مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (2) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (2) 2015

أسباب التشققات في المنشآت الخرسانية المسلحة، وبعض طرق المعالجــة.

الدكتور عصام ملحم*

(تاريخ الإيداع 12 / 3 / 2015. قُبِل للنشر في 26/ 3 / 2015)

□ ملخّص □

إذا لم يكن متشققاً فإنه لا يعمل. إن هذه العبارة نتيجة حتمية لعدم تساوي مقاومة الشد للخرسانة، مع مقاومة الشد للفولاذ في عناصر المنشآت الخرسانية، والمصممة بشكل اقتصادي.

وبالرغم من ذلك فإنه نادراً ما يستخدمها المهندس المصمم لتبرير حادثة تشقق في مبنى، وقد يستخدمها لتهدئة صاحب منشأ متشقق. لهذا كان علينا أن نحدد التشققات المقبولة ودرجة قبولها.

ويعد ظهور التشققات في المنشآت الخرسانية، والخرسانية المسلحة، دلالة مرضية على الرغم من أن بعض أنواع هذه التشققات لا يبدي تأثيراً سلبياً على عمل المنشأة من وجهة نظر المتطلبات الاستثمارية.

إن أسباب التشققات كثيرة ومتنوعة، وقد يظهر أحدها في عدة أنماط تشقق وقد تؤدي عدة أسباب إلى نوع واحد من التشقق.

إن تشكل التشققات في الخرسانة يختلف باختلاف العوامل المؤدية له، وهذه العوامل قد تكون إنشائية أو استثمارية.

من الصعب وضع قائمة مفيدة للأسباب المحتملة للتشقق، حيث إنها تحوي عدة أشكال ويمكن لأيَ منها أن يزيد خطورة الآخر أو يتجاوزه، ولإظهار العلاقة بين هذه الأشكال من ناحية أخر نقترح شجرة التشقق، التي قد تساعد المصمم في وضع الأسباب المحتملة للتشقق في مخيلته.

إن المميزة الرئيسة للتشققات أن عقدها الثلاث تحدد المراحل التاريخية الثلاث لحياة المنشأ: مراحل التصميم والإنشاء والخدمة، وتقسم إلى قوائم، الأسباب المولدة للشقوق وتأثيرها في بعضها بعضا.

تفرع الشجرة عند مرحلة التشقق إلى جذور الشد ومقاومة الخرسانة للشد. علماً أن الفروع الأولى تحدد الخواص الفيزيائية للشقوق (اتساعها، عمقها، طولها،...) وتشق طريقها عبر المراحل الثلاثة، (ويمثل تقييد الحركة أهم هذه الفروع). حتى ينجلي النمو عن مجموعة من السوق(ساق النبات)الطرفية، والتي يمكن أن تحدد خطورة التشقق، حيث تسبب مشاكل تتعلق بالديمومة والناحية الجمالية، وقد تحتاج إلى دراسة دقيقة وإصلاح.

إن هدف هذا البحث هو دراسة أسباب حدوث التشققات والعوامل التي تؤدي لزيادتها، وإلى أشكال انتشار التشققات في مختلف العناصر الهندسية (أعمدة، جوائز، بلاطات...)، وما هي الإجراءات المتخذة لمنع، أو للحد من ظهور هذه التشققات. كما يتطرق البحث إلى أحدث الطرق وأفضل المواد المستخدمة في ترميمها.

الكلمات المفتاحية: عيوب، تشققات، ترميم.

* **أستاذ مساعد – قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية – جامعة البعث– حمص –سورية.**

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (2) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (2) 2015

Reasons of Cracks in Reinforced Concrete Structures, Methods of Repair

Dr. Esam Melhem*

(Received 12 / 3 / 2015. Accepted 26 / 3 / 2015)

□ ABSTRACT □

If it is not cracked then it is not working. This statement is the actual result of difference between tension strength of concrete and tension strength of steel in concrete structures elements that are economically designed.

In spite of that, engineers rarely use this statement to explain cracks in buildings, but sometimes they use it to calm down the owner of some cracked building. That's why we should define acceptable cracks and their degrees.

Cracks in concrete and reinforced concrete structures are a bad sign, although some of these cracks have no negative effect on the utilization of the structure.

Reasons of cracks are various and different, some of them might occur in different types of cracking while others may lead to a single type of crack.

Cracks formation in concrete varies due to the different factors causing them, which also may be structural or related to the utilization of building.

It is not easy to put a useful list for probable reasons of cracking as cracks have many shapes and any one of them might increase the danger of another one or even exceeds it. To explain the relationship between these types, we proposed the cracking tree, which may help the designer to take into consideration the probable reasons for cracking.

The main specification of cracks is that its three nodes define the three periods in the life of a structure: design, construction and service. These are also divided into lists including reasons causing cracking and their effects on each other.

Cracking tree branches into tension roots, taking into consideration that the first branches determine the physical properties of cracks (width, depth, length,…). Then these branches take their way throughout the three phases,(restriction of movement is the most important branch). When these branches stop growing, they can tell the severity of cracking, in respect to durability and beauty. This definitely still needs accurate study and repair.

This research aims to study the direct reasons of cracking, factors that increase cracks, and types of cracking growing in structural members (Columns, Beams, Plates,..). Add to that the procedures needed to prevent or stop cracks growing. We also offer an attempt to point the best methods and materials to be used for restoration.

Keywords: Cracks, Defects, Repair.

***Associate Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Albath University, Homs, Syria.**

مقدمة:

من المعلوم أن المتطلبات الأساسية للمنشآت الهندسية هي المتانة، الوظيفة، الجمال،والاقتصاد. ولايمكننا القول إنه لدينا منشأة هندسية قابلة للاستثمار إذا لم تحقق شروط المتانة.

ويجب أن يتحقق شرط المتانة من خلال مقاومة عناصر المنشأة للإجهادات الناتجة عن تطبيق أشكال مختلفة من الحمولات التصميمية،دون أن يؤدي ذلك لظهور أيَـة عيوب أو تشققات في المبنى.

لكن أثناء تنفيذ واستثمار المنشأة الهندسية تظهر أنواع مختلفة من التشققات، بعضها دليل على عدم سلامة المنشأة واستقرارها، وبعضها الآخر لا يؤثر في سلامة المبنى، لكنه يعطي شعوراً لدى مستثمري المنشأة بعدم الأمان والراحة، وكأن هذه التشققات تنبئ بوقوع كارثة.

تتعرض المنشآت الخرسانية والخرسانية المسلحة للتشقق مع الزمن، ويمكن أن تظهر هذه التشققات بعد عدة سنوات، أو عدة شهور، أو عدة أسابيع من تنفيذ المنشأة. وليس سهلاً تحديد أسباب ظهور التشققات في كثير من الأحيان[1، 2].

يمكن أن تعزى التشققات في سطوح الخرسانة لعدّة أسباب، والتي تؤثّر في المظهر العام للخرسانة، وقد يكون لها أثر في التصرف الإنشائي أو انهيار العنصر. إذ يمكن أن تتوقف المشكلة عند الشقوق فقط، ويمكن أن تتطوّر إلى مشكلة أكبر.

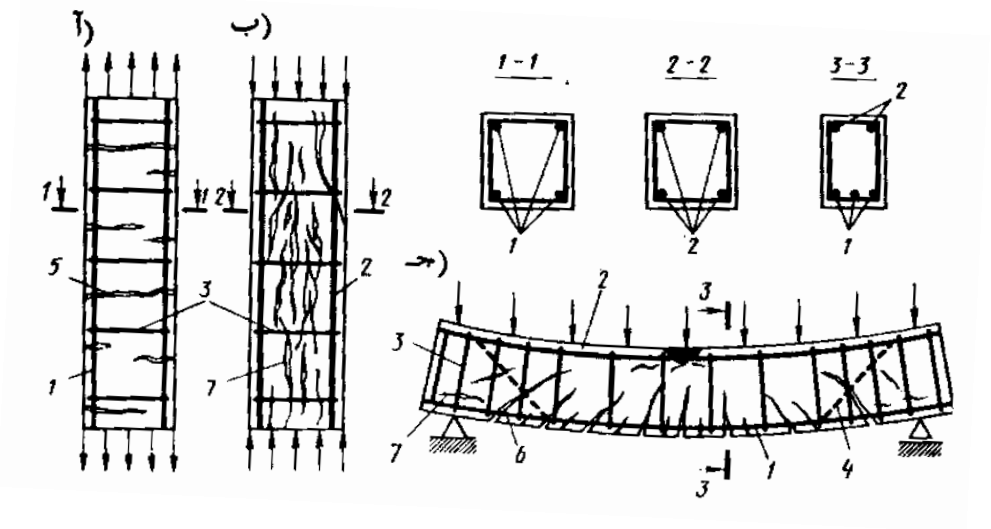
ترتبط أهمية الشقوق بنوع المنشأة وطبيعة هذه الشقوق.فعلى سبيل المثال فإن هذه التشققات المقبولة بالنسبة للمباني، يمكن أن لاتكون مقبولة بالنسبة للمنشآت الخاصة بخزانات الماء.

ولا بد من الإشارة إلى أن العيوب في المظهر الخارجي للمنشآت الخرسانية المسلحة، غالباُ ما تخلق حساسية وخوف عند المستثمرين لهذه المنشآت، وخاصةً عند زيادة واتساع هذه الشقوق في المنشآت الهندسية. وبشكلٍ عام من المتوقع حدوث الشقوق في هذه المنشآت، لكن يمكننا الحد من سعة الشقوق –وبشكلٍ كبير– باستخدامنا لفولاذ التسليح بكمية كافية تحقق المتطلبات التصميمية، والمواصفات المطلوبة. وبما أن ظاهرة التشقق هي إحدى الظواهر التي قد تسبب انهيار المبنى، فقد تم تكريس بحوث كثيرة لدراسة هذه الظاهرة[1، 5].

ويعد صب المنشآت الخرسانية المسلحة في الموقع العام صعبا" حتى لوتمّ بشروط مثالية لأسباب مختلفة. فقد تحدث الأخطاء أثناء صب الخرسانة أو بعد الصب مباشرة.أما هذه الأسباب فيمكن أن تكون مواد الإنشاء الرديئة، أو طريقة الإنشاء غير الملائمة، أو أخطاء في تقدير التأثير السيء للطقس على مختلف العناصر الإنشائية. وتزيد خطورة العيوب في بعض التفاصيل الإنشائية كالتسليح الكثيف أو المقاطع الضيقة جدا". كما يسبب التنفيذ السيء للخلطة الخرسانية العديد من العيوب بدءاً من تغير اللون وحتى التعشيش الحاد، إلى ظهور التشققات. ونوضح في الجدول رقم(1) ملخصا" للتشققات الحادثة أثناء الإنشاء[3] . كما نوضح في الشكل (*1*) بعض التشققات الأكثر شيوعاً في الجوائز والأعمدة[4] .

الجدول (1) ملخص التشققات الحاصلة أثناء الإنشاء [3].

الوصف	السبب	الوقاية	العلاج
شقوق في سطوح أفقية عند تصلب الخرسانة أو بعده بقليل.	تقلص لدن ،جفاف سريع للسطح	الحماية أثناء الصب، التغطية مبكرا" ما أمكن.	التكتيم بمادة بوليميرية خفيفة الزوجة.
شقوق فوق التسليح، أو عند الأطراف خصوصا" في العناصر العميقة.	هبوط لدن: استمرار الخرسانة بالهبوط بعد أن تكون قد بدأت بالتصلب.	تغير في تصميم الخلطة، استخدام سحب الهواء.	إعادة رص للجزء العلوي من الخرسانة وهو في حالة لدنة. تكتيم الشقوق بعد أن تنتهي الخرسانة من التصلب.
شقوق في المقاطع الخرسانية السميكة والتي تحدث أثناء تبريد الخرسانة.	التقلصات الحرارية	تأخير التبريد حتى تحصل الخرسانة على مقاومتها	تكتيم الشقوق



الشكل (1). بعض التشققات الأكثر شيوعاً في الأعمدة (عند تعرضها للشد (أ)، والضغط (ب)؛ والانعطاف (جـ)[4] .

1–فولاذ تسليح طولي مشدود؛ **2**– فولاذ تسليح طولي مضغوط؛ **3**– أساور؛ **4**– قضبان تسليح مكسحة؛ **5**– شقوق عادية؛ **6**– شقوق مائلة؛ **7**– شقوق طولية.

ويمكننا أن نلاحظ ثلاثة أنواع من الشقوق، وذلك حسب درجة نشاطها وحركتها:

- الشقوق الخاملة: يمكن أن تكون ناتجة عن الجفاف أو الانكماش، حيث يبقى عرضها ثابتاً.
- الشقوق الفعالة: لا يبقى عرضها ثابتاً لكنها تُفتح وتُغلق بتحميل المنشأ، أو بسبب التغيرات الحرارية للخرسانة.
- الشقوق المتزايدة: يزيد عرضها لأن السبب الأصلي لحدوثها مستمر، ومثال على ذلك الأساسات المستمرة أو تآكل فولاذ التسليح.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث تسليط الضوء على أنواع التشققات وأسبابها، وتصنيف هذه التشققات في جداول ورسوم توضيحية. وتبيان مدى تأثير هذه التشققات على سلامة المنشآت، وذلك لمحاولة الحد من ظهور هذه التشققات وتشكلها. كما يهدف توضيح طرق معالجة التشققات وترميمها.

أنواع التشققات:

تعاني العناصر الإنشائية (الأعمدة، الجوائز ...) في المنشآت الهندسية من عيوب يعود سببها بشكلٍ أساسي إلى سوء في التنفيذ،أو في نوعية ومواصفات مواد البناء، أو سوء في استثمار هذه المنشآت وعدم صيانتها.

وتعدَ التشققات من أهم الدلائل التي تساعد المهندس على تحديد سبب التصدعات والعيوب.حيث تحدث التشققات الخرسانية لأسباب عديدة ومختلفة وقد تكون هذه التشققات على درجة من الخطورة قد تؤثر في عمر المبنى وفيما يلي تصنيف التشققات حسب مسبباتها.

1-تشققات غير إنشائية(لأسباب غير إنشائية)*Non-Structural Cracks*

1-1-تشققات الانكماش اللدن (شقوق التقلص):

تحدث بسبب التبخر السريع للماء من سطح الخرسانة وهي لدنة أثناء تصلدها، نتيجة لتعرض الأسطح لتيارات هوائية شديدة.وهذا التبخر السريع يتوقف على عوامل كثيرة أهمها:درجة الحرارة،وتأثير الشمس المباشرة تجعل معدل التبخر أعلى من معدل طفو الماء على سطح الخرسانة. وتكون تشققات الانكماش اللدن عادةً قصيرة وسطحية وتظهر في اتجاه ينعكس بين في آن واحد.

والتقلص هو ظاهرة تغير حجم الخرسانة دون أن يتعلق ذلك بالحمل المطبّق،والذي يحدث بعد صب الخلطة الخرسانية ويبدأ في مرحلة التصلب.وتأخذ هذه التغيرات شكل نقصان في أبعاد الخرسانة عندما تكون محفوظةً في الهواء.

من الأسباب الشائعة للتشققات في المباني والمنشآت الخرسانية ظاهرة انكماش الخرسانة [1،4]، وتعزى أسباب التشققات الحاصلة بعد صب الخرسانة مباشرة بشكل مبهم إلى التقلص، وتعد هذه الشقوق شقوق تقلص لدنة عند ظهورها في السطح الخارجي لعنصر ثم الانتهاء من صبه، ويعود سببها إلى الجفاف السريع للسطح الخرساني، بينما لا تزال نواة المقطع الخرساني لدنة، وهي شقوق غير مستمرة.

تكون الشقوق بطول لا يزيد عن ***300mm***، وتكون الشقوق قطرية وعشوائية في بلاطة غير مسلحة، كما هو موضح في الصورة رقم(1).

الصورة(1). شقوق تقلص لدنة نموذجية في بلاطة خرسانية غير مسلحة.

يتعلق مقياس تقلص البيتون و تغيره مع الزمن بعوامل كثيرة[4]:

1- بزيادة الإسمنت على واحدة حجم البيتون، يزداد التقلص.

2-بزيادة نسبة الماء للإسمنت (W/C) يزداد التقلص. و تدل التجارب أن الخرسانة الرطبة تسبب تقلصاً أكبر من الخرسانة الجافة .ومن أجل تقلي لحادثة التقلص يجب أن تكون نسبة الماء للإسمنت في قيمتها الأصغرية دون أي إفراط في كمية الماء. يمكن أن نستنتج أن جميع المواد الناعمة كالرمل و البودرة التي تتطلب كمية كبيرة من الماءتسبب في ازدياد حادثة التقلص.

3- المواد الناعمة:التي تكون شرهة جداً للماء،فتختزن الماء الفائض بين ذراتها وتؤدي لحدوث الانكماش.

4-إن الخرسانة المحفوظة في رطوبة جيدة أقل تقلصا بكثير من الخرسانة المحفوظة في الجو الجاف .فإذا أريد التقليل من حادثة التقلص ،يجب حفظ الخرسانة في جو رطب و بشكل دائم ،خاصة في فترة التصلب .فبخفض رطوبة الهواء من **90%** إلى**% 25**،يزداد التقلص تقريباً من (7-6)مرات. لذلك يجب تنظيم التبادل الحراري بين العينة والوسط الخارجي وذلك عن طريق صنع أكياس من الخيش لتغليف الأعمدة المصبوبة بعد تبليلها بالماء.

5. تأثير أبعاد المنشأ: كلّما كانت النسبة (سطح التبخر/ الحجم) كبيرة كان التقلص كبيراً، وإن المنشآت الضخمة كالسدود يكون التقلص فيها بطيئاً، وعلى العكس في البلاطات والجدران الرقيقة حيث يكون التقلص فيها سريعاً.

يختلف نموذج الشقوق في حال وجود التسليح،و الطريقة المثلى لمنع حدوثها هي حماية السطح من الرياح والشمس أثناء الإنشاء،وذلك بتغطيتها مباشرة بعد الانتهاء من الصب.ويمكننا استخدام إجراءات علاجية بعد تشكل الشقوق،والتي تتلخص بتكتيمها ضد دخول الماء إليها،وذلك بدهنها بواسطة فرشاة بالإسمنت أو بمادة بوليميرية[3].

يسبب الانكماش تشققات واضحة في المنشآت الخرسانية المسلحة، إذا كانت ثخانة طبقة الحماية الخرسانية أقل من ***1 cm***، أو إذا كانت ثخانتها تزيد عن ***4 cm*** [1].

من أجل التخفيف من ظاهرة التقلص،يجب اتخاذ بعض الترتيبات الخاصة،التي يمكن تلخيصها بمايلي:

1-عدم التفريط في كمية الماء اللازم للخلطة الخرسانية،والاكتفاء بالكمية الأصغرية اللازمة.

2–حفظ الخرسانة بعد الصب مباشرةً في رطوبة جيدة و ذلك برش الماء الدائم .أو بوضع طبقات من المواد المبللة كالخيش للتقليل من التبخر الحاصل فيالخرسانة.

3 – إن التأثير المباشر للتقلص هو إجهادات شد في الخرسانة. وظهور تشققات في سطوحه قد تكون خطرة في بعض المنشآت المائية. ونستطيع إنقاص هذا التأثير بواسطة تسليح التقلص الذي نوزعه في الاتجاهات التي يمكن أن يحدث التقلص وفقها.

1–2–تشققات الانكماش الحراري:

يتولد أثناء عملية التصلب المبكرة حرارة ناتجة من التفاعل الكيميائي بين الماء والإسمنت.وغالباً ما تتولد كمية كبيرة من الحرارة وترتفع درجة حرارة الخرسانة أكثر بكثير عن درجة حرارة الجو المحيط وخاصة في العناصر الضخمة، وبعد أيام قليلة لا تزيد عن /10/ أيام يهبط معدل تولد الحرارة إلى أقل من معدل فقدانها (لانخفاض درجة التفاعل) فتنخفض درجة حرارة الخرسانة إلى درجة حرارة الجو المحيط، وخلال هذه التغيرات التي تطرأ على درجة حرارة الخرسانة تعاق حركة التقلص الناتجة عن انخفاض درجة حرارتها، وتتولد نتيجة لذلك إجهادات شد تسبب التشققات[2، 5،6].وتتناسب هذه الإجهادات مع مقدار التغيير في درجة الحرارة، ومعامل التمدد الحراري، ومعامل المرونة، ودرجة إعاقة الحركة.

1–3–فروق الإجهادات الحرارية *Defferntial Thermal Strains* :

إن أسلوب الإنشاء في المنشآت مسبقة الصب يساعد على التأثر باختلاف درجة الحرارة،لاختلاف الطقس الطبيعي أونتيجة التسخين *Steam Curig* .ولذا تظهر التشققات في المجازات المحصورة عندما يكون اتصال وجهيها بالمنشأ متيناً.كما أنا لحرارة المفاجئة لها تأثيرا ًآخر،حيث يولد الارتفاع المفاجئ في درجة الحرارة سلسلة من التشققات أيضاً إذا حدث اختلاف كبير في درجة الحرارة بين وجهي بلاطة أو جائز.وهذا التأثير نادر الحدوث في المنشآت السكنية.ولكن قد يحدث في منشآت معينة،مثل حوائط الخزانات وفي حالات خاصة عندما يكون السائل المخزون داخل الخزان ساخناً أو بارداً جداً.

1–4– التشققات الناتجة بسبب تفاعل الخرسانة مع الكبريتات:

تنتج عن استخدام مياه تحتوي على كبريتات قابلة للذوبان أو منت ربة تحتوي على كبريتات، وعندما تتسرب هذه المواد إلى الخرسانة و تتفاعل مع ألومينات الكالسيوم المائية ،فإنها تكون ألومينات الكالسيوم الكبريتية، ويصاحب ذلك زيادة كبيرة في الحجم تؤدي إلى إجهادات شد موضعية عالية، تسبب تآكل الخرسانة وتصدعها مع الزمن.

1–5–تشققات تآكل فولاذ التسليح:

ينمو الصدأ و يتزايد حول فولاذ التسليح منتجاً تشققاتاً بامتداد طولها كما هو موضح بالصورة رقم (2).و قد يؤدي ذلك إلى سقوط الخرسانة كاشفة فولاذ التسليح، وتساعد كلوريدات الكالسيوم الموجدة في الخرسانة على ظهور هذا العيب، كما تساعد على ذلك الرطوبة المشبعة بالأملاح في المناطق الساحلية تحمل كلوريد الكالسيوم، وبالتالي فإن خطورة تآكل الفولاذ تصبح كبيرة فيهذه الحالة.

الصورة (2)، صدأ فولاذ التسليح وتشققات الخرسانة نتيجة الصدأ.

إن تشققات تآكل الفولاذ خطيرة على عمر المنشأ و تحمله،حيث تقلل مساحة الفولاذ في القطاع الخرساني،وهذه الظاهرة خطيرة بصفة خاصة في الخرسانة مسبقة الإجهاد.

2 – التشققات الإنشائية*Structural Cracks*:

تتعرض الخرسانة المسلحة لإجهادات الشد عند تحميل المنشأ، ولذلك تحدث تشققات في الجوائز (وهذا طبيعي) في الجانب المعرض للشد تحت تأثير عزم الانعطاف. فإذا كان التسليح المستخدم موزعاً بالشكل الملائم (تفريد فولاذ التسليح) وكانت الخرسانة جيدة النوعية فإن هذه التشققات تكون دقيقة بالقدر الكافي لتجنب تآكل فولاذ التسليح. وعموماً فإن هذه التشققات مقبولة إذا كان سمكها***0.2mm***وقد أثبتت التجارب أن التآكل والصدأ يتزايدان بسرعة فقط عندما يزيد سمك التشقق عن***0.4 mm.***[2،6،7].

و لكن في بعض الحالات تكون هذه التشققات ظاهرة بدرجة تشكل خطراً مثل[3،7]:

- تشققات عزوم الانحناء أو القص،التي يزداد اتساعها بصفة مستمرة؛
- تشققات تحـدث في أجزاء الخرسانـــة المعروضة للضغط، و هذا ينبه إلى أن هناك سلوكاً غير عادي يحدث في المنشأ.
- تفتت الخرسانة في مناطق الضغط (الأعمدة أو الكمرات أوالبلاطات في الجانب المعرض للضغط)،وهذه الحالة من أقصى درجات الخطورة على المنشأ.
- عند حدوث مثل هذه الأنواع من التشققات فقد يكون من الضروري تدعيم المنشأ وتُزال الأحمال فوراً، و بعدذلك يدرس أساس الخلفي المنشأ،ونبدأ في حل مشكلة تقوية المنشأ و كيفية معالجة التشققات.
- زيادة في الأحمال على المنشأ،أو أن التسليح غير كافٍ،أو أن نوعية الخرسانة رديئة ..... الخ..

أما أسباب الشقوق الإنشائية فهي عديدة، وسنبين فيما يلي لأهم هذه الأسباب:

2–1–التشققات الناتجة عن أخطاء في الدراسة الإنشائية:

ومن أهم هذه الأخطاء:

1. الأخطاء الرقمية والحسابية الناجمة عن سرعة إنجاز العمليات الحسابية، وعدم المحاكمة المنطقية للنتائج الرقمية، أو الخطأ في عمليات الإدخال أثناء العمل البرمجي للحسابات، وعدم تدقيق الحسابات ومراجعتها قبل اعتمادها؛

2. الاختيار غير السليم للجمل الإنشائية: حيث يجب علينا انتقاء الجمل الإنشائية بشكلٍ سليم مبني على الخبرة الهندسية في إعداد الدراسات؛

2-أخطاء ناتجة عن افتراض خاطئ للأحمال وحركة الأوزان على المنشأ، أو عدم الأخذ في الحسبان بعض الأحمال الخاصة مثل الرياح والزلازل.

3-شقوق ناتجة عن قلة نسبة فولاذ التسليح، أو عدم توضعها بشكلٍ صحيح داخل المقاطع الخرسانية، (وهذا ما نسميه فن التسليح)، مما يتسبب بحدوث إجهادات عالية في فولاذ التسليح يؤدي إلى زيادة الاستطالة الحادثة به عن القيم المسموح بها، مما يتولد عنه حدوث شقوق ظاهرة؛

4-إهمال تفاصيل فولاذ التسليح وأماكن إيقافه وتوزعه، والاختلاف في أقطاره.

2-2- التشققات الناتجة عن أخطاء في التنفيذ:

ومن أهم هذه الأخطاء:

1. التأسيس على طبقات من التربة لا تنطبق خصائصها ومواصفاتها مع تلك المعتمدة في التصميم أو حتى في السبور؛

2. التنفيذ السيئ لأعمال التمديدات للمياه الحلوة والمالحة، أو لأعمال العزل، مما يسمح للمياه بالتسرب إلى تربة التأسيس؛

3. عدم الاهتمام بالتفاصيل المعطاة بالمخططات و اعتماد المهندس المنفذ على خبرته الخاصة والشخصية.

4. إهمال تنظيف قوالب الكوفراج الخشبي، وفكها قبل الزمن المحدد للتصلب، كما هو موضح بالشكل (2)، وقبل امتلاك الخرسانة للمقاومة اللازمة لمقاومة حمولات الوزن الذاتي؛

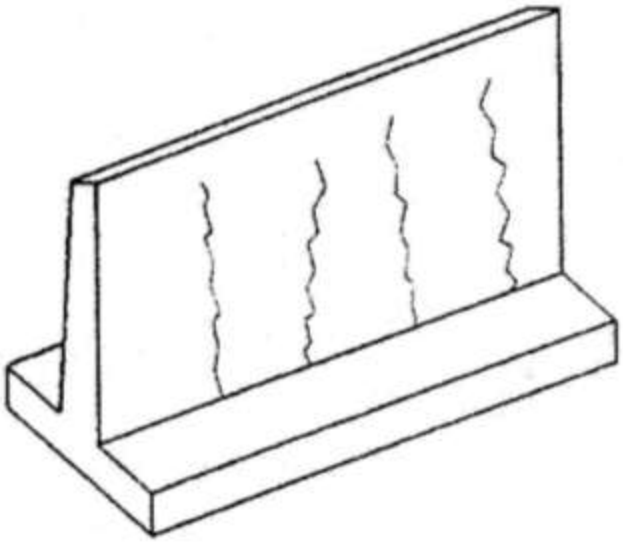
5. مجموعة أخطاء تتعلق بفولاذ التسليح: كاستخدام فولاذ تسليح لا يتطابق مع المواصفات الفنية، من حيث حد المرونة والأقطار، وانخفاض قيمة طبقة الحماية الخرسانية *Concrete Cover*؛

6. عدم الاهتمام بتنفيذ فواصل الصب في الأماكن غير المعرضة لقوى وإجهادات عالية، وعدم تخشين سطحها من أجل التماسك عند متابعة الصب؛

7. مجموعة أخطاء تتعلق بالخرسانة: كفصل مكونات الخرسانة بسبب طرق الصب الخاطئة، وحدوث ظاهرة التعشيش *Honey Combing* نتيجة عدم الرج *Vibrator*، واستخدام خلطات غير مطابقة للمواصفات الفنية، والإهمال وعدم العناية بمعالجة الخرسانة بعد الصب؛

8. عدم مطابقة الأبعاد التنفيذية للمقاطع الخرسانية مع الأبعاد التصميمية؛

9. إهمال القيام بتنفيذ الاختبارات المعملية اللازمة للتأكد من جودة الخرسانة، مثل تعيين مقاومة الضغط، ودرجة الامتصاص، أو قابلية التشغيل.



الشكل (2)، تشققات طولية في جدار استنادي ظفري بسبب فك القوالب، والردم المبكر.

2-3- التشققات الناتجة عن أخطاء في الاستثمار:

ومن أهم هذه الأخطاء:

1. التعديلات غير المدروسة على المنشآت، أو تحويلها لأخرى بغية استخدامها لغير المهمة المصممة من أجلها، كتحويل بعض المباني الخاصة إلى مباني عامة، أو منشآت صناعية.

2. التساهل في صيانة شبكة المياه المختلفة (الحلوة والمالحة)، والسماح لها بالتسرب لفترات طويلة.

وسنستعرض فيما يلي أهم أشكال التشققات (إنشائية وغير إنشائية)، في العناصر الهندسية المختلفة (بلاطات، جوائز، أعمدة،...)

عرض الشق*Crack width*:

من المعلوم تجريبيا"، أنه يمكننا تقدير عرض الشق بالعين المجردة، ولكن من الطرق المعتمدة استخدام جهاز العرض، أو أداة بصرية مصممة خصيصا" لتقدير عرض الشق.

وعادة لا توجد حاجة لدقة كبيرة في هذه القياسات لأنه من الضروري فقط أن نعرف فيما إذا كان الشق أقل من عرض ***0.3mm*** أو أكبر من عرض ***0.05 mm***. وبما أن الفحوصات تكرر دوريا"، فإنه من المفيد أن نسجل في ما إذا كانت عروض الشق أو أطواله قد ازدادت.و نوضح في الجدول رقم(2)مواصفات التشققات حسب عرضها[3].

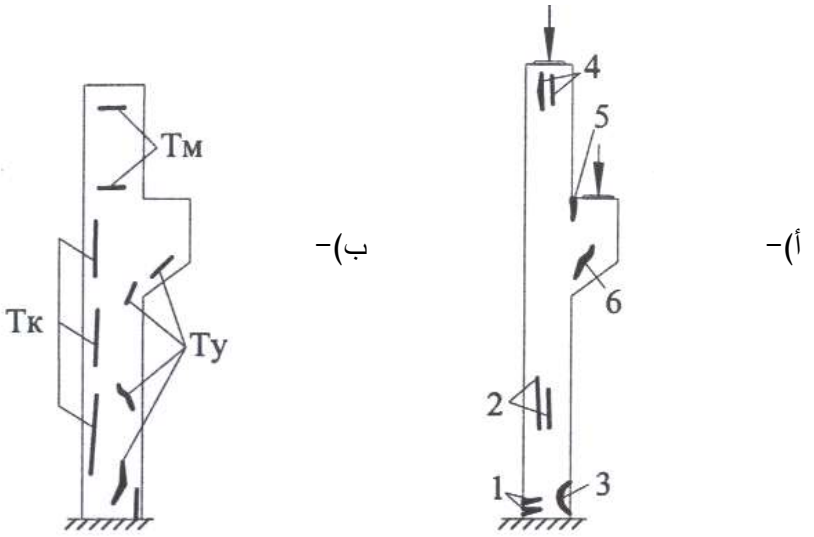
الجدول رقم (2) مواصفات التشققات حسب عرضها.

عرض الشق	مواصفات التشقق
أقل من *0.05mm*إلى *0.1mm*	يلحظ فقط عند الجفاف، وما لم يلاحظ يشاهد في الضوء القوي.
0.05mm إلى *0.5mm*.	يلحظ بالعين المجردة، فصل السطوح يمكن رؤيته فقط.
0.5mm أو أكثر	كلا حافتي الشق تشاهد كانقطاع في السطح الإسمنتي.

انتشار التشققات في العناصر الإنشائية، وأشكال هذه التشققات:

1- التشققات في الأعمدة:*Column Cracks*

إن توزع التشققات في الأعمدة الموضحة في الشكل رقم (3)، تتعلق بشكل رئيسي بنوعية الضغط اللامركزي (لامركزية صغيرة، أو كبيرة)، وصفات الحمولات المؤثرة عليها. بالإضافة لذلك لاحظنا تأثير بعض المؤشرات التكنولوجية: مقاومة الخرسانة، نوعية التسليح، وظروف تصلب الخرسانة.



الشكل /3/. التشققات في الأعمدة.

أ- بسبب القوى المؤثرة؛ ب- بسبب تكنولوجيا التنفيذ.

عند تأثير الحمولات بلامركزية كبيرة، يمكن أن تتشكل في المنطقة المشدودة شقوق أفقية متسعة (التشققات رقم 1، انظر الشكل 3)، والتي تعتمد مؤشرا" عن زيادة الحمولات على الأعمدة أو عدم كفاية فولاذ التسليح. أثناء تطبيق لامركزية صغيرة تظهر تشققات شاقولية (التشققات رقم 2، انظر الشكل 3)، والتي تعد نتيجة زيادة تحميل جذع العمود، أو انخفاض درجة جودة الخرسانة.ظهور التشققات الشاقولية (بنتيجة تأثير القوة) غالبا"مايرافقها انكماش، والذي يتطابق معها بالاتجاه.

إن النوعية السيئة للحام فولاذ التسليح الطولي والعرضي أو التباعد الكبير لفولاذ التسليح العرضي (الأساور) يؤدي لضياع استقرار قضبان فولاذ التسليح الطولي المضغوط وظهور تشققات (التشققات رقم 3، انظر الشكل 3). إن غياب التسليح العرضي بشكل شبكات (تسيلح غير مباشر) في منطقة تمركز اجهادات الضغط في رؤوس الأعمدة، يؤدي لظهور تشققات شاقولية (التشققات رقم 4، انظر الشكل 3). وعند عدم كفاية فولاذ التسليح أو التحميل الزائد بوضوح للأظفار يؤدي لظهر تشققات (التشققات رقم 5، 6؛ انظر الشكل 3).

إن الأعمدة التي يحدث فيها تشققات بنتيجة تأثير القوى الخارجية، يتم تدعيمها-كماهو معلوم- بالتطويق المعدني أو من الخرسانة المسلحة.

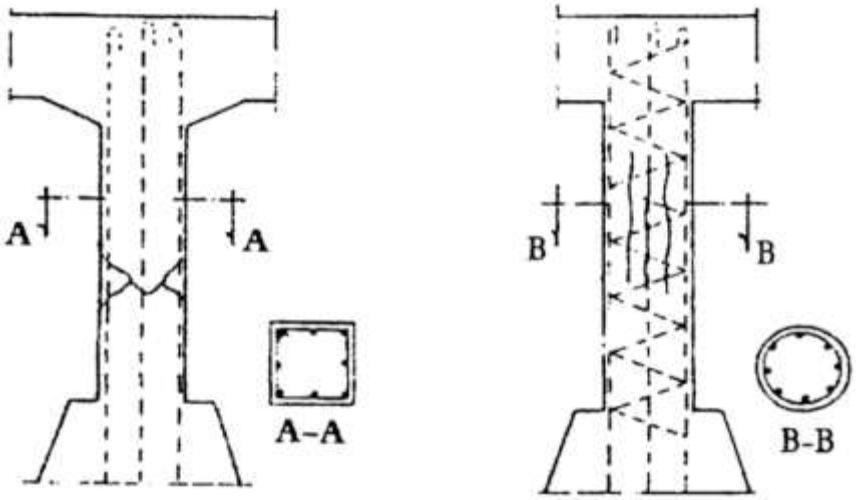
ونوضح فيما يلي أهم أنواع التشققات في الأعمدة:

- **التشققات الناجمـة عن الشد المركزي:**

أثناء تعرض العمود إلى قوى شد ناظمية تظهر التشققات فيه عبر كامل المقطع، وتكون عمودية على اتجاه القوة، وذلك عند تجاوز إجهادات الشد لمقاومة الخرسانة على الشد في الأعمدة الخرسانية. أوعند تجاوز إجهادات الشد لمقاومة الفولاذ على الشد في الأعمدة الخرسانية المسلحة، وتكون هذه التشققات على مسافات متساوية، وعند الأساور(انظر الشكل1، أ).

- **التشققات الناجمـة عن الضغط المركزي:**

نوضح على الشكل (4) التشققات الناجمة عن التحميل الزائد للأعمدة الخرسانية المسلحة والمضغوطة مركزياً. ففي الأعمدة المسلحة بتسليح عادي، ونتيجة ظهور التشققات، تنفصل طبقة الحماية الخرسانية، ويتبع ذلك التواء فولاذ التسليح الطولي، وخاصة عندما تكون خطوة الأساور كبيرة، الشكل (4 , أ). أما في الأعمدة المسلحة بتسليح حلزوني، فتكون التشققات بشكل شاقولي وضمن طبقة الحماية الخرسانية، الشكل (4ب).



الشكل (4) التشققات في عمود بيتوني مضغوط مسلح بتسليح عادي (أ)، وتسليح حلزوني (ب)،[4].

- **التشققات الناجمـة عن هبوط الأساسات:**

إن انتشار الشقوق الأفقية في العمود لها دلالة خطيرة، وهي مؤشر على هبوط في الأساسات تحت العمود، أما الشق الأفقي على شكل عقد فهو أقل خطورة وسببه الهبوط اللدن مع جفاف الخرسانة المستعملة، مما أدى إلى هذا الشق، وهو عادة ما يكون عند اتصال الجائز مع العمود.

- **التشققات الناجمـة عن سوء التنفيذ:**

يحدد سبب الشقوق الرأسية حسب مكانها، فإذا كانت في الأركان مع تساقط السوكة (زاوية حافة العمود) فغالباً سببها صدأ قضبان التسليح، وإذا كانت متوازية مع حدوث تمدد عرضي، فقد يكون تفاعل القلويات مع الخرسانة هو السبب. وإذا سببت الشقوق انفصال في الخرسانة مع ملاحظة تحنيب في العمود، فيجب البحث عن الأساور في منطقة الشقوق، فإذا كانت متباعدة عما حددته المواصفات فذلك هو السبب، وإلا فقد يكون نقص المقطع أو زيادة التحميل هو السبب. ونوضح في الجدول (3) أشكال الشقوق في الأعمدة وأسبابها.

الجدول (3). أشكال الشقوق في الأعمدة وأسبابها.

شكل الشقوق	وصف عـــــام للتشقـــــق	السبب
شقــوق أفقية	شق واحد، أو عدة شقوق مع وجود هبوط بالأساسات	هبوط أساسات العمود
	شق عند اتصال الجائز بالعمود، وشكله يدل على تكون عقد	شقوق الهبوط اللدن
شقــوق شاقولية	عند الزوايا، مع تساقط للخرسانة وآثار صدأ الفولاذ	صدأ فولاذ التسليح
	شقوق رأسية متوازية مع حدوث تمدد عرضي	تفاعل القلويات مع الخرسانة
	شقوق رأسية مع انفصال طبقة الحماية،وتحني بلقضبان التسليح الطولية	عيوب تنفيذ
شقــوق عشوائية	مع تفتت في الخرسانة	تأثير غازات ومواد كيميائية
	شقوق عشوائية ظهرت بعد فك الكوفراج الخشبي بسرعة	انكماش وتقلص الخرسانة

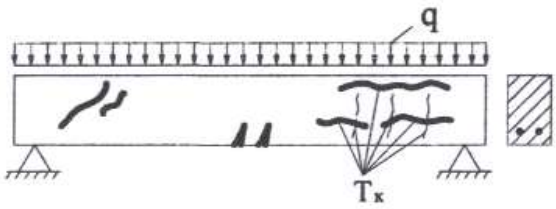
2-التشققات في الجوائز بتسليح عادي:

يعد من مواصفات الجوائز، ظهور تشققات عادية (أفقية)، ومائلة (عند المساند) على السطوح الجانبية.زد على ذلك أن التشققات العادية تظهر بتأثير عزوم الانعطاف الأعظمية، والتشققات المائلة في منطقة تأثير الإجهادات المماسية الأعظمية، بالقرب من المساند.

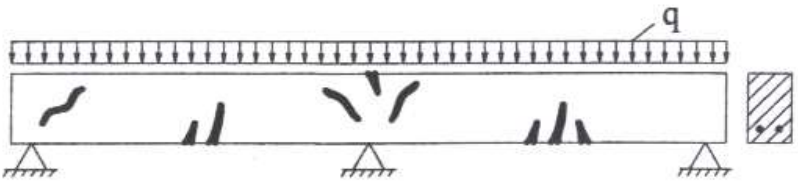
يتعلق شكل التشققات في الجوائز بشكل رئيسي بالمخطط الستاتيكي، شكل المقطع العرضي والحالة الإجهادية. نوضح على الشكل (5) التشققات في جوائز بفتحة واحدة، ومتعددة الفتحات ذات مقطع مستطيل.

التشققات العادية بعرض أكبر من ***0.5mm*** يكون عادة شاهد على التحميل الزائد للجائز أو عدم كفاية التسليح الطولي الرئيسي.

أ)-



ب)-



الشكل(5)،التشققات على السطوح الجانبية للجوائز بتسليح عادي

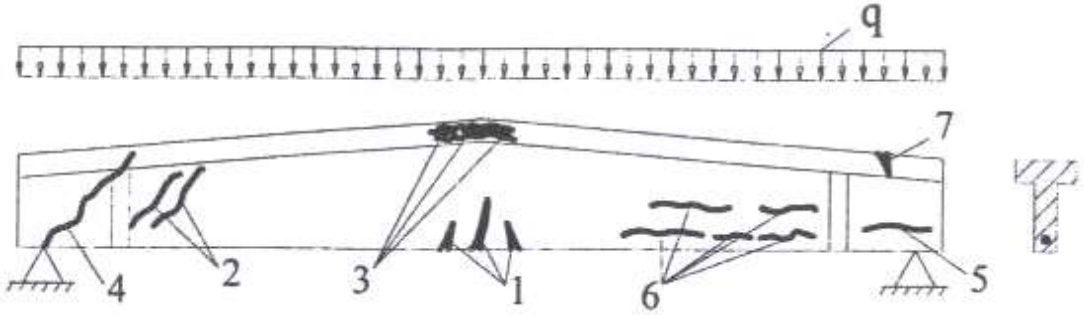
أ-بمجاز واحد؛ ب- متعدد المجازات.

إن سبب تشكل التشققات المائلة غالبا" ما يكون انخفاض درجة جودة الخرسانة، والمسافة الكبيرة للتباعد بين التسليح العرضي (الأساور)، وسوء نوعية لحام قضبان التسليح الطولي والعرضي.

3- التشققات في الجوائز مسبقة الإجهاد:

إن الجوائز المسلحة بفولاذ تسليح عالي المقاومة ماركةAv-Avl، تحضر بطريقة المسبقة الإجهاد مع متطلبات عالية لمقاومة التشققات. لذلك فإن ظهور التشققات الواضحة فيها يكون دائما" مؤشراً إما لأخطاء كبيرة في تحضير

الجوائز، أو لزيادة التحميل.نوضح على الشكل رقم(6) أشكال التشققات في الجوائز المسبقة الإجهاد. كما نوضح في الجدول رقم(4) الأسباب الممكنة للظهور المفرط للتشققات.



الشكل(6) التشققات على السطوح الجانبية في الجوائز المسبقة الإجهاد.

1...7 – تشققات لأسباب سوء تكنولوجيا التنفيذ، وزيادة التحميل.

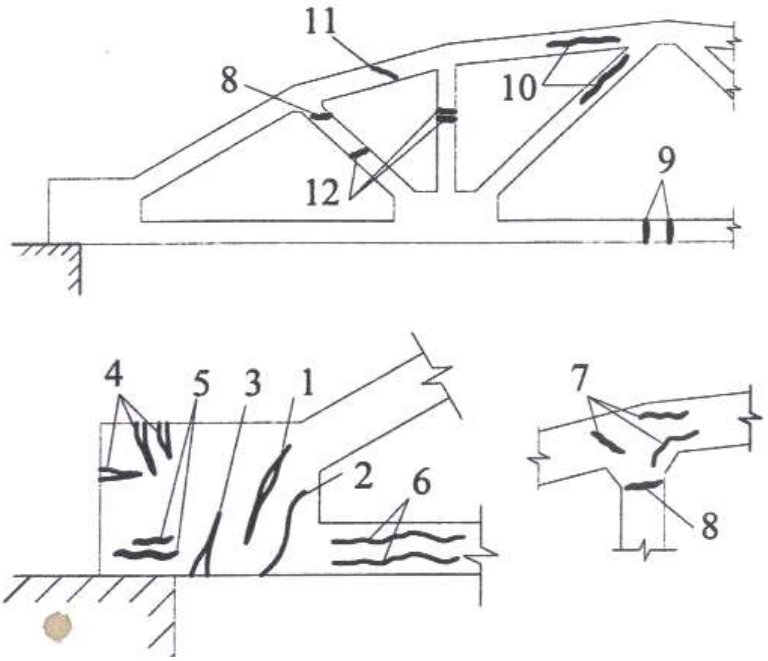
الجدول رقم(4) التشققات في الجوائز.

رقم التشقق	السبب الممكن لظهور التشقق
1	• عد مكفاية الإجهادات في الجوائز:القيمة المنخفضة لشد فولاذ التسليح،الضياع الكبير للإجهاد المسبق. • التحميل الزائد للجائز وفق المقطع العادي.
2	• خلل أثناء تحضير الجائز: انخفاض درجة جودة الخرسانة، المسافة الكبيرة للتسليح العرضي (S)، اللحام السيء للتسليح العرضي مع الطولي. • التحميل الزائد للجائز وفق المقطع المائل.
3	• انخفاض درجة جودة الخرسانة. • التحميل الزائد للجائز وفق المقطع العادي.
4	• خلل تثبيت التسليح المسبق الإجهاد: انخفاض درجة جودة الخرسانة؛عدم كفاية مقاومتها على الضغط.
6–5	• غياب التسليح المكسح في منطقة تثبيت التسليح المسبق الإجهاد. • انخفاض قيمة مقاومة الخرسانة في لحظة الانضغاط.
7	• عدم كفاية فولاذ التسليح المكسح.

4 – التشققات في الجمالونات (الجوائز الشبكية):

إن ظهور التشققات في الجمالونات تتعلق بإمكانية عملها كمنشأة فراغية.اتصال عناصر الجائز الشبكي إلى العقد يكون شرطا" أوليا"لتتمركز فيها إجهادات متباينة بالإشارة والمواصفات:فقد تكون ضاغطة،أو شادة ،أو مائلة.

مخطط ظهور التشققات في عناصر الجائز الشبكي موضح بالشكل (7)، ومواصفات التشققات معطاة بالجدول (5).



الشكل (7) –التشققات في الجوائز الشبكية.

الجدول(5)التشققات في الجوائز الشبكية.

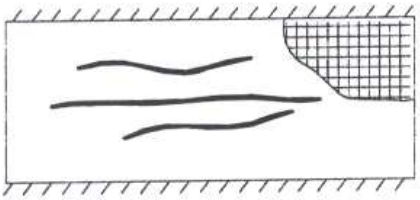
رقم التشقق	السبب الممكن لظهور التشققات
1	• انخفاض درجة الخرسانة. • عدم كفاية كمية فولاذ التسليح العرضي: التباعد بين الأساور كبير، قطر الأساور صغير.
2	• عدم كفاية فولاذ التسليح العرضي المسبق الإجهاد: انزلاقها في منطقة التماسك. • عدم كفاية كمية فولاذ التسليح العرضي.
3	• الخلل في تماسك فولاذ التسليح المسبق الإجهاد: انخفاض درجة جودة الخرسانة، عدم كفاية مقاومة الخرسانة على الضغط.
4	• عدم كفاية فولاذ التسليح العرضي بشكل شبكات،نتيجة القوى الضاغطة للتسليح مسبق الإجهاد.
6,5	• غياب التسليح غير المباشر (الشبكات، الأساور)في منطقة إرساء فولاذ التسليح مسبقالاجهاد. • المقاومة المنخفضة للخرسانة على الضغط.
7	• عدم كفاية التسليح غير المباشر للعقد(شبكات تسليح).
8	• عدم كفاية إرساء فولاذ التسليح الرئيسي للعناصر المشدودة في عقد الجملون. • التسليح غير المباشر ضعيف في العقد.
9	• زيادة تحميل الجائز الشبكي.
10	• انخفاض درجة جودة الخرسانة. • زيادة تحميل الجائز الشبكي.
11	• انحناء في مستوى الجملون أثناء التركيب،والنقل،والتخزين.

12	• زيادة تحميل الجائز الشبكي. • انزياح التسليح بالنسبة للمحور الطولي للعنصر.

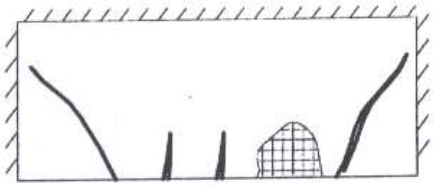
5 – التشققات في بلاطات التغطية:

إن صفات التشققات في البلاطات، المرتبطة بالقوى المؤثرة، تتعلّق بالمخططات الستاتيكية لبلاطات التغطية، وشكل ومواصفات الحمولات المؤثرة، وطريقة التسليح ونسبة مجازي البلاطة، وفي هذه الحالة فإن التشققات تقع بشكلٍ متعامد مع الإجهادات الشادة الرئيسية.

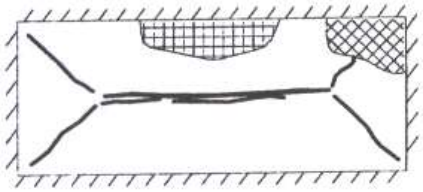
إن أسباب توسع التشققات يعتبر عادة التحميل الزائد للبلاطات، عدم كفاية كمية فولاذ التسليح الرئيسي أو توضعه غير الصحيح (انزياح شبكة التسليح نحو المحور المحايد).إذا كان عرض التشققات المتكشفة يزيد عن***0.3mm***، يتم تقوية البلاطات بطريقة زيادة تسليح إضافي. ونوضح في الشكل رقم (8) التشققات على سطوح البلاطات، حسب شكل استناد البلاطة، ونسبة بعديها.وفي الجدول رقم (6) أشكال التشققات في البلاطات وأسبابها.



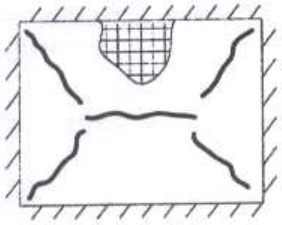
أ–استناد البلاطة في جهتين



ب–استناد البلاطة في ثلاث جهات



ج–استناد البلاطة في أربع اتجاهات عندما $L1/L2>2$.



د– استناد البلاطة في أربع اتجاهات عندما $L1/L2\leq 2$.

الشكل (8)، التشققات على سطوح البلاطات، المحملة بحمولات موزعة بانتظام

الجدول (6)، أشكال الشقوق في البلاطات وأسبابها.

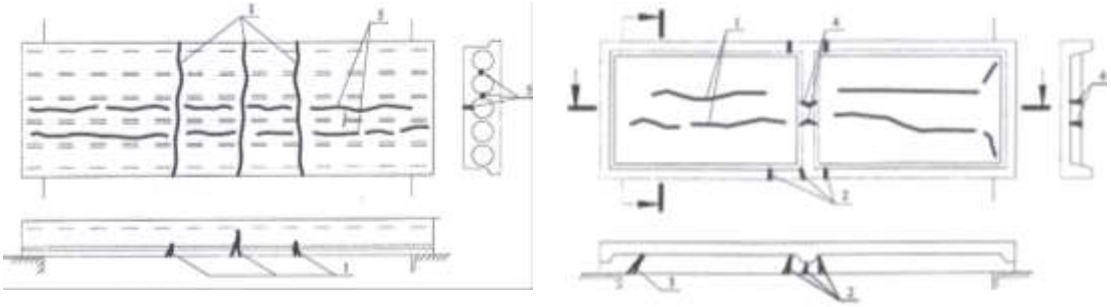
شكل الشقوق	وصف عام للتشق	السبب
شقوق على الوجه السفلي	شق باتجاه واحد، أو اتجاهين (باتجاه توضع قضبان التسليح)، وظهور بقع صدأ، وتساقط للغطاء الخرساني.	صدأ فولاذ التسليح
	شقوق عند الجوائز وموازية لها،مع كون أطوال التثبيت غير كافية	قصور في التفاصيل، وعيوب في التنفيذ
	شقوق طولية عند المنتصف، مع حدوث سهم	تحميل زائد، أو ثخانة قليلة
شقوق على	شقوق عشوائية مع تفتت (في حالة الجو البارد).	شقوق التجمد والذوبان.

الوجه العلوي	شقوق عشوائية مع تفتت (في المناطق الجافة).	انكماش الخرسانة، سوء في مواد البناء
	شقوق شعرية على السطح الأخير	الإجهادات الحرارية.

6-التشققات في البلاطات مسبقة الصنع:

تعد البلاطات الجائزية المسبقة الصنع منشآت فراغية، والتي تتكون من ترابط الجوائز مع البلاطات. لذلك فإن تشكل الشقوق فيها نتيجة حمولات الاستثمار، عملياً لا يختلف عن عناصر المنشآت المدروسة سابقاً، في الجوائز والبلاطات. وهذا واضح بشكل ٍكبيرٍ في خريطة التشققات في البلاطات الجائزية،المبينة في الشكل 9.

من أجل البلاطات المفرغة ،فإنها تتصف بظهور التشققات -بسبب تكنولوجيا التنفيذ -في الأعصاب بين الفراغات، وأيضاً بظهور شقوق طولية في الوجه العلوي للبلاطة باتجاه الفراغات (انظر الشكل 9، ب).



الشكل (9). التشققات في البلاطات مسبقة الصنع:

أ- في البلاطات الجائزية؛ ب- في البلاطات المفرغة؛ 1... 4- بسبب القوى المؤثرة؛ 5- بسبب تكنولوجيا التنفيذ.

خطوات ترميم التشققات الخرسانية *The Procedure of Repairing Concrete*:

1-مراقبة التشققات:

يجب ملاحظة التشققات عندما تظهر في المنشأ الخرساني ، وعند ظهورها يجب اختبار سمك التشقق و طوله وعمقه. ومن المهم ملاحظة ما إذا كان التشقق يتسع بمرور الوقت أملا. وهناك طرق كثيرة تستخدم لدراسة ذلك، مثل استخدام بقع الجبس فوق التشققات و متابعة حدوث التشققات في الجبس ، أو باستخدام جهاز يقيس العرض بين كرتين من الحديد مثبتتين على جانبي التشقق[7، 8]..

ويجب قياس تشوه أو انحناء عناصر المنشأ التي تحدث فيها التشققات الإنشائية باستخدام نقط المناسيب المعروفة كمرجع للقياس(من الضروري معرفة الهبوط النهائي للأساسات)،وسوف تقودنا الملاحظة وأخذ القراءات المختلفة إلى معرفة نوع التشققات من حيث أسبابها.و غالباً ماتؤثر عدة أسباب في وقت واحد.

نحدد بدايةً فيما إذا كان الشق ساكناً أو نشطاً

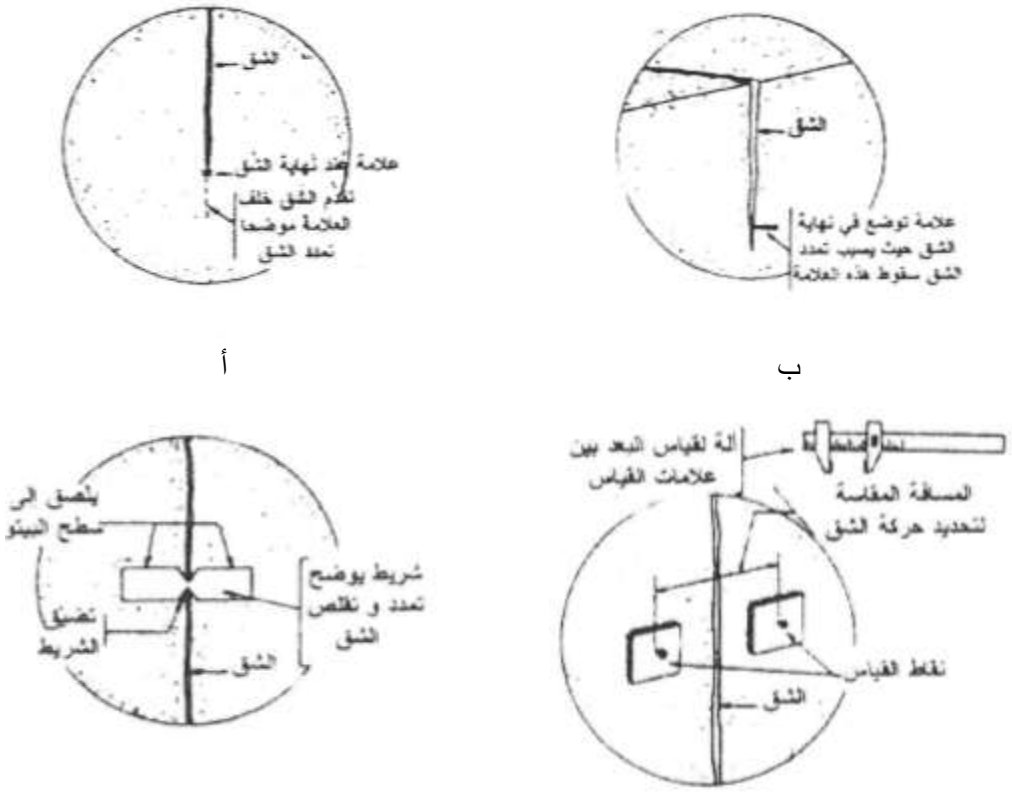
Active or Dormant Determine Whether The Cracks Are

نوضح في الشكل (10) طرق اكتشاف حركة التشققات، وذلك بوضع علامة عند نهاية الشق، والتمدد اللاحق يشير إلى استمرار النشاط للشق (الشكل 10، أ). أو باستخدام وتد يوضع في الشق، فإن حصل تمدد للشق فإن الوتد يسقط (الشكل 10، ب). أو نقوم بوضع شريط على سطح الشق (الشكل 10، ج). أو بقياس الحركة الناتجة عن التمدد

والتقلص باستخدام جهاز البياكوليس (الشكل 10، د). وبشكلٍ عام لا يمكن أن يكون هناك شق ساكن، والفرق بين الشق الساكن، والفعال هو كمية الحركة فقط[2].

2 – اختيار أسلوب الترميم: ***Select a Methode of Repair***

أثناء اختيارنا لأسلوب الترميم يجب أن نحدد فيما إذا كان الشق ساكناً أو نشطاً، وتحديد الهدف من الترميم، هل هو من أجل إنقاص أو منع التسرب.



الشكل (10)، طرق اكتشاف حركة التشققات في العناصر الهندسية.

3 –طرق الترميم ***Method of Repair***

يمكننا تقسيم وسائل الإصلاح المطلوبة إلى ما يلي:

أ – وسائل إصلاح إنشائي: وهي التي تخدم أغراض استرجاع المقاومة أو زيادتها؛

ب – وسائل إصلاح غير إنشائي: وتشمل إملاء التشققات، وإصلاح فولاذ التسليح المتآكل.

وسنوضح فيما يلي أهم طرق معالجة التشققات.

3-1- معالجة التشققات الشعرية غير الإنشائية(الناتجة عن أسباب غير إنشائية) :

من المفروض في هذه الحالة أن الخرسانة جيدة النوعية ،وأن التشققات دقيقة ولاتمثل خطورة على استمرارية تحمل المنشأة .فإذا تمت معاينة التشققات، وكانت ناتجة عن سلوك طبيعي للمبنى كمافي حالة الوصلات بين الوحدات مسبقة الصب، فعلى المصمم أن يأخذ هذه التشققات في الحساب و خاصة الوصلات الرأسية و الأفقية بواجهة المبنى، والتي يجب معالجتها بعناية لتجنب الأضرار التي تنجم عن هذه التشققات(مثل تسرب المياه خلالها).وعادة يتم إجراء اختبارات على وصلات متشققة لنحصل على القوة الحقيقية للوصلات في حالة الاستخدام الفعلي لها، ويجب أن يصمم فولاذ التسليح و يختار تفريده بطريقة تجعل اتساع التشققات غير خطير.و غالباً مايكون وضع الفولاذ الإضافي غير المحسوب إنشائياًضرورياً(مثل فولاذ التسليح القطري المكسح) ويكون عمودياً على اتجاه التشققات المتوقعة في زوايا المبنى[8،5، 9]

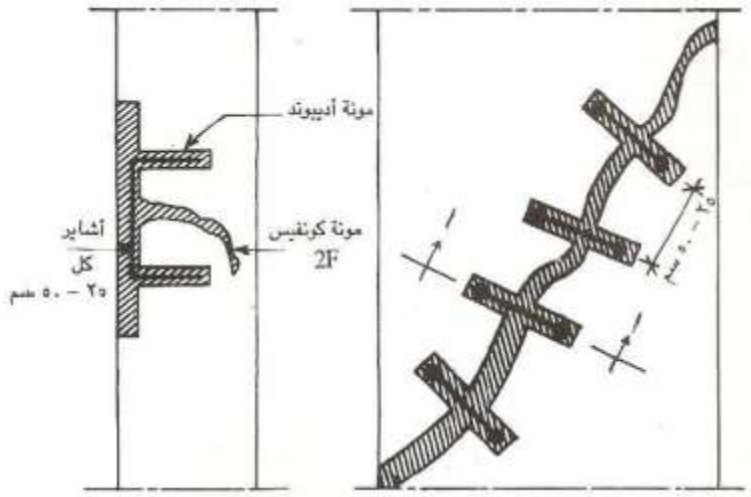
وعموماً فإن التصميم و التنفيذ الجيدين يعطينا أفضل تحكم في التشققات. وتعالج التشققات الشعرية غير الإنشائية (مثل تشققات الانكماش اللدن) بتنظيف السطح بالفرشاة المعدنية، ثم تدهن التشققات على طبقات من روبة حقن إسمنتية لاصقة . وعندما تكون التشققات الشعرية عميقة و عمودية على اتجاه قوى الضغط في المنشأ فمن الضروري حقن هذه التشققات بعناية باستخدام المنتجات التي تتصلب حرارياً.ومن الضروري اختيار منتج منخفض اللزوجة.

3-2-التشققات العريضة:

عندما يكون عرض التشقق كبيراً وعميقاً داخل الخرسانة بحيث يصل إلى التسليح، فيجب معالجته لتجنب تآكل فولاذ التسليح.أما إذا حدث هذا التآكل في الفولاذ فعلاً فيجب إزالة الغطاء الخرساني المغلف للفولاذ، وذلك بتنظيف أسياخ الفولاذ، و يستبدل الغطاء المزال بخرسانة جيدة كغطاء لفولاذ التسليح (ومن المهم في هذه الحالة استخدام الراتنجات الغروية اللاصقة و الترميم بخرسانة عالية المقاومة بالدفع بالهواء باستخـدام الخرسانة المقذوفة. وغالباً ماتتميز التشققات الناتجة عن تمدد الخرسانة باحتوائها على نسبة كبريتات عالية.وقد يكون من الضروري في هذه الحالة إزالة الخرسانة المعابة و تغييرها .و إذا كانت التشققات ناتجة عن أسباب ميكانيكية (مثل زيادة الأحمال، أو نقص التسليح ،أو استخدام خرسانة رديئة ،أو هبوط التربة)فيجب أن نتأكد من السيطرة على هذه الأسباب قبل البدء في ترميم المبنى خاصة إذا كانت هذه التشققات مستمرة في الزيادة.

وقد يكون من الضروري إزالة وتغيير الخرسانة المعابة و إضافة طبقة من الخرسانة الجديدة (مثلاً نحصل على ربط الخرسانة القديمة بالخرسانة الجديدة باستخدام طبقة دهان خاصة من مادة غروية مطاطة أو باستخدام إيبوكسي لاصق*Epoxyde Glue*).وقد يكون من الضروري وضع أسياخ فولاذ تسليح إضافي في مجاري أوثقوب محفورة لها في الخرسانة القديمة (يزرع الحديد باستخدام مونه إيبوكسية لاصقة)و عندما نقرر حقن التشققات فيجب العناية باختيار المنتج اللزج الذي سنستخدمه وفقاً لترتيب التشققات و توزيعها،و لنتائج عملية الحقن.

ولا بد من الإشارة إلى أن مادة الإيبوكسي تستخدم لإصلاح الشقوق في الخرسانة المسلحة إصلاحاً إنشائياً، وذلك لأن الإيبوكسي مادة قوية تتمتع بمقاومة عالية على الضغط، وقوة تماسكها مع الخرسانة عالية. حيث نقوم بحقن التشققات التي لا يزيد اتساعها عن *0.05mm*، إذ تتألف هذه التقنية من زرع مداخل ومخارج تهوية قريبة من بعضها على طول الشق، ونقوم بحقن الايبوكسي تحت الضغط باستخدام مضخة هيدروليكية بعد اختبار ضغط الحقن بشكلٍ مدروس. ونوضح في الشكل رقم (11) معالجة التشققات بطريقة الحقن.



مسقط رأسي للتشقق **مقطع 1-1**

الشكل رقم /11/ معالجة التشققات بطريقة الحقن.

إذا كانت التشققات نشطة و يتغير عرضها نتيجة التأثيرات الحرارية فلابد من أن نتأكد من عدم ظهور تأثير إجهادات الشد و تشققات جديدة بعد ملء التشققات.

3-3-علاج التشققات باستخدام الموادالمرنة:

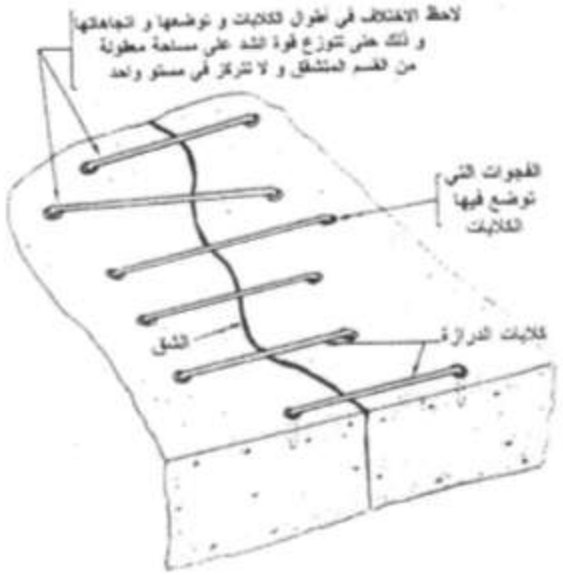
سوف نتناول هنا حلول و مشاكل ملء تشققات الخرسانة مع متابعة الترميمات الأخرى الضرورية.

تستخدم البوليمرات العضوية و الإسمنت في علاج التشققات وسوف نشير إليها بالروابط. وأكثر البوليمرات العضوية استخدماً في الترميمات الإنشائية هي الروابط الإيبوكسية. وهي عبارة عن مركب أساسي راتنجي *Epoxy Binders*أو مصلد أو معجل للتصلب ، حيث يجب خلطها بالنسب المحددة. وللروابط الإيبوكسية خاصية الالتصاق بالخامات كالخرسانة و الفولاذ وقلة الانكماش ،كما أنها ذات قوة شد و ضغط عاليتين. ويعيب البوليمرات العضوية ضعف مقاومتها للحريق ودرجات الحرارة المرتفعة.والروابط الإيبوكسية تنتمي إلى فصيلة البوليمرات حرارية التصلد وهي تشمل ضمن تركيبها البوليرثان مجهزاً على هيئة مركبين يتم خلطهما عند الاستخدام. و يعد البوليستر من نفس الفصيلة. وهو يتكون عادة من ثلاث مركبات(أساسراتنجي،وسيط مساعد،ومعجل تصلب).

وهناك فصيلة أخرى من الروابط العضوية تتكون من البوليمرات البلاستيكية *Thermoplastic Polymers* أو الروابط الاكريليكية*Acrylamid Binder* وهي سريعة التصلب ولا تلتصق بالخرسانة،وذات انكماش عال في الظروف الجافة و لذاف إن استخدامها الرئيسي يكون في سد التشققات في حالات الرطوبة و التشبع لمقاومة تسرب الماء .والإسمنت المستخدم هنا هو الإسمنت البورتلاندي العادي،كما أنا لإسمنت قليل الانكماش و الإسمنت سريع التصلب يمكن خلطهما بالبوليمرات العضوية[7، 8].

3-4-علاج التشققات باستخدام الطريقة الدرازة*Sititching Method*:

يمكننا بواسطة هذه الطريقة معالجة قوة الشد للمقطع الخرساني المتشقق، وذلك بأسلوب الخياطة كما هو موضح بالشكل (12).



الشكل (12)، معالجة التشققات بطريقة الدرازة.

وتتم هذه الطريقة باتباع الخطوات التالية:

- نقوم بحفر ثقوب على جانبي الشق؛
- نقوم بتنظيف الشقوق جيداً؛
- نستخدم كلابات على شكل حرف U وهي معدنية ذات أرجل قصيرة؛
- نثبت هذه الكلابات في ثقوب باستعمال مونة غير قابلة للانكماش، أو باستخدام مادة الايبوكسي اللاصقة. ويستحسن تقليل المسافة بين الكلابات عند نهاية الشق.

الاستنتاجات والتوصيات:

1-ضرورة اتخاذ كافة الإجراءات والاحتياطات التصميمية للحد من ظهور التشققات في العناصر الإنشائية، آخذين بعين الاعتبار طبيعة الأحمال التي تتعرض لها هذه العناصر؛

2-استخدام خرسانة بدرجة جودة جيدة (لا تقل عن C20)؛

3-تأمين طبقة كافية من الخرسانة لحمايــة فولاذ التسليــح ضـــد عوامل التآكل بما لاقل عن***2.0cm***في البلاطات المعرضة لتأثيرات جوية ،و***2.5 cm***للجوائز والأعمدة،على أنلاتقل سماكة هذه الطبقة عن أكبر قطر لفولاذ التسليح المستعمل.

4-المراقبة الدقيقة والدورية للمنشآت الهندسية، ووضع خارطة التشققات في العناصر الهندسية -في حال ظهورها- وتحديد أسبابها ومدى اتساعها..

5-امتلاك المهندس للمعرفة العلمية الدقيقة، التي تؤهله لمعرفة أسباب التشققات، ومدى تأثيرها في سلامة المنشأة؛

6-عدم استخدام أية مادة لمعالجة التشققات قبل إجراء التجارب المخبرية عليها للتأكد من مواصفاتها.

المراجع:

1- الدورة التأهيلية في تدعيم المباني والمنشآت، تشخيص أسباب التشوهات والتشققات في المباني والمنشآت.د.أحمد الحسن نقابة المهندسين –فرع محافظة دمشق .1997.

2- أبو المجد، شريف علي.*أساليب المعاينات، وأساليب الانهيارات*. دار النشر للجامعات المصرية، 1993.

3- كمال، منير؛ الإيباري، شادية نجا؛ أبو المجد، شريف؛ سلامة، عمرو. *تصدع المنشآت الخرسانية وطرق إصلاحها*. 1992، 719ص.

4- ملحم، عصام. *منشآت البيتون المسلح، الجزء الأول*. منشورات جامعة البعث. 2002؛ 265 ص.

5- *Jour. Concrete International .Crack Repair An Engineerُ s Perspectives . June 1991.P47-49.*

6*-The Repair of concrete Structure .R.T.Allen. London; 1983.*

7*-Causes,Evaluation and Repair of Cracks in concrete Structures.Reported ACI Committee 224.*

8*- Control of Cracking in Concrete Structures. Reported ACI Committee 224. Chapter 3. Control of Cracking due to drying shrinkage.*

9*- Cracking of Concrete Members in Direct Tension. Reported ACI Committee 224.*

10*- Simplitide Methods of Predicting The deformation of structural concrete. Parrot, L.J.; 1979.*