الجمهورية العربية السورية

نقابة المهندسين

الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت

الملحق ١٨

القضبان البوليميرية المسلحة بالألياف

مقدمة الطبعة الأولى

تقوم لجنة الكود العربي السوري في سعيها الدائم لرفع المستوى المهني ، و الوصول إلى تصميم أمين و اقتصادي للمنشآت و المباني ، بإعداد و إصدار ملاحق للكود العربي السوري في مواضيع الهندسة الإنشائية المتنوعة لتكون مساعدة للزملاء في إعداد الدراسات اللازمة و تنفيذها. و يتناول هذا الملحق /١٨/ " **القضبان البوليميرية المسلحة بالألياف** " و هذه المادة الجديدة مفيدة في كثير من التطبيقات و تعطي اقتصاد في استعمالها عندما يسمح ملحق الكود بذلك. و قد دعت الحاجة إلى إصدار هذا الملحق ليكون الزملاء على اطلاع في كيفية استعمال هذه المواد الجديدة و المجالات التي يسمح فيها باستعمالها .

و إن مجلس النقابة يقدر الجهود الكبيرة التي بذلتها اللجنة في إعداد هذا الملحق الهام و بما يحقق الفائدة المرجوة في الوصول إلى مباني سليمة و ضمن الحدود الاقتصادية .

و شارك في إعداد هذا الملحق الزملاء من لجنة الكود العربي السوري :

د. م. محمد كرامة بدورة	رئيساً	أ.م. غسان كامل ونوس	مدققاً لغوياً
د. م. أحمد الحسن	عضواً	د. م. محمد نزيه اليافي	عضواً
د. م. نادر نبيل أنيس	عضواً	د. م. علاء الدين ناصر	عضواً
د. م. محمد نزيه أيلوش	عضواً	د. م. عمار كعدان	عضواً
د. م. هالة الحسن	عضواً	د. م. محمد سمارة	عضواً
د. م. محمد فريز عابدين	عضواً	د. م. ميادة كوسا	عضواً
د. م. ابراهيم عطية	عضواً	د. م. غياث الحلاق	عضواً
د. م. عصام ملحم	عضواً	د. م. نبيل عدس	عضواً
م. سمير بني مرجة	عضواً	د. م. بسام حويجة	عضواً
م. عماد درويش	عضواً	م. محمد عيد دياب	عضواً
م. محمد أيمن الحافظ	عضواً	م. بسام أبو النعاج	عضواً
الجيولوجي د. رضا السبيناتي	عضواً	م. حلمي السكري	عضواً

دمشق في : آذار ٢٠١٨

نقيب المهندسين السوريين

المهندس غياث القطيني

الفهرس

مقدمة الطبعة الأولى	2
جدول المحتويات	3
الباب الأول ــ المقدمة والتعاريف	10
1 -1 المقدمة.	10
1 - 2 تاريخ استخدام قضبان الفايبر.	11
1 – 3 المصطلحات والتعاريف.	13
1 - 3 – 1 الرموز.	13
1 - 3 – 2 تعريفات.	19
الباب الثاني ــ المجال والغاية والمفاهيم وأسس التصميم	24
2 - 1 مجال الكود وتطبيقاته.	24
2 ــ 2 متطلبات هذا الكود.	25
2 ــ 3 تركيب البوليميرات المسلحة.	25
2 ــ 4 أسس التصميم.	26
الباب الثالث ــ البوليميرات والقضبان المسلحة بالألياف	28
3 - 1 اعتبارات عامة.	28
3 - 2 المواد المكونة لمنتجات البوليميرات المسلحة بالألياف.	28
3 – 2 – 1 البوليميرات (أو الراتنجات).	29
3 – 2 – 2 أنواع البوليميرات.	30
3 - 3 قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف (قضبان الفايبر).	31
3 – 3 – 1 مجال الاستخدام والتطبيقات	31
3 – 3 – 2 مقارنة بين قضبان الفايبر (FRP) وقضبان الفولاذ ومجال الاستخدام.	32
3 – 3 – 3 قضبان الفايبر المتوفرة تجارياً.	39
3 – 3 – 4 مقاومة الشد ومعامل المرونة لقضبان الفايبر.	40

3 – 3 – 5 مقاسات القضبان وتمييزها وخصائصها المختلفة.	41
3 – 3 – 5 -1 مقاسات القضبان.	41
3 – 3 – 5 - 2 تمييز القضبان.	41
3 – 3 – 6 قص وثني قضبان الفايبر.	42
3 – 3 – 6 – 1 قص القضبان طولياً.	42
3 – 3 – 6 – 2 ثني القضبان.	42
3 – 3 – 7 الخواص الطبيعية لقضبان الفايبر.	43
3 – 3 – 7 – 1 الكثافة.	43
3 – 3 – 7 – 2 معامل التمدد الحراري	43
3 – 3 – 7 – 3 تأثير درجات الحرارة المرتفعة على قضبان الفايبر.	44
3 – 3 – 8 الخواص الميكانيكية لقضبان الفايبر.	45
3 – 3 – 8 – 1 سلوك قضبان الفايبر على الشد.	45
3 – 3 – 8 – 2 مقاومة القضبان المثنية.	46
3 – 3 – 8 – 3 سلوك قضبان الفايبر على الضغط.	47
3 – 3 – 8 – 4 سلوك قضبان الفايبر على القص.	47
3 – 3 – 8 – 5 سلوك قضبان الفايبر على التماسك أو الالتصاق.	48
3 – 3 – 9 السلوك عبر الزمن.	48
3 – 3 – 9 – 1 تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف مع الزمن.	49
3 – 3 – 9 – 2 انهيار التمزق.	49
3 – 3 – 9 – 3 التعب.	49
3 – 3 – 10 التعامل مع قضبان الفايبر.	50
3 – 3 – 11 تنفيذ التسليح من قضبان الفايبر.	50
3 – 3 – 12 الاختبارات وضبط الجودة.	51

الباب الرابع ــ التأثيرات الكيميائية والبيئية على قضبان الفايبر	53
4 – 1 التأثير البيئية.	53
4 – 1 - 1 تأثير الرطوبة.	53
4 – 1 - 2 تأثير التجمد والذوبان.	54
4 – 1 - 3 تأثير الأوساط القلوية والحمضية.	55
4 – 1 – 3 – 1 تأثير الأحماض.	55
4 – 1 – 3 – 2 تأثير القلويات (الأملاح).	55
4 – 1 - 14 تأثير التعرض للإشعاع	56
4 – 1 - 5 تأثير الحرارة.	57
4 – 2 تأثير الزحف.	59
4 – 2 – 1 حد الزحف.	59
4 – 3 تحمل الألياف مع الزمن.	59
4 – 4 معاملات خفض المقاومة والانفعال بسبب التأثيرات المحيطية.	60
4 – 5 الكلل.	61
4 – 6 حماية قضبان الفايبر.	62
4 – 6 – 1 الحماية من الرطوبة والمواد الكيميائية.	62
4 – 6 – 2 الحماية من الأشعة فوق البنفسجية.	63
4 – 6 – 3 الحماية من الصواعق والتآكل بسبب الكهرباء الناتجة من التفاعل الكيميائي.	63
4 – 6 – 4 اشتراطات استخدام طبقات الحماية.	63
الباب الخامس ــ الخرسانة المسلحة بقضبان الفايبر	64
5 - 1 اعتبارات عامة.	64
5 – 2 مجالات استخدام قضبان الفايبر كتسليح للعناصر الخرسانية.	64
5 – 2 – 1 الحالات التي يسمح فيها باستخدام قضبان الفايبر.	64
5 - 2 – 2 حالات لا يسمح فيها باستخدام قضبان الفايبر في التسليح.	65

5 - 3 حالة المقاومة القصوى.	65
5 – 3 – 1 الحمولات.	65
5 – 3 – 2 الإجهادات والانفعالات التصميمية لقضبان الفايبر.	66
5 – 3 – 3 تصميم المقاطع المعرضة لعزوم الانعطاف.	66
5 – 3 – 3 – 1 أساسيات التصميم.	66
5 – 3 – 3 – 2 فرضيات التصميم الأساسية.	67
5 – 3 – 3 – 3 حالة حد المقاومة القصوى لعزوم انعطاف.	67
5 – 3 – 3 – 4 التسليح التوازني للمقطع.	67
5 – 3 – 3 – 5 معاملات خفض المقاومة القصوى.	69
5 – 3 – 3 – 6 حالة نسبة التسليح الأكبر من نسبة التسليح التوازني.	70
5 – 3 – 3 – 7 حالة نسبة تسليح المقطع أقل من نسبة التسليح التوازنية.	70
5 – 3 – 3 – 8 المقاطع المستطيلة المعرضة لعزوم الانعطاف.	71
5 – 3 – 3 – 9 مقاطع على شكل (T و Γ).	71
5 – 3 – 3 – 10 الحد الأدنى للتسليح.	72
5 – 3 – 3 – 11 تنفيذ قضبان الفايبر في عدة صفوف.	72
5 – 3 – 3 – 12 استخدام أنواع مختلفة من قضبان الفايبر في المقطع.	72
5 – 3 – 3 – 13 إعادة توزيع العزوم.	72
5 – 3 – 3 – 14 التسليح في جانب الضغط.	73
5 – 3 – 4 حالة حد المقاومة القصوى للقص.	73
5 – 3 – 4 – 1 الكمرات المسلحة بقضبان الفايبر.	73
5 – 3 – 4 – 2 قوة القص الاعتبارية القصوى في الكمرات.	74
5 – 3 – 4 – 3 مقاومة القص القصوى الاعتبارية.	74
5 – 3 – 4 – 4 معامل خفض المقاومة القصوى.	75
5 – 3 – 4 – 5 القيمة الاعتبارية لمقاومة الخرسانة لإجهاد القص.	75
5 – 3 – 4 – 6 مقاومة التسليح العرضي القصوى للقص في الكمرات.	75

5 – 3 – 4 – 7 التسليح العرضي في الكمرات.	77
5 – 3 – 4 – 8 متطلبات عامة في اختيار وترتيب التسليح العرضي.	78
5 – 3 – 5 المقاطع المعرضة لحمولات شد محورية أو لعزوم انعطاف مترافقة مع مع حمولات شد محورية	80
5 – 3 – 6 أطوال التماسك لقضبان الفايبر.	80
5 – 3 – 7 حالات حدود التشغيل.	81
5 – 3 – 7 –1 السهوم وحالات حدود التشكل.	81
5 – 3 – 7 – 2 نسبة المجاز الفعال إلى العمق الكلي.	81
5 – 3 – 7 – 3 حساب سهم الانعطاف.	81
5 – 3 – 7 – 4 عزم العطالة الفعال للمقطع.	81
5 – 3 – 5 حالات حدود التشقق.	83
5 – 4 البلاطات المستندة على التربة.	83
الملحق ــ اختبارات قضبان الفايبر المستخدمة في أعمال تسليح الخرسانة	84
م - 1 مقدمة.	84
م - 2 اختبار تحديد الخصائص الهندسية لقضبان الفايبر.	84
م - 2 - 1 المجال.	84
م - 2 – 2 الأجهزة اللازمة.	85
م - 2 – 3 تجهيز العينات.	85
م - 2 – 4 ظروف الاختبار.	85
م - 2 – 5 كيفية إجراء الاختبار.	86
م - 2 - 6 تقييم النتائج.	86
م - 2 - 7 تقرير النتائج.	87
م - 3 اختبار تعيين خصائص الشد المحوري لقضبان الفايبر.	87
م - 3 - ١ المجال.	87
م - 3 - 2 الأهمية والاستخدام.	87

م - 3 - 3 المصطلحات.	87
م - 3 – 3 - 1 المقطع المختبر.	87
م - 3 – 3 - 2 نهايات التثبيت.	88
م - 3 – 3 - 3 طول القياس.	88
م - 3 – 3 - 4 أداة التثبيت.	88
م - 3 – 3 - 5 مقاومة الشد القصوى.	88
م - 3 – 3 - 6 مقاومة الضمان على الشد.	88
م - 3 – 3 - 7 الانفعال الأقصى.	88
م - 3 - 4 الأجهزة اللازمة ــ آلة الاختبار.	88
م - 3 - 5 قياس الانفعال.	88
م - 3 - 6 طول القياس.	89
م - 3 - 7 تسجيل المعلومات.	89
م - 3 - 8 تجهيز العينة.	89
م - 3 - 9 ظروف الاختبار.	90
م - 3 - 10 كيفية إجراء الاختبار.	90
م - 3 - 11 تقييم النتائج.	90
م - 3 - 12 تقييم النتائج.	91
م - 3 - 13 تقرير النتائج.	91
م - 4 اختبار تحديد مقاومة التماسك لقضبان الفايبر.	92
م - 4 - 1 المجال.	92
م - 4 – 2 تجهيز العينات.	92
م - 4 - 3 الأهمية والاستعمال.	93
م - 4 - 4 تعريف طول التماسك.	93
م - 4 - 5 الأجهزة اللازمة.	94
م - 4 - 6 تجهيز العينات.	95

م - 4 – 6 - 1 عينات القضبان المغروزة رأسياً.	95
م - 4 – 6 - 2 العينات ذات الأسياخ المغروزة أفقياً.	96
م - 4 – 6 - 3 وضع القضبان في العينات.	97
م - 4 – 6 - 4 شروط صب وحفظ وفك العينات ومعالجتها.	97
م - 4 – 7 ظروف الاختبار.	98
م - 4 - 8 كيفية إجراء الاختبار.	98
م - 4 - 9 تقييم النتائج.	99
م - 4 - 10 تقرير النتائج.	100
م - 5 اختبار مقاومة قضبان الفايبر لتحمل القلويات.	101
م - 5 - 1 المجال.	101
م - 5 - 2 طرق الاختبار.	101
م - 5 - 2 – 1 الطريقة الأولى.	101
م - 5 - 2 – 2 الطريقة الثانية.	101
م - 5 - 2 – 3 الطريقة الثالثة.	102
م - 5 - 3 الأهمية والاستخدام.	102
م - 5 – 4 الأجهزة اللازمة.	102
م - 5 – 5 تجهيز العينات.	103
م - 5 – 6 ظروف الاختبار.	104
م - 5 – 6 – 1 ظروف الاختبار بالطريقة الأولى.	104
م - 5 – 6 – 2 ظروف الاختبار بالطريقة الثانية.	104
م - 5 – 6 – 3 ظروف الاختبار بالطريقة الثالثة.	104
م - 5 - 7 طرق الاختبار.	105
م - 5 - 8 تقييم النتائج.	105
م - 5 - 9 تقرير النتائج.	105

الباب الأول

1 -1 المقدمة:

هناك العديد من المنشآت المنفذة حول العالم من الخرسانة التي استخدمت فيها قضبان التسليح من قضبان البوليميرات المسلحة بألياف أو اختصاراً قضبان الفايبر (FRP) بدلاً عن قضبان الفولاذ. حيث ثبت خلال العقد الماضي أنه يمكن استخدام هذه القضبان بشكل ناجح وعملي ماعدا المقاطع التي تساهم في مقاومة الزلازل فلا يسمح باستعمالها لعدم توفر اللدونة في خواصها ولا يسمح باستعمالها كتسليح مقاوم لإجهادات الضغط في العناصر الخرسانية .

يجب أن يدرك المهندس الذي يستخدم هذه التقنيات مدى جدوى استخدام قضبان التسليح من الفايبر. كما يجب أن يكون على دراية بحدود استخداماتها وفق ما هو مذكور في هذا الدليل.

ما زال النقص المعرفي حول أداء تسليح الفايبر يتجلى في مقاومة الحريق وبالاستخدام في الأماكن الخارجية المعرضة لشروط محيطية شديدة، كالتعب والتماسك وأطوال التراكب. لذلك ما زالت هناك حاجة لمزيد من البحث في هذه المواضيع.

تسلح عادةً المنشآت الخرسانية التقليدية بالفولاذ العادي أو مسبق الإجهاد، بحيث يكون الفولاذ محمياً من الصدأ بفعل قلوية الخرسانة. مما يوفر لها مزايا عملية واستثمارية. فالعديد من المنشآت المعرضة لبيئة قاسية كالمنشآت البحرية والجسور ومرائب السيارات والمنشآت المعرضة لأملاح ضارة، وتأثيرات الرطوبة والحرارة، تؤدي إلى صدأ وتآكل الفولاذ. بالإضافة إلى تخريب الخرسانة وخروجها عن الاستثمار.

لمعالجة مشكلة الصدأ تم البدء باستخدام حلول بديلة لقضبان الفولاذ العادية مثل قضبان الفولاذ المغطاة بالإيبوكسي ووضع إضافات خاصة في الخلطة الخرسانية. ورغم الجدوى في بعض الحالات إلا أن هذه الحلول قد لا تنهي مشاكل صدأ الحديد بشكل نهائي.

لقد أصبحت المواد المركبة والمصنوعة من الألياف (فايبر) ومن المواد الرابطة البوليميرية (كالريزين مثلاً) بديلاً لقضبان فولاذ التسليح في العادي في المنشآت الخرسانية. وقد عرفت هذه المواد باسم البوليميرات المسلحة بالفايبر.

وباعتبار أن مواد الفايبر لا تمتلك خواص مغناطيسية، وهي غير قابلة للصدأ، فإن مشاكل التداخل مع الحقول الكهرومغناطيسية والتعرض للصدأ يحمي المنشآت المسلحة بهذه القضبان من هذه النواحي. وبالإضافة إلى ذلك تتمتع مواد الفايبر بعدة خصائص هامة كمقاومة الشد الكبيرة، الأمر الذي يجعلها مناسبة كتسليح للخرسانة ماعدا المقاطع التي تساهم في مقاومة الزلازل فلا يسمح باستعمالها لعدم توفر اللدونة في خواصها ولا كتسليح مقاوم لإجهادات الضغط في العناصر الخرسانية .

تختلف الخصائص الميكانيكية للفايبر عنها في الفولاذ. مما يجعل من تغيير فلسفة تصميم المنشآت الخرسانية المسلحة بالفايبر أمراً ضرورياً.

تتصف مواد الفايبر بأنها غير متجانسة الخواص كالفولاذ، وبمقاومة شد كبيرة بالاتجاه الطولي للألياف فقط دون العرضي. مما يعني أن سلوكها يؤثر على مقاومة القص وخواص التماسك مع الخرسانة. كما لا تبدي قضبان الفايبر سلوكاً خاصاً بمرحلة السيلان، بل تسلك سلوك مرناً حتى المقطع. لذا فإن التصميم يجب أن يأخذ بالاعتبار انعدام المطاوعة في العناصر الخرسانية المسلحة بالفايبر.

1 - 2 تاريخ استخدام قضبان الفايبر (البوليميرية المسلحة بالألياف):

بدأ استخدام تسليح الفايبر في أوربا في ألمانيا مع إنشائها جسر على طريق سريع من الفايبر المسبق الإجهاد وذلك في عام 1986 وبعد بناء هذا الجسر تم تنفيذ برامج لزيادة البحث واستخدام ألياف الفايبر في أوربا. حيث قام مشروع (European BRITE/EURAM Project)، بإجراء اختبارات مكثفة وتحليل لمواد (FRP) من خلال المشروع (العناصر المركبة للألياف وتقنيات التسليح اللامعدنية) (Fibre Composite Elements and Techniques as Nonmetallic Reinforcement)، وذلك منذ عام (1991) إلى العام (1996). وفي الآونة الأخيرة ترأس (EUROCRETE) الجهود الأوربية في مجال البحث العلمي وتطوير المشاريع.

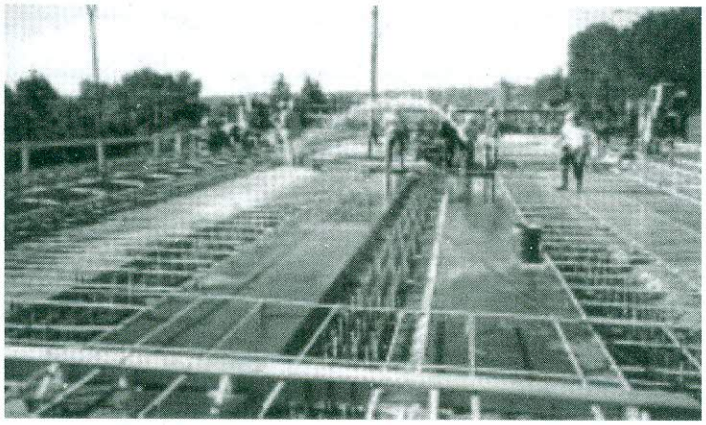
استخدمت ألياف (FRP) في اليابان في منتصف (1990) في معظم تطبيقات التسليح، بعد أكثر من 100 تجربة في مشاريع تجارية. وأدرجت أحكام وشروط تصميم ألياف (FRP) في توصيات التصميم والإنشاء ضمن الكود الياباني (JSCE) في عام (1997).

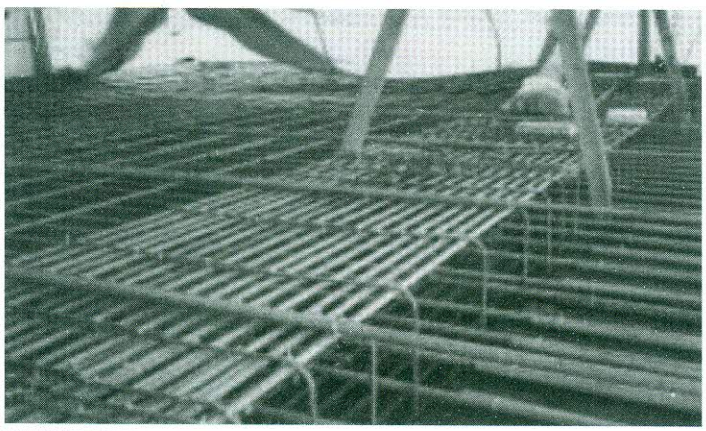
أصبحت الصين مؤخراً من أكبر المستخدمين لمركبات التسليح في الإنشاءات الجديدة وفي تطبيقات بلاطات الجسور ذات المجازات الواسعة وللأعمال المردومة تحت الأرض ماعدا المقاطع التي

تساهم في مقاومة الزلازل فلا يسمح باستعمالها فيها لعدم توفر اللدونة في خواصها ولا العناصر المعرضة لإجهادات الضغط .

كما استخدمت الولايات المتحدة الأمريكية هذه المواد وتم شرح الاستخدام النموذجي لتسليح الفايبر في الكود (ACI 440R).

تبين الأشكال التالية بعض التطبيقات العملية لاستخدام هذه المواد في بناء المصدات البحرية ومختلف التطبيقات الجاهزة، والزخارف المعمارية، كما أصبحت مألوفة أيضا. وبعض المشاريع الكبيرة التي تشمل عناصر ثانوية في بعض المباني ماعدا العناصر التي تساهم في مقاومة الزلازل فلا يسمح باستعمالها فيها لعدم توفر اللدونة في خواصها ولا العناصر المعرضة لإجهادات الضغط .





1 – 3 المصطلحات والتعاريف:

1 - 3 – 1 الرموز:

المصطلح الإنكليزي	المصطلح العربي	الواحدة
area of FRP reinforcement	مساحة تسليح قضبان الفايبر	mm^2 ، in^2
area of one FRP bar	مساحة قضيب فايبر واحد	mm^2 ، in^2
minimum area of FRP reinforcement needed to prevent failure of flexural members upon cracking	مساحة تسليح الفايبر اللازمة لمنع المقطع المعرض للانعطاف من الانهيار بفعل التشقق.	mm^2 ، in^2
area of shrinkage and temperature FRP reinforcement per linear foot	مساحة التسليح بالإنش لمقاومة التقلص والحرارة.	mm^2 ، in^2
minimum amount of FRP shear reinforcement within spacing s	مساحة تسليح قضيب الفايبر الدنيا لمقاومة القص ضمن تباعد للأساور قدره (s)	mm^2 ، in^2
area of tension steel reinforcement	مساحة تسليح الفولاذ المشدود	mm^2 ، in^2
depth of equivalent rectangular stress block	عمق المستطيل المكافئ لمنحني الإجهاد	mm ، in
section width of rectangular cross	عرض المقطع العرضي المستطيل	mm ، in
perimeter of critical section for footings slabs and	محيط المقطع الحرج للبلاطة أو الأساس	mm ، in
width of the web	عرض الجسد أو الجذع	mm ، in
spacing or cover dimension	التباعد أو مسافة التغطية	mm ، in
environmental reduction factor fiber type and for various given in،exposure conditions	معامل التخفيض البيئي لأنواع مختلفة من الفايبر، ولحالات مختلفة من التعرض من	-
distance from extreme compression fiber to the neutral axis	المسافة من أقصى ليف مضغوط إلى المحور المحايد	mm ، in
distance from extreme compression fiber to neutral axis at balanced strain condition	المسافة من أقصى ليف مضغوط إلى المحور المحايد عند الوصول انفعال التوازن	mm ، in
distance from extreme centroid of compression fiber to tension reinforcement	المسافة من أقصى ليف مضغوط إلى مركز تسليح الشد.	mm ، in
diameter of reinforcing bar	قطر قضيب التسليح	mm ، in

المصطلح الإنكليزي	المصطلح العربي	الواحدة
thickness of concrete cover extreme tension measured from fiber to center of bar or wire location closest thereto	سماكة التغطية مقاسة من أبعد ليف مشدود إلى مركز أقرب قضيب تسليح.	mm ، in
modulus of elasticity of concrete	معامل مرونة الخرسانة	MPa ، psi
design or guaranteed modulus of elasticity of FRP defined as mean modulus of sample of test specimens (Ef = Ef ave)،	معامل المرونة التصميمي لقضبان الفايبر. والذي يعرف بأنه معامل متوسط عينة من عينات الاختبار.	MPa ، psi
average modulus of elasticity of FRP	معامل المرونة الوسطي لقضبان الفايبر.	MPa ، psi
modulus of elasticity of steel	معامل المرونة لقضبان الفولاذ	MPa ، psi
strength of specified compressive concrete	المقاومة المميزة للخرسانة أو متانة الخرسانة على الضغط.	MPa ، psi
stress in FRP reinforcement in tension	إجهاد الشد في قضبان تسليح الفايبر.	MPa ، psi
strength of bent portion of FRP bar	مقاومة الجزء المحني من قضيب الفايبر.	MPa ، psi
bar stress that can be developed for embedment length le	الإجهاد المتولد في القضيب ضمن طول الإرساء (le).	MPa ، psi
required bar stress	الإجهاد المطلوب في القضيب.	MPa ، psi
stress level induced in FRP by sustained loads	إجهاد القضيب المتولد بفعل الحمولات الاستثمارية.	MPa ، psi
design tensile strength of FRP، reductions for service considering environment	مقاومة الشد التصميمية لقضيب الفايبر بعد أخذ التخفيض بتأثير بيئة الاستثمار بالاعتبار.	MPa ، psi
guaranteed tensile strength of FRP bar defined as mean tensile strength of sample of test specimens minus three times standard deviation f*fu = ffu – 3σ ave،	إجهاد شد الضمان لقضبان الفايبر FRP ، والذي يعرف بأن متوسط إجهاد الشد لعينة من عينات الاختبار ناقص ثلاث مرات الانحراف المعياري	MPa ، psi
shear tensile strength of FRP for design، taken as smallest of design tensile strength f_{fu}، strength of bent portion of FRP f_{fb}، or stirrups stress	مقاومة الشد التصميمية لحساب القص في قضبان الفايبر. وتؤخذ كأصغر مقاومة شد تصميمية f_{fu}. وهي متانة الجزء المحني من	MPa ، psi

المصطلح الإنكليزي	المصطلح العربي	الواحدة
Ef 0.004 corresponding to	أساور الـ FRP، أو الإجهاد الموافق لـ 0.004 Ef.	
allowable stress in steel reinforcement	الإجهاد المسموح في تسليح الفولاذ.	MPa ، psi
	مقاومة الشد الوسطية للعينات.	MPa ، psi
sample mean tensile strength of of test specimens	إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح العادي (غير مسبق الإجهاد)	MPa ، psi
overall height of flexural member	ارتفاع العنصر المقاوم للانعطاف.	mm ، in
moment of inertia	عزم العطالة (عزم القصور الذاتي).	mm^4 ، in^4
moment of inertia of transformed cracked section	عزم العطالة للمقطع المتشقق.	mm^4 ، in^4
effective moment of inertia	عزم العطالة الفعال للمقطع.	mm^4 ، in^4
gross moment of inertia	عزم العطالة لكامل المقطع الخرساني (مع اهمال التسليح).	mm^4 ، in^4
parameter accounting for Eq. (8-10) boundary conditions	المحيط مع أخذ الشروط المحيطية بالحسبان من المعادلة (8-10).	mm ، in
ratio of depth of neutral axis to depth reinforcement	نسبة عمق المحور المحايد إلى عمق التسليح.	-
bond-dependent coefficient	معامل التماسك (الترابط).	-
distance between joints in a slab on grade	المسافة بين العقد في البلاطة على الأرض.	m ، ft
span length of member	طول مجاز للعنصر.	m ، ft
development length	طول الإرساء	mm ، in
embedded length of reinforcing bar	طول الإرساء لقضيب التسليح من الفايبر.	mm ، in
length of tail beyond hook in FRP	طول البروز بعد العكفة لقضيب الفايبر.	mm ، in
maximum moment in member at stage deflection is computed	العزم الأعظمي في العنصر في حساب مرحلة السهم.	Ib.in ، N.mm
cracking moment	عزم التشقق.	Ib.in ، N.mm
nominal moment capacity	قدرة تحمل العزم الاسمية.	Ib.in ، N.mm

المصطلح الإنكليزي	المصطلح العربي	الواحدة
moment due to sustained load	العزم بفعل حمولات الاستثمار (التحمل).	Ib.in ، N.mm
factored moment at section	العزم المصعد عند المقطع.	Ib.in ، N.mm
ratio of modulus of elasticity of modulus of elasticity FRP bars to of concrete	نسبة معامل مرونة قضبان الفايبر إلى معامل مرونة الخرسانة.	-
internal radius of bend in FRP reinforcement	نصف القطر الداخلي لعكفة قضيب تسليح الفايبر	mm ، in
stirrup spacing or pitch of and ،continuous spirals longitudinal FRP bar spacing	خطوة الأسوارة أو الحلزون أو التباعد بين القضبان الطولية.	mm ، in
glass transition temperature	حرارة التحول للزجاج.	C°
average bond stress acting on the FRP bar surface of	وسطي إجهاد التماسك المؤثر على سطح قضيب الفايبر.	MPa ، psi
provided nominal shear strength by concrete	مقاومة القص الاسمية للخرسانة.	N ، Ib
shear resistance provided by FRP stirrups	مقاومة القص مع وجود أساور فايبر.	N ، Ib
nominal shear strength at section	قوة القص الاسمية في المقطع.	N ، Ib
shear resistance provided by steel stirrups	مقاومة القص في المقطع مع وجود أساور فولاذية.	N ، Ib
section factored shear force at	قوة القص المصعدة في المقطع.	N ، Ib
maximum crack width	أكبر عرض للشق.	mm ، in
angle of inclination of stirrups or top bar ،spirals (Chapter 9) modification factor (Chapter 11)	زاوية انعطاف الأسوارة (، معامل تعديل القضيب العلوي..	-
ratio of average stress of equivalent rectangular stress block to f`c	نسبة الإجهاد الوسطي لمستطيل الإجهاد المكافئ، إلى قيمة (f`c)	-
longitudinal coefficient of 1/°C،1/°F ،thermal expansion	معامل التمدد الحراري الطولي	1/°C ، 1/°F
transverse coefficient of thermal expansion	معامل التمدد الحراري العرضي.	1/°C ، 1/°F
ratio of distance from neutral axis tension fiber to to extreme	نسبة المسافة بين المحور المحايد وأبعد ليف مشدود إلى بعد المحور المحايد عن مركز	-

الواحدة	المصطلح العربي	المصطلح الإنكليزي
	تسليح الشد.	distance from neutral axis to reinforcement center of tensile (Section 8.3.1)
-	معامل يساوي ' f 0.85 ويصل إلى (28 Mpa)... ومن أجل قيم أكبر من ذلك يخفض هذا المعامل بنسبة (0.05) لكل (7 Mpa) وذلك حتى (28 Mpa) على ألا يقل عن (0.65).	concrete factor taken as 0.85 for to and including strength f `c up 4000 psi (28 MPa). For strength above 4000 psi (28 reduced this factor is، MPa) continuously at a rate of 0.05 per 1000 psi (7 MPa) of strength each (28 MPa) in excess of 4000 psi، but is not taken less than 0.65
-	معامل تخفيض يستخدم في حساب السهم.	reduction coefficient used in deflection (Section calculating 8.3.2)
mm ، in	السهم الإضافي بفعل الزحف والانكماش تحت حمولات الاستثمار.	additional deflection due to creep and shrinkage under sustained loads
mm	السهم اللحظي بفعل حمولات الاستثمار.	immediate deflection due to sustained loads
mm	نسبة السهم إلى طول المجاز الحدية.	limiting deflection-span ratio (Chapter 8)
-	الانفعال في الخرسانة.	strain in concrete
-	الانفعال الحدي في الخرسانة.	ultimate strain in concrete
-	الانفعال في تسليح الفايبر.	strain in FRP reinforcement
-	انفعال المقطع التصميمي في تسليح الفايبر.	design rupture strain of FRP reinforcement
in/in ، mm/mm	انفعال الضمان لتسليح الفايبر. ويعرف بأنه متوسط انفعال الشد عند الانهيار لعينة الاختبار ناقص ثلاثة أمثال الانحراف المعياري.	guaranteed rupture strain of FRP defined as the reinforcement mean tensile strain at failure of specimens minus sample of test standard deviation three times ave – 3σ)، = εu (εfu
-	انفعال المقطع الوسطي للعينات.	mean tensile strain at rupture of specimens sample of test
-	نسبة المسافة بين أبعد ليف مضغوط ومركز تسليح الشد (d) إلى ارتفاع العنصر (h)... (الفصل 8).	ratio of distance from extreme to centroid of compression fiber tension reinforcement (d) to overall height of flexural member

المصطلح الإنكليزي	المصطلح العربي	الواحدة
(h) (Chapter 8)		
multiplier for additional long-term deflection	معامل تصعيد السهم الإضافي طويل الأجل.	-
coefficient of subgrade friction of shrinkage and for calculation temperature reinforcement	معامل احتكاك الأرضية لحساب تسليح التقلص والحرارة.	-
time-dependent factor for sustained load	معامل الزمن لحمولات الاستثمار الدائمة.	-
ratio of steel compression reinforcement $\rho' = As'/b.d$	نسبة تسليح فولاذ الضغط A's = b x d.	-
steel reinforcement ratio producing balanced strain conditions	نسبة تسليح الفولاذ التوازنية.	-
FRP reinforcement ratio	نسبة تسليح الفايبر.	-
ratio of FRP compression reinforcement	نسبة تسليح الفايبر العامل على الضغط.	-
FRP reinforcement ratio strain producing balanced conditions	نسبة تسليح الفايبر التوازنية.	-
reinforcement ratio of FRP shear	نسبة تسليح الفايبر لمقاومة القص.	-
reinforcement ratio for shrinkage FRP temperature and reinforcement	نسبة تسليح الفايبر لمقاومة التقلص والحرارة.	-
minimum reinforcement ratio for steel	نسبة تسليح الفولاذ الدنيا.	-
standard deviation	الانحراف المعياري.	-
strength reduction factor	معامل خفض المقاومة.	-

1 - 3 – 2 تعريفات:

توضح التعريفات التالية بعض المصطلحات الخاصة بقضبان الفايبر، والتي قد تستخدم عادة في التطبيقات العملية. وذلك وفق تسلسلها الأبجدي باللغة الإنكليزية:

A

* الاختصار (AFRP): البوليميرات المسلحة بألياف الأراميد (aramid fiber-reinforced polymer).

* القدم (الشيخوخة) aging: هي تأثير الزمن على خصائص المادة.

* القلوية alkalinity: تعبر عن حالة وجود شوارد الهيدروكسيل (- OH)، أي الاحتواء على مواد قلوية. إذ أن البيئة القلوية في الخرسانة تمتاز برقم هيدروجيني (PH) أكبر من (12).

B

* نسبة تسليح قضبان الفايبر التوازنية balanced FRP reinforcement ratio: وهي نسبة التسليح التي عندها يبلغ معها الانفعال في قضبان الفايبر أقصى قيمة له، وفي نفس اللحظة يبلغ انفعال الضغط في الخرسانة القيمة (0.003).

* قضيب الفايبر (FRP bar) مادة مركبة ومصنعة بشكل موشوري (أسطواني)، على هيئة قضبان نحيفة وطويلة، مناسبة لتسليح الخرسانة. تتألف من ألياف طولانية مجمعة ومحاطة بمادة بوليميرية صلبة.

يكون مقطع القضبان بأشكال مختلفة (دائري أو مستطيل غالباً). وقد سطحها يكون أملساً أو خشناً (محلزناً) لتحسين خواص التماسك مع الخرسانة.

* الجدل braiding: هي عملية يتم بموجبها تشابك اثنين أو أكثر من الخيوط في اتجاه الجَدْل لتشكيل قضيب متكامل. وتختلف المواد المجدولة عن المنسوجة (كأقمشة التريكو) في طريقة الغزل من حيث إدخالها في النسيج والطريقة التي يتم من خلالها تداخل الخيوط.

C

* الاختصار (CFRP): البوليميرات المسلحة بألياف الكربون (carbon fiber-reinforced polymer).

* المزج Composite: وهو خلط مركب أو أكثر من المواد

* الرابط (cross- link): رابط كيميائي بين ذرات البوليمير. وزيادة عدد هذه الروابط يؤدي لزيادة المقاومة ونقصان المطاوعة.

* معالجة قضبان الفايبر curing of FRP bars: عملية تحول غير عكوسة تغير في خواص المادة الرابطة (الريزين) عبر التفاعل الكيميائي، كعملية التكثيف أو إضافة مواد. ويمكن تحقيق ذلك مع أو بدون الحرارة والضغط.

D

* معامل التشوه deformability factor: نسبة امتصاص الطاقة عند الحمولة القصوى إلى امتصاص الطاقة عند الاستثمار.

* التهتك (الضعف أو التراجع) degradation: التغير الضار في البنية الكيميائية أو في الخواص الفيزيائية.

* معامل المرونة التصميمي Ef (design modulus of elasticity): معامل المرونة المستخدم في حسابات التصميم، والخاص بقضبان الفايبر. ويؤخذ كوسطي نتائج اختبار العينات المستخدمة في تجربة تحديد معامل المرونة ($E_f = E_{f\,avg}$).

* انفعال التمزق التصميمي εfu (design rupture strain): الانفعال الأقصى الناتج عن الشد لقضبان الفايبر... وعند التصميم يضرب بعامل التخفيض البيئي (CE) – environ-mental reduction factor.

* متانة الشد التصميمية ffu (design tensile strength): مقاومة الشد الحدية المستخدمة في التصميم. وعند التصميم تضرب بعامل التخفيض البيئي (CE) – environ-mental reduction factor.

E

* الزجاج من النوع (F) (F- glass) هو عائلة من أنواع الزجاج مع مركبات ألومينيك الكالسيوم والبوروسيليكات، مع نسبة عظمى من القلويات لا تزيد عن (2%). وهو يستخدم في صناعة ألياف في البوليميرات المسلحة.

* حد التحمل (endurance limit): عدد دورات التشوه أو التحميل التي تسبب فشل العينة أو العنصر الإنشائي.

F

* مقاومة التعب (fatigue strength): أكبر إجهاد ممكن تحمله لعدد معين من دورات التحميل بدون حصول الفشل.

* الفايبر أو الليف (fiber): أي عنصر رقيق يشبه الخيط من أصل طبيعي أو صناعي ذو منشأ عضوي أو معدني، ويطلق هذا المصطلح بشكل عام على العناصر أو المواد التي يكون طولها أكبر أو يساوي (100) مرة من قطرها.

* ليف الأراميد (aramid fiber): ألياف عضوية عالية التكيُّف مشتقة من مادة البولي أميد.

* ليف الكربون (carbon fiber): ألياف الكربون التي تنتج عن تسخين مواد عضوية، والتي تحتوي على كمية كبيرة من الكربون، كالحرير الصناعي، البولي أكريلونيتريل (PAN).

* الليف الزجاجي (glass fiber): هو ليف مصنوع من المنتجات غير العضوية من خلال الانصهار المبرد بلا تبلور.

* محتوى الألياف (fiber content): كمية الألياف المحتواة في مركب ما. ويرمز لها عادة كنسبة حجمية أو نسبة وزنية من المركب.

* البوليميرات المسلحة بالفايبر (fiber-reinforced polymer - FRP): مادة مركبة من ألياف مستمرة مجمعة بمادة بوليميرية تذوب أولاً، ثم تقسى بالشكل المطلوب.

* النسبة الحجمية للألياف (fiber volume fraction): نسبة حجم الألياف في المركب إلى حجم المركب.

* النسبة الوزنية للألياف (fiber weight fraction): نسبة وزن الألياف في المركب إلى وزن المركب.

G

* (GFRP): البوليميرات المسلحة بالألياف الزجاجية.

* الشبكة (grid): مركب ذو أوزان ذرية ثقيلة من أصل عضوي أو معدني، ويحوي عناصر (أو جزيئات) مكررة ومترابطة تشكل مع قضبان الفايبر شبكة متجاورة يمكن استخدامها في تسليح

الخرسانة. وهذه الشبكة يمكن تنفيذها إما من قضبان مترابطة عضويا أو من قضبان فردية مرتبطة آلياً.

H

* الخلطة (hybrid): مزيج من اثنين أو أكثر من الألياف المختلفة في المنشأ، مثل الكربون والزجاج أو الكربون الأراميد.

I

* الحقن (impregnate): حقن البوليميرات المقواة بألياف الفايبر، لتشبع الألياف بالراتنج (الريزين).

M

* المصفوفة (matrix): هي حالة البوليميرات المقواة بالألياف، والمواد التي تعمل على ربط الألياف معاً، ونقل الحمولة إلى ألياف الفايبر، وحمايتهم من العوامل البيئية والأضرار الناجمة عن التعامل معها.

P

* القار (pitch): بقايا سوداء ناتجة من تقطير البترول.

*البوليمير (polymer): مركب ذو أوزان ذرية ثقيلة من أصل عضوي أو معدني ويحوي عناصر (جزيئات) مكررة.

* المادة الأصل (precursor): هي المادة الأساسية للكربون ولألياف الجرافيت والحرير الصناعي PAN أو للألياف المطلية بالقار، والتي تستخرج من ألياف الكربون والجرافيت.

* بولتروسيون (pultrusion): هي عملية مستمرة لتصنيع المركب الذي له شكل مقاوم. تتكون عملية سحب مواد ألياف التسليح من خلال الحقن بحمام ريزين، حيث يتم معالجة الريزين في وقت لاحق.

R

* الريزين (resin): مادة بوليميرية قاسية أو نصف قاسية في درجة حرارة الغرفة وعادة لها نقطة انصهار أو تبلور بدرجة حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة.

S

* تركز الإجهاد (stress concentration): تكبير الإجهادات المحلية في منطقة العزم، أو مناطق الثقوب بالمقارنة مع الإجهادات التي تنتج عن المعادلات العادية للميكانيك.

* إجهاد التثبيت (sustained stress): هو الإجهاد الناتج عن المحافظة على الحمولات (بما في ذلك الحمولات الميتة، وجزء من الحمولات الحية).

T

* الثيرموبلاستيك (thermoplastic): نوع من الريزين الذي يقسى بتخفيض درجة الحرارة ويتلدن بزيادتها.

* الثيرموسيت (thermoset): نوع من الريزين الذي يصب باستخدام الحرارة أو التفاعل الكيميائي ويتحول لمادة غير قابلة للتفاعل أو الانحلال.

V

* استيرات الفينيل (vinyl esters): فئة من الراتنجات التي تقسى بالحرارة التي تحتوي على استر الاكريليك والأحماض الميثاكريليك أو على كليهما معاً. ويصنع الكثير منها من راتنجات الايبوكسي.

W

* النسيج (weaving): ترتيب الألياف متعددة الاتجاهات. كالأنسجة القطبية التي تمتلك خيوط تسليح محيطية وشعاعية ومحورية (طولية). ولتسليحها تنسج الخيوط الديكارتية مع خيوط متعامدة معها بزاوية (90) درجة.

الباب الثاني
المجال والغاية والمفاهيم وأسس التصميم

2 - 1 مجال الكود وتطبيقاته:

2 – 1 – 1 يحدد هذا الملحق من الكود العربي السوري الأحكام والتوصيات الدنيا التي يجب اتباعها في حساب المنشآت الخرسانية المسلحة بقضبان الفايبر (FRP) وتصميمها وتنفيذها وتحقيقها والاختبارات عليها ولا يسمح باستعمالها في العناصر التي تساهم في مقاومة الزلازل لعدم توفر اللدونة في خواصها ولا المناطق من العناصر المعرضة لإجهادات الضغط .

. كما يتضمن طرق الاختبار والتفتيش شرط ألا تكون المنشآت معرضة تعرضاً مستمراً لحرارة تزيد على (50) درجة مئوية، أو تعرضاً متقطعاً لأوقات تزيد على الربع ساعة لحرارة درجتها (70) درجة مئوية، أو لمواد كيميائية ضارة بمواد الخرسانة أو بتسليحها.

2 – 1 – 2 يعتبر هذا الملحق من الكود جزءاً من أنظمة البناء وقوانينه في الجمهورية العربية السورية.

2 – 1 – 3 يطبق هذا الكود على منشآت المباني والمنشآت ذات الطابع الخاص، كالجسور والخزانات والصوامع والوحدات الخرسانية مسبقة الصنع والقشريات وبلاطات الأرضيات والأقنية المائية والقساطل الخرسانية المسلحة، عندما لا تتعارض بنوده مع الميزات الخاصة لهذه المنشآت. وتطبق ملاحق الكود (حين صدورها) المتعلقة بهذه المنشآت على الميزات الخاصة لها.

2 – 1 – 4 تحدد الأفعال من اشتراطات الكود الأساس.

2 – 1 – 5 يجب أن يتولى مهندس نقابي متخصص وخبير مسؤولية أعمال التصميم والحسابات والإشراف على التنفيذ والتحقق، وله أن يستعين بغيره على مسؤوليته.

تستخدم القضبان المصنعة من الفايبر FRP في تسليح العناصر الخرسانية كما تستخدم الكابلات المصنعة من نفس المواد في سبق إجهاد العناصر الخرسانية.

خصص هذا الكود لتوصيف أعمال تسليح العناصر الخرسانية المسلحة المعرضة إلى عزوم انعطاف باستخدام قضبان الفايبر FRP المصنعة من البوليمرات المسلحة بالألياف. ولا يشتمل على

الاشتراطات الخاصة بكافة الأعمال الأخرى المنصوص كمجالات سبق الإجهاد والتدعيم والتطبيقات الخاصة بالعناصر المعدنية والمباني.

2 – 1 – 6 يحدد هذا الكود المتطلبات الدنيا التي يجب مراعاتها في حساب وتصميم وتنفيذ ومراجعة وضبط الجودة وتحقيق كفاءة المنشآت الخرسانية المسلحة باستخدام القضبان المذكورة.

2 – 1 – 7 يجب استيفاء متطلبات حالة حد المقاومة القصوى وحالات حدود التشغيل المنصوص عليها في الكود السوري الأساس لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية، وذلك في جميع الأعمال أو العناصر الخرسانية التي تم تسليحها بالقضبان المصنعة من FRP.

2 – 1 – 8 يجب أن يتولى مهندس نقابي استشاري أخصائي وذو خبرة أي من أعمال التصميم والدراسة والإشراف على التنفيذ ومراقبة الجودة لكافة المنشآت التي تقع في مجال هذا الكود. ويمكن للمهندس المذكور أن يستعين بأحد المتخصصين في هذا المجال على مسؤوليته الخاصة الشخصية.

2 – 1 – 9 يجب أن تكون مواد قضبان الفايبر المستخدمة معلومة المصدر، ولها مستندات موثقة تبين مصدر إنتاجها وخصائصها ودرجات صلاحية استخدامها. كما يجب عدم استخدام أي من تلك المواد أو العناصر إلا بعد إجراء اختبارات قبول لها.

2-2 متطلبات هذا الكود:

تتلخص متطلبات هذا الكود في أن تشكل عناصر المنشأ المختلفة وحدة متكاملة تحقق متطلبات الاستثمار والتشغيل التي نفذ من أجلها، مع تحقيق اشتراطات التشكل والترخيم وحدوث التشرخات المعيبة وفقا للكود السوري للخرسانة، مع توفير معامل أمان كاف ضد التصدع والانهيار وعدم التوازن وعدم الاستقرار وعدم التماسك مع التأكيد بعدم السماح باستعمال هذه القضبان في المقاطع التي تساهم في مقاومة الزلازل لعدم توفر اللدونة في خواصها ولا المناطق من العناصر المعرضة لإجهادات الضغط .

2-3 تركيب البوليميرات المسلحة:

2 – 3 – 1 تمتلك البوليميرات المسلحة بالألياف ومنتجاتها عموماً خصائص فنية واقتصادية تمكننا من استخدامها في مجالات البناء. فهي تمتاز بالمقاومة العالية وخفة الوزن وعدم قابلية الصدأ وسهولة الاستخدام والتنفيذ.

2 – 3 – 2 بسبب الاختلاف في الخصائص الفيزيائية والميكانيكية بين مواد قضبان الفايبر، ظهرت الحاجة لدليل خاص بتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة بهذه القضبان. ويوفر هذا الملحق من الكود ذلك.

2 – 3 – 3 تتكون البوليميرات المسلحة بالألياف عموماً من الألياف والراتنج البوليميري. حيث يتم دمجهما مع بعض إما في الموقع عند الاستخدام أو بعناصر مسبقة الصنع.

2 – 3 – 4 تعتبر ألياف الكربون وألياف الزجاج وألياف الأراميد الأكثر استخداما في مجال البناء. ويستخدم عادةً راتنج الايبوكسي أو راتنج البولي استر في الأعمال المتعلقة بالبوليميرات المسلحة بالألياف. كما تستخدم تلك هذه المنتجات لمقاومة إجهادات الشد التي تتعرض لها العناصر الإنشائية طويلة الأجل (دون استخدامها لمقاومة إجهادات الضغط)، مع الإشارة إلى إمكانية السماح بتعرضها لإجهادات ضغط بصفة ثانوية أو غير دائمة.

2 – 3 – 5 تتكون الوحدات التي يتم معالجتها في الموقع من لفائف من الألياف Sheets يتم تشبيعها موضعيا بالراتنج. ويتم إنتاج الوحدات مسبقة التصنيع كرقائق أو كقضبان أو ككابلات وشرائح مسبقة الإجهاد.

تنتج الوحدات مسبقة التصنيع على هيئة النماذج التالية:

- الرقائق: Laminates
- القضبان: FRP Bars
- كابلات وشرائح سبق الإجهاد: Pre-stressing FRP tendons and strips
- مقاطع إنشائية مشكلة بالسحب: Pultruded FRP sections

كما يمكن أيضا استخدام كابلات وشرائح سبق الإجهاد الخارجي لتلك العناصر.

2-4 أسس التصميم:

2 – 4 – 1 تتأثر خصائص البوليميرات المسلحة بالألياف بعوامل البيئة المحيطة بمرور الزمن نتيجة الزحف والكلل والحرارة المرتفعة والحريق وغيرها من الخصائص. من أجل ذلك يجب أن يؤخذ بالاعتبار في التصميم الإنشائي معاملات الأمان الخاصة التي تأخذ بالاعتبار تلك التأثيرات منفردة أو مجتمعة. ويتناول هذا الكود تقييم تلك التأثيرات والاشتراطات التي يجب مراعاتها في التصميم.

2 – 4 – 2 تستخدم قضبان الفايبر (الألياف) FRP في تسليح العناصر المعرضة لعزوم انعطاف كالجوائز والبلاطات الخرسانية غير المعرضة للزلازل. ولا تستخدم تلك القضبان في تسليح العناصر المعرضة لقوى ضغط كالأعمدة والجدران.

2 – 4 – 3 يستند التصميم على نظرية حالات الحدود الموضحة في الكود السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية. مع التنويه إلى أن الخرسانة المسلحة بقضبان الفايبر FRP لها طبيعة انهيار هشة Brittle (أي تنهار بشكل مفاجئ دون أية مؤشرات سابقة)، بعكس الانهيار المطاوع Ductile في العناصر الخرسانية المسلحة بقضبان الفولاذ. ومن أجل هذا السبب تؤخذ معاملات خفض المقاومة الحدية أعلى من تلك المسلحة بالفولاذ. ويسمح هنا بأن يتم تصميم المقاطع المستطيلة لعناصر الخرسانية المسلحة بقضبان الفايبر بحيث تنهار الخرسانة المضغوطة أولاً. إما بالنسبة للمقاطع غير المستطيلة مثل T, L فيجب زيادة معاملات خفض المقاومة عن القيم المستخدمة في النوعية السابقة نظراً لأن الانهيار المحتمل لتلك المقاطع يكون في قضبان التسليح من FRP. مع التأكيد بعدم السماح باستعمال هذه القضبان في المقاطع التي تساهم في مقاومة الزلازل لعدم توفر اللدونة في خواصها ولا المناطق من العناصر المعرضة لإجهادات الضغط .

الباب الثالث

البوليميرات والقضبان المسلحة بالألياف (قضبان الفايبر)

3 - 1 اعتبارات عامة:

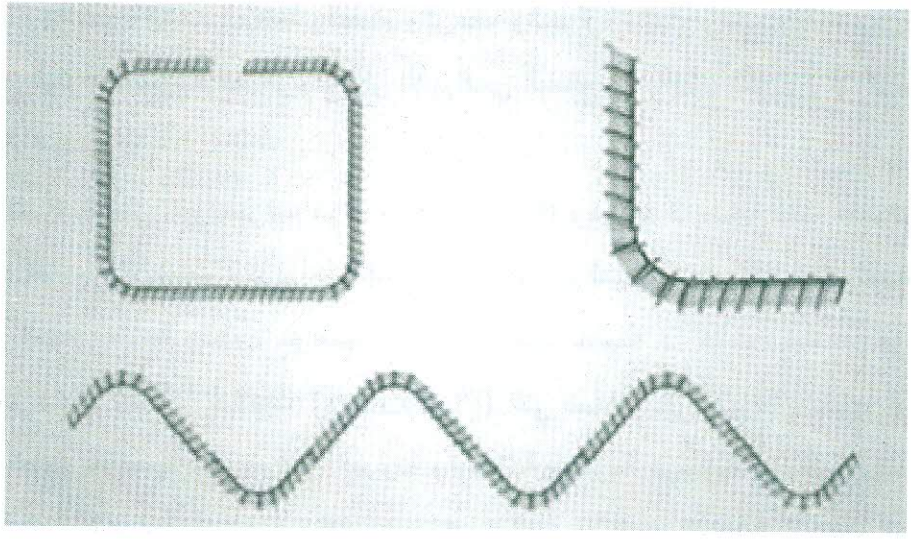
تتباين خصائص البوليميرات المسلحة بالألياف ومكوناتها بحسب المصنع وطرق التصنيع. لذلك تعتبر الخواص المذكورة في هذا الباب عامة واسترشادية، وليس بالضرورة أن تنطبق على جميع المنتجات التجارية. لذلك يجب حين استخدام منتجات البوليميرات المسلحة بالألياف الرجوع إلى المصنع للحصول على الخواص الخاصة بالمنتج. ونظرا لاختلاف خواص المواد باختلاف المصنع، ينصح باستخدام مكونات النظام بأكمله من نفس المصدر في التطبيق الواحد، وعدم خلط ألياف مع بوليميرات أو لواصق من مصادر مختلفة، وذلك لضمان تمام توافق مكونات النظام كيميائياً وميكانيكياً.

3 - 2 المواد المكونة لمنتجات البوليميرات المسلحة بالألياف:

تتكون المواد التي تُنتَج منها البوليميرات المسلحة بالألياف والتي تستخدم في تسليح أو إصلاح أو تقوية العناصر الخرسانية، مما يلي:

- الألياف.
- البوليميرات (الراتنجات).
- اللواصق.
- المعاجين.
- طلاء الحماية.
- مواد الحماية المؤقتة.

ويهتم هذا الجزء من الكود السوري بقضبان تسليح الخرسانة المصنَّع من هذه المواد.



3 – 2 – 1 البوليميرات (أو الراتنجات): Resins

البوليميرات هي مواد ذات وزن جزيئي كبير، تتشكل من مئات الألوف من وحدات متكررة تسمى المونوميرات. وهي تعتبر بوليميرات في حالة لزوجة تقرب من الصمغيات (Gum-Like). وتكون البوليمرات إما لا عضوية يكون أساسها من ذرات السليكون [SI] أو الفوسفور [P] أو الكبريت [S]. أو عضوية ويكون أساسها من ذرات الكربون والهيدروجين.

إن كلمة (البوليمير) هي كلمة عامة يحدد نوعها معامل المرونة (E) كما يلي:

تعتبر البوليميرات لدائن (Elastomers) إذا كان $E < 100\ N/mm^2$

تعتبر البوليميرات ألياف (Fibers) إذا كان $E > 3500\ N/mm^2$

تعتبر البوليميرات بلاستيك (Plastics) إذا كان < 3500 **خطأ! ارتباط غير صحيح.**

يمكن تقسيم البوليميرات عموماً إلى قسمين أساسين حسب سلوكها تحت تأثير الحرارة:

الثرموبلاست (Thermoplast): وهو نوع يلين بالتسخين ويتجمد بالتبريد، ويمكن إعادة تشكيله عدة مرات بتناوب التسخين والتبريد. وتختلف أنواع هذا القسم بسبب تركيبها الذاتي أو إضافة بعض المواد المعينة لها.

الثرموسيت (Thermoset): وهو نوع لا يلين بالتسخين ولكن يتصلب بالتبريد. ويمتاز هذا القسم بخواصه الكهربائية الجيدة وتمتاز البوليميرات التي لا تلين بالحرارة بعد تصلدها والمقواة بالألياف بمقاومة كبيرة للشد والضغط والصدم والزحف والحرارة والماء والكيماويات، ومن أمثلة هذا النوع البولي أستر المسلح بألياف الزجاج، أو الإيبوكسي المسلح أما بألياف الكربون أو ألياف الزجاج أو ألياف الأراميد.

تضاف أحياناً إلى البوليميرات مواد مالئة (Fillers) وهي مواد صلبة ذات مقاسات صغيرة مثل الرمل الناعم والأسمنت وكربونات الكالسيوم والميكا والسيلكا وغيرها. حيث تضاف بهدف خفض ثمن المادة المنتجة وتعديل خواصها وزيادة مقاومتها خاصة إذا كانت ستستخدم في أغراض إنشائية. كما أنه قد تضاف الملدنات (Plasticizers) التي تساعد على سهولة تشكيلها أو إضافات تعمل على تعديل خواصها مثل خواص المرونة والصلابة ومقاومة الرطوبة أو مقاومة الفطريات أو تحسين الخواص الكهربية أو مقاومة الحريق، وقد تستخدم الأكاسيد المعدنية لإضفاء ألوان معينة للبوليمير المنتَج.

3 – 2 – 2 أنواع البوليميرات:

من أشهر أنواع البوليميرات راتنجيات الإيبوكسي Epoxy Resins وراتنجيات البوليستر Polyester Resins ورتنجيات الفينيلستر Vinylester Resins.

يوضح الجدول (3-1) التالي الخواص الميكانيكية لبعض البوليميرات المستخدمة لتسليح الألياف وأهمها مقاومة الشد ومعامل المرونة والانفعال الأقصى عند الانهيار. مع الإشارة إلى أن هذه القيم استرشادية.

الجدول(3-1) الخواص الميكانيكية الاسترشادية للبوليميرات

نوع البوليمير	الوزن النوعي kN	مقاومة الشد N/mm^2	معامل مرونة الشد kN/mm^2	الاستطالة القصوى %
ايبوكسي	1.1 – 1.4	50 - 90	3	2 - 8
بوليستر	1.2	50 - 65	3	2 - 3
فينيلستر	1.15	70 - 80	3.5	4 - 6

3 - 3 قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف (قضبان الفايبر):

3 – 3 – 1 مجال الاستخدام والتطبيقات

يجب أن تؤخذ خصائص مواد البناء بالحسبان لتحديد فيما لو كان من المناسب استخدامها أم لا.

تعتبر خاصية مقاومة الصدأ التي يتمتع بها تسليح الفايبر ذات فائدة كبيرة، وخاصةً للمنشآت التي تتعرض لظروف بيئية تسبب الصدأ كالجدران البحرية والمنشآت البحرية وبلاطات الجسور والمنشآت السطحية التي تتعرض لأملاح قابلة للانحلال أو طبقات التغطية التي تحوي أملاح قابلة للانحلال. مع التأكيد بعدم السماح باستعمال هذه القضبان في المقاطع التي تساهم في مقاومة الزلازل لعدم توفر اللدونة في خواصها ولا المناطق من العناصر المعرضة لإجهادات الضغط .

تمتاز قضبان الفايبر بكونها لا يؤثر بالحقول الكهربائية أو المغناطيسية. وتعد هذه الخاصية هامة وخاصةً في المنشآت الحاوية على تجهيزات طبية كالتصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) أو أي تجهيزات ذات حقول كهرومغناطيسية أخرى. لذلك يجب أن يقتصر استخدام تسليح الفايبر على المنشآت التي تستفيد من خصائص عدم الصدأ والشفافية المغناطيسية والعازلية الكهربائية.

لا تمتلك قضبان تسليح الفايبر سلوكاً مطاوعاً كقضبان الفولاذ، إلا أنها تمتلك مقاومة مرتفعة جداً للشد. ويوضح الجدول (3-2) أدناه بعض مزايا ومساوئ هذه القضبان عند استخدامها كتسليح للمنشآت الخرسانية.

الجدول (3-2) ــ مزايا وعيوب قضبان الفايبر المستخدمة في تسليح الخرسانة

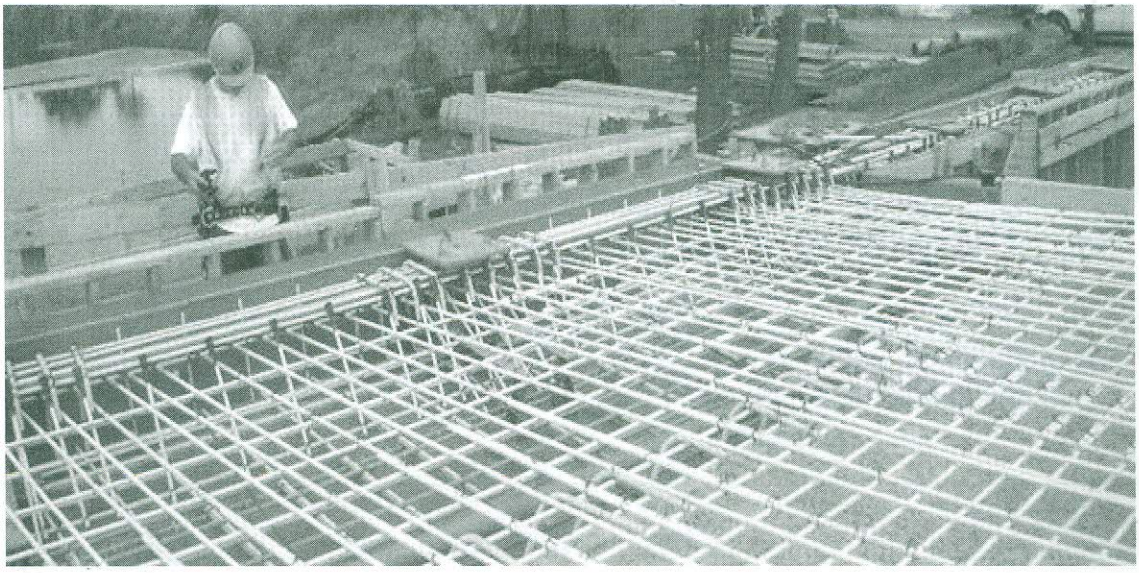
مساوئ تسليح الفايبر	مزايا تسليح الفايبر
لا تسلك سلوكاً مطاوعاً قبل الان مقطع.	مقاومة الشد الطولية مرتفعة (تتعلق باتجاه الحمولة بالنسبة للألياف).
المقاومة العرضية ضعيفة (تتعلق باتجاه الحمولة بالنسبة للألياف).	مقاومة للصدأ (لا تتعلق بسماكة التغطية).
ذات معامل مرونة منخفض (يختلف بحسب نوع الألياف المستخدمة).	ليس لها خصائص مغناطيسية.
تتأثر بالتعرض للأشعة فوق البنفسجية.	تتحمل التعب بشكل مرتفع (يتعلق بنوع الألياف).
قابلية الاستمرار بالعمل لبعض ألياف في البيئة الرطبة أو في البيئة القلوية ضعيفة.	خفيفة الوزن (بين ربع وخمس كثافة الفولاذ).
معامل التمدد حراري مرتفع للجهة العمودية على الألياف مقارنة بالخرسانة.	ناقلية كهربائية وحرارية منخفضة (لألياف الأراميد والزجاج).
قد تتأثر بالنار بحسب نوع المادة الرابطة وسماكة التغطية الخرسانية.	ــ

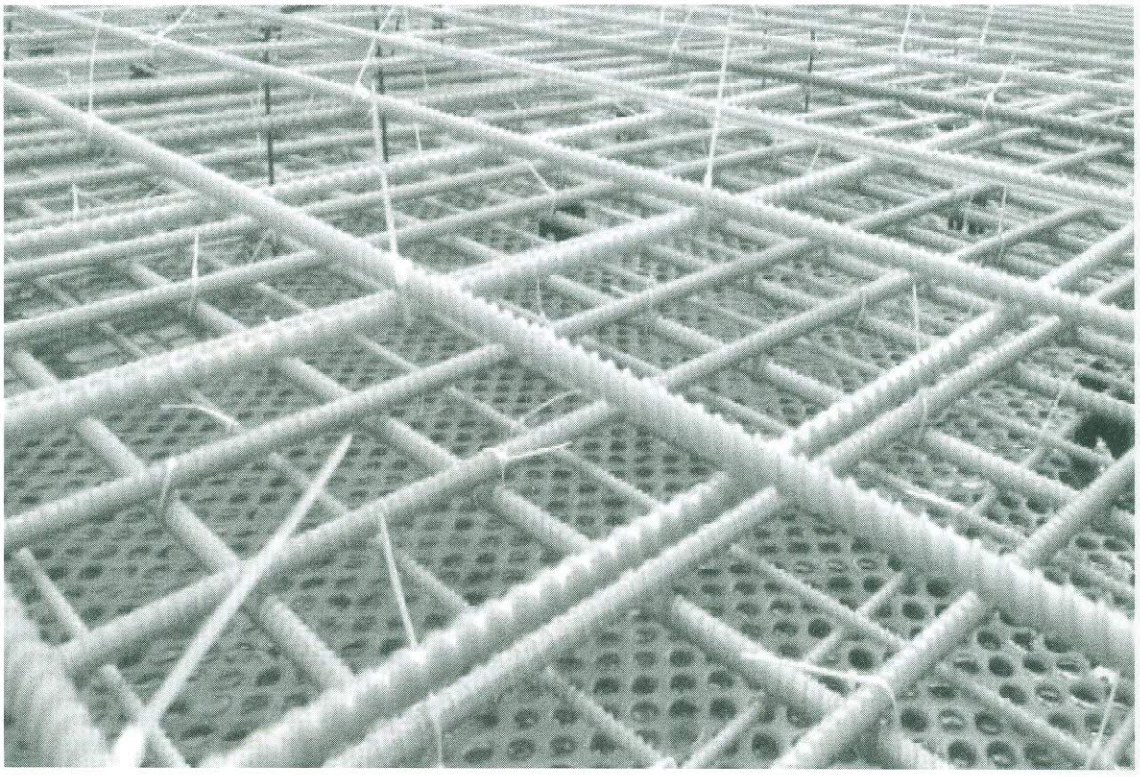
تعتمد قضبان الفايبر معامل مرونة الشد. لذلك لا تستخدم كتسليح للأعمدة أو كتسليح ضغط في العناصر المعرضة للإنحناء ولا في العناصر المعرضة للزلازل.

3 – 3 – 2 مقارنة بين قضبان الفايبر (FRP) وقضبان الفولاذ ومجال الاستخدام:

تطور في بداية القرن الحادي والعشرين إنتاج قضبان البوليميرات المسلحة بالفايبر التي يرمز لها بالرمز (FRB) والتي تستخدم في تسليح الخرسانة، كمادة منافسة لقضبان الفولاذ. فلاستخدام هذه القضبان محاسن ومساوئ بالمقارنة مع القضبان الفولاذية.

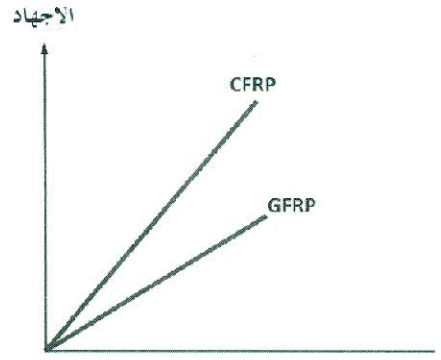
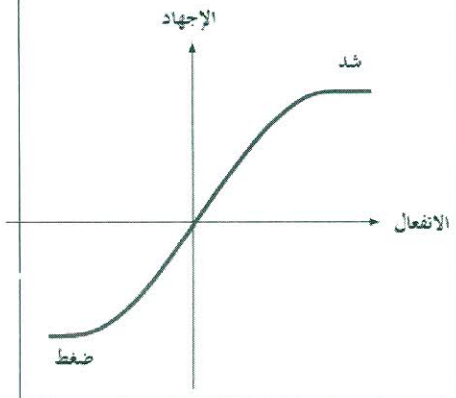
يبين الجدول (3 - 3) التالي بعض المقارنات بين قضبان الفايبر وقضبان الفولاذ التي تحددها معايير الكود السوري.





الجدول (3-3) ــ مقارنة بين قضبان الفايبر وقضبان الفولاذ وفق معايير الكود السوري.

نوع المقارنة	قضبان الفايبر(FRP)	قضبان الفولاذ التقليدية
البنية	مجموعة من الألياف الطولية المجمعة ضمن مادة رابطة (matrix) بشكل قضبان تسليح وقد تكون الألياف من مواد مختلفة كألياف الكربون والألياف الزجاجية وألياف الأراميد وكذلك للمادة الرابطة أنواع مختلفة كالريزين والبوليميرات.	حديد مصهور مع نسبة كربون تعطيه قساوة. ويتمتع بروابط معدنية بين جزيئاته.
الشكل	يمكن أن تكون قضبان محلزنة أو ملساء أو ذات سطح خشن وغالباً تكون ذات لون أصفر أو ألوان فاتحة.	محلزنة أو ملساء بلون رمادي معدني قد يميل للأحمر عند الصدأ.
الأنواع الأكثر استخداما	البوليميرات المسلحة بالألياف الزجاجية (GFRP) البوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية (CFRP) البوليميرات المسلحة بألياف الأرميد (AFRP) وهناك العديد من الأنواع والتركيبات الأخرى.	الفولاذ القاسي واللين ويمكن توفر أنواع مختلفة حسب الإضافات ونسب المواد الكيميائية عند الصنع.
الوزن الحجمي (kg/m^3)	GFRP:1250 - 2100 CFRP:1500 - 1600 AFRP:1250 - 1400 يتراوح وزن قضبان الفايبر بين (20% - 25%) من وزن فولاذ التسليح.	7800 -7900
الناقلية الكهربائية	غير ناقلة للتيار الكهربائي (عازلة). ويستثنى منها ألياف الكربون ذات الناقلية المنخفضة (نصف ناقل GFRP –).	ناقلة للتيار الكهربائي
التأثير على الحقول المغناطيسية	لا تؤثر بالحقول المغناطيسية(شفافة مغناطيسياً) لهذه الصفة أهمية عند وجود تجهيزات ذات خصائص مغناطيسية كالأجهزة الطبية وأجهزة الاتصالات.	تؤثر بالحقول المغناطيسية
مقاومة الشد عند الانقطاع (kg/cm^2)	GFRP: 4830 - 16000 CFRP: 6000 - 36900 AFRP: 17200 - 25400	3700: طري 4400: متوسط المقاومة 5000: عالي المقاومة
إجهاد الخضوع (kg/cm^2) عند استطالة 20%	لا يوجد بسبب عدم وجود عتبة لدونة.	2400: طري 3000: متوسط المقاومة 3700: عالي المقاومة
معامل المرونة (kg/cm^2) E	GFRP:350000 -510000 CFRP:1200000 -5800000 AFRP:410000 -1250000	2100000

نوع المقارنة	قضبان الفايبر(FRP)	قضبان الفولاذ التقليدية
الاستطالة ε عند الانمقطع (%)	GFRP:1.2 - 3.1 CFRP:0.5 - 1.7 AFRP:1.9 - 4.4	20: طري 16: متوسط المقاومة 10: عالي المقاومة
التجانس	غير متجانسة فلها خصائص مختلفة بين الاتجاه الطولي والعرضي (ANISOTROPIC).	متجانسة في كل الاتجاهات أي لها خصائص واحدة في الاتجاه الطولي والعرضي ISOTROPIC
معامل التمدد الحراري الطولي $\alpha_l \times 10^{-6}\ ^oC$	GFRP: -10 to -6 CFRP: -9 to 0 AFRP: -2 to -6 تعني الإشارة السالبة تقلص المادة بارتفاع الحرارة	11.7
معامل التمدد الحراري العرضي $\alpha t \times 10^{-6}\ ^oC$	GFRP: 21 to 23 CFRP: 74 to 104 AFRP: 60 to 80 تمدد عرضي كبير وله تأثيرات تصميمية	11.7
منحني الإجهاد/الانفعال		
طريقة الانهيار	مرحلة مرنة فقط, تنتهي بانمقطع متوالي للألياف المكونة للقضيب ثم بانمقطع كامل ولا يظهر القضيب أي سلوك لدن يذكر (هناك بعض القضبان المطورة ذات عتبة لدونة. لكنها ما زالت تحت الدراسة وهي ذات تكلفة مرتفعة).	مرحلة مرنة ثم يدخل في مرحلة انتقالية (مرنة / لدنة) ثم إلى مرحلة اللدونة حيث تستمر التشوهات رغم ثبات الإجهاد (عتبة اللدونة) ثم يصل لمرحلة الانمقطع.
اللدونة والمطاوعة	ليس لها سلوك مطاوع وبالتالي لا تعطي إنذارات مسبقة عن فشل العناصر الإنشائية وغير مناسبة لتسليح الإطارات وجدران القص وبالتالي غير مناسبة لمقاومة الزلازل. والعناصر المسلحة بها لا تقوم بإعادة توزيع العزوم الداخلية ويجب أخذ ذلك بعين الاعتبار عند إجراء التحليل الإنشائي للعناصر غير المقررة.	تسلك سلوك مطاوع تجعلها مناسبة لتسليح العناصر المقاومة للزلازل كالإطارات وجدران القص ودخولها بمرحلة اللدونة يعطي إنذارات مسبقة عن فشل العناصر الإنشائية.

نوع المقارنة	قضبان الفايبر(FRP)	قضبان الفولاذ التقليدية
مقاومة التآكل	مقاومة ممتازة للرطوبة والأحماض والأوساط القلوية مقارنة بفولاذ التسليح ولكن التعرض المستمر للأوساط المخرشة عند التخزين. قد يؤدي لنقصان أو زيادة في المقاومة والقساوة. وبالتالي فإن نتائج الاختبارات قد تتأثر أو تتفاوت بحسب البيئة التي تم تخزين القضبان فيها.	تتأثر بالرطوبة وتتآكل بفعل الأحماض مما قد يؤدي لانخفاض شديد في مقاومة القضبان.
مقاومة الوسط القلوي	الأوساط القلوية (تخفض قيمة PH =11.5 – 13) من مقاومة الشد لقضبان الفايبر كما يلي: GFRP: 0% - 75% CFRP: 0% - 20% AFRP: 10% - 50%	لا تتأثر بالأوساط القلوية
مقاومة الوسط الحمضي	لا تتأثر بالأوساط الحمضية	تتأثر بشكل كبير
التخزين في العراء	تتأثر بالأشعة فوق البنفسجية (الشمس) والرطوبة مما يخفض من مقاومة الشد والترابط الداخلي بين الألياف والمادة الرابطة.	لا تتأثر بالشمس ولكن الرطوبة والهواء يؤديان للصدأ.
مقاومة الضغط	لا ينصح باستخدامها في العناصر المعرضة للضغط كالأعمدة أو الجوائز المسلحة على الضغط (تسليح ثنائي) فقد يحصل انهيار موضعي ضمن القضيب مما يضعف من مقاومته.	يستخدم في تسليح العناصر المضغوطة.
مقاومة إجهادات القص	يتم مقاومتها من خلال أساور مصنعة مسبقاً في المصنع وتأتي بأبعاد محددة ولا يمكن ثني القضبان لتشكيلها في موقع العمل.	يتم مقاومتها من خلال أساور تصنع في موقع العمل عبر ثني قضبان بأقطار صغيرة (10 - 8 – 6).
ثني القضبان (العكفات والأساور)	لا يمكن ثنيها في موقع العمل وتأتي مثنية مسبقاً من المصنع بزوايا وأشكال متعددة. الانعطاف الأدنى لقضيب الفايبر يساوي (4 - 3.5) أضعاف قطر القضيب. تعاني المنطقة المثنية من انخفاض في مقاومة الشد بمقدار (50 - 40)%.	يمكن ثني وتشكيل العكفات والأساور بسهولة في موقع العمل. النقص في مقاومة الشد بسبب الثني قليل مقارنة بالفايبر.
تأمين استمرارية التسليح	لا يمكن استخدام الروابط الميكانيكية أو اللحام حيث يؤدي لأذية القضبان ويستعاض عنها بأطوال التراكب.	يمكن استخدام اللحام أو الوصلات الميكانيكية أو أطوال التراكب

نوع المقارنة	قضبان الفايبر(FRP)	قضبان الفولاذ التقليدية
التراكب مع أنواع أخرى من قضبان التسليح	يمكن تراكب تسليح GFRP مع الفولاذ العادي. لا يمكن تراكب CFRP مع الفولاذ بسبب التآكل الشاردي الذي قد يحصل.	يمكن بشرط عدم حدوث تآكل.
قص وتقطيع القضبان	يجب استخدام أداة قطع ميكانيكية (الصاروخ) وفي حال عدم توفرها يستخدم أداة قطع حادة مع وضع القضيب بشكل مسنود عند منطقة القطع حتى لا تخريب في بنية القضيب بسبب إجهادات قطع القضبان. ويجب على عامل التقطيع أن يلبس نظارات واقية نظراً لتطاير أجزاء من الألياف عند القطع.	يمكن تقطيعها بالأدوات التقليدية المعروفة.
روابط التجميع والكراسي	يجب أن تكون أسلاك الربط من مواد مقاومة للتآكل (بلاستيك / فايبر) وكذلك الكراسي عند استخدام CFRP أما مع CFRP فيمكن استخدام الروابط المعدنية.	يمكن استخدام أي نوع من الروابط بشرط ضمان الثبات.
سماكة التغطية	نفس السماكة بحالة الفولاذ ولكن يجب الانتباه لكون قضبان الفايبر ذات معامل تمدد حراري عرضي كبير وكذلك يجب زيادة السماكة عند وجود خطر الحرائق.	يمكن الرجوع للكود السوري.
معاملات خفض عند استخدام الطريقة الحدية	$\phi = 0.65$ على الضغط $\phi = 0.55$ على الشد $\phi = 0.50$ على القص أو الفتل	$\phi = 0.65$ على الضغط $\phi = 0.7 - 0.9$ على الشد $\phi = 0.75$ على القص أو الفتل
الكودات المستخدمة	معايير المنشآت البيتونية (ACI 117) دليل تحديد مقاومة الحريق للعناصر البيتونية (ACI 276R) تصميم البلاطات الملامسة للتربة (ACI 360R) التقرير الفني عن المنشآت البيتونية المسلحة بقضبان الفايبر(ACI 440R) دليل تجارب التحقق من العناصر البيتونية المسلحة أو المدعمة بالفايبر (ACI440.3R) كود المنشآت البيتونية مسبقة الإجهاد بقضبان الفايبر (ACI 440.4R) الكودات الروسية الكودات الكندية دليل تصميم المنشآت البيتونية المسلحة بقضبان الفايبر(ACI 440.1R- 06) كودات أخرى كالفرنسية والأسترالية	الكود السوري والكودات الأمريكية وغيرهم الكثير...

نوع المقارنة	قضبان الفايبر(FRP)	قضبان الفولاذ التقليدية
	وغيرها. مع التأكيد بعدم السماح باستعمال هذه القضبان في المقاطع التي تساهم في مقاومة الزلازل لعدم توفر اللدونة في خواصها ولا المناطق المعرضة لإجهادات ضغط.	
مقاومة الحرارة والاحتراق	لا ينصح باستخدامها في المنشآت ذات الاحتمال الكبير لحدوث الحرائق. بينت التجارب أن تعرض قضبان GFRP,CFRP لدرجات حرارة أعلى من 250°C يسبب انخفاض في مقاومة الشد بمقدار 20%. ارتفاع درجة الحرارة يؤدي لانخفاض قوى الترابط بين الألياف ضمن القضيب ويضعف الارتباط بين القضبان والبيتون بمقدار(20~40%) عند حرارة (60~124°C) وتصل حتى (80%) عند درجة حرارة (200°C).	ارتفاع درجة الحرارة بشكل كبير يؤدي لانخفاض في معامل المرونة ولكن تبقى درجة الحرارة الحدية أعلى بكثير من قضبان الفايبر.
التعامل مع القضبان	يجب لبس كفوف العمل عند الامساك بالقضبان حيث يمكن لألياف الفايبر أن تخترق الجلد بسهولة. وعند تقطيع القضبان يجب لبس النظارات الواقية للأعين حيث يشكل تطاير الألياف خطراً على العين.	مقارنة بالفايبر فإن مخاطر التعامل المباشر مع القضبان الفولاذية قليلة.
التخزين	يجب تجنب وضع القضبان مباشرة على الأرض وكذلك تجنب تعرضها لأشعة الشمس المباشرة ويفضل تخزينها في مستودعات قليلة الرطوبة ومغلقة.	يفضل تخزينها في أماكن مغلقة قليلة الرطوبة ولكنها لا تتأثر بأشعة الشمس.

من خلال المقارنات السابقة يصلح استخدام قضبان الفايبر فقط في بعض عناصر المنشآت التالية: مع التأكيد بعدم السماح باستعمال هذه القضبان في المقاطع التي تساهم في مقاومة الزلازل لعدم توفر اللدونة في خواصها ولا المناطق المعرضة لإجهادات ضغط.

1. **في بعض عناصر المباني غير المساهمة في مقاومة الزلازل و المكونة من ثلاثة طوابق أو أقل كمباني الفيلات ومساكن الإيواء والشاليهات، وبيوت الحراسة والمستودعات والهنغارات.**

2. **في بعض الأساسات المنفردة والمشتركة والمستمرة** لبعض العناصر الإنشائية غير المساهمة في مقاومة الزلازل و المناطق غير المعرضة لإجهادات ضغط.

3. **القساطل البيتونية للتمديدات المختلفة.**

4. **العبارات والمنشآت الرطبة.**

5. **المنشآت التي لا تحتاج لدراسة زلزالية أو حرارية.**

6. **الأرضيات والبلاطات الملامسة للتربة.**

7. **جسور المشاة.**

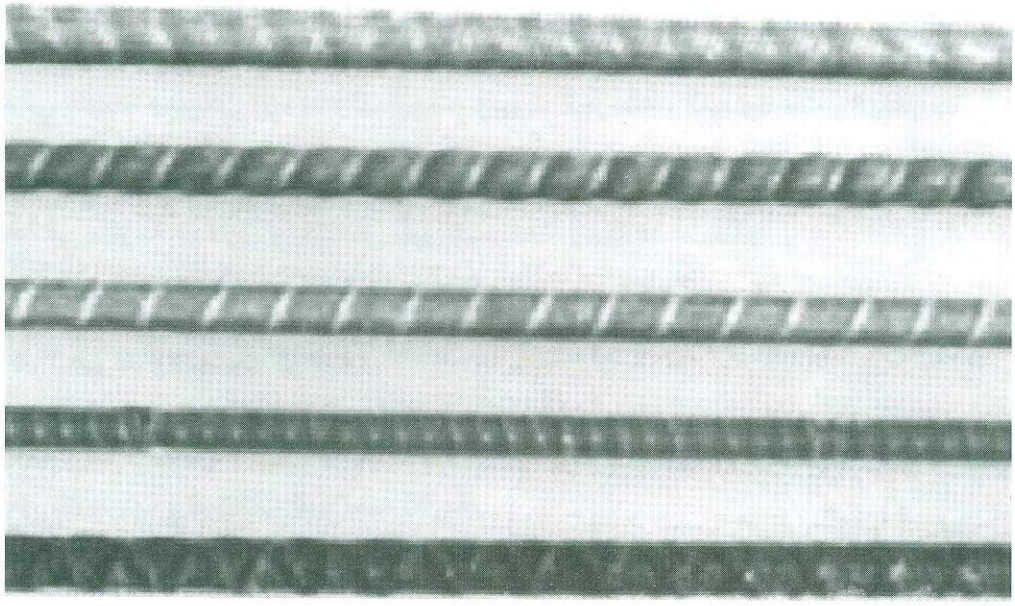
8. **الأنفاق الصغيرة.**

9. **كافة المنشآت الأخرى التي تكون فيها الإجهادات الرئيسية إجهادات شد** مع التأكيد بعدم السماح باستعمال هذه القضبان في المقاطع التي تساهم في مقاومة الزلازل ولا تستعمل في المناطق المعرضة لإجهادات ضغط.

3 – 3 – 3 قضبان الفايبر المتوفرة تجارياً:

تتم صناعة تسليح قضبان الفايبر المتوفر في السوق من مواد مصنعة من الأراميد المتصل (continuous aramid FRP- AFRP)، ألياف الكربون (carbon FRP- CFRP)، أو ألياف (GFRP) والذي هو جزأ لا يتجزأ من مصفوفة المعالجة بالراتنج حسب الكود (ACI 440R).

تكون منتجات التسليح بالألياف النموذجية إما شبكات (grids) أو قضبان (bars) أو أنسجة (fabrics) أو من حبال (ropes). وبالنسبة للقضبان فهناك أشكال مختلفة من مقاطعها (المربع، الدائري، المصمت، المجوف) وأنظمة التشكيل (ألياف الفايبر المحززة خارجياً exterior wound fibers أو المغلفة بالرمل sand coatings أو المعدلة بالسحب separately formed deformations). ويبين الشكل (1.2) الفرق الواضح بين خمس عينات من قضبان تسليح الفايبر (GFRP).



الشكل (1.2) نماذج لقضبان التسليح من الفايبر المتوفرة تجارياً

3 – 3 – 4 مقاومة الشد ومعامل المرونة لقضبان الفايبر:

تصنع قضبان التسليح من البوليمرات المسلحة بالألياف بأقطار مختلفة لا تقل مقاومة للشد فيها عن ($400\ N/mm^2$). وقد تصنع بمقاومة شد أعلى كما هو موضح بالجدول (3-4) كقيم استرشادية.

الجدول (3-4) ــ مقاومة الشد لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف (قيم استرشادية)

ماركة القضبان	مقاومة الشد
قضبان الفايبر المسلحة بألياف الزجاج GFRP	$f_u \geq 400$ Mpa
قضبان البوليمرات المسلحة بألياف الأراميدAFRP	$f_u \geq 500$ Mpa
قضبان البوليمرات المسلحة بألياف الكربون CFRP	$f_u \geq 2000$ Mpa

من أجل التصميم يمكن للمهندس اختيار أية مقاومة للقضبان تتراوح بين بين F60 و F300 دون الحاجة لاختيار أي نوع تجاري معين من قضبان الفايبر. ويجري الاختبار وفقاً لما ورد في ملحق هذا الكود.

من أجل تحديد المقاومة يمكن تحديد معامل المرونة من خلال خواص المنتج. على أنه يجب اختيار أصغر معامل مرونة لكل نوع من أنواع الألياف. حيث يمكن للمهندس المصمم أن يختار أصغر رتبة معامل المرونة والتي تكون مناظرة لنوع الألياف المستخدم في التسليح.

يلخص الجدول (3-5) التالي قيم معامل المرونة الدنيا كقيم استرشادية للأنواع المختلفة من قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف. يجب قياس قيمة انفعال الكسر لكل قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف من خلال اختبار الشد.

الجدول (3-5) ــ معامل المرونة الأدنى لقضبان الفايبر (قيم استرشادية)

نوع القضبان	رتبة معامل المرونة
قضبان الفايبر المسلحة بألياف الزجاج GFRP	40
قضبان البوليمرات المسلحة بألياف الأراميدAFRP	70
قضبان البوليمرات المسلحة بألياف الكربون CFRP	110

3 – 3 – 5 مقاسات القضبان وتمييزها وخصائصها المختلفة:

3 – 3 – 5 -1 مقاسات القضبان:

يكون القطر الإسمي لقضيب الفايبر ذي النتوءات مكافئاً لنفس القضيب الأملس المستدير الذي له نفس المساحة. وفي القضبان ذات المقطع غير الدائري كالقضبان المربعة مثلاً، أو القضبان ذات المقطع المفرغ، فإن القطر الإسمي في هذه الحالة يكون مكافئا للقضيب المصمت الذي له نفس المساحة على أنه يجب أن يعطى أقصى بعد خارجي للقضيب بالإضافة إلى القطر الإسمي المكافئ.

3 – 3 – 5 -2 تمييز القضبان:

يجب أن يرفق المنتج مع القضبان المورَّدة وثيقة تميز أنواع القضبان ومقاساتها. وذلك من خلال وضع بطاقة على الحاوية أو الحزمة، مدون عليها المعلومات الآتية:

ــ **رمز تمييز المنتج:** وهو حرف يميز نوع الألياف (g للزجاج، C للكربون، A أراميد أو D نظام مختلط) ملحق به الرقم المناظر للمقاس الإسمي للقضيب المسمى (المميز) طبقا لمواصفات بلد المنشأ.

ــ علامة تميز مقاومة للشد.

ـ علامة تميز رتبة معامل المرونة للقضيب.

في القضبان غير التقليدية (مقطع القضيب مفرغ أو مضلع) توضع علامة تميز القطر الخارجي أو أقصى بعد خارجي. كما يجب أن تضاف رتبة التماسك عندما يكون هناك تصنيف لهذه القضبان.

*** مثال لتوضيح رموز التمييز:**

العلامة /XXX-G-#-4-F60 E 6.0 / وتعني هذه الرموز ما يلي:

G # 4 : قضيب مسلح بألياف الزجاج رقم 13 (القطر الإسمي 12.07 mm)

F 60 : رتبة المقاومة على الأقل $400\ N/mm^2$

E6.0 : رتبة معامل المرونة على الأقل $40\ N/mm^2$

في حالة القضبان ذات الأشكال غير التقليدية أو المفرغة، يجب أن تضاف تعريفات أكثر لرموز التمييز كما هو موضح مثل: XXX G # 4 F 100 E6.0 0.16

حيث تعبر 0.16 عن أقصى بعد خارجي.

يجب أن تستخدم العلامات في موقع التنفيذ للتحقق من أنواع ورتبة ومقاسات القضبان.

3 – 3 – 6 قص وثني قضبان الفايبر (البوليميرية المسلحة بالألياف):

3 – 3 – 6 – 1 قص القضبان طولياً:

تقطع القضبان بالطول المطلوب من الأطوال الموجودة في موقع التنفيذ أو موقع التصنيع.

3 – 3 – 6 – 2 ثني القضبان:

يجب أن ينفذ ثني قضبان الفايبر المصنعة من راتنج الثرمونت قبل التصلب الكامل للراتنج. حيث يستحيل ثني هذه القضبان أو تعديل شكلها بعد حدوث التصلب نتيجة القساوة الطبيعية التي تكتسبها القضبان بعد التصلد. وكذلك فإن تسخين القضبان غير مسموح به لأنه يؤدي إلى تفكك أو تحلل الراتنج وبناء عليه فقدان مقاومة البوليمرات المسلحة بالألياف.

تختلف مقاومة القضبان المثنية بدرجة كبيرة عن القضبان المستقيمة لنفس النوع من الألياف. لأن مقاومة القضبان المثنية تعتمد على طريقة الثني ونوع الراتنج. لذلك فمقاومة الجزء المثني

عموما يجب أن تخفض اعتمادا على الاختبارات المناسبة التي تجري طبقا لطريقة الاختبار المذكورة في ملحق هذا الكود.

يمكن أن تثنى القضبان التي لم تتصلب بشكل كامل شريطة تجنب الزوايا الحادة التي تتلف الألياف، بحسب شروط المصنِّع.

3 – 3 – 7 الخواص الطبيعية لقضبان الفايبر (البوليميرية المسلحة بالألياف):

3 – 3 – 7 – 1 الكثافة:

تكون كثافة قضبان الفايبر من رتبة 1.2×10^{-3} g/mm^3 وهي تعادل سدس إلى ربع كثافة قضبان الفولاذ، فهي تتراوح بين (1.25 – 2.1 g/cm^3 = 77.8 – 131.3 ib/ft^3) كما هو موضح في الجدول (3-6) التالي. وهذا الانخفاض في الوزن يؤدي إلى تكاليف نقل أقل وكذلك سهولة مناولة القضبان في موقع العمل.

الجدول (3-6) ــ كثافة قضبان التسليح المختلفة kg/m3 (قيم استرشادية)

الفولاذ	قضبان ألياف الزجاج	قضبان ألياف الكربون	قضبان ألياف الأراميد
7850	1250 - 2100	1500 - 1600	1250 - 1400

3 – 3 – 7 – 2 معامل التمدد الحراري

يختلف معامل التمدد الحراري لقضبان الفايبر في الإتجاهين الطولي والعرضي طبقاً لنوع الألياف ونوع الراتنج ونسبة كثافة الألياف في واحدة الحجم. حيث يتأثر معامل التمدد الحراري في الاتجاه الطولي غالباً بخواص الألياف، بينما يتأثر معامل التمدد الحراري في الإتجاه العرضي بخواص الراتنج. ويوضح الجدول (3-7) التالي قيم معامل التمدد الحراري الطولي والعرضي لقضبان الفايبر مقارنة بقضبان الفولاذ.

الجدول (3-7) معامل التمدد الحراري لقضبان التسليح المختلفة* (قيم استرشادية)

الاتجاه	معامل التمدد الحراري $\times 10^6$ °C			
	الفولاذ	قضبان ألياف الزجاج	قضبان ألياف الكربون	قضبان ألياف الأراميد
الطولي α_L	11.7	6 to 10	0 to -9	-22 to -26
العرضي α_T	11.7	21 to 23	74 to 104	60 to 80
اعتمدت قيم هذا الجدول لكثافة ألياف بالحجم تتراوح بين (50% – 70%) من الحجم.				
* تدل القيم السالبة لمعامل التمدد الحراري على أن المادة تنكمش بزيادة الحرارة وتتمدد بانخفاض الحرارة. ** يمكن الاستئناس لقيم الخرسانة باعتبار أن معامل التمدد الحراري فيها (7 – 11 x 10-6 °C) ودائما يفترض أنها ذات خواص موحدة في جميع الإتجاهات Isotropic				

3 – 3 – 7 – 3 تأثير درجات الحرارة المرتفعة على قضبان الفايبر:

لا تستخدم قضبان الفايبر في المنشآت التي يمكن أن تتعرض للحريق لأن الألياف تتأثر بالحرارة المرتفعة.

يرمز عادةً لدرجة الحرارة التي يبدأ عندها التغير في التركيب الفيزيائي للبوليمر بالرمز (T_g) (Glass-Transition-temp). وعند الوصول إلى هذه الدرجة يتأثر معامل مرونة القضبان وتحدث تغيرات في تركيبه الجزيئي. تعتمد قيمة (T_g) على نوع الراتنج. وهي تتراوح بين (60 – 82 °C) في المواد المركبة. حيث تكون خصائص الألياف الحرارية أعلى من الراتنج، لذلك يمكن أن تستمر بقدرتها على حمل بعض الأحمال في الاتجاه الطولي. في حين أن خواص الشد للمركب كله تقل كنتيجة للنقص في قوى التماسك المنقولة بين الألياف والراتنج.

تكون خصائص البوليمر (في الخرسانة المسلحة بقضبان الفايبر) عند سطح القضيب أساسية للحفاظ على التماسك بين القضبان والخرسانة. وتنخفض الخصائص الميكانيكية للبوليمر بدرجات ملحوظة عند درجة حرارة قريبة جدا من (T_g)، ويكون البوليمر غير قادر على نقل الإجهادات من الخرسانة إلى الألياف.

أظهرت الدراسة المجراة على القضبان التي لها (T_g = 60 – 124 °C) نقصاً في مقاومة التماسك باختبار الإقتلاع (Pull out) يتراوح بين (20% – 40%) عند درجة الحرارة المذكورة.

وبلغ هذا النقص (80% – 90%) عند درجة حرارة (200 °C). كما أن القضبان تنهار على الشد عندما تتراوح درجة الحرارة بين (250 – 350 °C).

يحدث انهيار المنشأ عند فقدان التماسك، لأن قوام البوليمر يصبح ليناً. أو إذا ارتفعت درجة الحرارة فوق الدرجة المسموح بها للألياف نفسها، وفي هذه الحالة يظهر الانهيار عند درجة حرارة حوالي 980 °C بالنسبة لألياف الأراميد أما ألياف الكربون فهي قادرة على تحمل درجة حرارة حتى 1600 °C. وقد وجد أن سلوك ومدى تحمل المنشآت الخرسانية المسلحة بقضبان من الفايبر والمعرضة للحريق أو درجات حرارة عالية مازالت تحت الدراسة.

3 – 3 – 8 الخواص الميكانيكية لقضبان الفايبر:

تختلف الخواص الميكانيكية لقضبان الفايبر بين منتج لآخر بدرجة كبيرة. حيث توجد عدة عوامل لها تأثير كبير على الخواص الفيزيائية والميكانيكية، كنوع الألياف ونسبة محتوى الألياف الحجمي (كثافة الألياف) ونوع الراتنج واتجاه الألياف والأبعاد وضبط الجودة وطريقة التصنيع... ويجب أن تطابق هذه الخواص المواصفات القياسية المطبقة في بلد المنشأ. وتعطى للقضبان علامة مميزة مع اختلاف الرتب طبقا لخواصها الهندسية كمقاومة الشد ومعاملة المرونة.

3 – 3 – 8 – 1 سلوك قضبان الفايبر على الشد: Tensile behavior

يتميز سلوك قضبان الفايبر عند تحميلها بحمولة شد بعلاقة خطية مرنة بين الحمل والاستطالة حتى الانهيار، ولا يسبق الانهيار أي خضوع أو استطالة غير مرنة على عكس قضبان الفولاذ.

تعتمد مقاومة الشد لقضبان الفايبر على خواص كل من الألياف التي تمثل المكون الرئيسي الحامل وكذلك على شكل وأبعاد الألياف واتجاهاتها ونسبتها إلى البوليمر، ودرجة تماسكها معه، كما تعتمد أيضا على أسلوب التصنيع والمعالجة وضبط الجودة للتصنيع.

يؤثر قطر قضيب الفايبر على المقاومة للشد وذلك نتيجة عدم انتظام توزيع الإجهادات على مقطع القضيب حيث تزيد على المحيط الخارجي عنها في المنتصف (Shear Lag Effect) ، ويزيد هذا التأثير بزيادة قطر القضيب، مما يخفض مقاومة وكفاءة القضبان ذات الأقطار الكبيرة.

تؤخذ قيمة مقاومة الشد لقضبان الفايبر من واقع بيانات وتقارير المصنع أو المورد بأنها أقصى إجهاد يتعرض له القضيب عند اختبار الشد من أجل التصميم يمكن للمهندس اختيار أية مقاومة للقضبان

تتراوح بين بين F60 و F300 دون الحاجة لاختيار أي نوع تجاري معين من قضبان الفايبر. ويجري الاختبار وفقاً لما ورد في ملحق هذا الكود.

ويؤخذ المتوسط الحسابي للعينات المختبرة مطروحا منه ثلاثة أمثال الانحراف المعياري، وكذلك يتحدد الانفعال الأقصى بنفس الأسلوب.

لتعيين مقاومة الشد لقضبان الفايبر تجرى تجربة الشد القياسي مع مراعاة استخدام كابلات التثبيت (Testing Grips) لتلافي حدوث تركيز للإجهادات عند نقاط التثبيت، والذي يمكن أن يسبب كسر العينة قبل الوصول إلى الحمولة القصوى.

يعطي الجدول (3-8) التالي بعض القيم الاسترشادية لخواص البوليمر المسلح بألياف الزجاج والكربون والأراميد والتي فيها نسبة الألياف 70% - 50% من الحجم، تحت تأثير الشد، مقارنة بقضبان الفولاذ.

الجدول (3-8) ــ مقاومة قضبان الفايبر على الشد (قيم استرشادية)

نوع القضيب	إجهاد الخضوع N/mm^2	مقاومة الشد القصوى N/mm^2	معامل مرونة الشد KN/mm^2	معامل الانفعال %	الاستطالة القصوى %
فولاذ	276 - 517	483 - 690	200	1.4 – 2.5	6 - 12
ألياف الزجاج	-	483 - 1600	35 - 50	-	1.2 – 3.1
ألياف الكربون	-	600 - 3690	120 - 580	-	0.5 - 1.7
ألياف الأراميد	-	1720 - 2540	41 - 125	-	1.9 – 4.4

3 – 3 – 8 – 2 مقاومة القضبان المثنية:

غالباً ما تصنع القضبان من بوليمر الثيرموسيت المسلح بالألياف، حيث لا يمكن ثنيها بعد التصلب التام. يستثنى من ذلك القضبان المصنعة من بوليمر الثيرموبلاست الذي يمكن إعادة تليينها بالحرارة أو الضغط أو كليهما بحيث يمكن تشكيلها وثنيها. لهذا السبب يجب أن تشكل قضبان الفايبر أثناء التصنيع وقبل تمام تصلب البوليمر لتأخذ الزوايا أو الاستدارة المطلوبة.

تنخفض مقاومة الشد عند الزوايا والأجزاء المثنية بقيم تتراوح بين (50% - 40%) من القيمة المناظرة للقضبان المستقيمة.

لتعيين مقاومة الشد للأجزاء المثنية بتجربة اختبار الشد الموضحة في ملحق هذا الكود.

3 – 3 – 8 – 3 سلوك قضبان الفايبر على الضغط: Compressive behavior

تستخدم قضبان الفايبر بحيث تتحمل إجهادات الشد فقط ويمنع استخدامها لمقاومة الضغط، أي يمنع تحميلها بإجهادات ضغط محوري بالاتجاه الطولي. لأن هذه القضبان ذات مقاومة ضعيفة لهذا النوع من الإجهادات

تعتمد مقاومة قضبان الفايبر (FRP) للضغط في الاتجاه الطولي (longitudinal compression) على نوع الألياف ونسبتها ونوع البوليمر، حيث يحدث الانهيار بسبب التحنيب الموضعي الدقيق للألياف (Fiber Micro Buckling) أو بسبب انهيار تحت تأثير القص (shear failure) الذي يتعلق بنوع الألياف وحجمها (كثافتها) ونوع الراتنج، أو بسبب إجهادات الشد في الاتجاه العرضي (transverse tensile failure).

للحصول على قيم مقاومة الضغط لقضبان الفايبر يجب العودة إلى بيانات المصنع، على أن يبين المصنع أسلوب الاختبار الذي اتبعه. وذلك لعدم الاتفاق على الاختبارات القياسية عالمياً لتعيين هذه الخاصية.

أظهرت اختبارات الضغط على عدد من العينات القصيرة لقضبان الفايبر(نسبة الطول إلى القطر تتراوح بين 1/1 – 1/2)، أن مقاومة الضغط أقل من مقاومة الشد بنسبة (, 78% , 55% 20%) لألياف الزجاج والكربون والأراميد على التوالي. كما أن معامل مرونة الضغط أقل من معامل مرونة الشد بنسبة (100% , 85% , 80%) لألياف الزجاج والكربون والأراميد على التوالي.

3 – 3 – 8 – 4 سلوك قضبان الفايبر على القص: Shear behavior

تعتبر معظم قضبان الفايبر المركبة ذات مقاومة ضعيفة لإجهادات القص الموازية لاتجاه الألياف، أي اتجاه المحور الطولي للقضيب، وذلك بسبب اعتمادها على مقاومة البوليمر وحده للقص فقط، وذلك بسبب انعدام مقاومة الألياف للقوى العمودية عليها. ويجب ألا تعرَّض قضبان الفايبر لإجهادات قص عند استخدامها لتسليح مقاطع خرسانية مقاومة للشد.

يمكن تحسين مقاومة القص عن طريق وضع بعض الألياف مائلة على اتجاه الألياف الرئيسية في الاتجاه العرضي أو متقاطع معها. ويتم ذلك أثناء تصنيع القضيب بلف أو جدل أو تضفير ألياف إضافية فوق الألياف الطولية الرئيسية.

تعين مقاومة القص لقضيب البوليمر بالألياف عن طريق الاختبار. ويجب أن يذكر المصنع في تقاريره نوع اختبار القص وكيفية إجراؤه وعدد العينات ونتائجها.

3 – 3 – 8 – 5 سلوك قضبان الفايبر على التماسك أو الالتصاق: Bond behavior

تعتمد مقاومة التماسك بين قضيب الفايبر والخرسانة على الخواص الميكانيكية للقضيب وعلى شكل السطح. بالإضافة إلى عملية التصنيع والظروف البيئية المحيطة بالتنفيذ. وتنتقل القوى بين القضيب والخرسانة بإحدى الطرق التالية:

- الالتصاق على سطح التماس بالروابط الكيمائية.
- مقاومة الانزلاق على سطح التماس بسبب الاحتكاك.
- التماسك الميكانيكي بسبب عدم انتظام السطح الداخلي كالخشونة أو النتوءات.

يفترض في قضبان الفايبر (FRP) أن يتم انتقال قوى الالتصاق من خلال الراتنج لألياف التسليح، مع الإشارة إلى أن اللاصق الراتنجي يكون أحياناً مساعداً في تحمل القص.

تقاس مقاومة التماسك بين القضيب وبين الخرسانة بواسطة اختبار الإقتلاع (pull out test) المبين بملحق الاختبارات في نهاية هذا الجزء من الكود السوري. على أنه يجب أن يذكر في تقارير المصنع نوع اختبار التماسك وكيفية إجرائه وعدد العينات ونتائجها.

لزيادة التماسك بين القضيب وبين الخرسانة تستخدم في تصنيع القضبان نتوءات على سطوحها بشكل جدائل (أو ضفائر). ويمكن أن تلصق الرمال على سطح القضبان لنفس الهدف بواسطة راتنجات لاصقة ذات خواص التصاق عالية. مع ضرورة الاهتمام بإتقان بعمليات التصنيع وضبط الجودة.

يعتمد سلوك المنشآت المسلحة بقضبان الفايبر على خصائص مقاطع القضبان وعلى أداء المقطع الخرساني للعنصر الإنشائي المسلح بهذه القضبان. لذلك يجب عند التصميم التأكد من كفاءة الالتصاق والتماسك والترابط بين القضبان والخرسانة مع الأخذ بالاعتبار السلوك المشترك بينهما.

عندما يخضع قضيب مشوه لزيادة إجهادات الشد، فإن قوى الالتصاق بين القضيب والخرسانة المحيطة به تتفكك، والتشوهات على سطح القضيب تسبب قوة مائلة مماسية بين القضيب والخرسانة المحيطة به. وينتج الإجهاد على سطح القضيب عن القوة المتولدة بالاتجاه الطولي للقضيب والتي تأخذ بالاعتبار إجهاد الالتصاق بينه وبين الخرسانة.

3 – 3 – 9 السلوك عبر الزمن: Time- dependent behavior

يشترط تقييم تحمل مواد وأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف مع الزمن وقدرتها على مقاومة تأثير العوامل الخارجية، مع الاحتفاظ بفاعليتها تحت تأثير هذه الظروف.

3 – 3 – 9 – 1 تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف مع الزمن (الديمومة): Durability

هي قدرة البوليمرات المسلحة بالألياف عموماً على مقاومة تأثير العوامل البيئية المحيطة من رطوبة وحرارة وتناوب البلل والجفاف وتناوب التجمد والذوبان ومقاومة الأشعة فوق البنفسجية والعوامل الأخرى كالحت ومقاومة الكيماويات والتأثر بالوسط القلوي للخرسانة ومقاومة ظواهر الزحف والاسترخاء والكلل والحريق خلال عمر المنشأ. فالعوامل السابقة أو بعض منها يؤدي إلى تأثير سلبي مع الزمن على خصائص القضبان الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية.

3 – 3 – 9 – 2 انهيار التمزق: Creep rupture

في حال تعرض قضبان الفايبر (FRP) لحمولة ثابتة مع الزمن، يمكن أن تنهار فجأة بعد فترة تدعى بزمن التحمل. وتعرف هذه الظاهرة باسم انهيار التمزق أو الزحف (أو التعب الثابت). ولا يؤخذ انهيار التمزق بالاعتبار في حال استخدام قضبان الفايبر مع قضبان الفولاذ في الخرسانة المسلحة، إلا في حالة ارتفاع درجات الحرارة (كحالة التعرض للنار). حيث تزداد نسبة إجهاد الشد المستمر على المدى القصير لقضبان الفايبر (FRP)، ويقلل ذلك من زمن التحمل

يمكن أن يقل زمن انهيار التمزق في ظروف بيئية معينة كارتفاع الحرارة والتعرض للأشعة فوق البنفسجية والقلوية العالية وتعاقب دورات الرطوبة والجفاف أو دورات التجمد والذوبان.

تعتبر ألياف الكربون بشكل عام أقل عرضة لانهيار التمزق، في حين أن ألياف الأراميد عرضة بدرجة متوسطة، والألياف الزجاجية هي الأكثر عرضة لذلك.

3 – 3 – 9 – 3 التعب: Fatigue

تتعرض الألياف الزجاجية الفردية عموماً إلى انهيار التعب. إلا أنها قد تظهر تشققات ناتجة عن ضعف بسبب وجود كميات ضئيلة من الرطوبة في البيئة المحيطة. وعموماً تكون قضبان (CFRP) في جميع أنواع مواد (FRP) أقل عرضة لانهيار التعب، حيث تتراوح المقاومة المتوسطة عند انهيار التعب بين (8% - 5%) من المقاومة الستاتيكية الأولية في العشر سنوات الأولى من عمر المادة.

تلعب العوامل البيئية دوراً مهماً في سلوك التعب للألياف الزجاجية كحساسية التعرض للرطوبة، والقلوية والمحاليل الحمضية. وهنا يكون سلوك ألياف الأراميد أو ألياف الكربون أو الزجاج في حالة التعب متماثلاً.

يجب أن يشير المصمم لطرق الاختبار القياسية (كما هي موضحة في ملحق هذا الكود). كما يجب أن يستشير الشركة المصنعة للقضبان حول خصائص الاستجابة للتعب.

3 – 3 – 10 التعامل مع قضبان الفايبر(البوليميرية المسلحة بالألياف):

تعتبر قضبان الفايبر أكثر عرضة لحدوث أضرار على سطحها الخارجي، فحدوث هذه الأضرار على السطح أو حدوث شروخ أو ثقوب يؤدي إلى خفض مقاومة القضبان بدرجة كبيرة. كما يمكن أن تتسبب هذه الظواهر بفقدان الديمومة بسبب اختراق القلويات وإتلافها للقضبان.

يجب إتباع الخطوات التالية لتقليل الضرر للقضبان والعمال عند التعامل معها أثناء النقل أو التخزين:

ـ يجب ارتداء قفازات عند التعامل مع قضبان الفايبر لتفادي الجروح الجلدية التي يمكن أن تنتج من الألياف أو الأطراف الحادة.

ـ يجب عدم تخزين القضبان على الأرض مباشرةً، حيث توضع فوق ألواح مخصصة لهذا الغرض لتسهيل التعامل معها.

ـ يجب حماية القضبان من التعرض للحرارة المرتفعة أو للأشعة فوق البنفسجية أو للمواد الكيميائية، وذلك لتأثيرها الضار على القضبان.

ـ في كثير من الأحيان تلوث أسطح القضبان ببعض المواد كالزيوت وغيرها أثناء التصنيع ، مما قد يؤدي إلى خفض مقاومة الالتصاق بالخرسانة. لذلك يجب إزالة هذه المواد في حال وجودها بتنظيف سطوح القضبان قبل استخدامها بمواد مذيبة، شريطة ألا تؤثر هذه المذيبات على خواص القضبان.

ـ يوصى عند قطع القضبان باستخدام الأقنعة والقفازات والنظارات لحماية العيون.

تجري عملية القطع بواسطة أية أداه فولانية مسنونة جيدا وبسرعة عالية، أو بمنشار ذي أسنان حادة.

ـ يجب عدم تعريض القضبان أثناء نقلها أو تخزينها أو أثناء رصها أو أثناء قطعها لأي قوى قص.

3 – 3 – 11 تنفيذ التسليح من قضبان الفايبر(البوليميرية المسلحة بالألياف):

يجري تركيب القضبان وترص بطريقة مماثلة لوضع قضبان التسليح من الفولاذ، مع بعض الشروط الأخرى التالية:

1. لا بد من وضع وتثبيت قضبان الفايبر باستخدام كراسي لا تسبب أي تلف للقضبان (يفضل أن تكون من مواد بلاستيكية أو مواد غير قابلة لإحداث تآكل أو صدأ)، ويجب أن تذكر متطلبات هذه الكراسي في شروط ومواصفات المشروع.

2. يجب التأكد من تثبيت القضبان في أماكنها وعدم السماح بأية إزاحة يمكن أن تحدث أثناء عمليات صب الخرسانة.

3. تربط القضبان في أماكنها بواسطة مواد لا تسبب أية أضرار فيها. كأسلاك الربط المغلفة أو الأربطة البلاستيكية. على أن تذكر متطلبات وأسلوب ومواد الربط في شروط ومواصفات المشروع.

4. يجب عدم يجب السماح بحدوث أي انعطاف للقضبان المنتجة من الثرموسيت المعالج. كما يجب اتباع تعليمات المنتِج لأنواع القضبان الأخرى.

5. عند الحاجة للاستمرارية في القضبان يجب استخدام الوصلات التراكبية، ويعتمد طول هذه الوصلات على مقاومة الخرسانة ونوعها ورتبة القضبان ومقاسها وشكل السطح والمسافات بين القضبان وسماكة التغطية الخرسانية. ويجب بيان التفاصيل الإنشائية للوصلات التراكبية في مخططات المشروع.

3 – 3 – 12 الاختبارات وضبط الجودة:

يمكن اعتماد نتائج الاختبارات التي يجريها المنتج على قضبان الفايبر، والتي يقدمها كشهادات اختبار. ولكن على المستورد أيضاً إجراء اختبارات على كل شحنة بشكل منفصل وتقديم نتائج هذه الاختبارات للمستهلك بوثائق واضحة. ويمكن للمهندس التحقق من نتائج اختبارات المنتج والمستورد من خلال اختبارات يقوم هو بإجرائها وفقاً لما ورد في ملحق هذا الكود.

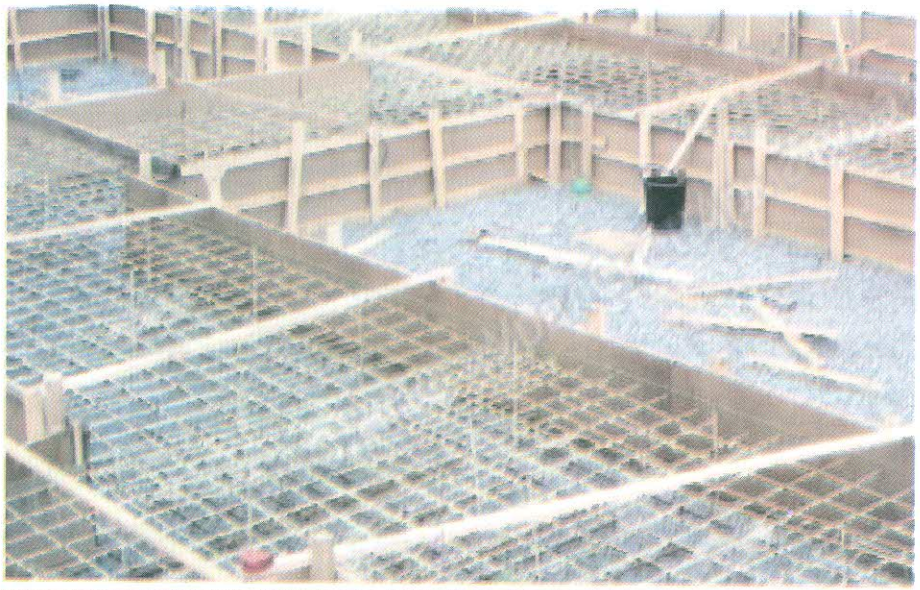
يجب إجراء الاختبارات التالية مرة واحدة على الأقل قبل وبعد تغيير المصدر أو تغيير أسلوب التصنيع أو تغيير مادة من المواد المكونة لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف:

- اختبار خواص الشد المحوري.
- اختبار مقاومة التماسك عن طريق اختبار القلع (Pull Out).
- اختبار مقاومة القلويات.

أما أثناء التوريد فيجب إجراء الاختبارات التالية:

- مقاومة الشد.
- معامل المرونة على الشد والانفعال الأقصى.

يجب على المنتج أن يقدم شهادة /عند الطلب/ تبين تطابق أي كمية القضبان مع توصيف كامل لطرق الاختبارات التي أجريت.



الباب الرابع
التأثيرات الكيميائية والبيئية على قضبان الفايبر
(البوليميرية المسلحة بالألياف)

4 – 1 التأثير البيئية:

4 – 1 - 1 تأثير الرطوبة:

يؤثر تعرض المنتجات البوليميرية عموماً إلى الرطوبة مع الزمن، سلباً على خواص ومقاومة الراتنج اللاصق المستخدم في هذه المنتجات، حيث تنخفض مقاومة الالتصاق بزيادة فترة التعرض للرطوبة. ففي بعض أنواع من الإيبوكسي تنخفض مقاومة الالتصاق بدرجة كبيرة عند تعرض المادة للأحمال الثابتة بوجود الرطوبة. ويوصى بعدم استخدام راتنج الإيبوكسي كمادة لاصقة إذا كانت سطوح الخرسانة ستتعرض للرطوبة أو للبلل، إلا إذا كان الإيبوكسي مصنعاً خصيصا لهذا الغرض.

يجب توفير منافذ لخروج بخار الماء خارج السطح الخرساني في التطبيقات التي يوجد بها حركة متوقعة للمياه داخل الخرسانة. وبشكلٍ عام تتأثر ألياف الأراميد بشكل كبير بالرطوبة العالية.

أما من حيث شكل التأثير، فالرطوبة تؤثر على تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف لأن ذلك يؤدي ذلك إلى زيادة وزن هذه المواد.

يتوقف امتصاص هذه المواد للرطوبة على درجات الحرارة المحيطة وعلى الإجهاد الواقع عليها كما يتوقف على زمن التعرض للرطوبة، وعلى مكونات وخواص هذه المواد.

تعتبر البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج وألياف الأراميد هي الأكثر تأثرا بالرطوبة.

يؤدي امتصاص الرطوبة إلى زيادة الإجهادات المتبقية (Residual Stresses) كما يؤدي إلى حدوث لدونة في الراتنجات مما يسرع من معدلات الزحف.

يمنع استخدام البوليمرات المسلحة بألياف الأراميد في الأوساط المغمورة والرطبة.

يجب توفير حماية كافية من الرطوبة في حالة استخدام البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج في وسط رطب.

4 – 1 - 2 تأثير التجمد والذوبان:

يؤدي تناوب تجمد وذوبان الماء الذي تتعرض له القضبان إلى فقدان جزئي لمقاومة الالتصاق، سواء بين القضبان وبين سطح الخرسانة أو بين طبقات مادة القضيب. وتنخفض مقاومة الالتصاق بوجود فجوات بين المادة اللاصقة والخرسانة. كما يعجل وجود الأملاح في تدهور مقامة الالتصاق نتيجة تشكل وكبر حجم بلورات الملح.

بشكل عام يمكن اعتماد المعلومات التالية حول تأثير التجمد والذوبان:

1. لا تؤثر الحرارة دون الصفر المئوي، ودورات التجمد والذوبان على ألياف الكربون أو ألياف الزجاج، ولكنها تؤثر على كل من الراتنج والمادة اللاصقة، وعلى تكامل منظومة الألياف والراتنج.

2. تتحول المادة اللاصقة من البوليمرات والراتنج إلى مادة هشة مما يخفض الانفعال الحرج وزيادة القساوة عند حرارة تحت الصفر المئوي.

3. هناك بعض أنواع الإيبوكسي التي يزيد امتصاصها للماء عند انخفاض الحرارة المحيطة بها، مما يؤثر على تحملها. ويعرف ذلك بظاهرة التأثير الحراري العكسي.

4. تؤدي دورات تناوب التجمد والذوبان إلى نقصان مقاومة الشد القصوى ومعامل المرونة ويزداد التدهور في الخواص الميكانيكية مع استمرار دورات التجمد والذوبان نتيجة لتولد شروخ صغيرة في الراتنج. ويتوقف التأثير السلبي لتلك الشروخ على قيمة الانكماش الناتج من معالجة الراتنج.

5. تؤدي دورات التجمد والذوبان إلى احتمال زيادة التدهور في تحمل أنظمة قضبان الفايبر عند وجود أملاح في وسط مبلول إلى حدوث شروخ دقيقة وتدهور تدريجي نتيجة تشكل البلورات وزيادة تركيز الأملاح.

6. يجب حساب الإجهادات المتبقية في حالة تعرض نظام البوليمرات المسلحة بالألياف لفروق كبيرة في درجة الحرارة. وذلك بين حرارة المعالجة وحرارة الاستخدام في الأجواء الباردة حتى يمكن تلافي الشروخ المتولدة نتيجة لهذه الإجهادات.

7. عند استخدام الألياف في تطبيقات تتعرض لدورات تجمد وذوبان، يجب أخذ الاحتياطات الكافية في اختيار المادة اللاصقة كي لا تتعرض هذه المادة إلى التدهور وتتحول إلى مادة هشة. وفي جميع الأحوال يجب أن تتوفر الخبرة العملية ونتائج موثقة ومعتمدة من المصنع.

8. يجب عدم استخدام ألياف الأراميد في التطبيقات المعرضة لدورات تجمد وذوبان.

9. يجب العناية بتحضير السطح واستوائه عند لصق أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف وذلك لتلافي وجود فراغات بين هذه الأنظمة وسطح العنصر الإنشائي المدعم.

4 – 1 - 3 تأثير الأوساط القلوية والحمضية:

تؤثر أحماض الكبريتيك والنتروتيك والهيدروكلوريك عموماً على معظم أنظمة قضبان الفايبر. وتتوقف درجة التأثر على نوع الحمض ودرجة تركيزه ودرجة الحرارة وكذلك نوع الراتنج المستخدم.

من جهة أخرى يؤدي تعرض القضبان إلى محاليل الأملاح الذائبة إلى زيادة خاصية الامتصاص الشعري فيها حيث تدفع المحلول الملحي إلى التحرك إلى داخل القضبان. مما قد يؤثر سلباً على تحملها. لذلك تؤثر الأوساط القلوية بشكل عام على خواص قضبان الفايبر حيث تنخفض في الخواص الميكانيكية فيها، مما قد يؤدي إلى انهيار كامل النظام.

4 – 1 – 3 – 1 تأثير الأحماض:

تحقق أنظمة البوليمرات المسلحة بألياف الكربون تحملا أفضل للأحماض مقارنة بتلك المسلحة بالأنواع الأخرى من الألياف مثل الزجاج والأراميد. مع الإشارة إلى أن ارتفاع درجات الحرارة يسرع من تدهور خصائص كافة الأنواع المذكورة عند التعرض للأحماض.

تقاوم البوليمرات المسلحة بالألياف المذيبات بصفة عامة وذلك مثل البنزين والكيروسين وأن كانت البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج تتأثر تأثرا طفيفاً بالمذيبات.

4 – 1 – 3 – 2 تأثير القلويات (الأملاح):

يتوقف تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف لمحاليل الأملاح الذائبة على نوع الراتنج المستخدم. ويؤثر نوع الملح وتركيزه على تحمل قضبان الفايبر، لذلك يجب تحديد لتركيز الملح المسبب لأي ضعف ملحوظ في تحمل القضبان عن طريق اختبارات موثقة من المصنع، أو وفقاً لما ورد في ملحق هذا الكود.

يعتبر /الإيبوكسي/ أكثر الراتنجات تحملاً لتأثير الأملاح المختلفة. في حين يبدي راتنج /الفينيل استر/ تحملاً أفضل لأملاح الكلوريدات من راتنج /البولي استر/. وبشكل عام يعتبر تحمل الراتنجات تحت تأثير الأملاح مقبولاً... انظر الملحق.

1. القضبان المصنعة من ألياف الزجاج:

يمكن استخدام بعض أنواع القضبان المسلحة بألياف الزجاج المقاومة للأوساط القلوية شريطة القيام باختبارات بنتائج موثقة من المصنع أو تجرى بحسب ما ورد في ملحق هذا الكود، حيث يجب أن توضح هذه الاختبارات صلاحية استخدامها. كما يجب أن تتوفر الخبرة في استخدام هذه القضبان.

2. القضبان المصنعة من ألياف الكربون:

يمكن إهمال تأثير الأوساط القلوية بمختلف تركيزاتها على البوليمرات المسلحة بألياف الكربون.

3. القضبان المصنعة من ألياف الأراميد:

تظهر أنظمة القضبان المسلحة بألياف الأراميد تحملاً مقبولاً عند تعرضها للأوساط القلوية. ولكنها أقل تحملاً من القضبان المسلحة بألياف الكربون.

قد تؤدي الأوساط القلوية إلى زيادة تماسك قضبان الفايبر مع الخرسانة حين استخدامها كتسليح داخلي للعناصر الإنشائية، وذلك نتيجة للزيادة الحجمية الطفيفة التي تحدث لهذه القضبان.

أظهر راتنج الإيبوكسي بوجه عام نتائج مرضية عند تعرضه للأوساط الكيميائية وخاصة الأوساط القلوية والحامضية. ويعتمد تأثره على تركيز المواد المذكورة وعلى درجات الحرارة ويعطي الجدول (4 - 1) قيم استرشادية لهذه التأثيرات.

4 – 1 - 4 تأثير التعرض للإشعاع:

يعتبر راتنج الإيبوكسي مقاوماً بشكل جيد للإشعاع، وخاصة إشعاع غاما. ولكن ألياف الأراميد تعتبر ضعيفة المقاومة للأشعة فوق البنفسجية.

الجدول (4 - 1)

سلوك المواد البوليميرية في الأوساط الكيميائية المختلفة عند درجتي حرارة (°C 65 , 25).

المحاليل	أكريليك		إيبوكسي		بوليستر		بولي ريثان		سيليكون		استيرين بوتادين	
	25	65	25	65	25	65	25	65	25	65	25	65
الأحماض غير المؤكسدة	مقبول	غير واضح	مقبول	مقبول	غير واضح	غير واضح	غير واضح	ضعيف	غير واضح	غير واضح	مقبول	مقبول
الأحماض المؤكسدة	ضعيف											
محاليل الأملاح القاسية	مقبول											
القلويات القاسية	مقبول	غير واضح	مقبول	مقبول	ضعيف	ضعيف	غير واضح	ضعيف	مقبول	غير واضح	مقبول	مقبول
المذيبات المستقطبة	مقبول	غير واضح	مقبول	مقبول	غير واضح	ضعيف	ضعيف	ضعيف	مقبول	مقبول	مقبول	مقبول
المذيبات غير المستقطبة	ضعيف	ضعيف	مقبول	غير واضح	ضعيف	ضعيف	غير واضح	ضعيف	غير واضح	ضعيف	ضعيف	ضعيف
الماء	مقبول				غير واضح	مقبول						

4 – 1 - 5 تأثير الحرارة:

تتبخر وتتفحم معظم الراتنجات في درجات الحرارة التي تزيد عن (°C 300) وقد تكون الأبخرة الناتجة عنها في هذه الدرجات ذات تأثير سام.

يمكن إهمال تأثير الحرارة الأقل من حرارة التحول الزجاجي (حرارة التحول) على خواص راتج الإيبوكسي، فحرارة التحول تؤثر على صلابة الإيبوكسي ومقاومة الزحف ومقاومة التأثير الكيميائي، وعلى التماسك بين القضبان والخرسانة.

لا توجد تأثيرات جوهرية لدرجات الحرارة المحيطة بالمنشآت (الأقل من حرارة التحول الزجاجي) على خواص قضبان الفايبر. أما بالنسبة لتأثير الحرارة الأعلى من حرارة التحول الزجاجي فيعتمد على ما يلي:

1. نوع الراتنج المستخدم في القضبان.
2. نوع الراتنج اللاصق.
3. نوع الألياف ومحتواها في الاتجاهات المختلفة وكون نظام صناعة القضبان خارجيا أو داخلياً.
4. تعرض القضبان لدورات من التغييرات الحرارية.
5. نوع التغطية ومواد الحماية.

عند استخدام القضبان ذات التمدد الحراري العرضي العالي نسبياً، فإن التغييرات في الحرارة قد تؤدي إلى حدوث إجهادات شد في الخرسانة المحيطة بالقضبان، مما قد يسبب شروخ في الخرسانة تؤثر على تحمل العنصر الخرساني. لذلك يجب على المصمم أخذ هذه الإجهادات بالاعتبار عند التصميم.

عند استخدام حرارة الاستخدام قريبة أو أكثر قليلاً من حرارة التحول الزجاجي، فيجب على المصمم أخذ نقصان قيمة معامل المرونة والمقاومة بالاعتبار.

يجب على المصمم عمل نظام حماية فعَّال عند تعرض المنشأ لدرجات حرارة تساوي درجة حرارة التحول أو أعلى منها.

يجب على المصمم أخذ تأثير زيادة درجة الحرارة المحيطة على زيادة كل من الزحف والاسترخاء.

عند استخدام راتنج الإيبوكسي، فيجب استخدام أقل سماكة ممكنة منه ينص عليها المنتج في لصق القضبان، وذلك لتخفيف تأثير معامل التمدد الحراري العالي لراتنج الإيبوكسي.

يجب تحديد درجة حرارة الاستخدام العظمى الداخلية والخارجية للقضبان، للحفاظ على الأمان اللازم لعدم حدوث فقدان في الخواص الميكانيكية وتؤخذ هذه الدرجة على أساس درجة الحرارة التي تقل بمقدار (20 °C) درجة مئوية عن درجة حرارة التحول الزجاجي.

يسمح برفع حرارة الاستخدام القصوى في حالة توفر نظام حماية للقضبان من درجات الحرارة المحيطة. على أن تتوفر الخبرة والتجارب المعتمدة لصلاحية نوع القضبان. وعلى ألا تزيد درجة حرارة الاستخدام في هذه الحالة عن التحول الزجاجي.

4 – 2 تأثير الزحف:

يؤدي تعرض قضبان الفايبر لإجهادات ثابتة مع الزمن نتيجة لتعرض العنصر الخرساني لأحمال دائمة أو حية شبه دائمة، إلى احتمال انهيارها بعد فترة زمنية تسمى زمن الانهيار بالزحف (creep Rupture Time) ويعرف ذلك بانهيار الزحف.

تؤدي زيادة إجهاد الشد على القضبان إلى تخفيض زمن الانهيار بالزحف، ويقل هذا الزمن أيضاً نتيجة سوء حالة العوامل البيئية المحيطة مثل ارتفاع درجة الحرارة، التعرض للإشعاعات فوق البنفسجية والقلوية العالية والتعرض لدورات بلل وجفاف بالإضافة إلى دورات التجمد والذوبان. وعموما فإن الأنظمة المسلحة بألياف الكربون هي أقل الأنظمة تعرضا لإنهيار الزحف تليها تلك المسلحة بألياف الأراميد وأخيرا الأنظمة المسلحة بألياف الزجاج.

4 - 2 – 1 حد الزحف:

يعرف حد الزحف (CL) بأنه أقصى إجهاد مسموح به على قضبان الفايبر تحت تأثير الحمولات الدائمة (الحمولات الميتة + جزء من الحمولات الحية ذات الصفة الدائمة + مقدار الحمل الأقصى لدورة التحميل) والذي لا يسبب انهيار الزحف خلال عمر المنشأ. ويعتمد حد الزحف على نوع الألياف المستخدمة في النظام ويؤخذ كما يلي:

- ألياف الزجاج = $C_L = 0.2\ f_{fu}$
- ألياف الأراميد = $C_L = 0.3\ f_{fu}$
- ألياف الكربون = $C_L = 0.55\ f_{fu}$

حيث (f_{fu}) المقاومة المميزة القصوى للشد للقضبان.

يجب ألا تزيد الإجهادات المحسوبة باستخدام نظريات المرونة والمطبقة على القضبان بتأثير حمولات الاستثمار الدائمة للمقطع، عن حد الزحف.

4 – 3 تحمل الألياف مع الزمن:

في معظم الأحيان لا تتعرض مادة الألياف مباشرة للعوامل المحيطة لأن مادة الراتنج المستخدمة في تكوين النظام تكون في خط المواجهة الأول.

4 - 3 – 1 القضبان من ألياف الكربون:

تعطي ألياف الكربون عموماً تحملاً عالي للأوساط المختلفة، فهي لا تمتص الماء ولها تحمل عالي للمحاليل الكيميائية والأحماض والقلويات والمذيبات العضوية. ولكن عند استخدام قضبان الفايبر بجوار قضبان فولاذ التسليح، يجب الانتباه إلى أن الفايبر قد يسرع من صدأ الفولاذ.

4 - 3 – 2 القضبان من ألياف الأراميد:

عند استخدام ألياف الأراميد، يجب حماية القضبان من تأثيرات الرطوبة العالية والحرارة العالية بالأشعة فوق البنفسجية.

4 - 3 – 3 القضبان من ألياف الزجاج:

يختلف تحمل الألياف الزجاجية مع الزمن بحسب النوع المستخدم. فمثلاً يمتلك الزجاج من نوع AR glass مقاومة جيدة للقلويات، في حين تكون الأنواع الأخرى مثل E&S glass ذات مقاومة ضعيفة للقلويات. أما بالنسبة للأحماض فإن ألياف الزجاج تتأثر سلباً بالأحماض القاسية.

4 – 4 معاملات خفض المقاومة والانفعال بسبب التأثيرات المحيطية:

تؤثر الظروف المحيطية على العناصر تأثيراً مباشراً على خواص الزحف للبوليمرات المسلحة بالألياف عموماً. حيث يعتمد تأثير هذه الظروف على نوع الألياف والبوليمرات المستخدمة وعلى نوع وتركيز الوسط المحيط، بالإضافة إلى درجة تعرض السطح للعوامل البيئية.

تقلل الظروف المحيطة القاسية من زمن الانهيار بالزحف. لذلك يجب حساب حد المقاومة القصوى للمقطع المستخدم في أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف عموماً، وتخفيض مقاومة الشد القصوى والانفعال الأقصى لهذه الأنظمة طبقا للمعادلات التالية:

$$f^*_{fu} = C_E \cdot f_{fu} \qquad (1 - 4)$$

$$\varepsilon^*_{fu} = C_E \cdot \varepsilon_{fu} \qquad (2 - 4)$$

$$E_f = f_{fu} / \varepsilon_{fu} \qquad (3 - 4)$$

يؤخذ معامل المرونة لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف ثابتا ومماثلا للعينة الأولية طبقا للمعادلة رقم (3-6) حيث أنها لا تتأثر بالبيئة المحيطة.

حيث:

(f^*_{fu}) المقاومة القصوى للشد.

(ε^*_{fu}) الانفعال الأقصى.

(C_E) معامل خفض المقاومة القصوى والانفعال الأقصى بسبب تأثير العوامل الجوية للأنظمة المختلفة. وتؤخذ قيمته من جدول رقم (4-2) التالي.

(E_f) معامل المرونة.

الجدول (4 - 2) ــ معاملات خفض المقاومة لأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف المختلفة بتأثير العوامل البيئية

درجة تعرض السطح للعوامل البيئية	نوع الألياف / نوع اللاصق	CE
الأسطح المحمية وتشمل جميع العناصر الداخلية المحمية	كربون/ إيبوكسي	0.95
	أراميد / إيبوكسي	0.85
	زجاج / إيبوكسي	0.75
الأسطح غير المحمية وتشمل الكباري والمرائب وجميع الأسطح المعرضة للبيئة الخارجية	كربون/ إيبوكسي	0.85
	أراميد / إيبوكسي	0.75
	زجاج/ إيبوكسي	0.65
الأسطح المعرضة لتأثيرات ضارة وتشمل محطات الصرف الصحي والمصانع الكيماوية وجميع الأسطح المعرضة لمواد كيماوية أو أبخرة	كربون / إيبوكسي	0.85
	أراميد/ إيبوكسي	0.75
	زجاج / إيبوكسي	0.50

في حالة تعرض البوليمرات المسلحة بالألياف لدرجات حرارة عالية يجب تخفيض قيمة المعامل (C_E) بناء على تجارب معملية.

في حالة تنفيذ البوليمرات المسلحة بالألياف في بيئة غير مؤثرة (تعرض داخلي) يمكن استخدام قيم أعلى لمعامل خفض المقاومة. كما يجب اعتبار قيمة أقل للمعامل (C_E) في حالة تعرض البوليمرات المسلحة بالألياف لبيئة محيطة مؤثرة بدرجة عالية مثل الرطوبة العالية أو المياه المالحة أو القلوية العالية. ويمكن زيادة هذا المعامل عند استخدام حماية لأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف من العوامل الجوية بشرط التأكد معملياً من كفاءة هذه الحماية مع الزمن.

4 – 5 الكلل:

تعتبر ألياف الكربون الأقل تأثرا بالكلل مقارنةً بالأنواع المختلفة من البوليمرات المسلحة بالألياف ومقارنة بقضبان فولاذ التسليح.

يؤخذ حد الكلل للأنظمة المسلحة بألياف الكربون أحادية الإتجاه مساوياً (60%) من المقاومة المميزة القصوى للشد، وذلك عند استخدام نسبة ألياف (60%) حجماً، والمعرضة لحمولة شد تكون عندها نسبة بين الإجهاد الأدنى إلى الإجهاد الأقصى (10%).

لا تتأثر مقاومة ألياف الكربون للكلل بالرطوبة أو بدرجة الحرارة المحيطة، ما لم يتأثر الراتنج اللاصق (Resin) أو السطح الفاصل بين الألياف والمادة اللاصقة بالبيئة المحيطة.

يؤخذ حد الكلل (30%) من مقاومة الشد المميزة لألياف الزجاج و (55%) لألياف الأراميد. وهو أقل من حد كلل ألياف الكربون المعرضة لنفس ظروف التحميل وبنفس نسبة الألياف السابق ذكرها.

عند زيادة نسبة الإجهاد الأدنى إلى الإجهاد الأقصى عن (10%) أو نقصان نسبة الألياف في النظام حجماً عن (60%) فيجب الاعتماد على نتائج معملية معتمدة لتحديد حد الكلل.

يجب الانتباه إلى أن العوامل البيئية المحيطة كالرطوبة وارتفاع الحرارة لها تأثير سلبي على حد الكلل لكل من ألياف الزجاج وألياف الأراميد. و في هذه الحالة يجب الرجوع إلى اختبارات معتمدة لتحديد حد الكلل، تجرى وفقاً لما ورد في ملحق هذا الكود.

4 – 6 حماية لقضبان الفايبر (FRP) (البوليميرية المسلحة بالألياف):

يجب على المهندس المصمم التأكد من استيفاء المتطلبات الخاصة بحماية البوليمرات المسلحة بالألياف من العوامل المؤثرة سلباً على كفاءتها مع الزمن. وينبغي أن تقاوم البوليمرات المسلحة بالألياف الرطوبة والمواد الكيميائية والأشعة فوق البنفسجية، وأن يتم حمايتها من ذلك عن طريق طبقات الحماية المناسبة.

تتناول هذه الفقرة طرق الحماية من التأثيرات التالية:

الرطوبة.

المواد الكيميائية.

الأشعة فوق البنفسجية.

الصواعق

صدأ صلب تسليح المنشأ بواسطة الخلايا الغلفانية (الكهرباء الحادثة بالتفاعل الكيميائي).

4 – 6 – 1 الحماية من الرطوبة والمواد الكيميائية:

يجب أن تكون كافة أنواع أو أنظمة القضبان المستخدمة محمية ضد الرطوبة والمواد الضارة باستخدام طبقات حماية مثل اليوريثان والإيبوكسي أو بعض أنواع اللاتكس.

4 – 6 – 2 الحماية من الأشعة فوق البنفسجية:

يجب أن تكون كافة أنواع أو أنظمة القضبان المستخدمة محمية ضد تأثير الأشعة فوق البنفسجية من خلال طلائها بطلاء حماية من الأكريليك أو طلاء من البولي يوريثان أو الجل أو الفلورين ذي الأساس الراتنجي على أن تتكون هذه الحماية من طبقتي طلاء على الأقل.

4 – 6 – 3 الحماية من الصواعق والتآكل بسبب الكهرباء الناتجة من التفاعل الكيميائي:

إذا كان من المحتمل أن تتعرض القضبان إلى الصواعق أو إلى التآكل بسبب الكهرباء الناتجة من التفاعل الكيميائي، فيجب أن تكون محمية باستخدام شبك معدني.

لحماية فولاذ تسليح المنشأ من التآكل الناتج عن طريق خلايا الغلفنة، فيجب منع ألياف الكربون من ملامسة الفولاذ.

4 – 6 – 4 اشتراطات استخدام طبقات الحماية:

إذا استخدمت القضبان لأعمال التدعيم، فيجب بعد الانتهاء من هذه الأعمال استخدام طبقات حماية نهائية على سطحها، مع ضرورة الاهتمام بالاشتراطات التالية:

- يجب عدم استخدام طبقات الحماية قبل أن تتصلب طبقة الإيبوكسي المستخدمة في لصق نظام البوليمرات المسلحة بالألياف.
- يجب أن يكون السطح المطلوب حمايته نظيفا من الأتربة أو أي عوالق, كما يجب تنظيف السطح بفرشاة أو قماش جاف بحيث لا تحدث به أية خدوش.
- يجب أن يكون السطح خالٍ من الرطوبة والزيوت والشحوم أو أي مواد تؤثر على التماسك بين السطح وطبقات الحماية المطلوب استخدامها.
- يجب اختيار البوليمرات ومواد الحماية التي تناسب درجة حرارة التشغيل بالموقع.
- يجب ألا تستخدم المواد التي انتهت فترة صلاحيتها.
- يجب استبعاد أي بوليمرات أو أيبوكسيات انتهت فترة تشغيلها (Pot life) أثناء عملية إعداد طبقات الحماية.

الباب الخامس
الخرسانة المسلحة بقضبان الفايبر
(البوليميرية المسلحة بالألياف)

5 - 1 اعتبارات عامة:

يتناول هذا الباب كيفية تحقيق البنود الأساسية في تصميم العناصر الخرسانية المسلحة بقضبان الفايبر (FRP) بطريقة حالات الحدود. وهي الحالات التي تضمن أماناً كافياً ضد الانهيار نتيجةً لوصول المقطع إلى حد المقاومة القصوى، مع استيفاء متطلبات التشغيل ومتطلبات المتانة والتحمل مع الزمن، وفقاً لما جاء في الباب الثالث من الكود مع التأكيد بعدم السماح باستعمال هذه القضبان في المقاطع التي تساهم في مقاومة الزلازل لعدم توفر اللدونة في خواصها ولا المناطق المعرضة لإجهادات ضغط.

5 – 2 مجالات استخدام قضبان الفايبر كتسليح للعناصر الخرسانية:

تتحكم طبيعة الانهيار الهش لكل من القضبان المذكورة والخرسانة في تحديد المجالات التي يسمح فيها باستخدام قضبان الفايبر كتسليح للعناصر الخرسانية وكذلك الخواص الميكانيكية والطبيعية لمواد القضبان، وذلك في الفقرة التالية.

5 – 2 – 1 الحالات التي يسمح فيها باستخدام قضبان الفايبر:

يسمح باستخدام قضبان الفايبر في الحالات التالية:

1 ــ كتسليح لمقاومة إجهادات الشد في العناصر الخرسانية. وفي هذه الحالات يمكن السماح بتعرض تلك القضبان إلى إجهادات ضغط نتيجة التغيرات في الأحمال والناجمة عن بعض حالات التحميل، وتهمل مقاومة القضبان إذا كان إجهاد الضغط أساسياً في هذه العناصر.

2 ــ كتسليح بديل في العناصر الخرسانية المعرضة لعوامل بيئية ذات تأثيرات مؤكسدة تسبب صدأ فولاذ التسليح.

3 ــ كتسليح في العناصر الخرسانية المعرضة للمجالات الكهرطيسية.

4 ــ كتسليح مقاوم للإجهادات الناتجة عن الحرارة والانكماش في العناصر الخرسانية المسلحة.

5 ــ كتسليح للعناصر الخرسانية المرتكزة على التربة.

إذاً تنطبق اشتراطات هذا الباب فقط على نوعيات القضبان الواردة في الباب الثاني من هذا الكود. ويقتصر هذا الباب على تصميم العناصر الخرسانية المسلحة بقضبان الفايبر والواردة في نهاية الفقرة (3 – 3 – 2).

5 - 2 – 2 حالات لا يسمح فيها باستخدام قضبان الفايبر في التسليح:

1 ــ لا يسمح باستخدام قضبان الفايبر كتسليح مقاوم لإجهادات الضغط في العناصر الخرسانية المسلحة. وبالتالي لا يسمح باستخدام هذه القضبان في تسليح الأعمدة والجدران الحاملة أو كتسليح مقاوم لإجهادات الضغط في العناصر المعرضة للعزوم مثل الكمرات والبلاطات.

2 ــ لا يسمح باستخدام قضبان الفايبر كتسليح للإطارات الخرسانية بسبب طبيعة الانهيار الهش لهذه العناصر الخرسانية المسلحة بالقضبان المذكورة.

3 ــ لا يسمح باستخدام قضبان الفايبر كتسليح للعناصر الخرسانية التي يحدث فيها إعادة توزيع للعزوم. كما لا يسمح باستخدامها لتسليح العناصر المقاومة لأحمال الزلازل.

4 ــ لا يسمح باستخدام قضبان الفايبر كتسليح للعناصر التي تتعرض فيها القضبان لقوى القص المباشر.

5- لا يسمح باستخدام قضبان الفايبر كتسليح في المناطق المعرضة لإجهادات قص الثقب.

5 - 3 حالة المقاومة القصوى:

يتناول هذا البند حساب المقاومة القصوى للمقاطع المعرضة لعزوم الانعطاف وللمقاطع المعرضة لقوى القص وللتحقق من مقاومة التماسك.

5 – 3 – 1 الحمولات:

يتم حساب الحمولات القصوى وفقاً لما ورد في ملحق الكود السوري الخاص بالأحمال (كود الأحمال).

5 – 3 – 2 الإجهادات والانفعالات التصميمية لقضبان الفايبر:

يتم تحديد قيم الاجهادات والانفعالات التصميمية القصوى للقضبان بعد استيفاء متطلبات المتانة والتحمل مع الزمن وفقاً لما جاء في الباب الثالث من الكود الأساس. كما يتم تحديد قيم الاجهادات والانفعالات التصميمية في حالة أحمال التشغيل (دون أخذ معاملات زيادة الأحمال).

يؤخذ إجهاد الشد التصميمي الأقصى لقضبان الفايبر عند مناطق الدوران، من المعادلة التالية:

$$f^*_{rb} = \left(\frac{0.05\, r_b}{d_b} + 0.3\right) g\, f^*_{fu} \le f^*_{fu} \qquad (1-5)$$

حيث:

f^*_{fb} = إجهاد الشد الأقصى لقضبان الفايبر عند الدوران (N/mm^2).

r_b = نصف قطر الدوران (mm)

d_b = قطر قضيب التسليح (mm).

f^*_{fu} = مقاومة الشد التصميمية لقضبان الفايبر، بعد الأخذ في الاعتبار معامل أمان يتوقف على ظروف البيئة المحيطة وفقاً للباب الثالث.

5 – 3 – 3 تصميم المقاطع المعرضة لعزوم الانعطاف:

يتناول هذا البند أساسيات وافتراضات تصميم المقاطع المستطيلة المعرضة لعزوم انعطاف أحادية التسليح (المسلحة بصف واحد من قضبان الفايبر). مع إمكانية استخدام المفاهيم الواردة في هذا الجزء في تحليل وتصميم المقاطع غير المستطيلة المعرضة لعزوم الانعطاف أو المسلحة بأكثر من صف من قضبان الفايبر.

5 – 3 – 3 – 1 أساسيات التصميم:

تفرض طبيعة الانهيار الهش لكل من الخرسانة وقضبان الفايبر أن يكون انهيار المقاطع المعرضة لعزوم انعطاف والمسلحة بهذه القضبان هشاً أيضاً. لأن الانهيار في هذه الحالة يكون محكوماً إما بانهيار الخرسانة على الضغط أو بانهيار القضبان الشد وذلك خلافاً لتوصيات الكود السوري للمقاطع المسلحة بقضبان الفولاذ قبل انهيار الخرسانة على الضغط.

في حالة انهيار قضبان الفايبر على الشد يكون انهيار العنصر مفاجئاً. ولا تكون هناك مؤشرات لذلك، بل يكون هناك إنذار محدود على هيئة ترخيم ظاهر أو شقوق ظاهرة نتيجة للاستطالة الملحوظة لقضبان الفايبر قبل الانهيار. وكذلك لا يكون للمقطع مطاوعة (أو ممطولية) كافية. لذلك فعند تصميم المقاطع المسلحة بقضبان الفايبر يسمح بأن يكون الانهيار ناتجاً إما عن

انهيار الخرسانة في الضغط، أو بانهيار القضبان على الشد. وذلك بحسب شكل مقطع العنصر. مع الإشارة إلى أن انهيار الخرسانة على الضغط يعتبر أكثر ملائمة في المقاطع المسلحة بقضبان الفايبر، لأنه في مثل هذه الحالة يسلك العنصر سلوكاً لدناً ولو بشكلٍ جزئي عند الانهيار.

تتطلب طبيعة الانهيار الهش في المقاطع الخرسانية المسلحة بقضبان الفايبر، استخدام قيم لمعاملات خفض المقاومة القصوى أكبر من مثيلاتها المستخدمة في المقاطع المسلحة بقضبان الفولاذ.

5 – 3 – 3 – 2 فرضيات التصميم الأساسية:

يجب أن يفي حد المقاومة لكافة المقاطع الخرسانية المسلحة بقضبان الفايبر والمعرضة لعزوم الانعطاف بما يلي:

1 ــ شروط التوازن (Equilibrium Conditions).

2 ــ شروط توافق الانفعالات (Compatibility of Strain)

3 ــ الفرضيات الأساسية لتوزع الانفعالات على المقطع توزيعاً خطياً، وبالتالي تعتبر الانفعالات متناسبة مع بعدها عن المحور المحايد.

4 ــ يعتبر الانفعال الأقصى للضغط في المقاطع الخرسانية المعرضة للانعطاف ($e_{cu} = 0.003$).

5 ــ عند حساب حد المقاومة القصوى تهمل مقاومة الخرسانة على الشد وتقاوم قضبان الفايبر كافة إجهادات الشد.

6 ــ تعتبر العلاقة بين الإجهاد والانفعال لقضبان الفايبر علاقة خطية مرنة حتى الانهيار.

7 ــ يفترض وجود تماسك تام بين قضبان الفايبر والخرسانة.

8 ــ تؤخذ العلاقة بين الإجهاد والانفعال في الخرسانة من منحي (الإجهاد /الانفعال) المبني على اختبارات قياسية وفقاً لما ورد في ملحق هذا الكود.

5 – 3 – 3 – 3 حالة حد المقاومة القصوى لعزوم انعطاف:

يتم تحديد مقدار العزم الحدي الأقصى لمقطع خرساني مسلح بقضبان الفايبر على أساس انهيار المقطع، الذي قد يحكمه انهيار الخرسانة على الضغط أو انهيار الشد للقضبان. ويمكن تحديد نوع الانهيار بمقارنة نسبة التسليح الفعلية للمقطع مع بنسبة التسليح التوازنية المحددة في الفقرة التالية.

5 – 3 – 3 – 4 التسليح التوازني للمقطع:

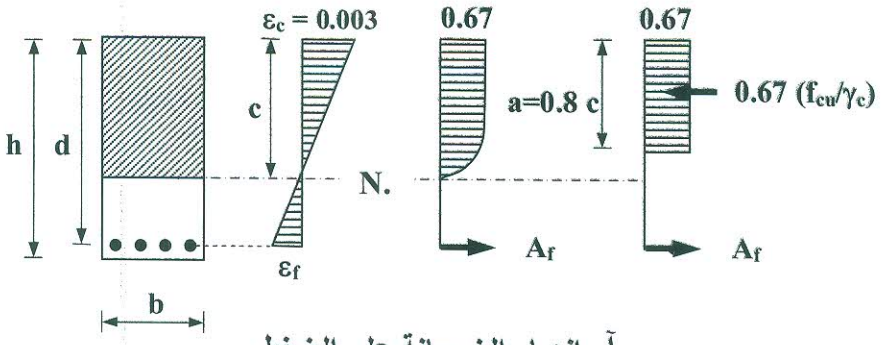
تعرف نسبة التوازنية للمقطع بأنها نسبة التسليح التي يصل معها انفعال قضبان الفايبر المشدودة إلى حده الأقصى (f^*_{fu}/E_t)، في نفس اللحظة التي تصل فيها الخرسانة المضغوطة إلى انفعال قدره ($e_{cu} = 0.003$) كما في الحالة (جـــ) من الشكل (5 - 1) التالي.

تحسب نسبة تسليح المقطع الخرساني المسلح بقضبان الفايبر من المعادلة (5 - 2) التالية:

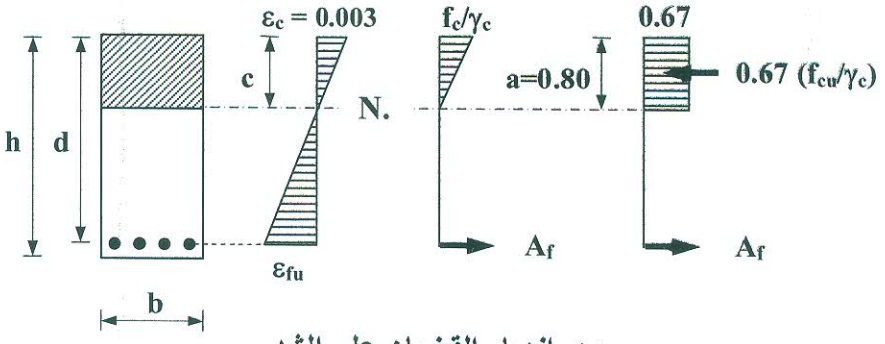
$$\mu_f = \frac{A_f}{b \cdot d} \qquad (5-2)$$

كما تحسب نسبة التسليح التوازني من المعادلة (5-3) التالية:

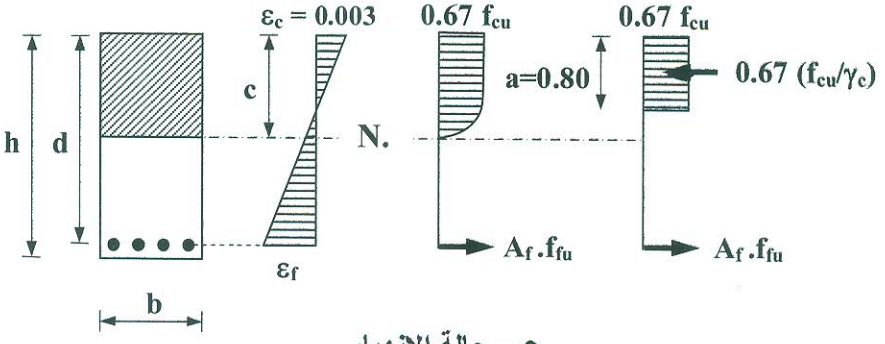
$$\mu_{fb} = 0.8 \frac{0.67 f_{cu}}{f^*_{fu}} \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon^*_{fu}} \qquad (3-5)$$



آ ـ انهيار الخرسانة على الضغط



ب ـ انهيار القضبان على الشد

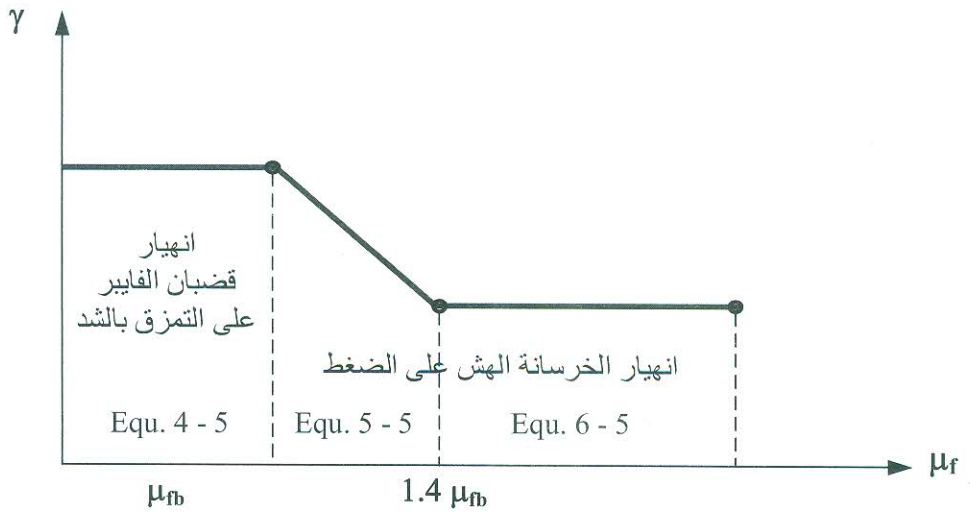


جـ ـ حالة الانهيار

الشكل (5-1) ـ توزع الإجهادات والانفعالات

5 – 3 – 3 – 5 معاملات خفض المقاومة القصوى:

تؤخذ معاملات خفض المقاومة القصوى للخرسانة وتسليح الفايبر كما يلي (الشكل 5-2):



الشكل (5-2) - تغير معاملات خفض المقاومة مع تغير نسبة التسليح بقضبان الفايبر

- **انهيار الشد الهش لقضبان الفايبر:**

$$\mu_f \le \mu_{fb}$$

$$\gamma_c = 2 \qquad \gamma_f = 2 \quad (4-5)$$

- **انهيار الخرسانة الهش على الضغط (المنطقة الانتقالية بين انهيار الضغط وانهيار الشد):**

$$\mu_{fb} < \mu_f < 1.4\,\mu_{fb}$$

$$\gamma_c = \gamma_f = 2.75 - 0.75\frac{\mu_f}{\mu_{fb}} \qquad (5-5)$$

- **انهيار الخرسانة الهش على الضغط:**

$$\mu_f \le 1.4\,\mu_{fb}$$

$$\gamma_c = 1.7 \qquad \gamma_f = 1.7 \quad (6-5)$$

5 – 3 – 3 – 6 حالة نسبة التسليح الأكبر من نسبة التسليح التوازني:

إذا كانت ($\mu_f > \mu_{fb}$) يكون انهيار الضغط للخرسانة هو المتحكم في فشل المقطع. وفي هذه الحالة يمكن استخدام المستطيل المكافئ لإجهادات الضغط للخرسانة وفقاً للكود السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية. ويتم حساب العزم الحدي الأقصى لمقاومة المقطع (M_u) من المعادلة (7-5) التالية:

$$M_u = \left(\frac{A_f\, f^*_{fe}}{\gamma_f}\right)\left(d - \frac{a}{2}\right) \qquad (7-5)$$

ويتم حساب عمق المستطيل المكافئ (a) من العلاقة التالية:

$$a = \frac{\dfrac{A_f\, f^*_{fe}}{\gamma_f}}{\left(\dfrac{0.67\, f_{cu}}{\gamma_c}\right)} \qquad (8-5)$$

ويتم حساب الإجهاد التصميمي للقضبان بعد أخذ تأثير العوامل البيئية وفقاً للباب الثالث من العلاقة التالية:

$$\frac{f^*_{fe}}{\gamma_f} = \left(\frac{0.8\,d - a}{a}\right).E_f\,.\,\varepsilon_{cu} \qquad (9-5)$$

بالتعويض من المعادلة (5-8) في المعادلة (5-9) تنتج العلاقة التالية:

$$\frac{f^*_{fe}}{\gamma_f} = \left[\sqrt{\frac{\left(E_F\,.\,\varepsilon_{cu}\right)^2}{4} + \frac{0.536\, f_{cu}}{\mu_f\,.\,\gamma_c}.E_f\varepsilon_{cu}} - 0.5\,E_f\,.\,\varepsilon_{cu}\right] \le \frac{f^*_{fu}}{\gamma_f} \qquad (10-5)$$

5 – 3 – 3 – 7 حالة نسبة تسليح المقطع أقل من نسبة التسليح التوازنية:

إذا كانت نسبة تسليح المقطع أقل من نسبة التسليح التوازنية (أي $\mu_f < \mu_u$)، يكون انهيار قضبان الفايبر على الشد هو الذي يحكم حالة الانهيار. ويحدث ذلك قبل وصول انفعال الخرسانة إلى حده الأقصى ($\varepsilon_c = 0.003$). وبالتالي لا يمكن استخدام المستطيل المكافئ لإجهادات الضغط في الخرسانة بسبب عدم معرفة مقدار الانفعال المذكور لحظة الانهيار، وبالتالي لا يمكن معرفة عمق المحور المحايد، وعدم معرفة قيم المعاملات (α_1 , β_1).

حيث:

(α_1) هي النسبة بين إجهاد الخرسانة المتوسط والإجهاد الأقصى.

(β_1) هي النسبة بين عمق المستطيل المكافئ للإجهادات إلى عمق المحور المحايد.

يتم حساب العزم الحدي الأقصى لمقاومة المقطع (M_u) من المعادلة الآتية:

$$M_u = A_f \frac{f^*_{fu}}{\gamma_f}\left(d - \frac{\beta_1 C}{2}\right) \qquad (11-5)$$

تتغير قيم ($\beta 1$, C) بناء على خواص المواد المستخدمة ونسبة تسليح قضبان الفايبر. وتكون أقصى قيمة لهذا المقدار هي ($\beta 1$, C_b). وهذا يحدث عندما يصل انفعال الخرسانة إلى حده الأقصى، أي إلى (0.003).

يمكن أيضاً استخدام المعادلة التقريبية التالية لحساب العزم الحدي (M_u):

$$M_u = 0.8\, A_f \frac{f^*_{fu}}{\gamma_f}\left(d - \frac{0.8\, C_b}{2}\right) \qquad (12-5)$$

حيث:

$$C_b = \left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon^*_{fu}}\right).d \qquad (13-5)$$

5 – 3 – 3 – 8 المقاطع المستطيلة المعرضة لعزوم الانعطاف:

يجب أن يكون الانهيار في المقاطع المستطيلة المعرضة لعزوم الانعطاف محكوماً بانهيار الخرسانة في الضغط. وذلك لضمان عدم حدوث انهيار شد (أو تمزق) في قضبان الفايبر نتيجةً لزيادة قيمة المقاومة المميزة للخرسانة المستخدمة في التنفيذ عن رتبة الخرسانة التصميمية. وهنا يجب أن تكون نسبة تسليح المقطع أكبر من (1.4) من نسبة التسليح التوازني... أي أن ($\mu_f > 1.4\ \mu_{fb}$)

يتم تصميم هذه المقاطع وفقاً للبند (5 - 3 – 3 - 6) من هذا الباب، مع أخذ معاملات خفض المقاومة بالاعتبار وفقاً للمعادلة (5 - 6).

5 – 3 – 3 – 9 مقاطع على شكل (T و Γ):

في معظم الحالات يكون الانهيار في المقاطع على شكل (T و Γ) والمعرضة لعزوم الانعطاف، محكوماً بانهيار الشد قضبان الفايبر. لذلك يمكن تصميم هذه مقاطع وفقاً لما هو ورد في البند (– 5 4 – 3 – 3). مع أخذ معاملات خفض المقاومة وفقاً للمعادلة (5 - 4).

يترتب على الاختلافين السابقين (بالإضافة إلى ضعف مقاومة القص المباشر لقضبان الفايبر)، ضعف المقاومة القصوى للخرسانة في حالة استخدام تسليح طولي من قضبان الفايبر لمقاومة القص عن حالات التسليح بالفولاذ.

5 – 3 – 4 – 2 قوة القص الاعتبارية القصوى في الكمرات:

لحساب إجهادات القص تؤخذ بالاعتبار قوة قص العظمى المحسوبة عند وجوه المساند. أما في حالات المساند المباشرة تحت الكمرات فيسمح أن يكون حساب إجهاد القص وتصميم التسليح العرضي اللازم مبنياً على قيمة القص المؤثرة على مسافة تساوي نصف الارتفاع الفعال للكمرة من وجه المسند، حيث يتولد نتيجة هذا الاستناد قوة ضغط عمودي على الحافة السفلى للكمرة موضوع التحليل. وهنا يجب العودة إلى الكود السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية لتحديد المقطع التصميمي.

5 – 3 – 4 – 3 مقاومة القص القصوى الاعتبارية.

يحسب الإجهاد الأقصى للقص (q_u) في الكمرات أو البلاطات ذات العمق الثابت، عند أي مقطع من العلاقة :

$$q_u = \frac{Q_u}{b.d} \qquad (15-5)$$

حيث (Q_u) قوة القص القصوى في المقطع.

يجب تجنب حدوث انهيار بسبب إجهادات القص، نظرا للطبيعة الهشة لهذا النوع من الانهيار.

حيث يمكن تقسيم انهيار القص إلى النوعين التاليين:

آ ــ انهيار الضغط الناتج عن فشل الخرسانة في جذع المقطع.

ب ــ انهيار الشد المفاجئ في القضبان.

يعتبر النوع الأخير ذو طبيعة أكثر هشاشة من انهيار الضغط الذي يترافق مع سهم كبير في الكمرة.

ب ــ عند وجود حمولة مركزة (P_u) عند المسافة (a) من وجه المسند أقل أو تساوي ضعف الارتفاع الفعال ($a < 2d$)، يسمح بحساب إجهاد القص الناتج عن هذا الحمل بأخذ قوة قص تساوي قوة القص الحسابية مضروبة في (a/2d).

جـ ــ يمكن اعتبار قيمة القص المؤثرة في المقطع الحرج، ثابتة على مسافة قدرها (d/2) من وجه المسند. وقيمتها أكبر قوة محسوبة طبقاً للبندين (آ و ب) أعلاه.

إذا زادت القيمة (q_u) عن مقاومة الخرسانة (q_{cuf}) فمن الضروري استخدام تسليح عرضي من قضبان الفايبر من نوع واحد أو أكثر من الأنواع التالية:

1 ــ أساور عمودية على محور العنصر.

2 ــ أساور مائلة بزاوية لا تقل عن (30^o) عن المحور الطولي للكمرة، مع أساور عمودية على مستوى المحور، ويحسب مقدار مشاركة التسليح العرضي كما يلي:

$$q_{fu} = q_{u-0.5} \cdot q_{cuf} \qquad (19\text{-}5)$$

5 – 3 – 4 – 7 التسليح العرضي في الكمرات:

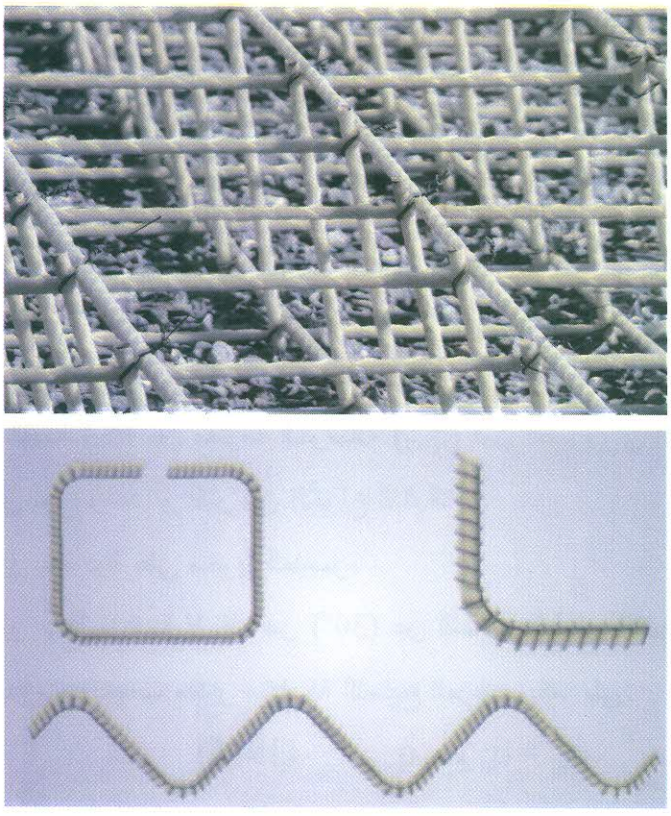
لضمان عدم حدوث انهيار التسليح العرضي عند مناطق الدوران في حالة استخدام أساور من قضبان الفايبر، وكذلك للحد من توسع الشقوق الناتجة عن القص (وفي ذلك ضمان لفاعلية الخرسانة في مقاومة قوى القص)، يجب أن لا يتعدى إجهاد الشد الأقصى المسموح به بالنسبة للتسليح العرضي في قضبان الفايبر (f_{fq}) القيمة التالية:

$$f^*_{fb} = 0.002\, E_f\, P\, f_{fb} \qquad (22\text{-}5)$$

حيث (f^*_{fb}) الإجهاد الأقصى المسموح به عند زوايا التسليح العرضي طبقاً للمعادلة (5-1).

آ ــ في حال استخدام أساور عمودية على محور العنصر بدون قضبان مكسحة، يحسب التسليح العرضي طبقاً من المعادلة التالية:

$$\mu_{fb} = \frac{A_{fq}}{b \times s} = \frac{q_{fu}}{\left(\frac{f_{fq}}{\gamma_f}\right)} \qquad (23\text{-}5)$$



الشكل(5 - 4)

ب ــ في حال أساور استخدام مائلة أو قضبان طولية مكسحة على محور العنصر بزاوية (α)، يحسب التسليح العرضي من المعادلة التالية:

$$\frac{A_{fqb}}{b \times s} = \frac{q_{fub}}{\left[\left(\frac{f_u}{\gamma_f}\right) \times (\sin\alpha + \cos\alpha)\right]} \qquad (24-5)$$

$$q_{fub} = q_{fu} - q_{fus} \qquad (25-5)$$

q_{fub} = مقاومة القص القصوى الاعتبارية للقضبان المكسحة.

q_{fus} = مقاومة القص القصوى الاعتبارية للأساور العمودية على محور العنصر.

5 – 3 – 4 – 8 متطلبات عامة في اختيار وترتيب التسليح العرضي:

لضمان عدم حدوث انهيار قص مفاجئ، يجب ألا يقل الحد الأدنى لنسبة التسليح العرضي في الكمرات عن:

$$\mu_{fq\,min} = \frac{0.4}{f_{fq}} \qquad (26-5)$$

حيث تؤخذ (f_{fq}) بوحدة (N / mm^2).

يجب ألا تزيد المسافة الأفقية بين الأساور الرأسية عن نصف العمق الفعال (d/2) أو عن (20 cm)، (أيهما أقل).

يجب ألا تزيد هذه المسافة ــ بالنسبة للقضبان المكسحة عن الارتفاع الفعال (d).

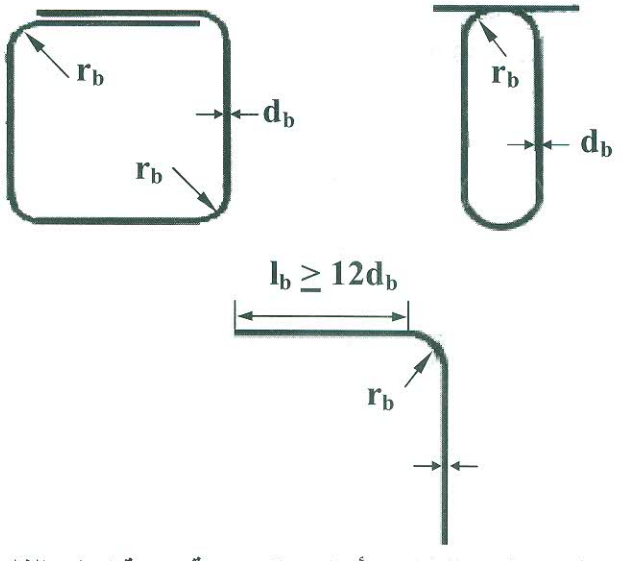
جـ ــ لا تقل المسافة الأفقية بين القضبان الطولية المكسحة عن (1.5 d) بشرط ألا يزيد إجهاد القص على مرة ونصف مقاومة الخرسانة للقص. كما يمكن زيادة هذه المسافة الأفقية إلى (2d) إذا كان إجهاد القص المطبق لا يتعدى مقاومة الخرسانة للقص.

د ــ يعتبر التسليح العرضي فعالاً في حال كان كل خط يميل بزاوية مقدارها (45^o) ممتداً من منتصف عمق الكمرة إلى وجه الركيزة، يقطع أحد قضبان تسليح القص في جذعه الفعال.

هـ ــ يراعى عدم تنفيذ وصلات عند المناطق ذات إجهاد القص العالية.

و ــ يجب ألا تقل نسبة نصف قطر الانحناء إلى قطر التسليح العرضي المستخدم عن (3). أي ($r_b / d_b \geq 3$)

مع ضرورة قفل الأساور بزاوية قائمة (90^o) كما هو مبين في الشكل (5 -5).



الشكل(5 - 5) تفصيلات الأساور المصنعة من قضبان الفايبر

ز ــ يجب ألا يقل طول الجزء المستقيم من الأسوارة عند منطقة الإقفال عن (12) مرة قطر قضيب الأسوارة ($l_b \geq 12d_b$)، وذلك لضمان طول تماسك كافٍ بينها وبين الخرسانة.

ح ــ يجب أن تصمم البلاطات والكمرات التي لا يزيد ارتفاعها على (25 cm) أو عن (2.5) سماكة الشفة (للمقطع T) أو عن نصف سماكة الجذع.. أيهم أكبر، بحيث يحدد ارتفاع المقطع على أساس مقاومة القص. تكون بواسطة الخرسانة فقط وطبقاً للعلاقة (5 - 27) أدناه. وتطبق هذه الحالة على الكمرات المخفية في البلاطات المفرغة.

$$q_{cuf} = 0.16\sqrt{\frac{f_{cu}}{\gamma_c}\left(\frac{\mu_f E_f}{\mu_s E_s}\right)} \quad N/mm^2 \qquad (27\text{-}5)$$

5 – 3 – 5 المقاطع المعرضة لحمولات شد محورية أو لعزوم انعطاف مترافقة مع حمولات شد محورية:

آ ــ تصميم المقاطع المعرضة لحمولات شد محوري أو لقوى شد تؤثر داخل المقطع، وضمن المسافة الواقعة بين (d و d`) على أساس أن المقاومة تتم بواسطة قضبان الفايبر فقط.

ب ــ تصمم المقاطع الخرسانية الأخرى خلافاً لما ذكر في البند (آ)، والمعرضة لحمولات شد محوري مترافقة مع عزم انعطاف، باستخدام طريقة توافق الانفعالات.

5 – 3 – 6 أطوال التماسك لقضبان الفايبر(البوليميرية المسلحة بالألياف):

يجب أن تمتد قضبان التسليح من (FRP) على جانبي أي مقطع بطول تماسك يتناسب مع قوة الشد في القضيب في هذا المقطع. ويحسب طول التماسك (L_d) اللازم لمنع انفصال الخرسانة عن قضبان التسليح المعرضة لإجهاد شد من المعادلة التالية:

$$L_d = \frac{\phi \times \zeta \times \eta \times f^*_{fu}}{18.5} \qquad (5\text{-}28)$$

ويقاس هذا الطول في المقطع الحرج الذي يحدث عنده أقصى إجهاد شد في القضبان. وكذلك في المقطع الذي تنتهي أو تكسح عنده القضبان.

حيث:

Ø= القطر الإسمي للقضيب

η = 1.30 لقضبان التسليح العلوية التي يزيد سمك الخرسانة المصبوبة أسفلها على (30 cm).

η = 1.00 لجميع الحالات الأخرى.

ζ = معامل يعتمد على سماكة التغطية الخرسانية أو المسافة بين قضبان الفايبر الطولية:

ζ = 1 عندما تكون المسافة = 2Ø

ζ = 1.5 عندما تكون المسافة = Ø

5 – 3 – 7 حالات حدود التشغيل:

تعتبر العناصر الخرسانية المسلحة بقضبان الفايبر ذات صلابة صغيرة نسبياً بعد التشقق. وبالتالي فإن السهم المسموح تحت تأثير حمولات التشغيل يتحكم غالباً بالتصميم.

إذا كان التصميم محكوماً بانهيار الخرسانة على الضغط، فسينتج عن ذلك على وجه العموم استيفاء اشتراطات حالات حدود السهوم والتشققات.

5 – 3 – 7- 1 السهوم وحالات حدود التشكل:

يجب ألا تزيد قيم السهوم في العناصر المعرضة لعزوم انعطاف في المنشآت العادية عن تلك المحددة في الكود السوري الأساس للمنشآت الخرسانية.

5 – 3 – 7- 2 نسبة المجاز الفعال إلى العمق الكلي:

لا يجوز استخدام نسبة المجاز الفعال إلى العمق الكلي المذكورة في الكود السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية في العناصر الخرسانية المسلحة بقضبان الفايبر. ويجب في جميع الحالات حساب السهوم والتحقق من عدم تجاوزه للقيم المسموح بها.

5 – 3 – 7- 3 حساب سهم الانعطاف:

يمكن حساب سهم الانعطاف من أساس الطرق المعروفة في نظريات المرونة مع اعتبار معامل المرونة طبقاً لما ورد في هذا الكود.

5 – 3 – 7- 4 عزم العطالة الفعال للمقطع (Ie):

يؤخذ عزم العطالة الذاتي الفعال للمقطع (I_e) لحساب سهم الانعطاف للعناصر غير المستمرة من المعادلة:

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \beta_d I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_g}\right)^3\right] I_{cr} \qquad (29-5)$$

$$\beta_d = 0.5 \left[\frac{E_f}{E_s} \right] \qquad (30-5)$$

حيث:

I_{cr} = عزم العطالة للمقطع الفعال بعد التشقق على ألا يزيد عن (I_g).

I_g = عزم القصور الذاتي الكامل للمقطع الخرساني حول محور الخمول وبدون اعتبار تأثير الشروخ ومع إهمال حديد التسليح.

E_s = معاير مرونة صلب التسليح.

E_f = معاير مرونة قضبان FRP.

M_a= قيمة أكبر عزم انعطاف يتعرض له العنصر عند حساب السهم.

M_{cr} = أقل عزم انعطاف يسبب التشقق في الخرسانة ويؤخذ من المعادلة التالية:

$$M_{cr} = \frac{f_{ctr} \cdot I_g}{y_t} \qquad (31-5)$$

حيث:

y_t = المسافة من المحور المحايد حتى طرف أقصى ليف مشدود في المقطع، مع عدم اعتبار تأثير الشقوق والتسليح.

f_{ctr} = إجهاد حد التشقق للخرسانة المعرضة للشد. ويؤخذ من المعادلة:

$$f_{ctr} = 0.6\sqrt{f_{cu}} \quad N/mm^2 \qquad (32-5)$$

حيث تؤخذ (f_{cu} , f_{ctr}) بوحدة (N/mm^2).

ملاحظات:

1 ــ عند حساب التشكل في العناصر المستمرة يمكن اعتبار عزم العطالة الفعال، يساوي متوسط قيمتي هذا العزم في مقطعي العنصر المعرضين لأقصى عزمي انعطاف سالب وموجب.

2 ــ يسبب زحف الخرسانة نتيجة للحمولات الدائمة سهماً إضافياً يزداد مع الزمن. ويمكن أخذ هذا السهم الإضافي المتولد عن تأثير الزحف بالاعتبار، من خلال ضرب قيمة السهم اللحظي بسبب الحمولات الدائمة والمحسوب طبقاً للقواعد السابقة، بالمعامل ($\alpha = 1.2$).

5 – 3 – 5 حالات حدود التشقق:

يحتمل أن يكون توسع الشقوق في العناصر المسلحة بقضبان الفايبر أكبر من نظائرها المسلحة بقضبان الفولاذ. ولكن نظراً لأن قضبان الفايبر لا تصدأ، فإن اشتراطات حد التشقق المعطاة في الكود السوري للخرسانة المسلحة تكون اشتراطات متحفظة. لذلك يشترط ألا يزيد عرض الشق الناتج في الخرسانة المسلحة بقضبان الفايبر عن (0.5 mm) كي لا تؤثر تلك الشقوق سلباً على مقاومة الخرسانة وعلى شكل العنصر.

5 – 4 البلاطات المستندة على التربة:

يمكن التحكم في تشققات البلاطات الخرسانية المستندة على التربة عن طريق استخدام تسليح من قضبان الفايبر، من خلال استخدام هذه القضبان كتسليح لمقاومة الانكماش والحرارة.

توضع هذه القضبان عادةً في النصف العلوي من مقطع البلاطة. وهي تساعد في التحكم في بعرض الشقوق وتوزيعها والمسافات فيما بينها. مما يترتب عليه إمكانية زيادة المسافات بين فواصل الانكماش في تلك البلاطات.

تحسب مساحة التسليح من العلاقة التالية:

$$A_{f,sh} = \frac{5000\,\mu \times L \times \gamma_{RC} \times t}{0.0012 E_f} \qquad (33-5)$$

حيث:

$A_{f,sh}$ = مساحة التسليح للقضبان لوحدة الأمتار بوحدات (مم٢/م).

μ = معامل احتكاك التربة. ويمكن اعتباره ($\mu = 1.5$).

L = المسافة بين فواصل الانكماش بوحدات (mm).

E_f = معاير المرونة لقضبان FRP بوحدات (mm).

γ_{RC} = الوزن الحجمي لخرسانة البلاطة بوحدات (N/mm^3).

t = سمك البلاطة بوحدات (mm).

ملحق الكود
اختبارات قضبان الفايبر (البوليميرية المسلحة بالألياف)
المستخدمة في أعمال تسليح الخرسانة

م ــ 1 مقدمة:

يتم تصنيع قضبان الفايبر بعدة طرق، أهمها:

آ ــ القضبان المشكلة.

ب ــ القضبان المغطاة بالرمل.

جـ ــ القضبان ذات النتوءات.

د ــ الكابلات متعددة الجدائل.

هـ ــ الكابلات على هيئة ضفائر.

لذلك تم إدراج هذا الملحق للتمكن من تحديد الخصائص المختلفة للقضبان المصنوعة البوليمرات المسلحة بالألياف.

م - 2 اختبار تحديد الخصائص الهندسية لقضبان الفايبر:

م - 2 - 1 المجال:

يمكن تحديد الخصائص الهندسية التالية للقضبان لاستخدامها في توصيف المواد وضبط الجودة وأعمال التصميم والتحليل الإنشائي:

1. مساحة مقطع القضيب الفعلية.
2. القطر المكافئ للقضيب.
3. المحيط المكافئ للقضيب.

يعتبر مقطع قضيب الفايبر من العوامل الهامة التي يجب أخذها بالاعتبار عند استخدام هذه القضبان في تسليح العناصر الخرسانية. وتوضح الطريقة التالية كيفية إجراء هذا التحديد. حيث تعتمد هذه الطريقة على غمر العينة في سائل ضمن أنبوب اختبار مدرج. وهي مخصصة لتعيين مقاطع

القضبان ذات الشكل الهندسي الذي لا يؤدي إلى احتباس الهواء عند غمرها بالسائل في أنبوب اختبار مدرَّج.

م - 2 – 2 الأجهزة اللازمة:

1. أنبوب اختبار ذو تدريج (10 ml) كحد أقصى، وبقطر وارتفاع مناسبين لاحتواء العينة وتعيين حجمها.

٢. أداة قياس مناسبة بدقة (0.025 mm) لقياس أبعاد العينة.

3. يستخدم الماء أو الكحول الإيثيلي (في حال تكونت فقاعات هواء على العينة) لملئ أنبوب الاختبار.

م - 2 – 3 تجهيز العينات:

1. يجب أخذ عينات من (5) قضبان على الأقل بطول (20 cm) بحيث تعبر عن دفعة الإنتاج. شريطة أن تكون هذه العينات غير معرضة لأي نوع من أنواع التشغيل أو التشكيل.

2. أثناء إعداد وتجهيز العينات، يجب تجنب أية عوامل خارجية قد تؤثر على خواص المواد كالحرارة والأشعة فوق البنفسجية والمواد كيميائية الحمضية أو القلوية والتأثيرات الميكانيكية التي تغير من الشكل.

3. إذا كان الشكل الخارجي للقضبان مشكلاً أو غير مستدير (Deformed bars)، فيجب أن يحتوي طول العينات المختبرة على طول واحد على الأقل من تكرار التغير في الشكل (Characteristic length). بالنسبة لشبكات قضبان الفايبر، يكون طول العينة عند تقطيع القضبان هو طول الفتحة في الشبكة، مع ضرورة مراعاة تعامد اتجاه المقطع مع الإتجاه الطولي للعينة. كما يجب إزالة أية زوائد عند سطح القطع.

4. يمكن تغطية سطح القطع للعينات باستخدام شمع البارافين في حال الشك بإمكانية دخول الماء داخل العينة أثناء إجراء الاختبار.

م - 2 – 4 ظروف الاختبار:

يجرى الاختبار ضمن شروط المعمل القياسية في درجات حرارة (23 ± 3) ورطوبة نسبية ($50\% \pm 10$).

م - 2 – 5 كيفية إجراء الاختبار:

1. يجب حفظ العينات في ظروف الاختبار المذكورة في البند السابق لمدة لا تقل عن (24) ساعة قبل اختبارها.
2. يملأ أنبوب الاختبار المدرج بالماء أو الكحول الإيثيلي لارتفاع مناسب مع المحافظة على ألا يفيض الماء أو الكحول عند غمر العينة به. ثم يسجل حجم السائل في الأنبوب.
3. يقاس طول كل عينة ثلاث مرات بتدوير العينة (120) درجة حول محورها في كل مرة قياس. ويتم حساب متوسط الثلاث قراءات لأقرب (0.1 mm) ويعتمد كطول للعينة.
4. تغمر العينة بالكامل داخل السائل مع مراعاة عدم تكون فقاعات هواء محبوسة حول العينة. وتسجل الزيادة الحجمية للسائل (حجم السائل المزاح).

م - 2 - 6 تقييم النتائج:

أولاً ــ عند تحديد طول وحجم كل قضيب من العينات الخمسة، تحسب مساحة مقطع العينة (A) وتقرب إلى أقرب ($1\ mm^2$) من خلال تقسيم حجم العينة على طولها (L).

$$A = \frac{\Delta V}{L} \times 1000 = \frac{V_1 - V_0}{L} \times 1000$$

حيث:

ΔV = الزيادة في قراءة أنبوب الاختبار عند غمر العينة في السائل (mm).

V_1 = حجم السائل في أنبوب الاختبار قبل غمر العينة (mm).

V_0 = حجم السائل بالمخبار بعد غمر العينة ، مل.

L = طول العينة (mm).

ثانياً ــ يحسب القطر المكافئ (d_b) لكل عينة كما يلي، باعتبار أن مقطع العينة دائرياً.

$$d_b = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}} \qquad (mm)$$

ثالثاً ــ يحسب المحيط المكافئ (C_b) لكل عينة كما يلي، باعتبار أن مقطع العينة دائرياً.

$$C_b = 2\sqrt{A \times \pi} \qquad (mm)$$

م - 2 - 7 تقرير النتائج:

يجب أن يحتوي التقرير النهائي لنتائج الاختبار على البيانات الآتية:

1. الاسم التجاري للقضبان، وتاريخ تصنيعها وأبعادها.
2. نوع الألياف والمادة الرابطة ونسبة الألياف (V_f) في العينة.
3. وصف لعينات الاختبار وأرقامها.
4. التشكلات الموجودة على سطح العينة.
5. نوع السائل المستخدم (ماء أو كحول إثيلي).
6. طول وحجم ومساحة المقطع والقطر المكافئ والمحيط المكافئ لكل عينة.
7. المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لكل خاصية من الخواص.
8. درجة الحرارة والرطوبة وتاريخ الاختبار واسم القائم بالاختبار.
9. طريقة تجهيز العينة للاختبار.

م - 3 اختبار تعيين خصائص الشد المحوري لقضبان الفايبر:

م - 3 - 1 المجال:

تحدد هذه الطريقة متطلبات الاختبار لتحديد مقاومة الشد ومعامل المرونة والاستطالة القصوى لقضبان الفايبر المستخدمة كقضبان تسليح أو أوتار مسبقة الإجهاد في الخرسانة.

م - 3 - 2 الأهمية والاستخدام:

تنفذ هذه التجربة للحصول على مقاومة الشد ومعامل المرونة والانفعال الأقصى. وغالباً ما تجرى في مصنع القضبان، حيث يكون فيها المتغير الرئيسي هو حجم أو نوع القضبان.

تركز طريقة الاختبار على قضبان الفايبر دون الاهتمام بخاصية التماسك. لذلك يتم إهمال أي انهيار يحدث في منطقة التثبيت (Anchorage). وتعتمد نتائج الاختبار على الانهيار الحادث داخل طول الاختبار فقط.

م - 3 - 3 المصطلحات:

م - 3 – 3 - 1 المقطع المختبر:

هو الجزء المحصور للعينة بين أجزاء تثبيتها في آلة الاختبار.

م - 3 – 3 - 2 نهايات التثبيت:

هما طرفا العينة المجهزان لتثبيت آلة الاختبار، لضمان نقل الحمولات من الآلة إلى العينة.

م - 3 – 3 - 3 طول القياس:

هي المسافة بين نقطتي القياس على المقطع المختبر، والذي على أساسه يتم حساب النسبة المئوية للاستطالة.

م - 3 – 3 - 3 أداة التثبيت:

هي أداة توضع في نهاياتي العينة لتثبيتها في الآلة من أجل نقل الحمولة من الآلة إلى مقطع العينة.

م - 3 – 3 - 5 مقاومة الشد القصوى:

هي أقصى حمولة شد تتحملها العينة قبل الانهيار مباشرة.

م - 3 – 3 - 6 مقاومة الضمان على الشد:

هي متوسط مقاومة الشد القصوى مطروح منها ثلاثة انحرافات معيارية. وتمثل قدرة الشد التي يضمن المصنع أن القضبان ستتحملها دون انهيار.

م - 3 – 3 - 7 الانفعال الأقصى:

نسبة هو التغير في الطول (في واحدة الأطوال) والمقابلة لمقاومة الشد.

م - 3 - 4 الأجهزة اللازمة ــ آلة الاختبار:

يجب أن يكون الحمل الأقصى للآلة أكبر من مقاومة الشد للعينة. كما يجب أن تتم معايرتها طبقاً لأية مواصفة قياسية عالمية مثل المواصفة الأمريكية (ASTM E4)، حيث يمكن التحكم بطريقة التحميل طبقاً لمعدل التحميل أو لمعدل الإزاحة.

م - 3 - 5 قياس الانفعال:

يجب أن تستخدم مقاييس انفعال قياسية عالمية قادرة على تسجيل التغير في طول العينة أثناء الاختبار بدقة لا تقل عن (0.02 %) من طول العينة.

م - 3 - 6 طول القياس:

لتحديد معامل المرونة وأقصى انفعال للعينة، يجب تثبيت أجهزة قياس الانفعال في منتصف العينة، وعلى بعد لا يقل عن (8) مرات قطر القضيب من نهايات التثبيت. كما يجب مراعاة المحورية عند وضع العينة في الجهاز.

أما بالنسبة لطول العينة فيجب ألا يقل عن (8) مرات قطر القضيب أو الطول المميز.

م - 3 - 7 تسجيل المعلومات:

1. يجب أن يكون نظام الحصول على المعلومات قادراً على تسجيل كل من الحمولة والإزاحة والانفعال بصورة مستمرة، وبمعدل لا يقل عن قراءتين في الثانية.
2. يجب أن تكون أقل وحدة حمولة (100 N).
3. يجب أن تكون أقل وحدة انفعال (1×10^{-5}).
4. يجب أن تكون أقل وحدة إزاحة (0.001 mm).

م - 3 - 8 تجهيز العينة:

م - 3 – 8 – 1 يجب أن تكون العينات ممثلة للكمية أو الدفعة المراد اختبارها. أما بالنسبة لعينات قضبان الفايبر الشبكية، فمن الممكن تحضير عينات طولية للاختبار عن طريق قطع الأجزاء الزائدة بحيث لا يتأثر الجزء الذي سيتم استخدامه. كما يجب ترك (2 mm) بارزة من القضبان العرضية في الطول المقاس للعينة.

م - 3 – 8 – 2 أثناء إعداد وتجهيز العينات يمنع القيام بأية عمليات تشغيل مثل الكشط وخلافه. ولكن من الممكن عمل تشغيل في نهايات التثبيت لزيادة التماسك.

م - 3 – 8 – 3 أثناء إعداد وتجهيز العينات، يجب تجنب أية عوامل خارجية قد تؤثر على خواص المواد كالتغيرات في الشكل والتعرض للحرارة والتعرض للأشعة فوق البنفسجية وأية عوامل بيئية أخرى.

م - 3 – 8 – 4 يجب أن يكون طول عينة الاختبار مساوياً لطول الجزء المختبر مضافاً له نهايات التثبيت. مع مراعاة ألا يقل طول الجزء المختبر عن (100 mm) 100 أو عن (4) أمثال قطر القضيب.

بالنسبة للأسياخ المجدولة يجب أن يكون طول الجزء المختبر أكبر من ضعفي خطوة الجديلة.

م - 3 – 8 – 5 يجب ألا يقل عدد عينات الاختبار عن خمس عينات، وفي حالة حدوث انهيار للعينة أو انزلاق في نهايات التثبيت، يجب إجراء اختبار إضافي على عينة أخرى مأخوذة من نفس الدفعة المختبرة.

م - 3 - 9 ظروف الاختبار:

يجرى الاختبار ضمن شروط المعمل القياسية في درجات حرارة (3 ± 23) ورطوبة نسبية ($50\% \pm 10$).

م - 3 - 10 كيفية إجراء الاختبار:

١ ــ تثبت العينة في آلة الاختبار مع مراعاة محورية العينة مع محور فكي الآلة.

٢ ــ يجب أن يبدأ نظام تسجيل المعلومات بثواني قليلة قبل بدأ التحميل. كما يجب أن يكون معدل التحميل (أو معدل الإزاحة) ثابتاً طوال فترة الاختبار، بحيث يحدث الانهيار في فترة تتراوح بين (10 - 1) دقيقة.

٣ ــ يزاد الحمل حتى انهيار العينة. ويتم تسجيل انفعال العينة حتى تصل الحمولة إلى (50%) على الأقل، من قدرة الشد. أو قدرة الشد المضمونة... أيهما أكبر.

م - 3 - 11 تقييم النتائج:

أولاً ــ يتم رسم منحنى (الإجهاد/الانفعال) من القراءات التي تم تسجيلها من مقاييس الانفعال.

ثانياً ــ تحسب مقاومة الشد للعينة من المعادلة التالية لأقرب ثلاثة أرقام عشرية.

$$f_u = \frac{F_u}{A}$$

حيث:

f_u = مقاومة الشد (Mps).

F_u = قوة الشد (N).

(A) = مساحة مقطع الفعلية (mm^2)، مع مراعاة أن مساحة المقطع الفعلية (A) محددة طبقاً لما هو وارد بطريقة الاختبار.

م - 3 - 12 تقييم النتائج:

أولاً ــ عند تحديد طول وحجم كل قضيب من العينات الخمسة، تحسب مساحة مقطع العينة (A) وتقرب إلى أقرب ($1\ mm^2$) من خلال تقسيم حجم العينة على طولها (L).

يمكن عند التصميم تقسيم الحمولة المحدد من الاختبار على مساحة المقطع القياسية للقضبان ذات القطر الإسمي نفسه. على أنه يجب ذكر ما إذا كانت مساحة المقطع المستخدمة هي المساحة الفعلية أو المساحة القياسية.

ثانياً ــ يعين معاير المرونة بأقرب ثلاث أرقام عشرية من منحني الإجهاد /الانفعال، وذلك بين النقطتين المحددتين بالحمولتين (50% - 20%) من الحمولة القصوى، باعتبار أن العلاقة في هذه المنطقة علاقة خطية.

في حال معرفة قدرة الشد المضمونة، تحسب النسب (50% - 20%) من مقاومة الشد المضمونة باستخدام المعادلة التالية:

$$E_L = \frac{F_1 - F_2}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \times A}$$

حيث:

E_L = معامل المرونة المحوري (أو الطولي) (Mpa).

A = مساحة مقطع (mm^2).

(F_1 , ε_1) الحمولة والانفعال المناظر لها عند (50%) من مقاومة الشد القصوى، أو قدرة الشد المضمونة. (N , mm^2).

(F_2 , ε_2) الحمولة والانفعال المناظر لها عند (20%) من مقاومة الشد القصوى، أو قدرة الشد المضمونة. (N , mm^2).

م - 3 - 13 تقرير النتائج:

يجب أن يحتوي التقرير على البيانات الآتية:

يجب أن يحتوي التقرير النهائي لنتائج الاختبار على البيانات الآتية:

1. الاسم التجاري للقضبان، وتاريخ تصنيعها وأبعادها.
2. نوع الألياف والمادة الرابطة ونسبة الألياف (V_f) في العينة.
3. وصف لعينات الاختبار وأرقامها.

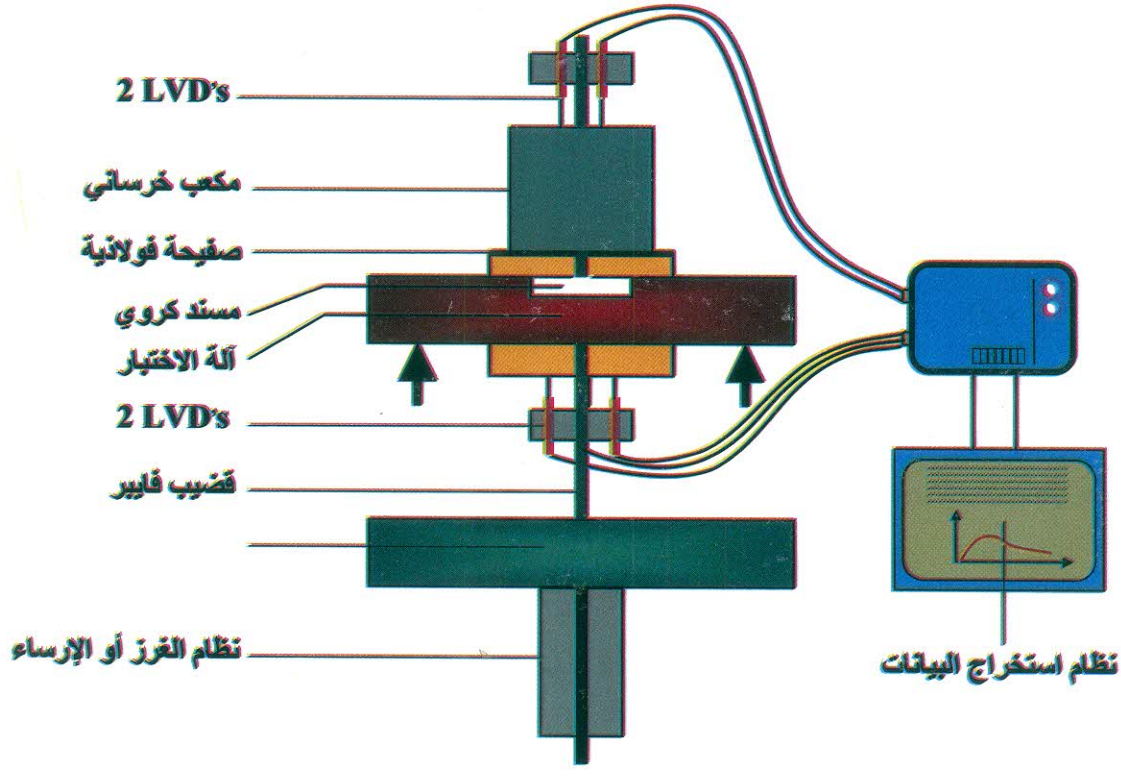
م - 4 - 5 الأجهزة اللازمة:

1. يجب أن يكون الحمل الأقصى للآلة أكبر من مقاومة الشد للعينة. كما يجب أن تتم معايرتها طبقاً لأية مواصفة قياسية عالمية مثل المواصفة الأمريكية (ASTM E4)، حيث يمكن التحكم بطريقة التحميل طبقاً لمعدل التحميل أو لمعدل الإزاحة.

يجب تحميل القضيب بمعدل لا يزيد على (20 kN/min) أو (1.3 kN/min) طبقاً لطبيعة آلة الاختبار وطريقة التحكم بها.

2. لوح التحميل:

يجب أن يكون لوح التحميل مربعاً مصنوعاً من الحديد بطول ضلع لا يقل عن (200 mm) وسماكة (20 mm)، ويحتوي على فتحة في المركز بقطر مناسب تسمح بمرور القضيب كما الشكل (الشكل م ــ 3).



الشكل (م - 3) - تجهيزات اختبار طول التماسك

3. يجب أن تثبت النهاية المحملة من للقضيب بطريقة تسمح بنقل الحمولة حتى يتم انتزاع القضيب من الخرسانة بعد انهيار التماسك. كما يجب نقل حمولة العينة محورياً دون حدوث عزوم أو التواءات في القضيب.

4. يتم تركيب أجهزة قياس الإزاحة (LVDT) /أو أي جهاز مماثل/ على كل من النهاية الحرة والنهاية المحملة لعينة الاختبار. على ألا تقل دقة الأجهزة عن (0.001 mm).

من الأفضل استخدام ثلاث أجهزة قياس (LVDT) موضوعة على زوايا بينية مقدارها (120^o) عند النهاية المحملة. ومقياس واحد أو مقياسين خطيين بزاويا بينية مقدارها (180^o) عند النهاية الحرة للقضيب.

5. يستخدم في هذا الاختبار نوعان من القوالب لصب العينات الخرسانية:

مكعب بطول ضلع داخلي (200 mm) ويحتوي على قضيب مغموس رأسياً في كل منها. والثاني موشوي بأبعاد داخلية (200 x 200 x 400 mm) وتحتوي على قضيبين أفقيين في كل عينة. ويفضل أن تكون القوالب مصنوعة من الحديد بسماكة لا يقل عن (6 mm). كما يجب أن تكون هذه القوالب كتيمة، ويمكن إخراج العينة منها بسهولة.

م - 4 - 6 تجهيز العينات:

1. يجب أخذ عينات من (5) قضبان على الأقل بطول (20 cm) بحيث تعبر عن دفعة الإنتاج. شريطة أن تكون هذه العينات غير معرضة لأي نوع من أنواع التشغيل أو التشكيل.

2. تقطع كل عينة من الأسياخ بطول (1200 mm).

3. بعد صب العينات، يجب أن تحتوي العينة على قضيب واحد مغروز رأسياً في اتجاه صب الخرسانة كما في الشكل (م ــ 1). أو قضيبين مغروزين أفقياً عمودياً على اتجاه الصب كما في الشكل (م ــ 2).

4. يتم عمل خمس عينات من كل نوع للقيام بتجربة اختبار واحدة. وفي حالة حدوث انهيار أو انزلاق للعينة في منطقة التثبيت، يجب إعادة الاختبارات على عينة أخرى مأخوذة من نفس الدفعة المختبرة.

م - 4 – 6 - 1 عينات القضبان المغروزة رأسياً:

تكون هذه العينات من مكعبات خرسانية طول ضلعها (20 cm)، وفيها قضيب فايبر واحد مغروز رأسياً في منتصف العينة كما في الشكل (م ــ 2).

يجب أن يكون القضيب بارزاً من سطح العينة العلوي بمسافة تكفي لتركيب بلوكات التحميل وأداة تثبيت للعينة، كما يجب أن يكون الطول البارز للسيخ بطول يسمح بنقل حمولة الاختبار من خلال كلابات الآلة.

في حالة حدوث انهيار بالمكعبات الخرسانية أثناء الاختبار، يعاد الاختبار بمكعبات أكبر بطول ضلع 300 مم.

م - 4 – 6 - 2 العينات ذات الأسياخ المغروزة أفقياً:

1. تكون هذه العينات من مواشير خرسانية بأبعاد (20 x 20 x 40 cm)، يوضع بعدها الطويل في الإتجاه الرأسي.

2. يستخدم قضيبان لكل عينة، يتم غرزهما في الإتجاه الأفقي عمودياً على محور الموشور الأطول على مسافات متساوية من جوانب العينة. أما بالنسبة للاتجاه الرأسي فيكون القضيب الأول على بعد (10 cm) من السطح السفلي للموشور. ويكون القضيب الثاني على بعد (30 cm) من السطح السفلي أيضاً.

3. يجب أن يكون القضيبان بارزين من الموشور لمسافات مماثلة للبروز بالعينة الرأسية، بحيث يكفي الطول لتركيب بلوكات التحميل وأداة تثبيت العينة. ويجب أن يكون الطول البارز للقضيب يسمح بنقل حمولة الاختبار من خلال كابلات الآلة.

4. يتم عمل تجويف مثلث الشكل على كل من السطحين المتوازيين للعينة وموازيين للأسياخ عند منتصف العينة وبعمق (13 mm) مقاسه من سطح الخرسانة، وذلك بهدف تسهيل كسر العينة إلى عينتين متماثلتين عند هذا الجزء قبل إجراء اختبار السحب أو الانتزاع.

5. يجب أن يكون طول تماسك القضيب خمس أمثال قطره. وفي حالة عدم كفاية هذا الطول يمكن زيادته إلى أي طول مناسب.

6. يجب عزل القضيب منطقة التماسك بتغليفه بمادة (PVC) أو أية مادة أخرى مناسبة تمنع التماسك بين القضيب والخرسانة خارج منطقة التماسك. كما يجب أن يبرز الطرف الحر للقضيب إلى مسافة مناسبة تسمح بتركيب جهاز لقياس الإزاحة الخطية (LVDT) عليه كما في الشكل (م – 3).

م - 4 – 6 - 3 وضع القضبان في العينات:

يتم وضع قضبان التسليح في قوالب الصب كما يلي:

1 ــ تملأ الفتحة التي يمر منها القضيب إلى داخل العينة بأي مادة تمنع تسرب الماء (كالشحم أو الزيت).

2 ــ يجب عدم تحريك العينة حتى فكها من القوالب.

3 ــ يجب دهان الجوانب الداخلية للقوالب باستخدام زيت معدني أو شحم، أو بأية مادة مشابهة.

م - 4 – 6 - 4 شروط صب وحفظ وفك العينات ومعالجتها:

1 ــ يتم صب العينات المكعبة بطول ضلع (20 cm)، أو العينات الموشورية ذات الأبعاد (20 x 20 x 40 cm) على أربع طبقات متساوية. ويتم دمك كل طبقة باستخدام قضيب دمك بقطر (16 mm) من خلال (25) طرقة.

2 ــ يسوى سطح العينة بأداة تسوية مناسبة. ويتم حماية السطح من تبخر الماء بطريقة مناسبة، مع مراعاة عدم حدوث أي تبخر للماء في المنطقة المحيطة بالقضبان عند صب العينات الرأسية.

3 ــ يتم إعداد خلطة خرسانية قياسية بركام كبير مقاسه الأعظمي (20 - 25 mm). على أن يكون هبوط المخروط للخلطة (100 ± 20 mm)،

4 ــ يجب أن تحقق العينات مقاومة على الضغط بعد (28) يوماً (30 ± 3 Mpa). ويتم تحديد مقاومة الضغط لكل صبة من الخرسانة باختيار (5) عينات أسطوانية قياسية على الأقل، بحيث تكون أبعاد العينة (300 x 150 mm) أو (2000 x 100 mm).

5 ــ لا يجب فك العينات من القوالب قبل (20) ساعة من الصب. مع ضرورة توخي الحذر لعدم تحريك أو هز القضبان.

6 ــ يجب البدء بالمعالجة مباشرة بعد فك القوالب حتى وقت اختبارها (عند عمر 28 يوم).

7 ــ يتم كسر العينات الموشورية ذات الأبعاد (20 x 20 x 40 cm) عند عمر بين (14 - 7) يوماً، إلى نصفين، بحيث يمثل كل نصف، عينة مكعبة ذات طول ضلع (20 cm)، وذلك من خلال تحميلها ككمرة بسيطة بحمل مركزي في منتصف المجاز. مع مراعاة أن التجويفان المثلثان الموجودان عند السطح العلوي والسفلي للعينة يكونان عند منتصف مجاز التحميل (للتحميل يتم استخدام قضيب بقطر 19 mm). ويجب توخي الحذر لعدم تحريك أو هز الأسياخ أثناء الكسر.

8 ــ يتم عمل غطاء (Capping) على سطح المكعبات ذات (20 cm) والمحتوية على قضبان مغروزة رأسياً، وذلك بهدف استخدامها كمسند تحميل أثناء الاختبار.

م - 4 – 7 ظروف الاختبار:

1. يتم إعداد العينات في ظروف المعمل القياسية في درجة حرارة ($23 \pm 3\ C^o$) ورطوبة نسبية ($50\% \pm 10$).

? من الممكن إعداد القضبان قبل عملية الصب مع ذكر طريقة الإعداد المستخدمة.

م - 4 - 8 كيفية إجراء الاختبار:

توضع العينة في آلة الاختبار بإحدى الطريقتين التاليتين:

1. يكون سطح العينة ذو التغطية (Capping) والذي يبرز منه القضيب المزروع داخل العينة مواجهاً للوح التحميل ذو الاستناد الكروي. ويوضع لوح التحميل على ركيزة تعمل على نقل الحمولة من الآلة.

2. يجب أن يمتد القضيب من خلال لوح التحميل والركيزة، ويتم تثبيت نهاية القضيب المجهزة بين فكي الآلة.

3. يتم تثبيت المكعب الخرساني على الفك الثابت لآلة الاختبار، وتوضع أجهزة قياس الإزاحة (LVDT) على كل من النهاية المحملة والنهاية الحرة للقضيب لقياس انزلاق القضيب كما هو موضح في الشكل (م ــ 3)، ثم يتم تثبيت نهاية القضيب في فك الآلة المتحرك.

4. تركب جميع التجهيزات وأجهزة القياس على العينة وتقاس المسافة بين السطح السفلي للمكعب الخرساني (أي نهاية طول التماسك) ومكان تركيب أجهزة قياس الإزاحة على القضيب (Lc) وتقرب هذه المسافة إلى أقرب (0.5 mm).

5. وذلك لتحديد قيمة الانزلاق فقط يتم حساب الاستطالة لهذا الجزء وتطرح من القيمة المسجلة بواسطة الأجهزة (الانزلاق + الاستطالة). كما يقاس الانزلاق عند الطرف الحر من القضيب بواسطة أجهزة قياس الاستطالة. وتقرب هذه المسافة إلى أقرب (0.5 mm).

6. يتم تطبيق الحمولة على القضيب بمعدل لا يزيد عن (20 kN/min) أو بسرعة حركة رأس الآلة التي يجب ألا تتجاوز (1.3 mm/min).

7. تتم قراءة وتسجيل قيمة الحمولة المؤثرة وقراءة أجهزة قياس الإزاحة خلال فترة الاختبار بحيث يتم الحصول على (15) قراءة على الأقل عند الوصول لانزلاق قدره (25 mm) عند الطرف المحمل من القضيب.

يجب تسجيل الانزلاق عند الطرف الحر والحمولة المناظرة له بدقة (0.01 mm).

8. يستمر التحميل والقراءة على فترات ثابتة حتى حدوث إحدى حالات الانهيار الآتية:

- انهيار قضيب الفايبر FRP.
- حدوث انفلاق أو كسر في الخرسانة.
- حدوث انزلاق بالقضيب يساوي على الأقل 2.5 مم. عند الطرف المحمل.

9. في حال حدوث انهيار شد للقضيب عند منطقة التثبيت أو حدوث انزلاق للقضيب في منطقة التثبيت قبل الانزلاق من العينة الخرسانية، أو حدوث انخفاض ملحوظ في الحمولة نتيجة التشققات، أو انفلاق الخرسانة، فيتم إهمال نتيجة هذا الاختبار، ويلزم إجراء اختبارات إضافية، بحيث لا يقل عدد الاختبارات الصحيحة عن خمسة.

م - 4 - 9 تقييم النتائج:

1. يحسب متوسط إجهاد التماسك كما يلي، وتسجل القيمة لأقرب (3) أرقام عشرية. وترسم العلاقة بين إجهاد التماسك والانزلاق عند كل من الطرف الحر والطرف المحمل من القضيب.

$$\tau = \frac{F}{C_b \times L}$$

حيث:

τ = متوسط إجهاد التماسك (Mpa).

F = حمل الشد (N).

C_b = المحيط الاعتباري الخارجي للقضيب (mm).

L = طول التماسك (mm).

2. يحسب متوسط إجهاد التماسك لكل من الطرف الحر و الطرف المحمل من القضيب، عندما تكون قيم الانزلاق مساوية لـ (0.05 mm , 0.10 , 0.25). وعند الانهيار (أقصى مقاومة للتماسك).

3. يحسب مقدار الانزلاق عند الطرف المحمل من خلال حساب متوسط القراءات لمقاييس الإزاحة، مطروح منها مقدار الاستطالة الحادثة بالقضيب (S_c) للطول (L_c) المقاس بين نهاية طول التماسك والنقطة المركب عليها مقياس الإزاحة على قضيب الفايبر.

$$S_c = \frac{F \times L_c}{E_L \times A}$$

حيث:

S_c = الاستطالة المرنة،مم.

F = حمل الشد، نيوتن.

L_C = الطول بين نهاية طول التماسك والنقطة المركب عليها مقياس الإزاحة على القضيب.

E_L = معاير المرونة الطولي للقضيب، ميجا باسكال.

A = المساحة مقطع للقضيب مم^2.

م - 4 - 10 تقرير النتائج:

يجب أن يحتوي التقرير النهائي لنتائج الاختبار على البيانات التالية:

1. خصائص الخرسانة، وتتضمن:

- نسب الخلط (الإسمنت ــ الركام ــ الرمل ــ الإضافات (إن وجدت) ــ نسبة الماء إلى الإسمنت.
- مقدار هبوط مخروط /آبرامز/ في تجربة قوام الخرسانة.
- مقاومة الخرسانة المميزة عند عمر (28) يوم للعينات الاسطوانية.
- أي تغيير في طرق الخلط أو المعالجة أو تاريخ الفك من القوالب أو تاريخ الاختبار وأي اختلاف عن الطرق القياسية المعروفة.
-

2. خصائص قضبان الفايبر، وتتضمن:

- الاسم التجاري وتاريخ الإنتاج وشكل القضيب.
- نوع الألياف والمادة اللاصقة ونسبة الألياف في العينة ونوع المعالجة لسطح القضيب.
- القطر الاعتباري ومساحة المقطع الاعتبارية للقضيب.
- معامل المرونة ومقاومة الشد القصوى.
- صورة فوتوغرافية للقضيب تبين تعرج وتشكل خصائص السطح.
- الأعداد والعلامات المميزة للعينات.
- تاريخ الاختبار ودرجة الحرارة ومعدل التحميل.

- أبعاد العينة وطول التماسك لقضيب الفايبر.
- وصف مختصر لأداة وطريقة الربط للعينة.
- متوسط إجهاد التماسك للعينة المسبب لانزلاق عند الطرف الحر عند قيم (, 0.10 , 0.05 0.35 mm).
- متوسط إجهاد التماسك المسبب لانزلاق عند الطرف المحمل على فترات تحميل من صفر مم إلى 0.25 مم لكل عينة.
- أقصى إجهاد تماسك والإجهاد عند الانهيار والمتوسطات لكل عينة.
- منحني العلاقة بين إجهاد التماسك والانزلاق (عند الطرف الحر والطرف المحمل) لكل عينة.

م - 5 اختبار مقاومة قضبان الفايبر لتحمل القلويات:

م - 5 - 1 المجال:

تتناول هذه الفقرة متطلبات اختبار تقييم مقاومة قضبان الفايبر المستخدمة في تسليح الخرسانة للقلويات، عن طريق غمر العينة في محلول مائي قلوي. حيث تقاس مقاومة القضبان للقلويات من خلال تعريضها القضبان لبيئة قلوية، مع أو بدون إجهاد، وبعد ذلك يجري عليها اختبار الشد طبقاً للطريقة المذكورة في هذا الملحق.

م - 5 - 2 طرق الاختبار:

هناك ثلاث طرق للاختبار تجرى تتغير فيها طرق تحميل العينة بحمولة شد.

م - 5 - 2 – 1 الطريقة الأولى:

في هذه الطريقة يتم غمر عينات القضبان في المحلول القلوي بدون التأثير بحمولة شد. والمتغيرات المتحكمة في الاختبار هو قيمة الأس الهيدروجيني (PH) ودرجة حرارة المحلول القلوي وفترة الغمر.

م - 5 - 2 – 2 الطريقة الثانية:

في هذه الطريقة غمر عينات القضبان بمحلول قلوي مع تطبيق حمولة شد دائمة ومستمرة عليها.

إن متغيرات الاختبار بهذه الطريقة هي قيم حمولة الشد وقيمة الأس الهيدروجيني (PH) ودرجة حرارة المحلول القلوي وفترة الغمر.

م - 5 - 2 – 3 الطريقة الثالثة:

يتم في هذه الطريقة وضع العينات داخل خرسانة رطبة تحت تأثير حمولة شد دائمة ومستمرة. ومتغيرات الاختبار بهذه الطريقة هي قيمة حمولة الشد وقيمة الأس الهيدروجيني (PH) ودرجة حرارة الخرسانة ومدة البقاء داخل الخرسانة.

م - 5 - 3 الأهمية والاستخدام:

1. تستخدم طرق اختبار مقاومة قضبان الفايبر للقلويات معملياً. والمتغيرات الأساسية بالاختبار هي درجة حرارة وتركيز المحلول القلوي ونوع القضبان وقيمة الحمولة الدائمة.
2. يقاس التغير في وزن العينة ومقاومة الشد في القضبان بعد غمرها في محلول قلوي بدون إجهاد (الطريقة الأولى). وقدرة الشد للقضبان بعد غمرها في محلول قلوي تحت حمولة شد دائمة أو مغروزة في الخرسانة (الطريقتان الأولى والثانية).
3. تستخدم الطريق المذكورة لتحديد مقاومة قضبان الفايبر، لاستخدام النتائج في توصيف المواد والأبحاث والتطوير وتأكيد الجودة والتصميم والتحليل الإنشائي. وتعتبر نتائج الاختبار الأساسية هي التغير في الكتلة وانخفاض مقاومة الشد لعينات الاختبار. وهي من أهم العوامل التي يجب أخذها في الاعتبار عند استخدام قضبان الفايبر.
4. لم يتم في الطريقتين الأولى والثانية تحديد قيمة حمولة الشد الدائمة والمؤثرة على العينات كجزء من الاختبارات، حيث أن قيمة هذا الحمولة تساوي قيمة الحمولات الميتة الدائمة وأي جزء من الحمولات الحية الدائمة، التي يتعرض لها القضيب عند الاستخدام الفعلي. ويجب في حال عدم معرفة قيمة هذه الحمولات ضبط إجهاد الشد الدائم في القضبان المختبرة.

م - 5 – 4 الأجهزة اللازمة:

1. ميزان عالي الدقة.
2. آلة اختبار الشد.

م - 5 – 5 تجهيز العينات:

م - 5 – 5 – 1 يجب أن تكون العينات ممثلة للكمية أو الدفعة المراد اختبارها. أما بالنسبة لعينات قضبان الفايبر الشبكية، فمن الممكن تحضير عينات طولية للاختبار عن طريق قطع الأجزاء الزائدة بحيث لا يتأثر الجزء الذي سيتم استخدامه.

م - 5 – 5 – 2 أثناء إعداد وتجهيز العينات، يجب تجنب أية عوامل خارجية قد تؤثر على خواص المواد ومن أمثلتها: التغيرات في الشكل، الحرارة، التعرض للأشعة فوق البنفسجية وأي عوامل بيئية أخرى.

م - 5 – 6 – 3 أثناء إعداد وتجهيز العينات يمنع القيام بأية عمليات تشغيل مثل الكشط وخلافه.

م - 5 – 6 – 4 أثناء إعداد وتجهيز العينات، يجب تجنب أية عوامل خارجية قد تؤثر على خواص المواد كالتغيرات في الشكل والتعرض للحرارة والتعرض للأشعة فوق البنفسجية وأية عوامل بيئية أخرى.

م - 5 – 5 – 5 يجب أن يكون طول عينة الاختبار مساوياً لطول الجزء المختبر مضافاً له نهايات التثبيت. مع مراعاة ألا يقل طول الجزء المختبرة عن (40) مرة قطر القضيب. وبالنسبة للقضبان المجدولة يجب أن يكون طول الجزء المختبر أكبر من ضعفي خطوة الجديلة.

م - 5 – 5 – 6 يجب ألا يقل عدد عينات الاختبار عن خمس عينات. وخمس عينات بعد الغمر.

م - 5 – 5 – 7 يتم تغطية نهايات القضبان ونهايات الأجزاء العرضية في الشبكات باستخدام راتنج مناسب لمنع تغلغل المحلول القلوي داخل العينات. ويجب معالجة الراتنج معالجة كاملة قبل البدء بالاختبار.

م - 5 – 5 – 7 يجب أن يكون تركيب المحلول القلوي عن الاختبار بإحدى الطريقتين الأولى والثانية مماثلاً للماء المتواجد في الفراغات الداخلية للخرسانة. ويفضل أن يكون المحلول القلوي المذكور مكوناً مما يلي في لتر واحد من الماء الخالي من الشوارد:

- 118.5 (4.2 g) هيدروكسيد الكالسيوم (Ca(OH)2).
- (0.9 g) من هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) .
- (4.2 g) من هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH).

وتكون قيمة الأس الهيدروجيني للمحلول (PH) بين (13.0 – 12.6)، وهي القيمة الممثلة للماء المتواجد بالفراغات الداخلية للخرسانة المتصلدة.

م - 5 – 5 – 8 يجب تغطية المحلول قبل وأثناء الاختبار لتجنب تفاعله مع ثاني أكسيد الكربون المتواجد في الهواء ومن تبخر الماء أثناء الاختبار.

م - 5 – 6 ظروف الاختبار:

م - 5 – 6 – 1 ظروف الاختبار بالطريقة الأولى:

عند الاختبار بالطريقة الأولى يتم غمر العينات في المحلول القلوي في درجة حرارة ($\pm$ 60 3) درجة مئوية، وذلك لفترات تعرض لمدة (6 , 4 , 3 , 2 , 1) أشهر. إلا إذا كان مطلوب مدد أطول للاختبار.

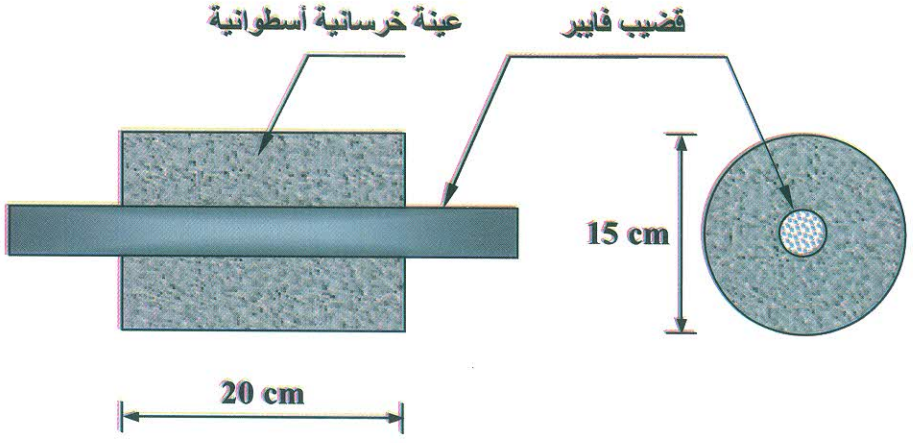
بعد نهاية فترة الاختبار ترفع العينات من المحلول وتغسل بالماء ثم تجفف وتوزن ويجري عليها اختبار الشد.

م - 5 – 6 – 2 ظروف الاختبار بالطريقة الثانية:

عند الاختبار بالطريقة الثانية يتم تجهيز نهايات التثبيت للعينات. ثم توضع في وعاء يحتوي على المحلول القلوي في درجة حرارة (3 $\pm$ 60) درجة مئوية، مع مراعاة وضع العينة بطريقة تسمح بتعريضها لحمولة الشد الدائم المطلوبة وذلك لفترات تعرض (6 , 4 , 3 , 2 , 1) أشهر إلا إذا كان مطلوب مدد أطول للاختبار.

م - 5 – 6 – 3 ظروف الاختبار بالطريقة الثالثة:

عند الاختبار بالطريقة الثالثة يتم غرز العينة في خرسانة رطبة وفز لأبعاد الموضحة في الشكل (م ــ 4). ويمكن زيادة قطر العينة إذا زاد قطر القضيب.



الشكل (م - 4) أبعاد العينة الخرسانية

تكون الخلطة الخرسانية المستخدمة خلطة بعد (28) يوم من المعالجة بالماء. ويتم عمل نهايات التثبيت عند أطراف القضيب، ثم توضع العينة بطريقة مناسبة لضمان تأثير الحمولة الدائمة المطلوبة طول فترة الاختبار.

تحفظ الأسطوانة الخرسانية رطبة وداخل غرفة تحكم عند درجة حرارة ثابتة تساوي (60 ± 3) درجة مئوية. وعند عمر الاختبار يختبر القضيب وهو مغروز بالخرسانة.

م - 5 - 7 طرق الاختبار:

1. تقاس قيمة الأس الهيدروجيني (PH) للمحلول القلوي عند بداية الاختبار وخلال الاختبار وبعد انتهاؤه. ، ويتم متابعة قيمة (PH) كل خمسة أيام على الأكثر، حيث يتم التعديل إن لزم للإبقاء على نفس المكونات وعلى قيمة (PH) كما كانت عند بداية الاختبار.

2. تتم معاينة الشكل الخارجي للعينات المختبرة قبل وبعد اختبار مقاومة القلويات، وذلك لمقارنة اللون وحالة السطح والتغير في الشكل. وإذا لزم الأمر يمكن قطع العينات وتلميعها ويتم معاينة المقطع العرضي تحت الميكروسكوب.

3. اختبار تغير الوزن للعينات الخاصة بالطريقة الأولى:

تجف عينة الاختبار قبل الغمر حتى تثبت كتلتها. ويتم وزنها حيث يسجل الوزن الأصلي (W_0). ويتم إخراج العينة من المحلول القلوي عند كل عمر من أعمار الاختبار، وتغسل سريعاً بالماء وتجفف بمناديل ورقية، ثم توزن.

يكون هذا هو وزن العينة عند العمر الأول (W_1). حيث يتم بعدها إعداد نهايات تثبيت للقضيب لاختباره في الشد.

4. اختبار انخفاض مقاومة الشد:

في كل طرق الاختبار (الأولى والثانية والثالثة)، يتم اختبار العينات في الشد حتى الكسر خلال (24) ساعة بعد إزالتها من بيئة التأثير عند الأعمار المختلفة. ويتم اتباع الخطوات المذكورة في البند السابق عند إجراء الاختبار وتعيين مقاومة الشد.

م - 5 - 8 تقييم النتائج:

1. يحسب تغير الكتلة لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف كمايلي:

$$M_{ass\ gain}\ (\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

$$M_{ass\ Loss}\ (\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

حيث:

W_1 = وزن العنصر بعد الغمر للعمر (1)، (g).

W_0 = وزن الأصلية للعينة قبل الغمر (g).

2. يتم تعيين خواص المادة على الشد للقضبان المختبرة والتي حدث فيها انهيار ضمن طول الاختبار، وفي حالة انهيار العينة عند مناطق التثبيت، تهمل نتائج هذه العينة ويعاد الاختبار على عينة أخرى.

يتم حساب الفرق في مقاومة الشد للعينات كما يلي:

$$R_{et}(\%) = \frac{F_{u2}}{F_{u1}} \times 100$$

حيث:

R_{et} = النسبة المئوية للفقد في مقاومة الشد.

F_{u1} = مقاومة الشد قبل الغمر، (N).

F_{u2} = مقاومة الشد بعد الغمر، (N).

م - 5 - 9 تقرير النتائج:

يجب أن يحتوي التقرير النهائي لنتائج الاختبار على البيانات التالية:

1. الاسم التجاري للقضبان، وتاريخ تصنيعها وأبعادها.
2. نوع الألياف والمادة الرابطة ونسبة الألياف (V_f) في العينة.
3. وصف لعينات الاختبار وأرقامها.
4. التشكلات الموجودة على سطح العينة.
5. مساحة مقطع والقطر المكافئ لكل عينة طبقاً لطريقة الاختبار.
6. تاريخ الغمر بالمحلول وتاريخ الاختبار.
7. مكونات المحلول القلوي والأسس الهيدروجيني (PH) وحرارة المحلول وفترة الغمر.
8. قيمة حمولة الشد الدائمة ومدتها وطريقة الحفاظ عليها.
9. التغيرات في الشكل الخارجي للعينات.
10. منحني العلاقة بين الانخفاض أو الزيادة في الوزن مع الزمن.
11. تاريخ اختبار الشد للعينات وطريقة الاختبار.

12. درجة الحرارة عند اختبار الشد.

13. قدرة الشد للعينات ومقاومة الشد عند الأعمار المختلفة ومتوسط النتائج والإنحراف المعياري للنتائج.

14. معاير المرونة لكل من العينات المغمورة وغير المغمورة والمتوسط لكل منهما.

15. الانفعال الأقصى للعينات المغمورة وغير المغمورة والمتوسط لكل منهما.

16. الفقد في قدرة الشد عند الأعمار المختلفة.

17. منحنى الإجهاد الانفعال لكل العينات المغمورة وغير المغمورة.

18. منحنى يوضح نقص قدرة الشد مع الزمن لكل عينة.

19. اسم القائم بالاختبار.