مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (29) العدد (4) 2007
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (29) No. (4) 2007

دراسة عيوب وتصدعات بعض المنشآت المائية (الأقنية) في حوض الفرات

الدكتور عصام ملحم*

(تاريخ الإيداع 5 / 3 / 2007. قُبِل للنشر في 2007/10/2)

□ الملخّص □

تولي كثيرٌ من دول العالم أهمية كبيرة للمنشآت المائية، لما تلعبه من دورٍ كبيرٍ في استصلاح الأراضي الزراعية، ومن جهة تحقيق الأمن الغذائي لهذه الدول.

إن المراقبة الدورية للمنشآت المائية، للتأكد من سلامتها، ووضع الحلول المناسبة لترميمها في حال حدوث عيوبٍ فيها، يسهم في الاستثمار الأمثل لهذه المنشآت.

يعبر نهر الفرات الجمهورية العربية السورية في جزئها الشمالي الشرقي. وقد تم استصلاح الكثير من الأراضي في تلك المنطقة من خلال تشييد مئات كيلو المترات من أقنية الري، والمنشآت الصناعية التابعة لها (محطات ضخ).

من أجل رصد حالة هذه المنشآت، ومعرفة أشكال العيوب التي تعاني منها، قمنا بزيارةٍ ميدانية إلى موقع مشروع أقنية الري في القطاع السابع من حوض الفرات الأدنى، تمَّ من خلالها الكشف على كلِّ المنشآت المشادة، وخاصة الأقنية. وتم تحديد أشكال العيوب والتصدعات، بالإضافة إلى معرفة أسبابها، من خلال إجراء مجموعة من الاختبارات، وتحليل نتائجها بدقة. وتطرقنا في دراستنا إلى طرق معالجة هذه العيوب. كما قمنا بوضع التوصيات العلمية اللازمة للإقلال أو منع حدوث مثل هذه العيوب في المستقبل.

كلمات مفتاحية: عيوب، تصدعات، ترميم.

* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية، بكلية الهندسة المدنية في جامعة البعث، حمص – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (29) العدد (4) 2007
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (29) No. (4) 2007

A Study of Cracks and Defects of Some Hydraulic Structures (Canals) in the Euphrates River

Dr. Esam Melhem *

(Received 5 / 3 / 2007. Accepted 2/10/2007)

□ ABSTRACT □

Hydraulic structures have a great importance in many countries around the world, because of their role in the usage of lands for agriculture, which in turn secures a safe nutrition system in these countries. Frequent observation of hydraulic structures to ensure their safety and determine the suitable solutions for restoration in case of defects contributes a lot to the best utilization of these structures.

Euphrates river crosses the north – east part of the Syrian Arab Republic, where lot of land was restored by building hundreds of kilometers of irrigation canals, and industrial buildings related to them (Siphon , Pumping Stations).

To examine the situation of these structures and recognize all kinds of defects which affect these hydraulic structures, we visited the site of the project of irrigation canals in the seventh section of the Euphrates. We inspected all structures, particularly canals. We identified the types of defects and cracks as well as their causes, performing a set of tests and accurate analyses of the results. At the end, the study provides some scientific recommendations to prevent such defects happening again.

Keywords: Cracks, Defects, Repair.

* **Assistant Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Alba'ath University, Homs, Syria.**

1- مقدمـة:

تـولي كثيـرٌ مـن دول العـالم أهميـةً كبيـرةً للمنشـآت المائيـة، لمـا تلعبـه مـن دورٍ كبيـرٍ فـي استصـلاح الأراضـي الزراعية، من جهة تحقيق الأمن الغذائي لهذه الدول.

إن المراقبـة الدوريـة للمنشـآت المائيـة، للتأكد من سـلامتها. ووضـع الحلـول المناسـبة لترميمهـا فـي حـال حـدوث عيوبٍ فيها، يسهم في الاستثمار الأمثل لهذه المنشآت.

يعبر نهر الفرات الجمهورية العربية السورية في جزئها الشمالي الشرقي. وقد تم استصـلاح الكثير من الأراضـي في تلك المنطقة من خلال تشييد مئات الكيلو مترات من أقنية الري.

تعاني المنشآت الهندسية على نحوعام، والمنشآت المائية على نحو خاص – نتيجة ظروف الاستثمار – كثيراً من العيوب، والتي تصل أحياناً إلى أشكالٍ مختلفةٍ من التشققات والتصدعات [1]، نتيجة قصورٍ في التصميم، قد يرجع إلى أخطاءٍ في الحسابات المتعلقة بالحمولات، أو أخطاء في التحليل الإنشائي، أو عدم أخذ كلِّ الظروف البيئية المحيطة بعين الاعتبار، أو نتيجة عدم الدقة في التنفيذ، أو عدم إجراء الصيانة الدورية لهذه المنشآت [2، 3].

من أجل رصد عيوب المنشآت المائية، قمنا بزيارةٍ ميدانيةٍ إلى موقع مشروع أقنية الري في القطاع السابع من حوض الفرات الأدنى، تمَّ من خلالها الكشف على الأقنية كافة. وتحديد أشكال التصدعات وأسبابها، حيث تم إجراء التجارب المخبرية، والبحث في كلية الهندسة المدنية بجامعة البعث خلال الفترة /2005-2006/.

2- أهمية البحث وأهدافه:

نظراً لأهمية المنشآت المائية في الاستثمار الصحيح والأمثل لمشاريع استصلاح الأراضي. فلا بد من أن تكون هذه المنشآت بحالةٍ جيدةٍ وخاليةٍ – ما أمكن- من العيوب والتصدعات [1، 2، 4].

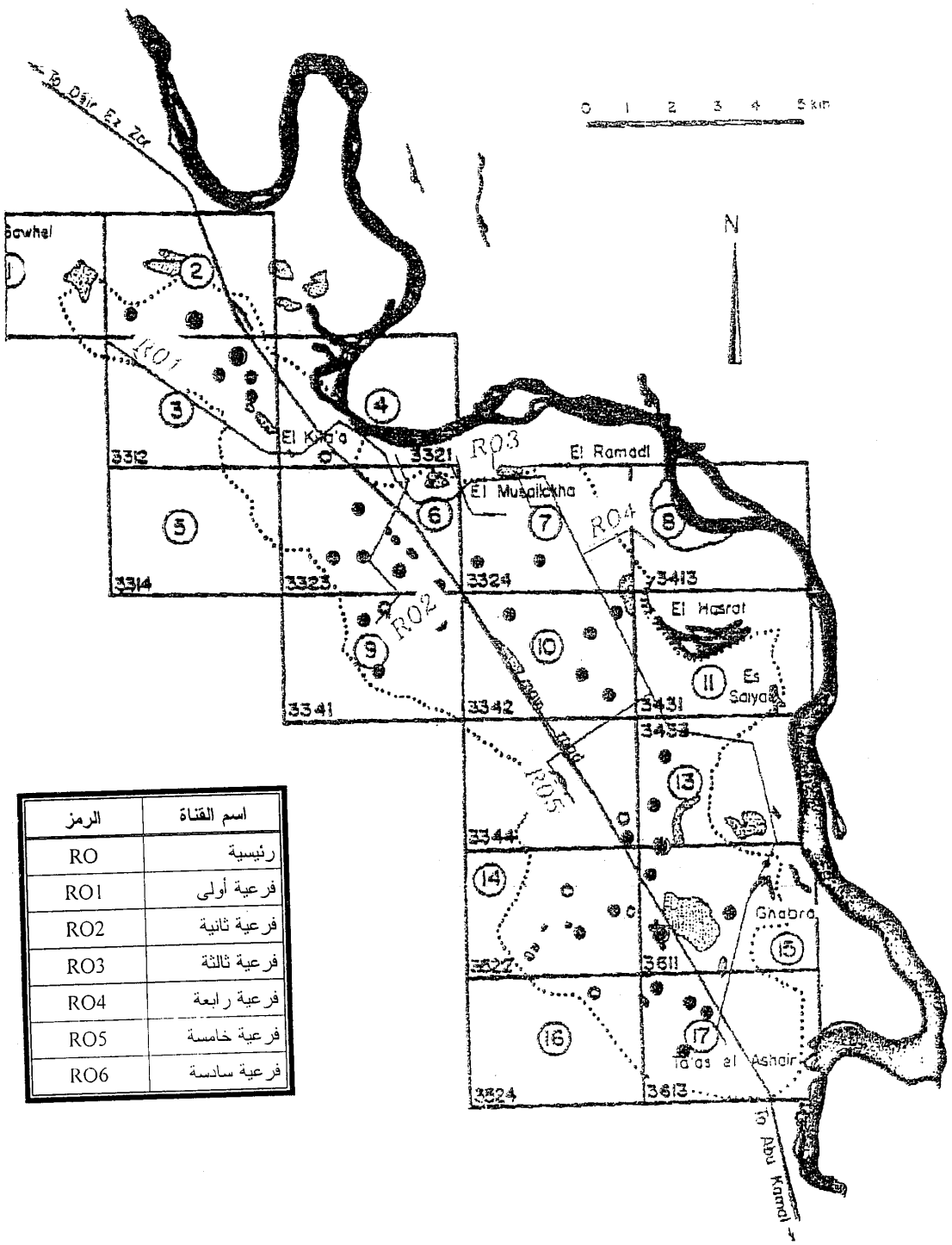
يهدف البحث إلى الرصد الدقيق والشامل للعيوب والتصدعات التي تتعرَّض لها بعض المنشآت المائية (الأقنية، الجسور المائية). وتحديد أسباب هذه العيوب والتصدعات، وطرق معالجتها. كما يهدف البحث إلى تقديم الاقتراحات والتوصيات لمنع حدوث هذه العيوب في المشاريع والمنشآت التي ستشاد لاحقاً.

3- المواصفات العامة للأقنية:

3-1- مواقع الأقنية وأبعادها:

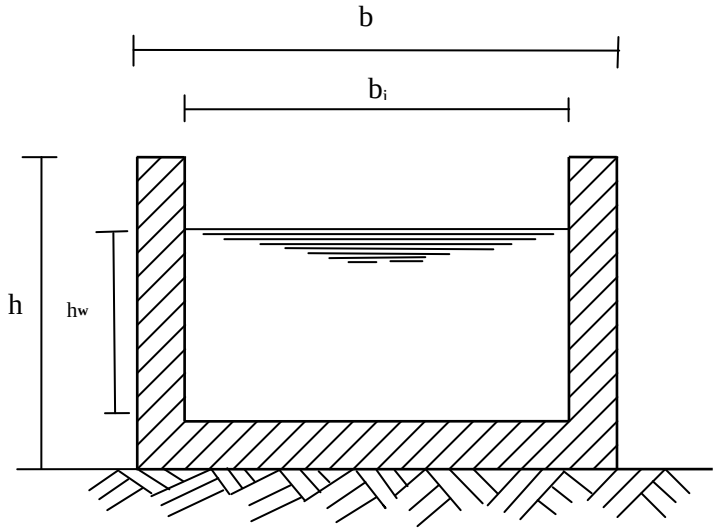
يتكون القطاع السابع من شبكة من أقنية الري المكشوفة المستندة على الأرض مباشرةً، والمتمثلة بقناة رئيسية، ومجموعة من الأقنية الفرعية عدد /6/، كما هو موضح بالشكل رقم (1). بالإضافة إلى مجموعةٍ كبيرة من الأقنية الفرعية الثانوية. ونوضح على الجدول رقم (1) الطول الكلي لهذه الأقنية مع أبعادها التقريبية.

جميع الأقنية منفذة من الخرسانة المسلحة، وتتراوح ثخانة جدرانها بين ***(10-30)cm*** حسب أبعاد المقطع العرضي للقناة. ونوضح في الشكل رقم (2) مقطعاً عرضياً في الأقنية المنفذة.



الرمز	اسم القناة
RO	رئيسية
RO1	فرعية أولى
RO2	فرعية ثانية
RO3	فرعية ثالثة
RO4	فرعية رابعة
RO5	فرعية خامسة
RO6	فرعية سادسة

الشكل رقم (1): توزع القناة الرئيسية والأقنية الفرعية في القطاع السابع من حوض الفرات الأدنى.



الشكل رقم (2) المقطع العرضي العام للقنوات المدروسة

الجدول رقم (1) الأبعاد الهندسية للأقنية الرئيسية والفرعية، انظر الشكل رقم /1/

رقم متسلسل	اسم القناة	الطول الكلي m	العرض m	الارتفاع m
1	قناة رئيسية RO	11091	3.90-5.50	2.09-3.74
2	فرعية أولى RO1	4550	2.10-4.80	1.25-1.86
3	فرعية ثانية RO2	2066	1.34-2.13	2.10-2.80
4	فرعية ثالثة RO3	625	1.18-1.24	2.50
5	فرعية رابعة RO4	1480	1.21-1.97	2.10-2.50
6	فرعية خامسة RO5	4219	1.31-1.80	2.10-2.80
7	فرعية سادسة RO6	5932	1.45-1.78	2.50-3.20

3-2- المعطيات التصميمية للأقنية:

من خلال الاطلاع على وثائق المشروع (مخططات تنفيذية، ودفاتر شروط فنية، ومذكرة حسابية) تبين أن الكود المستخدم في التصميم هو الكود الفرنسي، ونوضح في الجدول رقم (2) مواصفات المواد المستخدمة في تنفيذ الأقنية والسيفونات. وتشير وثائق المشروع إلى أن ثخانة طبقة الحماية الخرسانية هو ***25mm***.

الجدول رقم (2) مواصفات المواد المستخدمة في تصميم وتنفيذ الأقنية والسيفونات

عيار الإسمنت	مقاومة الخرسانة على الضغط	مقاومة الخرسانة على الشد	حد مرونة الفولاذ
350kg/m³	$f`_c$ = 30MPa	f_{ct} = 2.5MPa	f_y = 420MPa

3-3- العيوب في الأقنية الرئيسية والفرعية:

من خلال جولتنا الميدانية لموقع المشروع المنفذ عام 1985. تمَّ رصد العيوب الموجودة في الأقنية، كما تمَّ التقاط الكثير من الصور لهذه العيوب في مواقع مختلفة. ونوضح في الأشكال (3...5) نماذج من العيوب والتشققات في الأقنية الرئيسية والفرعية. ويمكننا القول إن كمية العيوب والتشققات في الأقنية والمنشآت التابعة لها كبيرة جداً، ولكنها محدودة الاختلاف من حيث نوعيتها، والتي نصنفها على النحو الآتي:

1. شقوق أفقية في منطقة اتصال جدار القناة بأرضيتها، وعلى الأغلب هو في الأساس فاصل صب. حيث لم تتخذ الاحتياطات اللازمة أثناء التنفيذ لمنع التأثير السيء لمثل هذه الفواصل.

2. تآكل وصدأ واضحين في قضبان التسليح مع تصدع في الخرسانة، وأغلب هذه العيوب موجودة في النصف السفلي من جدران القناة، وأحياناً تستمر على كامل جدار القناة.

إن سبب صدأ الفولاذ ناتج عن تعشيش الخرسانة في جدران القناة، وانخفاض قيمة طبقة الحماية الخرسانية، وتسرب المياه من خلال الجدران بالإضافة إلى بعض الرطوبة الموجودة في الوسط المحيط وتملح التربة الملاصقة لأسفل القناة. ومن المعلوم أن الصدأ *Corrosion* في فولاذ التسليح يتطور ليؤدي إلى تآكل الفولاذ، وهذا التآكل يكون بتشكل طبقة من الفولاذ المنتفخة وغير المتماسكة حول قضيب التسليح مما يشكل قوة ضغط على الخرسانة المحيطة، تؤدي مع الزمن إلى تصدعها، ثم بعد زوال طبقة الحماية الخرسانية، أو انعدام فعاليتها بسبب توسع الشقوق يزداد تآكل فولاذ التسليح [5].

3. تشققات شاقولية في الجدار الداخلي والخارجي للقناة، وأغلب هذه التشققات شعرية وبعضها شقوق متسعة بعض الشيء تتسرب منها المياه. ولدى الكشف على هذه الشقوق بإزالة طبقة الحماية الخرسانية القليلة الثخانة) تبين وجود قضبان تسليح تحت هذه التشققات، وأغلب هذه القضبان معرض للصدأ.

من المعلوم أنه على أساس ثخانة طبقة الحماية الخرسانية يتم تحديد الارتفاع الفعال للمقطع /**d**/ *effective height*، والذي على أساسه يحسب التسليح اللازم للمقطع.

لكن من خلال الجزرات التي تم نزعها من الأقنية الرئيسية والفرعية، في مواضع التسليح – والتي سنبين مواصفاتها لاحقاً– تبين أنه في بعض المواقع لا تتجاوز ثخانة طبقة الحماية القيمة ***1cm***، والتي سببت تآكلاً في الفولاذ. وفي مواضع أخرى (وهي الأكثر انتشاراً) فإن ثخانة هذه الطبقة كبيرة وتتجاوز في كثيرٍ من الأحيان ***8cm***، من ثمة فإن الارتفاع الفعال للمقطع /**d**/ سيتناقص على نحو ملحوظ، أي أن قدرة تحمل المقطع لضغط المياه ستتناقص، ومن ثمة فإن التسليح المستخدم في حال تناقص /**d**/ لن يكون كافياً لتحمل ضغط المياه مما سبب ظهور شقوق شاقولية في جدران القناة.

الشكل رقم (3): تآكل الفولاذ في جدار القناة.

الشكل رقم (4): تصدع واضح في جدار القناة.

الشكل رقم (5): تشققات أفقية وتصدع في جدار القناة.

4- الاختبارات في الموقـع:

من أجل تحديد أسباب العيوب في أقنية الري، كان لابد من إجراء مجموعةٍ من التجارب في موقع الأقنية، أو أخذ عيناتٍ من الموقع لاختبارها في مخابر كلية الهندسة المدنية. ونوضح فيما يلي أهم هذه الاختبارات.

4-1- اختبارات الميـاه:

لدراسة تأثير المياه التي تمر في الأقنية في الخرسانة، ومعرفة نوعية المواد ونسبها الموجودة في المياه، قمنا بأخذ أربع عينات من المياه من مواقع مختلفة. حيث أخذت العينة الأولى من أحد آبار الضخ لخفض منسوب المياه الجوفية. أما باقي العينات الثلاثة فأخذت من مياه الأقنية. ونوضح في الجدول رقم (3) نتائج الاختبارات.

الجدول رقم (3) نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية لعينات المياه

نوع التحاليل	نوع الاختبار	مواصفات الاختبار في العينات			
		الأولى	الثانية	الثالثة	الرابعة
فيزيائية	المظهر	رائق	رائق	رائق تقريباً	رائق تقريباً
	اللون	شفاف	شفاف	شفاف	شفاف
	الرائحة	ملحية	لا تذكر	لا تذكر	لا تذكر
	الناقلية الكهربائيةµs/c	32650	880	910	930
	قيمة الـPH	7.3	7.93	8.05	8.11
كيميائية Mgr/ℓ *اشتراطات الكود العربي[3]	العسارة العامةTH مقدرة بـ$CaCO_3$	4600	360	275	265
	قلوية الفينول فتاليئين مقدرة بـ C aCO_3	0.0	0.0	0.0	0.0
	القلوية العامة مقدرة بـ $CaCO_3$	220	130	140	200
	النترات NO_3	0.9	1.7	0.8	0.1
	أملاح الكلور Cl (500)*	6480	120	140	130
	الكبريتات SO_4 (600)*	2125	68	90	78
	الصوديوم Na (100)*	2300	78	79	76
	الأملاح المنحلة الكلية(2000)*T.D.S	15850	430	450	460

ممَّا تقدم، نلاحظ أن عينات المياه المارة في الأقنية، والواردة نتائج تحاليلها في الجدول رقم (3)، تحقق مواصفات الكود العربي [6]. فهي ذات ملوحة قليلة نسبياً وغير عدوانية بالنسبة للخرسانة. باستثناء العينة الأولى، فهي تمتلك قيماً مرتفعة، وغير مقبولة، لكنها لا تؤثر سلباً في الأقنية لأنها لا تمر ضمنها. بل أخذت – كما أشرنا – من أحد آبار الضخ. مما يشير إلى نوعية المياه الجوفية في المنطقة بسبب تملح التربة.

4-2- اختبـار الخرسانة:

4-2-1- تحديد مقاومة الخرسانة باستخدام السكليرومتر (مطرقة شميدث):

من أجل التأكد من نوعية الخرسانة وتحديد مقاومتها والتي يتجاوز عمرها /20/ عاماً، قمنا بإجراء مجموعةٍ كبيرةٍ من الاختبارات على الخرسانة. ونشير هنا إلى أنه تم إجراء الاختبارات في مواقع الخرسانة السليمة. وقد تم تحقيق

اشتراطات الكود [6، 7] في تحضير السطوح، وإجراء الاختبارات، ومعالجة نتائج الاختبار باستبعاد القراءات الشاذة. ونوضح في الجدول رقم (4) قيم مقاومة الخرسانة الموافقة لوسطي قيم القراءات. حيث نلاحظ أن قيم مقاومات الخرسانة جيدة بل مرتفعة، وتتجاوز القيم التصميمية الواردة في المخططات.

4-2-2- تحديد مواصفات الخرسانة بنزع جزرات خرسانية:

للتأكد من نوعية الخرسانة وتحديد مواصفاتها بدقة (المقاومة والوزن الحجمي والتشرب)، ولمعرفة مكان ومدى انتشار التشققات في جدران القناة، قمنا بأخذ مجموعة من الجزرات الخرسانية بقطر ***9.2cm*** وذلك من جدران الأقنية، لتحديد مقاومة الخرسانة المنفذة في الأقنية. حيث لاحظنا أن بُعْدَ قضيب التسليح عن جدار القناة يتراوح بين ***(8-11)cm*** في أغلب العينات. ونوضح في الشكلين رقم (6، 7) بعض الجزرات المستخرجة من جدران الأقنية.

الجدول رقم (4) قيم مقاومة الخرسانة الموافقة لوسطي قيم قراءات السكليرومتر

رقم القناة	مقاومة الخرسانة الاسطوانية *MPa*	
	في نقاطٍ مختلفة	وسطي المقاومة
رئيسية	34.2-35.0 -32.3 -39.0 -37.6-36.2 -37.6 -34.0 -35.0	***35.7***
فرعية أولى	43.2 -41.6-32.7 -42.3-36.2 -35.0 -40.0 -35.5-34.2	***37.9***
فرعية ثانية	41.0 -38.2-37.5 -38.0 -34.3-35.5 -36.3-33.8 -36.8	***36.8***
فرعية رابعة	36.0-41.0-36.0 -38.0 -31.6 -34.2 -36.8-35.5 -35.7	***36.1***
فرعية خامسة	35.9 -41.0 -39.0 -37.5-36.2 -41.0-38.2-42.3 -36.2	***38.6***

الشكل رقم (6): ارتفاع طبقة الحماية الخرسانية بمقدار *11 cm*

الشكل رقم (7): ارتفاع طبقة الحماية الخرسانية في مواقع أخرى بمقدار *7 cm*

ونوضح على الجدول رقم **(5)** مواصفات العينات المختبرة، وقيم إجهاد الخرسانة.

الجدول رقم (5) تحليل نتائج الاختبار وقيم إجهاد الخرسانة

ارتفاع العينة (mm)	قوة الكسر (N)	إجهاد الكسر بعد التصحيح (MPa)
150 -102 -101 -163	17300 -20500 -28800 -23000	30.6 -33.6 -47.1 -41.1

4-2-3- تحديد النفاذية تحت ضغط مائي:

من أجل معرفة تأثير الضغط المائي في الخرسانة المستخدمة في تنفيذ الأقنية، قمنا بإجراء تجربة النفاذية تحت تأثير ضغط مائي مقداره **3** بار، وذلك على ثلاث جزرات، حيث تم تطبيق ضغط التجربة لمدة 24 ساعة. ونشير هنا إلى أن نسبة التشرب قد بلغت بالنسبة للعينة الأولى **1%**، وللعينة الثانية **0.8%**. ونوضح على الجدول رقم (6) نتائج الاختبار.

الجدول رقم (6) نتائج اختبار ثلاث جزرات خرسانية تحت ضاغط 3 بار

رقم الجزرة	وزن العينة gr		درجة التشرب %	مسافة التشرب cm	وسطي التشرب	وسطي مسافة التشرب cm
	قبل الاختبار	بعد الاختبار				
1	1604	1621	1.0	2.5	**0.9**	**2.7**
2	1966	1986	0.8	3.0		
3	1965	1987	0.9	2.7		

4-3- تقويم نتائج اختبارات الخرسانة:

من خلال إجراءنا للعدد الكبير من الاختبارات، وبالعودة إلى نتائجها، يمكننا أن نستنتج ما يلي:

1- الخرسانة المنفذة من النوعية الجيدة، كما أن مقاومة الخرسانة في جميع العينات المختبرة جيدة ومرتفعة، وذلك بفضل نوعية الحصويات المستخدمة، والتدرج الحبي الجيد للخلطة الخرسانية.

2- أن مقاومة الخرسانة على الشد جيدة.

3- أن درجة التشرب منخفضة في الخرسانة. كما أن مقدار اختراق الماء للخرسانة المنفذة في الأقنية (رغم عدم وجود مادة عازلة) تحت تأثير ضاغط مائي مقداره 3 بار لم يتجاوز ***(2.5–3)cm***، وهذه القيمة جيدة بالنسبة للخرسانة مع الإشارة إلى أن الخرسانة في الأقنية لا تتعرض لمثل هذا الضاغط المائي.

وبعد أن قمنا بإجراء جميع التجارب اللازمة على الأقنية، ورصدنا العيوب المنتشرة في جدران الأقنية. سنحاول أن نشرح بدقة واختصار أسباب حدوث كلّ نوعٍ من أنواع العيوب في جدران الأقنية.

5- تحديد أسباب العيوب والتصدعات في جدران الأقنية:

5-1- مقدمة:

لاشك في أن تصدع المنشآت الخرسانية قد أصبح ظاهرةً ملحوظة، وظهرت العيوب defects وتعددت أنواعها وأشكالها، بدءاً من الشقوق البسيطة، إلى الانهيار الجزئي أو الكامل للمنشأة. وتعددت أسبابها من أخطاءٍ في التصميم، أو قصور دراسة التربة، أو الظروف المحيطة، وعدم كفاية في التفاصيل، إلى أخطاءٍ في التنفيذ وقصورٍ في الإشراف عليه [5، 7، 8].

ورغم تعدد عوامل الأمان وكبرها، والاحتياطات التي تتخذ لمجابهة أخطاء التصميم والتنفيذ وسوء الاستعمال، فما زالت العيوب تظهر بالمنشآت الخرسانية المسلحة. ولا شك في أن دراسة أسباب هذه العيوب يساعد على الحدّ منها، والتعلم من أخطاء الأخرين التي أدت إلى حدوث انهيارات، يمنع تكرار هذه الأخطاء مرَّةً ثانية. ولا شك أيضاً في أن التخلص من هذه العيوب والحدِّ من هذه الانهيارات ممكن بتحسين فهمنا لطبيعة الخرسانة المسلحة كمادةٍ إنشائية، وطبيعة الحركة في المنشآت غير المحددة إحصائياً، وتأثير ذلك في تدهور المنشأ وطبيعة الأحمال – حتى غير المتوقع منها – وكيفية تأثر المنشأ بها [5، 9].

إن العيوب الظاهرة للخرسانة المسلحة تنقسم إلى ثلاثة أقسامٍ رئيسية:

– التشققات؛ – تصدع الخرسانة وتساقطها؛ – تآكل سطح الخرسانة وتفتته.

وكلٌّ من هذه العيوب الرئيسية واضحٌ في حدِّ ذاته ويمكن بسهولة رصده، وتمييزه عن غيره من العيوب، ولكنّ كلاً منها (وبخاصةٍ التشققات) تأخذ أشكالاً عدة، تختلف أهميتها ومدى خطورتها اختلافاً كبيراً. كما أن هذه العيوب التي تدل على حدوث تدهور بخرسانة المنشأ يمكن أن تحدث معاً في مكانٍ واحد، وليس ذلك فقط وإنما تظهر عدة أشكالٍ لكلِّ عيبٍ منها. مما يجعل مسألة تشخيص الحالة مسألةً دقيقة، تحتاج إلى معرفة أنواع هذه العيوب، وأشكالها وأسباب حدوثها. وبداية إصلاح تصدع الخرسانة يكون برصد حالة المنشأ وتصنيف أشكال العيوب الظاهرة والمستترة به، وتقدير كلِّ الأسباب الممكنة لحدوث هذه العيوب. وذلك يتطلب أولاً: معرفةً شاملةً لكلّ العوامل المؤدية إلى تصدع الخرسانة، وفهماً دقيقاً لكيفية تأثير كلٍّ منها، وشكل ومكان العيب الناتج عن هذا التأثير [1، 5].

5-2- أسس تكون الشقوق:

يوضِّح هذا الجزء الأسس التي تتحكم في عملية تكون الشقوق *cracks* في الخرسانة اللدنة، وفي الخرسانة المتصلدة. كما يوضح مدى تأثير فولاذ التسليح في اتساع الشقوق وانتشارها في الخرسانة المتصلدة.

5-2-1- كيفية تكون الشقوق:

إن عملية الشقوق في الخرسانة تختلف باختلاف العوامل المؤدية إلى التشقق، وهي عوامل إنشائية أو طبيعية أو كيميائية أو حرارية. وتكون الشقوق نتيجة العوامل الإنشائية والطبيعية عملية معقدة، ويرجع ذلك إلى عدد من العوامل التي تعتمد على الوقت (*Time – Dependent Factors*) مثل معايير المرونة للخرسانة اللدنة، والزحف *creep*.

5-2-2-الشقوق نتيجة عوامل كيميائية :

أسس تكون الشقوق نتيجة عوامل كيميائية تختلف باختلاف نوع التفاعل الكيميائي المسبب لها [1، 5، 9]:

- فالخرسانة يمكن أن تحدث بها شقوق نتيجةً للتمدد الناشئ من التفاعل بين الحصويات المحتوية على سيليكا نشطة، وبين الجزء القلوي الناتج عن إماهة الإسمنت أو عن تفاعل الجزء القلوي مع الإضافات، والتفاعل بين السيليكا والقلويات يتسبب في تكوين مادة جيلاتينية تنتفخ وتجتذب الماء من مناطق أخرى في الخرسانة، وهذا الانتفاخ *swelling* يؤدي إلى تمدد موضعي مصاحب بإجهادات شد *tensile stresses* ويمكن أن يؤدي في النهاية إلى تشقق وتمزق كامل للعضو الخرساني.
- أما عندما تتغلغل الكبريتات في عجينة الإسمنت المتصلدة، فإنها تتصل بألومنيات الكالسيوم المتولدة من الإماهة (تفاعل الإسمنت والماء)، وينتج من هذا الاتصال تفاعل تتكون على أثره ألومينات الكبريت، ويصاحب هذا التفاعل زيادةٌ كبيرةٌ في الحجم، مما يؤدي إلى إجهادات شد موضعية تتسبب في تشقق الخرسانة.

5-3- التشققات والتصدعات في الخرسانة الناتجة عن صدأ فولاذ التسليح:

أ- التحول الكربوني للخرسانة: (Carbonation):

تفقد خرسانة الغطاء الخارجي قاعدتيها نتيجة عملية تسمى التحول الكربوني للخرسانة وهي تفاعل ثاني أكسيد الكربون الموجود بالجو مع المواد القاعدية الموجودة بالخرسانة (هيدروكسيد الكالسيوم)، محولاً إياها إلى كربونات في وجود الرطوبة [1، 5]:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \xrightarrow{Water} CaCO_3 + H_2O$$

ونتيجةً لذلك تقل قاعدية الخرسانة إلى أقل من المستوى المطلوب لتوفير الحماية السلبية للقضبان (أقل من 10)، ولأن التحول الكربوني نتيجةً للتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون الموجود بالهواء فهو يبدأ من السطح إلى الداخل.

ويعتمد معدل التحول الكربوني على عدَّة عوامل منها: الرطوبة، ونفاذية الخرسانة، ووجود شقوق سطحية بها. ويقل هذا المعدل كلَّما ازداد التغلغل داخل الخرسانة حيث يقاوم الغطاء الخرساني (حتى بعد تحوله كربونياً)، تغلغل ثاني أكسيد الكربون داخل الخرسانة، ويكون معدل التغلغل أسرع عند الأركان وعند الشقوق السطحية.

ب- وجود شقوق بالخرسانة:

تُعَدُّ الشقوق منفذاً سهلاً للأكسجين والرطوبة والكلوريدات، ولذا فإن الشقوق السطحية الموازية للقضبان يمكن أن تسهل عملية الصدأ والتي ستؤدي بدورها إلى حدوث شقوقٍ جديدة... وقد يكون سببها الانكماش اللدن أو الهبوط اللدن، وهي شقوق تحدث على أسطح البلاطات، وفي الحالات التي تكون فيها هذه الأسطح معرضة للأملاح، تصبح هذه الشقوق مخزناً للتلوث قريباً من الفولاذ العلوي، والأخطر من ذلك الفجوات التي تحدث تحت قضبان التسليح عندما يحدث إدماء للخرسانة ويحدث لها هبوط لدن. هذه الفجوات يصعب جداً العثور عليها كلها وتشكل مصدراً دائماً للرطوبة وسبباً

قوياً للصدأ، لأن حماية قضبان التسليح تعتمد على تغطية الخرسانة لسطح القضيب بأكمله، والحل الأمثل في مثل هذه الحالات هو تجنب حدوث هذه الفجوات أصلاً بالتأكد من أن خواص الخرسانة مناسبة لطريقة صبها ومعالجتها، وهذا الأمر هام جداً لمنع حدوث الصدأ [5، 8].

أما الشقوق العمودية على اتجاه التسليح فلا تتسبب عادةً في استمرار عملية الصدأ إذا كانت درجة جودة الخرسانة جيدة ومساميتها ضعيفة. وسبب ذلك أن الجزء المكشوف من القضيب عند الشرخ يتصرف كما لو كان قطباً موجباً (*Anode*)، ولكن يلزم توافر الظروف التي تكون القطب السالب وتسمح بسريان الإلكترونات بينهما، أي أنه يلزم توفر الأكسجين والرطوبة لأجزاء أخرى من القضيب نفسه أو القضبان الأخرى المتصلة به اتصالاً مباشراً أو كهربائياً، لكي يحدث الصدأ ويستمر، فإذا كانت مسامية الخرسانة قليلةً وسمك الغطاء الخرساني كبيراً للحد الكافي لوقف تدفق الأكسجين والرطوبة، فإن عملية الصدأ ستبطئ ويمكن أن تتوقف كلياً. ولهذا السبب وجد كثيرٌ من الباحثين أن عرض الشق له تأثير كبير في الصدأ في البداية – كلَّما زاد اتساع الشق زاد معدل الصدأ، لأن مساحة أكبر من القضيب تفقد طبقتها الحامية السلبية– ولكن تأثيره ليس كبيراً على المدى الطويل– عشر سنوات أو أكثر [5، 9].

ولكن الشقوق الطولية الموازية للقضبان تؤدي إلى استمرار عملية الصدأ، لأن الطبقة الحامية السلبية تزول عن مواضع كثيرة من القضيب، فإذا كانت القضبان قريبة من السطح الخارجي للمبنى فإن توفر الأوكسجين والرطوبة يكون أكثر، ولذا يكون معدل الصدأ أكبر.

6– سبب ظهور التشققات الشاقولية في الأقنية، بشكلٍ موازٍ لمسار قضبان التسليح:

6–1– مقدمة:

يمكننا أن نعزو سبب ظهور هذه التشققات إلى عاملين أساسيين:

الأول: زيادة قيمة طبقة الحماية الخرسانية، وثمة تناقص قيمة الارتفاع الفعال (d) لمقطع جدار القناة؛

الثاني: تأثير التباين في درجات الحرارة، وحدوث ظاهرة الانكماش (أو التقلص) على جدار القناة؛

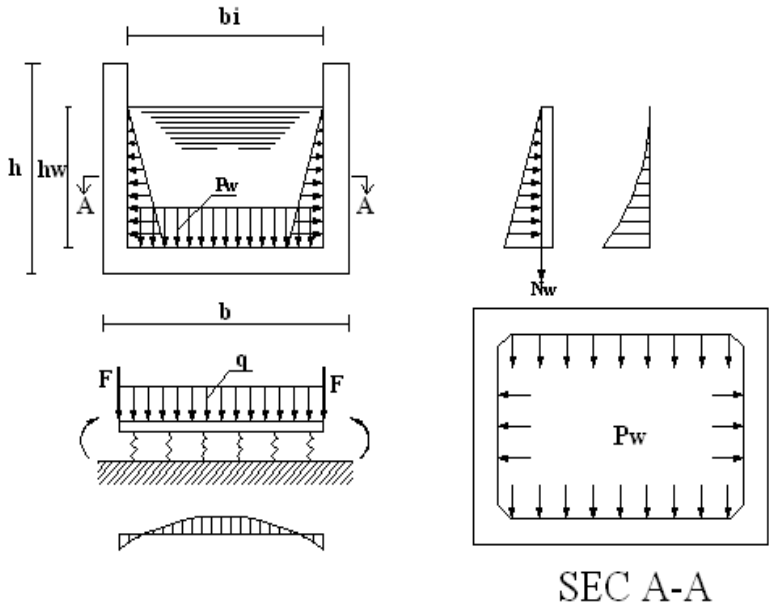
وسنقوم بتوضيح كلٍّ عاملٍ من العاملين السابقين.

6–2– دراسة تأثير الارتفاع الفعال (d) لمقطع جدار القناة في قدرة تحمله:

أثناء دراسة الأقنية، نأخذ بعين الاعتبار الحمولات التي تؤثر في الأقنية خلال تشييدها، أو أثناء استثمارها.

إن الحمولات المطبقة على القناة هي –عامة– الوزن الذاتي *self weight* للقناة المنفذة من الخرسانة المسلحة، ووزن وضغط المياه الهيدروستاتيكي $\boldsymbol{P_w}$، وضغط المياه الجوفية μ_y. بالإضافة إلى دراسة تأثير تغير درجة الحرارة، وتأثير ظاهرة الانكماش *shrinkage* [1، 10].

وسنقوم بتحديد القوى والعزوم المتولدة في مقطع القناة نتيجة تأثير هذه الحمولات. حيث نوضح في الشكل رقم (8) الحمولات المطبقة على مقطع القناة. وقد درست جميع الحمولات على 1m من طول القناة.



الشكل رقم (8): القوى المؤثرة في القناة، مع مخططات العزوم.

إن جدار القناة يعمل كظفر موثوق مع قاعدة القناة وتكون قيمة هذا العزم عند القاعدة (انظر الشكل 8):

$$M_{sup} = P_w . h_w^2 /6 \qquad \ldots\ldots(1)$$

حيث: h_w: ارتفاع المياه التصميمي في القناة. P_w: محصلة قوة ضغط المياه على جدار القناة.

بالإضافة إلى عزم الانعطاف *Bending moment*، فإن الجدار يتعرض إلى قوة شد **Nw** مكونة من الوزن الذاتي لكل من جدار وأرضية القناة، ومن ضغط المياه، وتكون فيه هذه القوة:

$$N_w = 0.5\ P_w . b_i + 0.5 . b(g-\mu_y) \qquad \ldots\ldots(2)$$

حيث: **g** الوزن الذاتي لبلاطة أرضية القناة؛ **b**، **bi** عرض القناة الخارجي والداخلي على التتالي.

ومن ثمة فإن جدار القناة يتعرض إلى حالة شد لامركزي.

أثناء تصميم مقطع جدار القناة تؤخذ هذه الحالة بعين الاعتبار (حالة الشد اللامركزي)، بالإضافة إلى تصميم الجدار، بحيث نأخذ بعين الاعتبار حالة عدم ظهور التشققات في المقطع.

وسنقوم باختصار بتوضيح دراسة العناصر الخاضعة للشد اللامركزي. حيث نوضح في الشكل رقم (9)، الحالة الإجهادية (لامركزية صغيرة، لامركزية كبيرة) لمقطع عنصر خاضع للشد اللامركزي.

- **دراسة حالة اللامركزية الصغيرة :** $e_o \le (0.5\ h-a)$: $e_o = M/N$:

في هذه الحالة يكون كامل المقطع مشدوداً. ويكون المقطع متوازناً من شرط أن يكون تأثير العزم الخارجي لقوة الشد أقل أو يساوي العزم الداخلي للمقطع بالنسبة لمركز ثقل التسليح (انظر الشكل 9؛ a)، أي:

$$N.e` \leq f_y . As ( d-a`) \qquad .....(3)$$

$$N.e \leq f_y . Aś (d-a`) \qquad .....(4)$$

حيث: $e` \leq ( d-a`)$. وتكون مساحة التسليح:

$$As = N. e` / [ f_y ( d-a`)] \qquad .....(5)$$

$$A□s = N. e / [f_y (d-a`)] \qquad .....(6)$$

- **دراسة حالة اللامركزية الكبيرة:** $e_o = M/N \;\; :eo > (0.5\ h-a)$

في هذه الحالة يكون جزء من المقطع مضغوطاً، والآخر مشدوداً (انظر الشكل رقم 9؛ b). شرط المتانة ينطلق من مقارنة العزم الخارجي لقوة الشد مع مجموع عزمي القوتين الداخليتين بالنسبة لمركز ثقل فولاذ التسليح المشدود أي:

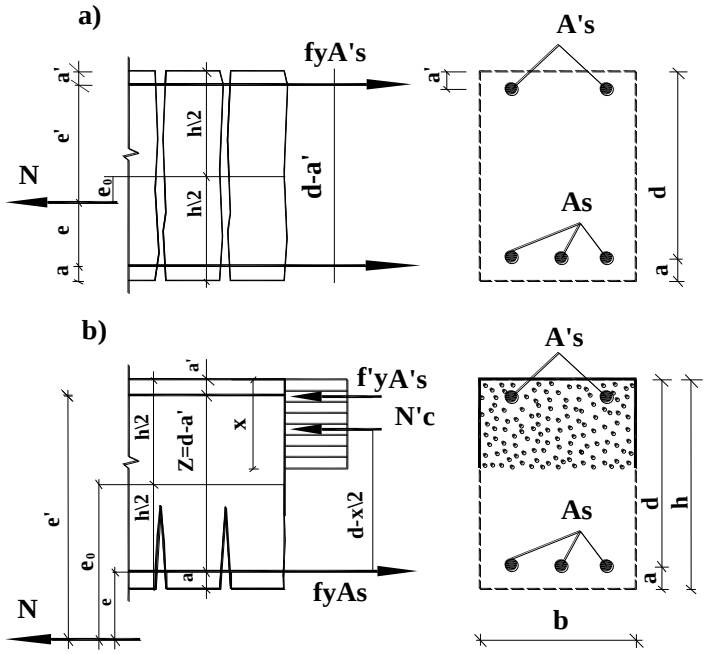
$$Ne \leq Mc + Ms□$$
$$\leq f_c . B.x (d - x/2) + f_y□ . Aś (d-a`) \qquad .....(7)$$

حيث: Mc، Ms□ عزم قوتي الضغط في الخرسانة، وفولاذ التسليح بالنسبة لمركز ثقل فولاذ التسليح المشدود.

يلاحظ مما سبق أن قدرة تحمل المقطع تتناسب مع البعد d. كما أن كمية التسليح تتناسب عكساً مع هذه القيمة، فكلما نقصت قيمة d تزداد كمية التسليح اللازمة [10].

6-3-التشققات الحرارية:

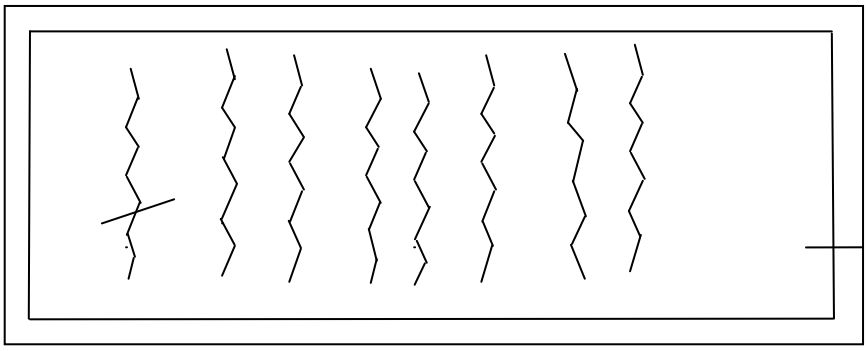
إن التشققات الحرارية تكون بشكل تشققات شاقولية على ارتفاع الجدار بكامله وبسماكةٍ منتظمة تقريباً (كما هو موضح في الشكل رقم 10). حيث تحصل هذه التشققات إذا كانت تغطية القضبان بسماكة أقل من ***1cm*** أو أكثر من ***4cm*** (حيث بلغت هذه القيمة في الأقنية ***(8-10)cm***، كما توضح الجزرات المأخوذة). وتكون هذه التشققات شاقولية أيضاً (انظر الشكل رقم 10) وبعرضٍ ثابت وفي مواقع القضبان [1، 3، 4].



-a) حالة لامركزية صغيرة؛ -b) حالة لامركزية كبيرة.

الشكل رقم (9): المخطط الحسابي للعناصر الخاضعة للشد اللامركزي:

وإن سبب هذا النوع من التشققات هو تعرض الجدار لقوى شد محورية (غالباً لم يحسب الجدار عليها) نتيجة تعرضه لأحمال حرارية، أو لظاهرة الانكماش.



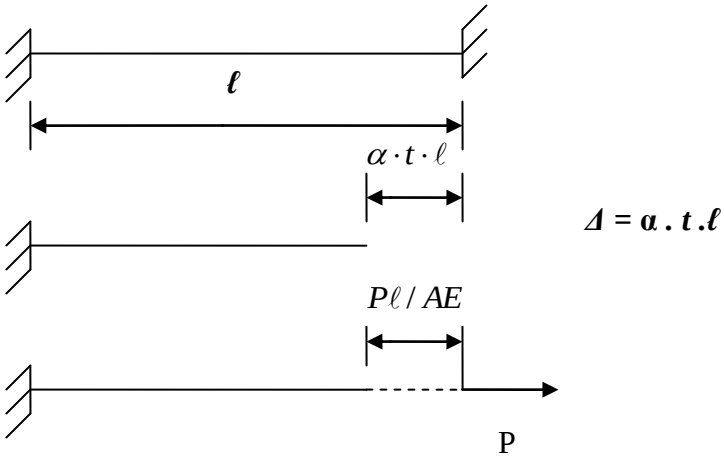
الشكل (10) تشققات شاقولية في الجدار (موازية لمسار قضبان التسليح الطولي).

فإذا أخذنا جزءاً من طول الجدار وليكن بمقدار /***4.0m***/، حيث تصبح الجدران الواصلة بين هذه المسافة (فيما يتعلق بالتمدد والتقلص الحراريين) كأنها موثوقة النهايتين كما هو موضح في الشكل (11). فإذا تعرضت هذه الجدران لانخفاض في درجة الحرارة مقداره (t) فإن ذلك سيتسبب في نقصان طول الجدار بمقدار:

$$\Delta = \alpha \,.\, t \,.\, l \qquad \ldots\ldots(8)$$

حيث: α هو عامل التمدد الطولي لمادة الجدار. وَ: ***l*****:** طول الجدار.

ولكن بما أن الجدار غير حر بالتقلص نتيجة وثاقته بامتداد الجدار، فإن ذلك سيتحول إلى قوة شدة محورية في الجدار بحيث تحصل به استطالة مساوية لقيمة التقلص الحراري لكي يبقى الطول ثابتاً [1، 3].



الشكل رقم (11): تأثير الحرارة على جدران الأقنية.

لنفرض أن قوة الشد هي P فتكون الاستطالة الناتجة عنها: P.L/AE

حيث: –A مساحة مقطع الجدار؛ - E عامل مرونة الجدار.

حتى تتحقق شروط توافق الانتقال يجب أن تتحقق العلاقة:

$$P.L/AE = a \,.\, t \,.\, l \Rightarrow P = \alpha \,.\, t \,.\, A \,.\, E \qquad \ldots.(9)$$

وهكذا يكون الإجهاد المعرض له مقطع الجدار مساوياً إلى:

$$\delta = P/A = \alpha \,.\, t \,.\, E \qquad \ldots..(10)$$

فلو فرضنا أن الجدار من الخرسانة المسلحة حيث:

$$\alpha = 1.\ 10^{-5}/\ ^{\circ}C \quad \text{وَ} \quad E = 2.\ 10\ MPa \quad \text{وأن} \quad t = 30^{*}$$

فيكون إجهاد الشد في الجدار:

$$\delta = 1.10^{-5} .30 .2 .10^{4} = 6\ MPa$$

وواضح أن هذا الإجهاد أكبر بكثير من قدرة تحمل الخرسانة على الشد. فإذا لم تكن كمية التسليح الطولي المزود بها الجدار كافية فسيحدث التشقق بالجدار حتماً. وهذا ما يبرر حدوث التشققات الشعرية في جدران القناة باتجاه متعامد مع مسار القناة.

6-4- الانكماش أو التقلص *Shrinkage:*

سنقوم بدراسة تأثير ظاهرة التقلص، وما تولده من إجهادات على العناصر الخرسانية المسلحة.

6-4-1- دراسة ظاهرة الانكماش أو التقلص:

التقلص هو إحدى صفات الخرسانة التي تخلق مصاعب إنشائية يجب الاحتياط لها، حيث ستولد إجهادات إضافية في كلٍّ من الخرسانة والفولاذ [4، 5]. ويعد التقلص ظاهرة تغير حجم الخرسانة دون أن يتعلق بالحمل المطبق، والذي يحدث بعد صب الخلطة الخرسانية ويبدأ في مرحلة التصلب. وتأخذ هذه التغيرات شكل نقصانٍ في أبعاد الخرسانة عندما تكون محفوظة في الهواء [4، 10].

عندما تخلط مواد الخرسانة ببعضها بعضاً، فإن عجينة الإسمنت *cement paste* والماء تملأ الفراغات بين الركام *aggregate*، وتربط الركام ببعضه بعضاً.

وهذا الخليط يحتاج إلى قابلية تشغيل كافية أو ميوعة كافية، لكي يستطيع هذا المزيج أن يمر بين قضبان التسليح وفي جميع أنحاء القالب. ومن أجل تحقيق قابلية التشغيل المرغوب بها، نستخدم على نحو ملحوظ كمية ماء أكثر (أكثر بمرتين أحياناً) مما هو ضروري من أجل أن يتفاعل الماء والإسمنت معاً.

تبلغ قيمة تشوه الانكماش النسبي حوالي *0.00025* بعمر 28 يوماً، و *0.00035* بعمر ثلاثة أشهر، على أنه بعد ذلك ينخفض معدل تزايد الانكماش ليبلغ قيمته العظمى بعد سنة فيصبح *0.0005*.

نعزو تشكل شقوق الانكماش، إلى التباين الملحوظ في تقلص الطبقتين الخارجية والداخلية (تقلص الطبقة الخارجية أكبر، كما هو موضح في الشكل (12). وهذا يؤدي إلى ظهور إجهاداتٍ شادة في الطبقة الخارجية، ومن ثمَ تشكل عدد كبير من الشقوق الخارجية. تظهر شقوق الانكماش لأول وهلةٍ في الأماكن الأكثر ضعفاً في العنصر، عند التحول الحاد في المقطع، وفي الأماكن التي تجف بسرعة [5].

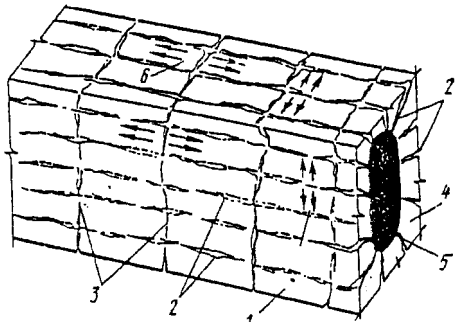
يتعلق مقياس تقلص الخرسانة وتغيره مع الزمن بعوامل كثيرة:

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

2- بزيادة نسبة الماء للإسمنت (W/C) يزداد التقلص. وتدل التجارب أن الخرسانة الرطبة تسبب تقلصاً أكبر من الخرسانة الجافة. ومن أجل تقليل حادثة التقلص يجب أن تكون نسبة الماء للإسمنت *water/cement ratio* في قيمتها الأصغرية دون أي إفراط في كمية الماء.

يمكن أن نستنتج أن جميع المواد الناعمة كالرمل *sand* والبودرة التي تتطلب كمية كبيرة من الماء تتسبب في ازدياد حادثة التقلص.

3 -إن الخرسانة المحفوظة في رطوبةٍ جيدة، أقل تقلصاً بكثير من الخرسانة المحفوظة في الجو الجاف. فإذا أريد التقليل من حادثة التقلص، يجب حفظ الخرسانة في جوٍّ رطبٍ على نحو دائم، خاصةً في فترة التصلب. فبخفض رطوبة الهواء من **90%** إلى **25 %**، يزداد التقلص تقريباً من (7-6) مرات.



1- جزء من الجائز البيتوني؛ 2،3- شقوق انكماش طولية وعرضية؛ 4- الطبقة الخارجية الجافة؛
5- الطبقة الداخلية؛ 6- إجهادات شادة.
الشكل رقم (12) تقلص الخرسانة.

6-4-2- المحاذير والمخاطر الناتجة عن حادثة التقلص:

تتلخص هذه المحاذير بأن الخرسانة ليست حرة في التمدد أو التقلص وأن طبيعة الإنشاء تقاوم هذه التغيرات بوضوح، مما يؤدي إلى حدوث تشققات ظاهرة على سطح الخرسانة.

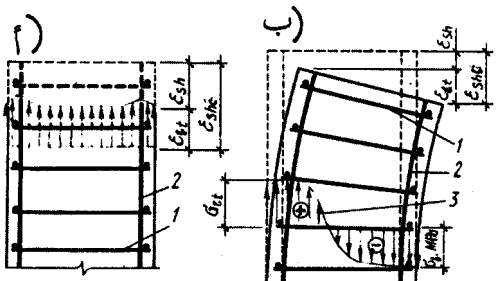
يكون مقدار التقلص كبيراً جداً في الفترة الأولى من التصلب حيث يكون الفرق بين درجة رطوبة الجو المحيط ودرجة رطوبة الخرسانة كبيراً جداً. في الحالة الطبيعية للخرسانة حيث يجري التصلب في الجو العادي، فإن مقدار التقلص يكون كبيراً في البدء ثم يتناقص تدريجياً إلى أن تصل العينة إلى حالة التوازن بعد فترة من الزمن تختلف بحسب سماكة وأبعاد الإنشاء.

6-4-3- تأثير فولاذ التسليح في الحد من ظاهرة التقلص:

يؤثر عدد قضبان التسليح وتوزيعها بمقطع العنصر في ظهور شقوق التقلص في الخرسانة. أظهرت التجارب أنه حتى التسليح الطولي القليل للعناصر الخرسانية يخفض تشوهات التقلص للخرسانة أكثر من مرتين، مقارنةً بالعناصر غير المسلحة. يمكن تفسير ذلك بأن فولاذ التسليح الذي يملك عامل مرونة كبيراً نتيجة تماسكه مع الخرسانة يؤدي إلى عملهما المشترك، ومن ثمة يحول دون حرية تشوهات التقلص في الخرسانة (الشكل13). ونتيجةً لذلك تظهر في الخرسانة إجهادات شادة أولية، وفي فولاذ التسليح إجهادات ضاغطة. إن القوى الشادة في الخرسانة تكون مساويةً للقوى الضاغطة في فولاذ التسليح، والفرق في التشوهات $\varepsilon_{ct} = \varepsilon_{shc} - \varepsilon_{sh}$ ، يمكن عدّه القيمة الوسطية لتشوهات الشد في العناصر الخرسانية والخرسانية المسلحة نتيجة لانكماش الخرسانة.

تعطى قيمة الإجهادات الشادة في الخرسانة بالعلاقة التالية:

$$\sigma_{ct} = \varepsilon_{ct} \cdot \nu_t \cdot E_c = \frac{\varepsilon_{shc} \cdot E_s \cdot \mu}{1 + \alpha` \mu} / (1` + \alpha` \mu) \qquad .....(11)$$



ε_{sh} – انكماش عينة خرسانية مسلحة.

ε_{shc} – انكماش عينة خرسانية مشابهة.

ε_{ct} – تشوهات الشد في الخرسانة لعينات خرسانية مسلحة نتيجة الانكماش.

آ -تسليح متناظر، ب -تسليح غير متناظر.

1-فولاذ تسليح عرضي، 2- فولاذ تسليح طولي، 3- مخطط تقريبي لإجهادات الضغط σ_c` والشد σ_{ct} في الخرسانة.

الشكل (13): مخطط تشوهات فولاذ التسليح نتيجة انكماش الخرسانة

أما الإجهادات الضاغطة في فولاذ التسليح فتعطى بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon_{shs} = \varepsilon_{sh}\ E_s = \varepsilon_{shc}\ E_s / (1+\alpha`\ \mu) \qquad \ldots\ldots(12)$$

حيث أن: $\alpha` = E_s /(\nu_t\ E_c) = \alpha / \nu_t\ ;\ \mu = A_s / b\ h$

– ν_t : ثابت مرونة الخرسانة المشدودة؛ - μ: نسبة التسليح؛

– E_c، E_s: معاملا مرونة الخرسانة، وفولاذ التسليح، على التتالي، MPa؛

– α` : نسبة عاملي مرونة الفولاذ والخرسانة بدلالة ثابت مرونة الخرسانة.

ومن العلاقة (11) نلاحظ أن الإجهادات الشادة في خرسانة العناصر الخرسانية المسلحة نتيجة انكماش الخرسانة تتعلق بالعوامل الثلاثة الآتية:

1- الانكماش الحر للخرسانةε_{shc} ؛ **2-** نسبة التسليح μ؛ **3-** درجة جودة الخرسانة.

بالإضافة لاستخدام فولاذ التسليح من أجل التخفيف من ظاهرة التقلص، يجب اتخاذ بعض الترتيبات الخاصة، التي يمكن تلخيصها بما يلي:

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

2- حفظ الخرسانة بعد الصب مباشرةً في رطوبةٍ جيدة، وذلك برش الماء على نحو دائم.

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

7- طريقة معالجة العيوب والتشققات في الأقنية:

أشرنا في بحثنا إلى أن أهم العيوب التي حصلت في الأقنية هي صدأ فولاذ التسليح، وما يرتبط به من تصدع للخرسانة، وتشققات شاقولية في جدار القناة نتيجة لمجموعة الأسباب التي تم ذكرها سابقاً (انظر الفقرة 6).

ومن ثمة من أجل معالجة صدأ فولاذ التسليح والخرسانة المتصدعة، يتم اتباع الخطوات التالية:

1- إزالة الخرسانة المتصدعة والمفككة على طول المنطقة التي حصل فيها صدأ فولاذ التسليح، مع إضافة ***50cm***، من كل جهة من أجل تثبيت قضبان التسليح (في حال الحاجة لاستبدال التسليح المتآكل). بحيث تزال الخرسانة إلى عمق يصل إلى كل القضبان التي وصل إليها الصدأ، وعلى نحو يسمح بتنظيفها.

2- نقوم بتنظيف قضبان التسليح من الصدأ باستخدام البخ بالرمل. وإذا ظهر بعد تنظيف فولاذ التسليح أن مقطع القضبان قد نقص على نحو ملحوظ (بنسبة تجاوزت 25%، فلا بد من وضع قضبان تسليح إضافية، أو قطع هذه القضبان واستبدالها.

3- نقوم بدهن قضبان التسليح بإيبوكسي خاص يمنعها من الصدأ مستقبلاً.

4- نقوم باستبدال الخرسانة المتصدعة بخرسانة جديدة باستخدام طريقة الخرسانة المقذوفة، وذلك بالنسبة لترميم المساحات الكبيرة. أما لترميم المساحات الصغيرة فنستخدم المونة البوليميرية، وذلك بسبب ارتفاع ثمنها [5،9].

بالنسبة للتشققات في الجدران فتعتمد طريقة إصلاحها على ثخانة الشق. فإذا كان الشق بثخانة لا تتجاوز ***0.4mm***، فيمكننا الاكتفاء بدهن السطوح الخرسانية بدهان بوليميري لمنع تغلغل وتأثير العوامل الجوية في فولاذ التسليح. أما إذا تجاوز التشقق ***0.4mm*** فيتم معالجته بالحقن بالإيبوكسي [2، 5، 9].

8- الإجراءات والاحتياطات الواجب اتخاذها في المشاريع المستقبلية لتلافي ظاهرة التآكل والتشقق:

بناءً على جولاتنا الميدانية التي قمنا بها، وعلى الاختبارات التي تم إجراؤها، وعلى الدراسة المستفيضة المعتمدة على آخر الأبحاث والمراجع العلمية. يمكننا التقدم بالنصائح التالية الواجب اتخاذها لتلافي حدوث مثل هذه العيوب:

1- تأمين طبقة حماية للخرسانة بدقة، بحيث لا تكون هذه الطبقة قليلة، مما يؤدي لصدأ وتآكل الفولاذ، ولا تكون كبيرة مما يؤدي إلى تشقق الخرسانة. وذلك باستخدام قطع بلاستيكية خاصة تؤمن وبدقة المسافة الصحيحة لطبقة الحماية الخرسانية.

2- استخدام المواد المضافة والملدنات خاصة، من أجل تحسين مواصفات الخلطة الخرسانية (زيادة مقاومة الخرسانة) عن طريق خفض نسبة الماء للإسمنت (تخفيف كمية الماء في الخلطة).

3- من أجل منع تأثير الأملاح، التي قد تتواجد في التربة، أو تنتقل عبر التربة من المياه الجوفية، حيث تستند الأقنية مباشرةً على التربة الطبيعية، يفضل أن يتم عزل الجدران على ارتفاع لا يقل عن ***1.5m*** بإسفلت أسود على طبقتين في الأماكن السليمة كي لا تتضرر في المستقبل. وفي هذا الإطار يفضل عدم ردم أي جزء من التربة على جانبي جدران القناة، كما لاحظنا في بعض أجزاء القناة.

4- ننصح في المشاريع المستقبلية بتغليف أرضية القناة (بعد صب خرسانة النظافة) برقائق من مواد العزل، ورفع هذه الرقائق مع لصقها على ارتفاع لا يقل عن ***1m*** على الوجه الخارجي لجدار القناة، وذلك لحمايتها من أي تأثير للأملاح الناتجة عن تملح التربة.

5- تنفيذ التسليح على نحو صحيح ودقيق عند فواصل التمدد، وتنفيذ الفواصل بدقة، منعاً لظهور أية تشققات في هذه المنطقة.

6- إجراء الكشف الدوري على المنشآت (مرَّة كل عام)، للتأكد من السلامة الإنشائية لهذه المنشآت، وإيجاد الحلول العلمية المناسبة لأيِّ عيبٍ أو خلل قد يظهر في أجزاء المنشآت المائية.

المراجـع:

1- الحسن، أحمد. الدورة التأهيلية في تدعيم المباني والمنشآت. *تشخيص أسباب التشوهات في المباني والمنشآت*. دمشق، نقابة المهندسين، 1997، 1-25.

2- ملحم، عصام. ندوة عيوب الأبنية التنفيذية وطرائق معالجتها. *المنشآت الهندسية بين دقة التصميم وواقع التنفيذ*. *المجلس الأعلى للعلوم*، جامعة البعث، 1998، 49-72.

3- *РЕКОНСТРУКЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.* Под редакцей ШАГИНА, А.Л. Москва, высшая школа, 1991, 351.

4- *Eva Luation Cause , and Repair Of Cracks In Concrete Structures*. Reported By ACI Committee, 1995, 224.

5- كمال، منير؛ سلامة، عمرو وآخرون. *تصدع المنشآت الخرسانية وطرق إصلاحها*. دار النشر للجامعات المصرية، مطابع الوفاء، المنصورة، 1992، 719.

6- *الكودات العربية الموحدة لتصميم وتنفيذ المباني*. كودة تصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة 1997. جامعة الدول العربية، مجلس وزراء الإسكان والتعمير العرب، 284.

7- *الكود العربي السوري لتصميم المنشآت الخرسانية* – الطبعة الثالثة، دمشق 2004، 331.

8- ALLEN, R.T.; EDWARDS, S.C. ; SHAW, J.D. *The Repair Of Concrete Structures*. Blackie Academic Professional LONDON, 1997, 212.

9- *REPAIR AND PORTECTION OF CONCRETE STRUCTURES*. edited by Noel p . - CRC press. London, 1992, 473.

10- *ИНЖЕНЕРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ.* Под редакцей БЕРГЕНА, Р.И.. Москва. высшая школа, 1989, 415.