التشققات في المنشآت الخرسانية والخرسانية المسلحة
(أسبابها وطرق الوقاية منها)

الدكتور غصن الكفري
أ. منير صاحب علي
كلية الهندسة ـ جامعة التحدي ـ سرت

1 ـ المقدمة:

تعتبر الخرسانة المسلحة المادة الأوسع استخداماً في المنشآت المشادة في بلادنا وذلك نظراً للمزايا التي تتمتع بها هذه المادة ومنها القدرة على الاحتفاظ بالمقاومة حيث تزداد مقاومتها على الضغط مع تقدم الزمن، مرونة إستعمالها، قلة تكاليف الصيانة، المقاومة العالية للحريق، قلة الكلفة وتوفر المواد الأولية. . . الخ.

وعلى الرغم من هذه المزايا إلا أنه توجد هناك مساوىء أيضاً وأهمها: ضعف مقاومة الخرسانة على الضغط بالنسبة للفولاذ مما يؤدي إلى ضخامة الوزن الذاتي نتيجة المقاطع الكبيرة وينعكس ذلك على أبعاد الأساسات وتكاليفها، تأمين حماية كافية للفولاذ المستعمل في الخرسانة المسلحة، تأثر الخرسانة ببعض المواد الكيميائية المذابة في الماء، ضعف مقاومتها على الشد حيث يؤدي ضعف مقاومة الخرسانة على الشد إلى ظهور تشققات شعرية(Hair cracks) خلال مراحل التصلب والتحميل، كما تزيد الحرارة

المرتفعة من تبخر الماء من الخرسانة وتؤدي إلى زيادة تقلصها ومن ثم ظهور تشققات صغيرة على سطحها.

2 ـ الهدف:

إلقاء الضوء على جزء يسير من التشققات التي تحدث في عناصر الجمل الإنشائية المشيدة من الخرسانة والخرسانية المسلحة ليستطيع المهندس التعرف على أسبابها بأقل صعوبة ممكنة واقتراح الحلول المناسبة لعلاجها.

3 ـ تشقق العناصر الإنشائية الخرسانية والخرسانية المسلحة:

إن ظهور التشققات المختلفة الأشكال هي إحدى المؤشرات التي قد تسبق تصدع أو انهيار المبنى، وممكن أن تظهر هذه التشققات بعد عدة سنوات أو عدة شهور أو عدة أسابيع أو حتى بعد عدة ساعات من تنفيذ المنشأ، وليس من السهل تحديد أسباب ظهور هذه التشققات في كثير من الأحيان، ولكن مجرد ظهورها هو دلالة مرضية على الرغم من أن بعض أنواع هذه التشققات لا يبدي تأثيراً سلبياً على عمل المنشأ من وجهة نظر المتطلبات الاستثمارية، ويسمح بظهور هذه التشققات إلى حدود معينة ومن هنا نستطيع أن نصنف المنشآت من حيث حالة عرض الشق إلى ثلاثة أنواع(1):

النوع الأول: ويشمل المنشآت الملامسة للسوائل أو المعرضة لإجواء لها تأثيرات ضارة (الخزانات مثلاً) ويحدد العرض الاعظمى للتشققات بالقيمة (0.1 mm) وهي المنشآت التي لا يسمح نظرياً بتشققها.

النوع الثاني: ويشمل المنشآت غير المحمية والمنشآت المعرضة للأجواء الخارجية مباشرة مثل: الخرسانة بدون لياسة، الجسور في العراء، ويحدد العرض الأعظمى المسموح للتشققات (0.2 mm).

النوع الثالث: ويشمل المنشآت العادية والمنشآت التي تكون الخرسانة

فيها محمية وغير معرضة للعوامل السابقة، في هذا النوع يحدد العرض الأعظمي المسموح للتشققات (0.3 m).

وبشكل عام فإن تحديد عرض الشق هو الوسيلة الاصطلاحية للوصول إلى علاقات يمكن عن طريقها تحقيق المنشآت ضد التشقق وفقاً لتصنيفها.

4 ـ أسباب تشكل وانتشار التشققات في المنشآت الخرسانية والخرسانية المسلحة:

من الممكن أن تكون هذه التشققات لأسباب إنشائية أو غير إنشائية.

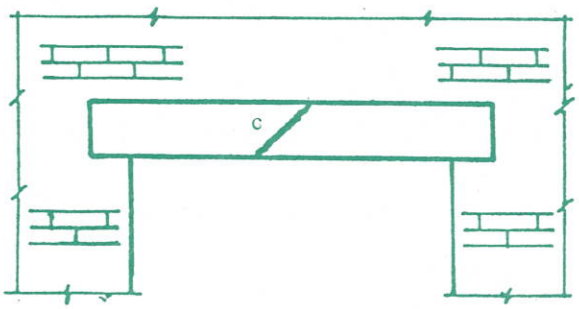
4 ـ 1 التشققات غير الإنشائية:

أي أن ظهور التشققات عائد لأسباب لا تتعلق بأخطاء في التصميم أو تعريض المنشأ لأحمال غير عادية ومثل هذه التشققات:

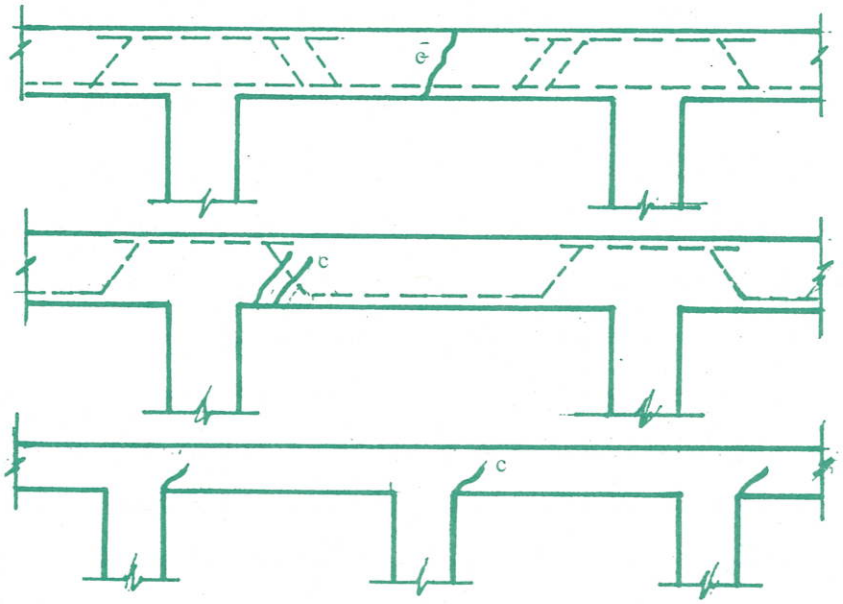
4 ـ 1 ـ 1 تشققات تقلص (انكماش) الخرسانة:

على الرغم من أن التقلص في الخرسانة هو ظاهرة طبيعية تحدث في جميع أنواع الخرسانات إلا أن زيادة التقلص يعد مؤشراً على عدم دقة نسب الخلطة الخرسانية وسوء التدرج الحبي لمواد الخلطة وسوء العناية بها. ومن المعروف أن تقلص الخرسانة يؤدي إلى ظهور إجهادات شادة في خرسانة العنصر إذا انعدمت إمكانية الانتقال الخطي لهذا العنصر داخلياً (أي بسبب مقاومة حديد التسليح) أو خارجياً (بسبب طبيعة الاستناد)، أي عندما يكون موثوقاً من الطرفين أو مستنداً على مفاصل غير متحركة. فإذا تجاوزت إجهادات الشد في هذا العنصر القيم المسموحة فسوف يبدأ: **بالتشقق** مع النظر إلى أن الانهيار الكامل للعناصر الخرسانية المسلحة الناجم عن تقلص الخرسانة يحصل فقط في هذه الحالة (4) كما في شكل (1).

وفيما يلي نبين بعض أشكال التشققات التي تحدث في العناصر الإنشائية نتيجة التقلص في الخرسانة كما في الأشكال (2، 3، 4، 5).

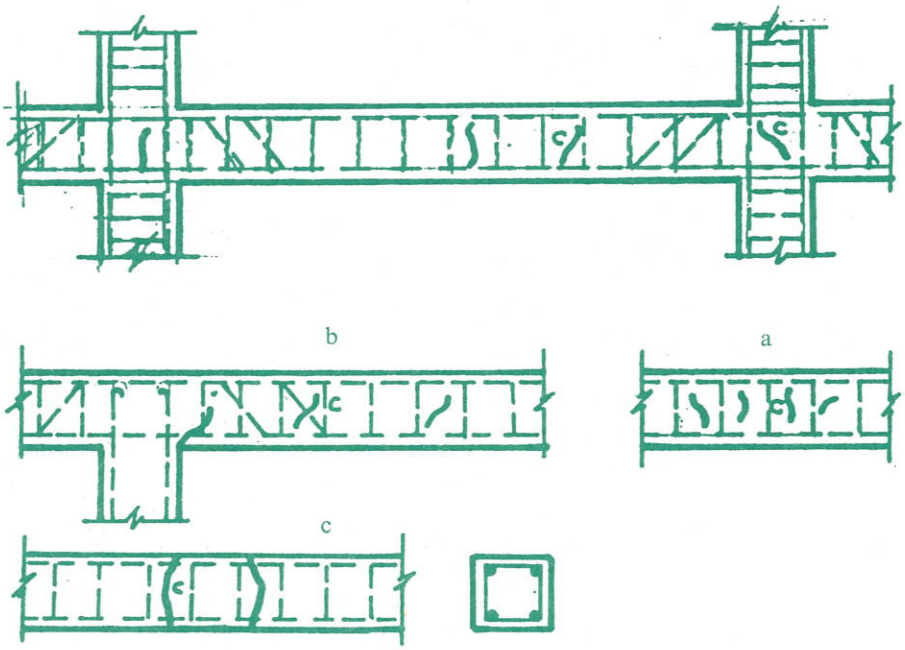


شكل (1) تشقق جائز خرساني نتيجة التقلص



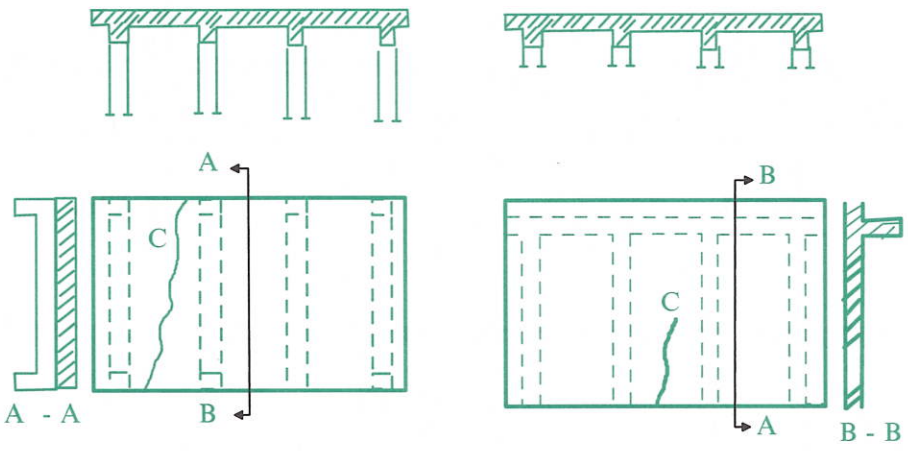
جوائز خرسانية ذات تسليح ضعيف

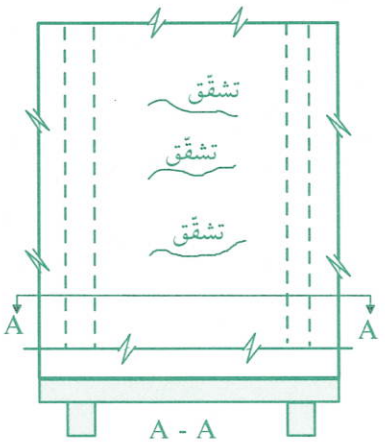
شكل (2)أ: التشققات في الجوائز الخرسانية المسلحة



جوائز خرسانية ذات تسليح كثيف

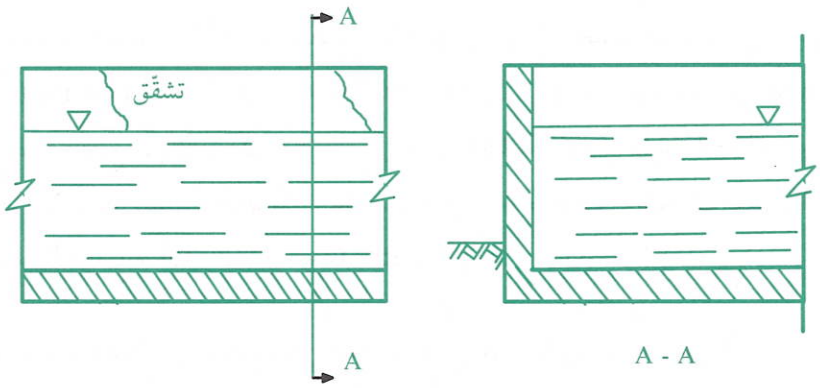
شكل (2)ب: التشققات في الجوائز الخرسانية المسلحة



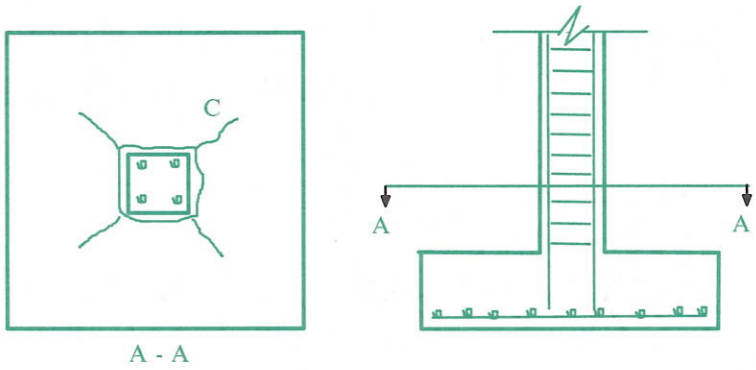


بلاطة موثوقة من الجهات الأربعة

شكل (3) التشققات في البلاطات الخرسانية المسلحة



شكل (4) تشققات التقلص في جدران الأحواض

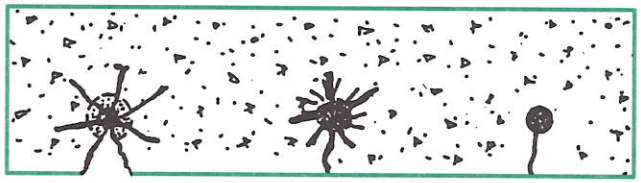


شكل (5) الشتققات التي تظهر في الأساسات المفردة

و لذلك ينصح للتغلب على هذا النوع من التشققات أن نضع فواصل حرارية كل (10 ـ 12) متراً للجدران المصنعة من الخرسانة العادية أو الخرسانة المغموسة، كما ينصح ألا تقل سماكة الغطاء الخرساني للتسليح عن (10 mm) وأن لا تزيد عن (40 mm) وفي حالة الزيادة عن (40 mm) يتوجب وضع شبكة تسليح من نوع شبك اللياسة ضمن طبقة الغطاء. ويجب أيضاً الاعتناء بنسب الخلطة الخرسانية والتدرج الحبي للحصويات والعناية التامة بالخرسانة أثناء الصب وبعد التصلب.

4 ـ 1 ـ 2 التشققات الناجمة عن صدأ التسليح من ظاهرة التفحم في الخرسانة:

ظاهرة التفحم هي عبارة عن تحول مادة هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$) الموجودة في الخرسانة والتي تحمي الخرسانة من الصدأ (لأنها كتيمة للماء) إلى فحمات الكالسيوم $CaCO_3$ وذلك بامتصاص غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2 من الجو، وبما أن كربونات الكالسيوم مادة غير كتيمة للماء فيتسرب الماء الموجود في الجو عبر الخرسانة إلى حديد التسليح ويسبب صدأه (2)، وبنتيجة ذلك يكبر قطر حديد التسليح مما يؤدي إلى تشقق الغطاء الخرساني وسقوطه غالباً من حول القضبان كما هو موضح في الأشكال (6) و(7).

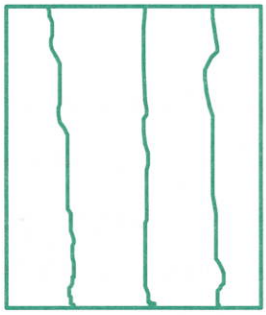


1 – دخول الرطوبة إلى حديد التسليح وبداية الصدأ

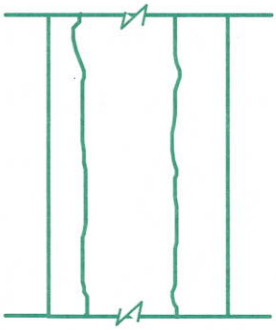
2 – تتكون طبقة حول حديد التسليح مع زيادة الحجم ويؤدي إلى تغير لون الخرسانة

3 – سقوط طبقة الحماية وظهور حديد التسليح

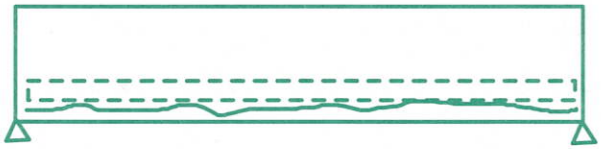
شكل (6) آلية حدوث التآكل لحديد التسليح



تشقق في بلاطة نتيجة ظاهرة التفحّم



تشقق في عمود خرساني نتيجة ظاهرة التفحّم



شكل (7) أنواع مختلفة للشقوق بسبب ظاهرة التفحّم

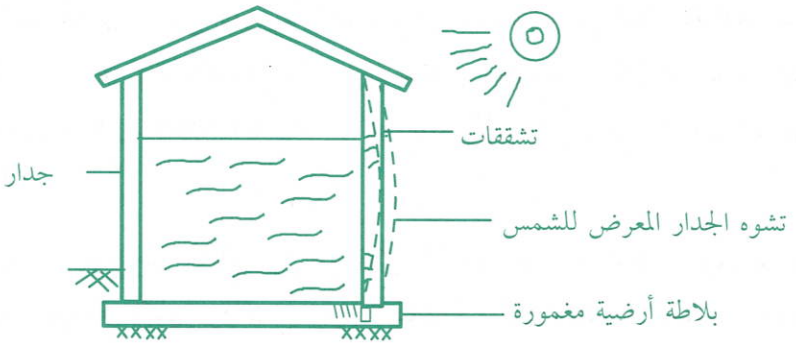
وللتغلب على هذا النوع من التشققات يجب الحد من إستخدام الإضافات الحاوية على كلوريد الكالسيوم المستخدم في الخلطة الخرسانية للزيادة في سرعة إمتصاصها، وتحسين نوعية الخرسانة وكذلك زيادة الغطاء الخرساني بحدود (40 mm) ودهان العنصر الإنشائي لمنع دخول الرطوبة للخرسانة.

وهذا النوع من العلل من الممكن أن يتداخل مع علل أخرى تصيب الخرسانة نتيجة تآكلها وذلك بسبب التفاعلات الكيميائية المختلفة، أهمها تولد المواد (الأترنيجية) نتيجة إتحاد وتفاعل الكبريتات مع ألومينات الإسمنت في وجود الماء. في هذه الحالة تنتج أملاح ذات حجوم أكبر من المواد المحتوية عليها الخرسانة لذلك يحدث تمدد يؤدي إلى تشقق وتفتت الخرسانة.

ومن هنا ينصح بعدم إستعمال مياه البحار في الخلطات الخرسانية واستخدام إسمنت مقاوم للكبريتات واستخدام خلطة غنية بالإسمنت.

4 ـ 1 ـ 3 التشققات الحرارية:

إن هذا النوع من التشققات واسع الانتشار في المنشآت الخرسانية المسلحة لأنه ناتج عن تغير درجة حرارة الجو المحيط داخل أبنية الانتاج الناجم عن سير العمليات التكنولوجية أو عند حدوث الحرائق، حيث تتمدد الخرسانة بارتفاع درجة حرارتها وتبدأ بالتشقق عندما تنخفض درجة حرارتها وتشبه التشققات في هذه الحالة تلك التشققات الناجمة عن التقلص (Shrinkage) في الخرسانة مما يصعب التمييز بينهما. ومن الأمثلة على ذلك التشققات في الجدران الخرسانية التي تمر عبرها خطوط التدفئة غير المعزولة بشكل نظامي وصحيح، وكذلك التشققات في جدران الخزانات المائية الناتجة عن الفرق الكبير بين درجة حرارة الماء بداخل الخزان وبين درجة حرارة الهواء شكل (8).

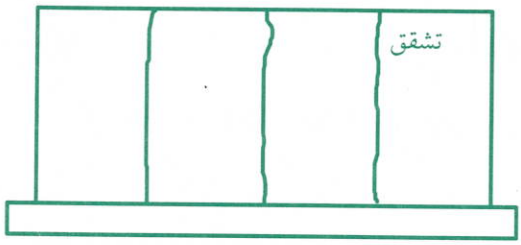


شكل (8) تأثير التمدد الحراري على خزان الماء

إلا أننا سنستعرض التشققات الحرارية التي تصادفنا بكثرة ومنها:

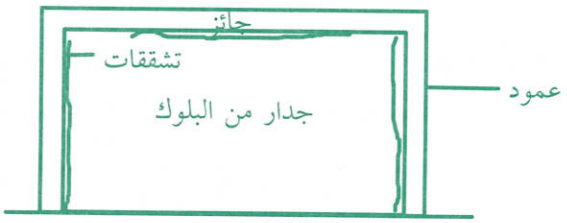
التشققات الحرارية في الجدران الخرسانية الحاملة الناجمة عن التقلص

الحراري ونتيجة التقلص في الخرسانة خاصة إذا كان الجدار طويلاً ويكون شكل هذه التشققات كما هو موضح بالشكل (9). وللتغلب على هذه الظاهرة يجب وضع فواصل صب في الجدران كل مسافة (10 ـ 12) متر.



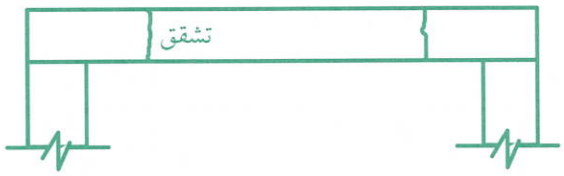
شكل (9) تشققات شاقولية في الجدران الخرسانية

أما شكل هذه التشققات في القواطع فيكون كما في الشكل(10) والسبب في هذه التشققات هو ضعف طبقة اللياسة عند المنطقة الفاصلة بين الخرسانة المسلحة للإطار ومادة القاطع وللتغلب عليها يجب وضع شبك لياسة بعرض (30 cm) تقريباً فوق منطقة الاتصال قبل تطبيق اللياسة لتحمل الإجهادات الحرارية الشادة.



شكل (10) التشققات بين البلوك والخرسانة المسلحة

أما أشكال التشققات الحرارية في الجوائز فهي موضحة في الشكل (11 ـ أ، 11 ـ ب).



شكل (11 ـ أ) تشققات طولية في الجوائز

شكل (11 ـ ب) تشققات طولية عند الأساور

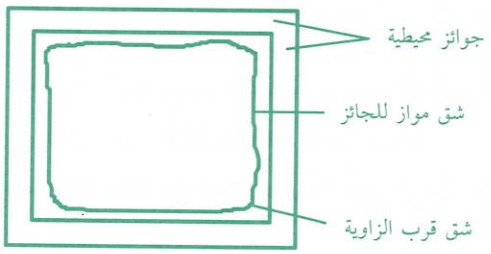
4 ـ 2 التشققات الإنشائية:

أي أن ظهور التشققات عائد لأسباب تتعلق بتصميم العنصر الإنشائي ومن أهم هذه الأسباب تعرض العنصر إلى حمولات تتجاوز الحمولات المعتبرة أثناء التصميم (في الحسابات الإستاتيكية) مما يؤدي إلى أخطاء في التصميم ومنها قلة نسب التسليح داخل القطاعات الخرسانية، صغر القطاع الخرساني المعتبر في التصميم عن المطلوب، عدم كفاية التسليح العرضي لمقاومة القص. ومن الممكن أن تحدث التشققات نتيجة لعدم الدراسة الكافية للتربة والذي يترتب عليه إختيار خاطىء لنوع الأساس [3].

وهنا تكمن حاجة المهندس للتعرف على أشكال هذه التشققات وأماكن حدوثها في العناصر الإنشائية المؤلفة للمبنى لكي يستطيع أن يعطي الحلول بشأنها.

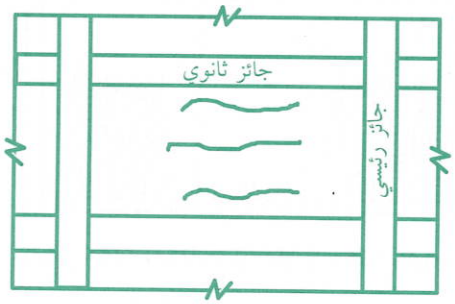
4 ـ 2 ـ 1 التشققات في البلاطات:

إن شكل التشققات الناتجة عن الانعطاف في البلاطات يتعلق بطبيعة عمل البلاطة وشكل إستنادها مع الملاحظة إلى أن هذه التشققات تحدث في الوجه السفلي والعلوي للبلاطة. فمثلاً تظهر التشققات في الوجه العلوي للبلاطة بعد فك القالب بفترة زمنية قصيرة نتيجة نقص في كمية التسليح السالب اللازم لتأمين الاستمرار أو الوثاقة على محيط البلاطة شكل (12) وهذا التسليح يجب وضعه بشكل متعامد مع التشققات [2].



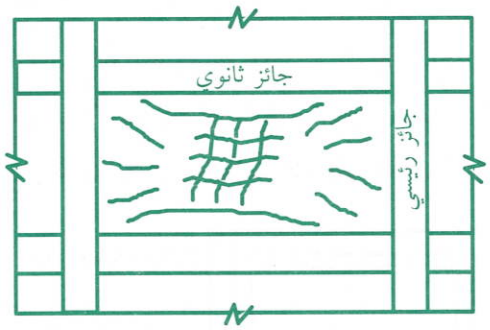
شكل (12) تشققات موازية للجوائز بأعلى البلاطة

أما في البلاطات العاملة في اتجاه واحد أي المستندة على طرفين متقابلين فقط أو المستندة على أطرافها الأربعة فتظهر التشققات بشكل عامودي على إتجاه التسليح الرئيسي وتكون الشقوق متوازية فيما بينها وذلك في الوجه السفلي للبلاطة كما في الشكل (13).



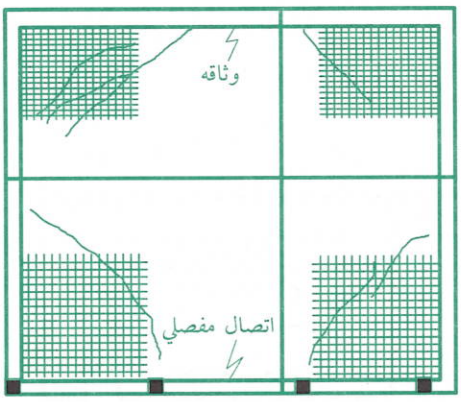
شكل (13) بلاطة باتجاه واحد مستندة على أربع جهات (المنظر من الأسفل)

أما الشكل (14) فيبين التشققات التي تظهر في الوجه السفلي للبلاطات العاملة باتجاهين والمستندة على أطرافها الأربعة والمسلحة بتسليح متصالب حيث نجد أن هذه التشققات تمتد بشكل قطري باتجاه الزوايا.



شكل (14) التشققات في بلاطة مسلحة
باتجاهين ومستندة على أربع جهات (المنظر من الأسفل)

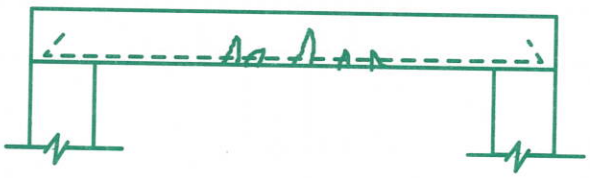
ويبين الشكل (15) التشققات في الوجه العلوي للبلاطة التي تظهر بشكل عامودي على قطر البلاطة والناتجة عن عدم كفاية التسليح اللازم لمقاومة عزوم الفتل أو عزوم الإنعطاف.



شكل (15) تشققات في بلاطة عاملة باتجاهين
ومستندة على أربع جهات (المنظر من الأعلى)

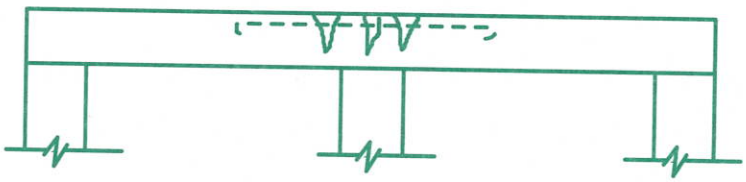
4 ـ 2 ـ 2 التشققات في الجوائز:

4 ـ 2 ـ 2 ـ 1 التشققات الناجمة عن عزوم الانعطاف: في العناصر الخاضعة للانعطاف تظهر التشققات دائماً بشكل عمودي على حديد التسليح في منتصف الجائز المستند استناداً بسيطاً كما هو موضح شكل (16). والسبب في ذلك يعود لعدم كفاية التسليح الطولي حيث يزداد عرض الشق باتجاه الأسفل.



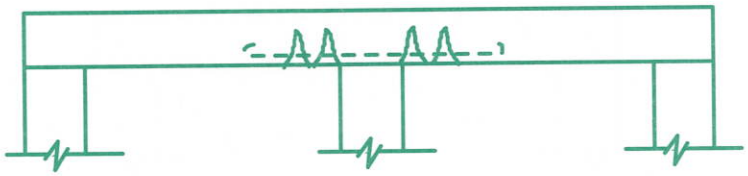
شكل (16) تشققات شاقولية في وسط الجائز

أما في الجوائز المستمرة فالتشققات من الممكن أن تظهر في الجزء العلوي أي فوق المسند وذلك نتيجة لعدم كفاية حديد التسليح في هذه المنطقة، حيث يزداد عرض الشق باتجاه الأعلى كما هو موضح شكل (17).



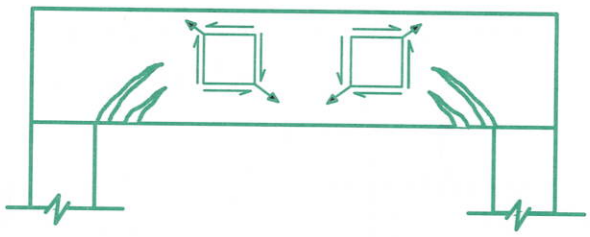
شكل (17) تشققات شاقولية في الجزء العلوي من المسند الوسطي

ولكن في بعض الأحيان من الممكن أن تظهر عزوم موجبة فوق المسند وذلك بسبب هبوط المسند الوسطى، مثلاً في جائز مستمر على فتحتين، أو في حالة تأثير قوى أفقية (رياح ـ زلازل) وغالباً لا تؤخذ هذه العزوم بالحسبان أثناء التصميم مما يؤدي إلى ظهور تشققات في الجزء السفلي من الجائز شكل (18). وهنا يجدر بنا التنويه إلى أن ظهور التشققات في الجوائز الخرسانية المسلحة يتعلق بنسب التسليح فيه ولكن لن نتطرق إلى هذا الموضوع بالتفصيل الآن.



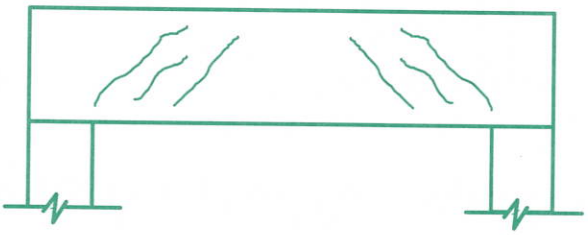
شكل (18) تشققات شاقولية في الجزء السفلي من المسند الوسطي

4 ـ 2 ـ 2 ـ 2 التشققات الناجمة عن القص والفتل: نادراً ما تتعرض العناصر الإنشائية إلى قوى القص لوحدها وغالباً ما يرافقها عزوم انعطاف، ومن المعروف أن قوى القص تكون أعظمية عند المساند، وهذه القوى تولد بدورها إجهادات قص ينجم عنها إجهادات شادة قطرية. فإذا كانت كمية التسليح اللازمة لامتصاص هذه الإجهادات الشادة القطرية أقل من التسليح في الجائز فستظهر تشققات مائلة بزاوية (45) درجة مع الأفق وتكون قريبة جداً من المساند، كما تكون في الجزء الأسفل من الجائز شكل (19). إن هذا النوع من التشققات يكون خطراً عندما يمتد إلى المنطقة المضغوطة ومنها يبدأ بالتفرع.



شكل (19) تشققات مائلة قريبة من المساند

أما التشققات الناجمة عن عزوم الفتل (أي الشد القطري الناتج عن إجهاد قص الفتل) فهي مشابهة للتشققات السابقة وتتميز عنها بأنها تمتد إلى الأعلى مسافة أطول وتكون بسماكة منتظمة تقريباً شكل (20).



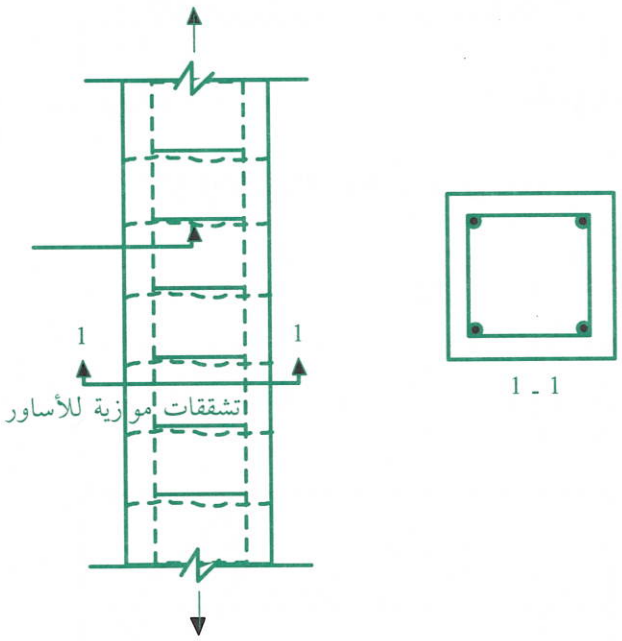
شكل (20) تشققات مائلة قريبة من المساند بشكل منتظم

4 ـ 2 ـ 3 التشققات في الأعمدة:

تستخدم أعمدة الخرسانة المسلحة في الأبنية والجسور وغيرها من المنشآت ومن الممكن أن تتعرض إلى قوة محورية (شادة أو ضاغطة) أو إلى قوة محورية مع عزوم انعطاف.

4 ـ 2 ـ 3 ـ 1 التشققات الناجمة عن الشد والضغط المحوري: عندما يتعرض العنصر الإنشائي إلى قوة شادة محورية فستظهر التشققات في حالة تجاوز إجهادات الشد في العنصر حد مقاومة الخرسانة على الشد عبر كامل

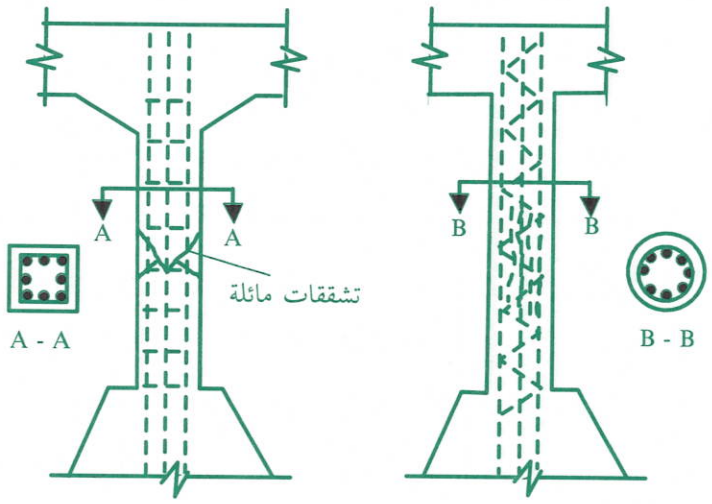
المقطع وتكون عمودية على اتجاه تأثير القوة، وعلى مسافات متساوية ومقابل الأساور (Ties)عادة شكل (21).



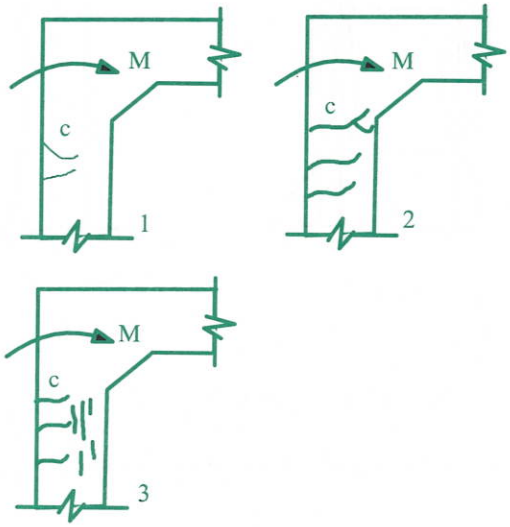
شكل (21) التشققات التي تظهر في عنصر خرساني مشدود مركزياً

أما الشكل (22) فيبين مواقع وأشكال التشققات في الأعمدة المسلحة بتسليح طولي وأساور عادية والمسلحة بتسليح طولي وتسليح حلزوني ومعرضة إلى ضغط مركزي.

4 ـ 2 ـ 3 ـ 2 التشققات الناجمة عن الانعطاف: عندما يتعرض العمود إلى ضغط لا مركزي، وفي هذه الحالة تظهر التشققات في منطقة العزم الأعظمي، ولنأخذ مثالاً على ذلك أعمدة إطار موثوق من الطرفين شكل (23) حيث يبين وضعيات العمود قبيل الانهيار ومن ثم تتوضع التشققات في لحظة الانهيار والمكان (M) الذي تتعرض فيه الخرسانة للهرس. وهذه التشققات ناجمة عن عدم كفاية التسليح الشاقولي لإمتصاص عزم الانعطاف [4].



شكل (22) التشققات في عمود خرساني مسلح ومعرض لضغط مركزي



شكل (23) تشققات في عمود تحت تأثير ضغط لامركزي

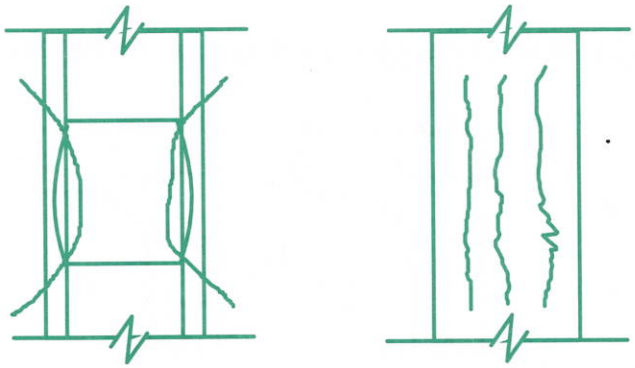
1 – بداية ظهور التشقق

2/ 3 – شكل الشقوق عند وصول العمود إلى حالة الانكسار

4 ـ 2 ـ 3 ـ 3 التشققات الناجمة عن نقص الأساور أو زيادة تباعداتها:

من المعروف أن الضغط الشاقولي يولد شداً أفقياً ولذلك كان من الضروري تسليح العمود بتسليح أفقي (أساور) لامتصاص الإجهادات الشادة المتولدة في العمود ولكن في حال عدم كفاية هذا التسليح فستظهر تشققات شاقولية كما يوضح الشكل (24 ـ أ) وتعد هذه التشققات خطرة في الأعمدة.

أما إذا زادت المسافة بين الأساور عن متطلبات المواصفات المستخدمة فمن الممكن أن تتعرض القضبان الشاقولية للانحناء وتتسبب في تهشيم الخرسانة بالقرب منها كما هو موضح بالشكل (24 ـ ب) وتعد الأعمدة في هذه الحالة بحكم المنهارة.

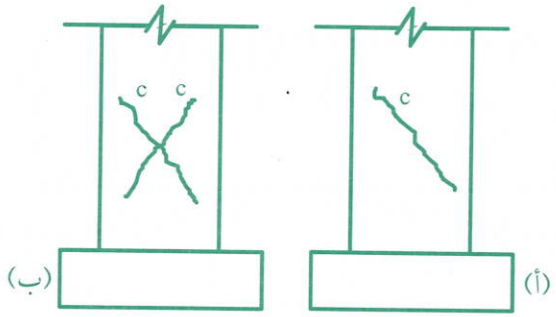


(أ) تشققات شاقولية في عمود خرساني مسلح معرض لإجهادات شد

(ب) تشققات شاقولية في عمود خرساني مسلح معرض لضغط مركزي نتيجة التباعد بين الاساور

شكل (24)

4 ـ 2 ـ 3 ـ 4 التشققات الناجمة عن الحركة الأفقية للتربة: نتيجة للكوارث الطبيعية كالزلازل تحدث في التربة أسفل الأساسات حركات أرضية مختلفة الاتجاهات مما يسبب تشققات مائلة بزاوية (45) درجة في العمود كما في شكل (25 ـ أ). ولكن ميل الشق من الممكن أن يكون في الاتجاه الآخر وذلك تبعاً لحركة الأرض ومن الممكن أن يكون الشقان متواجدين في العمود ذاته شكل (25 ـ ب) حيث تتحرك الأرض أثناء الزلازل تارة لليمين وتارة للشمال.



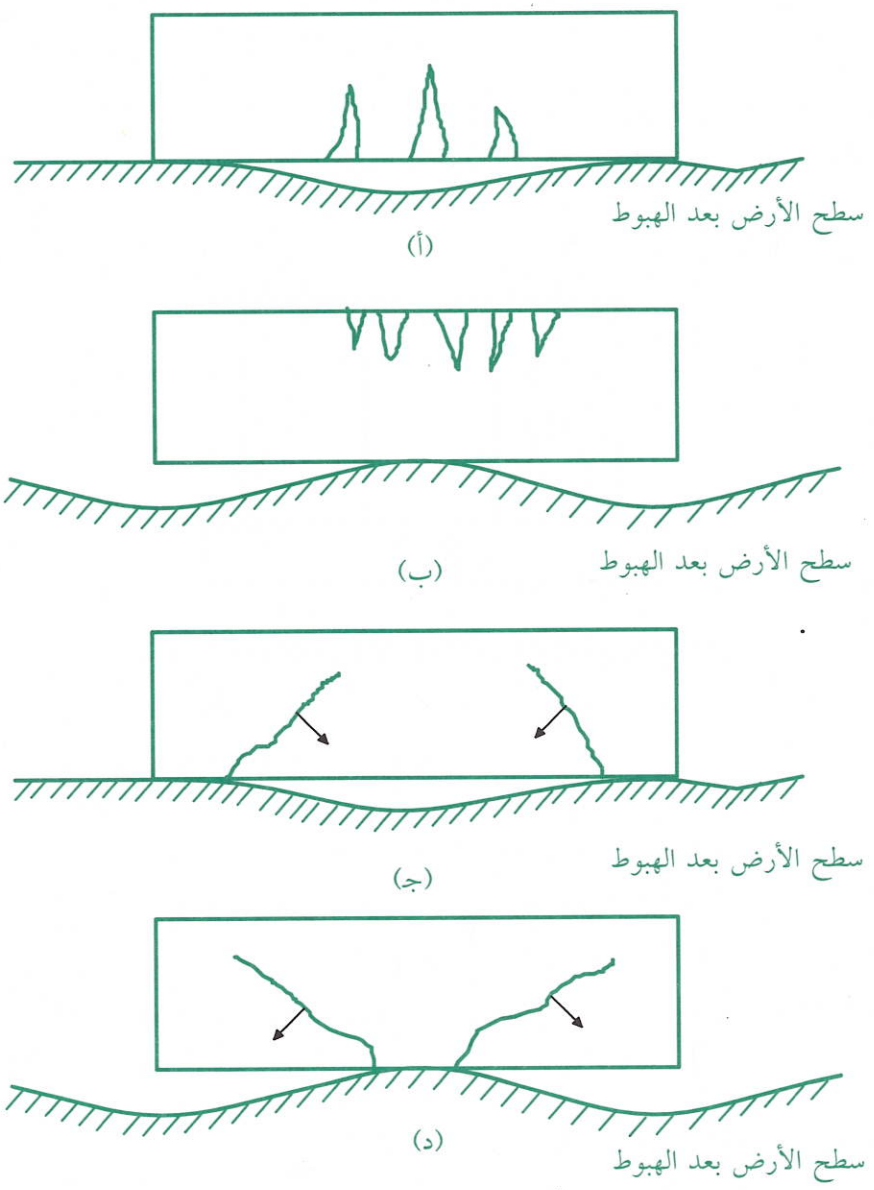
شكل (25) التشققات المائلة في الأعمدة تحت تأثير الزلازل

4 ـ 2 ـ 4 التشققات في الجدران الحاملة:

تشيد الجدران الحاملة من الخرسانة المسلحة أو من الحجر الطبيعي أو الصناعي. وبغض النظر عن المواد المكونة لها فهي تتعرض إلى قوى ضغط شاقولية ينتج عنها قوى شد أفقية. ففي الجدران الخرسانية المسلحة يقوم التسليح الأفقي بمقاومة الإجهادات الشادة إضافة إلى إجهادات التقلص الناتجة عن تقلص الخرسانة.

أما في حالة حدوث هبوط غير متساو في التربة تحت أساسات الجدران الحاملة فسوف تعمل هذه الجدران كجوائز (بسيطة، مستمرة) أي أنه ستحدث تشققات ناتجة عن الانعطاف وتشققات ناتجة عن القص ويكون

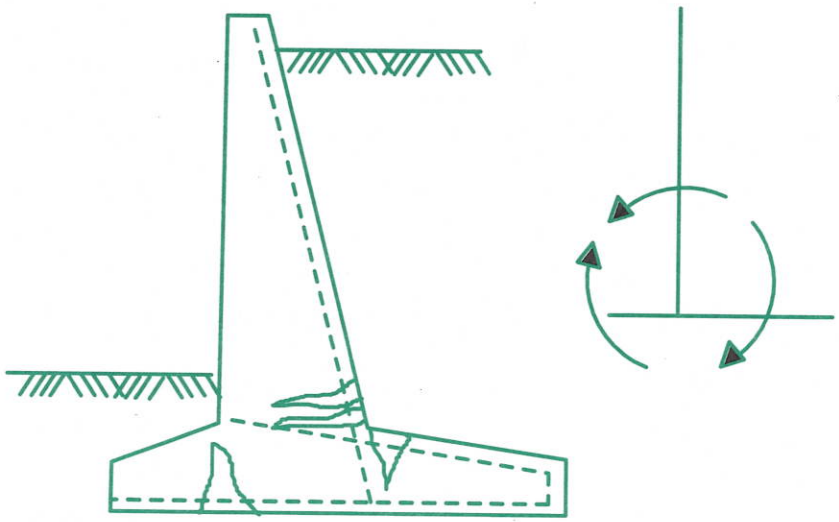
ظهورها مطابقاً لما ورد في الفقرة (4 ـ 2 ـ 2) والشكل (26) يوضح ذلك بالتفصيل.



شكل (26) التشققات في الجدران الحاملة نتيجة هبوط التربة

4 ـ 2 ـ 5 التشققات في الجدران الإستنادية المسلحة:

إن مثل هذه التشققات من الممكن ظهورها في مناطق عزم الانعطاف الأعظمي عندما لا يكون التسليح كافياً لإمتصاصه كما هو موضح بالشكل (27).



شكل (27) التشققات في الجدار الاستنادي

ومن الممكن أن تكون هناك أسباب أخرى كثيرة تسبب التشققات في المنشآت، مثال على ذلك الناتجة عن الانفجارات والحرائق. . . . الخ، ولكن يتعذر الآن شرحها لأن كل حالة يجب معالجتها على حدة بعد حدوثها.

5 ـ الوقاية:

لكي نحمي المنشآت من التشقق علينا مراعاة ما يلي:

1 ـ تكليف العناصر المؤهلة القيام بتصميم المنشأ، لضمان الحصول

على دراسة وافية للمنشأ وعدم الوقوع في هفوات تصميمية، مع التزام المصمم بالمواصفات المعتمدة.

2 ـ الاختيار الصحيح للجملة الإنشائية من قبل المهندس المصمم التي تتلاءم مع ظروف وطبيعة المنشأ.

3 ـ ضرورة الدراسة الكافية لتربة تأسيس المنشأ من المختص بذلك والالتزام بها عند التصميم.

4 ـ الالتزام بنسب الخلطات الخرسانية المطلوبة من قبل المصمم وإجراء اختبارات على المواد المستعملة في الخلطة من قبل مختصين قبل استعمالها.

5 ـ ضرورة اختيار العناصر الكفوءة للإشراف على تنفيذ الأعمال.

6 ـ الكشف الدوري على المنشأ للتأكد من سلامته وإجراء الصيانة الدورية اللازمة.

6 ـ الخاتمة:

مما تقدم نؤكد على ضرورة الشعور بالمسؤولية في التصميم والتنفيذ والإشراف، وعدم التسرع بإعطاء سبب حدوث التشققات إلا بعد التأكد تماماً من صحة هذا السبب.

المراجع

1 ـ **الكود العربي السوري لتصميم المنشآت بالخرسانة المسلحة**، نقابة المهندسين السوريين، دمشق، 1995.

2 ـ د. **أحمد الحسن**، تشخيص أسباب التشوهات والتشققات في المباني والمنشآت، نقابة المهندسين السوريين فرع محافظة ريف دمشق ـ سوريا 1997.

3 ـ م. **خليل إبراهيم واكد**، أسباب انهيارات المباني، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع 1995.

4 ـ د. **شريف البرقاوي**، تصدع المنشآت ـ الأسباب، طرق المعالجة، التدعيم ـ دمشق 1987.

5 - Cracking in Reinforced Concrete Buildings, by M.G. Richardson.