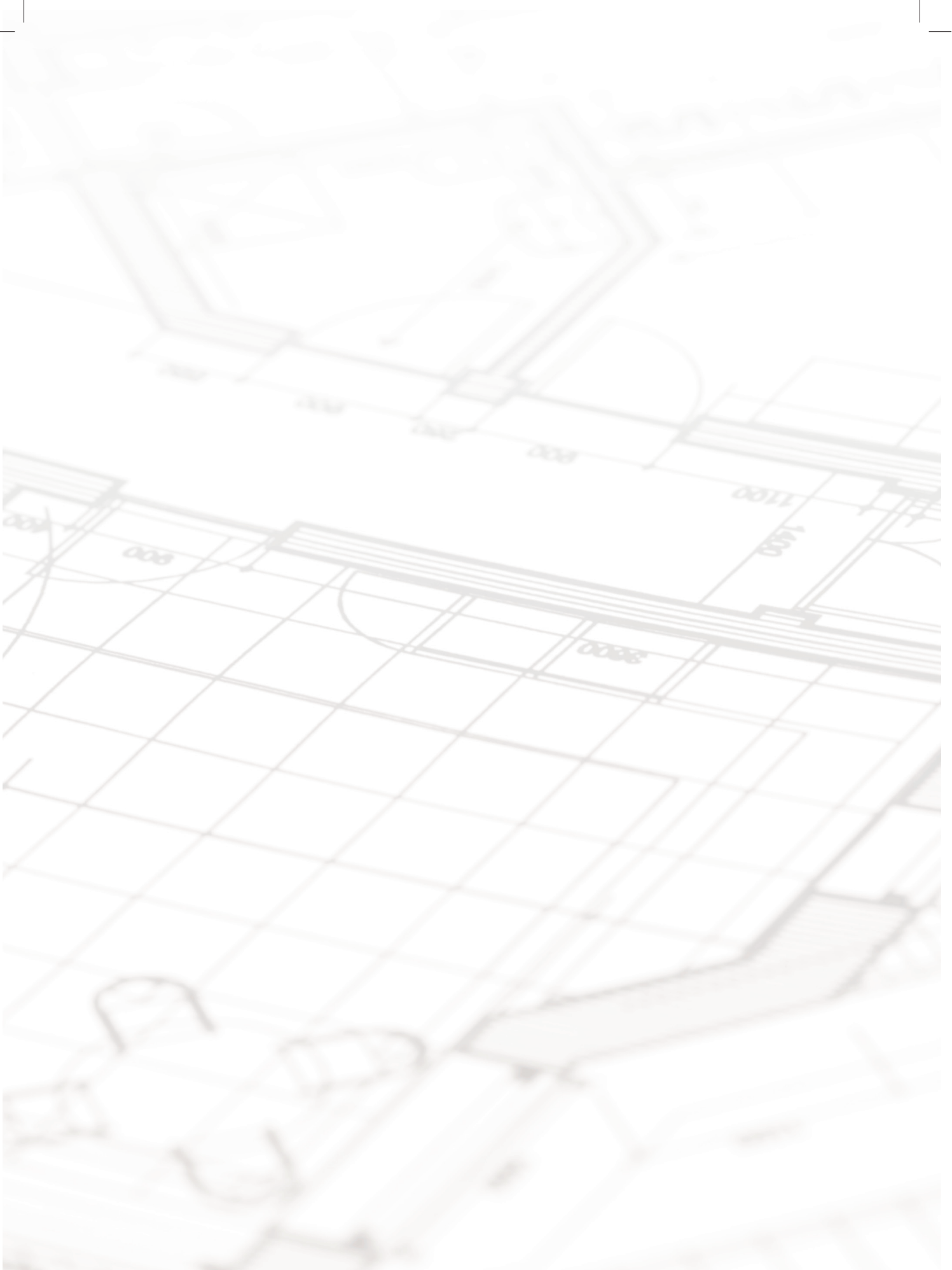
يمكن أن يطلب بعض الاختبارات الإضافية المدمرة أو غير المدمرة مما سبق وصفها للحصول على هذه المعلومات. من المستحسن عند القيام بعملية التقييم أن تتبع التحليلات النظرية مبادئ تصميم قدرة المنشأ ويمكن اعتبار المنشأ مرضياً إذا كانت قدرة التحمل و التشوه ومعايير أخرى للخدمة التشغيلية تلي متطلبات (ACI 318).



الشكل (3): الإجراءات الموصى بها لتقييم قوة المباني الخرسانية القائمة (ACI 437).

5. مراجع

- ACI 437.1R-07, "Load Tests of Concrete Structures: Methods, Magnitude, Protocols, and Acceptance Criteria"
- ACI 228.2R-98 (Reapproved 2004), "Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures", ACI Manual of Concrete Practice 2008.
- Elsayed, W., Ebead, U.A. and Neale, K.W., "Mechanically fastened FRP-strengthened two-way concrete slabs with and without cut-outs" *Journal of Composites for Construction*, ASCE, Vol. 13, No. 3, pp. 198–207, May/June 2009a.
- Elsayed, W., Ebead, U.A. and Neale, K.W., "Studies on mechanically fastened fiber-reinforced polymer strengthening systems" *ACI Structural Journal*, Vol. 106, No. 1, pp. 49–59, January/February 2009b.
- fib 2000, "Federation International du Beton (fib) (2000). Bond of Reinforcement in Concrete"



V - طرق ترميم الشروخ وتصنيف خيارات الترميم

يمكن تصنيف طرق ترميم الشروخ إلى ترميم الشروخ في حوائط الطوب وترميم الشروخ في العناصر الخرسانية.

1. الشروخ في حوائط المباني

1.1. ملحوظات عامة

- يجب إزالة البلاستر القائم في شرائح عرضها 150 ملم ، على جانبي الشروخ أو الفتحات في حوائط الطوب وتنظيف السطح من المواد ، والغبار... إلخ.
- تفتيح الشرخ على شكل -V بكامل العمق أو للحد الأدنى 30 ملم أيهما أكبر. يجب أن يكون شكل -V متساوي العمق والعرض. يجب تنظيف الشرخ بعد تفتحه على شكل -V من أي ملوثات ، زيوت ، شحوم، قاذورات ، غبار أو جزيئات الخرسانة المفككة. ويتعين استخدام الهواء والمياه المضغوط أثناء للتنظيف . ويترك سطح الحائط ليجف تماما قبل الشروع في العمل.
- يتم ملء شكل V بعجينة الأيوكسي (Nitomartar FC-Fosroc) أو (CONCRESSIVE 2200-BASF) أو ما شابه ذلك بشرط أن يكون المنتج معتمد. يجب أن تكون الأعمال كافة وفقا لتعليمات الصانع.
- يترك سطح لمدة 24 ساعة قبل تطبيق الأعمال المتلاحقة.
- تثبيت شبكة تمدد معدنية مجلفنة (الحد الأدنى 7.5 كجم / 2م) فوق مكان الشرخ وتغطي 100ملم على كل جانب، وتصنيعها طبقا لمواصفات (EXPAMET) أو ما شابه ذلك بشرط أن يكون المنتج معتمداً مع مسامير مجلفنة على مسافات لا تتجاوز 300 ملم على كلا الجانبين.
- إعادة البلاستر مع مونة (HB RENDEROC) اللاصقة والمصنعة من قبل (FOSROC) أو (EMACO R303) والمصنعة من قبل (BASF) أو ما شابه ذلك بشرط أن يكون المنتج معتمداً.
- طلاء الترميمات المنجزة لتتوافق مع الوضع الأصلي.

2.1. ترميم الشروخ بين الجدران والعناصر الخرسانية

- إزالة البلاستر القائم والطلاء على طول العمود لتغطي 75 ملم على كل جانب من الشرخ (أي 150 ملم في المجموع).
- فتح الشرخ بين الحائط والعنصر الخرساني (جسر أو عمود).
- تثبيت شبكة من الصلب المجلفن على المسافة بين الجدار والعنصر الخرساني
- ملء المسافة بين الجدار والعنصر الخرساني باستخدام مونة اسمنتية لاصقة مثل S22NB EMACO أو Sikagrout 114 أو ما شابه ذلك بشرط أن يكون المنتج معتمداً.
- إعادة البلاستر والطلاء.

3.1. ترميم الوصلات التالفة القائمة بين حوائط الطوب والعناصر الخرسانية

- جعل حافة الحائط جيدة حسب مقتضى الحال.
- ترميم الوصلة باستخدام مواد ذات أساس اسمنتية مثل (Emaco S22NB) أو ما شابه ذلك بشرط أن يكون المنتج معتمداً.
- تثبيت عدد 2 من خرز البلاستر على المفترق بين العمود والحوائط المشتركة لتشكيل فاصل حركة في طبقة البلاستر.
- إعادة البلاستر والطلاء.
- استخدام مواد الغلق المعتمدة في فواصل الحركة. يجب أن تستخدم جزأين من مادة البولي يوريثين (NB2) المانعة طبقا للمواصفات (BS4254) أو ما شابه ذلك بشرط أن يكون المنتج و المواصفات معتمدة. ويتعين استخدام (MASTERFLEX 700 PG) من (BASF) أو (Thioflex 600) من (FOSROC)، أو ما شابه ذلك بشرط أن يكون المنتج معتمداً.

2. ترميم الشروخ في العناصر الخرسانية

2.1. ملحوظات عامة

2.1.1. الإجراءات التي يتعين اتخاذها قبل أن يتم تحديد طريقة الترميم

- تحديد موقع ومدى التصدع أو الشروخ.
- تحديد ما إذا كانت الشروخ ناتجة عن مشاكل إنشائية أو لا.
- الأخذ بعين الاعتبار ظروف التحميل الحالية والمتوقعة.
- مراجعة المخططات والمواصفات و سجلات البناء و الصيانة.
- تحديد سبب التصدع أو الشروخ.
- إذا كانت هذه الوثائق و الملاحظات الميدانية ، لا توفر المعلومات اللازمة ، يجب أن يتم تحقيق ميداني وتحليل إنشائي قبل البدء في أعمال الإصلاحات.

2.1.2. لماذا يجب إصلاح الشروخ؟

الشروخ تحتاج إلى إصلاح في حالة :

- أنها تسبب أي تخفيض في قوة ، صلابه ، أو متانة المنشأ.
- تسبب عدم القدرة على استخدام المنشأ للوظيفة التي أنشأ من أجلها.
- في بعض الحالات ، مثل التصدع في منشآت سند المياه ، فإن وظيفة المنشأ تملي الحاجة للترميم ، حتى لو لم تتأثر قوة وصلابة المنشأ بصورة خطيرة.
- حدوث الشروخ في طبقات الرصف وبلاطات الأرضية تتطلب إصلاحاً لمنع سقوط الحواف أو هجرة المياه إلى التربة التحتية ، أو للحفاظ على قدرة التحمل المستهدفة.
- أن أعمال الترميمات تعمل على تحسين المظهر.

3.1.2. المراقبة الميدانية

المعلومات من المراقبات الميدانية تشمل :

- الإشارة إلى المواقع وعروض الشروخ على رسم تخطيطي للمنشأ.
- قياس عرض الشرخ إلى دقة ما يقرب من 0.025 ملم باستخدام مجهر الشروخ.
- رصد أي ترحيل للسطح (تغيير في المسقط الرأسي) عبر الشرخ يجب أن تكون موثقة.
- الملاحظات مثل حديد التسليح غير المغطى بالخرسانة ، الانفصال ، تدهور السطح ، وبقع الصدأ يجب أن تدون على الرسم التخطيطي.
- ملاحظة حالة الشروخ من الداخل باستخدام المجهر المناسب الدقيق.
- رصد حركة الشرخ باستخدام مؤشرات الحركة الميكانيكية.
- إذا كان المطلوب تفصيلاً أكثر مع الزمن يمكن استخدام نظم تجميع البيانات (التي تتراوح بين الرسم البياني للمسجلات إلى النظم بالكمبيوتر).
- استكمال المخططات بواسطة الصور الفوتوغرافية التي توثق حالة المنشأ في وقت التحقيق.
- إجراء مسح حالة الخرسانة الفعلية طبقاً للمواصفات (ACI 201.1R, 201.3R, 207.3R, 345.1R, & 546.1R) يتم اختيار طريقة ترميم واحدة أو أكثر حسب طبيعة الضرر

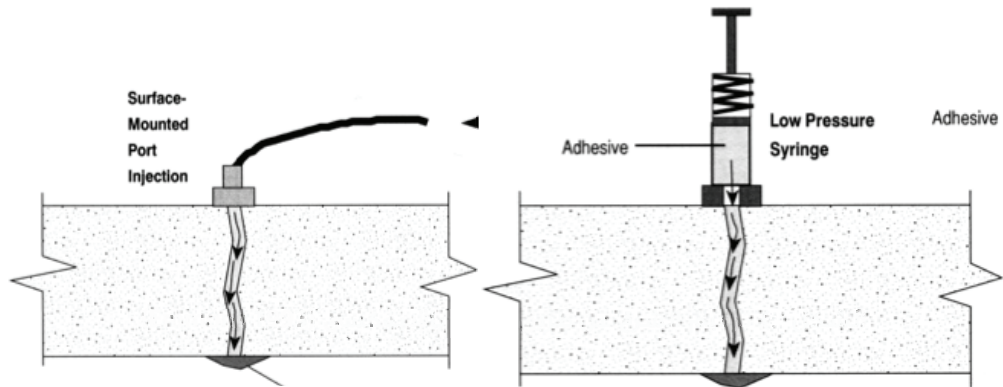
3. طرق الترميم

3.1. حقن الإيبوكسي

- الشروخ الضيقة حتى 0.05 ملم عرض يمكن إصلاحها بواسطة حقن الإيبوكسي.
- تم استخدام حقن الإيبوكسي بنجاح في ترميم الشروخ في المباني والجسور والسدود ، وغيرها من أنواع المنشآت الخرسانية (ACI 503R).
- باستثناء الإيبوكسيات المصنعة لمقاومة الرطوبة ، هذه التقنية لا تطبق إذا كان هناك تسريب مياه من الشروخ وبنشاط لا يمكن تجفيفه.
- يمكن حقن الشروخ الرطبة باستخدام الإيبوكسيات المصنعة لمقاومة الرطوبة التي سوف تقوم بالعلاج والتماسك في وجود الرطوبة ، ولكن الملوثات في الشروخ (بما فيها الطمي والماء) يمكن أن تقلل من فعالية الإيبوكسي لإصلاح الشروخ إنشائياً.
- ما لم يتم علاج و تصحيح سبب حدوث الشروخ أو التصدع ، ربما تتشكل شروخ جديدة بالقرب من الشرخ الأصلي. إذا لم يكن من الممكن إزالة السبب في حدوث الشروخ ، هناك ثلاثة اختيارات متاحة :
 - تفتيح وغلغ الشرخ ، وبالتالي يعامل على أنه فاصل حركة.
 - إنشاء وصلة من شأنها أن تستوعب الحركة ثم حقن الشرخ بالإيبوكسي أو مادة أخرى مناسبة
 - إضافة حديد تسليح في موقع الشرخ للحد من الحركة.

الطريقة والخطوات :

- تتألف التقنية عادة من (الشكل 1) :
 - تنظيف الشرخ.
 - غلق الشرخ على الأسطح المعرضة.
 - تثبيت منافذ الدخول والتنفيس على مسافات متقاربة على طول الشرخ.
 - خلط الإيبوكسي.
 - حقن الإيبوكسي تحت الضغط.
 - إزالة غلق السطح.



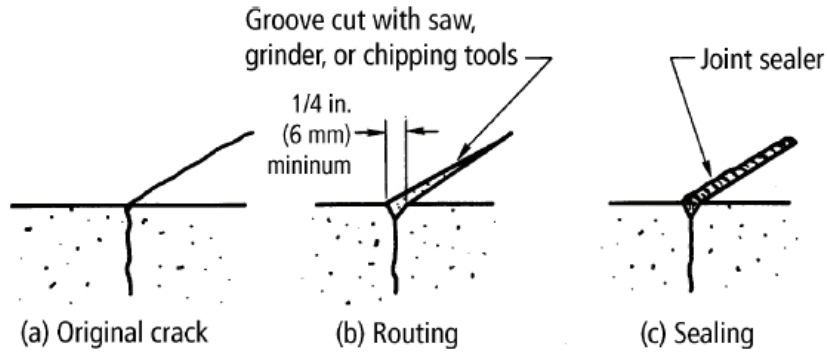
Surface seal to contain epoxy adhesive

2.3. تحديد المسار و الغلق

- يمكن استخدام هذه الطريقة في حالة الشروخ التي لا تتطلب إصلاحاً إنشائياً ، (الشكل 2)
- تستخدم هذه الطريقة لعلاج الشروخ الضيقة والواسعة على السواء.
- هذه الطريقة شائع استخدامها لعلاج الشروخ وبسيطة نسبياً بالمقارنة مع الحقن بالإيبوكسي.
- هذا الأسلوب هو الأكثر ملائمة لعلاج الشروخ على الأسطح الأفقية مثل الأرضيات.
- ويمكن استخدام هذه الطريقة لعلاج الشروخ على الأسطح الرأسية (مع عدم وجود تسرب) ، وكذلك على الأسطح المنحنية (أنابيب ، وأعمدة ، وخوازيق).
- الاستخدام الأكثر شيوعاً والفعال لهذه الطريقة هو لمنع تسرب المياه من خلال غلق الشروخ على سطح الخرسانة حيث يقف التسرب أثناء الضغط الهيدروليكي للمياه.
- استخدام هذه الطريقة يقلل من قدرة الرطوبة على الوصول إلى حديد التسليح أو تخترق الخرسانة، والتي من الممكن أن تسبب البقع السطحية أو غيرها من المشاكل.
- موانع التسرب قد تكون من الإيبوكسيات ، اليورثين ، السيليكون ، والمواد الإسفلتية ، أو المونة الاسمنتية البوليميرية.
- مانع التسرب المستخدم في الأرضيات ، ينبغي أن يكون صلباً بما فيه الكفاية ليتحمل حركة المرور المتوقعة. نقل الحمل عند شرخ الأرضية يجب أن يتم عن طريق الركام المعشق أو حديد القص العرضي ، وإلا ، يمكن أن تسبب أحمال المرور المتحركة عبر الشرخ تفكك موانع التسرب الصلبة.

الطريقة والخطوات :

- هذا الأسلوب يشمل :
 - توسيع الشرخ بكامل طوله عن طريق إعداد شق عمودي على سطح الشرخ يتراوح عادة في العمق بين 6-25 ملم. ويمكن استخدام قاطع الخرسانة أو المجلخة باتجاه عمودي على سطح الخرسانة.
 - يتم تنظيف الشرخ بواسطة الهواء ، الرمل ، أو الماء المضغوط.
 - يتم وضع مانع التسرب في الشرخ الجاف ، ثم يترك حتى يجف.
 - الخطوة الأخيرة هي ملء الشرخ بالإيبوكسي الصلد ذي اللزوجة العالية.
 - في بعض الحالات ، يستخدم (الغطاء الشريطي اللاصق) بشكل مستقل أو بعد ملء الشرخ بالإيبوكسي لضمان العزل المائي. الطريقة النموذجية لضمان التماسك الجيد هي :
- تعد منطقة ما يقرب من 25 إلى 75 مم على كل جانب من الشرخ عن طريق الرمل المضغوط أو غيرها من طرق إعداد السطح.
- دهان الطلاء (مثل يورثين) 1-2 ملم في السمك على مدى الشرخ.
- قبل عمل الغطاء الشريطي اللاصق في المناطق غير المعرضة لأحمال مرور متحركة ، يستخدم أحيانا عازل التماسك أعلى الشرخ. في المناطق المعرضة لأحمال مرور متحركة ، لا يوصى باستخدام عازل التماسك.
- يجب إصلاح الشروخ النشطة باستخدام عازل التماسك في الشرخ بعد تحديد مساره و تفتيحه، ثم يتم وضع مانع تسرب فرن. من المهم أن تكون نسبة العرض إلى عمق الفتحة على طول الشرخ 2 أو أكثر. هذا يسمح لمانع التسرب بتحمل حركة الشرخ عن طريق التمدد العالي. وتستخدم هذه الطريقة لتعزيز الحماية من انفصال الأحرف، ولأسباب جمالية ، و لخلق مزيد من التجانس على الأسطح الخارجية.



الشكل (2): إصلاح شرخ بطريقة تحديد المسار و الغلق (Johnson 1965)

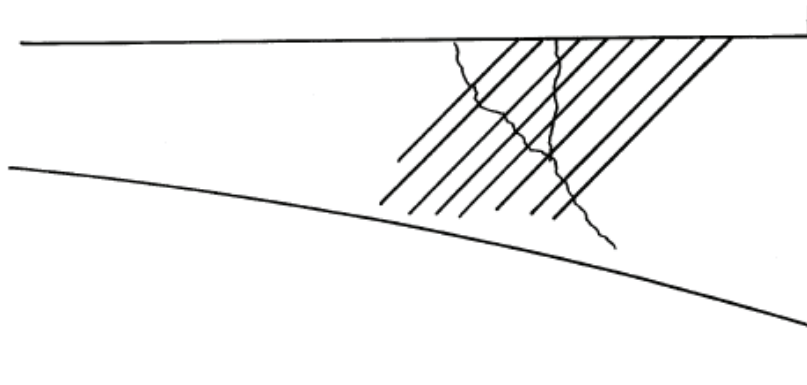
3.3. التسليح بالقرب من السطح

التسليح بالقرب من السطح (NSR) هي الطريقة المستخدمة بإضافة حديد تسليح لمقاومة قوى الشد في اتجاه عمودي على خط الشرخ (الشكل 3).

الطريقة والخطوات :

• هذا الأسلوب يشمل :

- عمل فتحة بالقطع عبر الشرخ ثم تنظيفها.
 - وضع الإيبوكسي في الفتحة ليكون بمثابة عامل التثبيت وحاجز وفائي للقضيب الذي سيتم وضعه لاحقاً.
 - يتم وضع كل من قضبان حديد التسليح أو البوليمرات المسلحة بالألياف في الفتحة التي يكون عرضها قرابة 3 مم وتكون أعمق من قطر التسليح المستخدم.
 - يجب تصميم التسليح ليتحمل قوى شد أعلى من قوى الشد في موقع الشرخ.
- وعادة ما تستخدم طريقة (NSR) عندما يكون من الضروري الحد من اتساع الشروخ الموجودة. استخدام هذه الطريقة من عدمه يكون بناء على تقدير و خبرة المهندس المسؤول.



الشكل (3): ترميم شرخ بطريقة التسليح بالقرب من السطح (Stratton et al. 1978)

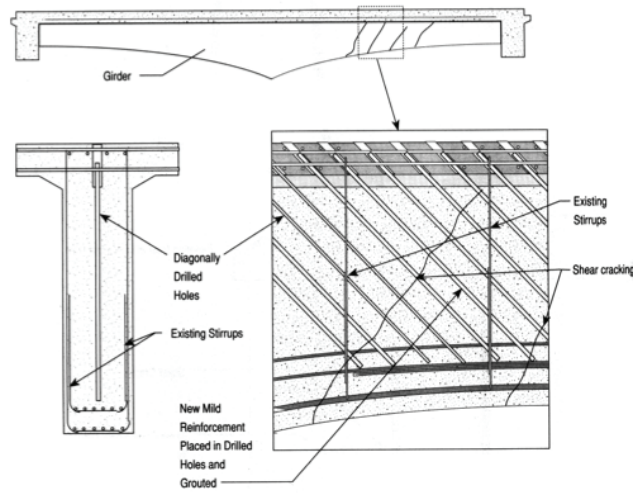
4.3. التسلح الإضافي

4.3.1. التسلح التقليدي خلال ثقوب داخلية

شروخ الخرسانة بعوارض الجسور يمكن ترميمها بنجاح عن طريق حفر ثقوب داخلية عمودية على مستوى الشرخ و إدخال قضبان التسلح وتثبيتهم في مكانهم بالإيبوكسي (الشكل 4).

الطريقة والخطوات :

- هذا الأسلوب يشمل :
 - غلق الشرخ ، حفر ثقوب داخلية تتقاطع مع مستوى الشرخ على قرابة 90 درجة.
 - ملء الثقب والشرخ بحقن الإيبوكسي ، ووضع قضيب التسلح في الثقب المحفور.
 - عادة تمتد القضبان الإضافية على الأقل 500 ملم على كل جانب من الشرخ.
 - يمكن أن تكون قضبان التسلح متباعدة لتناسب مع احتياجات الترميم. ويمكن توزيعها في أي نمط طبقاً لمعايير التصميم وموقع التسلح في المكان.
- الإيبوكسي يعمل على تثبيت القضيب بجوانب الثقب ، بالإضافة إلى إغلاق الشرخ عن طريق تماسك سطحي الشرخ معاً مرة أخرى في شكل واحد متآلف ، بالتالي يتم تسليح و تقوية هذا القطاع. الإيبوكسي المستخدم لإعادة غلق و تماسك الشرخ يجب أن يكون ذا لزوجة منخفضة ومطابق للمواصفات (ASTM C881 – Type VI).



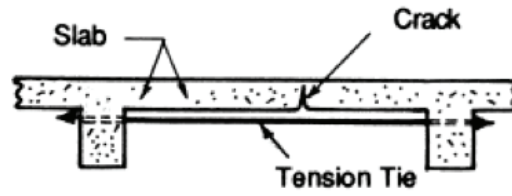
الشكل (4): ترميم شرخ باستخدام التسلح التقليدي خلال ثقوب داخلية (Emmons 1993)

4.3.2. الصلب سابق الإجهاد

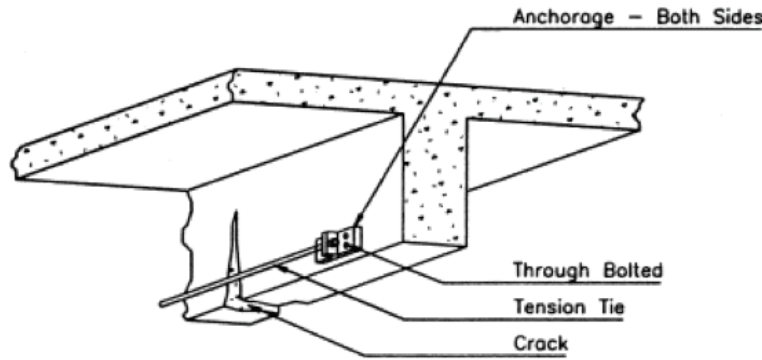
استخدام الصلب سابق الإجهاد غالباً ما يكون الحل المرغوب فيه عندما يكون جزء كبير من العنصر الخرساني يجب تقويته أو عندما يكون إغلاق الشروخ ضرورياً (الشكل 5).

الطريقة والخطوات :

- تستخدم أسلاك أو قضبان سابقة الإجهاد لتطبيق قوة ضاغطة.
- ينبغي توفير أماكن تثبيت كافية للصلب سابق الإجهاد ، وهناك حاجة لأخذ الاحتياطات كافة حتى لا تنتقل المشكلة إلى جزء آخر من المنشأ.
- يجب تحليل و الأخذ في الاعتبار تأثير قوى الشد الناتجة عن استخدام هذه الطريقة على توزيع الإجهادات داخل المنشأ بعناية.
- في حالة الهياكل غير المحددة إستاتيكية لاحقة الشد فإنه باستخدام هذه الطريقة ، ينبغي الأخذ في الاعتبار تأثير العزوم الثانوية وردود الفعل الناتجة عن استخدام هذه الطريقة.



(a) To correct cracking of slab



(b) To correct cracking of beam

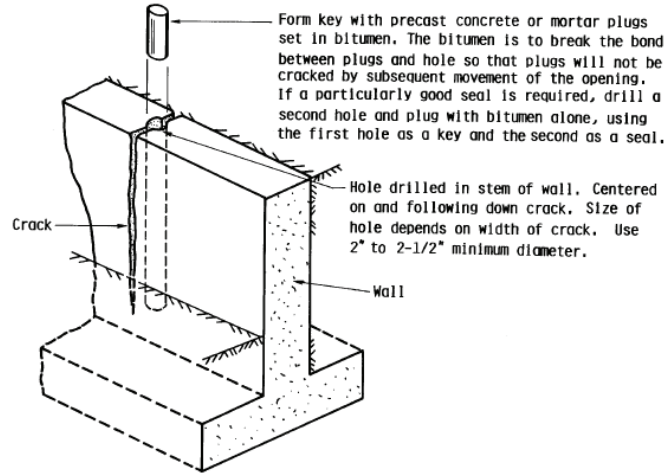
الشكل (5): ترميم شروخ باستخدام الصلب سابق الإجهاد خارجياً (Johnson 1965)

5.3. الثقب والإغلاق

- غالباً ما يتم استخدام هذه الطريقة لإصلاح الشروخ الرأسية في حوائط سند التربة أو المياه (الشكل 6)
- هذا الأسلوب لا ينطبق إلا عندما تكون الشروخ تسير في خطوط مستقيمة نسبياً ويمكن الوصول إليها من نهاية واحدة.

ثقب وإغلاق الشروخ يشمل :

- حفر ثقب بكامل طول الشروخ للأسفل وحفته.
- يتراوح قطر الثقب من 50 إلى 75 ملم، و يكون في منتصف الشروخ. ينبغي أن يكون الثقب كبيراً بما يكفي ليتقاطع مع الشروخ على كامل طوله وتوفير ما يكفي من مواد الترميم لمقاومة الأحمال الإنشائية.
- تنظيف الثقب وملئه بمادة الحقن لمنع التحركات العرضية لقطاعات الخرسانة المتاخمة للشروخ. هذه الطريقة تقلل أيضاً من تسرب المياه خلال الشروخ أو فقدان التربة من وراء الحائط.
- إذا كان منع تسرب المياه ضرورياً وانتقال الحمل الإنشائي غير ضروري، ينبغي ملء الثقب المحفور بمادة مقاومة ذات معامل مرونة منخفض بدلاً من مادة الحقن. إذا كان انتقال الحمل الإنشائي ضرورياً بالإضافة إلى منع تسرب المياه يمكن وضع المادة المرنة في ثقب ثانٍ، مع ملء الأول بمادة الحقن.



الشكل (6): ترميم شرح بطريقة الثقب وإغلاق (ACI Concrete Repair)

6.3. التعبئة بالجاذبية / الإشباع بالبوليمر

- مواد اللصق المنخفضة اللزوجة المستخدمة لإغلاق الشروخ السطحية بعرض من 0.03 إلى 2 ملم تعبأ بالجاذبية (ACI RAP - 2).
- تم استخدام المواد ذات الوزن الجزيئي المرتفع مثل ميتاكريليت ، يوريثين ، وبعض الإيبوكسيات المنخفضة اللزوجة بنجاح.
- كلما انخفضت اللزوجة، أمكن ملء الشروخ بدقة أكبر.

الطريقة والخطوات :

- هذا الأسلوب يشمل :
 - تنظيف السطح عن طريق الهواء أو الماء المضغوط ، أو كليهما.
 - تترك الأسطح الرطبة لتجف لعدة أيام للحصول على أفضل ملء للشرخ.
 - صب المادة اللاصقة على السطح وتوزيعه بالمكانس ، البكرات ، أو المماسح.
 - ينبغي توزيع هذه المواد عدة مرات عبر الشروخ للحصول على أقصى استفادة ممكنة حيث تدخل هذه المواد ببطء في الشروخ.
 - استخدام هذا الأسلوب على بلاطات الأسقف يتطلب غلق الشروخ في الجزء السفلي من البلاطة لمنع تسرب المواد من خلال الشرخ.
 - المواد الزائدة يجب أن تزال من السطح لمنع البقع ، و اللمعان بعد المعالجة.
 - إذا كان سطح الاحتكاك مهما ، ينبغي توزيع الرمل فوق السطح قبل أن تجف المواد اللاصقة.
 - إذا كانت الشروخ تحتوي على كميات كبيرة من الطمي ، الرطوبة ، أو غيرها من الملوثات ، لا يمكن لمانع التسرب ملؤها.
 - تنظيف الشروخ بالماء المضغوط يليه فترة التجفيف هو أسلوب فعال لتجهيز الشروخ قبل ترميمها.
 - يمكن أن تؤخذ عينات كور من الخرسانة للتأكد من ملء الشرخ.
 - يجب أخذ الاحتياطات اللازمة لتجنب قطع حديد التسليح الأصلي أثناء عملية أخذ عينات كور من الخرسانة.
 - نتائج اختبار عينات كور الخرسانة تعطي مؤشرا لمدى فعالية أسلوب الإصلاح.
 - قد تكون نتائج اختبار عينات كور الخرسانة غير دقيقة بسبب وجود حديد التسليح في عينات الكور.

7.3. الحشو

7.3.1. الحشو بمونة اسمنتية

هذه الطريقة فعالة في إصلاح الشروخ الواسعة ووقف تسرب المياه ، لكنها لن تؤدي إنشائيا إلى تماسك أسطح القطاعات المتصدعة. يمكن استخدام المواد الإيبوكسية (ارجع إلى قسم 3.1) في حالة القطاعات التي تحتاج إلى إصلاح إنشائي.

الطريقة والخطوات :

- هذا الأسلوب يشمل :
 - تنظيف سطح الخرسانة على طول الشرخ.
 - تثبيت مقاعد مجهزة مسبقا (نقاط الحشو) على مسافات متساوية حول الشرخ (لتوفير وصلة ضغط محكم مع جهاز الحشو).
 - غلق الشرخ بين المقاعد باستخدام مونة اسمنتية.
 - رش الشرخ لتنظيفه واختبار إحكام الغلق.
 - حشو المنطقة كلها.
 - خلطات الحشو قد تحتوي على خليط الاسمنت والماء أو الاسمنت بالإضافة إلى الرمل والماء. ينبغي أن يكون محتوى الإسمنت عند أدنى مستوى ممكن عمليا لتحقيق أقصى قدر من القوة وتقليل الانكماش. يمكن استخدام مخفضات الماء والإضافات لتحسين خصائص الحشو.
 - في حالة الشروخ الصغيرة ، يمكن استخدام مدفع الحقن اليدوي للحصول على حجم أكبر ، أو يمكن استخدام مضخة. ينبغي الحفاظ على الضغط لعدة دقائق بعد ملء الشرخ لضمان التغلغل الجيد لمادة الحشو.

7.3.2. الحشو الكيميائي

- الشروخ الضيقة في الخرسانة حتى 0.05 ملم تملأ بالحشو الكيميائي.
- الحشو الكيميائي ، مثل يورثين ، يتم تنشيطه عن طريق المحفزات أو الماء لتشكيل الجل والإسراع في التصلب، أو باستخدام الرغوة التي من شأنها أن تملأ الفراغ خلال الخرسانة. وتستخدم تلك المواد في المقام الأول لغلق الشروخ و منع تسرب المياه.

المزايا :

- يمكن استخدامها في حالة الشروخ الرطبة
- يتصلب الجل بعد فترة كافية للانتهاء من عمليات التشغيل.
- قدرة الجل على التغلغل في الشروخ الدقيقة جدا.

العيوب:

- تستلزم درجة عالية من المهارة للاستخدام السليم.
- ضعف قدرة التحمل.

8.3. التعبئة الجافة

- لا ينصح باستخدام التعبئة الجافة لملء أو إصلاح الشروخ النشطة.
- يجب أن تحتوي المونة الاسمنتية المستخدمة على نسبة ماء منخفضة ثم تتبع بالدك أو الصدم في مكانها، فينتج تماسك حميم بين المونة الاسمنتية والخرسانة الموجودة.
- بسبب انخفاض المحتوى المائي للمادة ، يكون الانكماش قليلا ، والخليط يبقى جافا و يكون ذا قوة عالية.
- يمكن استخدام التعبئة الجافة لملء الفتحات الضيقة التي يتم عملها لإصلاح الشروخ غير النشطة.

الطريقة والخطوات :

- هذا الأسلوب يشمل :
 - قبل أن يتم إصلاح أي شرخ بواسطة التعبئة الجافة ، ينبغي توسيعه بعمل فتحة واسعة بعرض نحو 25 ملم وعمق 25 ملم.

- وينبغي أن يكون عرض قاع الفتحة أكبر قليلاً من عرضها على السطح.
- بعد تنظيف وتجفيف الفتحة ، يتم وضع طبقة لتحسين التماسك من الاسمنت أو كميات متساوية من الاسمنت والرمل الناعم الممزوج بالماء حتى يكون القوام مشابهاً لقوام السوائل اللاصقة ، أو استخدام مواد أخرى مناسبة لتحسين التماسك .
- ينبغي وضع التعبئة الجافة فور وضع طبقة تحسين التماسك .
- تكون نسبة المونة الاسمنتية المستخدمة في التعبئة الجافة من واحد جزء اسمنت إلى ثلاثة أجزاء من الرمل تمرير منخل رقم 1.18 ملم ، يتم إضافة الماء بما يكفي لربط المونة الاسمنتية معا عندما تصب باليد و تكون على شكل كرة.
- إذا كان لون الخليط يجب أن يطابق لون الخرسانة المحيطة ، يمكن استخدام مزيج من اللون الرمادي للأسمنت البورتلاندي والأسمنت البورتلاندي الأبيض. عادة، نسبة 3/1 من الاسمنت الأبيض تكون وافية. يمكن تحديد نسب أكثر دقة فقط عن طريق التجربة.
- للحد من الانكماش في المكان ، ينبغي أن تترك المونة الاسمنتية لمدة 2/1 ساعة بعد الخلط ، ثم تخلط ثانية قبل الاستخدام. وينبغي أن توضع المونة الاسمنتية على طبقات بسُمك 10 ملم تقريباً. ينبغي أن تدمك كل طبقة بدقة على السطح باستخدام عصا أو مطرقة و يتم عمل خدوش في كل طبقة لتحسين التماسك مع الطبقة التالية. يجب عدم تأخير الوقت بين وضع الطبقات. ينبغي أن يعالج الترميم باستخدام الماء أو مركبات المعالجة المناسبة. أبسط طريقة المعالجة هو تثبيت شريط من الخيش الرطب على طول الشرخ.

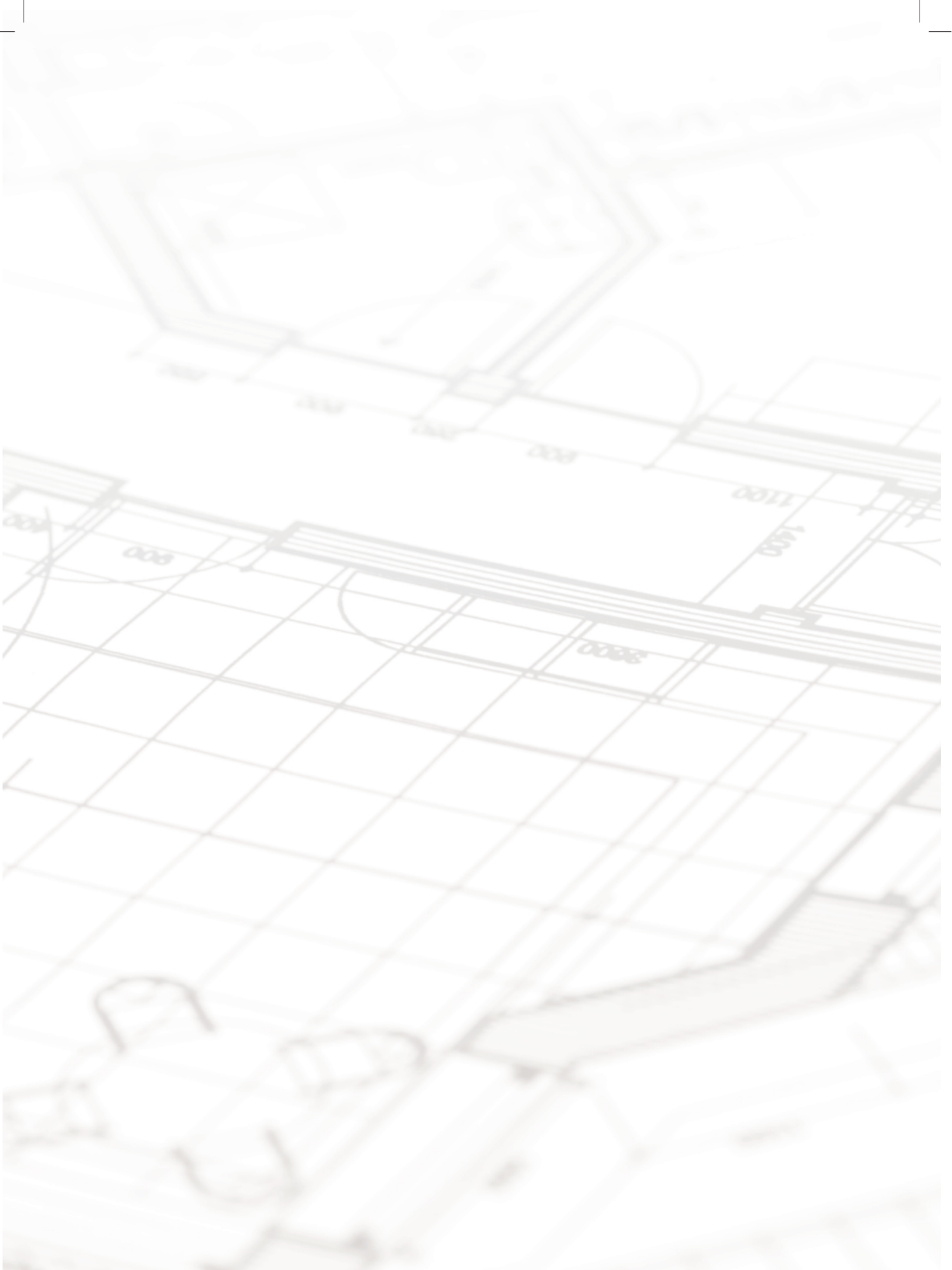
4. توصيات لاختيار طريقة الترميم

موضح أدناه تصنيفاً لمطرق الترميم هنا كمزيد من التفاصيل حول منهجية الترميم وتقوية المنشآت في الفصول أرقام (X & IX) .

التوصيات	أسلوب الترميم خيار الترميم
ترميمات إنشائية	
(أ) تستخدم عادة عندما يكون الضرر ناجماً عن تفاعلات كيميائية أو نتيجة الصدم (ب) تستخدم عادة عندما يؤدي الصدأ إلى فقد أكثر من ١٠% في مقاطعات قضبان حديد التسليح.	(أ) إزالة الملوثات و أجزاء الخرسانة المتصدعة المعيبة واستبدالها. (ب) إزالة واستبدال حديد التسليح المتآكل (ج) إزالة و استبدال الخرسانة و إضافة حماية لحديد لتسليح
(ج) تستخدم عادة في الظروف البيئية القاسية. ينبغي اتخاذ الحذر لتجنب تلف طبقة الحماية للحديد خلال التطبيق أو المناولة.	
التدعيم الخارجي التدعيم الخارجي	
(أ) تستخدم عادة عندما يكون هناك تدهور كبير في خرسانة المنشأ ولكن يجب الأخذ في الاعتبار عدم تعطيل استخدام المنشأ أثناء الإصلاح (ب) تستخدم مهاد عمدتاً ما يكون هناك حاجة لتقوية المنشأ تحتاج دقة في الحسابات والتصميم قوة التماسك والالتصاق بين الواح الخرسانة عامل مهم لضمان قوة التقوية. (ج) تستخدم عادة عندما يكون هناك حاجة لتقوية المنشأ. تحتاج دقة في الحسابات والتصميم.	(أ) استبدال العنصر بأكمله. (ب) لصق الواح من المواد المركبة. (ج) استخدام أسلوب الإجهاد المسبق الخارجي إزال
دهانات العزل السطحية والإشباع	
(أ) تستخدم عادة لمنع اختراق المواد الضارة المختلفة لسطح الخرسانة أو للسيطرة على اختراق الرطوبة لسطح الخرسانة. (ب) تشمل حالة ترميم عيوب طفيفة بشكل جيد يليها طلاء. (ج) تستخدم عندما يكون هناك حاجة إلى سطح أملس لضمان الفعالية وأن تكون له القدرة على استيعاب الحركة دون كسر لمادة الترميم أو الحاجز الوقائي يجب أن تكون مادة الترميم قادرة على اختراق الخرسانة إلى العمق المطلوب .	(أ) المعالجة السطحية (ب) الطلاءات (ج) الإشباع
يمكن علاج الفراغات السطحية أو العيوب في أعمال الترميم بملء الشروخ بمادة فعالة. غالباً ما يتم استخدام الحقن وفي كثير من الأحيان يتم طلاء السطح و المعالجة بعد الانتهاء من أعمال الترميم .	ملء الشروخ والفراغات
التقنيات الكهروكيميائية	
هذه التقنيات تتطلب معايير أداء عالية طبقاً لمواصفات محددة على عكس طرق الإصلاح الأخرى. الحماية الكاثودية عادة ما تكون الأسلوب الأكثر نجاحاً.	(أ) إعادة القلوية (ب) استخراج الكلوريدات (ج) الحماية الكاثودية

- ACI 201.1R Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service
- ACI 201.2R Guide to Durable Concrete
- ACI 201.3R Guide for Making a Condition Survey of Concrete Pavements
- ACI 207.1R Guide to Mass Concrete
- ACI 207.2R Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete
- ACI 207.3R Practices for Evaluation of Concrete in Existing Massive Structures for Service Conditions
- ACI 207.4R Cooling and Insulating Systems for Mass Concrete
- ACI 222R Protection in Metals in Concrete Against Corrosion
- ACI 224R Control of Cracking in Concrete Structures
- ACI 224.2R Cracking of Concrete Members in Direct Tension
- ACI 224.3R Joints in Concrete Construction
- ACI 228.2R Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures
- ACI 302.1R Guide for Concrete Floor and Slab Construction
- ACI 304R Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete
- ACI 305R Hot Weather Concreting
- ACI 308R Guide to Curing Concrete
- ACI 309R Guide for Consolidation of Concrete
- ACI 309.2R Identification and Control of Visual Effects of Consolidation Formed Concrete Surfaces
- ACI 318 Building Code Requirements for Structural Concrete 343R Analysis and Design of Reinforced Concrete Bridge Structures
- ACI 345R Guide for Concrete Highway Bridge Deck Construction
- ACI 345.1R Guide for Maintenance of Concrete Bridge Members
- ACI 347 Guide to Formwork for Concrete
- ACI 446.1R Fracture Mechanics of Concrete: Concepts, Models, and Determination of Material Properties
- ACI 503R Use of Epoxy Compounds with Concrete
- ACI 504R Guide to Sealing Joints in Concrete Structures
- ACI 517.2R Accelerated Curing of Concrete at Atmospheric Pressure
- ACI 546R Concrete Repair Guide

- ACI 546.1R Guide for Repair of Concrete Bridge Superstructures
- ACI 546.2R Guide to Underwater Repair of Concrete
- ACI 548.1R Guide for the Use of Polymers in Concrete
- ACI RAP-1 Structural Crack Repair by Epoxy Injection, <http://www.concrete.org/general/RAP-1.pdf>
- ACI RAP-2 Crack Repair by Gravity Feed by Resin, <http://www.concrete.org/general/RAP-2.pdf>
- Concrete Repair Manual, 3rd edition, ACI.
- Emmons, P. H, 1993, Concrete Repair and Maintenance Illustrated, R.S. Means CMD Group.
- Johnson, S. M., 1965, Deterioration, Maintenance, and Repair of Structures, McGraw-Hill Book Co., New York, 373 pp.
- Stratton, F. W.; Alexander, R.; and Nolting, W., 1978, "Cracked Structural Concrete Repair through Epoxy Injection and Rebar Insertion," Report No. FHWA-KS-RD.783-, Kansas Department of Transportation, Topeka, Kans., Nov., 56 pp.



VI - طرق تقدير وتقييم معدل التآكل

1. مقدمة

تآكل حديد التسليح هو عملية كهروكيميائية التي تنتج تياراً كهربائياً ، والتي يمكن قياسها لوسط كهربائي على سطح الخرسانة. أحدث التقنيات المستخدمة حالياً تعتمد على الطبيعة الكهروكيميائية للتآكل لجمع البيانات الخاصة به. وتوجد أنواع متعددة من الأجهزة التي تنتجها شركات مختلفة موجودة لهذا الغرض. وهي قد تختلف في الحجم، التكلفة، طرق التطبيق، النظريات الأساسية ، والمعلومات المعطاة بالإضافة إلى ذلك ، ينبغي أن تكمل عمليات التفتيش البصرية أي برنامج للرصد والتقييم، ولكنها قد لا تكشف عن التآكل في وقت مبكر بما يكفي لمنع وقوع أضرار خطيرة. هذا الباب يقدم استعراضاً ومعلومات مفصلة عن طرق الكشف الحالية للتآكل ، ورصد لجمع البيانات في المستقبل والتي يمكن استخدامها في منشآت الخرسانة المسلحة لتقييم حالة تآكل حديد التسليح.

يمكن استخدام هذه التقنيات للكشف عن نشاط التآكل الكهروكيميائي للتسليح المعدني. والهدف من تطبيقاتها يمكن أن يكون واحداً من التالي :

1. مراقبة جودة الإنشاءات الجديدة
2. تقييم حالة المنشآت القائمة من أجل :
 - تحديد فقد الحديد.
 - اكتشاف المناطق المتآكلة لأغراض إعادة التأهيل.
 - التنبؤ بتطور الضرر.
 - تحديد الوقت الأمثل للترميم.
3. تقييم تقنية الترميم.

2. رصد التآكل

الملاحظة البصرية هي التقنية الشائعة المستخدمة للكشف عن التآكل بسبب الصدا ، والتي بدورها تنتج التصدع وانفصال الغطاء الخرساني. هذه الأضرار هي مؤشر لنشاط التآكل تحت الغطاء الخرساني. ومع ذلك ، نظراً للدرجات المختلفة من البيئات القاسية ، ونوعية الخرسانة والهندسة الإنشائية ، فإن استنتاجات الفحص البصري يمكن أن تكون مضللة.

رصد التآكل هو ممارسة لقياس درجة التآكل في تسليح المنشأ الخرساني في ظل الظروف الفعلية. هناك أساليب مختلفة تستخدم لقياس عملية التآكل في بيئات محددة. ويمكن تصنيف الطرق المختلفة المستخدمة في مراقبة التآكل إلى فئتين رئيسيتين ، الطرق غير الكهروكيميائية والطرق الكهروكيميائية. الجدول (1) يبين الطرق المختلفة لمراقبة التآكل في الخرسانة المسلحة. الطرق المظللة في الجدول رقم (1) هي أكثر الوسائل المستخدمة على نطاق واسع ، وسيتم وصفها في هذا التقرير.

يمكن استخدام كل هذه التقنيات مجتمعة أو منفردة لتقديم "فوري" لحالة المنشأ. ومع ذلك ، إذا كان أحد مهتماً بمعدل التدهور للمنشأ ، من المفيد رصد حالة التغير مع مرور الوقت. وينبغي أن يتم هذا على المنشآت مع متطلبات الحياة الممتدة والمنشآت القديمة عندما يتم العثور على التآكل والتلف ويراد تأجيل الترميم لأسباب التكلفة، لوجستية أو غيرها.

الجدول رقم (1): طرق لمراقبة التآكل في الخرسانة المسلحة

الكهروكيميائية	غير الكهروكيميائية
<p>قياسات إستاتيكية</p> <ul style="list-style-type: none"> - نصف خلية الجهد (المحمولة والمدمجة) - تيار الخلية (أجهزة مدمجة) - الضوؤاء الكهروكيميائي 	<ul style="list-style-type: none"> التفتيش البصري الانبعاثات الصوتية الأشعة تحت الحمراء الحرارية التصوير الشعاعي ورادار قياس إشعاعي الطريقة الزلزالية المقاومة الكهربائية مجسات الألياف الضوئية الميكروويف
<p>قياسات الاستقطاب</p> <ul style="list-style-type: none"> - الاستقطاب الخطي (الأجهزة المحمولة والمدمجة) - التحليل الطيفي - نبض جلفانوستاتيك - مسح القطب المرجعي 	

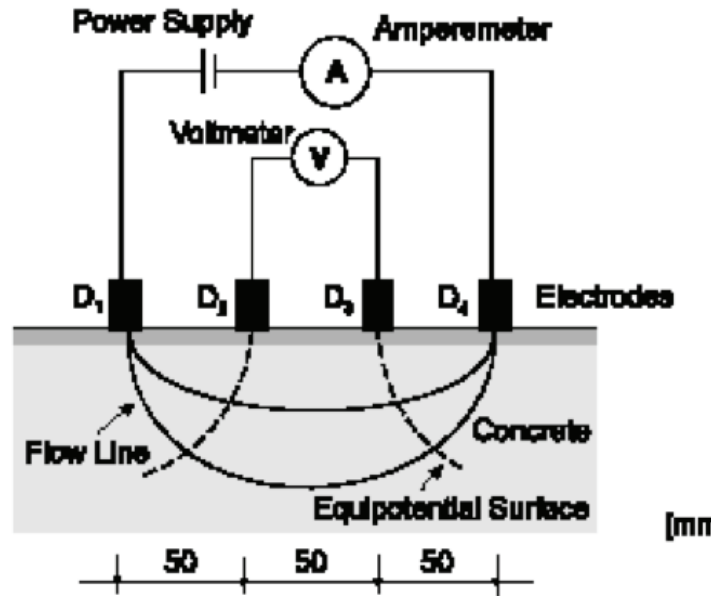
أجهزة الاختبار الميداني المحمولة هي مفيدة للغاية ومنطقية، ولكن في بعض التطبيقات قد يكون من الأفضل إجراء اختبار دائم وغير تدميري. وقد صممت الأجهزة المدمجة لتكون جزءاً لا يتجزأ من الخرسانة للسماح بتكرار الاختبارات في مواقع الأقطاب. ويمكن الجمع بين الأسلاك من القطب في كابل يمتد من العضو الخرساني لتخفيف حدة القياس. وسيتم تصنيف هذه الأجهزة إلى قسمين :

- أجهزة الرصد المدمجة المستمرة.
- أجهزة الرصد الخارجي

3.1. المقاومة الكهربائية

يتم تعريف المقاومة الكهربائية على أنها النسبة بين التأثير الداخلي ودورة التيار بين قطبين لتوفير ترتيبات تتيح حساب الخصائص الهندسية. المقاومة الكهربائية هي قياس غير مباشر للمسامية والتواصل بين المسام. ويستخدم للكشف عن المناطق الرطبة في الخرسانة، وبالتالي فإن القياس يوفر معلومات حول خطر التآكل. على الرغم من أن هناك علاقة عكسية لمعدل التآكل، لا يمكن أن تستخدم النتائج لحساب معدلات التآكل بسبب التششت الكبير في القياسات.

طريقة الأربع نقاط لا تحتاج إلى اتصال مباشر مع التسليح. ويمكن قياس مقاومة الخرسانة مباشرة على سطح المنشأ عن طريق تقنية (Wenner). هذا الأسلوب يستخدم أربعة أقطاب على مسافات متساوية على اتصال مع سطح الخرسانة، كما هو مبين في الشكل(1). ويبين الشكل (2) صورة من المعدات والتجهيزات المستخدمة.



الشكل (1):رسم تخطيطي لتقنية قياس المقاومة بطريقة Wenner

ويتم حساب المقاومة على النحو التالي :

$$\rho_{concrete} = 2 \pi a R_{measured}$$

حيث $\rho_{concrete}$ هي مقاومة الخرسانة (أوم.سم) ، المقاومة من قياس أربعة أقطاب (الجهد مقسوما على التيار) ، و (a) هي المسافة بين أقطاب القياس.



الشكل (2): صورة جهاز لقياس المقاومة بطريقة Wenner

القياسات في الموقع للمقاومة تكون بشكل مباشر على سطح المبنى. بداية لا بد من ترطيب نهايات الأقطاب الكهربائية بسائل موصل من أجل توفير اتصالات جيدة مع الخرسانة. ويتم قياس التيار المتناوب بتردد ما بين 50 و 1000 هرتز يتم تمريرها بين الأقطاب الخارجية وتقاس الاختلافات المحتملة بين تلك الداخلية. يتم الحصول على المقاومة بوصفها معادلة في الجهد ، والتيار والمسافة بين نهايات الأقطاب (عادة 50 ملم).

واحدة من أهم المشاكل التي تنشأ عند قياس مقاومة الخرسانة تغير المقاومة مع التخيرات في البيئة. العوامل التي تؤثر على المقاومة هي :

- (أ) **محتوى الرطوبة** : ρ ينقص عند زيادة رطوبة الخرسانة والعكس بالعكس. ρ هو مقياس غير مباشر لتشبع الخرسانة.
 - (ب) **درجة الحرارة** : تأثير درجة الحرارة مئيرة للجدل ، وتأثيره على ρ يعتمد على ما إذا كانت الخرسانة محمية أم لا. وهذا هو ما إذا كان يؤدي إلى تبخر أو تكثف الماء .
 - (ج) **محتوى الكلوريدات**: إن وجود الكلوريدات أو أي عنصر آخر غير عضوي يؤدي إلى انخفاض ρ .
 - (د) **الكربنة** : تهدف إلى زيادة في ρ نظرا لأن تشكيل كربونات الكالسيوم يحفز عادة.
 - (هـ) **نوع الاسمنت** : عوامل المزج (الرماد المتطاير ، والخبث أو أبخرة السيليكان) عموما محفزات على زيادة ρ بالمقارنة مع الاسمنت البورتلاندي العادي.
 - (و) **المسامية**: المسامية هي نتيجة لنسبة الماء / الاسمنت ، وإلى الدمك والمعالجة. زيادة في نسبة الماء / الاسمنت يؤدي إلى انخفاض ρ .
- المقاومة لا تظهر في حد ذاتها ، سواء كان الصلب في الخرسانة في حالة نشطة من التآكل أو لا. إنها تعطي معلومة عن خطر التآكل بسبب محتوى الرطوبة في الخرسانة. ويبين الجدول (2) نطاقات من المقاومة التي يمكن أن تكون ذات صلة بمعدل التآكل.

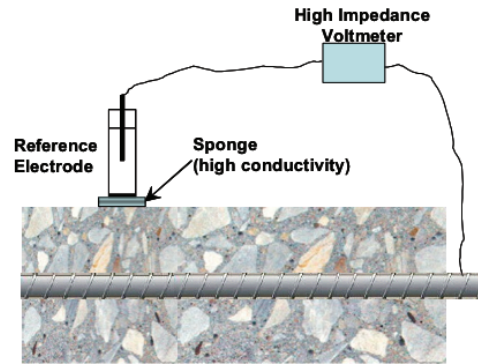
الجدول (2): نطاقات المقاومة ذات الصلة بخطر التآكل

خطر التآكل	المقاومة (ك أوم. سم)
	< 100 أكبر من منعدم
منخفض	100 – 50
معتدل	50 – 10
مرتفع	> 10 أقل من

2.3. نصف خلية الجهد

يعرف التآكل أو نصف خلية الجهد Ecorr ، على أنه الفرق بين الجهد والتعزيز الكهربائي المرجعي (RE). الشكل (3) يوضح الرسم التخطيطي لقياس نصف خلية الجهد. إنه يميز حالة المعدن في بيئته. وبين الشكل (4) صورة للمعدات والتجهيزات المستخدمة. أجهزة مختلفة متاحة تجارياً لقطب واحد أو متعددة الأقطاب (عجلة).

يمكن لنصف خلية الجهد Ecorr أن تعطي فكرة فقط عن خطر التآكل. ولا يمكن الاعتماد على ذلك. الهدف الرئيس من قياسات الجهد على المنشأ هو لتحديد المناطق التي أصبحت بها احتمالية عالية لصدأ حديد التسليح، وبالتالي مهياً للتآكل إذا توافر الأكسجين والرطوبة وهي الشروط اللازمة لحدوث الصدأ.



الشكل(3):رسم تخطيطي لقياس نصف خلية الجهد



الشكل(4): جهاز نصف خلية الجهد

الطريقة الأكثر شيوعاً تنطوي على رسم خرائط للمنشأ. وفقاً لطريقة الاختبار لقياسية (91-ASTM C876) كما ذكرنا، فإن الهدف من قياس الاحتمالات هو تحديد تلك المناطق المتآكلة من حديد التسليح لتحقيق هذا الهدف، أولاً من الضروري تماماً لتحديد استراتيجية العمل الذي يوفر نظرة شاملة سريعة واقتصادية على حالة المنشأ. يجب أن تنطوي هذه الاستراتيجية على تعريف لنظام متناسق لربط نقاط القراءات والقياسات. وعادة ما تكون الشبكة على علاقة بحجم الخلية التي تختلف من 15 سنتيمتراً مربعاً إلى 2 متر مربع، اعتماداً على نوع المنشأ وخصائصه ونطاق العمل. سيحدد حجم هذا النظام متناسق دقة القياسات. القياسات التي أجريت مع شبكة الخلية كبيرة الحجم يمكن ألا تبين نشاط التآكل في حين المسافات الأقل عموماً ينبغي أن توفر اختلافات كبيرة بين القراءات. يجب أن تكون المسافات كافية لنوع الهيكل المستطلع (الغطاء الخرساني ومحتوى الرطوبة) والاستخدام المتوقع للقياسات.

التوصيل الكهربائي الجيد للتسليح يجب أن يتم أولاً. ويمكن جعلها مشبكاً أرضياً من نوع الضاغظ أو المختلط أو قضيب لحام جاحظ ، ولكن لا ينبغي أن يكون على اتصال مباشر إذا كان حديد التسليح متصلاً بالعضو الصلب المعرض. المدخلات الأخرى من الفولتميتر ذي المقاومة العالية يجب أن تكون مناسبة القطب لوضعها على سطح الخرسانة بواسطة إسفنجة رطبة من أجل توفير اتصالات جيدة كهربائياً بينهما. ينبغي أن تكون الإسفنجة المبللة دائماً مع محلول منظف مخفف. قطب النحاس / كبريتات النحاس (Cu/CuSO4) هو المرجع الأكثر استخداماً في الموقع للقياسات المحتملة ، بينما أقطاب الفضة / كلوريد الفضة (AG / AgCl) تستخدم أكثر في أعمال المختبر.

من الضروري تماماً لضمان استمرارية الكهرباء لحديد التسليح. قياس المقاومة بين مناطق منفصلة يتحقق من ذلك. إذا كانت قيم المقاومة هي أقل من أو يساوي 0.3Ω . فإن ذلك يشير إلى استمرارية التيار الكهربائي.

يمكن إجراء القياسات المحتملة مع قطب كهربائي واحد أو مع عدة أقطاب على عجلة. حالما يتم الحصول على البيانات، أفضل طريقة لتمثيلها يتوقف على عددها ونوع المنشأ. لذلك تختلف من الجداول إلى خريطة الشبكة الملونة من مجالات الجهد (مثل الخريطة الخطية الكنتورية). وينبغي ألا تكون درجة تدرج اللون أكبر من 50 mV من أجل توفير أوضح وسيلة لتفسير النتيجة. ويمكن تمثيل كل من القيم المقاسة والمقربة على سطح ثلاثي الأبعاد (3 - D).

تفسير القراءات التقديرية ، وفقاً للمواصفة القياسية 91 - ASTM C876 ، قيمة الجهد المحتملة -350 mV CSE. هناك احتمال خفض القيم المحتملة تقترح تآكلاً باحتمال 95 % ، وإذا كانت الاحتمالات أكثر إيجابية من -200 mV CSE ، هناك احتمال أكبر من 90 % أنه لا يحدث تآكل حديد التسليح ، وبالنسبة لتلك الاحتمالات بين 200 mV - 350 mV فإن نشاط التآكل غير مؤكد. يبين الجدول 3 تفسير قياسات إمكانية التآكل

الجدول(3) : تفسير قياسات التآكل المحتملة لجهاز نصف خلية الجهد (91 - ASTM C876)

التفسير	المرجع الكهربائي (Cu/CuSO4 (CSE Ag/AgCl	
	أكثر من 90 % أنه لا يوجد احتمال حدوث تآكل	أكثر إيجابية من -119 mV
نشاط التآكل غير مؤكد	بين -119 mV & -269 mV	بين -200 mV & -350 mV
أكثر من 90 % احتمال حدوث تآكل	أكثر سلبية من -269 mV	أكثر سلبية من -350 mV

وقد أظهرت التجارب العملية أن القيم المحتملة المختلفة تشير إلى التآكل لظروف مختلفة بحيث إن القيم المطلقة لا يمكن أن تؤخذ بعين الاعتبار للإشارة إلى خطر التآكل ، والعلاقة بين حالة الخرسانة والقيم المحتملة ليست محددة جيداً بما فيه الكفاية ، مع استثناء من تلك القيم عند النهايات القصوى. تمثيل البيانات الإحصائية عن طريق التكرار التراكمي على النحو المبين في ASTM يعطي مؤشراً أفضل من إمكانات مناطق الحدود بين الإيجابي والسلبي ونسبتهم في المنطقة التي تم اختبارها. وهناك مجموعة واسعة من العوامل التي تؤثر في تقدير التآكل على النحو التالي :

(أ) محتوى الرطوبة للخرسانة: التغييرات في محتوى الرطوبة قد تؤدي إلى اختلاف في التقدير تصل إلى 200 mV. من المهم الأخذ في الاعتبار ليس فقط ظروف الرطوبة المختلفة في النقطة المحددة ولكن التغييرات على طول المنشأ بأكمله. القيم التقديرية تصبح أكثر سلبية مع زيادة الرطوبة في الخرسانة.

(ب) سمك الغطاء الخرساني : كلما زاد الغطاء الخرساني، فإن الفرق بين القيم الإيجابية والسلبية المحتملة يقل ، مما يؤدي إلى قيمة موحدة متجانسة محتملة لانهائية. وبالتالي ، فإن تحديد موقع بقع الصدأ الصغيرة يكون أكثر صعوبة مع تزايد عمق الغطاء.

(ج) كربنة الخرسانة : كما أن عملية الكربنة تؤدي إلى زيادة مقاومة الخرسانة ، فإن القياسات تظهر القيم المحتملة أكثر إيجابية على حديد التسليح المتآكل.

(د) آثار الاستقطاب : إن مناطق التآكل تستقطب التسليح السلبي في الأماكن القريبة منها لتقديرات أكثر سلبية. هذا التحول يكون أعلى في الخرسانة ذات المقاومة الأقل.

هـ) محتوى الأكسجين : شروط التهوية ، مثل وصول الأكسجين ، تحدد بقية القيم التقديرية بقوة للصلب السلبي في الخرسانة. المحتوى المنخفض من الأكسجين يؤدي إلى انخفاض واضح بباقي التقديرات. في الخرسانة الرطبة جدا بسبب انخفاض معامل انتشار الأوكسجين ، قد تنشأ ظروف تحول القيم التقديرية إلى قيم سلبية نسبيا لذا فالصلب السلبي قد يظهر تقديرات سلبية مماثلة لتلك الخاصة بتآكل الصلب. هذا يقودنا إلى المخاطر التي يمكن أن يعتبر المناطق السلبية في ظل ظروف التهوية المنخفضة مناطق تآكل.

و) محتوى الكلوريد : لقد أثبتت التجربة الميدانية على عدد كبير من أسطح الجسور علاقة معينة بين محتوى كلوريد الخرسانة والقيم التقديرية. أكثر القيم السلبية تتزامن مع مساحات المحتوى العالي من الكلوريد.

3.3. الاستقطاب الخطي

طريقة الاستقطاب الخطي ، أو طريقة مقاومة الاستقطاب ، هي طريقة كهروكيميائية لتحديد معدل التآكل. يتم تعريف الاستقطاب بأنه التغير المحتمل في المعدن نظرا لحدوث تغيير في تدفق الإلكترونات ، وبالتالي تغيير في معدلات التفاعل ، عند تآكل السطح. أصبح الاستقطاب الخطي وسيلة منتشرة الاستخدام على نطاق واسع بسبب سهولة وكفاءة الاختبار. الاستقطاب الخطي يأخذ وقتا قصيرا وهو تدميري ومتكرر على حد سواء .. هذا يسمح لاستخدام أكثر تنوعا ومستمر في مجال الهندسة و / أو تطبيقات مراقبة الجودة.

وهناك عدد من الأجهزة المحمولة تستخدم مفهوم الاستقطاب الخطي في تشغيل الاختبار. هناك نوعان معروفان لقياس الاستقطاب الخطي : محقق ثنائي القطب ومحقق ثلاثة الأقطاب.

تقنيات مقاومة الاستقطاب لديها العديد من القيود المتأصلة التي يجب أخذها بعين الاعتبار. تحديد معدل التآكل هو اختبار لحظي فقط ويعطي قيمة المعدل في هذا الوقت بالذات. للحصول على قياس دقيق للتدهور بسبب التآكل ، ينبغي أن تؤخذ قراءات المعدل على فترات لمدة من الزمن.

هناك طريقتان لأجهزة متميزة لمقاومة الاستقطاب : **glavanostatic** و **potentiodynamic**. طرق **Glavanostatic** تنطوي على تطبيق تيارات استقطاب بطريقة خطوة بخطوة. اختبار **Potentiodynamic** مماثل ، باستثناء تطبيق زيادة الجهد على فترات. كلاهما طرق للحالة المستقرة. أجهزة **Glavanostatic** تستخدم على نطاق أوسع في المعدات التقليدية لقياس معدل التآكل. مقاومة الاستقطاب، (أو الاستقطاب الخطي) هي الأسلوب المفضل لقياس معدل تآكل حديد التسليح.

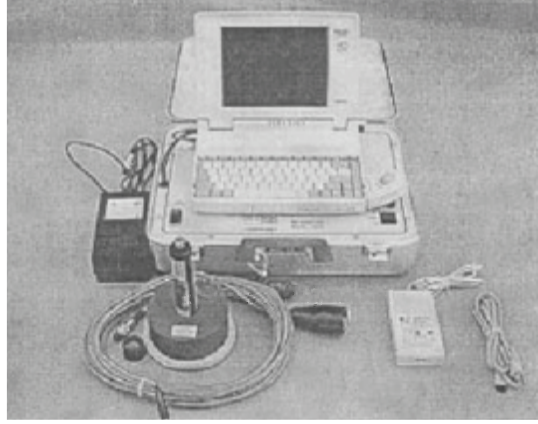
تيار التآكل (**I_{corr}**) يمثل قيمة لحظية عند الإشارة إلى منطقة التآكل ووحداتها هي $\mu A/cm^2$. يتم تحويلها إلى معدل التآكل (**V_{corr}**) عند قياسها دوريا ، ويشار إلى فترة معينة من أجل تميز تطور العملية. الوحدات هي **mm/year**. الاحتياط الرئيس الذي يجب أن يؤخذ في الاعتبار عند قياس **R_p** في حالة الصلب المدمج في الخرسانة هو :

- تحقيق استجابة شبه ثابتة للحالة. وهذا يتطلب الانتظار ما بين 30 ثانية إلى ١٠٠ ثانية خلال القياسات. أقصر فترات الانتظار أو أسرع معدلات المسح هي مناسبة لحالة التآكل النشطة ، في حين إذا كان الصلب سلبيا ، ويحقق في مساحة شبه ثابتة في أوقات أطول أو أبداً.

الأهداف الرئيسية لقياس التآكل من خلال تقنية **R_p** هي :

(أ) تحديد المناطق المتآكلة. خرائط التآكل تمكن من تحديد مناطق التآكل بنفس الطريقة من الخرائط التقديرية.
(ب) تقييم كفاءة تقنيات الترميم.

يتم إجراء قياس لتيار التآكل عن طريق القطب المرجعي ، مما يدل على الجهد الكهربائي ، والقطب المساعد ، والذي يعطي التيار. في قياسات الموقع ، يتم استخدام القطب الثاني المساعد (حارس حلقة) من أجل حصر التيار إلى منطقة محدودة على سطح التسليح. الشكل (5) يوضح صورة لجهاز مراقبة **R_p** والأجهزة اللازمة لقياس الاستقطاب الخطي الآن بسيطة نسبيا ، والأجهزة مثل (**Gecor 6**) و (**Gecor 8**) متوفرة تجاريا لقياسات **R_p**.



مع بعض المتغيرات الصغيرة بين الأجهزة المختلفة ، فإن إجراءات قياس معدل التآكل هي كما يلي :

- تحديد موقع شبكة حديد التسليح باستخدام مقياس الغطاء الخرساني وتخطيطه على سطح الخرسانة.
- اختيار مواقع القياس. تسجيل عمق الغطاء الخرساني وأقطار القضبان في هذه المواقع.
- اتصال سليم لقضبان حديد التسليح وبين سطح الخرسانة وأقطاب القياس.
- قياس جهد التآكل.
- تطبيق التيار الكهربائي، وتسجيل الاستجابة.

قياسات Rp تستغرق من بضع ثوان إلى ٥ دقائق ، وهذا يتوقف على المعدات المستخدمة. ينصح بتكرار القياس في نفس الموقع من أجل التأكيد على فاعلية الطريقة. الجدول ٤ يعطي مجموعة من القيم لتفسير قياسات تيارات التآكل (Icorr).

الجدول 4 الارتباط بين تيار التآكل المقاس و مستوى التآكل الحالي

مستوى التآكل	Icorr (mA/cm ²)
يهمل	أقل من > 0.1
منخفض	0.5 - 0.1
معتدل	1.0 - 0.5
مرتفع	أكبر من < 1.0

العوامل الأخرى ذات الصلة التي تؤثر على بيئة الخرسانة نفسها هي:

(أ) محتوى الرطوبة : إن الرطوبة أو الماء السائل في مسام الخرسانة هي العامل الأكثر أهمية في التأثير على تيار التآكل. فهو المسؤول عن استمرار الكهرباء (اتصال المسام) ومدى توافر الأوكسجين على سطح الحديد . الرطوبة تقوي المقاومة الكهربائية ، والتي هي العامل الأكثر شمولا لتحديد تيار التآكل. محتوى الأوكسجين هو أكثر ثانوية ما لم يقل عن مستوى معين.

(ب) درجة الحرارة : لها تأثير معاكس على معدل التآكل. عند ارتفاع درجات الحرارة ، تتبخر الرطوبة ، والتي قد توازن عكسيا مع اتجاه زيادة معدل التآكل. فقط في هياكل المياه المشبعة، الحرارة يمكن أن تكون على علاقة مباشرة مع نسبة التآكل.

(ج) محتوى الكلوريد : الكلوريدات لا تعمل فقط على سلبية الصلب ، ولكن أيضا إلى تعزيز معدل التآكل.

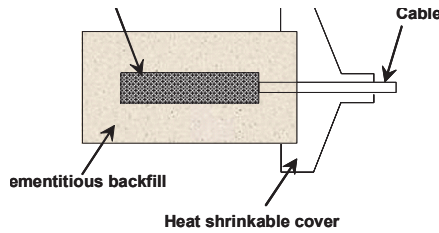
4. أجهزة الرصد المستمرة المدمجة

أي تطبيق للحماية الخارجية سوف يمنع أي اتصال مع سطح الخرسانة. الاتصال مطلوب لجميع القياسات الميدانية لمعدل التآكل ، مثل الاتصال الكهربائي مع التسليح. ولذلك ، فإن أداء اختبارات ميدانية لمعدل التآكل للمنشآت محمية يستلزم إزالة نظام الحماية الخارجية في مواقع الاختبار. الاختبارات أيضا تتطلب إما تثبيتاً من موصلات سلكية من الرصاص للتسليح أثناء عملية الإصلاح ، أو الحفر في القلب لتحقيق الاتصال الكهربائي خلال الاختبار. في الواقع ، فإن الاختبارات الميدانية المحمولة لمعدل التآكل يمكن أن تكون متلفة وتهدد سلامة نظم الحماية المطبقة خارجياً في الأماكن ذات البيئة أكثر عرضة للتآكل. ومطلوب قياس معدل التآكل بطرق غير تدميرية.

تثبيت أجهزة قياس معدل التآكل المدمجة وأجهزة الاستشعار يمكن تثبيتها أثناء عمليات البناء أو الترميم واعتبارها جزءاً لا يتجزأ من المنشأ لاستخدامها في إصلاح المنشآت باستخدام أنظمة وقائية خارجية ، مثل المعالجات السطحية ، وذلك لأن من المهم للحفاظ على سلامة النظام.

4.1 نصف خلية الجهد

يمكن أن تدمج في الخرسانة ملاصقة لحديد التسليح. الأقطاب المرجعية المختلفة متاحة تجارياً. الشكل (6) يبين الرسم التخطيطي لقطب مرجعي يتكون من خليط معدن أكسيد التيتانيوم المنشط الذي يصب خصيصاً ليعطي جسماً أسمنتياً. يلف القطب حول حديد التسليح ليتم رصده. وبين الشكل (7) صورة للقطب المثبت بجوار قضيب حديد التسليح. يمكن لف أسلاك القطب ومدّها خارج سطح الخرسانة. ويمكن القياس بين القطب وحديد التسليح باستخدام نصف الخلية.

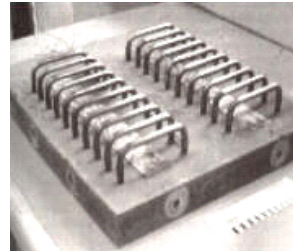


الشكل (6): رسم تخطيطي للقطب المرجعي

الشكل (7): للقطب المثبت بجوار قضيب حديد التسليح

4.2 مقياس الخلية الدقيقة

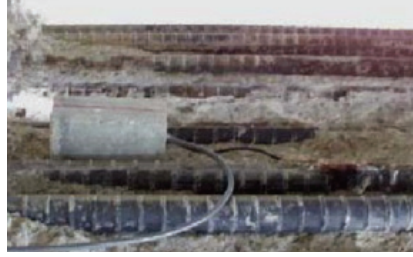
أثناء عملية التآكل ، تتشكل الخلايا الدقيقة للتآكل مع توزيع المناطق والأنودية والكاثودية. الجهد في عنصر يساوي فرق الجهد بين الصلب الإيجابي والسلبي مما يعطي تيار التآكل. يمكن تثبيت جهاز الخلية الدقيقة الحالية باستخدام تكوين سلسلة من أقطاب العمل من الصلب الطري و كاثود من الصلب المقاوم للصدأ بدلا من نصف الخلية. يمكن أن تدمج أجهزة الاستشعار داخل الخرسانة خلال البناء الجديد أو الترميم. يتم تثبيت أجهزة الاستشعار عن طريق تثبيت قطب العمل الأول بالقرب من سطح الخرسانة، والآخر على عمق حديد التسليح. كما أن كل قطب كهربائي يزداد سلبية مع الكلوريدات أو الكبريتات الواردة، يحدث تصعيد في تدفق التيار بين الأقطاب السلبية ليصبح الأنود والكاثود الصلب مقاوماً للصدأ. الشكل (8) يوضح أجهزة استشعار الخلايا الدقيقة المدمجة المختلفة (أي التي تعرف أحيانا باسم مقياس سلم التآكل).



الشكل (8): أجهزة استشعار الخلايا الدقيقة المدمجة المختلفة (مقياس السلم).

3.4. الاستقطاب الخطي

على أساس مبدأ الاستقطاب الخطي ، توضع أجهزة الاستشعار المدمجة. وهناك أنواع مختلفة من أجهزة الاستشعار متاحة تجارياً. ويبين الشكل (9) تركيب أجهزة استشعار نموذجية بجانب حديد التسليح. يمكن لأجهزة استشعار الاستقطاب الخطي المدمجة قياس إمكانات التآكل ، ومقاومة الاستقطاب والمقاومة بالكهرباء. ويمكن أيضاً رصد تقدم الكرينة أو جهة الكلوريد وتوافر الأكسجين على مستوى أجهزة الاستشعار باستخدام أنواع خاصة من أجهزة الاستشعار. هذه المجسات لديها إمكانية القياس الآلي باستخدام أجهزة الكمبيوتر التي تتحكم فيها.



الشكل(9): أجهزة استشعار الاستقطاب الخطي النموذجية المدمجة مثبتة في الخرسانة

ينبغي وضع المجسات المدمجة وتوجه للسماح بتدفق التيار الكهربائي من عداد الإلكترود للتسليح قيد التقييم. عموماً يتم وضع مجسات المقبل بجانب التسليح الطولي وترتبط كهربائياً بقص التسليح ، كما هو مبين في الشكل (9). ينبغي أن تنشأ الوصلات الكهربائية عن طريق لحام الفضة لنحاس السلك الأرضي من المجس إلى التسليح. وينبغي إعداد سطح الحديد لإجراء اللحام. وينبغي تأريض الحديد لطول من 2.5 سم إلى قرابة 5 سم حتى يتم إنتاج حديد لامع ، يتم تطبيق عامل تنظيف (تمويه) لجميع الأسطح ويتم وضع سلك النحاس الأرضي في اتصال مع حديد التسليح. وينبغي توفير اتصال لنحو 2.5 سم لمنع الانفصال خلال أعمال البناء اللاحقة. يتم تثبيت المجس على بعد مسافة من نقطة اللحام لمنع القياس الخاطئ للتآكل بسبب المعادن الأخرى والحديد المعالج حرارياً.

مساحة الحديد المستقطب التي هي أساساً المساحة السطحية للجزء من القضيب الذي يتلقى التيار من المجس. ويتم احتساب هذه المساحة على أنها محيط كل قضيب تسليح التي تواجه عداد الإلكترود مضروباً في طول المجس. ويمكن استخدام الرباط في نهاية كابل اتصال مع أي جهاز محمول رصد الاستقطاب الخطي لمعدل التآكل.

الأقطاب تغطي في كتلة المونة الأسمنتية. المونة الأسمنتية تحمي الأقطاب وتضعهم في بيئة أسمنتية متناسقة. يتم لف الأسلاك معا ، وتمدد خارج الخرسانة للوصول إلى جهاز القياس.

5. التقييم طويل الأجل

القياسات التي اتخذت بواسطة مقياس التآكل تعطي معلومات عن معدلات التآكل والصدأ المحتملة. هذه القيم هي صالحة فقط لوقت الاختبار ، والتي تتطلب جدولاً زمنياً لتقييم الاختبار المتكرر على المدى الطويل بدقة. وينبغي تبعاً لمتوسط العمر المتوقع للمنشأ المرصم أن يتم تحديد الفواصل الزمنية. ومع ذلك ، فإن الفاصل الزمني للاختبار لمدة ستة أشهر يكون مناسباً.

6. اختيار مواقع الرصد

اختيار مواقع الرصد نقطة ذات أهمية كبيرة وغالباً ما ترتبط عوامل التآكل التي ستؤخذ في الاعتبار بهندسة النظم ومكوناتها. وينبغي أن يستند اختيار هذه النقاط على معرفة واقية لظروف التشغيل، ومواد البناء ، والتفاصيل الهندسية للنظام ، العوامل الخارجية والسجلات التاريخية. عدد من النقاط سوف تعتمد على :

(أ) مقدار الوقت المتاح.

(ب) حجم المنشأ.

(ج) الهدف من التفتيش والفحص.

كما يمكن اعتبار عدد محدود من النقاط ، ومن المستحسن عادة لرصد ظروف "أسوأ حالة" أن يتم ذلك الرصد عند نقاط حيث من المتوقع أن يكون ضرر التآكل أشد حدة. في كثير من الأحيان ، يمكن تحديد هذه المواقع عن طريق المنطق مع المبادئ الأساسية للتآكل ، وتحليل نتائج الفشل في السلوك الإنشائي أثناء الخدمة ، وبالتشاور مع موظفي التشغيل. فيما يتعلق بمدة كل قياس ، فيمكن لكل قراءة أن تأخذ أقل من دقيقة لنحو 5 دقائق اعتماداً على الظروف الفعلية للتآكل وطريقة القياس. قد يكون هناك أيضاً مجموعة من 2-5 دقيقة نظراً للمعالجة الفيزيائية لوضع أجهزة الاستشعار. لذا يجب أن تسمح المشغل بوقت من 5 إلى 15 دقيقة لكل موقع. المشغل يجب أن يأخذ في الاعتبار أيضاً الوقت الذي يستغرقه الوصول إلى كل مكان ، الاعتبارات الأخرى وغيرها من التدابير المتخذة مثل العوامل اللوجستية الأخرى المرتبطة بموقع العمل. هذه سوف تتحكم في عدد القراءات التي يمكن أخذها. القياسات السابقة لتكرير الكلوريد، وتلطيف الصدأ ، والغطاء الخرساني ، وأعماق الكربنة، إلخ يمكن استخدامها كمؤشرات لتحديد اختبار نقاط القياس. فيما يتعلق بالتردد المكاني ، لابد من تقسيم المنشأ إلى مقاطع بناءً على:

(أ) شدة البيئة المحيطة

(ب) طبيعة النموذج الإنشائي

(ج) الهدف من التفتيش والفحص .

مجموعة من العناصر الإنشائية ستتم معالجتها إحصائياً من أجل الحصول على قيمة تمثل كل مجموعة من العناصر أو على العكس ، وسوف يتم تعيينها للحصول نمط للضرر.

نقص القياسات مع الوقت مفضل حتى تكون متوازنة عن طريق اتخاذ أكبر عدد ممكن من القراءات في مواقع مختلفة من المنشأ ، وفيما يتعلق بعدة درجات من ضرر واضح أو شدة التعرض.

عندما تكون هناك حاجة لتقييم القدرة الحاملة للمنشأ ، فمن الضروري الحصول على قيمة دقيقة ممثلة بما فيه الكفاية لمعدل التآكل (I_{corr}) ، عن طريق إجراء قياسات عدة على امتداد سنة كاملة أو لفترة زمنية مناسبة تتبع التغييرات الموسمية.

7. الخلاصة

استخدام معدات رصد الأداء أمر ضروري في فهم عملية التآكل في المنشآت الخرسانية في بيئة قاسية. وينبغي إجراء الاختبارات خلال تقييم المنشآت الخرسانية في الخدمة و / أو بعد إعادة تأهيل المنشآت الخرسانية لتقييم فعالية الطريقة والمواد المستخدمة في إعادة التأهيل.

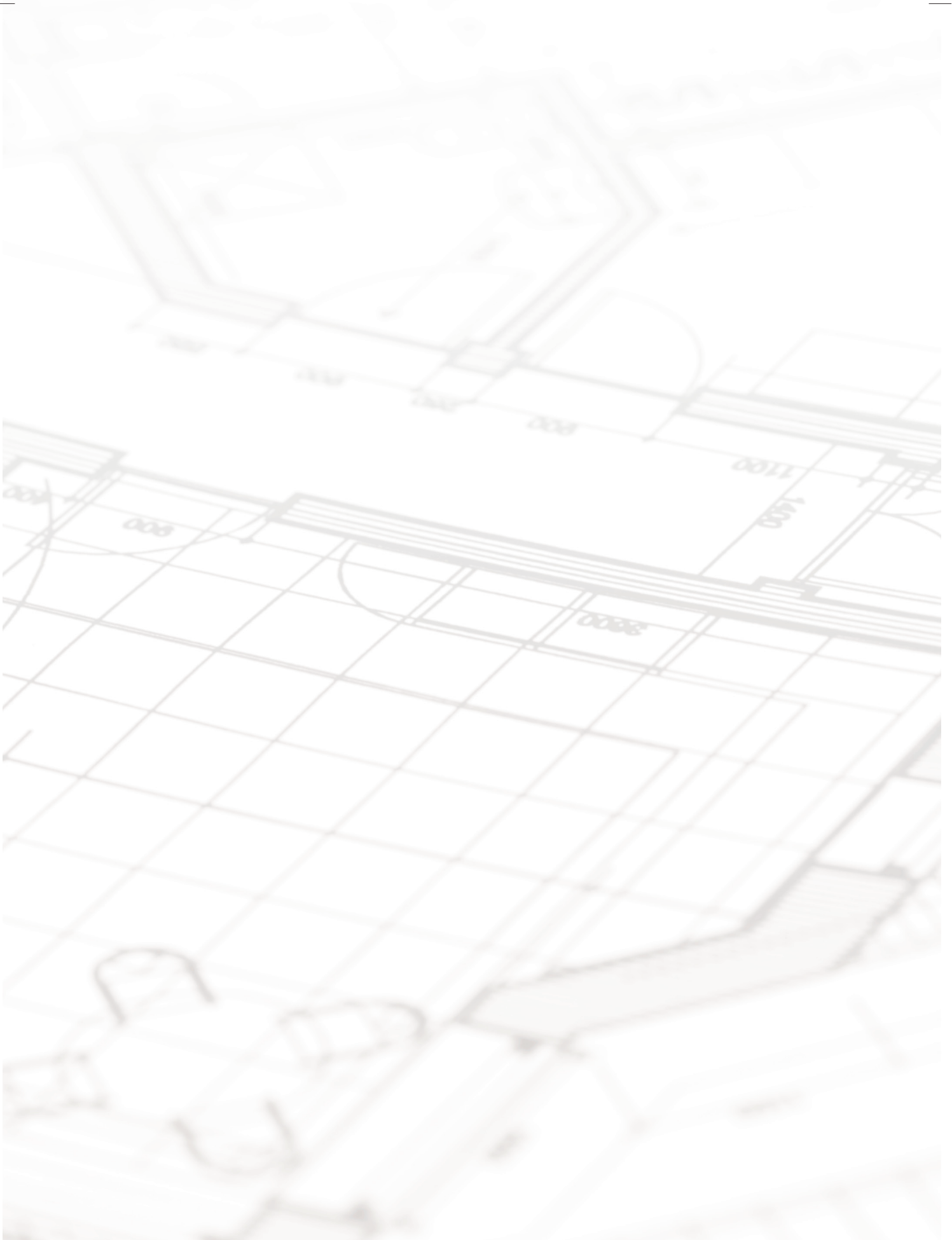
الأجهزة المحمولة هي مفيدة بشكل خاص ، تسمح بإجراء اختبارات ممتدة ومتكررة. من المهم أن يتم صيانة المعدات جيداً بحيث تعمل بشكل صحيح. أجهزة الاستشعار المدمجة هي للاستمرار في تقييم الخدمة التشغيلية. وتستند الملاحظات التالية على الغرض وطرق التطبيق للأجهزة :

قيم معدل التآكل من الاختبارات الميدانية دقيقة ، ولكن لا يتم قياس كمية التآكل.

- المجسات المدمجة (المدفونة داخل الخرسانة) لقياس معدل الصدأ تعتبر مثالية للاستخدام في أثناء تقييم السلوك الإنشائي أثناء الخدمة للمنشأ
- الرصد المستمر ضروري لتحديد عملية تآكل حديد التسليح.
- تحديد تآكل حديد التسليح بالطرق غير التدميرية معقد ويمكن أن يؤدي إلى تفسير خاطئ للنتائج. لتجنب سوء الفهم فمن يستحسن الجمع بين عدة طرق للاختبارات غير التدميرية قبل التوصل إلى أي استنتاج حول تآكل حديد التسليح.

8. مراجع

- Polder, R.B., Bamforth, P.B., Basheen, M., Chapmas-Andrews J. et al- «Reinforcement Corrosion and Concrete Resistivity-State of the Art Laboratory and Field Results», Int. Conf. on Corrosion and Corrosion Protection of steel in concrete. Ed. R.N. Swamy, Sheffield July (1994), pp.571- 580.
- ASTM C876- 91 «Standard test method for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete».
- González, J.A., Molina, A., Escudero, M.L. & Andrade, C. «Errors in the Electrochemical Evaluation of Very Small Corrosion Rates. Part I. Polarization Resistance Method Applied to Corrosion of Steel in Concrete», Corrosion Science (UK), Vol.25, 1985, pp.917- 930.



VII - تقدير العمر التشغيلي

1. مقدمة

الخرسانة هي مادة البناء والترميم الرئيسية لنظم إنشائية كثيرة في دولة الإمارات، مثل الجسور والمباني الشاهقة. حالياً العديد من المنشآت الخرسانية، والتي تعرضت للبيئات القاسية، تعاني من مشاكل في الديمومة وتفشل في الوفاء بمتطلبات تصميم الخدمة التشغيلية. المشكلة خطيرة وبخاصة في منشآت الخرسانة المسلحة حيث تآكل حديد التسليح قد يضعف سلامتها. الكبريت والكلوريد بفعل التآكل نوعان من الأسباب الرئيسية لتدهور المنشآت الخرسانية في دبي. المعرفة المحدودة للأداء الميداني للمنشآت المتضررة نتيجة التآكل وعدم وجود أسلوب منهجي لصيانتها، والتفتيش عليها وإصلاحها تساهم في زيادة تكاليف دورة الحياة الخاصة بها، ويؤدي إلى فقدان الوظيفة والسلامة للمنشأة. هناك حاجة لتنفيذ نهج منظم لعمليات التفتيش وإعادة تأهيل المنشآت الخرسانية من أجل ضمان سلامة هذه المنشآت و كذلك ديمومتها وتقليل تكاليف دورة الحياة.

تآكل حديد التسليح داخل الخرسانة بسبب تغلغل الكلوريدات من المياه الجوفية أو مياه البحر هو الشكل الأكثر انتشاراً لتدهور الخرسانة في وقت مبكر من الإنشاء في الإمارات العربية المتحدة. وهناك حالياً العديد من الاستراتيجيات المتاحة لزيادة العمر التشغيلي لمنشآت الخرسانة المسلحة المعرضة لأملح الكلوريد تشمل ما يلي:

- خرسانة ذات نفاذية منخفضة (عالية الأداء) ،
- مثبطات تآكل كيميائية ،
- الطلاءات الواقية على حديد التسليح (مثل تغليف الإيبوكسي أو الصلب المجلفن) ،
- حديد مقاوم للتآكل (الصلب المقاوم للصدأ على سبيل المثال) ،
- التسليح غير الحديدي (مثل البلاستيك المقوى بالألياف) ،
- أغشية مقاومة للماء أو مانعات التسرب على سطح مكشوف من الخرسانة ،
- الحماية الكاثودية (تطبيق وقت البناء).
- مزيج مما سبق ذكره.

كل من هذه الاستراتيجيات المختلفة له مزايا تقنية مختلفة وكذلك التكاليف المرتبطة باستخدامها. اختيار الاستراتيجية المثلى يتطلب وسيلة لتقييم جميع التكاليف المرتبطة مقابل التمديد المحتمل لحياة المنشأة.

2. نموذج لتوقع 365 يوماً من العمر التشغيلي (Life-365™)

برنامج Life-365™ v1.0 ودليل تشغيله كتب بواسطة E. C. Bentz and M. D. A. Thomas. برنامج Life-365™ v2.0 ودليل تشغيله هي المتوافقة مع هذه الوثائق، كتب بواسطة Ehlen MA بموجب عقد مع Life-365 Consortium II الذي يتكون من جمعية مثبطات التآكل للخرسانة، واللجنة الوطنية للخرسانة الجاهزة، وجمعية أسمنت الخبث، ورابطة دخان السيليكا.

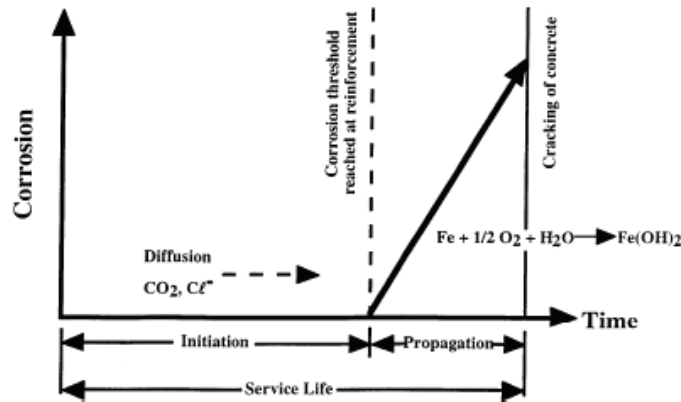
تستخدم تكلفة تحليل دورة الحياة (LCCA) أكثر فأكثر لهذا الغرض. Life-365 LCCA يستخدم تقدير تكاليف البناء الأولية، وتكاليف الحماية، وتكاليف الترميم في المستقبل لحساب التكاليف على مدى العمر التصميمي للمنشأة. ربما الكثير من استراتيجيات الحماية للخرسانة تحد من تكاليف الترميم في المستقبل عن طريق الحد من مدى الترميمات في المستقبل أو عن طريق تمديد الوقت بين الترميمات. وهكذا، على الرغم من أن تنفيذ استراتيجية الحماية قد تزيد من تكاليف البناء الأولية، فإنه لا يزال يخفف من تكلفة دورة الحياة عن طريق خفض تكاليف الترميم في المستقبل.

وقد تم تطوير عدد من النماذج الخاصة بتنبؤ العمر التشغيلي للمنشآت الخرسانية المعرضة للبيئات الكلوريدية أو لتقدير تكلفة دورة الحياة لمختلف استراتيجيات الحماية من التآكل في الأونة الأخيرة، وبعض منها متاح على أساس تجاري. النهج الذي اعتمد من نماذج مختلفة يختلف في الاعتبارات والتطبيق، وبالتالي يمكن أن يكون هناك تباينات كبيرة بين الحلول التي تنتجها النماذج الفردية.

الإصدار الحالي من البرنامج له فيود كثيرة وفي هذا تم عمل عدد من الافتراضات أو التبسيطات للتعامل مع بعض الظواهر الأكثر تعقيداً أو المناطق التي لا توجد فيها معرفة كافية للسماح لمزيد من التحليل الدقيق. يشجع المستخدمين على تشغيل سيناريواتهم الخاصة جنباً إلى جنب مع تعديلات طفيفة على قيم (e.g. D28, m, Ct, Cs, tp) المختارة بواسطة Life-365. وهذه المساعدة سوف تساهم في تطوير الفهم لأدوار هذه المعاملات وحساسية الحل لهذه القيم .

هذا الإصدار من Life-365 مثل جميع البرامج هو كتاب مغلق وبالتالي لا يمكن تعديله فهو يشمل المعاملات التي لم يتم تضمينها في الأصل من قبل مطوري البرنامج. حتى الآن ، يعتبر Life-365 أشمل برنامج متاح في السوق لتحليل العمر التشغيلي وتكاليف دورة الحياة. يمكن استخدامه لتحديد العمر التشغيلي وتكلفة دورة حياة المبنى ، جزء من مبنى ، أو عضو إنشائي بالمبنى.

الشكل (1) يبين تخطيط لنموذج توضيحي لتآكل حديد التسليح في الخرسانة. بناء على هذا الرسم البياني ، وسيقوم البرنامج بتقييم فترتين رئيسيتين ، فترة التحفيز وفترة الانتشار.



الشكل (1) : النموذج التوضيحي لتآكل حديد التسليح في الخرسانة

2.1. استخدام برنامج Life-365

Life-365 من السهل استخدامه للتنبؤ بالعمر التشغيلي وتكاليف دورة الحياة لكل من :

1. منشأ كامل حيث يتم إخضاع جميع عناصره الإنشائية لنفس الظروف البيئية
 2. جزء من المنشأ الذي يمكن أن يتعرض لظروف بيئية مختلفة ، ومن المتوقع أن يتأثر بشدة أكثر من بقية المنشأ.
 3. عنصر واحد من المنشأ الذي يتعرض لظروف بيئية مختلفة ، ومن المتوقع أن يتأثر بشدة أكثر من بقية المنشأ.
- ويمكن أن يتم تقدير العمر التشغيلي إلى واحدة من الحالات الثلاث المذكورة أعلاه. ولذلك يمكن فقط تقدير العمر التشغيلي للمنشأ بالكامل باستخدام الخيار 1 أعلاه.

2.2. توقع فترة التحفيز

فترة التحفيز ، t_i ، تحدد الوقت اللازم لاختراق كلوريدات كافية للغطاء الخرساني وتتراكم بكميات كافية في عمق الحديد المدمج لبدء تآكل الحديد. على وجه التحديد ، فإنه يمثل الوقت المتخذ لتركيز حد أدنى من الكلوريدات Ct. للوصول إلى عمق الغطاء الخرساني ، Life-365 يستخدم نهجاً مبسطاً مبنياً على نشر Fickian الذي يتطلب مدخلات بسيطة فقط من المستخدم.

3.2. توقع تسرب الكلوريد بسبب الانتشار

يتوقع النموذج بدء فترة التحفيز بفرض أن الانتشار هو الآلية المسيطرة. قانون فيك الثاني هو المنتج للمعادلة التفاضلية التالية:

Eq. 1

$$\frac{dC}{dt} = D \cdot \frac{d^2C}{dx^2},$$

حيث C = محتوى الكلوريد ،
D = معامل الانتشار الظاهري ،
X = العمق من السطح المعرض
t = الوقت.

معامل نشر الكلوريد هو معادلة في كل من الوقت ودرجة الحرارة ، Life-365 يستخدم العلاقة التالية لحساب التغيرات في الانتشار التي تعتمد على الوقت:

Eq. 2

$$D(t) = D_{ref} \cdot \left(\frac{t_{ref}}{t} \right)^m$$

حيث (DT) = معامل الانتشار في الوقت t ،
Dref = معامل الانتشار في الوقت (tref) = 28 days in Life-365 ،
m = مؤثر تباطؤ الانتشار، ثابت.

Life-365 يختار قيم Dref و m بناء على تفاصيل تصميم الخلطة (أي نسبة المياه إلى المواد الاسمنتية ، ونوع ونسبة المواد الاسمنتية) المدخلة من قبل المستخدم. من أجل منع معامل الانتشار من التناقص مع مرور الوقت ، فإن العلاقة المبينة في المعادلة 2 يفترض أن تكون صالحة فقط لمدة تصل إلى 25 عاما ، و بعدها فإن (DT) يبقى ثابتا على مدى قيمة (25 عاما).

Life-365 يستخدم العلاقة التالية لحساب درجة الحرارة التي تعتمد على التغيرات في الانتشار :

Eq. 3

$$D(T) = D_{ref} \cdot \exp \left[\frac{U}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

حيث (DT) = معامل الإنتشار في الوقت t و T درجة الحرارة ،
Dref = معامل نشر في وقت Tref درجة الحرارة
U = طاقة التنشيط لعملية الانتشار (J/mol 35000)،
R = ثابت الغاز
T = درجة الحرارة المطلقة.

درجة الحرارة T للخرسانة تختلف مع مرور الوقت وفقا لموقعها الجغرافي المحدد من قبل المستخدم. إذا لم يمكن العثور على الموقع المطلوب في قاعدة بيانات النموذج ، يمكن للمستخدم إدخال بيانات خاصة بالمنطقة المتواجد بها المنشأ.

يتم تحديد ظروف التعرض للكلوريد (على سبيل المثال ، نسبة الكلوريد تزداد على السطح ويكون الحد الأقصى لمحتوى كلوريد) في النموذج بناءً على نوع المنشأ (على سبيل المثال ، سطح الجسر ، منشأ وقوف السيارات) ، وأنواع من التعرض (على سبيل المثال : الأملاح الذائبة) والموقع الجغرافي.

ويتم حل الوقت لبدء تحفيز التآكل باستخدام تنفيذ فروق محدودة من المعادلة. ا حيث يتم تعديل قيمة D في كل خطوة باستخدام المعادلات 2 و 3.

4.2. المعاملات المدخلة للتنبؤ بفترة التحفيز

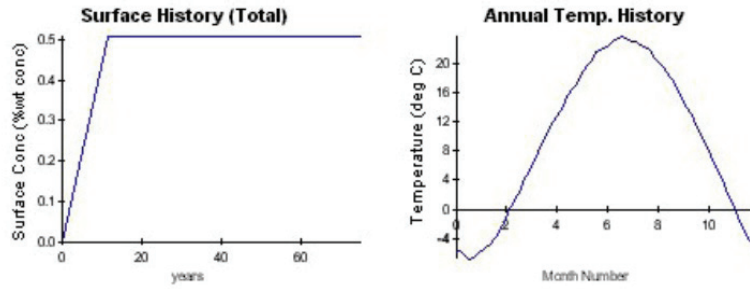
المدخلات التالية مطلوبة للتنبؤ بفترة التحفيز :

- الموقع الجغرافي ؛
- نوع المنشأ وطبيعة التعرض ؛
- عمق الغطاء الخرساني الواضح لحديد التسليح (XD).

تفاصيل كل سيناريو لاستراتيجية الحماية ، مثل نسبة الماء والاسمنت ، نوع وكمية الخلطات المعدنية وموانع التآكل ، ونوع الحديد والغلاف ، نوع وخصائص الأغشية أو السدادات. من هذه العوامل المدخلة يحدد النموذج المعاملات اللازمة لحساب وقت للتآكل ، على النحو المفصل أعلاه.

5.2. تراكم كلوريد السطح

يحدد النموذج الحد الأقصى لتركيز كلوريد السطح، C_s ، والوقت اللازم لبلوغ هذا الحد الأقصى، t_{max} ، على أساس نوع المنشأ، وموقعه الجغرافي، والتعرض، والمدخلات من قبل المستخدم. على سبيل المثال، إذا كان المستخدم يختار سطح الجسر في منطقة حضرية، فإن النموذج سوف يستخدم مواصفات تركيز السطح كما هو موضح في المنطقة اليسرى من الشكل (2). يمكن للمستخدم إدخال مواصفاته الخاصة، من حيث تركيز السطح الأقصى والوقت (بالسنوات) للوصول إلى هذا الحد الأقصى كما هو مبين في الشكل (1).



الشكل (2): أمثلة من تاريخ ودرجات الحرارة البيئية لسطح الخرسانة (Life 365v2.0)

6.2. التوصيف الخاص بدرجة الحرارة

يحدد النموذج سنويا ملامح درجة الحرارة استنادا إلى مدخلات المستخدم للموقع الجغرافي باستخدام قاعدة بيانات تم تجميعها من بيانات الأرصاد الجوية. على سبيل المثال إذا قام المستخدم باختيار مولين، إلينوي، فإن النموذج سيستخدم توصيف درجة الحرارة كما في المنطقة اليمنى في الشكل (1). يمكن للمستخدم إدخال بيانات خاصة لكل درجة حرارة. من حيث متوسط درجات الحرارة الشهري بالدرجة المئوية.

7.2. الحالة الأساسية لخليط الخرسانة

الحالة الأساسية لخليط الخرسانة المفترضة من النموذج هي اسمنت بورتلاند عادي مع عدم وجود استراتيجية خاصة للحماية من التآكل. للحالة الأساسية، يفترض القيم التالية:

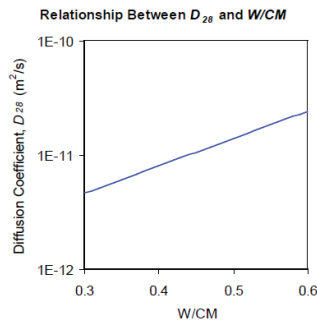
$$(D28 = 1 \times 10^{-12.06 + 2.40w/cm}) \text{ meters-squared per second (m}^2/\text{s)}$$

$$m = 0.20$$

$$Ct = 0.05 \text{ (وزن من الخرسانة)}$$

وتستند العلاقة بين $D28$ ونسبة المواد الاسمنتية للمياه على قاعدة بيانات كبيرة من اختبارات الانتشار. يظهر طبيعة العلاقة في الشكل (3) (مصححة إلى ٢٠ درجة مئوية). وتستند قيمة m على بيانات من جامعة تورنتو وغيرها من البيانات المنشورة وتناقض معامل الانتشار على مدى 25 سنة، وبعد هذه النقطة فإن قيمة معامل الانتشار التي يحتفظ بها Life-365 تظل ثابتة و مساوية لتلك عند 25 عاما، لتعكس افتراض الترطيب الكامل. ويشيع استخدام قيمة Ct لأغراض التنبؤ بالعمر التشغيلي (وعلى مقربة من قيمة كلوريد 0.40 في المئة من كتلة المواد الاسمنتية لخليط الخرسانة).

وتجدر الإشارة إلى أن هذه العلاقات تتعلق بالخرسانة ذات الركام بالكثافة العادية، وربما لا يكون مناسباً للخرسانة الخفيفة.



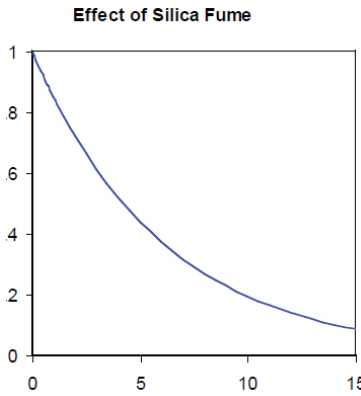
الشكل (3): العلاقة بين $D28$ و w/cm (Life 365v2.0)

8.2. تأثير غبار السيليكا.

من المعروف أن إضافة غبار السيليكا يؤدي إلى تحقيق خفض كبير في النفاذية والانتشارية من الخرسانة. Life-365 يطبق عاملاً لخفض القيمة المحسوبة للأسمنت البورتلاند ، DPC ، استناداً إلى مستوى غبار السيليكا (SF) في الخرسانة. تستخدم العلاقة التالية ، والتي تعتمد مرة أخرى على بيانات انتشار مجمعة :

$$\text{Eq. 4 } DSF = DPC \cdot e^{-0.165 \cdot SF}$$

العلاقة صالحة فقط إلى مستويات استبدال 15 في المئة من غبار السيليكا. والنموذج لن يقوم بحساب قيم الانتشار (أو تنبؤات العمر التشغيلي) لمستويات أعلى من غبار السيليكا. Life-365 يفترض أن غبار السيليكا ليس لها أي تأثير على أي من Ct or m.



الشكل (4) : تأثير غبار السيليكا (Life 365v2.0 DSF)

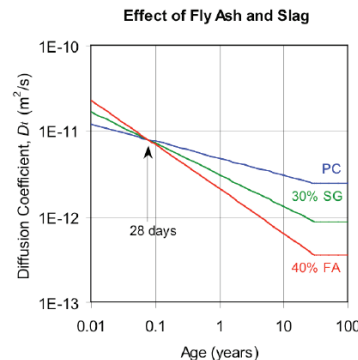
9.2. تأثير الرماد المتطاير والخبث

يفترض أن كلا من الرماد المتطاير أو الخبث ليس لهما تأثير على معامل الانتشار في العمر المبكر ، D28 ، أو الحد الأدنى من الكلوريد ، Ct. ومع ذلك ، هاتان المادتان تؤثران على معدل الانخفاض في الانتشارية ، وبالتالي قيمة m. يتم استخدام المعادلة التالية لتعديل m استناداً إلى مستوى الرماد المتطاير (FA %) أو الخبث (SG %) في الخليط.

$$\text{Eq. 5 } M = 0.2 + 0.4(\%FA/50 + \%SG/70)$$

العلاقة صالحة فقط إلى مستويات استبدال ٥٠ في المئة من الرماد المتطاير أو 70 في المئة من الخبث . m نفسها لا يمكن أن تتجاوز 60. (التي من شأنها أن تحدث إذا تم استخدام الرماد المتطاير والخبث على هذه المستويات القصوى)، وهذا يعني أنه لا بد أن m تليي الشرط أن m أقل من أو تساوي 0.60 . Life-365 لن يحسب قيم الانتشار (أو يحسب تنبؤات العمر التشغيلي) لمستويات أعلى لهذه المواد ، وبعد 25 سنة تثبت قيمة انتشار عند قيمتها المقابلة لمدة 25 عاماً لتعكس حقيقة احتمال عملية الترتيب.

الشكل (5) يبين تأثير m لثلاث خلطات فيها $w/c = 0.4$ وتم أيضاً فيها استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي وكذلك نسبة 30 في المئة من الخبث ، و40 في المئة من الرماد المتطاير. الجدول (1) (Life-365 v2.0) يبين قائمة بهذه النسب المحسوبة للخليط ومعاملات انتشارها ، لمدة 28 يوماً و ١٠ سنوات و 25 سنة. أما لسنوات أكثر من 25 سنة فإن Life-365 سيستخدم حساب معامل انتشار المحسوب عند 25 عاماً.



الشكل (5) : تأثير الرماد المتطاير والخبث على Dt - Life 365v2.0

Table 1. Effects of Slag and Fly Ash on Diffusion Coefficients

	<i>m</i> (≤ 0.60)	D_{28} ($\times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$)	D_{10y} ($\times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$)	D_{25y} ($\times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$)
PC	0.20	79	30	25
30 percent SG	0.37	79	13	9.3
40 percent FA	0.52	79	6.3	3.9

10.2. تأثير مثبتات التآكل

النموذج يأخذ في الاعتبار نوعين من مثبتات التآكل الكيميائية مع أداء موثق و هما مثبتات نترات الكالسيوم (CNI) Rheocrete 222+ (المنتج الأهم من Master Builders; . في برنامج Life-365 ، يشار إليه باسم "E&A"). أنه من المرجح أن يتم إدراج أنواع أكثر من المثبتات في البرنامج عندما تتوافر الوثائق المناسبة لأدائها . ويسمح بعشرة مستويات للجرعة و التي بها 30 في المئة من محلول نترات الكالسيوم في برنامج Life-365. ومن المفترض إدراج CNI لأنه ليس له أي تأثير على معامل الانتشار ، D_{28} ، أو m . تأثير CNI على الحد الأدنى من الكلوريد، C_t ، يختلف مع الجرعة كما هو مبين في الجدول (2) (Life-365 v2.0).

Table 2. Effects of CNI on Threshold

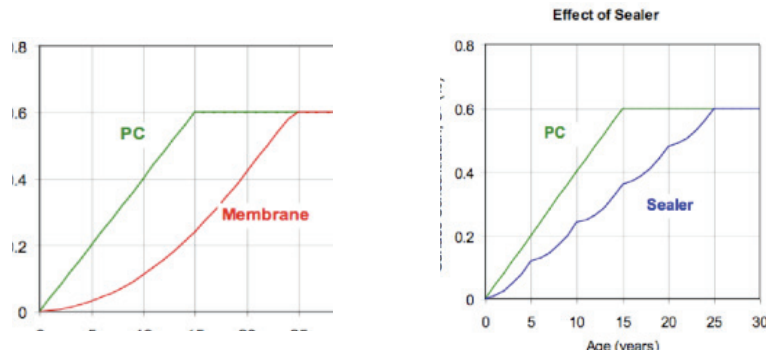
CNI Dose		Threshold, C_t (% wt. conc.)
litres/m ³	gal/cy	
0	0	0.05
10	2	0.15
15	3	0.24
20	4	0.32
25	5	0.37
30	6	0.40

بالإضافة إلى ذلك ، يسمح بجرعة واحدة من Rheocrete 222+ في النموذج ، والجرعة هي 5 لتر / 3 م³ من الخرسانة. هذه الجرعة من الخليط يتم افتراضها لتعديل الحد الأدنى للتآكل إلى $C_t = 0.12$ (في المئة من كتلة الخرسانة). وعلاوة على ذلك ، يفترض أيضا أن يتم خفض معامل الانتشار الأولي إلى 90 في المئة من القيمة المتوقعة للخرسانة من دون الخليط و كذلك فإن معدل بناء الكلوريد على السطح سوف ينخفض بمقدار النصف (وبعبارة أخرى فإنه يأخذ ضعف المدلة C_s لتصل قيمته للحد الأقصى). يتم إجراء هذه التعديلات لتأخذ في الاعتبار التغيرات التي تحدث بسبب Rheocrete 222+ ، والتي من الممكن أن تقلل من الآثار الشعرية والانتشارية.

11.2. تأثير الأغشية وموانع التسرب

يتم التعامل مع الأغشية وموانع التسرب بطريقة مبسطة : Life-365 يفترض أن كلا من الأغشية وموانع التسرب تؤثر فقط على نسبة تراكم الكلوريد ، ويمكن فقط إعادة التطبيق إلى وقت عملية الترميم الأولى.

تبدأ الأغشية بكفاءة بنسبة 100 في المئة ، ثم تتدهور على مدى عمر الغشاء و التي تقدر بعشرين سنة و لا يسمح بإعادة تشغيلها بعد ذلك. وهذا يعني أن معدل التراكم يبدأ من الصفر، ويزيد اطراديا إلى نفس معدل الخرسانة غير المحمية عند العام العشرين. كما هو موضح في الجزء الأيسر من الشكل (6) ، الكلوريدات السطحية للخرسانة غير المحمية (المسماه «PC») يزيد بمعدل 0.04 في المئة سنويا ويصل أقصى تركيز بقيمة 60. في المئة بعد 15 عاما. في الجزء الأيمن من الشكل، الكلوريدات السطحية للخرسانة المحمية بغشاء مبدئي تزيد بمعدل أقل ، ولكن تصل إلى نفس المعدل بعد 20 عاما. يمكن للمستخدم أيضا تحديد القيم الخاصة به لتحقيق الكفاءة الأولية و عمر الغشاء، وإعادة التشغيل. يتم التعامل مع موانع التسرب بالطريقة نفسها ، إلا أن العمر الافتراضي لها ليس سوى 5 سنوات. المثال الموضح في الشكل (6) يبين تأثير إعادة استخدام أو تطبيق موانع التسرب كل 5 سنوات. في كل مرة يتم تطبيق موانع التسرب فإن معدل التراكم يبدأ من الصفر ثم يسمح لهذا المعدل بالزيادة لكي يصل إلى القيمة المقابلة للمعدل المقابل للخرسانة غير المحمية (0.04 في المئة سنويا في المثال) عند العمر المحدد لموانع التسرب (5 سنوات في المثال)



الشكل (6) : آثار الأغشية وموانع التسرب (Life 365v2.0)

12. تأثير الصلب المغلف بالإيبوكسي

أسياخ التسليح المغلفة بالإيبوكسي تستخدم على نطاق واسع في البيئات القاسية منذ عام 1973 وحقيقت نجاحا بصفة عامة في تأخير التآكل الممكن حدوثه بسبب دخول الكلوريدات. وقد حددت مواصفات -ASTMA 775 معيار تطبيق التخفيف والاختبار. تحدد هذه المواصفات المتطلبات التالية (ASTM A 775) :

- (1) يجب أن يكون سمك الغلاف في حدود 130-300 ميكرون ؛
- (2) ثني القضيب المغلف حول عمود دوران قياسي يجب ألا يؤدي إلى تشكيل الشروخ.
- (3) يجب أن يكون عدد الثقوب المعيبة لا يزيد عن 6 لكل متر
- (4) منطقة الضرر على القضيب لا تتجاوز 2 %.

وفقا للمواصفات القياسية ASTM A775 لقضبان حديد التسليح المغلفة بالإيبوكسي فإن الغلاف الإيبوكسي ذا سمك في حدود 160 to 510 mm يخفض قوة الترابط بين حديد التسليح ذي النتوعات والخرسانة. يفضل استخدام الغلاف الإيبوكسي بحيث يكون ذا سمك بين 16 and 420 mm فإن الاختلافات في سمك الغلاف يكون لها تأثير ضعيف على مقدار خفض قوة الترابط ، وبالتالي ، القضبان الأكبر. الغلاف أكثر سمكا من 420 mm يسبب انخفاضا إضافيا في قوة الترابط بالمقارنة بقوة الترابط التي تم الحصول عليها عند استخدام غلاف أرق. ينبغي زيادة الحد الأقصى المسموح به لسمك الغلاف من 300 to 420 mm لتلبية متطلبات المواصفات ASTM A775. لذا فإنه يجب التأكيد هنا على أنه ينبغي استخدام المواصفات المذكورة أعلاه في التصميم الإنشائي عند تغليف الإيبوكسي بغرض استخدامه لحماية حديد التسليح من التآكل. إن ذلك مهم بشكل خاص لتجنب الإفراط في تغليف أسياخ حديد التسليح حتى لا يؤثر على قوة الترابط مع الخرسانة.

والعيب الرئيس لاستخدام الإيبوكسي هو أنه لا بد من دهان أسياخ حديد التسليح به بعناية فائقة لضمان أنه لن يحدث له أي خدش أو ضرر. ربما يكون أفضل الأمثلة المعروفة للأداء الميداني الضعيف لأسياخ حديد التسليح المغلفة بالإيبوكسي تلك العديد من الجسور التي تم إعادة بنائها في منطقة مداخل فلوريدا. باحثو فلوريدا أثبتوا أن الأسباب الرئيسية للتآكل كانت عدم الانتباه إلى إعداد أسياخ حديد التسليح قبل التغليف والذي أدى إلى انهيار قوة الترابط بين الأسياخ وغللاف الإيبوكسي حتى قبل استخدام هذه الأسياخ لتسليح المنشآت.

منذ عام 1991 ، حدث تحسن كبير لجودة أسياخ حديد التسليح المغلفة بالإيبوكسي وكذلك الفهم المصاحب لكيفية استخدامها ، وذلك أساساً ثمره الأبحاث العديدة كذلك نتيجة جهود الشركات و المصانع المنتجة لهذه الأسياخ المغلفة بالإيبوكسي لجعل استخدامها مسموحاً ومعترفاً به وقد أجريت أبحاث كبيرة على قضبان حديد التسليح المغلفة بالإيبوكسي خلال السنوات الـ 10 الماضية ، وأجريت التحقيقات الميدانية التي قام بها العديد من الوكالات في جميع أنحاء العالم. وقد تم استنتاج من خلال هذه الدراسات أن المنشآت التي تحتوي على أسياخ حديد التسليح المغلفة بالإيبوكسي تكون أكثر استدامة من المنشآت المستخدم بها أسياخ حديد التسليح غير مغلفة بالإيبوكسي. وقد أظهرت الأبحاث المخبرية أن منتجات التغليف الجديدة وطرق الاختبار قد يحسن الديمومة على المدى الطويل للمنشآت الخرسانية. لتقييم الديمومة طويلة الأجل لمنتجات التغليف الإيبوكسية، ينبغي وضع طرق الاختبار الجديدة هذه كمواصفات قياسية متفق عليها. وفقاً لذلك فإن برنامج Life-365 يزيد من العمر التشغيلي للمنشأة في حالة استخدام حديد تسليح مغلف بالإيبوكسي.

٢.٣. تأثير الفولاذ المقاوم للصدأ

في الإصدار الحالي من Life-365 من المفترض أن grade 316 من حديد التسليح المقاوم للصدأ له حد أدنى من التآكل بقيمة 0.5. وذلك 10 مرات تلك القيمة الخاصة بالحديد العادي والتي تساوي 0.05.

٢.٤. توقع فترة الانتشار

فترة الانتشار ، tp ، هي قيمة ثابتة ومقدرة بـ 6 سنوات. وبعبارة أخرى ، فإن الوقت اللازم قبل البدء بعملية الترميم، tr ، يحسب ببساطة بواسطة العلاقة $tr = ti + 6 \text{ years}$. استراتيجية الحماية الوحيدة التي تزيد من مدة فترة الانتشار هي استخدام أسياخ حديد التسليح المغلفة بالإيبوكسي ، مما يزيد الفترة لـ $tp = 20 \text{ years}$ يمكن تغيير فترة الانتشار من قبل المستخدم.

3. تقدير تكلفة دورة الحياة

لتقدير تكلفة دورة الحياة ، Life-365 يتبع الإرشادات والمصطلحات في المواصفة القياسية ASTM E - 917 لتقدير تكلفة دورة حياة نظم البناء. وهذا يشمل عملية :

١. تحديد السنة الأساسية ، ومدة الدراسة ، ومعدلات التضخم ومعدلات التخفيض ومتطلبات المشروع.
٢. حساب القيمة الحالية للتكاليف في المستقبل .
٣. تقييم النتائج بالقيمة الحالية.
٤. إجراء التحليلات الإحصائية اللازمة.

٣.١. المعاملات المدخلة بواسطة المستخدم

المستخدم هو المسؤول عن توفير معلومات التكاليف التالية اللازمة لتحليل تكاليف دورة الحياة :
تكلفة خلطات الخرسانة (بما في ذلك مثبتات التآكل) لاستراتيجيات الحماية من التآكل المختلفة قيد الاعتبار ،
التكلفة ، التغطية ، وتوقيت الترميم ،

معدل التضخم ، i ،

معدل التخفيض الحقيقي r .

Life-365 يوفر التكاليف الافتراضية التالية لحديد التسليح وتشمل ما يلي :

الصلب الأسود = $(\$0.45/\text{lb}/1.00)$ (kg \$)

قضبان حديد التسليح المغلفة بالإيبوكسي $(\$1.33/\text{lb}/\$0.60)$ (kg \$)

الحديد المقاوم للصدأ $(\$2.99/\text{lb}/\$6.60)$ (kg \$)

وينبغي للمستخدم مراجعة وإذالزمه من تغيير تكاليف هذه المواد لتعكس على نحو أفضل التكاليف الفعلية للمشروع في منطقتهم هنا يتم استخدام العملة بالدولار الأمريكي البرنامج يسمح فقط باستخدام العملة الأمريكية في حساباته لـ LCC. في الواقع يمكن للمستخدم إدخال البيانات فقط بالدرهم وسوف يتم تقييمها باستخدام علامة دولار وهو ما سيعني درهماً على سبيل المثال ، مستخدم يريد استخدام هذا البرنامج لتقييم تكلفة العمر التشغيلي يحتاج أولاً إدخال تكلفة معلومات التكلفة المذكورة آنفاً والتي على سبيل المثال عن تكلفة الصلب الأسود الذي يحدث يكون ٤ دراهم للكيلوغرام الواحد في السوق المحلية. وبعد ذلك يقوم المستخدم بإدخال في خانة تكلفة حديد التسليح العادي الرقم ٤. البرنامج سيفهم على أنها \$4، ولكن المستخدم يضع في اعتباره أن علامة الدرهم ١ ن\$. ولذلك سوف تكون التكلفة اجمالية محسوبة بالدرهم من المهم أن نعرف أن المستخدم لا يمكن إضافة أي معاملات إضافية حيث إن البرنامج لا يسمح بهذه الإضافات نظراً أنه «كتاب مغلق» للمستخدم.

4. احتساب تكلفة دورة الحياة

1. 4. حسابات القيمة الحالية

يتم احتساب تكلفة دورة الحياة على أنها مجموع تكاليف البناء الأولية مع خصم تكاليف الترميم في المستقبل على مدى الحياة للمنشأ. يتم حساب تكاليف البناء الأولية بأنها مجموع تكاليف الخرسانة ، تكاليف الحديد (أو أي تسليح آخر) ، وأية تكاليف حماية سطحية (غشاء أو مانع تسرب). ويعبر عن تكلفة دورة الحياة سواء بالدولار أو دولار لكل وحدة مساحة من المنشأ (على سبيل المثال دولار لكل متر مربع). وتحسب تكاليف الترميم في المستقبل على أساس "القيمة الحالية" باستخدام معدل التضخم ، i ، معدل التخفيض الحقيقي ، r ، وتقدم من قبل المستخدم. ويتم احتساب القيمة الحالية ، PW ، للتكلفة في المستقبل c كما في السنة t كما يلي في المعادلة رقم 6.

$$\text{Eq. 6} \quad PW = c \left(\frac{1+i}{1+r} \right)^t$$

يتم احتساب جميع تكاليف الترميم في المستقبل على مدى العمر التصميمي للمنشأ كما يلي.

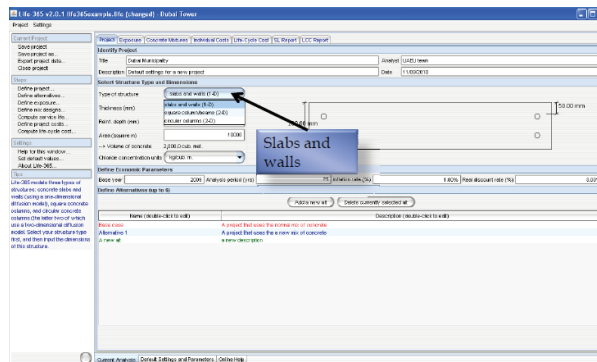
5. مثال

مثال افتراضي لمبنى يقع في دبي سيحدد لتقديم ميزات البرنامج باستخدام نهج خطوة خطوة.

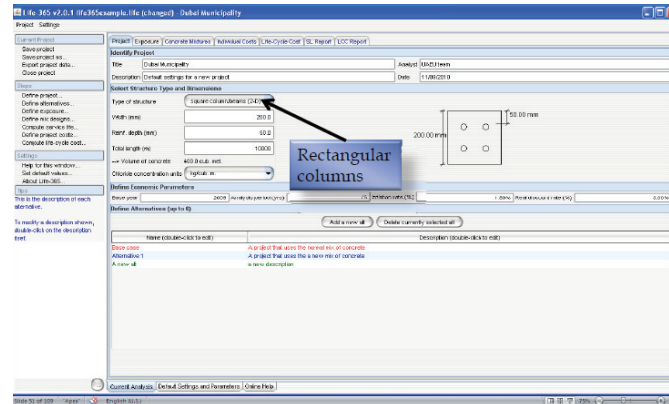
1. 5. الخطوة 1 -- التعريف بالمشروع

في هذه الخطوة يعرف المستخدم المعاملات التالية :

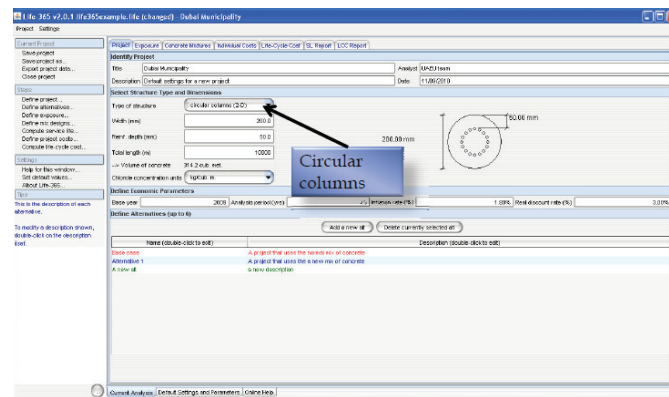
- تحديد المشروع
- حدد نوع المنشأ والأبعاد (الأشكال من 7 إلى 9)
- تعريف المعاملات الاقتصادية (شكل 10)
 - سنة الأساس
 - فترة التحليل
 - معدل التضخم (%)
 - معدل التخفيض الحقيقي (%)
- تحديد البدائل



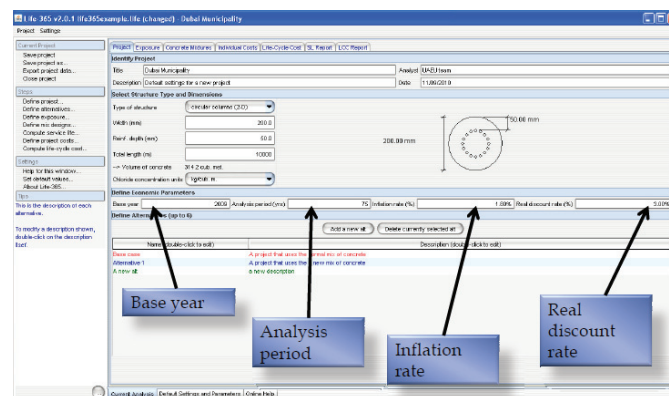
الشكل (7) : تحديد نوع المنشأ كبلطات وحوائط (Life 365v2.0)



الشكل (8) : تحديد نوع المنشأ كأعمدة مستطيلة (Life 365v2.0)



الشكل (9) : تحديد نوع المنشأ كأعمدة دائرية (Life 365v2.0)

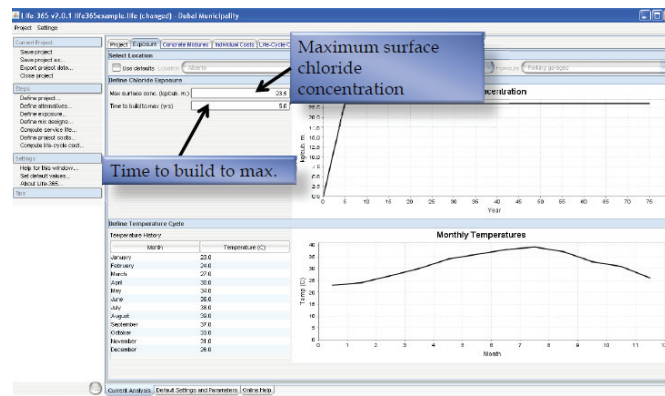


الشكل (10) : تحديد سنة الأساس ، فترة التحليل ، ومعدل التضخم ومعدل التخفيض الحقيقي Life (365v2.0)

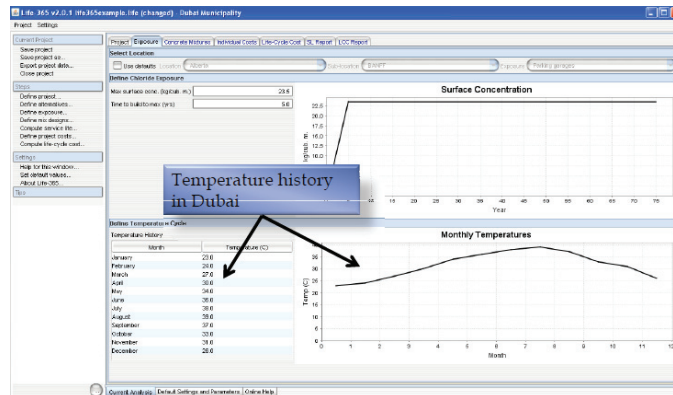
2.5. الخطوة ٢ : التعرض

في هذه الخطوة ، يعرف المستخدم المعاملات التالية :

- تحديد المكان
- تعريف التعرض للكلوريد (الشكل (11))
- أعلى تركيز للسطح.
- وقت الوصول للحد الأقصى (سنوات)
- تحديد دورة درجة الحرارة (الشكل (12))



الشكل (11) : تحديد الحد الأقصى لتركيز الكلوريدات السطحية والحد الأقصى لوقت البناء (Life 365v2.0)

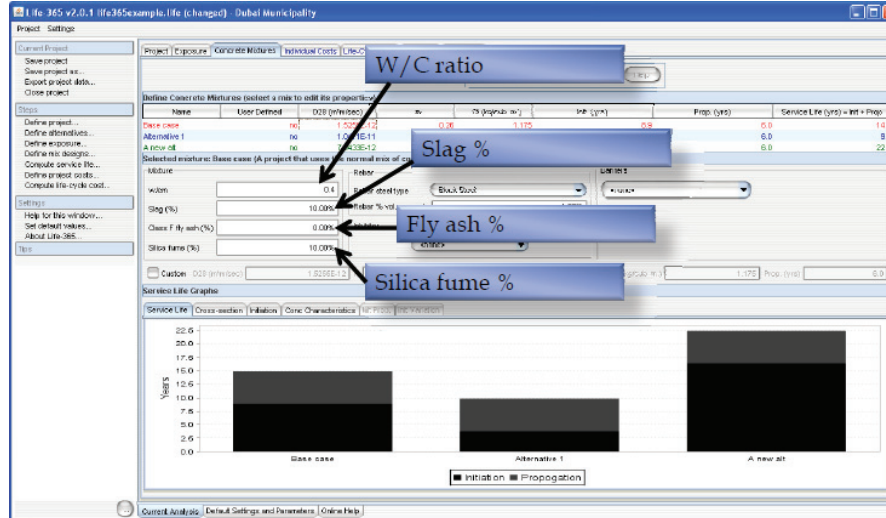


الشكل (12) : تحديد تاريخ درجة الحرارة في دبي (Life 365v2.0)

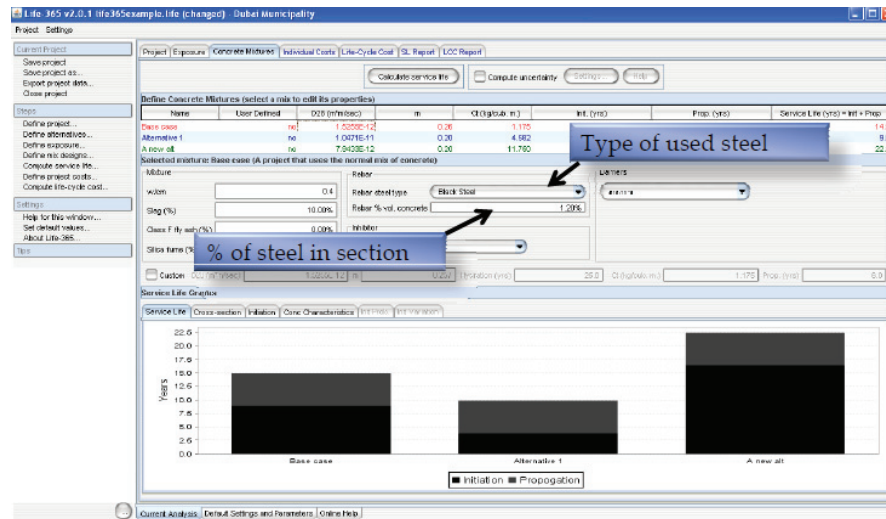
3.5. الخطوة 3 : خلطات الخرسانة

في هذه الخطوة يعرف المستخدم المعاملات التالية لمنشأ جديد أو جزء من المنشأ أو عنصر إنشائي (الأشكال 13 ، 14) : للمنشآت المرممة ، Life 365 يسمح بالأخذ في الاعتبار نوع الترميم الذي يصاحبه زيادة في القطاع الخرساني فقط نتيجة استخدام خرسانة إضافية أو مواد اسمنتية. برنامج Life 365 لا يعتمد أي مواد أخرى للترميم. ويعتقد أن أحدث نسخة من البرنامج يمكن أن تأخذ في الاعتبار توقعات دورة الحياة لترميم المنشآت باستخدام مواد أخرى.

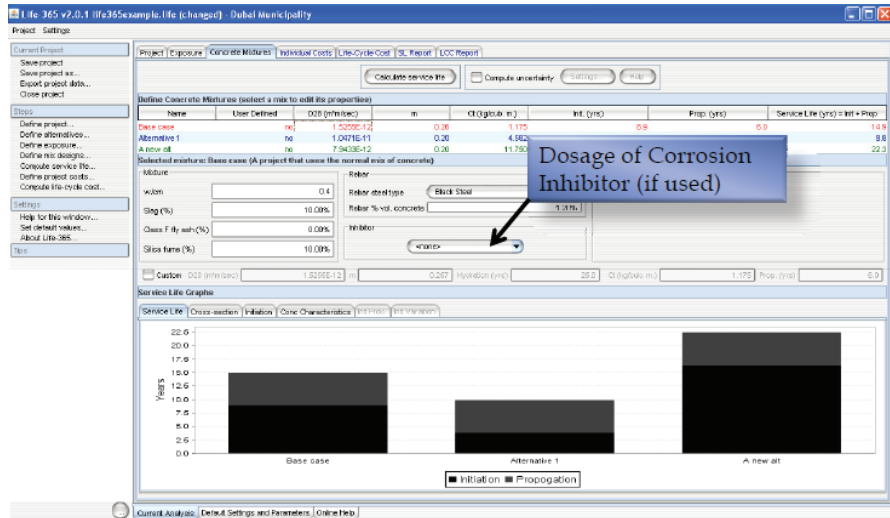
- تعريف خلطات الخرسانة المستخدمة و حديد التسليح (أشكال 13 ، 14) :
- اختيار الخلطة و مثببات التآكل أو الحاجز الخارجي (أرقام 15 ، 16) :
- الرسوم البنائية للعمر التشغيلي (الاشكال 17) :



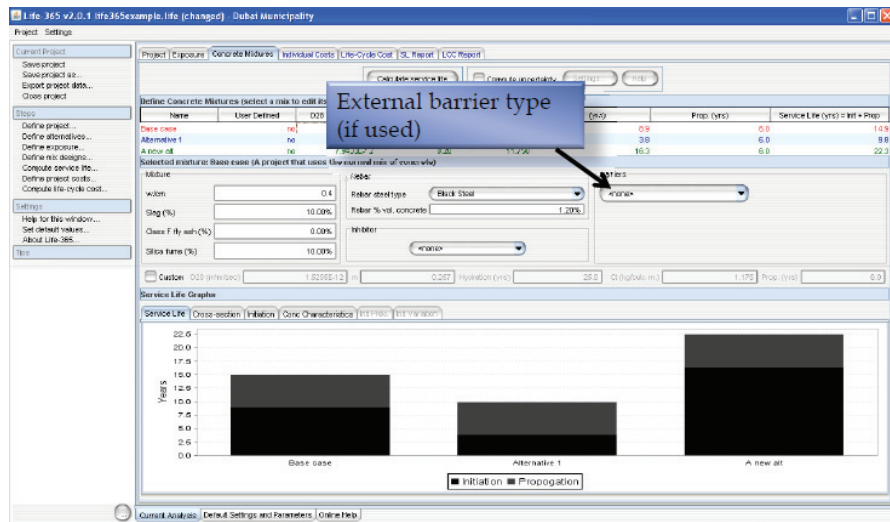
الشكل (13) : تحديد نسبة محتوى الماء والاسمنت / بلاطة ، الرماد المتطاير / دخان السيليكا (Life 365v2.0)



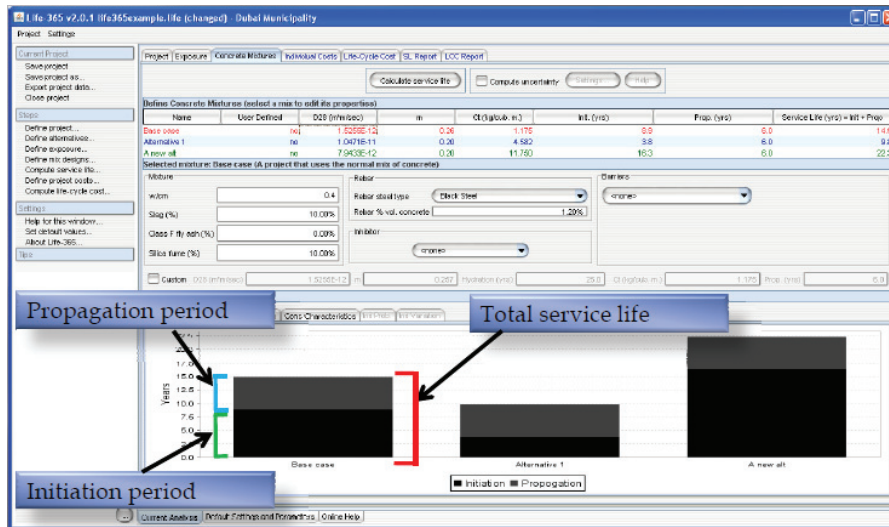
الشكل (14) : تحديد % الحديد في القطاع ونوع الحديد المستخدم (Life 365v2.0)



الشكل (15) : تحديد جرعة مثبطات التآكل (Life 365v2.0)



الشكل (16) : تحديد نوع الحاجز الخارجي (Life 365v2.0)



الشكل (17) : الحصول على فترة التحفيز وفترة الانتشار وإجمالي العمر التشغيلي (Life 365v2.0)

4.5. تبويب التكاليف المنفصلة

خطوة التكاليف المنفصلة (الأشكال 18 ، 19) يتم فيها السماح بإضافة التكاليف المختلفة لأجزاء الخرسانة وعرض ما لديها من تأثير على التكاليف الرئيسية و التي مجتمعة تشكل تكلفة دورة الحياة. ويمكن تعريف المعاملات التالية :

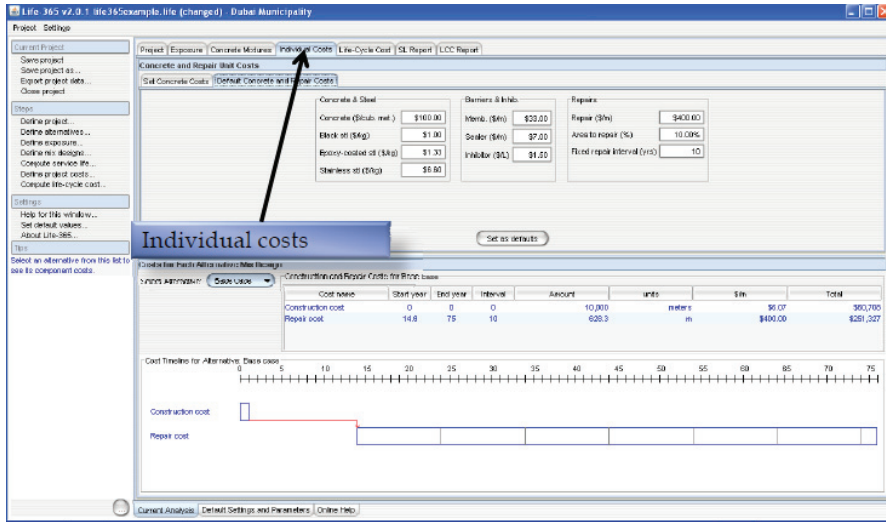
- ضبط تكاليف الخرسانة
- الخرسانة الأساسية وتكاليف الترميم
- تكاليف كل خلطة
- جدولة التكلفة

The screenshot shows the 'Set Concrete Costs' dialog box with the 'Default Concrete and Repair Costs' tab selected. It contains three sections of input fields:

- Concrete & Steel:** Concrete (\$/cub. m.) = \$100.00, Black stl (\$/kg) = \$1.00, Epoxy-coated stl (\$/kg) = \$1.33, Stainless stl (\$/kg) = \$6.80.
- Barriers & Inhib.**: Memb. (\$/sq. m) = \$33.00, Sealer (\$/sq. m) = \$7.00, Inhibitor (ML) = \$1.50.
- Repairs:** Repair (\$/sq. m) = \$400.00, Area to repair (%) = 100%, Fixed repair interval (yrs) = 10.

A 'Set as defaults' button is located at the bottom of the dialog.

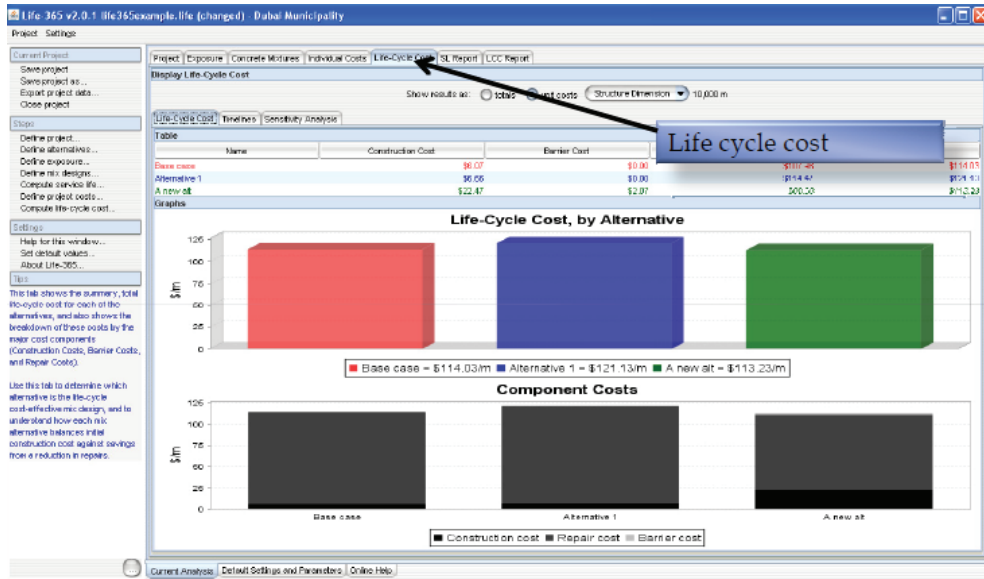
الشكل (18) : الخرسانة الأساسية وتكاليف الترميم (Life 365v2.0)



الشكل (19) : تحديد التكاليف المنفصلة (Life 365v2.0)

5.5. تبويب تكاليف دورة الحياة

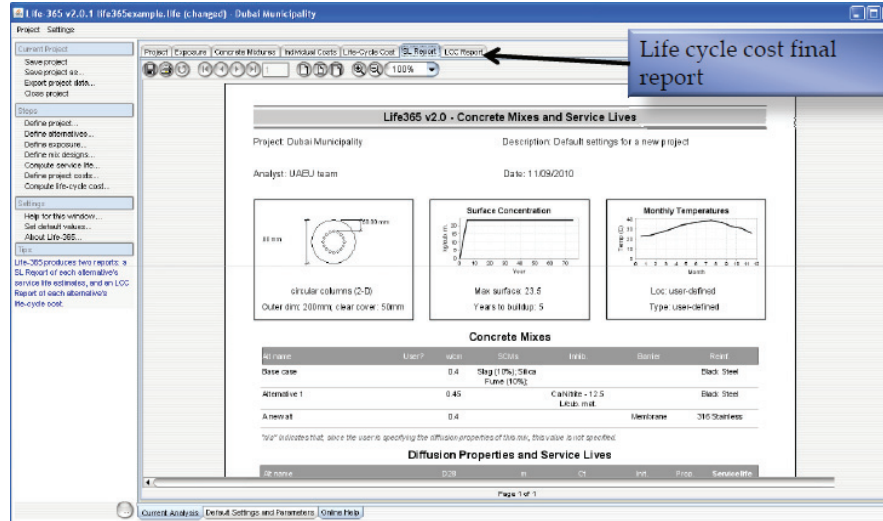
عند إدخال التكاليف البيئية العامة، والمنفصلة، يمكن مقارنة ناتج تكاليف دورة الحياة للخلطات الخرسانية في تبويب تكاليف دورة الحياة، الشكل (20).



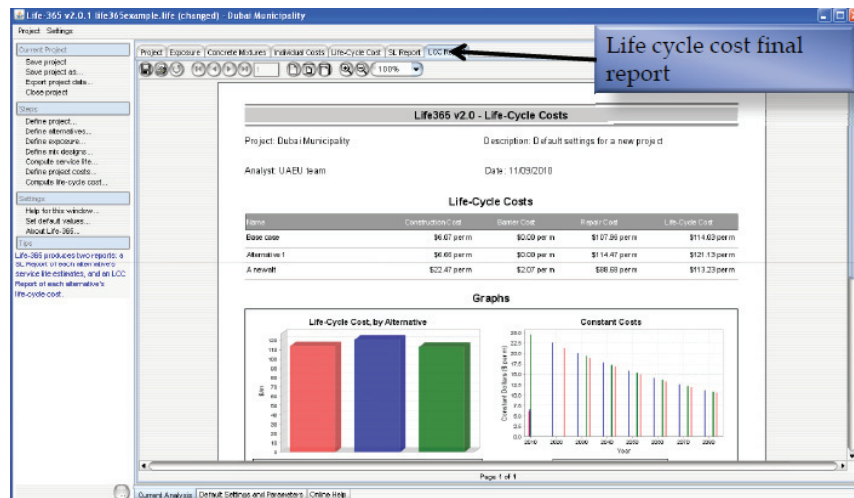
الشكل (20) : تكلفة دورة الحياة (Life 365v2.0)

6.5. تقارير العمر التشغيلي وتكاليف دورة الحياة

أخيرا ، Life-365 يوفر تقريرين محددين مسبقا عن المشروع الخاص بك : تقرير SL (عن "تقرير العمر التشغيلي" ؛ الشكل (20) ، وتقرير LCC (أو "تقرير تكلفة دورة الحياة" ؛ الشكل (21)). هذان التقريران يعنيان الكثير ولكن ليس كل المعاملات المستخدمة في التحليل الخاص بك. يمكن طباعة كل تقرير عن طريق الضغط على زر الطباعة في الجزء السفلي من الإطار. (إذا لم يكن لديك طابعة مثبتة ، Life-365 سيطلب منك التثبيت أولا).



الشكل (21) : تقرير العمر التشغيلي (Life-365v2.0)



الشكل (22) : تقرير تكلفة دورة الحياة (Life-365v2.0)

7.5. تأثير العوامل المختلفة على العمر التشغيلي

هنا ، يقدم مثالا افتراضيا من أجل تشغيل برنامج Life-375 ، والبرنامج سهل الاستخدام ؛ فقط اتبع الطريقة المعروضة في الأقسام السابقة من هذا الفصل. يمكن أن تتبع هذا الطريقة والخطوات عن المنشأ الخرساني بأكمله ، جزء منه ، أو لأي عضو إنشائي ، مثل بلاطة ، عمود ، كمر ، حائط ، وما إلى ذلك. استخدمنا هنا البيانات لنفس موقع وحالة المبنى نفسه المستخدم للعرض في القسم 5. لذلك ، لنفس مواقع وحالة المبنى ، يمكن الحصول على تأثير العوامل المختلفة على العمر التشغيلي. الجدول (3) يوضح قائمة بالعمر التشغيلي المقدر لعدد 36 بديلاً يمكن للمستخدم بالتأكد إعداد قائمة مختلفة من البدائل التي تتناسب مع المبنى الفعلي. وما ينبغي التأكيد عليه هنا هو أن هذا دليل على قدرة البرنامج الذي يراه فريق الباحثين الأداة المتاحة الأكثر ملاءمة وشمولا لتقييم العمر التشغيلي وتكلفة دورة الحياة. في هذه البدائل قد تم الحصول على تأثير العوامل التالية :

- نسبة محتوى الماء / الاسمنت ، خبث % ، رماد متطاير ، % دخان السيليكا
- نوع حديد التسليح
- نوع الحاجز و المثبط
- مؤشر اضمحلال الانتشار، وتركيز الكلوريد

الجدول(3): العمر التشغيلي مقدرا لعدد 36 بديلاً

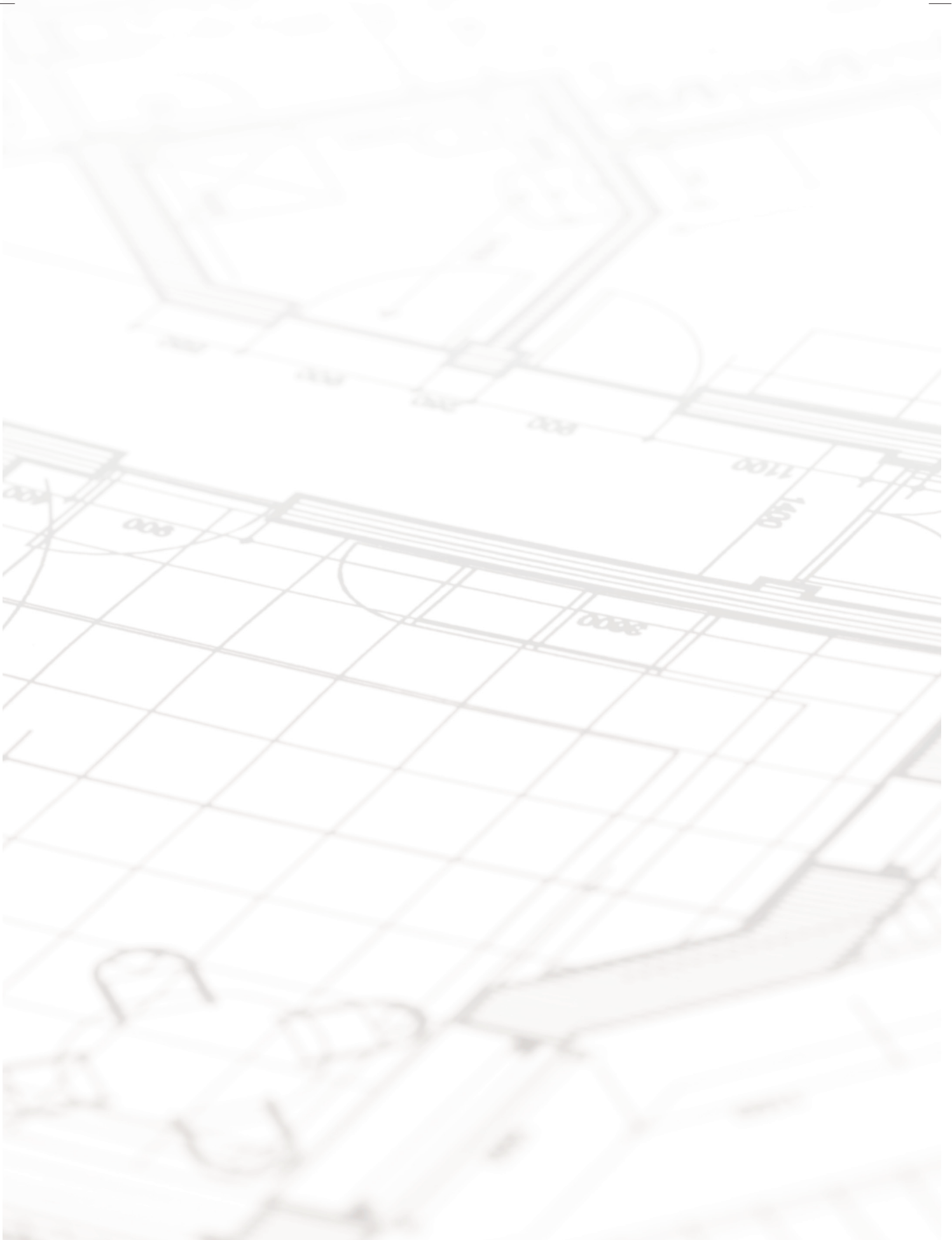
العمر التشغيلي (عاما)	Ct	m	المهبط L/m3	الحاجز	نوع حديد التسليح	دخان السيليكا %	الرماد المتطاير	الخبث %	الماء / الاسمنت	بديل.
15.3	1.175	0.2	لا يوجد	لا يوجد	الصلب الأسود	10	0	0	0.35	بديل. 0
8.7	1.175	0.28	لا يوجد	لا يوجد	الصلب الأسود	0	10	0	0.4	بديل. 1
12	1.175	0.2	لا يوجد	لا يوجد	الصلب الأسود	10	0	0	0.45	بديل. 2
9.7	1.175	0.34	لا يوجد	لا يوجد	الصلب الأسود	0	10	10	0.35	بديل. 3
14.9	1.175	0.26	لا يوجد	لا يوجد	الصلب الأسود	10	0	10	0.4	بديل. 4
8.5	1.175	0.34	لا يوجد	لا يوجد	الصلب الأسود	0	10	10	0.45	بديل. 5
27.1	5.64	0.2	15	لا يوجد	الصلب الأسود	10	0	0	0.35	بديل. 6
11.8	5.64	0.28	15	لا يوجد	الصلب الأسود	0	10	0	0.4	بديل. 7
18.5	5.64	0.2	15	لا يوجد	الصلب الأسود	10	0	0	0.45	بديل. 8
14.1	5.64	0.34	15	لا يوجد	الصلب الأسود	0	10	10	0.35	بديل. 9
26.9	5.64	0.26	15	لا يوجد	الصلب الأسود	10	0	10	0.4	بديل. 10
11.6	5.64	0.34	15	لا يوجد	الصلب الأسود	0	10	10	0.45	بديل. 11
23	1.175	0.2	لا يوجد	غشاء	الصلب الأسود	10	0	0	0.35	بديل. 12
13.9	1.175	0.28	لا يوجد	غشاء	الصلب الأسود	0	10	0	0.4	بديل. 13
18.7	1.175	0.2	لا يوجد	غشاء	الصلب الأسود	10	0	0	0.45	بديل. 14
16	1.175	0.34	لا يوجد	غشاء	الصلب الأسود	0	10	10	0.35	بديل. 15
23	1.175	0.26	لا يوجد	غشاء	الصلب الأسود	10	0	10	0.4	بديل. 16
13.8	1.175	0.34	لا يوجد	غشاء	الصلب الأسود	0	10	10	0.45	بديل. 17
29.3	1.175	0.2	لا يوجد	لا يوجد	تغليف بالايبيوكسي	10	0	0	0.35	بديل. 18
22.7	1.175	0.28	لا يوجد	لا يوجد	تغليف بالايبيوكسي	0	10	0	0.4	بديل. 19
26	1.175	0.2	لا يوجد	لا يوجد	تغليف بالايبيوكسي	10	0	0	0.45	بديل. 20
23.7	1.175	0.34	لا يوجد	لا يوجد	تغليف بالايبيوكسي	0	10	10	0.35	بديل. 21
28.9	1.175	0.26	لا يوجد	لا يوجد	تغليف بالايبيوكسي	10	0	10	0.4	بديل. 22
22.5	1.175	0.34	لا يوجد	لا يوجد	تغليف بالايبيوكسي	0	10	10	0.45	بديل. 23
31.8	1.175	0.2	لا يوجد	مانع تسرب ماء	تغليف بالايبيوكسي	10	0	0	0.35	بديل. 24
24.6	1.175	0.28	لا يوجد	مانع تسرب ماء	تغليف بالايبيوكسي	0	10	0	0.4	بديل. 25
28.2	1.175	0.2	لا يوجد	مانع تسرب ماء	تغليف بالايبيوكسي	10	0	0	0.45	بديل. 26
25.9	1.175	0.34	لا يوجد	مانع تسرب ماء	تغليف بالايبيوكسي	0	10	10	0.35	بديل. 27
31.6	1.175	0.26	لا يوجد	مانع تسرب ماء	تغليف بالايبيوكسي	10	0	10	0.4	بديل. 28
24.4	1.175	0.34	لا يوجد	مانع تسرب ماء	تغليف بالايبيوكسي	0	10	10	0.45	بديل. 29
43.9	5.64	0.2	15	مانع تسرب ماء	تغليف بالايبيوكسي	10	0	0	0.35	بديل. 30
28.2	5.64	0.28	15	مانع تسرب ماء	تغليف بالايبيوكسي	0	10	0	0.4	بديل. 31
35.2	5.64	0.2	15	مانع تسرب ماء	تغليف بالايبيوكسي	10	0	0	0.45	بديل. 32
30.9	5.64	0.34	15	مانع تسرب ماء	تغليف بالايبيوكسي	0	10	10	0.35	بديل. 33
44.2	5.64	0.26	15	مانع تسرب ماء	تغليف بالايبيوكسي	10	0	10	0.4	بديل. 34 *
28.1	5.64	0.34	15	مانع تسرب ماء	تغليف بالايبيوكسي	0	10	10	0.45	بديل. 35

* البديل مع أعلى تنبؤ بالعمر التشغيلي

6. مراجع

- A 775/A 775 M Standard Specification for Epoxy-Coated Reinforcing Steel Bars Steel Corrosion in Concrete, E & FN Spon, London, 1997, pp. 136 -139.
- Bamforth, P.B. 1998. "Spreadsheet model for reinforcement corrosion in structures exposed to chlorides." In Concrete Under Severe Conditions 2 (Ed. O.E. Gjorv, K. Sakai and N. Banthia), E&FN Spon, London, pp. 64- 75.
- Bentz, E.C. 2003. "Probabilistic modeling of service life for structures subjected to chlorides," Materials Journal, Vol. 100 (5), pp. 391 -397.
- Berke, N.S. and Rosenberg, A. 1989. «Technical Review of Calcium Nitrite Corrosion Inhibitor in Concrete», Transportation Research Record 1211, Concrete Bridge Design and Maintenance, Steel Corrosion in Concrete, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.
- Boddy, A., Bentz, E., Thomas, M.D.A. and Hooton, R.D. 1999. "An overview and sensitivity study of a multi-mechanistic chloride transport model." Cement and Concrete Research, Vol. 29, pp. 827- 837.
- Concrete Reinforcing Steel Institute. 1998. "Life-cycle costs reinforce epoxy-coated bar use," Concrete Products, Penton Media, Inc., p. 82.
- Frederiksen, J.M., Sorensen, H.E., Andersen, A., and Klinghoffer, O. 1997. HETEK, The Effect of the w/c ration on Chloride Transport into Concrete -Immersion, Migration and Resistivity Tests, Report No. 54.
- Frohnsdorff, G., 1999, Modeling Service Life and Life-Cycle Cost of Steel Reinforced Concrete, Report from the NIST/ACI/ASTM Workshop, November 91998 ,10-, National Institute of Standards and Technology Report NISTIR 6327, 43 p.
- Gjorv, O.E., Tan, K., and Zhang, M-H. 1994. «Diffusivity of Chlorides from Seawater into High-Strength Lightweight Concrete» ACI Materials Journal, Vol. 91 (5), pp. 447- 452.
- Glass, G.K. and Buenfeld, N.R. 1995. "Chloride threshold levels for corrosion induced deterioration of steel in concrete." Chloride Penetration into Concrete, (Ed. L.-O. Nilsson and J. Ollivier), pp. 429 -440.
- Life-365 v2.0: Service Life Prediction Model and Computer Program for Predicting the Service Life and Life-Cycle Costs of Reinforced Concrete Exposed to Chlorides, written by E. C. Bentz and M. D. A. Thomas, 2010.
- McDonald, D. B., and Pfeifer, D. W., "Epoxy-Coated Bars—State-of-the-Art," Proceedings of the Second Regional Conference and Exhibition, ASTM, Saudi Arabian Section, V. 2, Nov. 1995.
- Maage, M., Helland, S. and Carlsen, J.E. 1995. "Practical non-steady state chloride transport as a part of a model for predicting the initiation period." Chloride Penetration into Concrete, (Ed. L.-O. Nilsson and J. Ollivier), pp. 398 -406.
- MacDonald, D., Pfeiffer, D. and Sherman, M. 1998. "Corrosion evaluation of epoxy coated, metallic-clad, and solid metallic reinforcing bars in concrete." FHWA-RD-98153-, Federal Highways Administration, Washington, D.C.

- Gerald G. Miller, Jennifer L. Kepler, and David Darwin, 2003. "Effect of Epoxy Coating Thickness on Bond Strength of Reinforcing Bars", ACI Structural Journal, V. 100, No. 3, 1 -7.
- Samples, L. M., and Ramirez, J. A., Field Investigations of Existing and New Construction Concrete Bridge Decks, Research Series 6, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, Ill., 1999.
- Virmani, P., "Corrosion Evaluation of Epoxy Coated, Metallic Clad, and Solid Metallic Reinforcing Bars in Concrete", FHWA-RD-98- 153.



VIII - تحسين خصائص مقاومة صدأ حديد التسليح

1. مقدمة

في السنوات الأخيرة، تم توجيه مزيد من التركيز والاهتمام على بناء منشآت خرسانية ذات ديمومة عالية وفعالة وكذلك منخفضة التكلفة. هذا يرجع إلى زيادة تكلفة الترميم والصيانة، والتي قد تكون مماثلة لتكلفة بناء منشأ جديد في كثير من الحالات. إن مصطلح "تكلفة التصميم الأمثل" للمنشآت الخرسانية الجديدة لم يعد من المصطلحات الغريبة للملاك والاستشاريين والمهندسين.

ضمان المتانة والتحمل مع الزمن (الديمومة) للمنشأ الخرساني هي بالتأكيد ليست عملية بسيطة وثابتة. فهي تتطلب تعريفات واضحة، وفهم للمسؤوليات والتعاون. تصميم المتانة والتحمل مع الزمن للمنشأ الخرساني يحتاج إلى أن يتم دراسة كل حالة على حدة اعتماداً على أساس التعرض للبيئة وبقصد العمر التشغيلي للمنشأ.

تدهور منشآت الخرسانة المسلحة الناتج من صدأ حديد التسليح يحدث عندما يكون التحميل البيئي على المنشأ أكبر من قدرة المنشأ على مقاومة التحميل البيئي (المقاومة البيئية). وهذا يمكن أن يقلل من تأثير التحميل البيئي أو زيادة المقاومة أو عمل مزيج من الاثنين معاً.

ويمكن أيضاً أن يحدث التآكل وصدأ حديد التسليح نتيجة لعمليات التدهور الأخرى مثل: هجوم الكبريتات، التصدع الحراري، وما إلى ذلك، الترخيم المفرط، وهذه العمليات تسبب تصدع الخرسانة، والذي يسمح لاحقاً للمياه والكلوريدات بسهولة الوصول إلى المناطق الداخلية من الخرسانة و أسياخ حديد التسليح. هذه الآليات الأخرى للتدهور تخلط ظروفاً أكثر ملاءمة لتآكل وصدأ أسياخ حديد التسليح، الأمر الذي يؤدي إلى مزيد من التدهور في الخرسانة.

العوامل التي تؤثر على تآكل قضبان حديد التسليح المدمجة في الخرسانة هي كمية أيونات الكلوريدات عند مستوى الحديد، ومقاومة الخرسانة، ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية (على الصعيدين الداخلي والخارجي) والبناء المجهري الدقيق للخرسانة. ومن خلال التحكم في هذه العوامل، يمكن التقليل من تآكل أسياخ حديد التسليح مما يؤدي إلى تقليل تدهور الخرسانة. هذه هي الخطوة الأولى في معظم استراتيجيات مكافحة التآكل وصدأ حديد التسليح، بالإضافة إلى غيرها من أنظمة الحماية المناسبة للتآكل. وتصنف نظم أو طرق مكافحة التآكل إلى ميكانيكية أو كهروكيميائية.

الطرق الميكانيكية هي الحواجز المادية التي تمنع أو تؤخر دخول الكلوريدات، والأوكسجين، والرطوبة من خلال الغطاء الخرساني لحديد التسليح. وهي تشمل الإضافات، موانع التسرب والأغشية، التراكب، وتغليف أسياخ حديد التسليح. وتستخدم موانع التسرب والأغشية المصنوعة من مواد مثل الراتنجيات، الإيبوكسيات، والمستحلبات، وما إلى ذلك للحد من دخول المواد الضارة. إن استخدام الأسمنت البورتلاندي، تقليل هبوط الخرسانة الطازجة وزيادة كثافة الخرسانة، والخرسانة المعدلة بغبار السيليكا، وخرسانة تراكيب البوليمر يعتبر من الطرق المستخدمة في ذلك. طرق التغليف المستخدمة على أسياخ حديد التسليح إما أن تكون من النوع العضوي أو المعدني. التغليف العضوي ويشمل التغليف اللامعدني والإيبوكسي. التغليف المعدني يشمل مواد مثل النيكل، الحديد المقاوم للصدأ، والزنك. التغليف بالنيكل والحديد المقاوم للصدأ تحمي أسياخ الحديد بكونها حاجزاً، وذلك لكونها أكثر مقاومة للتآكل من أسياخ الحديد التقليدية. تغليف الزنك يحمي الحديد لكونه يضحى عنه أو أكثر نشاطاً (أي أن لديه إمكانات أكبر من الحديد للتآكل). استخدام مواد مقاومة التآكل وتشمل قضبان الألياف المسلحة بالبوليمر (Fiber Reinforced Polymers - FRP).

الطرق الكهروكيميائية تدفع قضبان حديد التسليح لتكون كاثودية وهي تشمل استخراج الكلوريدات والحماية الكاثودية. وعادة ما يستخدم استخراج أيون الكلوريد والحماية الكاثودية في إعادة تأهيل منشآت الخرسانة المسلحة، وليس كإجراء للتحكم في التآكل في البناء الجديد.

هناك ثلاث فئات من المتغيرات التي تؤثر على عمليات التآكل والتدهور وامتداد التدهور الناجم عن تآكل الخرسانة المسلحة للأعضاء من الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد:

- المتغيرات البيئية.
- المواد.
- التصميم.

متغيرات المواد لصنع خرسانة متينة ودائمة تشمل نوع الاسمنت والمواد الاسمنتية التكميلية

(Supplementary Cementing Materials - SCM) مثل خبث الأفران العالية وغبار السيليكا والرماد المتطاير، نسب مكونات الخلطات، وجودة الركام، ونسبة الماء للاسمنت.

وتشمل متغيرات التصميم سمك الغطاء الخرساني ، خواص الخرسانة المتصلبة (مقاومة الضغط) ، والأقطار والمسافات بين قضبان حديد التسليح ، وكفاءة الصرف من المنشأ.

وتشمل المتغيرات البيئية مصدر أيونات الكلوريدات ؛ أيونات الكبريتات ودرجات الحرارة القصوى ؛ دورات الترطيب والجفاف ودرجة الرطوبة النسبية ، وإلى حد معين الأحمال الحية المؤثرة. لا يمكن التحكم بصورة كبيرة على المتغيرات البيئية، ولكن على الجانب الآخر فإنه يمكن ضبط المواد ومتغيرات التصميم لبناء منشآت خرسانية متينة يمكن أن تقاوم التآكل الناجم عن التدهور في البيئات المواتية لبدء وتحفيز عملية التآكل.

متانة المنشأ الخرساني ولاسيما في البيئات القاسية تم التركيز عليها في العقدتين الماضيتين، و يصنف تدهور المنشآت الخرسانية بسبب التآكل والصدأ الناجم عن التسايح على أنه السبب الأول في جميع أنحاء العالم، القضايا الرئيسية التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار لتحسين حماية الخرسانة لتآكل حديد التسليح يشمل تصميم المواد والبناء.

الأقسام التالية تعطي استعراضاً للأحكام وأحكام تصميم البناء. أيضا تضمن استعراضاً لكيفية اختيار مواد الخرسانة. سوف يقدم التقرير معلومات عن نظم الحماية من التآكل مثل مثبتات التآكل، وحواجز الحماية الخارجية والحماية الكاثودية.

2. اختيار أنظمة الحماية

إن استراتيجية الحماية المناسبة للتآكل سوف تختلف من منشأ إلى منشأ. بعض العوامل التي ينبغي النظر فيها خلال تصميم المنشأ تشمل :

- العمر التصميمي المتوقع للمنشأ.
- آثار الصدأ والتآكل الناجم عن التدهور (أي التكاليف نتيجة الإغلاق إما دائم أو ترميم مؤقت).
- جودة البناء (والتي تتضمن الدمك الجيد للخرسانة أثناء التنفيذ والوضع الصحيح لحديد التسليح ، وسمك الغطاء الخرساني لقضبان حديد التسليح ، وغيرها من التدابير).
- الطرق الممكنة لإعادة التأهيل (أي أن تصميم المنشآت يجب أن يتضمن أحكاما لإعادة التأهيل في المستقبل نتيجة التآكل الناجم عن التدهور).
- التكاليف الأولية (أي تكاليف دورة الحياة).

نظرا لزيادة تكاليف إعادة التأهيل والاستبدال ، تصبح تدابير مراقبة التآكل أكثر فعالية من حيث التكلفة. قد يكون العديد من استراتيجيات الحماية فعالة من حيث التكلفة على المدى الطويل للحماية من التآكل. واحدة من هذه الاستراتيجيات هو استخدام حديد التسليح المجلفن أو FRP أو استخدام مثبتات التآكل السطحي أو موانع التسرب السطحية بالتعاون مع خرسانة متينة دائمة تحتوي على نفاذية منخفضة، ومحافظة على غطاء خرساني كافي أثناء البناء. ومع ذلك، هناك حاجة لتحقيق التوازن بين التكاليف الإضافية لتدابير الرقابة الإضافية وإلى مدى يمكن أن يتوقع إضافة للعمر التشغيلي نتيجة لتدابير الرقابة المضافة.

يمكن عادة تبرير التكاليف الإضافية على أساس تحليل تكاليف دورة الحياة. بعض العوامل التي ينبغي أخذها في الاعتبار عند اختيار تدابير مراقبة التآكل وتشمل :

- كيفية فسوة البيئة في مكان موقع المنشأ.
 - فعالية نظم الحماية .
 - إمكانية التركيب مستقبلا لتدابير رقابة أخرى.
 - متوسط العمر المتوقع للقياس.
 - أي تكاليف إضافية.
 - أي آثار على التكلفة للعناصر الأخرى في المنشأ.
- ويمكن تجميع استراتيجيات حماية للتآكل لأسياخ حديد التسليح في الخرسانة في الفئات التالية :

- التصميم.
- الخرسانة.
- مثبتات التآكل.
- موانع التسرب السطحية.
- نوع التسليح.

فئة التصميم تتضمن :

- قوة تحمل الضغط.
- الحد الأقصى المسموح به لعرض الشرخ.
- توزيع التسليح.

فئة الخرسانة تشمل :

- نسبة الماء للاسمنت.
- مواد إحلال بديلة للاسمنت مثل غبار السيليكا ، الرماد المتطاير ، والخبث.
- إضافات الخرسانة مثل اللاتكس ، الإيبوكسي ، وخلطات البوليمر.
- نوع الاسمنت.
- جودة الركام.

فئة المثبطات والمعالجة السطحية تشمل :

- أنظمة مثبطات التآكل (العضوي غير العضوي).
- موانع التسرب السطحية.

فئة التسليح يشمل بنودا مثل :

- القضبان المجلفنة.
- قضبان الحديد المقاوم للصدأ.
- القضبان غير المعدنية (FRP).

3. الأحكام العامة للتصميم

هي عموما تفاصيل التصميم التي تؤثر على الأداء العام ومتانة المنشآت الخرسانية. بعض عوامل التصميم التي تؤثر على متانة المنشآت الخرسانية تشمل :

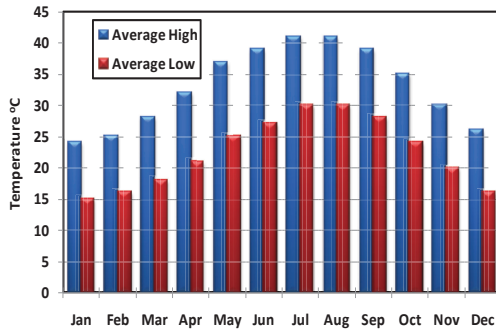
- التعرض البيئي.
- ميل الخرسانة للتصدع.
- قوة تحمل الضغط.
- الغطاء الخرساني
- التفاصيل المعمارية والإنشائية (الفواصل (إن وجدت) ، والصرف ، وطرق الوصول للتفتيش والصيانة ، إلخ).

العوامل البيئية والتي سوف يتعرض إليها المنشأ يجب أن تحدد بعناية من أجل تحديد مدى خطورة التعرض لأنواع مختلفة قاسية. هذه الخطوة مهمة جدا في بداية عملية التصميم من أجل تحديد نوعية خرسانة مناسبة لهذا التعرض. في بعض الحالات ، فإن قوة التحمل اللازمة لمستوى التعرض سوف تجاوز تلك المطلوبة للتصميم الإنشائي. أيضا، سيتم تحديد الحد الأدنى من جودة الخرسانة ، التي يعبر عنها في شكل نسبة الماء / الاسمنت الأقصى و / أو الحد الأدنى للمحتوى الاسمنتي و / أو نوع الاسمنت، ستحدد في مواصفات المشروع وأثناء عملية البناء. الجدول رقم (1) ، من (BS 8110-1:1997 and BS 5328 1:1997) سوف يسرد ظروف التعرض المختلفة للمنشآت الخرسانية. الجدول 2 من (BS 8110-1:1997) سوف يسرد قوائم الحد الأدنى لجودة الخرسانة المطلوب لكل حالة تعرض. يتم سرد جداول مماثلة في (EN 206-1:2000). وبالمثل ، يتم سرد ظروف التعرض المختلفة الحد الأدنى لجودة الخرسانة ، و وفقا لـ (CIRIA C577 – 2002) ، في الجدولين (4 و 5). بينما يتم سرد متطلبات ظروف التعرض الخاصة وفقا لـ (ACI 318M) 05 – في الجداول (5 و 6 و 7 و 8). في حين، يتم سرد الحد الأدنى من الغطاء الخرساني لحماية التسليح وفقا لـ (ACI 318M – 05) في الجدول (9).

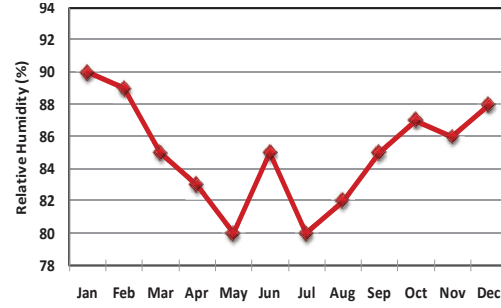
وتتميز الظروف البيئية في دبي بما يلي :

- متوسط درجات الحرارة العالية والرطوبة النسبية على مدار السنة كما هو مبين في الشكل (1).
 - ارتفاع منسوب المياه الجوفية (1-2 متر تحت مستوى سطح الأرض) وهي نسبة مرتفعة في الكبريتات و / أو تركيز الكلوريدات.
 - تواجد نسبة عالية من الأملاح في الجو.
 - مياه الخليج تعتبر واحدة من أعلى المعدلات في العالم فيما يتعلق بتركيز الكلوريد.
- لذا ، يمكن أن تصنف الأجزاء الخارجية ، المنشآت تحت الأرض في دبي على أنها تتعرض لظروف قاسية للغاية.

المتوسط الشهري لدرجات الحرارة في مدينة دبي



المتوسط الشهري للرطوبة في مدينة دبي



الشكل (1) : متوسط أحوال الطقس على مدار العام لمدينة دبي

الجدول رقم (1) : تصنيف حالة التعرض (1:1997-and BS 5328 1:1997-BS 8110)

Environment	Exposure conditions
Mild	Concrete surfaces protected against weather or aggressive conditions
Moderate	Exposed concrete surfaces but sheltered from severe rain or freezing whilst wet Concrete surfaces continuously under non-aggressive water Concrete in contact with non-aggressive soil (see sulfate class 1 of Table 7a in BS 5328-1:1997) Concrete subject to condensation
Severe	Concrete surfaces exposed to severe rain, alternate wetting and drying or occasional freezing or severe condensation
Very severe	Concrete surfaces occasionally exposed to sea water spray or de-icing salts (directly or indirectly) Concrete surfaces exposed to corrosive fumes or severe freezing conditions whilst wet
Most severe	Concrete surfaces frequently exposed to sea water spray or de-icing salts (directly or indirectly) Concrete in sea water tidal zone down to 1 m below lowest low water
Abrasive ^a	Concrete surfaces exposed to abrasive action, e.g. machinery, metal tyred vehicles or water carrying solids
NOTE 1 For aggressive soil and water conditions see 5.3.4 of BS 5328-1:1997.	
NOTE 2 For marine conditions see also BS 6349.	
^a For flooring see BS 8204.	

الجدول (2): الحد الأدنى لجودة الخرسانة لظروف التعرض المختلفة (1:1997-BS 5328)

Condition of exposure	Type of concrete	Maximum free w/c ratio	Minimum cement content	Minimum grade
Mild	Unreinforced non-structural	—	—	—
	Unreinforced structural ²⁾	0.80	220	C20
	Reinforced	0.65	275	C30
	Prestressed	0.60	300	C35
Moderate	Unreinforced non-structural	—	—	—
	Unreinforced structural ²⁾	0.65	275	C30
	Reinforced and prestressed	0.60	300	C35
Severe	Unreinforced	0.60	300	C35
	Reinforced and prestressed	0.55	325	C40
Very severe	All ³⁾	0.55	325	C40
Most severe	Unreinforced ³⁾	0.50	350	C45
	Reinforced and prestressed ³⁾	0.45	400	C50
Abrasive	All ³⁾	0.50	350	C45

1) Adjustments to minimum cement content should be made for aggregates of nominal maximum size other than 20 mm in accordance with table 8.

2. For concrete made with normal-weight aggregate and used in foundations and slabs to low rise structures in non-aggressive soil conditions (see class 1 of table 7a), a minimum grade of C10 may be used provided the minimum cement content is not less than 175 kg/m³ for designated mixes and 210 kg/m³ for other types of concrete.

3. Where concrete is subject to freezing whilst wet, air entrainment should be used. In the case of air entrained concrete the grade may be reduced by 5.

NOTE. For concrete containing embedded metal, the values represent the minimum quality recommended and depend upon the provision of adequate cover. The relationships between quality of concrete and cover are given in relevant codes of practice. Concrete quality alone may not provide sufficient protection for long-term durability in the presence of de-icing salts.

الجدول رقم(3): تصنيف حالة التعرض (CIRIA C577 - 2002)

Exposure condition	Location
a	Superstructure inland with no risk of windborne salts
b	Superstructures in areas of salt flats, inland or near the coast, exposed to windborne salts
c	Parts of structures in contact with soil, well above capillary rise zone, with no risk of water introduced at the surface by irrigation, faulty drainage systems, washing down etc.
d	Parts of structures in contact with the soil, within the capillary rise zone, below groundwater level, or where water may be introduced at the surface by irrigation, discharge of wastes, washing down etc. These situations all lead to a potential for the concentration of aggressive salts by evaporation (i) Significant sulfate contamination only (ii) Significant chloride contamination only (iii) Significant contamination with both sulfates and chlorides
e	Marine structures (splash zone)
f	Water-retaining structures (including sewage treatment plants)

الجدول (4): الحد الأدنى لجودة الخرسانة لظروف التعرض المختلفة (CIRIA C577 - 2002)

Exposure condition	Cementitious material(s)	Minimum cementitious content for 20mm aggregates (kg/m ³)	Maximum free-water/cement ratio**	Minimum cover to reinforcement (mm)
a	Portland cement or additions	300-320	0.52	30
b		320	0.5	40
c*		320-350	0.45	40-50
d(i), (ii) or (iii)		320-400	0.42	40-50
e and f	Portland cement blends with additions	370-400	0.40	100-150

* When concrete is cast directly in contact with soil the minimum cover should be increased to 75mm.

** On well supervised projects free-water/cement ratios down to 0.35 have been successfully achieved using the latest generation of superplasticizer.

الجدول (5): متطلبات ظروف التعرض الخاصة (ACI 318M - 05)

Exposure condition	Maximum water-cementitious material ratio*, by weight, normalweight concrete	Minimum f_c' , normal-weight and light-weight concrete, MPa*
Concrete intended to have low permeability when exposed to water	0.50	28
Concrete exposed to freezing and thawing in a moist condition or to deicing chemicals	0.45	31
For corrosion protection of reinforcement in concrete exposed to chlorides from deicing chemicals, salt, salt water, brackish water, seawater, or spray from these sources.	0.40	35

الجدول (6): متطلبات الخرسانة المعرضة للمواد الكيميائية الذائبة (ACI 318M - 05)

Cementitious materials	Maximum percent of total cementitious materials by weight*
Fly ash or other pozzolans conforming to ASTM C 618	25
Slag conforming to ASTM C 989	50
Silica fume conforming to ASTM C 1240	10
Total of fly ash or other pozzolans, slag, and silica fume	50 [†]
Total of fly ash or other pozzolans and silica fume	35 [†]

* The total cementitious material also includes ASTM C 150, C 595, C 845, and C 1157 cement.

The maximum percentages above shall include:

(a) Fly ash or other pozzolans present in Type IP or I(PM) blended cement, ASTM C 595, or ASTM C 1157;

(b) Slag used in the manufacture of a IS or I(SM) blended cement, ASTM C 595, or ASTM C 1157;

(c) Silica fume, ASTM C 1240, present in a blended cement.

[†] Fly ash or other pozzolans and silica fume shall constitute no more than 25 and 10 percent, respectively, of the total weight of the cementitious materials.

الجدول (7): متطلبات الخرسانة المعرضة لمحاليل تحتوي على كبريتات (ACI 318M - 05) و (ACI 201.2R - 01)

Sulfate exposure	Water soluble sulfate (SO ₄) in soil, percent by weight	Sulfate (SO ₄) in water, ppm	Cement type	Maximum water-cementitious material ratio, by weight, normalweight concrete*	Minimum f _c ' normal-weight and lightweight concrete, MPa
Negligible	0.00 ≤ SO ₄ < 0.10	0 ≤ SO ₄ < 150	—	—	—
Moderate†	0.10 ≤ SO ₄ < 0.20	150 ≤ SO ₄ < 1500	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0.50	28
Severe	0.20 ≤ SO ₄ ≤ 2.00	1500 ≤ SO ₄ ≤ 10,000	V	0.45	31
Very severe	SO ₄ > 2.00	SO ₄ > 10,000	V plus pozzolan‡	0.45	31

* When both Table 4.3.1 and Table 4.2.2 are considered, the lowest applicable maximum water-cementitious material ratio and highest applicable minimum f_c shall be used.

† Seawater.

‡ Pozzolan that has been determined by test or service record to improve sulfate resistance when used in concrete containing Type V cement.

الجدول (8): متطلبات الحد الأدنى لجودة الخرسانة المعرضة لظروف التعرض الخاصة (ACI 318M - 05)

Exposure Condition	Max w/c	Min. Strength (MPa)
Concrete intended to be watertight:		
• Exposed to fresh water	0.50	25
• Exposed to sea water	0.45	30
Concrete exposed to F/T in moist conditions:		
• Thin sections	0.45	30
• Other elements	0.50	25
• Presence of de-icing salt	0.45	30
For corrosion protection of RC structures exposed to de-icing salts, or sea water	0.40	33

الجدول (9): الحد الأدنى للغطاء الخرساني لحماية التسليح (ACI 318M-05)

Exposure Condition	Min. Cover (mm)		
	Cast in Situ	Precast	Prestressed
Concrete cast against or permanently exposed to earth	70	---	70
Concrete exposed to earth or weather:			
• Wall panels	40-50	20-40	30
• Slabs	40-50	---	30
• Other members	40-50	30-50	40
Concrete NOT exposed to weather or in contact with earth:			
• Slabs	20-40	15-30	20
• Beams, columns	40	10-40	20-40
• Shells, folded plates	15-20	10-15	10
• Non prestressed reinforcement	---	---	20
Concrete exposed to de-icing salt or sea water:			
• Walls and slabs	50	40	---
• Other elements	60	50	---

قد تكون الشروخ حرارية أو نتيجة الانكماش. ينبغي توخي الحذر في التخطيط السليم وتسلسل صب الخرسانة لتقليل خطر التصعد. ويمكن تعديل معايير التصميم مثل اتخاذ تدابير لمكافحة التآكل فعالة من حيث التكلفة. وتشمل هذه استخدام غطاء خرساني كافٍ ، وتوزيع التسليح ، وحجم ومسافات حديد التسليح للسيطرة على الشروخ. وينبغي الحرص على تقليل أي شروخ قد تساعد في نقل المياه وغيرها من الأنواع القاسية (BS 8110-1:1997).

عرض الشروخ في الخرسانة هو أكثر أهمية من عددها. استخدام عدد متزايد من حديد التسليح الموزع جيداً هو أكثر فعالية في السيطرة على عروض الشروخ من استخدام عدد أقل من القضبان الكبيرة. الحد الأقصى لعرض الشروخ 3. ملم وفقاً لـ (BS 8110-1:1997 و BS 8110-2:1997) في بيئة قاسية للحماية من التآكل. في تقييم لسلوك أعضاء خرسانية سابقة الإجهاد (الفئة 3 وفقاً لـ BS 8110-1:1997) في بيئة قاسية جداً يقتصر عرض الشروخ على 0.1 ملم. للفئة 1 لا يسمح لشروخ الشد نتيجة الانحناء في حين للفئة 2 لا يسمح لأي شروخ مرئية. وفقاً لـ (ACI 224R - 01) ، يتراوح عرض الشروخ من 0.10 إلى 0.40 ملم تبعاً لحالة التعرض ، التعرض لمياه البحر والترطيب والتجفيف يحدد عرض الشروخ بـ 0.15 ملم. وفي الوقت نفسه ، وفقاً لـ (CIRIA C577 - 2002) ، عرض الشروخ الأقصى يتراوح بين 0.10 إلى 0.30 ملم وفقاً لحالة التعرض. وينبغي التأكيد على أنه يمكن زيادة الحد الأقصى لعرض الشروخ في الحالات التي تستخدم فيها طبقات التشطيب الخارجي أو الحواجز.

استخدام الخرسانة المتجانسة المرسخة جيداً ، منخفضة النفاذية ذات الغطاء الكافي فعالة من حيث التكلفة لقياس التحكم في التآكل. كمية الغطاء الخرساني يؤثر بشكل كبير على وقت وصول التآكل إلى قضبان حديد التسليح ونوعيته تؤثر على معدل انتشار أيونات الكلوريد خلال الخرسانة. في حالة انتشار أيونات الكلوريد في الخرسانة غير الخطية مع زيادة سمك الغطاء ، هناك زيادة كبيرة في الوقت اللازم لأيونات الكلوريد للوصول إلى قضبان حديد التسليح. وكقاعدة عامة يجب ألا يقل الغطاء الخرساني عن قطر قضيب التسليح الرئيس حيث يتم حزم القضبان في حزم أو أزواج. مساحة القطاع العرضي من مقاس القضبان الفردية يساوي مجموع مساحات القطاع العرضي (BS 8110-1:1997).

ومع زيادة الغطاء الخرساني ، هناك زيادة في احتمالات تصعد الخرسانة نتيجة الانكماش والآثار الحرارية. قضبان حديد التسليح تصبح أقل فعالية من أجل السيطرة على الشروخ مع زيادة سماكة الغطاء. ويكون تركيز الكلوريد في 10 ملم العنصر الخرساني تكون مرتفعة جداً بالمقارنة مع التركيزات في الأعماق من 25 إلى 50 ملم. وقد تبين أن الغطاء الخرساني من 25 ملم يكون غير كافٍ في البيئات القاسية ، حتى مع وجود نسبة الماء للاسمنت منخفضة تصل إلى 0.30. في البيئات المعتدلة إلى القاسية ، وينبغي ألا يقل الغطاء الخرساني عن 40 ملم.

ويفضل 50 ملم (ACI 201.2R-01). الحد الأدنى للغطاء الخرساني لحديد التسليح الرئيس من دون حماية تآكل إيجابية في المنشآت الخرسانية التي تتعرض في كثير من الأحيان للكلوريدات هو 65 ملم (ACI 201.2R - 01). تغطية الحد الأدنى للغطاء الخرساني لحديد التسليح المدمج في الخرسانة مع التعرض المباشر للماء المالح هو 100 ملم ، و 75 ملم للخرسانة المصبوبة عكس الأرض (ACI 201.2R - 01).

هناك بعض الاحتياطات التي يمكن اتخاذها خلال تصميم المنشأ للمساعدة في تقليل احتمالات التآكل. يجب أن يكون عدد المفاصل قليلاً قدر الإمكان ، وينبغي القضاء على المفاصل غير الضرورية. المفاصل المفتوحة يجب أن تكون موجودة أبعد ما يكون عملياً عن المكونات الإنشائية الحرجة.

وينبغي تجنب اقتران المعادن المختلفة للحد من التآكل نتيجة الجلفنة. وقد استخدمت الخرسانة عالية الأداء للمساعدة على منع اختراق المياه الملوثة بالملح في المكونات الإنشائية. وهذا سوف يؤدي إلى تمديد عمر المنشأ الخرساني من دون ترميم (أي الفترة الزمنية قبل أن يحتاج المنشأ إلى ترميم).

4. أحكام الإنشاءات العامة

هناك متغيرات بناء عدة في تؤثر في متانة المنشآت الخرسانية. وتشمل المواد الخرسانية ، وضع الخرسانة وترسيخها والمعالجة ووضع حديد التسليح. ويمكن لممارسات البناء الفقيرة أن تتجاهل بسهولة أحكام أفضل تصميم لإنتاج منشأ خرساني دائم. طرق الدمك الجيدة والتي تساعد على تجنب الانفصال والتعشيش ، وتساعد في إنتاج خرسانة متجانسة مع نفاذية منخفضة. ويمكن الوصول إلى خرسانة ذات دمك جيد من خلال استخدام تقنيات البناء والمعدات المناسبة. الدمك غير الجيد للخرسانة يؤدي إلى ارتفاع النفاذية والفراغات ، والترابط الضعيف. كما أن الفراغات ، ومناطق الترابط الضعيفة تساعد وتؤدي إلى عملية التآكل.

الدمك الجيد للخرسانة يضمن أنها على اتصال حميم مع قضبان حديد التسليح. والترابط الجيد بين قضبان حديد التسليح والخرسانة المحيطة أمر حاسم لمكافحة التآكل. نتيجة للاتصال الحميم بين قضبان حديد التسليح والخرسانة، وسوف يكون الحديد في بيئة عالية القلوية، واللازمة لتشكيل وصيانة الأكسيد السليبي. اتباع مزيد من الحذر عند صب ودمك الخرسانة يقلل نسبة تسرب المياه والكلوريدات داخل الخرسانة وبالتالي الوصول إلى قضبان حديد التسليح.

إجراءات معالجة الخرسانة جزء مهم من المصنعية. المعالجة المناسبة والكافية يوفر خرسانة متينة ودائمة من خلال زيادة الترطيب للأسمنت. ويوصى ما لا يقل عن 7 أيام من المعالجة الرطبة دون انقطاع. أياً كانت الطريقة المستخدمة للمعالجة، يجب أن يبقى سطح الخرسانة رطباً. بالتناوب دورات الترطيب- الجفاف تشجع على تصدع الخرسانة. هناك ثلاث فئات عامة من طرق المعالجة. المعالجة بالمياه المستمر عن طريق الرش، والغمر بالمياه، أو التغطية السطحية المشبعة (الخيض). مركبات المعالجة تمنع التسرب من سطح الخرسانة. المواد حازجة الرطوبة، مثل الأغشية البلاستيكية للماء أو العوازل الورقية، تغطي سطح الخرسانة. المعالجة بالماء المستمر توفر إمدادات كافية للمياه لمنع تصدع سطح الخرسانة من الجفاف. كل من الأعشبية وحواجز الرطوبة تعمل عن طريق منع تبخر الماء من سطح الخرسانة (01 - ACI 222R).

وضع قضبان حديد التسليح بدقة يضمن غطاء خرسانياً كافياً على القضبان. طرق وضع وربط القضبان لضمان غطاء خرساني مناسب تشمل استخدام الكراسي، الفواصل، الروابط المشكّلة. ويمكن أيضاً أن تكون هناك حاجة للسماح ببعض الحركة في قضبان الانحناء. وينبغي ربط حديد التسليح بما يكفي لمنعه من الحركة من المكان المطلوب أثناء صب الخرسانة وترسيخها. دعائم ورباط التسليح يجب أن يكون لهما القوة الكافية للقيام بتحمل البناء قبل وأثناء صب الخرسانة وتفادي الانحراف المفرط لحديد التسليح. جميع التقاطعات حول محيط حصى حديد التسليح ينبغي أن تكون مرتبطة. في أماكن أخرى داخل حصى حديد التسليح، وينبغي أن يكون التباعد بين الروابط لا يقل عن 0.6 متر من المركز أو كل تقاطع، أيهما أكبر. وينبغي دعم منصات العمل على تشكيلات معينة وليس على حديد التسليح.

وتستخدم الآلات الميكانيكية للتشطيب (قدد) لمس الخرسانة إلى درجة الوضع المطلوب. وحتى لا تقلل من كمية الغطاء الخرساني فوق قضبان حديد التسليح، تسمح بالترخيم، والتسوية، والتحديد المطلوب عمله. عندما يتم يستند جهاز التشطيب على قضبان سكة، ودعائم هذه القضبان يجب أن توضع للتقليل أو القضاء على أي ترخيم بين دعائم السكة بسبب ثقل جهاز التشطيب.

1.4 الخرسانة

في المنشآت الجديدة مع نوعية جيدة من الخرسانة، لا يمكن للخرسانة حماية حديد التسليح من التآكل على مدى العمر التشغيلي للمنشأة. بالنسبة للحديد في الخرسانة السليمة ذات نوعية جيدة -- "غير الملوثة" (كلوريدات ضئيلة أو معدومة)، غير مكرّنة، وغير متصدعة - يكون الحديد مؤثراً وغير متآكل، أو أن معدل التآكل منخفض جداً، ونستطيع أن نتوقع أن يكون (يرجى مراجع النص) ليس من المرجح أن يصل إلى نقطة حيث سيكون بحاجة إلى ترميم أو إعادة التأهيل خلال العمر التشغيلي المتوقع للمنشأة.

ومع ذلك، يمكن أن تنتهك جودة الخرسانة بالوسائل الكيميائية أو الميكانيكية سواء. الوسائل الكيميائية تكون عن طريق انتشار الكلوريد، الكبريتات، هجوم الكبريتات، وتفاعل الركام القلوي، في حين أن الوسائل الأساسية الميكانيكية تعني التصدع. شروخ في الخرسانة تسمح للماء، والأكسجين، والكلوريدات لدخول الخرسانة بمعدل أسرع والوصول إلى حديد التسليح عاجلاً من قبل عملية الانتشار وحدها. وتشمل متغيرات المواد:

- مواد اسمنتية: نوع أساسي يتضمن ويحتوي على مواد إحلال بديلة للأسمنت (SCM)
- نوع الركام: أساس الجودة ومحتوى أيون الكلوريد.
- نسبة الماء للأسمنت.

مفتاح طول الأجل لمتانة المنشآت الخرسانية المسلحة هو استخدام خرسانة اسمنت بورتلاند مع نفاذية منخفضة وغطاء خرساني كافٍ مع نفاذية منخفضة لديه مقاومة محسنة لاختراق أيون الكلوريد أو انتشاره. هذا يبقى الكلوريدات، وكذلك الماء والأكسجين، من الوصول إلى قضبان حديد التسليح. غطاء خرساني كافٍ يزيد من مقدار الوقت المطلوب لأية كلوريدات للوصول إلى قضبان حديد التسليح.

انخفاض نسبة الماء / الاسمنت عموماً يجعل الخرسانة أقل نفاذية. على الرغم من أن انخفاض نسبة الماء للاسمنت لا يؤكد أن الخرسانة سيكون لها نفاذية منخفضة. خرسانة مع التدرج المناسب ونوع من الركام الناعم والخشن، المواد التكميلية الاسمنتية وانخفاض نسبة الماء / الاسمنت لديها قدرة أعلى لمقاومة اختراق الكلوريد مقارنة مع أولئك بنسبة الماء للاسمنت منخفضة. الخرسانة تحتاج أيضاً إلى أن تتناسب بشكل صحيح وترسخ جيداً. وحدث انخفاض نسبة الماء / الاسمنت في الخرسانة يؤدي إلى انخفاض المسامية والنفاذية. انخفاض في نسبة الماء علائقاً سمناً واستخدام المواد التكميلية للاسمنتية، وخصوصاً ألياف السيليكا، هي استراتيجيات فعالة للغاية لتقليل نفاذية الخرسانة المتصلبة. مع غطاء خرساني كاف فإن الخرسانة مع انخفاض نسبة الماء / الاسمنت تؤدي أفضل من تلك التي مع ارتفاع نسبة الماء / الاسمنت.

التغيرات في نسبة الماء / الاسمنت لا تؤثر تأثيراً كبيراً على المقاومة في عمر مبكر ولكن ذلك يؤثر تأثيراً كبيراً في عمر متأخر. الجدول (10) يظهر خطر التآكل ذا الصلة بمقاومة الخرسانة. تحسن أداء الخرسانات مع انخفاض نسب الماء / الاسمنت ويرجع ذلك إلى انخفاض في نفاذية الخرسانة وزيادة في المقاومة.

الجدول (10): معدلات المقاومة ذات الصلة بخطر التآكل

المقاومة (ك أو م. سم)	مخاطر التآكل
أكبر من < 100	صفر
100 – 50	منخفض
50 – 10	معتدل
أقل من > 10	مرتفع

ويمكن استخدام المواد الاسمنتية التكميلية (SCM) من أجل تعزيز إمكانات السيطرة على تآكل الخرسانة من خلال تقليل النفاذية. بعض الإضافات الشائعة المستخدمة هي الرماد المتطاير، وخبث الفرن، غبار السيليكا. SCM تساهم في الحد من النفاذية وتخفض معدل انتشار الكلوريد. يجب تقييم مصادر خبث الأفران الأرضية وحببات الرماد المتطاير للتغيرات في الكيمياء الخاصة بهم. يمكن لأي تغييرات أن تؤثر تأثيراً كبيراً على خواص الخرسانة والأداء في نهاية المطاف. الخلطات الخرسانية التي تحتوي على غبار السيليكا هي منبجعة جدا لاختراق الكلوريد ومقاومة لتدفق تيارات التآكل بسبب مقاومتها الكهربائية العالية. قوة تحمل الضغط هي أيضاً أعلى. وقد تبين أن غبار السيليكا تقدم الحد الأكبر والأكثر اتساقاً في خفض معدلات اختراق أيونات الكلوريدات في الخرسانة. ومع ذلك، فإن هذه الخلطات هي أكثر عرضة للتصدع. بالنسبة لخلطات ألياف السيليكا، استخدام إضافات تحسين قابلية التشغيل يعتبر أساسياً حتى لا يتم زيادة الطلب على الماء لهذه الخلطة. أيضاً، فقد ثبت أن استخدام مزيج ثلاثي من الخلطات المعدنية مع أسمنت بورتلاندي، مثل خبث غبار السيليكا، يكون فعالاً جداً في البيئات القاسية جداً.

نوع الأسمنت يبدو تأثيره على انتشار أيونات الكلوريد خلال الخرسانة. ويتحقق ذلك من خلال ربط أيونات الكلوريد وتقليل تركيزها في الماء من المسام ويقلل من كمية الكلوريدات الحرة المتاحة للمشاركة في عملية السلبية وعمليات التآكل. كمية أيونات الكلوريد في الحرة مسام الماء هو أكثر أهمية من كمية أيونات الكلوريد الكلية. خلطات الخرسانة المحتوية على الاسمنت التي تحتوي على C3A عالية وخبث الأفران الأرضية يحمل قدرة أكبر بكثير لربط الكلوريدات. الجدول (11) يبين حدود تعيين الكلوريدات في (ACI 318M-5). عندما يتوقع أن تتعرض الأعضاء الخرسانية لكلوريدات، فإنه من المستحسن أن تبقى أي كلوريدات مضافة للخرسانة عند الحد الأدنى. حدود الكلوريدات في الخرسانة لعمليات البناء الجديدة التي قدمها (ACI 318M-5)، لتقليل المخاطر الناجمة من كلوريد التآكل.

Type of member	Maximum water soluble chloride ion (Cl ⁻) in concrete, percent by weight of cement
Prestressed concrete	0.06
Reinforced concrete exposed to chloride in service	0.15
Reinforced concrete that will be dry or protected from moisture in service	1.00
Other reinforced concrete construction	0.30

الجدول (11): حدود الكلوريد الموصى بها لبناء جديد (ACI 318M - 05)

ممكن تحفيز التآكل عن طريق تركيزات منخفضة للكلوريدات بقدر 0.15٪ ما يقرب من 3 م / كجم / 3 م ، ما يقرب من 0.15 ٪ مقابل 400 كجم من خلطة الاسمنت في الظروف الجافة. في الظروف الرطبة و400 كجم من خليط الاسمنت ، معايير ACI تسمح لتركييزات الكلوريدات تصل إلى 40. كجم / م 3 ، مما يترك مجالاً ضيقاً لدخول كلوريدات إضافية من البيئة المحيطة.

2.4 إضافات الخرسانة

خفض نسبة الماء / الاسمنت وإدراج المواد الاسمنتية التكميلية عموماً يجعل الخرسانة أقل نفاذية. كل هذه سوف يكون لها تأثير كبير على قابلية الخرسانة للتشغيل. وخفض تشغيلها وعدم القدرة على إنتاج خرسانة مدمكة جيداً ينبغي التأثير المطلوب لخفض نسبة الماء / الاسمنت وإدراج المواد الاسمنتية التكميلية. كما أن الضغط الجزئي يزيد المسامية ويقلل من جودة الخرسانة. لذا ، فإن استخدام الإضافات الخرسانية مثل مجموعة مخفضات الماء العادي (من النوع ASTM C494 . A) ، و مجموعة مخفضات الماء العالية (نوع ASTM C494 . F) ، و تحسين التشغيل (النوع الأول ، ASTM C114) يساعد على استعادة تشغيل الخرسانة. أيضاً ، فإنه في كثير من الأحيان استخدام مبطئات مع إضافات تحفيز التشغيل، مثل الإضافات نوع ASTM C494 . D) ، والنوع الثاني (ASTM C1017) . وينبغي التأكيد على أنه يجب تحديد الجرعة من الإضافات لاستخدامها وفقاً لنسب حدود خلطة الخرسانة وورقة البيانات بمصنع الخلط المستخدمة. المصنعين يجب أن يتم التشاور معهم فيما يتعلق بنوع وجرعة كل نوع من أنواع الإضافات مع احترام مواصفات الخلطة الخرسانية وتحسين الخاصية المطلوبة. كما المصنعين وورقة بيانات الإضافات يجب أن تستشار بشأن الجرعة الزائدة من الإضافة والأثار الجانبية المتوقعة. الأثار الجانبية لجرعة زائدة تختلف عن نوع واحد من الإضافات للأخرى وكذلك مع اختلاف المصنع . في حالة الجمع بين أكثر من إضافة في خليط الخرسانة ، ينبغي استشارة الشركة المصنعة بالنسبة للتوافق بين الإضافات المقترحة وكذلك وفقاً لتوصيات (ASTM C494).

أيضاً ، يمكن أن تستخدم إضافات منع تسرب المياه لتحسين خواص عدم نفاذية الخرسانة. ينصح بشدة أن تتشاور الشركات المصنعة للتوافق بين هذه الإضافات مع نوع الاسمنت والإضافات الأخرى المستخدمة في الخلطة. سوء الاختيار مع احترام التوافق أو الجرعة الزائدة من مثل هذه الإضافات عادة يؤدي إلى تأثيرات جانبية غير قابلة للعلاج.

3.4 مبططات التآكل

مبططات التآكل هي إضافات كيميائية تضاف إلى خرسانة الاسمنت البورتلاندا أثناء الخلط ، وعادة في التركيزات الضعيفة جداً كمقياس حماية التآكل. مبططات التآكل قابلة للتطبيق كمقياس حماية التآكل للمتانة والدوام على المدى الطويل على حد سواء لكل من منشآت الجسور الخرسانية سابقة الإجهاد والتقليدية. عندما تستخدم كجزء من استراتيجية متعددة لنظام حماية التآكل، فهي مادة واعدة لتأخير ظهور تآكل الحديد.

وغالبا ما تستخدم المبططات في تركيبية مع الخرسانة منخفضة النفاذية وعادة ما يكون لها أثر في زيادة تركيز محتوى الكلوريدات اللازمة لتحفيز التآكل. قد تقلل المبططات أيضاً من معدل التآكل لاحقاً بعد تحفيز التآكل ، الأمر الذي يؤدي في نهاية المطاف إلى تدهور أقل في الخرسانة ناجم عن التآكل.

المبططات قد يكون لها تأثير على عملية التآكل بعد تحفيز التآكل. الجرعة غير الكافية لها تأثير سلبي على تطور التآكل. وبعض مبططات يكون لها تأثير على نقل الكلوريدات ويمكن أن تقلل من معدل هجرة أيون الكلوريد.

مبططات التآكل غير عضوية أو عضوية ، وبصفة عامة ، تصنف على أساس آلية حمايتهم. فإنها يمكن أن تؤثر على حماية بواسطة تفاعل أنوديك ، فإن تفاعل كاثودي ، أو كلاهما (مختلط). نوع نشط من مبطط (أنوديك) يسهل تشكيل الأكسيد على سطح قضبان حديد التسليح.

هناك مبططات للتآكل رئيسية مختلفة متاحة تجارياً :

- Rheocrete 222+
- PROTECTOSIL CIT
- Ferrogard 901
- Sika CNI
- Ferrogard 903
- Conplast CN

• Conplast CNI

أيضا ، هناك أنظمة تمنع التآكل مثل : www.vector-corrosion.com), Mapeshield I (from MAPEI – ww.mapei.com), and SENTINEL-GL (from The Euclid Chemical Company – www.euclidchemical.com والتي يمكن أن تكون جزءا لا يتجزأ في الخرسانة أو الأجزاء التي تم ترميمها إلى جانب حديد التسليح لمنع تآكل التسليح. ويمكن استخدام هذه النظم في البناء الجديد والمنشآت التي تم ترميمها.

• Rheocrete 222+

Rheocrete 222 + هو أحد إضافات الخرسانة العضوية المثبطة للتآكل. يتم تصنيعه وتسويقه من قبل شركة باسف. معدل الجرعة الموصى بها من 5 + Rheocrete 222 لتر / م³ لم يتم ضبط معدل الجرعات لصد التآكل للبيئة الخدمية المتوقعة. تم تصميم معدل الجرعة لتوفير الحماية المثلى لتآكل المنشآت الخرسانية المسلحة في البيئات قاسية التآكل. يضاف عادة إلى ماء الخرسانة.

• PROTECTOSIL CIT

PROTECTOSIL CIT هو مثبط للتآكل ذو أساس عضوي ومتقدم وظيفيا. يتم تصنيعه وتسويقه من قبل شركة باسف. سائل شفاف منخفض اللزوجة ومصمم ليتم تطبيقه على سطح منشآت الخرسانة المسلحة. معدل الجرعة الموصى بها من تكنولوجيا والاتصالات والمعلومات PROTECTOSIL CIT هو 600 مليلتر/ مترمربع تطبيق طبقتين أو ثلاثة للسطح جاف فقيه. 2 طبقة @ 300 مليلتر/ مترمربع للسطح الرطب أو العلوية : 3 طبقات @ 200 مليلتر/ مترمربع

• Ferrogard 901

يتم تصنيع وتسويق Ferrogard 901 من قبل شركة سيكا. هو مزيج من المثبطات العضوية وغير العضوية. يحمي قضبان حديد التسليح من خلال تشكيل فيلم **monomolecular** المستمر على سطح الحديد ويغطي كلا من المواقع والأنودية والكاثودية (نوع مختلط). هذا الفيلم يتكون من طبقة ثابتة من الكحول الأميني التي تؤدي إلى تشكيل تركيبات أكسيد الحديد غير قابلة للذوبان. هذه تثبت سطح الأكسيد وتحول دون المزيد من التآكل. الفيلم هو عادة 8-10 م سمكا وأيضا بمثابة حاجز للأيونات القاسية المهاجرة من خلال الخرسانة. معدل الجرعة الموصى بها ل 901 Ferrogard هو 12 كجم / م³ من الخرسانة. يضاف عادة مع ماء الخلط أو يضاف في نفس الوقت في خلط الخرسانة.

• Sika CNI

يتم تصنيع وتسويق CNI من قبل شركة سيكا. وهو يستند إلى نترتير الكالسيوم. معدل الجرعة الموصى بها ل Sika CNI هو 10-30 لتر / م³ من الخرسانة اعتمادا على شدة بيئة التآكل. يضاف عادة مع ماء الخلط أو يضاف في نفس الوقت في خلط الخرسانة.

• Ferrogard 903

يتم تصنيع وتسويق Ferrogard 903 من قبل شركة سيكا. وهو مثبط للتآكل يطبق سطحيا. لأنه يعتمد على المركبات العضوية وغير العضوية. استخدامه على حد سواء لتأخير بدء التآكل ، ويقلل من معدل التآكل. وهو مناسب للاستخدام في المناخات الحارة والمدارية. معدل الجرعة الموصى بها هي 50. كجم / متر مربع ، ويمكن استخدام جرعة أقل مع الخرسانة ذات النفاذية المنخفضة الكثيفة جدا ولكن ينبغي ألا تقل من 0.30 كجم / متر مربع.

• ConplastCN & Conplast CNI

يتم تصنيع Conplast CN & CNI Conplast وتسويقهما من قبل فوسروك. كلاهما مثبطات غير عضوية تعتمد على نترات الكالسيوم. يتم توفيرهما سواء في شكل محلول الذي يمكن أن يذوب في ماء الخلط. يتم تعديل Conplast CNI معدل للاحتفاظ برمود جيد وتأخيرة لتعويض تسريع التصلد الذي يرتبط عادة مع نترتير الكالسيوم. المستويات النموذجية للجرعات تتراوح بين 7.5-22.5 لتر / م³ من الخرسانة. بسبب الخرسانة ذات النفاذية المنخفضة الكثيفة جدا ، ينبغي أن تعدل نسبة الماء / الاسمنت ليشمل الماء المضاف إلى هذا المزيج في الخلطة.

4.4 الحواجز الواقية المطبقة خارجياً

تطبيق التغليف الخارجي ، المعالجة السطحية أو الحاجز على الخرسانة الموجودة يوفر حاجزاً يمنع تسرب أيونات الكلوريد والرطوبة والأكسجين والتي هي ضرورية للتآكل ليستمر. التغليفات والمعالجات السطحية وسيلة فعالة لتحقيق العمر التصميمي والسيطرة على تدهور الخرسانة (ACI 201.2R-01).

في اختيار المعالجات السطحية / التغليف لمتانة الخرسانة ، ينبغي توجيه التركيز على بيانات الموقع / الخبرة. استراتيجية الحماية سوف تؤثر على اختيار أنظمة المعالجة السطحية للخرسانة. مع استراتيجية حيث تستخدم تدابير حماية إضافية مثل "التأمين" ، دوام المعالجات السطحية / التغليف مهم ولكن ليس حرجاً. مع استراتيجية فيها تدابير حماية إضافية هي جزء لا يتجزأ في تقييم مخاطر قوة التحمل ، قد يتطلب استباق المعالجات السطحية / التغليف للعمر التصميمي للمنشأ.

لكي تكون فعالة في حماية الخرسانة ، وينبغي لمادة الحاجز أن يكون لها خواص أساسية معينة على النحو التالي:

- عندما تتعرض هذه المواد للمواد الكيميائية من البيئة ، ينبغي ألا تسبب المواد الكيميائية التورم ، التحلل ، التصدع ، أو التقصف من مادة الحاجز.
- ينبغي ألا تتغلغل أو تنتشر المواد الكيميائية عبر الحاجز من أجل تدمير الالتصاق بينه وبين الخرسانة.
- وينبغي أن تكون مقاومة الكشط كافية لمنع إزالة مادة الحاجز أثناء الخدمة العادية.
- قوة تحمل ترابط اللاصق بين الحاجز غير البيتوميني والخرسانة يجب أن يكون على الأقل مساوياً لقوة تحمل الشد للخرسانة على السطح ، ويتأثر هذا الترابط بقوة نظافة الواجهة عندما يتم تطبيق مادة الحاجز.

ليس هناك ما يضمن أن المواد التي قدمتها شركات مختلفة سوف تؤدي على نحو مماثل ، حتى عندما تصنف على أنها من النوعية نفسها. بالإضافة إلى ذلك ، فإن خصائص التطبيق ، مثل سهولة تطبيق المواد على الخرسانة ، الحساسية للرطوبة على سطح الخرسانة ، أو محدودية نطاق تطبيق درجة الحرارة ، يؤثر على أدائها.

وسمك الحاجز المطلوب يعتمد على مدى خطورة البيئة. ويبين الجدول (12) الفئات العامة لنظم حاجز الحماية (ACI 201.2R-01). وينبغي أن يستند اختيار الحاجز على الاختبار أو التجربة السابقة. في حالة إجراء الاختبارات ، ينبغي تطبيق نظام الحاجز بأكمله لعينات خرسانية قبل تعريضهم للبيئة الفعلية أو تلك التي تحاكي عن كثب قدر الإمكان هذه البيئة. إذا كان يجب الاختيار قبل إجراء الاختبارات بمدى كافية (على النحو المتفق عليه بين الصانع والمستخدم) لإجرائها ، ينبغي أن يطلب من مورد الحاجز لتوريد تاريخ حالة موثقة بالكامل حيث له أو لها نفس نظام الحماية للخرسانة في ظل ظروف بيئية واحدة أو متشابهة. اختيار منتج حاجز موثوق به ومنفذ تطبيق الحاجز لا يقل أهمية عن اختيار الحاجز نفسه.

معظم مواد الحاجز التي تصاغ لاستخدامها عبر الخرسانة سوف تتطور للحفاظ على قوة ترابط اللاصق أكبر من قوة تحمل الشد للخرسانة ، على أن يتم إعداد السطح إعداداً سليماً. يجب أن يكون السطح خالياً من الحبيبات السائبة ، والأوساخ والغبار والزيت والشموع ، وغيرها من المواد الكيميائية التي تمنع الالتصاق. يمكن للرطوبة داخل الخرسانة أن تؤثر على قدرة نظام الحاجز أمام الانضمام إلى السطح إذا انتشر بخار الماء خارج الخرسانة ليتكثف على واجهة الخرسانة قبل الحاجز وفي هذه الحالة يكون له الأولوية في المعالجة.

وينبغي أن تكون الخرسانة جافة قبل تطبيق مادة الحاجز. ليس فقط رطوبة السطح ، ولكن الرطوبة داخل الخرسانة يمكن أن يؤثر أيضاً على قدرة الغلاف على الانضمام إلى السطح. بالنسبة لبعض نظم الحاجز ، الاختبار النوعي للرطوبة في الخرسانة يوصى به ويكون مفيداً.

وتعتبر نسبة الرطوبة مفرطة إذا تجمعت الرطوبة في الخط الرابطة بين الخرسانة ومادة الحاجز قبل معالجة الحاجز. ويتم تقييم ذلك عن طريق لصق 1.2*1.2 متر من لوح بولي إثيلين شفاف على سطح الخرسانة وتحديد الوقت اللازم لتجمع الرطوبة على الجانب السفلي من الورقة. وينبغي مقارنة وقت تجمع الرطوبة مع الوقت المطلوب لهذه المعالجة مادة الحاجز ، يجب توفير تلك القيمة من قبل الشركة المصنعة للمادة. إذا كانت المعالجة تتم في وقت أقل مما هو مطلوب لتجمع الرطوبة ، يمكن استنتاج أن الخرسانة جافة بشكل كافٍ. أيضاً الظروف المحيطة ، مثل أشعة الشمس والحرارة والرطوبة ، يجب محاكاتها خلال الاختبار ، كذلك بقدر الإمكان الظروف القائمة أثناء التطبيق ومعالجة الحاجز.

الجدول (12) : الفئات العامة لنظم حاجز الحماية (ACI 201.2R - 01)

Severity of chemical environment	Total nominal thickness range	Typical protective barrier systems	Typical but not exclusive uses of protective systems in order of severity
Mild	Under 40 mil (1 mm)	Polyvinyl butyral, polyurethane, epoxy, acrylic, styrene-acrylic copolymer asphalt, coal tar, chlorinated rubber, vinyl, neoprene, coal-tar epoxy, coal-tar urethane	<ul style="list-style-type: none"> Protection against deicing salts Improve freezing-thawing resistance Prevent staining of concrete Use for high-purity water service Protect concrete in contact with chemical solutions having a pH as low as 4, depending on the chemical
Intermediate	125 to 375 mil (3 to 9 mm)	Sand-filled epoxy, sand-filled polyester, sand-filled polyurethane, bituminous materials	<ul style="list-style-type: none"> Protect concrete from abrasion and intermittent exposure to dilute acids in chemical, dairy, and food-processing plants
Severe	20 to 250 mil (1/2 to 6 mm)	Glass-reinforced epoxy, glass-reinforced polyester, procured neoprene sheet, plasticized polyvinyl chloride sheet	<ul style="list-style-type: none"> Protect concrete tanks and floors during continuous exposure to dilute material (pH is below 3), organic acids, salt solutions, strong alkalies
Severe	20 to 280 mil (1/2 to 7 mm) Over 250 mil (6 mm)	Composite systems: (a) Sand-filled epoxy system topcoated with a pigmented but unfilled epoxy (b) Asphalt membrane covered with acid-proof brick using chemical-resistant mortar	<ul style="list-style-type: none"> Protect concrete tanks during continuous or intermittent immersion, exposure to water, dilute acids, strong alkalies, and salt solutions Protect concrete from concentrated acids or combinations of acids and solvents.

5.4 التسليح مقاوم للتآكل

قضبان حديد التسليح والتي تخضع لمختلف البيئات القاسية قبل أن توضع في الخرسانة (أثناء النقل والتخزين والتركيب)، وفي التشغيل عندما تدمج في الخرسانة. أثناء التخزين، يمكن أن تتعرض قضبان حديد التسليح المطر، التآكل، المواد الكيميائية الضارة، ومياه البحر. بعد أن تدمج قضبان حديد التسليح في الخرسانة، تتعرض ميدئياً لدرجة الحموضة العالية والبيئة الرطبة، والتي - بمرور الوقت - تتغير إلى مساحات أعلى وأقل في درجة حموضة، وكلوريدات عالية، وبيئة رطبة.

ويمكن استخدام قضبان التسليح مقاومة للتآكل لتوفير طبقة إضافية من الحماية من التآكل للمنشآت الخرسانية المسلحة. على الرغم من التكلفة الكبيرة الأولية لقضبان التسليح مقاومة للتآكل، فإن الزيادة في التكلفة الإجمالية المبدئية للمنشأة قد تكون مبررة. تمديد العمر التشغيلي يقلل تكاليف دورة الحياة. عند النظر في العواقب غير المقصودة لتقليل الغطاء الخرساني، المعالجة السيئة، الخرسانة المنفذة، تصدع الخرسانة وقسوة البيئات المحيطة، فإن استخدام مواد مقاومة للتآكل تكون فعالة جداً من حيث التكلفة، وخصوصاً أن ترميم التآكل الناجم عن التدهور مكلف و / أو من الصعب القيام به. ويمكن تحقيق عمر تصميمي من 75-100 سنة عن طريق تمديد فترة التحفيز وخفض معدلات التآكل. ويمكن باستخدام مواد التسليح ذات حساسية أقل للسلبية تمديد فترة تحفيز التآكل. خفض معدل التآكل يؤدي إلى كمية منخفضة من خسارة المعدن وتمدد الفترة الزمنية اللائقة حتى التصدع. و قضبان التسليح المقاومة للتآكل تشمل الصلب المجلفن، وقضبان الصلب المقاوم للصدأ وقضبان التسليح غير المعدنية (FRP).

• قضبان الصلب المقاوم للصدأ

قضيب الصلب المقاوم للصدأ (مثل نوع 304 و 316) مما لا شك فيه مقاوم أكثر من قضيب من الصلب الأسود العادي ضد التآكل بفعل الكلوريد المؤدي إلى تآكل التسليح (ACI 362.1R-00)، (ACI 222R-01)، (ACI 201.2R-01)، (ACI 301M-05) و (365.1R-00). اختيار التسليح بالصلب المقاوم للصدأ أو حديد التسليح العادي يعتمد على التكلفة واستراتيجية الحماية. اعتبار التسليح بالصلب المقاوم للصدأ بمثابة حماية تأمينية غير مجدية.

ويمكن استخدام التسليح بالصلب المقاوم للصدأ بالتزامن مع التسليح بالصلب الأسود. عملياً لم تسجل أي مشكلة لتآكل الجلفنة بسبب اتصال الصلب المقاوم للصدأ / الصلب الأسود في الخرسانة الخالية من الكلوريد. في وجود الكلوريد، يمكن أن يكون هذا مسألة خطيرة. لذلك، يجب للموصفين ضمان أن في وضع الاستخدام المختلط، الصلب الأسود يقع خلف المنطقة المقدره للمساحة المتضررة بالكلوريد في الخرسانة أثناء العمر التصميمي.

• قضبان حديد التسليح المجلفنة

استخدمت قضبان حديد التسليح المجلفنة بالتغليف عن طريق الغمر الساخن منذ 1940. (ASTM A767) "المواصفات القياسية قضبان الصلب المطلية بالزنك (المجلفن) لتسليح الخرسانة" تحدد المتطلبات اللازمة للتغليف بالمجلفنة. التغليف من الدرجة الأولى له وزن غلاف الزنك قرابة 1,701 جم / م² و التغليف بالزنك من الدرجة الثانية له وزن الغلاف قرابة 610 جم / م².

وقد أثبتت التجارب المختبرية على حد سواء والمسوحات الميدانية الجارية للمنشآت القائمة أن جلفنة قضبان الصلب يطيل العمر التشغيلي للعديد من أنواع المنشآت الخرسانية المسلحة (ACI 201.2R-01, ACI 222R-01, ACI 362.1R-00, ACI 301M-05 & ACI 222.2R-01).

على الرغم من أن تكلفة الجلفنة قد تضاعف سعر حديد التسليح في حد ذاته ، فإن التحسين العام لاستخدام الحديد المجلفن في الخرسانة الشامل هو في كثير من الأحيان أقل من 10 ٪ من مجموع تكاليف الخرسانة. هذا التحسن يقل كثيراً في المباني والمنشآت الكبيرة.

الجلفنة عن طريق الغمر الساخن تنتج غللاً شديداً وملصقاً على الصلب يقاوم الخدش ومناولته ثقيلة نسبياً ، ويمكن تخزينه ومناولته ونقله بالطريقة نفسها بالنسبة للصلب الأسود. بخلاف المبادئ التوجيهية العامة التالية عند ثني وتشكيل الصلب المجلفن ، ليس هناك حاجة إلى اتخاذ احتياطات خاصة لحماية التغليف ضد الأضرار الميكانيكية الخفيفة. في التصميم والبناء للخرسانة المسلحة باستخدام الحديد المجلفن ، تستخدم نفس معاملات التصميم وممارسات البناء التقليدية التي تنطبق على حديد التسليح الأسود.

بالرغم من أنه يمكن تطبيق الزنك على الصلب من خلال عدد من العمليات التجارية ، وتنتج كل منها مجموعة مميزة من الخواص لسبك وتكوين الغلاف ، ينبغي دائماً أن يوصف الغمر الساخن. الغمر الساخن ينطوي على غمس من قضبان الصلب في الزنك المنصهر في قرابة ٤٥٠ درجة مئوية ، ويبقى لفترة كافية للسماح بإنتاج غلاف مترايط معدني المستعبد من الزنك وسبائك الحديد - الزنك و على الصلب الأساسي. الحد الأدنى المحدد لسبك الغلاف على منتجات الصلب أكبر من 5 مم يكون 84 ميكرون ، وهو ما يعادل كتلة غلاف 600 جم/متر مربع للسطح. في الطريقة الروتينية ، الغمر الساخن ينتج عنه أغلفة عادة لا يقل سمكها عن 100-120 ميكرون. كل طبقة متعاقبة من التغليف للصلب إلى الأعلى تحتوي على نسبة أعلى من الزنك ، والطبقات هي أشد وأقوى من الصلب العادي. هذه الميزة ، جنباً إلى جنب مع التلاحم الجيد للتغليف ، يعطي التغليف مقاومة جيدة للخدش والصدمات.

عموماً فإن أكثر اقتصادياً هو استخدام أطوال مستقيمة لقضبان التسليح على أن تتم كل أعمال التشغيل بعد الجلفنة. خلال التشغيل ، يزداد الميل للتصدع وتساقط الغلاف في منطقة الثني مع قطر القضيب وشدته ومعدل الثني. استخدام منحني بأقطار كبيرة ، وعادة 5 - 8 مره قطر القضيب ، يحد من الأضرار التي قد تلحق بالغللاف. بعض التصديع وتساقط الغلاف في منطقة لثني أمر شائع ، ويجب ألا تكون سبب للرفض. ينبغي أن يطلب بعض الصلاحيات ، ويستخدم بشكل عام طلاء الزنك العضوي الغني الذي يحتوي على نسبة عالية من الزنك المعدني وكبدل ، للتشغيل بعد الجلفنة ، تثني القضبان إلى أشكال معينة (روابط، كانات إلخ) ، أو فطاعات كاملة مثل النماذج الجاهزة للعمود أو أقفاص مسبقة الصنع يمكن جلفنتها. هذا يوفر ميزة واضحة لتقليل أو عدم وجود ضرر التغليف لمتصل بالتشغيل. الصعوبات في وضع العلامات، المناولة و نقل القطع الجاهزة أو القطاعات ، وإمكانية تأخير المواعيد ، يجعل هذا الخيار أكثر تكلفة إلى حد ما.

• قضبان التسليح غير المعدنية

في الآونة الأخيرة ، أصبحت المواد المركبة المصنوعة من الألياف اللوالب البوليمرية ، المعروفة أيضاً باسم البوليمرات المقواة بالألياف (FRP) ، بديلاً لحديد التسليح لمنشآت الخرسانة. التسليحات غير المعدنية هي حل بديل لحل مشكلة إدارة هجوم الكلوريد. وتشمل الزجاج والكربون أو الأراميد توضع في اللاصق المناسب لتشكيل قضيب أو شبكة. وقد أظهر استخدام هذه التسليحات غير المعدنية أداءً جيداً في مشاريع عدة في العالم (ACI 440R - 07) و (ACI 440.1R - 06).

مركب قضبان البوليمر المسلح بالألياف (FRP) لديها القدرة على معالجة الخلل الناتج عن التأكل. ويمكن استخدام قضبان FRP كتسليح غير سابق الإجهاد في الخرسانة للأعضاء المعرضة للانحناء ، القص ، وأحمال الضغط. مركب FRP مقاومة تماماً لهجوم أيون الكلوريد وتعطي قوة شد من 1/2 -- 2 مرات أعلى من الصلب ، وتزن فقط 25 ٪ من وزن حجم معادل من الحديد الصلب. وفيما يلي الملامح الرئيسية والفوائد لقضبان تسليح FRP:

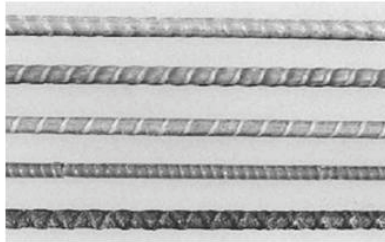
- غير قابلة للتآكل : لن تتآكل عند تعرضها لمجموعة واسعة من العناصر المسببة للتآكل بما في ذلك أيونات الكلوريد.
- ارتفاع نسبة القوة الى الوزن: تقدم تسليحاً جيداً في التطبيقات الحساسة للوزن.
- غير موصل : توفر عزلاً كهربائياً وحرارياً ممتازاً.
- مقاومة ممتازة جهادات الكلال : يتحمل بشكل ممتاز في حالات دورات التحميل
- مقاومة جيدة للصدم المفاجئ : يقاوم تحميل النقطة المفاجئ والحاد.
- الشفافية المغناطيسية : لا تتأثر بالمجالات الكهرومغناطيسية : ممتازة للاستخدام في التصوير بالرنين المغناطيسي وغيرها من أنواع الاختبارات الإلكترونية.
- خفيفة الوزن : يسهل نقلها في الموقع دون الحاجة إلى معدات رفع ثقيلة ومكلفة.

مواد تسليح (FRP) المتاحة تجارياً مصنعة من الأراميد المستمر (AFRP) والكربون (CFRP) ، أو ألياف الزجاج (GFRP) المدمجة في مصفوفة اللاصق. نموذجي منتجات تسليح FRP النموذجية هي الشبكات ، القضبان ، والأنسجة ، والحبال. القضبان لديها أنواع مختلفة من أشكال القطاعات (مربع ، دائري ، مسمت ، ومجوف) ، ونظم التشكيل (ألياف القطع الخارجي ، والتغليف بالرمل ، والتشكيلات التي تشكل بشكل منفصل). ويبين الشكل 2 عينات من مختلف قضبان تسليح GFRP.

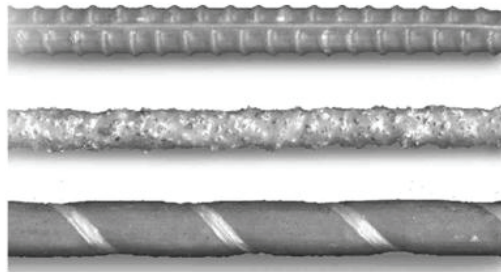
السمة المادية لسطح قضيب FRP هي خاصية مهمة للترابط الميكانيكي مع الخرسانة. وتظهر ثلاثة أنواع من أنماط تشكل السطح للقضبان الزجاجية المتاحة تجارياً في الشكل 3.

ثني قضبان FRP عن طريق تسخين اللاصق يجب أن يتم قبل المعالجة الكاملة لللاصق. بعد معالجة القضبان، الثني أو غيره يصبح غير ممكن نظراً للجمود أو الطبيعة الصلبة لقضيب FRP المعالج. لأن البوليمرات الحرارية مترابطة عرضياً بشدة ، تسخين القضيب غير مسموح به لأن من شأنه أن يؤدي إلى التحلل اللاصق ، وبالتالي فقدان القوة في FRP.

السلوك الميكانيكي لتسليح FRP يختلف عن سلوك حديد التسليح. لذا ، هناك حاجة إلى تغييرات في فلسفة تصميم المنشآت الخرسانية باستخدام تسليح. مواد FRP متباينة وتتميز بقوة تحمل الشد العالية فقط في اتجاه ألياف التسليح. هذا السلوك المتباين يؤثر على قوة تحمل القص التأثير الوتدي للألياف التسليح ، وكذلك أداء الترابط من FRP للخرسانة. علاوة على ذلك ، مواد FRP لا تثبط الخضوع ، بالرغم من أنها مرنة حتى الانهيار. إجراءات التصميم ينبغي أن تأخذ في الاعتبار النقص في ليونة الخرسانة المسلحة بقضبان FRP.



الشكل (2): أسياخ GFRP المتوفرة تجارياً



الشكل (3): أشكال وأنماط لسطح قضبان تسليح FRP المتوفرة تجارياً (مضلع - مغلفة بالرمل- مضلع ومغلف بالرمل)

6.4 الوقاية والحماية الكاثودية

الحماية الكاثودية (CP) هي وسيلة للسيطرة على التآكل وهي تؤثر بجهد خارجي على سطح الحديد بطريقة تدفع الحديد ليصبح كاثوديا (ويفضل الحد من التفاعلات وكذلك التفاعلات الأنودية ، التي تؤدي إلى فقدان المعدن) ، وبالتالي التخفيف من حدة التآكل. بعبارة بسيطة ، CP يحول تفاعلات الأكسدة (أنوديك) ، التي تؤدي إلى فقدان المعدن (وبالتالي التآكل) لحديد التسليح ، إلى القطب الموجب لنظام CP. ولذلك ، فإن اختيار المادة المناسبة للأنود أمر بالغ الأهمية ، لأن فشل الأنود يؤدي إلى فشل نظام CP

(ACI 201.2R-01, ACI 362.1R-00, ACI 365.1R-00 & ACI 222.2R-01)

ومع ذلك ، في حين أن تكاليف الصيانة يمكن أن تكون منخفضة ، وتركيب هذا المقياس يحتاج إلى استثمارات رأسمالية عالية. قد يكون ارتفاع تكلفة رأس المال "مبرر" لتشديد مبان جديدة ذات أهمية عالية (انقطاع في خدمة التشغيل يمكن أن يتسبب في خسائر اقتصادية عالية) أو أن الترميم والصيانة من الصعب أو المستحيل بسبب الوصول المحدود للمبنى.

مصدر القوة الأساسي ل CP هو أنه يستطيع التخفيف من التآكل بعد البدء في تحفيزه. على الرغم من أنه كثيرا ما وضعت CP على خطوط الأنابيب وصهاريج التخزين تحت الأرض ، وغيرها من المنشآت أثناء عملية البناء ، يتم تثبيته عموما على أعضاء الجسر فقط بعد بدء تحفيز التآكل وحدث قدر من التدهور. السبب الرئيسي لعدم تركيب أنظمة CP على مكونات الجسر أثناء البناء هو أن التآكل في كثير من الأحيان لا يحفز لمدة 10 إلى 20 عاما بعد البناء ، وبالتالي فإن صيانة نظام CP وجزء كبير من العمر التصميمي للنظام سيستخدم على منشأ غير متآكل. عندما يطبق بشكل صحيح ويحافظ عليه ، CP يخفف من تآكل حديد التسليح ويطيل عمر أداء المنشآت الخرسانية.

وتتميز أنظمة CP حسب مصدر الجهد الذي يقود حديد التسليح ليصبح كاثوديا مقابل الأنود. والطريقتان الرئيستان لتطبيق نظام CP هما: الكاثودية بالتيار الصادم، والأنود المجلفن. في نظام CP - التيار الصادم ، يتم استخدام مصدر طاقة خارجي لتطبيق جهد القيادة المطلوب بين الأنود وحديد التسليح. بالنسبة لأنظمة التيار الصادم ، يمكن أن يكون الأنود من مجموعة واسعة من المواد طالما يمكن تعديلها لتناسب مع الجهد و مادة الأنود المختارة. لنظام CP الأنود المجلفن ، يتم توليد الجهد المطلوب عن طريق الفرق الكهروكيميائي المحتمل بين الأنود وحديد التسليح. ولذلك ، اختيار مادة الأنود أكثر محدودة.

اثنان من ميزات الحماية الكاثودية ، والتي يمكن اعتمادها بشكل مفيد في وضع تدابير حماية المنشآت الخرسانية ، هما: المراقبة المستمرة لحالة الحديد ، وإعداد التسليح لاستمرارية التيار الكهربائي. هذه هي الإجراءات البسيطة التي تنطوي على دمج الإلكترود (أو مستشعر التآكل أو حتى بعض الوسائل غير المباشرة مثل الأزرار المدمجة لقياس المقاومة) في الخرسانة في المناطق المعرضة لخطر تآكل عالٍ من التسليح. ويمكن للرصد المستمر / العادي لحالة التآكل في التسليح توفير المدخلات الحاسمة في عملية صنع القرار.

5. موجز

تعزيز متانة المنشآت الخرسانية الحالية والمستقبلية يمكن تلخيصها في الآتي :

تصنف ظروف التعرض للمنشآت الخارجية وتحت الأرض في دبي إلى حادة وحادة للغاية اعتمادا على توافر الرطوبة.

مواصفات الحد الأدنى لجودة الخرسانة (أي الحد الأدنى لقوة التحمل ، أو أقصى نسبة لمحتوى الماء / الأسمنت ، أو الحد الأدنى لمحتوى الاسمنت ، أو نوع الأسمنت أو الحد الأدنى للغطاء الخرساني أو الحد الأقصى لعرض الشرخ) لظروف التعرض المتوقعة.

المبدأ التوجيهي لتصميم الخلطة بالحد الأدنى لجودة الخرسانة لظروف التعرض في دبي هي :

الحد الأدنى لمحتوى الاسمنت 350 كجم / م³ ، والحد الأقصى لنسبة محتوى الماء / الاسمنت 0.45 ، والحد الأدنى لقوة تحمل الضغط لا تقل عن 30 ميغا باسكال (نيوتن/ملم²) ، يعتبر الحد الأدنى لجودة الخرسانة في ظروف التعرض الحادة في دبي.

الحد الأدنى لمحتوى الاسمنت 375 كجم / م³ ، والحد الأقصى لنسبة محتوى الماء / الاسمنت 0.4 ، والحد الأدنى لقوة تحمل الضغط لا تقل عن 35 ميغا باسكال (نيوتن/ملم²) ، يعتبر الحد الأدنى لجودة الخرسانة في ظروف التعرض الحادة للغاية في دبي.

استخدام المواد الاسمنتية التكميلية (SCM) مثل الخبث ، غبار السيليكا والرماد المتطاير ينصح بشدة باستخدامها في ظروف التعرض الحادة للغاية ، وذلك للحصول على التمديد المطلوب للعمر التشغيلي.

المبدأ التوجيهي للتصميم الإنشائي لظروف التعرض دبي هي :

الحد الأدنى للغطاء الخرساني من 30 إلى 50 ملم للمنشآت الخارجية وتحت الأرض وغير المحمية. لحماية المنشآت يجب ألا يقل غطاء الخرسانة عن 20 -- 30 ملم .

للبيئة مكيفة الهواء الداخلية المحكمة، الغطاء الخرساني الأدنى هو 15-20 ملم.

يسمح لعرض الشرخ ب 0.20 ملم كحد أقصى للمنشآت تحت الأرض دون منسوب المياه الجوفية. ويمكن في حال تطبيق الحماية السطحية مثل التشطيبات وموانع التسرب السطحية والحواجز يمكن زيادة عرض الشرخ إلى 0.30 ملم.

يسمح لعرض الشرخ ب 0.20 ملم كحد أقصى للمنشآت تحت الأرض مع المياه الجوفية ومنشآت الماء الاستنادية في حالة تطبيق الحماية السطحية مثل التشطيبات ، وموانع التسرب السطحية والحواجز.

يسمح لعرض الشرخ ب 0.10 ملم كحد أقصى لمنشآت الخرسانة سابقة الإجهاد.

لعناصر المنشآت الضخمة غير المعرضة فإن الحد الأقصى المسموح به لعرض الشرخ هو 0.30 ملم.

للأسطح المشطوبة أو المحمية ، يجب إزالة تشطيب / حماية السطح (فتحة النافذة) وذلك لتقييم عرض الشرخ على سطح الخرسانة.

سوء نوعية البناء هو مصدر النقص المتكرر في معظم المنشآت الخرسانية.

التحسينات في ممارسة البناء والإشراف عليها. وينبغي إعطاء الأولوية لمراقبة الجودة خلال البناء.

ينبغي أن تحدد اختبارات المتانة لقبول الخرسانة بالإضافة إلى اختبارات قوة التحمل ، مثل اختبار النفاذية السريع للكلوريد (ASTM C1202) ، ومعدل امتصاص الماء (ASTM C1585) ، اختبار امتصاص الماء (ASTM C642) ، اختبار اختراق الماء (DIN 1048).

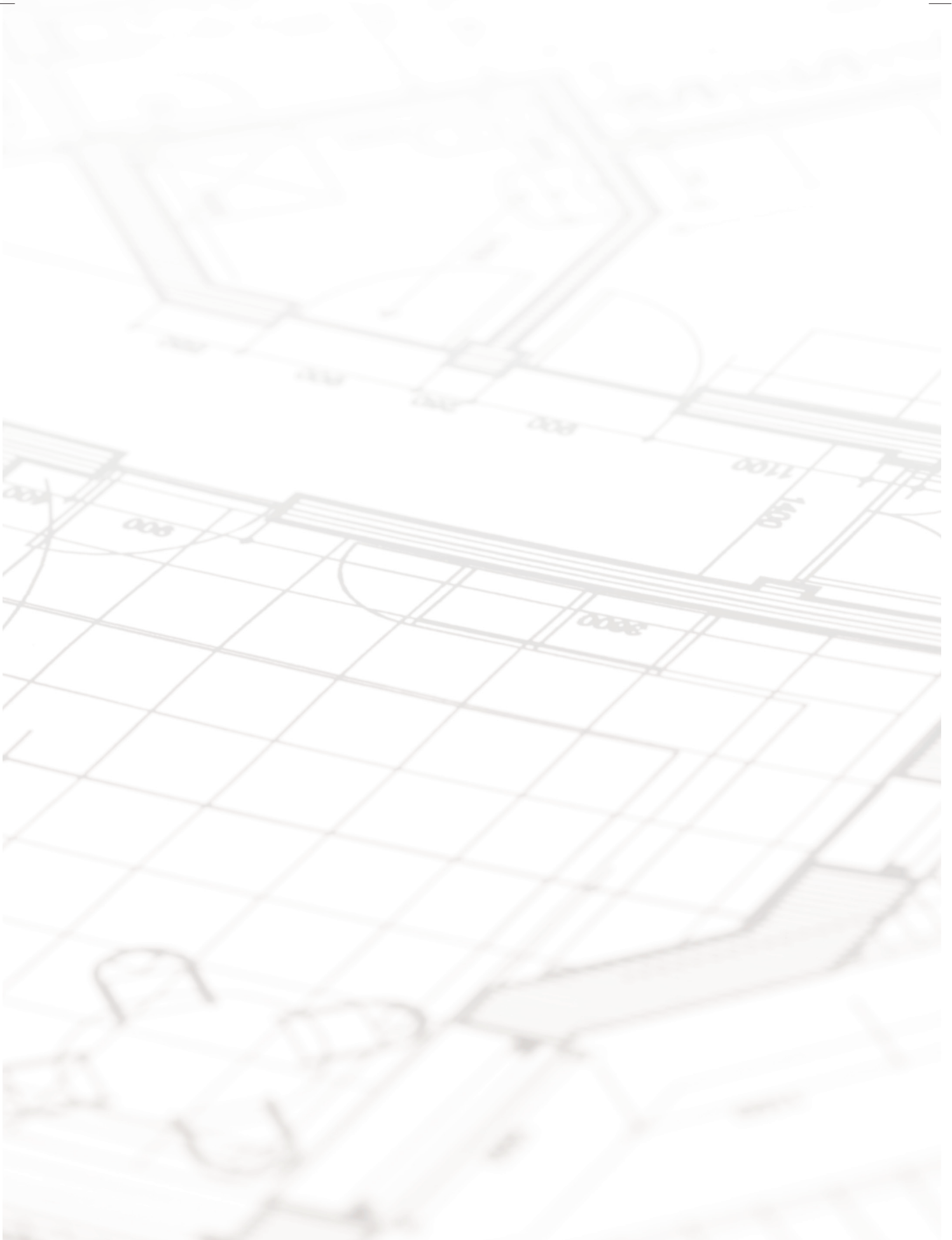
مقاومة الخرسانة هو اختبار معقول لتقييم حماية تآكل التسليح في الخرسانة.

تنفيذ نظام أو عدة نظم للحماية من التآكل.

يمكن تنفيذ العديد من أنظمة الحماية من التآكل عن طريق دمج أكثر من نظام الحماية بالتعاون مع بعضها البعض في الهياكل الخرسانية في البيئة الحادة للغاية أو للتمديد المطلوب للعمر التشغيلي.

6. مراجع

- ACI 201.2R-01, «Guide to Durable Concrete», ACI Manual of Concrete Practice 2008.
- ACI 222R-01, «Protection of Metals in Concrete against Corrosion», ACI Manual of Concrete Practice 2008.
- ACI 222.2R-01, «Corrosion of Prestressing Steel», ACI Manual of Concrete Practice 2008.
- ACI 224R-01, «Control of Cracking in Concrete Structures», ACI Manual of Concrete Practice 2008.
- ACI 301M-05, «Specifications for Structural Concrete», ACI Manual of Concrete Practice 2008.
ACI 318M-05, «Building Code Requirements for Structural Concrete & Commentary», ACI Manual of Concrete Practice 2008.
- ACI 362.1R-00, «Guide for the Design of Durable Parking Structures», ACI Manual of Concrete Practice 2008.
- ACI 365.1R-00, «Service-Life Prediction – State-of-the-Art Report», ACI Manual of Concrete Practice 2008.
- ACI 440R-07, «State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete», ACI Manual of Concrete Practice 2008.
- ACI 440.1R-06, «Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars», ACI Manual of Concrete Practice 2008.
- BS 53281:1997-, «Concrete-Part 1: Guide to Specifying Concrete».
- BS 81101:1997-, «Structural Use of Concrete-Part 1: Code Practice for Design and Construction».
- BS 81102:1997-, «Structural Use of Concrete-Part 1: Code Practice for Special Circumstances».
- BS-EN 2061:2000-, «Concrete-Part 1: Specification, Performance, Production and Conformity».
- CIRIA C5772002-, «Guide to the Construction of Reinforced Concrete in the Arabian Peninsula», the Concrete Society Special Publication CS 136, Editor Mike Walker.



IX - ترميم وتقوية المنشآت

1. مقدمة

بالرغم من ديمومتها، فإن المباني التي شيدت باستخدام الخرسانة المسلحة و تلك السابقة الإجهاد لديها عمر تشغيلي محدود. عندما تتعرض لبيئات قاسية ومواد كيميائية، قد تواجه هذه المنشآت تدهورا كبيرا، والذي يحدث عادة في شكل تآكل الحديد و تفتت الخرسانة والشروخ. وقد وصلت بعض المنشآت الخرسانية المسلحة أوسابقة الإجهاد في دبي إلى نهاية العمر التشغيلي المخطط لها وأظهرت تدهورا في شكل تآكل الحديد وتصعد الخرسانة والتفتت. بالإضافة إلى ذلك، الكثير من أعمال الخرسانة يتم القيام بها بشكل ما يحمل الكثير من التجاوزات في بعض الأحيان. و تلك التجاوزات تشمل استخدام مواد محلية متفاوتة الجودة و القيام ببعض التصاميم بغير اتباع المواصفات المفروض اتباعها والإسراع في عمليات البناء لاتباع الجدول الزمني على حساب الجودة. بالإضافة إلى ذلك، تم بناء العديد من هذه المنشآت لتحمل أحمالاً أقل بكثير من الاحتياجات الحالية. هذه العوامل بالتأكيد وضعت بلدية دبي في تحدي تقييم واعتماد تقنيات فعالة واقتصادية لنظم الترميم والتدعيم. تنفيذ مثل هذه النظم والتقنيات معقد نظرا لأن معظم المنشآت المتضررة مشغولة ومستخدمة. ومع ذلك، يمكن نجاح هذه التقنيات إذا ما تم استخدامها لتدعيم و خدمة الإنشاءات دون أن تتعارض مع شاعليها. السبب الرئيس للقيام بترميم و تدعيم وحماية الخرسانة هو تدهور المنشآت الخرسانية و ما قد يصيبها من أضرار و ما قد تحتويه من عيوب.

القيمة الأساسية للتآكل التي تعطى إنذارا للبدء في عملية ترميم المنشأ الخرساني ترتبط بخسارة بنسبة 10٪ من المساحة المقطعية لحديد التسليح، أو ستكون هناك حاجة لإضافة تسليح كجزء من الترميم. ولذلك يعتبر من الحكمة البدء في الترميم قبل الوصول إلى التآكل المرتبط بفقد نسبة من مساحة حديد التسليح. معظم استراتيجيات الترميم المعروضة في هذا التقرير هي للحالات التي فيها الفاقد في المساحة المقطعية لحديد التسليح نتيجة التآكل أقل من 10٪.

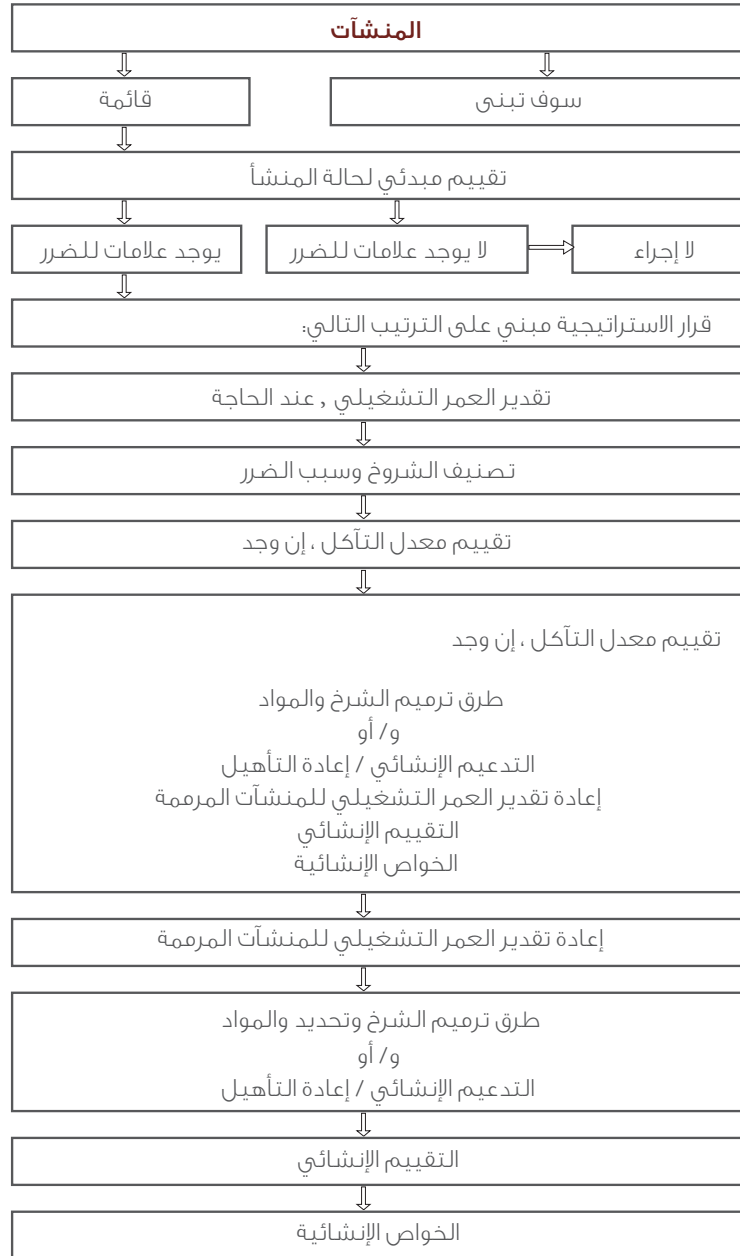
2. استراتيجية الترميم وإعادة التأهيل الإنشائي

الرسم البياني في الشكل (1) يبين توجيهات مفيدة للاستراتيجية التي يمكن اتباعها في الترميم الإنشائي. ومن المثير للاهتمام، أن واحدة من أخطر المشاكل و الموجودة على نطاق واسع في الخرسانة هي الضرر الداخلي الناجم عن التآكل بسبب الكلوريدات الخارجية الموجودة على سطح حديد التسليح العادي أو الحديد ذي الإجهاد المسبق في الخرسانة. مشاكل التآكل هي أساسا بسبب عملية التآكل من قبل المنتج (الصدأ) و الذي يتمدد حتى ثمانية أضعاف حجمه الأصلي، وبالتالي خلق ضغوط داخلية، والتي تؤدي بالخرسانة إلى التصدع والتفتت. إذا لم تتم دراسة و إيجاد حلول لمشكلة التآكل في مراحل مبكرة فإنه سوف يستمر في النمو بسرعة، مما يؤثر في نهاية المطاف على سلامة المنشأ بسبب ضعف الخرسانة وفقدان قوة التحمل.

تقييم وتصميم وتنفيذ ترميم دائم للمنشأ القائم هي في الواقع أكثر تعقيدا من تلك بالنسبة للمنشأ الجديد. بالإضافة إلى حالة المواد غير المعروفة للمنشآت القائمة، يجب أن تحدد الدرجة التي يجب أن تعمل فيها مواد الترميم والمواد الموجودة بمثابة مادة مركبة وتقاسم الأحمال. أدناه هي خطوات حماية وترميم وتدعيم منشأ من الخرسانة المسلحة.

الخطوة 1 : تقييم الأضرار

- مخاطر الصحة والسلامة
- الحالة الحالية
- نهج التصميم الأصلي
- البيئة والتلوث
- الشروط أثناء عملية البناء والتشغيل
- شروط الاستخدام
- الاستخدام المستقبلي



الشكل (1): استراتيجية نموذجية للمنشآت القائمة والجديدة وفقا لهذا الدليل

الخطوة 2 : خيارات استراتيجية الإدارة

- راقب ولا تفعل شيئاً
- إعادة تحليل القدرة الإنشائية وتقليلها عند الضرورة
- منع أو الحد من مزيد من التدهور
- تدعيم, ترميم أو حماية كل أو جزء من المنشأ
- إعادة بناء كل أو جزء من المنشأ
- إزالة كل أو جزء من المنشأ

الخطوة 3 : العوامل التي تؤثر في استراتيجية الإدارة

- النظر في الاستخدام المقصود ، العمر التصميمي، العمر التشغيلي ، والمظهر والأداء
- المقارنة مع العمر التشغيلي لأعمال الحماية والترميم
- تكاليف استراتيجيات العمر الكامل ، بما في ذلك التفتيش والصيانة في المستقبل
- حالة وأساليب إعداد الخرسانة المطلوب ترميمها
- التأثير على مسارات الحمل الإنشائي أثناء وبعد الترميم
- اعتبارات الصحة والسلامة للشاغلين والمستخدمين والطرف الثالث.
- تعرض المنشأ للعوامل البيئية المستقبلية وتخفيف حدتها .

الخطوة 4 : اختيار مبدأ/ مبادئ الترميم

- عيوب في الخرسانة
- حماية ضد اختراق الرطوبة
- التحكم في الرطوبة
- ترميم الخرسانة
- التدعيم الإنشائي
- المقاومة المادية
- المقاومة للمواد الكيميائية
- تأكل التسليح
- الحفاظ على أو استعادة السلبية
- زيادة المقاومة
- التحكم الكاثودي
- الحماية الكاثودية
- السيطرة على المناطق الأنودية

الخطوة 5 : اختيار الأسلوب / الأساليب

- اختيار مبادئ منفصلة أو مجتمعة
- الملائمة للنوع والسبب (أو مجموعات) ومدى وجود عيوب
- الملائمة لظروف الخدمة في المستقبل
- الملائمة لخيار الحماية أو الترميم
- توافق المنتجات والأنظمة

الخطوة 6 : اختر المواد

- خصائص الحد الأدنى للأداء لجميع الاستخدامات المقصودة
- خصائص الأداء الأدنى لبعض الاستخدامات المحددة
- خصائص الأداء لتطبيقات محددة
- الصحة والسلامة والامتثال للقوانين الخاصة بالحريق.
- كفاءة العاملين في استخدام المواد

الخطوة 7 : تحديد الاحتياجات الجارية

- تسجيل أعمال الحماية أو الترميم بما في ذلك إجراء أي اختبار
- التعليمات التي يتعين الاضطلاع بها في التفتيش والصيانة خلال ما تبقى من العمر التصميمي للجزء المررم من المنشأ الخرساني

2.1. خطوات ترميم الخرسانة

- ويمكن تلخيص خطوات الترميم في ثلاث خطوات رئيسة ، هي :
- إعداد سطح الخرسانة
- تطبيق نظام ترميم مناسب
- بعد الترميم

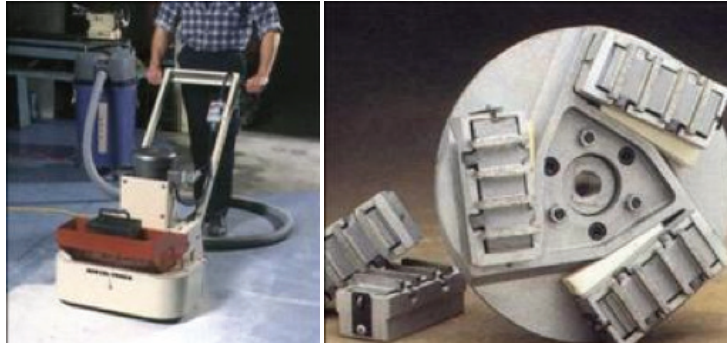
2.2. إعداد سطح الخرسانة

إعداد السطح يوفر سطح خرسانة قوي وخالي من المواد الضارة. إصلاح السطح يجب أن يكون خاليا من الخرسانة الضعيفة أو المتصدعة أو التالفة.

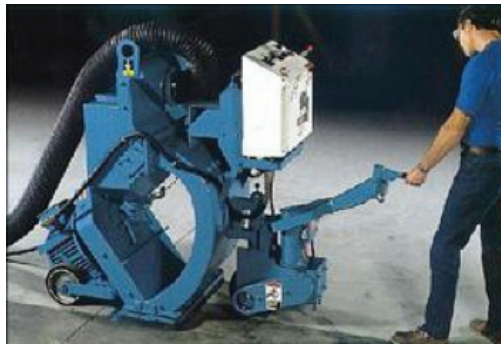
التقنيات الميكانيكية للمعالجة السطحية للخرسانة :

- التقطيع : آلات دق الصخور ، ومطرقة وإزميل
- الدق : بندقية إبرة ، آلة دق
- الطحن : طحان
- الحف : ماكينة حف
- التنظيف : فرشاة سلك ، وآلة التنظيف
- السفع بالطلقات : آلة السفع بالطلقات
- السفع الحر : السفع الصخري، السفع الرملي
- السفع بشفط الهواء : وحدة السفع الصخري مرفقة مع وحدة شفط
- السفع الحاد بالماء : لسفع مائي/ صخري / رملي
- السفع بضغط الماء : >40 ميغاباسكال
- السفع بضغط الماء العالي: 40-120 ميغاباسكال
- السفع بضغط الماء فائق الارتفاع : 150-300 ميغاباسكال.
- السفع بشفط الماء
- ويبين الجدول أدناه صورة موضحة لبعض التقنيات المذكورة أعلاه.

والأشكال أدناه صور موضحة لبعض التقنيات المذكورة أعلاه.



* الشكل (2) (الحف)



* الشكل (3) السفع بالطلقات



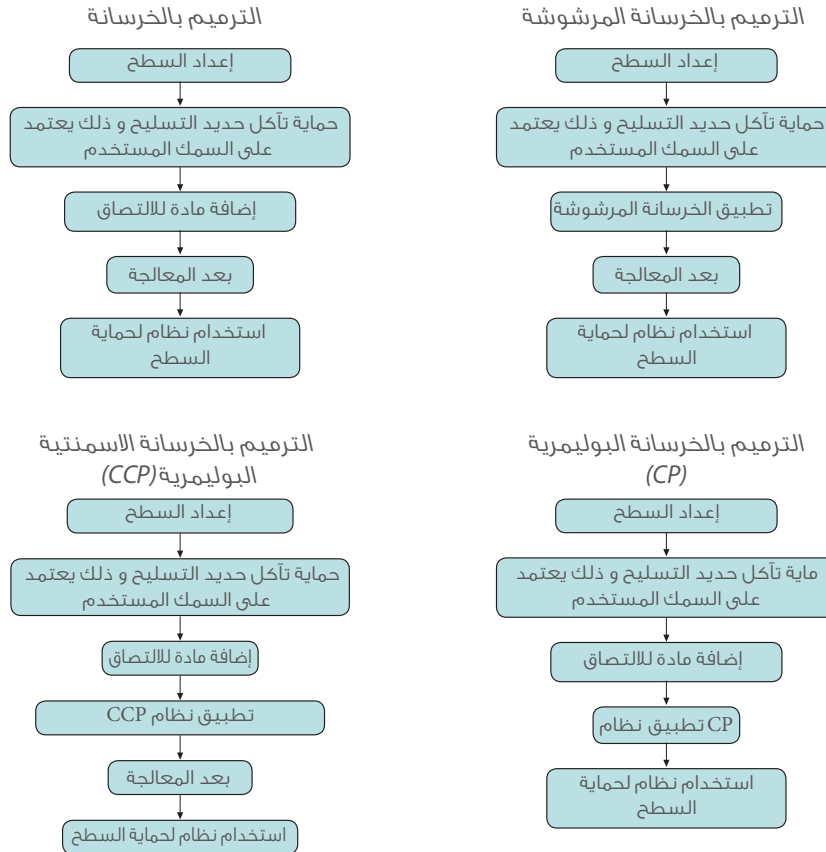
* الشكل (4) السفع بضغط الماء فائق الارتفاع

3.2. تطبيق نظام ترميم مناسب

وجد أنه من المناسب هنا تصنيف الترميم إلى نوعين : ترميم الشرخ والترميم الإنشائي. ويستخدم ترميم الشرخ عندما يمكن معالجة العنصر الإنشائي باستخدام حقن الشرخ أو الختم أو إعادة الربط. إذا كانت الشروخ كبيرة أو نتيجة للأضرار الإنشائية حيث ترميمات الشرخ المذكورة لن تكون فعالة ، يمكننا استخدام الترميم الإنشائي. في الترميم الإنشائي عادة ما يتم تطبيق مواد تدعيم إضافية للعنصر الإنشائي لاستعادة قدراته.

أ) ترميم الشرخ

اختيار نظام ترميم الشروخ يعتمد على الاحتياجات العامة بشأن ترميم الشروخ الخرسانية الجدول التالي يقدم بدائل مختلفة لترميم الشروخ :



- الحقن بأنظمة الإيبوكسي (EP) أو الحقن مع الاسمنت الدقيق (CEM) (الشكل 5)



الشكل (5): الحقن بالإيبوكسي

- ترميم الشرح بالختم : حقن بأنظمة مادة البولي يوريثين أو حقن بأنظمة أكريليك (الشكل 6)



الشكل(6): ختم الشرح

- ترميم الشرح بإعادة الربط : غرزة إبرية بأنظمة الإيبوكسي (EP) (الشكل 7)



الشكل (7) :إعادة ربط الشرح

بعد الترميم

جميع نظم الترميم الاسمنتية تتطلب ما بعد العلاج عن طريق الحفاظ على السطح رطباً لفترة معينة بعد التطبيق. إذا لم تتم مرحلة ما بعد المعالجة بشكل صحيح، هذا يمكن أن يؤثر على نجاح الترميم.

ب)الترميم الإنشائي

ترميم الأسطح التالفة من الخرسانة يمكنها من استعادة وظيفتها ، وحماية السطح نفسه أو الخرسانة وحديد التسليح من البيئات القاسية ، أو استعادة أية متطلبات أداء مفقودة بما في ذلك مقاومة النحت والكشط. جميع الترميمات تتطلب مبدئياً إعداد السطح ، والذي قد يشمل الكشط أو التقطيع أو الطحن أو المعالجات الكيميائية أو الرملية. نظم ترميم الأسطح تشمل الأغشية ، استعادة السطح ، والترميمات الشكلية ، التجريف اليدوي بالمواد الاسمنتية الترميم بالصب في المكان ، والخرسانة المرشوشة ، في بعض الحالات ، استبدال القطاع بالكامل في حالة الانهيار كما هو مبين في الشكل (8).



الشكل (8) : انهيار عمود (Vision 2020)

2.4 الحماية

تصمم تقنيات الحماية لإطالة عمر المنشأ بحمايته من التأثير بالبيئات القاسية. وتتوفر الأنظمة في شكل التغليف ، موانع التسرب والأغشية و الخطوط المنتظمة و الحماية الكاثودية.

2.5 عزل المياه

تقنيات عزل المياه تمنعها من الدخول أو الخروج من المنشآت من خلال الشروخ الموجودة لأسباب مختلفة (يسار الشكل (9)). تشمل النظم استبدال المفاصل ومانعات التسرب ، الأغشية العازلة وحشو الشرخ (الشكل (9) اليمين).



الشكل (9) : عزل الماء وحشو الشرخ (Vision 2020)

2.6 تقنيات تدعيم المنشآت المعروفة

التدعيم هو عملية الإضافة إلى أو استعادة قدرة العنصر الإنشائي أو المنشأ على التحمل كما في الشكل (10). التقنيات تشمل إضافة الحديد ، وأنظمة مركبات FRP ، الخرسانة أو مواد خاصة أخرى لتوفير قوة وقدرة إضافية للمنشأ.



الشكل (10) : مثال للترميم الإنشائي (Vision 2020)

يمكن تصنيف التدعيم الإنشائي لحالتين رئيسيتين :

(أ) ترميم : أينما كان

- عدم كفاية التسليح
- تآكل التسليح
- أضرار إنشائية / حريق

(ب) التعديلات لتغيير ظروف حالات التشغيل مثل :

- الترخيمات المفرطة
- التغيير في الاستخدام
- زيادة مقاومة الزلازل
- أخطاء تصميم

العديد من مباني المدارس التي شيدت أصلاً لاستخدام محدد يجري الآن تجديدها أو ترقيتها لتطبيقات مختلفة قد تتطلب قدرة أعلى لحمل الأحمال. أمثلة نموذجية لتغيير الاستخدامات تشمل ترقية استخدام مرائب وقوف السيارات وممرات الوصول لتتحمل الأوزان الثقيلة من شاحنات مكافحة الحرائق وسيارات الطوارئ ، تحويل المباني الإدارية لمناطق للتخزين أو فصول مع مطالب أحمال أقل، وتركيب أنظمة الفهرسة ذات الكثافة العالية في المدارس والمكاتب الإدارية التعليمية. نتيجة لهذه المطالب لزيادة الأحمال ، فإن المنشآت القائمة تحتاج إلى إعادة تقييم ، وربما تتطلب تدعيماً لتلبية متطلبات الأحمال الأثقل.

يمكن أن تتحقق الترقية الإنشائية للمنشآت الخرسانية باستخدام أحد أساليب عديدة مختلفة للترقية مثل تقصير المسافة بين الأعمدة، إضافة ألواح الحديد للقطاع الخرساني ، مركبات البوليمر المقوى بالألياف (FRP) ، نظم ما بعد الشد الخارجية أو الداخلية ، تكبير القطاع ، أو مزيج من هذه التقنيات. مثل ترميم الخرسانة ، نظم التدعيم يجب أن تؤدي بطريقة مركبة مع المنشأ القائم لتكون فعالة وتتقاسم الأحمال المطبقة. وفيما يلي وصفا موجزا لهذه الأساليب والتطبيقات على دراسة حالة. الجدول التالي يتضمن صوراً واضحة للترميم الإنشائي.

1.6.2. التدعيم بمركبات FRP

أنظمة البوليمر المقوى بالألياف (FRP) هي ألواح نسيج ورقي رقيق ترتبط مع الأعضاء الخرسانية بلاصق الإيبوكسي لزيادة قدرة تحمل العنصر الإنشائي بشكل ملحوظ. هذه الألياف عادة ما تكون أساساً من الكربون ، وقد استخدمت هذه النظم على نطاق واسع في صناعات السيارات والمعدات الرياضية ، وأصبحت الآن التكنولوجيا الأساسية لرفع المستوى الإنشائي للمنشآت الخرسانية. الخصائص المهمة لـ FRPs من أجل الترميم الإنشائي والتطبيقات الخاصة بالتدعيم هي خاصية عدم القابلية للتآكل ، وسرعة وسهولة التركيب وانخفاض التكلفة ، والشكل الجمالي. أمثلة على تدعيم FRP تظهر في الصور التالية:



عمود

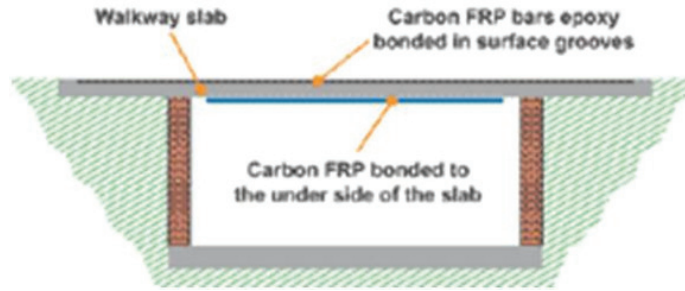


تدعيمهارة



تدعيم بلاطة

كما هو الحال مع أي نظام ترميم خارجي آخر ، الربط بين نظام FRP والخرسانة القائمة أمر بالغ الأهمية ، وإعداد السطح مهم جدا . عادة ، يتم تحقيق التثبيت من خلال تطبيق لاصق الإيبوكسي على السطح المعد ، تركيب الإيبوكسي على FRP ثم تطبيق طبقة ثانية من لاصق الإيبوكسي . بعد المعالجة ، فإن مركب FRP سيضيف قدرة كبيرة إضافية إلى العنصر على الرغم من حقيقة أنه هو طبقة رقيقة جدا . هذا لأن FRP المستخدم فيه عنصر الكربون له قدرة تحمل للشد ما يقرب من 10 مرات الصلب . الشكل (11) يظهر رسماً تخطيطياً للتدعيم الإنشائي لنفق مرافق عامة . سقف النفق يعمل في الأصل بمثابة ممر للمشاة .



الشكل (11) : تدعيم بلاطة نفق باستخدام FRP (Vision 2020)

منشأ جديد عبارة عن غير مطلوب أن يكون الممشى هو الممر الأساسي لسيارات الطوارئ . وكشف تحليل بلاطة النفق العلوية أنه ليس لديها القدرة الكافية لتحمل الأحمال من شاحنات مكافحة الحرائق وسيارات الطوارئ الأخرى . وقد تحقق أن خيار التدعيم باستخدام ألواح FRP بالربط الخارجي كاف إنشائياً ، سهلة التثبيت وفعالة من حيث التكلفة . حل التدعيم تألف من ألواح FRP المستخدم فيه عنصر الكربون ترابطت مع أسفل البلاطة ، تعمل كتسليح شد سفلي إضافي ، كما هو مبين في الشكل (12) .



الشكل (12) : نسيج FRP الكربون أسفل البلاطة (Vision 2020)

بالإضافة إلى ذلك، تم تدعيم الأجزاء المعلقة المتدلية من البلاطة باستخدام قضبان FRP الكربون بترابط مع الإيبوكسي في الأضد التي فتحت على الجانب العلوي للبلاطة. هذا الأسلوب هو أكثر ملاءمة من ألواح FRP، لأن القضبان تم ربطها تحت السطح، وبالتالي تجنب الضرر الناتج عن حركة المرور لتدعيم الربط الخارجي (انظر الشكل (13))



الشكل (13) : تركيب قضيب (FRP Vision 2020)

2.6.2. تقصير المسافة بين الدعامات

ويتم تقصير المسافة بين الدعامات عن طريق تثبيت دعائم إضافية تحت الأعضاء القائمة للحد من طول الجسر. المواد التي تستخدم لتقصير المسافة وتشمل أعضاء من الحديد الإنشائي والصب في المكان لعناصر إنشائية من الخرسانة المسلحة و التي هي سريعة التثبيت. ويمكن تصميم الوصلات بسهولة باستخدام المسامير والخوابير اللاصقة. تقصير المسافة قد يتسبب في خسائر للمساحة وتخفيض الارتفاع. مثال على هذا الأسلوب موضح بالشكل (14). تم تثبيت نظام الحديد الإنشائي الموضح بالشكل على سطح لوقوف السيارات لتقصير المسافة وتحمل جزء من الحمولة، وتحويله إلى دعم للنظام القائم.



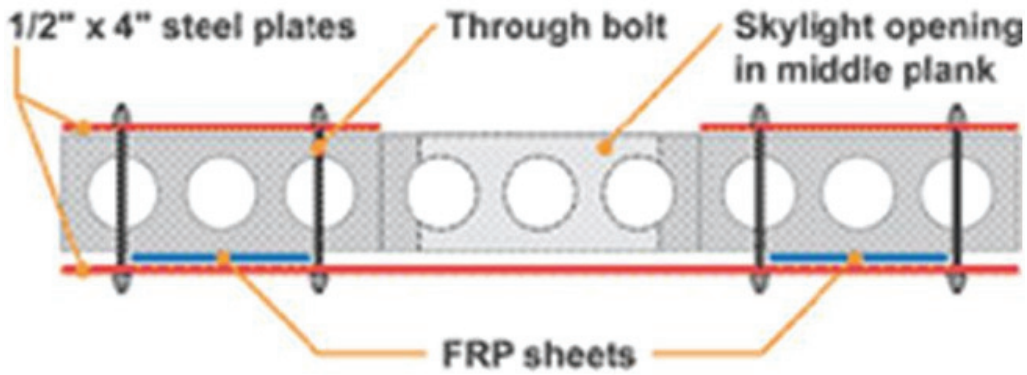
الشكل (14) : مرآب وقوف السيارات باستخدام تقصير المسافة (Vision 2020)

3.6.2. عناصر الحديد المترابط

قد تم تطوير تدعيم أعضاء الخرسانة باستخدام ألواح الحديد المصق في 1960 في سويسرا وألمانيا. في هذا الأسلوب، يتم لصق عناصر الحديد لسطح الخرسانة باستخدام مركبين من لواقص الإيبوكسي لخلق نظام مركب. يمكن أن تكون عناصر الحديد ألواح من الحديد، قطعاً، زوايا أو أعضاء مركبة. عناصر الصلب تتصل بالجوانب أو أسفل العضو الإنشائي لتحسين قدرة تحمل القص أو الانحناء.

بالإضافة إلى لاصق الإيبوكسي ، الخوابير الميكانيكية تستخدم عادة لضمان أن عنصر الحديد سوف يتقاسم الأحمال الخارجية في حال فقدان اللاصق. يجب حماية عناصر الحديد المعرضة باستخدام نظام مناسب مباشرة بعد التثبيت. بغض النظر عن نظام الحماية من التآكل المحدد ، فإن خصائصه بالنسبة للديمومة ومتطلبات الصيانة على المدى الطويل يجب أخذها في الاعتبار بشكل كامل.

الشكل (15) يوضح رسماً تخطيطياً لتدعيم نظام سقف مدرسة ابتدائية في ولاية نيو جيرسي. أرادت إدارة المدرسة تثبيت مناوور على السطح القائم. يتألف السقف من خرسانة ألواح جوفاء سابقة الإجهاد. مطلوب لتركيب المناور قطع الفتحات الموجودة في الألواح التي من شأنها أن تقلل من قدرة تحمل المنشأ للأحمال. وتم حل هذه المشكلة عن طريق وضع نظام تدعيم النسيج بمركب مؤلف من عناصر FRP والحديد. FRP المصنوع خارجياً يدعم الألواح المتاخمة للوح المطلوب قطعه، في حين أن عناصر الحديد ربطت بتلك الألواح المتاخمة لها ، وبالتالي خلق وحدة جديدة مؤلفة من ثلاثة ألواح مع القدرة الكافية. بالإضافة إلى التطبيق السريع لهذا النظام ، كان هذا الحل أقل تكلفة كما أنه أكثر جمالاً أيضاً.



الشكل (15): رسم تخطيطي لنظام تدعيم مركب (Vision 2020)

2.4.6. الشد اللاصق الخارجي

تقنية الشد اللاصق الخارجي استخدمت على نحو فعال لزيادة قدرة الانحناء والقص لكل من العناصر الإنشائية المصنوعة من الخرسانة المسلحة و تلك سابقة الإجهاد منذ 1950. مع هذا النوع من أساليب التقوية ، تطبق قوى خارجية للعنصر الإنشائي باستخدام كابلات الشد لمقاومة الأحمال الجديدة. بسبب قلة الوزن الإضافي لنظام الترميم ، يعتبر هذا الأسلوب فعالاً واقتصادياً ، واستخدم بنجاح كبير لتصحيح الترخيمات المفرطة والتصدع في الكمرات والبلاطات و منشآت مواقف السيارات والأعضاء الكابولي. يتم إيصال قوى الشد اللاصق عن طريق الأوتار سابقة الإجهاد أو قضبان الحديد عالية القوة و سابقة الإجهاد، وتقع عادة خارج القطاع الأصلي. يتم توصيل الأوتار للمنشأ في نقاط الربط ، وتقع عادة في نهايات العنصر الإنشائي. ويمكن صنع نقاط الربط من تركيبات حديدية تربط في العنصر الإنشائي ، أو كتل الخرسانة المسلحة التي تم صبها في الموقع. قوة الرفع المطلوبة يتم توفيرها من قبل كتل تثبت في نقاط مرتفعة أو منخفضة من العنصر الإنشائي. قبل تفعيل الإجهاد المسبق الخارجي فإن جميع الشروخ الموجودة يجب حقنها بالإيبوكسي وتصحيح الانفصالات لضمان توزيع القوى ذات الإجهاد المسبق بشكل موحد عبر قطاع العنصر الإنشائي.

ويوضح الشكل (16) نظام الشد اللاصق الخارجي المستخدم لتدعيم كمرات سابقة الإجهاد التي تضررت من تأثير المركبات. أربع كمرات على جسر يقع في مقر الجامعة في واشنطن العاصمة تضررت عندما لم ينتبه سائق شاحنة عالية إلى حدود الارتفاع .



الشكل (16) :رسم تخطيطي لنظام الشد اللاصق الخارجي (Vision 2020)

عانت الكمرات الأربعة من التصدع المفرط للخرسانة والتفتت و كذلك حدث ضرر لبعض من الحديد الداخلي سابق الإجهاد.

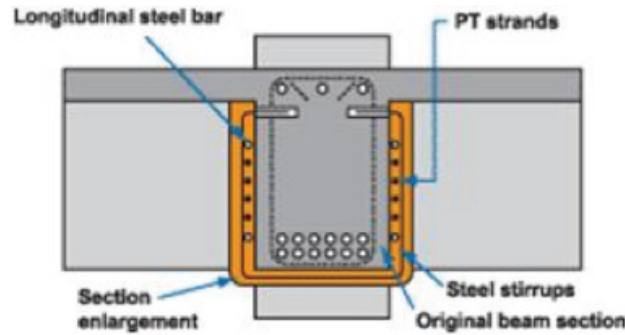
تضمنت الحلول المقترحة استبدال الكمرات التالفة بأخرى جديدة وتركيب إطار من الحديد تحت الدعامات. وكلا الخيارين سوف يجعل الممر العلوي خارج الخدمة لمدة أطول من المرجو. كان الخيار لنظام الشد اللاصق الخارجي أكثر اقتصادياً ويتطلب وقتاً أقل لإكماله و كان أكثر توافقاً مع البناء القائم.

بعد أن تم حقن جميع الشروخ ، وشكلت جوانب الكمرات وتم صب خرسانة جديدة لاستعادة قدرة الكمرات على التحمل. تم تثبيت نظام التدعيم ، و بعد معالجة الخرسانة تم إجهاد الأفرع الخارجية وفقاً للقوى المحددة هندسياً. وكان هذا الخيار للتدعيم الإنشائي سريعاً وفعالاً ، مما يوفر للمالك قدراً كبيراً في تكاليف البناء والتشغيل.

5.6.2. تكبير القطاع

هذه الطريقة للتدعيم تنطوي على وضع خرسانة مسلحة إضافية للعنصر الإنشائي القائم في شكل قميص خرساني. بواسطة تكبير القطاع يمكن تكبير الأعمدة والجسور والبلاطات والحوائط لزيادة كل من قدراتها على حمل الحمولة و صلابتها. التكبير النموذجي هو ما يقرب من 50 إلى 75مم للبلاطات و 75 إلى 125مم للكمرات والأعمدة.

الشكل (17) يوضح تفاصيل تكبير قطاع يستخدم لزيادة قدرة الكمرة الرئيسية في جراج لسيارات الجامعة. كانت العارضة قد أعيد تقييمها بسبب تغيير في التحميل المطلوب ووجد أنها ضعيفة في مقاومة الانحناء والقص. لتصحيح الخلل، أضيف حديد إضافي للقص والانحناء. تم تشكيل الكمرة بأكملها وتم صب قميص خرساني بسمك 4 بوصة لتكبير القطاع.



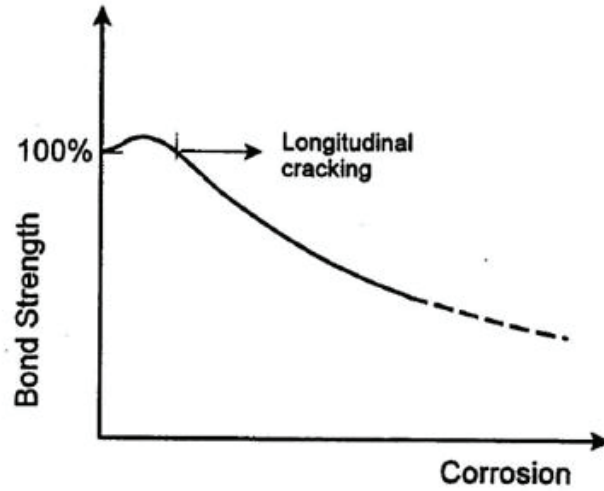
الشكل (17) : تدعيم كمرة باستخدام تكبير القطاع (Vision 2020)

تحذير

لمنع آثار تدعيم أو إزالة جزء من أو كل عنصر إنشائي - مثل الاختراقات أو مواد التدهور - يجب إجراء تحليل دقيق لتحديد تأثيرها على السلوك العام للمنشأ. الفشل في القيام بذلك يزيد من إجهاد العنصر الإنشائي المحيط بالمنطقة المتضررة ، والتي يمكن أن تؤدي إلى مشكلة أكبر و انهيار موضعي. في مشاريع الترميم ، يجب على المقاولين أيضا أن يتعاملوا مع القضايا الحرجة المتعلقة بالوصول إلى مكان العمل ، إنشائية الترميم ، السيطرة على الضوضاء والغبار ، ونوع مواد البناء. ذلك كله ليس بنفس درجة الأهمية بالنسبة لمشاريع البناء الجديدة.

7.2 تأثير التآكل على خصائص الترابط

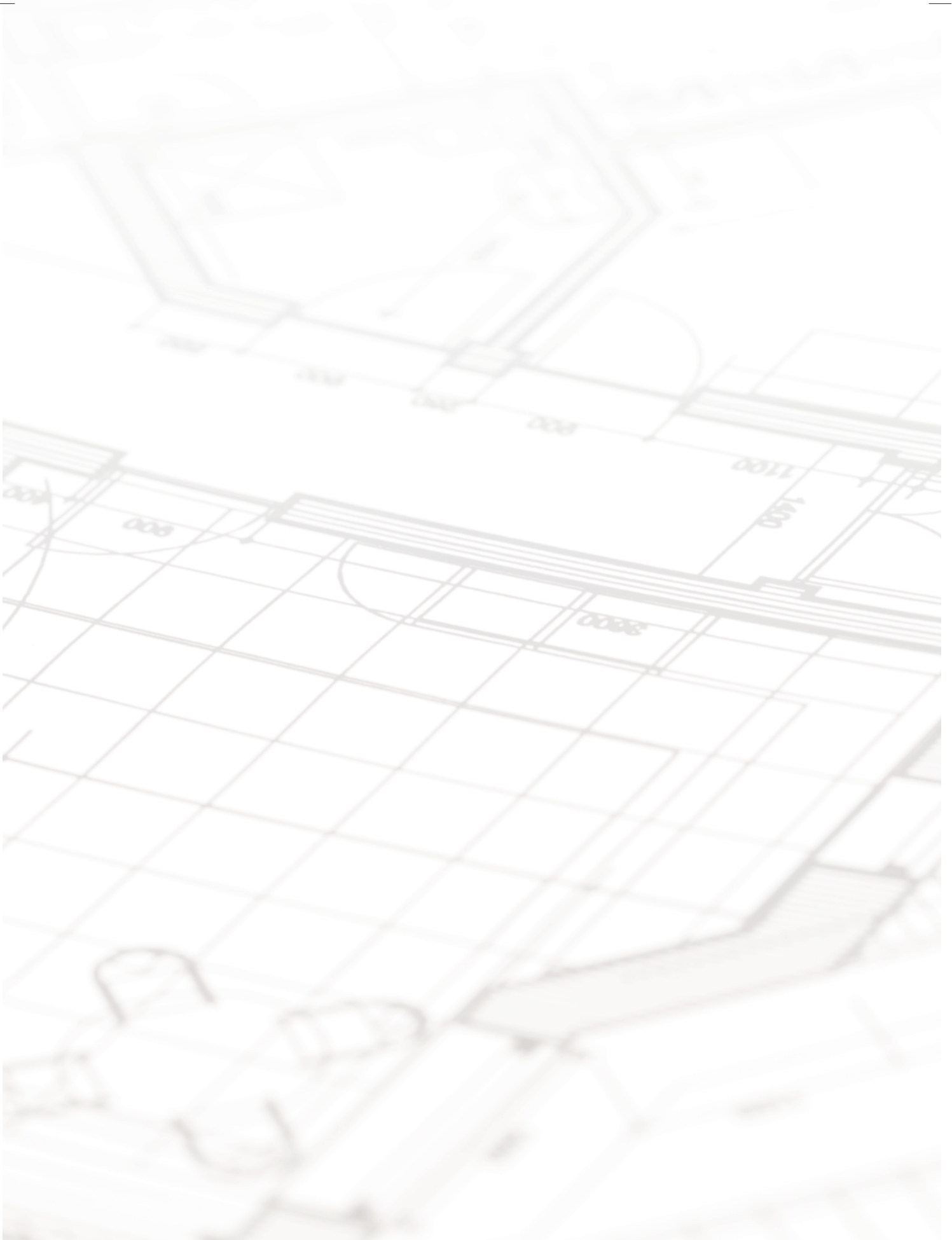
قوة الترابط تزداد عادة مع زيادة مستوى تآكل حديد التسليح لتصل إلى مستوى معين قبل تصدع الغطاء الخرساني، الشكل (18). ويأتي هذا الانخفاض الكبير في ظل عدم وجود تسليح كاف. النقطة التي يحدث عندها يتغير اتجاه قوة الترابط من الزيادة إلى الانخفاض مع زيادة التآكل يعتمد على نسبة الغطاء الخرساني إلى قطر السليح (c/d). التغيير يحدث عندما يكون التآكل بقيمة ما يقرب من نصف قيمة التآكل المطلوب ليسبب تصدع الغطاء الخرساني.



الشكل (18) : تأثير التآكل على قوة الترابط (Fib 2000)

3 مراجع

- fib 2000, "Federation International du Beton (fib) (2000). Bond of Reinforcement in Concrete"
- International Code Council, 2003 International Building Code, International Code Council, Country Club Hills, IL, 2002, 656pp.
- International Code Council, 2000 International Building Code, International Code Council, Falls Church, VA, 2000, 756 pp.
- International Code Council, 2006 International Existing Building Code, International Code Council, Country Club Hills, IL, 2006, 288pp.
- MacGregor, D.C., and Riley, G.J., «New Requirements for Old Buildings,» Structure, V.13, No.9, Sept. 2006, pp.4447-.
- Vision 2020: A Vision for the Concrete Repair, Protection, and Strengthening Industry, ACI Strategic Development Council, Farmington Hills, MI, 2006, p.17.



X - ترميم المنشآت لاحقة الشد

1. مقدمة

تقييم الكوابل المحقونة لاحقة الشد هي مهمة صعبة، ولا يمكن استخدام طريقة واحدة لوصف الضرر كاملاً أو متوسط العمر المتوقع للكابل.

تآكل الأوتار المحقونة وحتى غير المحقونة أمر شائع للمنشآت لاحقة الشد التي تتعرض لبيئات قاسية. الغطاء غير الكافي فوق الأوتار، والافتقار إلى الحماية من التآكل عند مراسي (نقاط) التثبيت جنباً إلى جنب مع التعرض للكلوريدات عن طريق المواد الذائبة والهواء الساحلي يؤدي إلى تآكل النظم لاحقة الشد.

كابلات الحواجز المستخدمة في جراجات مواقف السيارات مشابهة للكابلات لاحقة الشد في البلاطات الخرسانية وتخضع للآليات تدهور مماثل. في بعض الحالات تحدث انهيارات بسرعة أكبر حيث الكابلات معرضة مباشرة للعوامل الخارجية وليس لديهم الحماية الإضافية التي يقدمها الغطاء الخرساني. استبدال كابلات الحاجز والمراسي يتطلب نفس خبرة ترميم الأوتار لاحقة الشد.

2. أنواع من الشروخ في المنشآت لاحقة الشد

أنواع الشروخ التي قدمت في القسم 3 من الفصل الثالث تحدث أيضاً في المنشآت لاحقة الشد. المنشآت لاحقة الشد هي أيضاً عرضة لأنواع الشروخ الإضافية التالية :

• شروخ بسبب صدأ الأوتار لاحقة الشد :

o الأوتار لاحقة الشد ربما تتآكل بسبب تغلغل المياه و / أو الكلوريدات من خلال كسر التغليف في أماكن تآكل (صدأ) أو كسر غطاء الخرسانة كما هو مبين في الشكل (1). جراجات مواقف السيارات والبنائيات الساحلية معرضة جداً لتآكل الأوتار. الشكلان (2) و (3) يبينان انفصال الخرسانة وصدأ الأوتار.

• شروخ بسبب الموضع غير الصحيح للكابلات لاحقة الشد

o تصدع الخرسانة على طول خطوط الأوتار يحدث نتيجة للموضع غير الصحيح للكابلات لاحقة الشد كما هو مبين في الشكل (4). الوضع غير الصحيح للكابلات يسبب الضرر للعضو عن طريق تكبير الإجهادات من أحمال الخدمة بدلا من مواجهة تلك الإجهادات.

• شروخ بسبب التقصير المرن والصلد

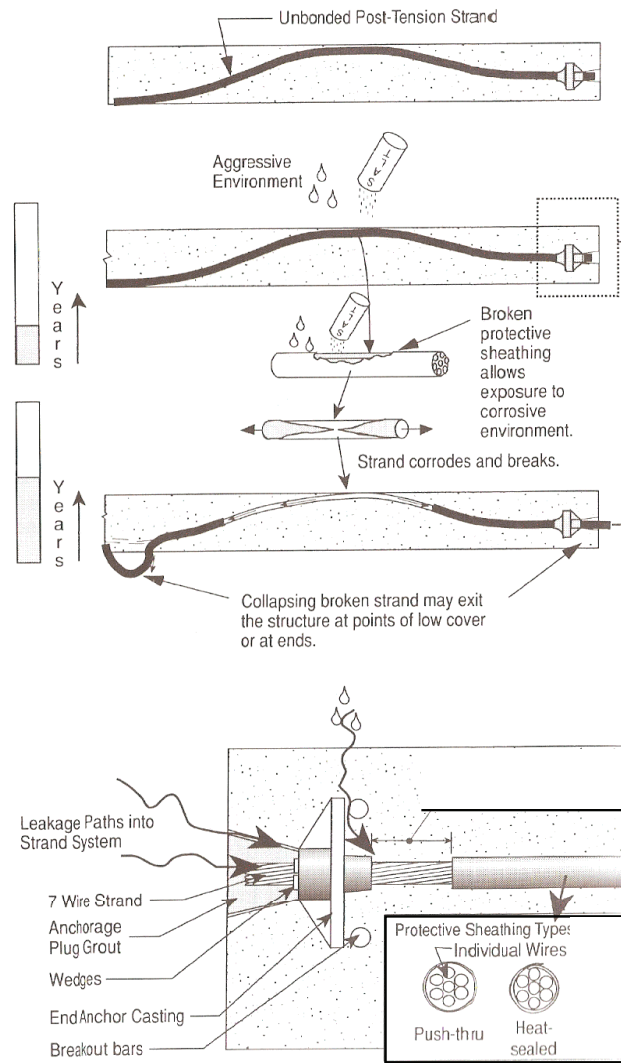
o القصور في التصميم نتيجة عدم مراعاة التخييرات في حجم الأعضاء بسبب التقصير المرن والصلد (الزحف) يؤدي أيضاً إلى تصدع للأعضاء لاحقة الشد. البناء لاحق الشد المصوب في الموقع والتي لا تسمح بالتقصير في الأعضاء سابقة الإجهاد عرضة لتصدع العضو ودعامة المنشأ على حد سواء ، كما هو مبين في الشكل (5). أعمدة دعم العناصر لاحقة الشد تتعرض لانسحاب أفقي في اتجاهات متعاكسة مما سبب شروخ قص حادة. ومما يزيد أيضاً من القص التسخين الشمسي طوال اليوم إذا تعرض المنشأ مباشرة للشمس.

• شروخ بسبب التصميم غير الصحيح

- o تركيز إجهادات الضغط العالية في نهاية كتلة المرسي (نقطة التثبيت) بسبب سوء التصميم مما يسبب انهيار الخرسانة (الشكل 6).
- o كمية غير كافية من الكابلات لاحقة الشد أو عدم كفاية إجهادات الكابل بسبب الترخيم المفرط و / أو شروخ انحناء في جانب الشد.
- o كمية غير كافية من الكابلات لاحقة الشد أو عدم كفاية إجهادات الكابل بسبب الترخيم المفرط و / أو شروخ انحناء في جانب الشد.
- o زيادة إجهادات الكابلات أو الزيادة غير الضرورية في كمية الأوتار يؤدي إلى سحق الخرسانة على جانب الضغط.
- o عدم كفاية الكانات يمكن أن يسبب شروخ القص.

• الضرر العرضي

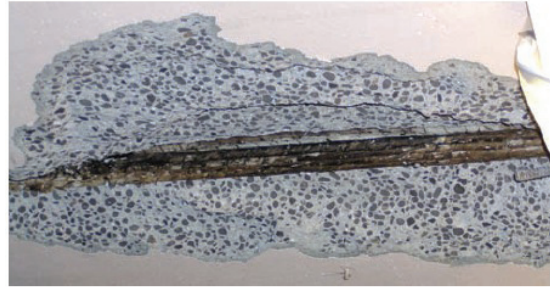
الإههال في حفر الأرضيات أثناء تثبيت أو صيانة المرافق يسبب ضرراً على الكابلات لاحقة الشد.



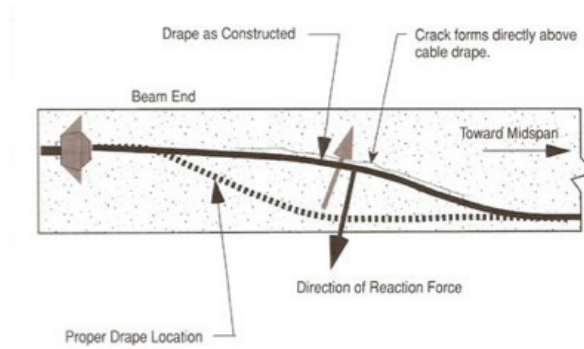
الشكل (1): التآكل في أحوال لاحقة الشد غير مترابطة (Emmons 1993)



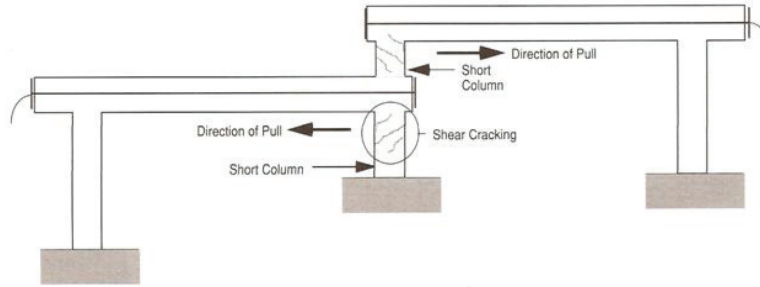
الشكل (2): انفصال الخرسانة (Bondy 2006)



الشكل (3): الكابلات المتآكلة (Bondy 2006)



الشكل (4): تصدع الخرسانة الناجم عن سوء وضع الكابلات لاحقة الشد (Emmons 1993)



الشكل (5): تصدع القص في الأعمدة الخرسانية نتيجة سحبها أفقيا بسبب الإجهاد المسبق (Emmons 1993)

3. متطلبات البناء الجديد لاحق الشد

3.1. متطلبات الحشو

مواصفات (PTI Committee on Grouting Specifications 2003) (PTI) صنفت المتطلبات إلى أربعة شروط :

أ) متطلبات المواد - الحشو يتكون من الاسمنت والماء ويمكن أن تشمل أيضا خلطات كيميائية أو معدنية فضلا عن الرمال الناعمة. المواد البوزولانية المستخدمة في الخرسانة يمكن استخدامها أيضا في الحشو. حبيبات السيليكات والرماد المتطاير ، وكلاهما من النوع (C) والنوع (F)، هي الأكثر شيوعا في الاستخدام، لأن الرماد المتطاير قد يختلف اختلافا كبيرا من مصادر مختلفة ، ينبغي أن يستخدم مصدر ثابت لتحقيق خصائص موقع مماثلة لتلك التي عثر عليها أثناء تطوير الخليط في المختبر. ويمكن الحد من الرماد المتطاير المحتمل ، التسييل ، زيادة فاعلية التشغيل والحد من النفاذية.

وقد تبين أن حبيبات السيليكا تحسن الحماية من التآكل في الخرسانة عن طريق تقليل نفاذية الخرسانة. في الحشو ، ومع ذلك ، يجوز للجزيئات أن تتكثرت بسبب غياب الركام الخشن الذي قد يساعد في الخلط. وقد أظهرت التجارب الأخيرة أداء أفضل مع أسمنت حبيبات السيليكا.



الشكل (6): انهيار الخرسانة نظراً لتركيز الإجهادات على نهاية نقاط تثبيت الأوتار

وقد شملت الخلطات الكيميائية المستخدمة في الحشو نطاقاً واسعاً من إضافات خفض الماء ، الإضافات المضادة للنزف، إضافات توسعية ، ومثبطات التآكل. النطاق الواسع من إضافات خفض الماء يساعد على تحقيق فاعلية التشغيل في انخفاض نسب مواد اسمنتية-الماء. لمحتوى ماء ثابت ، إضافة مخفضات الماء فقط أو النطاق الواسع من إضافات خفض الماء يزيد عادة التسييل ، ولذلك لا ينبغي أن يضاف خليط يتجاوز كمية خليط التصميم.

خلطات مكافحة التسييل ، تسمى أيضاً محفزات التبلور أو المثبتات ، ضرورية من أجل التطبيقات التي تتطلب مقاومة قوية للتسييل أو احتباس الماء في الحشو. حبيبات السيليكا والرماد المتطاير تحسن بشكل متوسط مقاومة التسييل، ولكنها ليست كافية وحدها لخصائص الماء العالية اللازمة للعديد من التطبيقات.

استخدمت محفزات توسعية في الحشو لسنوات عديدة مع فرضية التصدي للنزف والفراغات مع التمدد في الحشو. ويجوز لكمية صغيرة من التمدد لتعويض الهبوط الاستوائي ، ولكن ينبغي تجنب استخدام خلطات التمدد المرغوبة النوع. قد يكون لهذه الخلطات مستويات متفاوتة من التمدد على نطاق واسع عند دمجها مع الاسمنتيات المختلفة. كما أنها قد تسبب نظام فراغ الهواء المترابط ، مما يؤدي إلى زيادة النفاذية. الفائدة المرجوة لمواجهة التسييل لا تزال تحدث بسبب استمرار التسييل حتى يتم الحشو.

مثبطات التآكل لم تظهر فاعلية في الحشو. وقد أشارت تجارب التسارع انخفاضاً في الحماية من التآكل. ومصممة التصميم الجيد لحشو مكافحة التسييل مع انخفاض محتوى الماء هو الأفضل على إضافات مثبطات التآكل في الحشو.

عند أي تصميم للحشو ، ينبغي الحرص على استخدام مواد متناسقة بين التجارب المخبرية وتطوير الخليط ، ومجال الخلط. يجب أن يتم تخزين المواد طبقاً لتوجيهات المصنع ، وينبغي الحرص على التأكد من عدم تعدي المواد لتاريخ انتهاء صلاحيتها.

خصائص وممارسات مواد الحشو ينبغي أن تكون مطابقة للمواصفات (PTI) لضمان نجاح عملية الحشو. يجب أن يكون للحشو السيولة المناسبة للضخ والإبقاء على هذه السيولة في مدى واسع من درجات الحرارة على مدى وقت الضخ. مقاومة التسييل أمر بالغ الأهمية في منع المناطق المفرغة. الوقت المحدد للتطبيق ، مقاومة اختراق الكلوريد ، وقوة التحمل هي أيضاً من الخصائص المهمة وتم تغطيتها من خلال مواصفات (PTI)

خطوات ومعدات الخلط لها تأثير كبير على سلوك الحشو. الحشوات متغيرة الانسيابية تميل إلى أن تكون مختلطة بشكل أكثر فعالية مع ارتفاع القص أو خلط الغروية. وهناك حاجة بعد ذلك لخزان للحفاظ على الحشو المطلوب. كل أنواع الحشو لها خصائص مختلفة عند مزجها بواسطة أنواع مختلفة من الخلاطات و مرات خلط مختلفة. يمكن لكل من الإفراط والإقلال في الخلط أن يسبب مشكلة. وينبغي أن تستخدم نفس المعدات التي سيتم استخدامها في الموقع لاختبار الخاصية وأية اختبارات ميدانية مواكبة. المعدات الاحتياطية ينبغي أن تكون في متناول اليد في حالة عطل المعدات أثناء الضخ.

المداخل السليمة ، منافذ وفتحات التهوية ضرورية لتسهيل تعبئة كاملة للمجرى. يتم وضع فتحات في النقاط العالية والمتوسطة وفي مواقع المصب أقل من النقاط العالية لضمان إمكانية طرد الهواء ، لا سيما في حالة التدفق العكسي. وينبغي أيضا وجود فتحة تنفيس في النهاية العليا لكل من النهايات الثابتة والمجهد للوتر. المنافذ في النقاط السفلية تساعد في تجفيف الرطوبة. هذا أمر بالغ الأهمية ولا سيما في الحالات التي يمكن فيها للماء أن يتجمد. يجب على جميع مداخل ومنافذ وفتحات التهوية وإيجابية أن يكون لها صمامات إيجابية للإيقاف. الممارسة السابقة للانحناء على أنابيب التنفيس والربط بسلك الربط ليست كافية. وينبغي إغلاق المخارج من أجل إيقاف التدفق المتعاقب ، مع استثناء من الفتحات القليلة الموجودة على المصب من النقاط العالية والمتوسطة ، التي ينبغي أن تكون مغلقة قبل نقطة التنفيس العالية المرتبطة بها. وينبغي أن يسمح للحشو بالتدفق من الفتحات حتى يختنق كل الهواء المرثي

و جيوب الماء وضوحا من مجرى التدفق. ما لا يقل عن 1 غالون. يجب طرد (3.8 لتر) من الحشو من فتحة تنفيس و5 جالونات (19 لتراً) من المخرج. لا ينبغي أن يعاد فتح المنافذ قبل مجموعة الحشو. ينبغي قص الفتحات على سطح الخرسانة وتختتم للتأكد من أنها لا توفر وسيلة لدخول الكلوريد والرطوبة. إذا حدث اضطراب في حشو الوتر ، ينبغي أن يتم الاستمرار في عملية الحشو بطريقة تضمن تعبئة كاملة من المجرى. وهذا قد يتطلب حقن الحشو في المنفذ السابق لتدفق الحشو ، لصق أحد المنافذ الجديدة المتاخمة للانسداد ، و / أو شفط الحشو.

(ب) متطلبات التصميم -- قسم التصميم من مواصفات (PTI) يغطي متطلبات الحشو مقسما لفئات. فئة (A) الحشو لتطبيقات التعرض غير القاسية ، والفئة (B) الحشو لتطبيقات التعرض القاسية ، والفئة C الحشو والحشو الجاهز المناسب للبيئات القاسية ، والفئة (D) الحشو لتطبيقات خاصة. على سبيل المثال ، يعتبر تطبيق بقاء الكابل مع حشو صاعد أكبر من 100 قدم (30.5 متر) من الفئة (D) للحشو .

(ج) متطلبات الاختبار -- يجب إجراء الاختبارات المعملية على المحتوى المائي الثابت لتصميم الجص المطلوب. يجب أن توضح المواد الجاهزة الحد الأقصى والحد الأدنى لنسبة الماء - المواد الاسمنتية على الكيس ويجب أن تجرى الفحوص المختبرية على كل من محتويات الماء. اختبار الخواص وتشمل: الوقت المحدد للتطبيق ، قوة التحمل ، النفاذية ، وتغيير الحجم ، السيولة ، مقاومة النزف ، مقاومة التآكل ، والكثافة الرطبة. اختبار السيولة يعطي مؤشرا على قابلية الضخ للحشو. ويستخدم اختبار مخروط التدفق لتقدير السيولة. يتم إجراء تعديل على الحشوات متغيرة الانسيابية لأن هذه الحشوات تتطلب طاقة إضافية في التدفق. اختبار التسييل يتضمن اختبار الفتيل الداخلي الذي يشير إلى قدرة الحشو في مقاومة آثار التصفية للحبال في حالات الارتفاع الرأسي المنخفض للتسييل. لمزيد من حالات التسييل الشديد ، أسلوب الاختبار لاستقرار التسييل من الحشو الاسمنتي لوتر لاحق الشد (10 - ACI 423.9M) هو الأنسب (Joint ACI-ASCE Committee 423 2010) هذا الاختبار يتطلب الضغط من أسطوانة من الحشو ضد مرشح لفصل المياه. تستخدم مستويات ضغط مختلفة لتعطي مؤشرا لمقاومة تسييل الحشو على ارتفاعات رأسية مختلفة (الأعمدة من الحشو). الاختبار الميداني قد تشمل السيولة ، والكثافة الرطبة ، وأخذ عينات لقوة التحمل ، ومقاومة التسييل. قد تكون هناك حاجة لاختبارات متابعة ميدانية من قبل المهندس.

(د) متطلبات البناء -- قسم البناء من مواصفات (PTI) يغطي تخزين المواد ، التحضير للحشو ، وعملية الحشو، والإجراءات اللاحقة للحشو.

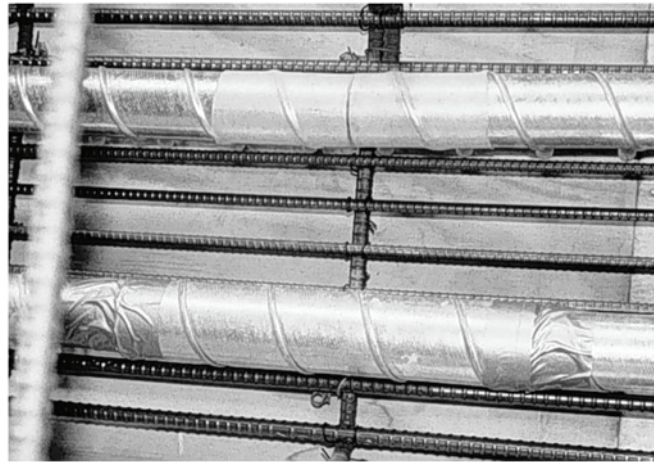
2.3. متطلبات الممرات (القنوات)

كانت الممرات لائحة الشد تصنع من الحديد المجلفن. غالباً للحامات في الممر المعدني ما يتم فتحها بسهولة، ولا سيما عندئذها. هذا النوع من الممر لم يثبت كونه حاجزاً فعالاً. بالإضافة إلى ذلك، إذا اختفت طبقة الزنك المغلفة، فإن ممر الحديد تحتها أساسية لا يوجد لديه حماية من التآكل، وربما تآكل بسرعة. هذا التآكل الناتج من الممر قد يسبب أيضاً تصدعاً في الخرسانة المحيطة، وتوفير مسار إضافي مباشر للرطوبة والكلوريدات. في البيئة القاسية، يفضل أن يكون ممر الأوتار الداخلية من البلاستيك المضلع. يمكن للممر نفسه توفير حاجز فعال ضد دخول محفزات الدخول العدوانية على الحشو والأدبال. وينبغي أن يكون دعم الممر قبل صب الخرسانة كافياً لضمان احتفاظ الممر بالشكل السليم والغطاء الخرساني.

عادة ما تكون الممرات الخارجية بلاستيكية سوداء ناعمة. يجب توخي الحذر من أن المواد المستخدمة في هذه الممرات تتوافق مع معدلات الإجهاد البيئي المحددة. ربما الكثير من الممرات البلاستيكية الضعيفة تكون عرضة للانقسام، ويبطل بفاعلية عمل الممر بمثابة حاجز للحماية. يجب توخي الحذر مع وصلات الممر لضمان ألا تصبح نقطة التوصيل مدخلاً للتآكل. تتكون الوصلات من الإثيلين البروبيلين مونومرديين (EPDM). يستخدم خرطوم العادم البحري مع العصابت من الطلب المقاوم للصدأ المستخدمة لتعليق الخرطوم على الممر باعتبارها وصلة فعالة للممر البلاستيكي. شريط اللف للممر ليس وسيلة كافية لتوصيل أنظمة الممرات البلاستيكية.

على الرغم من أنه لا ينصح بممرات من الحديد المجلفن في البيئات القاسية، فإنه غالباً ما تستخدم في البيئات غير القاسية. الوصلة النموذجية للممر المعدني هو قطعة من الممر المتضخم فوق منطقة الوصل مع كل نهاية وصلة ملفوفة بشريط لاصق عريض. خيار آخر هو التوصيل بالانكماش الحراري. ويظهر كلا نوعي التوصيل في الشكل (7). وقد أظهرت البحوث مشاكل مع التوصيلات بالانكماش الحراري على الممر المعدني (Salas et al. 2004) بسبب محاصرة الرطوبة التي تسبب تآكل الوصلة.

(أ) اختبار الممر -- ينبغي اختبار الممرات للتسرب عن طريق الهواء المضغوط قبل الحشو. ويتم هذا الاختبار مع الهواء الخالي من الزيت لضمان الاستمرارية و ضيق ضغط نظام الممرات. ويمكن الاطلاع على التوجيهات الخاصة باختبار الضغط في الممرات في المراجع (FDOT Specification 2007). علماً أن وسائل اختبار التسرب للمكونات المجمعة لاعتماد النظام تختلف عن الطرق المستخدمة في الاختبار الميداني في مكان الممرات.



الشكل (7): ممر مجلفن. العلوي: وصلة بالانكماش الحراري، والسفلي: وصلة بشريط اللف

(ب) مسح الممرات - مسح الممرات غير مستحسن. ينبغي أن تكون الممرات مختومة من أي أنقاض قبل إجهاد الوتر ومرة أخرى بعد الإجهاد ، قبل الحشو. ضخ الماء ليس فعالاً في إزالة الأنقاض وغالباً ما يؤدي في جيوب من المياه المحبوسة في حزمة الأحبال. بينما المسح قد يساعد على زيادة تدفق الحشو ، فإنه طريقة غير مناسبة للقيام بذلك. سوف يمتزج الحشو في كثير من الأحيان مع المياه المتبقية ، باستثناء الحالات التي تستخدم الحشو القوي متغير الانسيابية. يكون للحشو الناتج نسبة الماء / الاسمنت أعلى بكثير ، وبالتالي ارتفاع التسييل عن المتوقع. ويمكن أيضاً أن تحاصر جيوب الماء في الممر. يستخدم أحياناً مسح القنوات كوسيلة لإزالة الزيوت الذائبة في الماء من على الأحبال كحماية مؤقتة من التآكل. وقد أثبتت الدراسات أن هذا لن يكون وسيلة فعالة لإزالة الزيوت الذائبة في الماء ، وينبغي تجنب هذه الممارسة. وقد شملت الممارسة السابقة مسح الممرات بالماء لإزالة الأنقاض ، إزالة مؤقتة لمنتجات الحماية من التآكل ، أو تبريد أو تزييت الممرات قبل الضخ.

4. مجالات المشاكل المحتملة نتيجة للحشو في المنشآت لاحقة الشد القائمة.

خصائص الحشو مثل السيولة ، مقاومة التسييل ، النفاذية المنخفضة والوقت المعقول المحدد للتطبيق ، والالتزان وغيرها ، كلها مرغوبة لجودة الحشو لمرحلة ما بعد الشد. الخاصية التي تسبب معظم المشاكل ولديها احتمال أكبر للسماح للتآكل في الوتر هي مقاومة التسييل. الماء المسيل من الحشو يحبس في الممر ، ويميل إلى الارتفاع إلى أعلى نقطة رأسية. في الوتر المغطى ، قد يكون هذا عند مرسى (نقطة) نهاية عالية أو متوسطة. في وتر رأسي ، قد يرتحل الماء المسيل فقط لارتفاع متوسط معين قبل وضع الحشو وبؤر التسييل يمكن أن تتشكل في عدة مواقع على طول ارتفاع الوتر بالإضافة إلى الجزء العلوي من الوتر. في وتر أفقي ، قد تكون بؤرة التسييل ضحلة وتمتد على مسافة أفقية طويلة. يظهر ميل الحشو للتسييل من أثر تصفية سبعة من حبل الأسلاك ، وبخاصة في الأوتار الكبيرة المتعددة الأحبال. تأثير الضغط يتولد على مسافات رأسية ليؤدي إلى المزيد من التسييل. وينبغي أن يؤخذ التسييل في الاعتبار في كل الأوتار المحشوة ، ولكن أشد حالات التسييل تنشأ من الأوتار متعددة الأحبال و الأوتار الطويلة الرأسية (مثل دعائم الجسر).

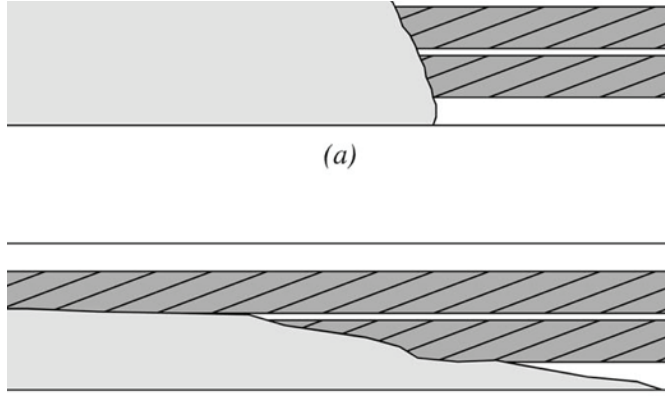
بعد تصلد الحشو ، تترك بؤر التسييل مناطق غير محشوة مليئة بماء التسييل. قد يمتص هذا الماء مرة ثانية في الحشو في بعض الحالات ، أو قد تبقى جزئياً لفترات طويلة من الوقت في الفراغات. الحبل في الفراغ لا يوجد لديه حماية من بيئة الحشو عالية الحموضة ، وربما يتآكل حتى من دون دخول الكلوريدات الخارجية. إذا كانت الكلوريدات أو الرطوبة الخارجية قادرين على الوصول إلى الممر ، فإن المنطقة المفرغة توفر نقطة تجميع وبقعة ساخنة محتملة للتآكل.

لمكافحة مشكلة التسييل ، مزيج مضاد للتسييل ، والمعروف أيضاً كعامل استقرار أو تبلور ، يضاف غالباً في تكوين الحشو. الرماد المتطاير ، وحببيبات السيليكا يمكن أن تقلل من التسييل إلى حد ما ، ولكن عادة هناك حاجة إلى محفز من مادة كيميائية مضادة للتسييل وكبلاً للأوتار متعدد الأحبال ذات الارتفاعات الرأسية العالية (بما في ذلك الأوتار المغطاة). كمية المزيج مضاد للتسييل المطلوب تعتمد على تأثير الضغط الرأسي وعدد الأحبال في الممر. الحشوات الجاهزة التي لديها خصائص مقاومة التسييل تحتوي عادة على شكل من أشكال المحفزات المضادة للتسييل.

كثير من مضادات التسييل أو حوايس ماء الحشو تحمل أيضاً خصائص متغيرة الانسيابية. وسوف تسيل الحشوات متغيرة الانسيابية عند تحريكها ، ولكن سوف تظهر في النهاية مثل الهلام أو الجل. قد تظهر هذه الحشوات صلدة جداً لغير المعتادين على سلوكهم ، ولكن الحشوة متغيرة الانسيابية الجيدة سوف يكون سلوك سائل مستقر عند خلطها أو تحريكها. الحشوات متغيرة الانسيابية تميل إلى التدفق خلال الممر بمقدمة حادة ، التي ينبغي أن تملأ كل التجاويف مع تقدم مقدمة الحشو كما هو موضح بالشكل (8) (أ). يمكن لهذا النوع من التدفق طرد الهواء خارجاً والرطوبة مع مرور المقدمة. في المقابل ، عموماً حشو الماء والاسمنت أكثر مرونة ويستوى ذاتياً أكثر من الحشو متغير الانسيابية خلال الحقن. وبالتالي ، حشو الماء والاسمنت قد يملأ المياه قاع الممر أولاً كما هو موضح في الشكل (8) (ب). في بعض الحالات، قد يحدث التدفق العكسي ، وهو يحدث عندما تتحول مقدمة الحشو وتتدفق عكسياً أعلى طبقة الحشو في قاع الممر. التدفق العكسي يحجز الهواء في الممر ، مما يسبب الفراغات إذا لم يطرد من خلال التنفيس السليم. تكوينات الوتر المغطى معرضة بشكل خاص للتدفق العكسي.

قد تنتج أيضاً الفراغات من ممارسات البناء الفقيرة وعدم وجود ضمانات للجودة. يتم سرد أمثلة عن ممارسات البناء الفقيرة التي قد تؤدي إلى الفراغات فيما يلي :

- نقص نقاط فتحات التنفيس العالية في الممرات ، أو الموضع غير المناسب لنقاط فتحات التنفيس العالية.
 - استخدام معدات غير مناسبة لخلط الحشو الجودة مما يؤدي إلى ضعف جودة الحشو والسيولة.
 - قياسات غير دقيقة للماء المطلوب لخلط الحشو.
 - نقص صمامات الإغلاق التي يمكن أن تحتفظ بالضغط على الحشو عند اكتماله.
 - الانسدادات خلال الممر أو الحشو الذي يتسرب من الممر.
- وترتبط مجالات أخرى من المشكلات المحتملة في المقام الأول بتوفير طبقات قوية متعددة من الحماية بين البيئة والأحبال. وتشمل هذه الحواجز الغطاء الخرساني ، والأغشية ، وحماية المراسي والممر.



الشكل (8): أنماط تدفق نموذجي عن: (أ) حالة الحشو متغير الانسيابية ذي اللزوجة العالية ، و(ب) الحشو العادي من الماء و الاسمنت

5. تقييم أضرار التآكل

يمكن لمستويات متعددة من الحماية في نظام الحشوما بعد الشد جعل التفتيش عملية صعبة. في حين أن الممر، وقبعات الحشو في المراسي (النهايات) الغطاء الخرساني تمثل الحواجز المادية للتفتيش البصري للصلب سابق الإجهاد ، فإنها يمكن أن تعرقل أيضا أداء الأساليب غير المتلفة للتقييم (NDE).

قد تكشف المعاينة البصرية التآكل ، التصدع ، أو انفصال الخرسانة. تآكل كبير يمكن أن يكون موجودا في الممر، حتى من دون علامات بصرية. وينبغي أن يشمل الفحص البصري التركيز على مجالات المشاكل المحتملة ، مثل الخروج من الطريق إلى منطقة المرسى ، أو المواقع التي قد تكون موجودة في فراغات مثل النقاط العالية للكابلات.

ويمكن للفحص البصري للكابلات الخارجية كشف انقسام الممر أو بعض المؤشرات لمناطق الفراغات من خلال صوت المطرقة. فمن الصعب تحديد الفرق بين منطقة صغيرة حيث انفصل الممر عن الحشو ، مقابل منطقة مفرغة بصوت المطرقة. اختراق الممر بمسامير لتحديد ما إذا كان الفراغ الموجود يأتي بنتائج عكسية ، لأنها تتيح للأوكسجين بالدخول في الممر ويوفر طريقا لدخول الملوثات. إذا تم فتح الممر أو اخترق بأي شكل من الأشكال ، ينبغي فحصه ثم إصلاحه على الفور.

5.1.1 المراقبة

وقد تم تنفيذ أنظمة معزولة كهربائيا في أوروبا من أجل تعزيز الحماية من التآكل فضلا عن الرصد للمنشآت في مرحلة ما بعد الشد. في هذا النوع من النظام ، يتم إجراء اتصال كهربائي مع الوتر ويستخدم لرصد التخيرات في الجهد ، مشيرا إلى نشاط التآكل. النظام المعزول يتطلب ممرأ غير معدني فضلا عن التفاصيل الخاصة للمرسى التي تعزله كهربائيا عن الخرسانة المحيطة به. ويمكن إجراء قياسات التآكل في أي وقت خلال عمر المنشأ ، ويمكن أن تكون ذات قيمة حتى من دون المراقبة المستمرة. وقد استخدمت الانبعاثات الصوتية في بعض الحالات للكشف عن الإجهاد المسبق كسر الحديد سابق الإجهاد للأوتار في مرحلة ما بعد الشد. في حين أن هذه الأنظمة يمكن أن تكون فعالة ، فإنها تنطوي على الرصد المستمر للمنشأ لتقديم معلومات مفيدة.

2.5 الأساليب غير التدميرية

على الرغم من أن العديد من أساليب التقييم غير التدميرية (NDE) كانت ناجحة على منشآت الخرسانة المسلحة، لم يثبت أي منها أنها شاملة لتحديد الفراغات والتآكل للمنشآت لاحقة الشد. المنشآت لاحقة الشد عادة ما تكون معقدة للغاية ومزدحمة بالتسليح و الأوتار متعددة الأبحال المغطاة في الخرسانة. ويزيد من تعقيد التقييم في مناطق المراسي الحرجة ازدحاماً بالتسليح الملفوف وغالباً الغطاء الخرساني الكبير. ويمكن تقسيم أساليب (NDE) إلى فئات عدة ، على الرغم من وجود العديد من التباديل لها. الأساليب بالموجات فوق الصوتية ناجحة في الصناعة الطبية ، وكذلك في صناعة الفضاء. وقد شملت عددا كبيرا من الأساليب تحت عنوان الموجات فوق الصوتية ، بما في ذلك والتصوير ثنائي الأبعاد والأشعة ثلاثية الأبعاد. وتستند جميع الطرق على الموجات الصوتية عالية التردد وأصدائهم. وقد تم تقييم تقنيات الموجات فوق الصوتية في الاختبارات المعملية لاستخدامها في الكشف عن الفراغات في الأوتار في مرحلة ما بعد الشد ، بما في ذلك التصوير بالمسح الضوئي (C). على الرغم من أن الأسلوب يظهر إيجابية في التحقيقات الأولية ، فإن العديد من العناصر تحتاج إلى تحديد ، مثل نوع المحول والتعويض عن الانحرافات لمختلف القطاعات العرضية لممرات الأوتار ، متوسط التحويل ، والقيود على العمق ، استخدامها في الأنظمة متعددة الأبحال ، معالجة الإشارات ، وأنماط التعرف والكشف المتقدمة. تقنية التأثير بالصدى مفيدة في الكشف عن الخلل في الخرسانة بما في ذلك نتائج واعدة للكشف عن فراغات المنشآت لاحقة الشد. والعيوب الرئيس لأسلوب التأثير بالصدى لاستخدامها في المنشآت لاحقة الشد هو أنه لا يمكنها الكشف عن الفراغات داخل ممرات بلاستيكية. التصوير الشعاعي أو الأشعة السينية فعالة في الكشف عن الفراغات في كل من الخرسانة والأوتار المحشوة ، ولكن المخاوف بشأن سلامة الإشعاع وتكلفته تحد من استخدامه. المعدات أيضا تحتاج الوصول إليها من كلا الجانبين من المنطقة المختبرة. الرادار المخترق للأرض فعال في تحديد الأجسام المدمجة في الخرسانة ، بما فيها التسليح غير سابق الإجهاد، الأوتار والفراغات. على الرغم من فعاليته للكشف عن الفراغات في الممرات البلاستيكية ، فإنه لا يمكن اختراق ممرات الصلب لكشف الفراغات. الكشف عن وجود ممر معقد أيضا في التسليح غير سابق الإجهاد. الشظايا المغناطيسية أثبتت نجاحا في الكشف عن الكسور في أبحال الحديد سابق الإجهاد ، بينما تم استخدام أسلوب الفيض المغناطيسي للكشف عن العيوب الصغيرة والتآكل للأوتار في مرحلة ما بعد الشد. يجب أن تشغل معدات الفيض المغناطيسي على طول الممر نفسه ، لذلك يقتصر استخدامه في الأطوال الخالية من الأوتار الخارجية. كلتا الطريقتين لها حدود لاستخدامها المحتمل في الأوتار الداخلية بسبب صعوبات تداخل التسليح غير سابق الإجهاد وسلك الرباط. أساليب قياس دافع الانعكاس المتري (RIMT) ووقت مجال الانعكاس (TDR) ترسل إشارة كهربائية على طول الوتر من بداية المرسي للكشف عن العيوب في الوتر. يجب أن يتعرض المرسي لاستخدام هذه الأساليب.

وقد استخدم (TDR) بنجاح لسنوات عديدة للكشف عن عيوب في خطوط النقل ، ولكن في الآونة الأخيرة فقط يستخدم لتقييم تطبيقات ما بعد الشد. وأشارت الاختبارات المعملية عن نتائج واعدة لكشف كل من التآكل والفراغات ، ولكن بالنسبة للتجارب التي تركز على عينات مع سلك استشعار يسير جنبا إلى جنب مع حبل الصلب. الأسلوب أظهر نتائج واعدة ، ولكن في هذا الوقت يتطلب أن يكون سلك الاستشعار في مكانه وقت البناء أو تستخدم الأساليب المتلفة لوضع أجهزة الاستشعار وإجراء الاتصال مع الوتر. وقد استخدمت الأساليب الكهروكيميائية ، مثل نصف خلية الرصد المحتملة ، والاستقطاب الخطي لقياس معدل التآكل ، وبنجاح للمساعدة في فهم حالة التآكل للتسليح خلال المنشأ الخرساني. أساليب أخرى مشتركة في مجال صناعة التآكل ، مثل التحليل الطيفي للمقاومة الكهروكيميائية (EIS) كما تم وضعها في الاعتبار بالنسبة للخرسانة المسلحة. يرجع ذلك إلى العديد من المتغيرات التي تؤثر في كل من هذه الأساليب ، يجب استخدامها بالتنسيق مع بيانات أخرى مثل الفحص البصري ، عينات اختراق الكلوريد ومقاومة الخرسانة لوضع احتمال وشدة التآكل. درجة الحرارة ، الرطوبة ، نوع الخرسانة ، تغليف القضبان، نوع الممر وغيرها من العوامل تؤثر تأثيرا كبيرا على القراءات.

3.5 الأساليب الاستكشافية

لأن أساليب (NDE) لم تلق سوى نجاح محدود في تقييم الأوتار ما بعد الشد ، فإن الطرق الاستكشافية غالبا ما تكون ضرورية. قد تكون أساليب (NDE) مفيدة في تركيز الأساليب المنتشرة في المناطق التي يكون التآكل فيها هو الأكثر احتمالا.

قد تكون هناك حاجة للحفر لتحديد مكان الفراغات الموجودة في الوتر ، وتقييم مدى التآكل. تعتبر هذه الإجراءات أقل انتشارا حيث تنطوي على الحفر في منطقة المرسي (وليس في المرسي ذاته) وإدراج (borescope) للتحقيق في الوضع القائم (الصورة 1) حتى يتمكن المستخدم أن يرى داخل الوتر مع كاميرا الفيديو. من هذا المنظور ، حتى كميات صغيرة من التآكل قد تبدو كبيرة جدا ، لذلك هناك حاجة إلى مشغل من ذوي الخبرة العملية.



الصورة (1) : فحص الأوتار

6. مخططات وأساليب الترميم

طرق ترميم الشروخ ونظم التدعيم للمنشآت التقليدية من الخرسانة المسلحة التي تم عرضها سابقاً في الفصل الخامس والتاسع يمكن استخدامها لترميم الشروخ و / أو تدعيم المنشآت لاحقة الشد. خطط ترميم أخرى وطرق إضافية للمنشآت لاحقة الشد سترد في المقاطع التالية. لأن المنشآت المحشوة لاحقة الشد تؤدي بشكل جيد عموماً ، فهناك خبرة محدودة بترميمها. أشمل وثيقة في هذا المجال هو متاح من فلوريدا (قسم الطرق) .

1. حشو الفراغات

ترميم فراغات الحشو هو النوع الأكثر شيوعاً من منشآت الحشو لاحقة الشد. حتى لو لم يثبت التآكل ، فيحبد القضاء على الفراغات التي تعترض الأحيال. يمكن أن تكون الفراغات إما مملوءة بحشو ذي قاعدة اسمنتية أو نوع من منتج لاصق. على الرغم من أن المنتج ذا القاعدة الاسمنتية يستطيع استعادة البيئة القلوية، فإن المنتج اللاصق أيضاً يمكن أن يكون فعالاً إذا كانت تغلف الأحيال تماماً. أسلوب واحد لملء الفراغ هو الملء بالجازبية مع أنبوب وقمع. هذا الأسلوب يمكن أن يغطي بشكل فعال حزمة حبال اعتماداً على موقع الفراغ ، ولكن قد لا يكون قادراً على ملء الفراغ تماماً بسبب الهواء المحبوس.

أسلوب آخر هو الحشو بشفط الهواء. هناك حاجة إلى معدات خاصة لهذا الأسلوب. ويستخدم تقنية قياس الفراغ لتحديد حجم الفراغ الذي يتم سحبه بالشفط على الوتر ونفس الحجم من الحشو يحقن في الفراغ. هذه الطريقة فعالة في ملء الفراغ. لا تتطلب أن يتم ختم الفراغ بحيث يكون الشفط فعالاً.

وهناك طريقة ثالثة لترميم فراغ الحشو وهو الحشو بالضغط. هذه الطريقة فعالة عندما يكون الفراغ كبيراً جداً ، ويمكن حفر مدخل ومخرج في الممر. هذا الأسلوب يسمح باستخدام أساليب الحشو بالضغط التقليدية للترميم.

2. ترميم الوتر

يجب ترميم الممرات المنقسمة أو المخترقة لاستعادة مغلف الحماية للوتر. في حالة التآكل الثقيلة التي تؤدي إلى انهيار الأحيال ، قد يحتاج الوتر بأكمله إلى استبدال. هذه عملية متخصصة جداً التي تم تنفيذها فقط في حالات قليلة. وقد أجرت فلوريدا (قسم الطرق) تبديلات للوتر ولديها معلومات تفصيلية عن هذه العملية. خيارات التدعيم قد تشمل الشد اللاصق الخارجي لمواجهة التصدع ، الترخيمات ، وزيادة قدرة التحمل. تفاصيل استبدال وتر واستراتيجيات التدعيم تتجاوز نطاق هذا التقرير لأنها تميل إلى أن تكون مشروعاً محدداً. لا ينبغي تصميم الترميم دون معرفة كبيرة وخبرة في الأوتار المحشوة متعددة الأحيال.

7. الترميمات الإنشائية

هذه الترميمات تختص بانهيارات النظام. العلامات الإنشائية لفقد الإجهاد لنظام لاحق الشد والذي كشفه التفتيش والفحص يمكن تجميعها فيما يلي ، وسوف تحتاج إلى ترميمات عاجلة لاستعادة قدرة ووحدة المنشأ :

- أفرع مكسورة وهو ما يمكن ملاحظته خارجاً من المنشأ
- نهاية المرسي الذي رفع من الخرسانة
- تصدع الخرسانة في شكل مواز للأفرع

- الترخيمات المفرطة
- شروخ اختراق القص في البلاطات
- القص القطري / شروخ الانحناء في الكمرات والوصلات.
- طرق ترميم الأوتار ما بعد الشد يتوقف على نوع المشكلة التي يعاني منها النظام ، فضلا عن نوع نظام مابعد الشد المستخدم في البناء الأصلي. الخيارات التي يتعين النظر فيها هي :
- استبدال كامل للحبل -- تغذية فرع جديد من موقع رسو واحد إلى موقع آخر لمرسى قائم. نوع التغليف المستخدم في البناء الأصلي يمكن أن يؤثر على الاستبدال الكامل للحبل. على سبيل المثال ، إذا تم استخدام نظام الالتفاف الورقي في البناء الأصلي ، وسوف يكون من الصعب دفع الحبل بكامل الطول المطلوب للترميم.
- استبدال جزئي للحبل باستخدام مجموعة متنوعة من تقنيات الوصل :
- باستخدام المرسى القائم في حالة ما إذا كان بحالة جيدة ، مقرنة التوصيل والإجهاد. وقد تحتاج المراسي للتفجير الرملي ، الطلاء والعزل.
- تركيب مرسى جديد في حالة تأكل المراسي ومقرنة التوصيل (مؤكدًا في موقع مرسى جديد)
- تركيب مقرنة إجهاد جديدة مع استخدام موقع مرسى مسدود
- استبدال الأحبال المقطوعة مع نظم التدعيم الخارجية ، مثل الشد اللاص الجديد باستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية ، الحديد أو الخرسانة. نظام الشد اللاص الخارجي يتألف من أوتار خارجية وضعت على جانبي الكمرات مع مراسي موجودة في منطقة من الخرسانة المصبوبة في المكان ذات تسليح ثقيل في مكان رؤوس الأعمدة. بالإضافة إلى ذلك ، يتم تثبيت التدعيم باستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية لزيادة مقاومة البلاطة.

8. الصيانة الوقائية

- عمليات التفيتش المنتظمة لنظم الحبال لعلامات فقد الإجهاد هي واحدة من أفضل الطرق لمالك المبنى لمنع الترميمات المكلفة. البنود التي سينظر فيها في تفيتش وفحص المنشآت لاحقة الشد :
- الغطاء الخرسانى المناسب فوق الحبال المعرضة لبيئات قاسية
 - حالة الشحوم الوقائية والتغليف
 - تصدع بالقرب من الحبال
 - حالة الخرسانة عند جيوب المرسى
 - يقع الصدأ على الخرسانة قرب الحبال
 - يقع الشحوم على البلاطة .

9 مراجع

- ACI 423.8R-10 Report on Corrosion and Repair of Grouted Multistrand and Bar Tendon Systems American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 10 pp.
- PTI Committee on Grouting Specifications, 2003, "Specification for Grouting of Post-Tensioned Structures," second edition, Post-Tensioning Institute, Farmington Hills, MI, 60 pp.
- Emmons, concrete Repair and Maintenance Illustrated, 1993
- Bondy, K. Dirk, Evaluation and repair of existing post tensioned buildings with paper wrapped tendons experiencing corrosion damage" PCI Journal, Vol. 4, No. 2, December 200, p. 2429-.