جمهورية مصر العربية
وزارة الإسكان والمرافق والتنمية العمرانية
المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء

الكود المصرى

لأسس تصميم وإشتراطات تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف فى مجالات التشييد

اللجنة الدائمة
لاعداد الكود المصرى لأسس تصميم وتنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف فى مجالات التشييد
كود رقم (٢٠٨)
إصدار ٢٠٠٥

جمهورية مصر العربية

وزارة

الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية

مكتب الوزير

الرقم البريدى ١١٥١٦

قرار
وزير الإسكان
والمرافق والمجتمعات العمرانيه
رقم ٤٩٢ لسنة ٢٠٠٥
بشان الكود المصرى لأسس تصميم وإشتراطات
تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف فى مجالات التشييد

وزير الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية

- بعد الإطلاع على القانون رقم ٦ لسنة ١٩٦٤ بشأن أسس التصميم وشروط تنفيذ الأعمال الإنشائية وأعمال البناء .
- وعلى قرار رئيس الجمهورية رقم ٤٦ لسنة ١٩٧٧ فى شأن الهيئة العامة لمركز بحوث الإسكان والبناء .
- وعلى قرار رئيس الجمهورية رقم ٦٣ لسنة ٢٠٠٥ فى شأن إعادة تنظيم المركز القومى لبحوث الاسكان والبناء.
- وعلى قرار رئيس الجمهورية رقم ٦٤ لسنة ٢٠٠٥ فى شأن إصدار اللائحة التنفيذية للمركز القومى لبحوث الاسكان والبناء.
- وعلى القرار الوزارى رقم ٤٩٢ لسنة ١٩٩٦ بتشكيل اللجنة الرئيسية لأسس تصميم وشروط تنفيذ الأعمال الإنشائية وأعمال البناء.
- وعلى القرار الوزارى رقم ١٠٠ لسنة ٢٠٠٢ بتشكيل اللجنة الدائمة لإعداد الكود المصرى لأسس تصميم وإشتراطات تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف فى مجالات التشييد والقرار المكمل رقم ٢١٩ لسنة ٢٠٠٢ .
- وعلى المذكرة المقدمة من السيد الأستاذ الدكتور / رئيس مجلس إدارة المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء والسيد الأستاذ الدكتور / رئيس اللجنة الدائمة للكود المصرى لأسس تصميم وإشتراطات تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف فى مجالات التشييد .

قـــرر

المادة الأولى :

يتم العمل بالكود المصرى لأسس تصميم وإشتراطات تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف فى مجالات التشييد كما هو وارد بالكود المرفق.

المادة الثانية :

تلتزم الجهات المعنية والمذكورة فى القانون رقم ٦ لسنة ١٩٦٤ بما جاء بالكود كل فيما يخصه.

جمهورية مصر العربية
وزارة
الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية
مكتب الوزير
الرقم البريدى ١١٥١٦

تابع القرار الوزارى رقم ٤٩٢ لسنة ٢٠٠٥

المادة الثالثة :

تتولى اللجنة الدائمة للكود اقتراح التعديلات والإضافات التى تراها لازمة بغرض التحديث كلما دعت الحاجة لذلك وتعتبر التعديلات والإضافة بعد إصدارها جزءاً لا يتجزأ من الكود .

المادة الرابعة :

يتولى المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء التعريف بالكود والتدريب عليه.

المادة الخامسة :

ينشر هذا القرار فى الوقائع المصرية ويعتبر نافذاً بعد مرور ستة أشهر من تاريخ النشر .

وزير الإسكان
والمرافق والمجتمعات العمرانية
دكتور مهندس/
[illegible]

صدر في ٢٧/١٢/٢٠٠٥

تقديـــم

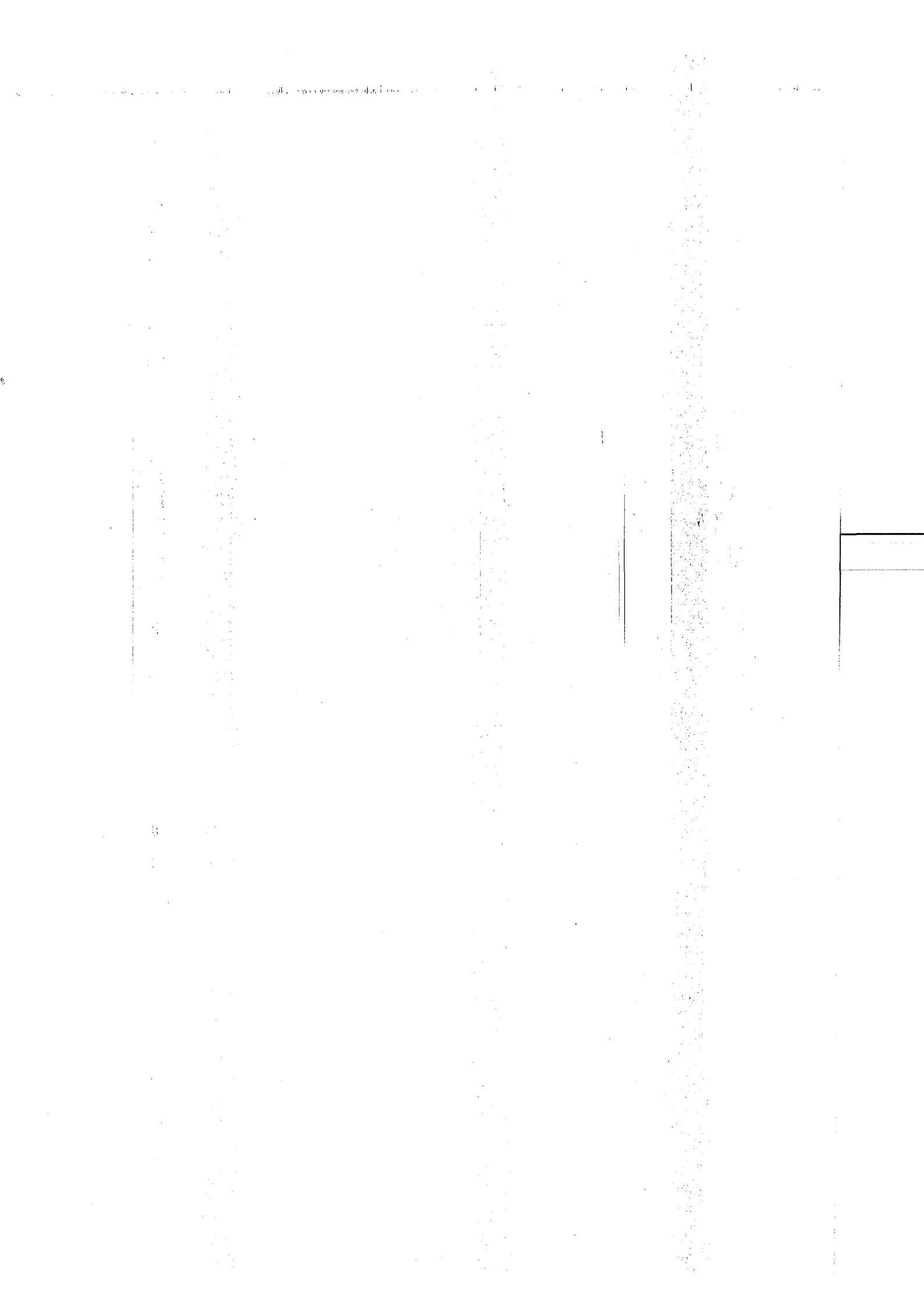
فى الأونة الأخيرة كثر إستخدام المواد المركبة المستحدثة المتمثلة فى البوليمرات المسلحة بالألياف FRP فى أنحاء العالم ، وكذلك كثر استخدامه فى أعمال الترميم فـى خـلال العشـر سنوات الماضية فى جمهورية مصر العربية لخواصه المتميزة من حيث المقاومة العالية وخفـة الوزن وسرعة التطبيق وعدم زيادة القطاعات الخرسانية المدعمة. ومن المعروف أن هذه المواد قصفة بطبيعتها ولا تعطى إنذار قبل الإنهيار ، ولكن يمكن تطويعها للحصـول علـى عناصـر متبولة الممطولية بوضعها بإتجاهات معينة لذلك وجب إصدار أسس لتصميم وإشتراطات تنفيـذ استخدام البوليمرات المسلحة للألياف فى مجالات التشييد لوضع الأسس والحـدود الـدنيا فـى الإستخدام ومعاملات الأمان وكيفية التأكد أنها تعمل بكفاءة.

تم تشكيل اللجنة الدائمة لأسس تصميم وإشتراطات تنفيذ اسـتخدام البـوليمرات المسـلحة للألياف فى مجالات التشييد بالقرار الوزارى رقم ١٠٠ لسنة ٢٠٠٢ والقرار المكمل رقـم ٢١٩ لسنة ٢٠٠٢ . وقد عقدت اللجنة الدائمة للكود إجتماعات مكثفة تم من خلالها عمل لجان فرعيـة متخصصة فى كافة أبواب الكود وتم الإستعانة بالأساتذة والمهندسين المتخصصـين بالجامعـات والمراكز البحثية والشركات المتخصصة والمكاتب الإستشارية الذين لهم خبرة فى استخدام هـذه المواد.

هذا وقد تم بعون الله إصدار هذا الكود بالقرار الوزارى رقم ٤٩٢ لسنة ٢٠٠٥ وقد نص القرار على أن تتولى اللجنة الدائمة لهذا الكود تحديثه كلما دعت الحاجـة حيـث أن هـذه المواد الجديدة سريعة التطور وتصبح التعديلات بعد إصدارها جزءاً لا يتجزأ من الكـود . كمـا يتولى المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء العمل على تنفيذ الكود ونشره والتدريب عليه بمـا يحقق إرتقاء صناعة هذه المواد فى مصر.

وزير الإسكان والمرافق
والمجتمعات العمرانية

أستاذ دكتور مهندس /
محمد إبراهيم سليمان



تمهيد

شهدت مصر على مر العصور الحضارات المختلفة مثل الفرعونية واليونانية والإغريقية والقبطية والإسلامية حيث إهتمت تلك الحضارات بمجالات التشييد والبناء وبدا ذلك واضحاً فى دور العبادة والمساكن والقصور والمعابد .

وقد ظهرت فى الأونة الأخيرة فى مصر تطورات متلاحقة ومضطردة فى مجالات الإنشاء والتعمير وظهور مواد بناء جديدة ومستحدثة بهدف توفير سبل الأمان والراحة للمواطنين وكان لزاماً أن تقوم مصر بوضع أسس وشروط تنفيذ الأعمال الإنشائية وأعمال البناء حيث صدر القانون رقم ٦ لسنة ١٩٦٤ والذى ينظم تلك الأحكام والنظم وبموجبه كُلفت وزارة الإسكان والمرافق والتنمية العمرانية بمسئولية اعداد واصدار وتحديث والتدريب على الكودات المصرية للتشييد والبناء ومواصفات بنود الأعمال والمواصفات الفنية وتأكيداً لهذا الدور فقد صدر القرار الجمهورى رقم ٦٣ لسنة ٢٠٠٥ بشأن إعادة تنظيم المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء والذى جدد فى إحدى مواده اختصاصات المركز ومنها اعداد وإصدار وتحديث الكودات ومواصفات بنود الأعمال والمواصفات الفنية وبما يتلاءم مع المستجدات والتطورات فى المجالات العلمية والتكنولوجية فى طرق التصميم والتنفيذ ومواد البناء المستحدثة.

وتحقيقياً للأهداف المرجوة من هذه الكودات فقد استعان المركز بالخبرات العلمية والعملية فى الداخل والخارج فى اعداد الكودات بهدف إصدارها مواكبة لتلك التطورات العلمية ولتراعى الظروف المحلية والبيئية تحقيقاً لسياسات الدولة من توجيه الإستثمارات لمشروعات التشييد والبناء .

لقد تشكلت اللجان من الأساتذة والإستشاريين وكبار المهندسين فى المجالات التطبيقية والمرتبطة بأعمال التشييد والبناء ومن ذوى الخبرات الطويلة المشهود لهم فى هذا المجال من باحثين بالمركز وأساتذة الجامعات بالداخل والخارج . وحرصاً من المركز على تطبيق تلك الكودات والمواصفات فإنه يتم عقد الدورات التدريبية للمهندسين والعاملين فى مجال التشييد والبناء.

ولعله من المفيد أن يتعرف السادة العاملين بقطاع التشييد على إنجازات المركز فى هذا المجال من خلال ما تم إصداره من كودات ومن مواصفات بنود أعمال ومواصفات فنية والواردة فى الجداول المرفقة علماً بأنه يتم تحديث تلك الكودات والمواصفات بصفة مستمرة لتواكب التقدم العلمى والتكنولوجى وطبقاً للخبرات المكتسبة من ظروف التطبيق.

رئيس مجلس إدارة

المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء

أستاذ دكتور مهندس /

عمرو عزت سلامة

مقدمة

يرجع بدء استخدام المواد المستحدثة المتمثلة فى البوليمرات المسلحة بالألياف FRP ومنتجاتها وأنظمتها إلي منتصف القرن الماضى. وكانت استخداماتها فى تلك الفترة قاصرة على المجالات المتعلقة بأبحاث الفضاء والطيران وتطبيقاتها نظراً للخصائص المميزة لتلك المواد التى تجعل استخدامها يناسب طبيعة تلك التطبيقات.

وتتمثل تلك المميزات فى مقاومتها العالية المقرونة بخفة الوزن وعدم قابليتها للصدأ بالإضافة إلى العديد من الخصائص الميكانيكية الأخرى والفيزيقية المميزة ، بجانب سهولة تنفيذها وتشكيلها وفقاً لمتطلبات الإستخدام .

ولقد بدء الإستفادة من تلك المواد المستحدثة ومميزاتها فى مجالات التشييد عالمياً فى منتصف السبعينات من القرن الماضى. وتطور استخدامها بحيث أصبحت تلك المواد وتكنولوجياتها تمثل الآن الأسلوب الأمثل من الناحية الفنية فى العديد من لتطبيقات.

وجدير بالإشارة أن تكنولوجيات تلك المواد على الرغم مما تتميز به من خصائص إلا أنها ما زالت تعتبر فى طور النمو. ولكى نواكب تلك التطورات السريعة فى تكنولوجيات المواد المستحدثة والإستفادة من مميزاتها الفائقة فى ايجاد حلول ذات تقنيات وكفاءة فنية عالية للعديد من مشاريع التشييد فى جمهورية مصر العربية؛ فقد صدر القرار الوزارى رقم ١٠٠ لسنة ٢٠٠٢ بتشكيل اللجنة الدائمة لإعداد الكود المصرى لأسس تصميم واشتراطات تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف فى مجالات التشييد. ويعتبر هذا القرار خطوة كبيرة تفتح المجال لإستخدامات تلك التكنولوجيات الحديثة فى مجالات التشييد بطريقة تضمن أمان المنشآت من خلال وجود تشريع وإطار للتقنين الفنى وهو الأمر الذى يعتبر خطوة رائدة فى مجال التشييد محلياً وعالمياً.

ويقتصر تطبيق الكود الحالى على المجالات التالية :

أ – إصلاح وتدعيم العناصر الخرسانية المسلحة بإستخدام الألياف والشرائح الملصوقة على السطح الخارجى للعنصر الخرسانى.

ب – تسليح العناصر الخرسانية المسلحة المعرضة إلى عزوم إنحناء بإستخدام القضبان المصنعة من البوليمرات المسلحة بالألياف سابقة التجهيز.

- **محتويات الكود :**

يشتمل الكود على الأبواب التالية :

الباب الأول : المجال والمفاهيم وأسس التصميم

الباب الثانى : خواص المواد المركبة من البوليمرات المسلحة بالألياف

الباب الثالث : تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف مع الزمن

الباب الرابع : إصلاح وتدعيم المنشآت الخرسانية المسلحة بإستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف

الباب الخامس : الخرسانة المسلحة بقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف

كما أنه من المخطط توسيع نطاق الكود فى أول تحديث له ليشمل مجالات تدعيم أعمال المبانى والمنشآت الخرسانية سابقة الإجهاد والمنشآت المعدنية وكذلك استخدام الوحدات والقطاعات المصنعة من البوليمرات المسلحة بالألياف.

مقرر اللجنة الدائمة

أستاذ دكتور / إبراهيم محفوظ

إبراهيم محفوظ محمد

رئيس اللجنة

أستاذ دكتور / عبد الهادى حسين حسنى

عبد الهادى حسين حسنى

مقدمة

يرجع بدء استخدام المواد المستحدثة المتمثلة فى البوليمرات المسلحة بالألياف FRP ومنتجاتها وأنظمتها إلي منتصف القرن الماضى. وكانت استخداماتها فى تلك الفترة قاصرة على المجالات المتعلقة بأبحاث الفضاء والطيران وتطبيقاتها نظراً للخصائص المميزة لتلك المواد التى تجعل استخدامها يناسب طبيعة تلك التطبيقات.

وتتمثل تلك المميزات فى مقاومتها العالية المقرونة بخفة الوزن وعدم قابليتها للصدأ بالإضافة إلى العديد من الخصائص الميكانيكية الأخرى والفيزيقية المميزة ، بجانب سهولة تنفيذها وتشكيلها وفقاً لمتطلبات الإستخدام .

ولقد بدء الإستفادة من تلك المواد المستحدثة ومميزاتها فى مجالات التشييد عالمياً فى منتصف السبعينات من القرن الماضى. وتطور استخدامها بحيث أصبحت تلك المواد وتكنولوجياتها تمثل الآن الأسلوب الأمثل من الناحية الفنية فى العديد من لتطبيقات.

وجدير بالإشارة أن تكنولوجيات تلك المواد على الرغم مما تتميز به من خصائص إلا أنها ما زالت تعتبر فى طور النمو. ولكى نواكب تلك التطورات السريعة فى تكنولوجيات المواد المستحدثة والإستفادة من مميزاتها الفائقة فى ايجاد حلول ذات تقنيات وكفاءة فنية عالية للعديد من مشاريع التشييد فى جمهورية مصر العربية؛ فقد صدر القرار الوزارى رقم ١٠٠ لسنة ٢٠٠٢ بتشكيل اللجنة الدائمة لإعداد الكود المصرى لأسس تصميم واشتراطات تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف فى مجالات التشييد. ويعتبر هذا القرار خطوة كبيرة تفتح المجال لإستخدامات تلك التكنولوجيات الحديثة فى مجالات التشييد بطريقة تضمن أمان المنشآت من خلال وجود تشريع وإطار للتقنين الفنى وهو الأمر الذى يعتبر خطوة رائدة فى مجال التشييد محلياً وعالمياً.

ويقتصر تطبيق الكود الحالى على المجالات التالية :

أ – إصلاح وتدعيم العناصر الخرسانية المسلحة بإستخدام الألياف والشرائح الملصوقة على السطح الخارجى للعنصر الخرسانى.

ب – تسليح العناصر الخرسانية المسلحة المعرضة إلى عزوم إنحناء بإستخدام القضبان المصنعة من البوليمرات المسلحة بالألياف سابقة التجهيز.

- محتويات الكود :

يشتمل الكود على الأبواب التالية :

الباب الأول : المجال والمفاهيم وأسس التصميم

الباب الثاني : خواص المواد المركبة من البوليمرات المسلحة بالألياف

الباب الثالث : تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف مع الزمن

الباب الرابع : إصلاح وتدعيم المنشآت الخرسانية المسلحة بإستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف

الباب الخامس : الخرسانة المسلحة بقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف

كما أنه من المخطط توسيع نطاق الكود فى أول تحديث له ليشمل مجالات تدعيم أعمال المباني والمنشآت الخرسانية سابقة الإجهاد والمنشآت المعدنية وكذلك استخدام الوحدات والقطاعات المصنعة من البوليمرات المسلحة بالألياف.

مقرر اللجنة الدائمة

أستاذ دكتور / إبراهيم محفوظ محمد

رئيس اللجنة

أستاذ دكتور / عبد الهادى حسين حسنى

المحتويات

الصفحة

الباب الأول : المجال والمفاهيم وأسس التصميم

١-١ مكونات ومجالات استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف ١-١

١-١-١ مكونات البوليمرات المسلحة بالألياف ١-١

١-١-٢ المجالات الإنشائية لإستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف FRP ١-٢

١-١-٢-١ مجال إصلاح وتدعيم المنشآت (الخرسانية أو المباني أو المعدنية) ١-٢

١-١-٢-٢ مجالات تسليح العناصر الخرسانية والمباني ومجالات سبق إجهاد الخرسانة المسلحة ١-٣

١-١-٢-٣ مجال استخدام القطاعات الإنشائية في أعمال الإنشاء كوحدات إنشائية ١-٣

١-٢ مجالات الكود ١-٣

١-٣ أغراض الكود ١-٤

١-٤ أسس التصميم ١-٤

الباب الثاني : خواص المواد المركبة من البوليمرات المسلحة بالألياف

٢-١ اعتبارات عامة ٢-١

٢-٢ المواد المكونة لأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ٢-٢

٢-٢-١ الراتنجات (البوليمرات) ٢-٢

٢-٢-١-١ مقدمة ٢-٢

٢-٢-١-٢ أنواع الراتنجات ٢-٣

٢-٢-١-٣ الخواص الميكانيكية للراتنجات ٢-٥

٢-٢-١-٤ اشتراطات استخدام الراتنجات ٢-٥

٢-٢-١-٥ اعتبارات التشغيل للراتنجات ٢-٦

٢-٢-١-٦ العلاقة الوظيفية بين الوسط المحيط اللاصق البوليمرى وألياف التسليح ٢-٦

٢-٢-٢ ألياف التسليح للبوليمرات المسلحة بالألياف ٢-٧

٢-٢-٢-١ عام ٢-٧

٢-٢-٢-٢ أنواع الألياف ٢-٧

٢-٢-٢-٣ الخواص الميكانيكية للألياف ٢-٩

٢-٢-٢-٤ أشكال ألياف التسليح ٢-١٠

٢-٢-٢-٥ الحماية المؤقتة ٢-١١

٢-٢-٣ المعجـــــون	٢-١٢
٢-٢-٤ اللـــــواصق	٢-١٢
٢-٢-٥ الطلاءات الحامية	٢-١٢
٢-٣ البوليمرات المسلحة بالألياف	٢-١٢
٢-٣-١ اعتبارات التصميم للبوليمرات المسلحة بالألياف	٢-١٢
٢-٣-٢ رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف	٢-١٤
٢-٣-٢-١ مقدمة	٢-١٤
٢-٣-٢-٢ الخواص الطبيعية لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف	٢-١٦
٢-٣-٢-٢-١ الكثافة	٢-١٦
٢-٣-٢-٢-٢ معامل التمدد الحراري	٢-١٦
٢-٣-٢-٢-٣ تأثير درجات الحرارة العالية	٢-١٧
٢-٣-٢-٣ الخواص الميكانيكية لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف	٢-١٨
٢-٣-٢-٣-١ عـــام	٢-١٨
٢-٣-٢-٣-٢ السلوك في الشد	٢-٢٠
٢-٣-٢-٣-٣ السلوك في الضغط	٢-٢٣
٢-٣-٢-٣-٤ مقاومة الانحناء	٢-٢٤
٢-٣-٢-٣-٥ مقاومة القص	٢-٢٤
٢-٣-٢-٣-٦ مقاومة التماسك (مقاومة انفصال الرقائق)	٢-٢٥
٢-٣-٣ قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف	٢-٢٥
٢-٣-٣-١ مجالات الاستخدام والتطبيقات	٢-٢٥
٢-٣-٣-٢ قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف	٢-٢٦
٢-٣-٣-٢-١ مقاومة الشد ومعايير المرونة لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف	٢-٢٧
٢-٣-٣-٢-٢ شكل السطح	٢-٢٩
٢-٣-٣-٢-٣ مقاسات القضبان	٢-٣٠
٢-٣-٣-٢-٤ تمييز القضبان	٢-٣٠
٢-٣-٣-٢-٥ القضبان المستقيمة	٢-٣١
٢-٣-٣-٢-٦ القضبان المثنية	٢-٣١
٢-٣-٣-٣ الخواص الطبيعية لقضبان البوليمر المسلح بالألياف	٢-٣٢

٢-٣-٣-٣-١ الكثافة	٢-٣٢
٢-٣-٣-٣-٢ معامل التمدد الحراري	٢-٣٢
٢-٣-٣-٣-٣ تأثير درجات الحرارة العالية	٢-٣٣
٢-٣-٣-٤ الخواص الميكانيكية لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف	٢-٣٤
٢-٣-٣-٤-١ السلوك في الشد	٢-٣٥
٢-٣-٣-٤-٢ مقاومة الأجزاء المثنية	٢-٣٦
٢-٣-٣-٤-٣ السلوك في الضغط	٢-٣٦
٢-٣-٣-٤-٤ السلوك في القص	٢-٣٧
٢-٣-٣-٤-٥ التماسك	٢-٣٨
٢-٣-٤ القطاعات الجاهزة من البوليمرات المسلحة بالألياف	٢-٣٨
٢-٣-٥ الأنظمة المركبة من البوليمرات المسلحة بالألياف	٢-٣٩
٢-٤ الشحن والتخزين والتعبئة	٢-٤٠
٢-٤-١ الشحن والتخزين والتعبئة لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف	٢-٤٠
٢-٤-١-١ الشحن	٢-٤٠
٢-٤-١-٢ التخزين	٢-٤٠
٢-٤-١-٣ التعبئة و التداول	٢-٤١
٢-٤-٢ مناولة وتخزين ورص قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف	٢-٤٤
٢-٤-٢-١ مناولة وتخزين القضبان	٢-٤٤
٢-٤-٢-٢ رص وتجميع القضبان	٢-٤٥
٢-٥ الفحص والتقييم والقبول لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف	٢-٤٥
٢-٥-١ عمليات التفتيش	٢-٤٦
٢-٥-٢ التقييم والقبول	٢-٤٧
٢-٥-٢-١ المواد	٢-٤٨
٢-٥-٢-٢ اتجاهات الألياف	٢-٤٩
٢-٥-٢-٣ انفصال الطبقات	٢-٤٩
٢-٥-٢-٤ مرحلة المعالجة للمواد الراتنجية	٢-٥٠
٢-٥-٢-٥ قوة الالتصاق	٢-٥٠
٢-٥-٢-٦ سمك المادة المعالجة	٢-٥١

٢-٥-٣ ضبط الجودة والتفتيش لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف ٢-٥١

الباب الثالث : تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف مع الزمن

٣-١ اعتبارات عامة ٣-١

٣-٢ تعريف تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف مع الزمن (Durability) ٣-١

٣-٣ تحمل المواد الإيبوكسية اللاصقة مع الزمن ٣-٢

٣-٣-١ عام ٣-٢

٣-٣-٢ تأثير الرطوبة ٣-٢

٣-٣-٣ تأثير التجمد والذوبان ٣-٢

٣-٣-٤ تأثير الأوساط القلوية والحمضية ٣-٣

٣-٣-٥ تأثير التعرض للإشعاع ٣-٣

٣-٣-٦ تأثير درجة الحرارة ٣-٣

٣-٣-٧ تأثير الزحف ٣-٣

٣-٤ تحمل الألياف مع الزمن ٣-٤

٣-٥ تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ٣-٤

٣-٥-١ تأثير الرطوبة على تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ٣-٥

٣-٥-٢ تأثير الكيماويات على تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ٣-٥

٣-٥-٢-١ عام ٣-٥

٣-٥-٢-٢ تأثير الأملاح على تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ٣-٦

٣-٥-٢-٣ تأثير الأحماض والمذيبات على تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ٣-٦

٣-٥-٢-٤ تأثير القلويات على تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ٣-٧

٣-٥-٣ تأثير درجة الحرارة على تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ٣-٧

٣-٥-٣-١ عام ٣-٧

٣-٥-٣-٢ تأثير درجات الحرارة المرتفعة ٣-٨

٣-٥-٣-٣ درجة حرارة الاستخدام القصوى ٣-٩

٣-٥-٤ تأثير دورات التجمد والذوبان على تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ٣-١١

٣-٥-٥ تأثير التعرض للأشعة فوق البنفسجية على تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ٣-١٢

٣-٥-٦ تأثير التعرض للإشعاع على تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ٣-١٢

٣-٥-٧ تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف للحريق

٣-٥-٨ الزحف في أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ٣-١٢

٣-٥-٨-١ عام ٣-١٢

٣-٥-٨-٢ حد الزحف و الكلال ٣-١٣

٣-٥-٩ معاملات خفض المقاومة القصوى والانفعال الأقصى نتيجة الظروف المحيطة ٣-١٣

٣-٥-١٠ الكلال ٣-١٥

٣-٥-١١ طبقات الحماية للبوليمرات المسلحة بالألياف ٣-١٦

٣-٥-١١-١ عام ٣-١٦

٣-٥-١١-٢ الحماية من الرطوبة والمواد الكيمائية ٣-١٦

٣-٥-١١-٣ الحماية من الأشعة فوق البنفسجية ٣-١٧

٣-٥-١١-٤ الحماية من الصواعق (البرق) والتآكل بواسطة الخلايا الجلفانية (الكهرباء المحدثة بالتفاعل الكيميائى) ٣-١٧

٣-٥-١١-٥ اشتراطات الاستخدام لطبقات الحماية ٣-١٧

الباب الرابع : إصلاح وتدعيم المنشآت الخرسانية المسلحة بإستخدام البوليمرات المسلحة بالالياف

اعتبارات عامة ٤-١

الجزء الأول : تقييم حالة المنشأ وتحديد متطلبات التدعيم

٤-١-١ عام ٤-٣

٤-١-٢ تعريفات ٤-٣

٤-١-٣ العيوب المحتملة بالمنشآت الخرسانية وأسبابها ٤-٤

٤-١-٣-١ العيوب المحتملة بالمنشآت الخرسانية ٤-٤

٤-١-٣-٢ أسباب ظهور العيوب بالمنشآت الخرسانية ٤-٥

٤-١-٤ التقييم الإنشائي وتحديد متطلبات التدعيم ٤-٥

٤-١-٤-١ معلومات عن المنشأ ٤-٦

٤-١-٤-٢ الفحص البصري الظاهري وتسجيل العيوب الظاهرة ٤-٦

٤-١-٤-٣ المسح الشامل والاختبارات الفنية ٤-٦

٤-١-٤-٤ التحليل الإنشائي للمنشأ ٤-٦

٤-١-٤-٥ تحديد متطلبات التدعيم والإصلاح ٤-٧

٤-١-٤-٦ إعداد تقرير التقييم الإنشائي ٤-٧

الجزء الثاني : أسس الاختيار والمفاضلة بين مواد وأنظمة تدعيم وإصلاح المنشآت

٤-٢-١ اعتبارات عامه ٤-٨

٤-٢-٢ اختيار مواد التدعيم والإصلاح ٤-٩

٤-٢-٣ تصنيف أعمال التدعيم ٤-١١

٤-٢-٣-١ التطبيقات المعتمدة علي التماسك مع السطح ٤-١١

٤-٢-٣-٢ التطبيقات المعتمدة علي الملامسة للسطح ٤-١١

٤-٢-٤ أنظمة التدعيم والإصلاح بالبوليمرات المسلحة بالألياف ٤-١٢

٤-٢-٤-١ نظم استخدام التسليح والشرائح المعالجة بالموقع ٤-١٣

٤-٢-٤-٢ نظم استخدام العناصر الجاهزة وسابقة التصنيع ٤-١٣

٤-٢-٤-٣ بعض أنظمة الاستخدام الخاصة ٤-١٤

٤-٢-٥ اختيار أنظمة التدعيم والإصلاح بالبوليمرات المسلحة بالألياف ٤-١٥

الجزء الثالث : تصميم أعمال تدعيم وإصلاح المنشآت بطريقة حالات الحدود

٤-٣-١ اعتبارات عامة للتصميم ٤-١٧

٤-٣-١-١ الفلسفة العامة للتصميم ٤-١٨

٤-٣-١-٢ الحدود القصوى لقيم التدعيم المسموح بها ٤-١٩

٤-٣-١-٢-١ الحدود الفعالة للتدعيم ٤-١٩

٤-٣-١-٢-٢ الحدود القصوى لقيم التدعيم وفقا لمتطلبات مقاومة الحريق ٤-١٩

٤-٣-٢ حالة حد المقاومة القصوى : أسس تحقيق الأمان لأعمال التدعيم والإصلاح ٤-٢١

٤-٣-٢-١ التدعيم والإصلاح لعزوم الانحناء ٤-٢١

٤-٣-٢-١-١ اشتراطات عامة ٤-٢١

٤-٣-٢-١-٢ حدود التدعيم القصوى السموح بها فى العزوم ٤-٢٢

٤-٣-٢-١-٣ الفروض الأساسية ٤-٢٣

٤-٣-٢-١-٤ عزم الانحناء الحدي الأقصى لمقاومة القطاعات ٤-٢٤

٤-٣-٢-١-٥ طبيعة ونوعية الانهيار ٤-٢٤

٤-٣-٢-١-٦ الممطولية ٤-٢٥

٤-٣-٢-١-٧ معاملات خفض المقاومة القصوى ٤-٢٦

٤-٣-٢-١-٨ الانفعال في FRP ٤-٢٧

٤-٣-٢-١-٩ الإجهاد التصميمي الأقصى في FRP ٤-٢٨

٤-٣-٢-١-٩ استيفاء متطلبات حدود التشغيل ٤-٢٨

٤-٣-٢-١-١١ تطبيق على القطاعات المستطيلة المعرضة لعزوم انحناء ذات تسليح في الشد ٤-٢٨

٤-٣-٢-٢ التدعيم لمقاومة القص ٤-٢٩

٤-٣-٢-٢-١ اعتبارات عامة ٤-٢٩

٤-٣-٢-٢-٢ مقاومة القص القصوى الاعتبارية للعناصر الخرسانية المدعمة للقص ٤-٣١

٤-٣-٢-٢-٣ مقاومة القص القصوى الاعتبارية للبوليمرات المسلحة بالألياف ٤-٣١

٤-٣-٢-٢-٤ الانفعال الفعال للبوليمرات المسلحة بالألياف ٤-٣٢

٤-٣-٢-٣ تدعيم العناصر المعرضة لقوى ضغط أو شد محوري وتحسين الممطولية ٤-٣٤

٤-٣-٢-٣-١ التدعيم لزيادة الضغط المحوري و الممطولية للعناصر المعرضة لقوى ضغط محوري ٤-٣٤

٤-٣-٢-٣-١-١ عام ٤-٣٤

٤-٣-٢-٣-١-٢ المقاومة القصوى للقطاعات الخرسانية المدعمة والمعرضة لقوى ضغط ٤-٣٦

٤-٣-٢-٣-١-٣ الأعمدة الدائرية ٤-٣٧

٤-٣-٢-٣-١-٣-أ إجهاد الإحاطة الجانبية - حاله اللف الكلي للأعمدة الدائرية ٤-٣٧

٤-٣-٢-٣-١-٣-ب إجهاد الإحاطة الجانبية - حاله اللف الجزئي للأعمدة الدائرية ٤-٣٨

٤-٣-٢-٣-١-٤ الأعمدة المستطيلة والأعمدة غير الدائرية - حاله اللف الكلي ٤-٣٩

٤-٣-٢-٣-١-٤-أ كفاءة أعمال التدعيم للأعمدة غير الدائرية ٤-٣٩

٤-٣-٢-٣-١-٤-ب إجهاد الإحاطة الجانبية للأعمدة غير الدائرية ٤-٤٠

٤-٣-٢-٣-٢ التدعيم لزيادة مقاومة الشد المحوري ٤-٤١

٤-٣-٢-٣-٣ التدعيم لتحسين ممطولية الأعمدة المعرضة لعزوم انحناء ٤-٤٢

٤-٣-٢-٤ طول التماسك وطول الرباط والوصلات والتفاصيل ٤-٤٣

٤-٣-٢-٤-١ عام ٤-٤٣

٤-٣-٢-٤-٢ توزيع الاجهادات عند سطح التصاق الالياف بالعنصر الخرساني ٤-٤٤

٤-٣-٢-٤-٣ انفصال شرائح البوليمرات المسلحة بالألياف عن سطح الخرسانة ٤-٤٤

٤-٣-٢-٤-٤ طول التماسك ٤-٤٥

٤-٣-٢-٤-٥ انفصال الغطاء الخرساني الغطاء الخرساني ٤-٤٧

٤-٣-٢-٤-٦ طول الرباط ٤-٤٧

٤-٣-٢-٤-٧ تفاصيل التراكيب والوصلات ٤-٤٨

٤-٣-٢-٤-٨ التفاصيل الخاصة بتأثيرات الرطوبة والمحتوى المائي ٤-٤٩

٤-٣-٢-٤-٩ طرق الربط الخاصة وتفاصيلها ٤-٥٠
٤-٣-٢-٤-٩-أ حالة التدعيم لمقاومة القص ٤-٥٠
٤-٣-٢-٤-٩-ب الأنظمة الخاصة للربط لزيادة المقاومة للإنهيار القصف الناتج عن انفصال الرقائق والغطاء الخرساني ٤-٥١
٤-٣-٣ حالات حدود التشغيل ٤-٥٣
٤-٣-٣-١ العناصر المعرضة للعزوم ٤-٥٣
٤-٣-٣-١-١ متطلبات كود الخرسانة المسلحة ٤-٥٣
٤-٣-٣-١-٢ حد انهيار الزحف و حد إجهادات الكلال ٤-٥٣
٤-٣-٣-١-٣ حساب الاجهادات في صلب التسليح عند مستوى أحمال التشغيل ٤-٥٤
٤-٣-٣-١-٤ حساب الاجهادات في البوليمرات المسلحة بالألياف تحت تأثير أحمال التشغيل ٤-٥٤
٤-٣-٣-٢ العناصر المعرضة لاجهادات ضغط ٤-٥٥
الجزء الرابع : اشتراطات تنفيذ أعمال الإصلاح والتدعيم
٤-٤-١ الاشتراطات الخاصة بأعمال تطبيق ولصق مواد التدعيم والإصلاح ٤-٥٦
٤-٤-١-١ أساليب و تقنيات التنفيذ ٤-٥٦
٤-٤-١-١-١ الأسلوب و تقنية التنفيذ الرئيسية - التطبيق اليدوي ٤-٥٦
٤-٤-١-١-١-١ سطح التدعيم ٤-٥٦
٤-٤-١-١-١-٢ اللاصق الراتنجي ٤-٥٧
٤-٤-١-١-١-٣ البوليمرات المسلحة بالألياف ٤-٥٧
٤-٤-١-١-٢ الأساليب والتقنيات الخاصة ٤-٥٧
٤-٤-١-٢ اشتراطات و متطلبات عامة للتنفيذ ٤-٥٧
٤-٤-١-٣ تطبيق و تنفيذ أعمال التدعيم والإصلاح ٤-٥٩
٤-٤-١-٣-١ أعمال الإصلاح و الترميم السابقة لأعمال التدعيم للعنصر الخرساني ٤-٦٠
٤-٤-١-٣-٢ تحضير الأسطح للعنصر الخرساني ولعناصر التدعيم ٤-٦١
٤-٤-١-٣-٢-١ تحضير السطح الخرساني ٤-٦١
٤-٤-١-٣-٢-٢ تحضير البوليمرات المسلحة بالألياف ٤-٦٣
٤-٤-١-٣-٢-٢-أ الألواح والرقائق جاهزة الصنع ٤-٦٣
٤-٤-١-٣-٢-٢-ب الأنسجة الخاصة بنظام التطبيق بفرش النسيج الرطب ٤-٦٤
٤-٤-١-٣-٣ تطبيق التسليح السطحي من البوليمرات المسلحة بالألياف ٤-٦٥

٤-٤-١-٣-٣-١ للرقائق الجاهزة	٤-٦٥
٤-٤-١-٣-٣-٢ لأنواع الأنسجة (نظام التطبيق بفرش النسيج الرطب)	٤-٦٥
٤-٤-١-٣-٣-٤ التشطيب ونهو السطح	٤-٦٦
٤-٤-٢ تأهيل المقاول للقيام بأعمال التنفيذ	٤-٦٦
٤-٤-٣ التفتيش والتقييم وقبول أعمال التدعيم ومراقبة جودة التنفيذ	٤-٦٨
٤-٤-٣-١ اعتبارات عامة	٤-٦٨
٤-٤-٣-٢ تعريفات	٤-٦٩
٤-٤-٣-٢-١ تأكيد الجودة	٤-٧٠
٤-٤-٣-٢-٢ ضبط الجودة	٤-٧٠
٤-٤-٣-٢-٣ نظام تأكيد الجودة	٤-٧٠
٤-٤-٣-٢-٤ خطة تأكيد الجودة	٤-٧٠
٤-٤-٣-٢-٥ برنامج تأكيد الجودة	٤-٧٠
٤-٤-٣-٢-٦ ضبط الجودة داخليا	٤-٧١
٤-٤-٣-٢-٧ ضبط الجودة خارجياً	٤-٧١
٤-٤-٣-٢-٨ دور الجودة خلال عمر المشروع	٤-٧١
٤-٤-٣-٣ التفتيش الفني	٤-٧١
٤-٤-٣-٣-١ التفتيش	٤-٧١
٤-٤-٣-٣-٢ القائم بالتفتيش الداخلي	٤-٧٢
٤-٤-٣-٣-٣ التفتيش الفني الخارجي	٤-٧٢
٤-٤-٣-٣-٤ معمل اختبارات الموقع	٤-٧٢
٤-٤-٣-٣-٥ مراحل ضبط الجودة	٤-٧٢
٤-٤-٣-٣-٦ مراحل ضبط الجودة والتفتيش قبل التنفيذ	٤-٧٣
٤-٤-٣-٣-٦-١ استلام ومراجعة مستندات المشروع	٤-٧٣
٤-٤-٣-٣-٦-٢ مراجعة التصميم الإنشائي	٤-٧٣
٤-٤-٣-٣-٦-٣ التفتيش الابتدائي	٤-٧٤
٤-٤-٣-٣-٦-٤ التفتيش الفني على المواد	٤-٧٤
٤-٤-٣-٣-٦-٥ اعتماد المواد	٤-٧٥
٤-٤-٣-٧ المراقبة وضبط الجودة لأعمال التنفيذ	٤-٧٦

٤-٤-٣-٧-١ المراقبة وضبط الجودة والتفتيش الفني لأعمال تجهيز السطح ٤-٧٧
٤-٤-٣-٧-٢ قبول واعتماد السطح التحتي قبل اللصق ٤-٧٨
٤-٤-٣-٧-٣ المراقبة وضبط الجودة والتفتيش الفني أثناء تطبيق (لصق) أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ٤-٧٨
٤-٤-٣-٧-٤ المراقبة وضبط الجودة والتفتيش الفني للمعالجة وتمام التصلد ٤-٧٩
٤-٤-٣-٧-٥ تقارير التفتيش والتقييم لتنفيذ أعمال التدعيم ٤-٧٩
٤-٤-٣-٨ اختبارات التقييم لضبط وتأكيد الجودة أثناء التنفيذ ٤-٨٠
٤-٤-٣-٨-١ اختبارات الأنظمة المعالجة والمطبقة بالموقع ٤-٨٠
٤-٤-٣-٨-٢ اختبارات الأنظمة السابقة التشبع والمعالجة ٤-٨٠
٤-٤-٣-٨-٣ الاختبارات الحقلية ٤-٨١
٤-٤-٣-٨-٤ الاختبارات الغير متلفة ٤-٨١
٤-٤-٣-٨-٥ اختبار الانتزاع ٤-٨١
٤-٤-٣-٨-٦ اختبار التحميل للعناصر الخرسانية بعد إصلاحها أو تدعيمها ٤-٨٢
٤-٤-٣-٩ أعمال التفتيش الفني بعد التنفيذ وتقييم عيوب التنفيذ واقتراحات الإصلاح ٤-٨٢
٤-٤-٤ الصيانة والرصد والإصلاح لأعمال التدعيم بأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ٤-٨٣
٤-٤-٤-١ عام ٤-٨٣
٤-٤-٤-٢ أعمال الصيانة الدورية والمعاينة ٤-٨٤
٤-٤-٤-٣ الرصد الدوري لأعمال التدعيم والإصلاح ٤-٨٥
٤-٤-٤-٤ تقييم التلف ومعايير القبول ٤-٨٦
٤-٤-٤-٥ ترميم و إصلاح طبقات الحماية للسطح ٤-٨٧
٤-٤-٤-٦ أعمال الإصلاح أثناء التنفيذ ٤-٨٨
٤-٤-٤-٧ أعمال الإصلاح لأنظمة البوليمر المسلح بالألياف ٤-٨٨

الباب الخامس : الخرسانة المسلحة بقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف

٥-١ الاعتبارات العامة ٥-١
٥-٢ مجالات استخدام قضبان FRP كتسليح للعناصر الخرسانية ٥-١
٥-٢-١ حالات يسمح فيها باستخدام قضبان التسليح من FRP ٥-١
٥-٢-٢ حالات لا يسمح فيها باستخدام قضبان التسليح من FRP ٥-٢
٥-٣ حالة حد المقاومة القصوى ٥-٢

٥-٣-١ الأحمال القصوى ٥-٢
٥-٣-٢ الاجهادات والانفعالات التصميمية لقضبان FRP ٥-٢
٥-٣-٣ القطاعات المعرضة لعزوم الانحناء ٥-٣
٥-٣-٣-١ فلسفة التصميم ٥-٣
٥-٣-٣-٢ الفروض الأساسية ٥-٤
٥-٣-٣-٣ حالة حد المقاومة القصوى لعزوم انحناء ٥-٤
٥-٣-٣-٤ التسليح التوازني للقطاع ٥-٥
٥-٣-٣-٥ معاملات خفض المقاومة القصوى ٥-٥
٥-٣-٣-٦ حالة نسبة تسليح القطاع اكبر من نسبة التسليح التوازني ٥-٦
٥-٣-٣-٧ حالة نسبة تسليح القطاع اقل من نسبة التسليح التوازني ٥-٧
٥-٣-٣-٨ القطاعات المستطيلة المعرضة لعزوم انحناء ٥-٨
٥-٣-٣-٩ القطاعات على شكل T و L والشفة ناحية الضغط ٥-٩
٥-٣-٣-١٠ الحد الأدنى للتسليح ٥-٩
٥-٣-٣-١١ رص قضبان FRP في صفوف أو استخدام أنواع مختلفة من FRP ٥-٩
٥-٣-٣-١٢ إعادة توزيع العزوم ٥-١١
٥-٣-٣-١٣ التسليح في جانب الضغط ٥-١١
٥-٣-٤ حالة حد المقاومة القصوى في القص ٥-١١
٥-٣-٤-١ الكمرات المسلحة بقضبان FRP ٥-١١
٥-٣-٤-٢ قوة القص القصوى الاعتبارية في الكمرات ٥-١٢
٥-٣-٤-٣ مقاومة القص القصوى الاعتبارية ٥-١٢
٥-٣-٤-٤ معامل خفض المقاومة القصوى ٥-١٣
٥-٣-٤-٥ القيمة الاعتبارية لمقاومة الخرسانة لإجهاد القص ٥-١٣
٥-٣-٤-٦ مقاومة التسليح الجذعي القصوى الاعتبارية للقص في الكمرات ٥-١٤
٥-٣-٤-٧ التسليح الجذعي في الكمرات ٥-١٦
٥-٣-٤-٨ متطلبات عامة في اختيار و ترتيب التسليح الجذعي ٥-١٧
٥-٣-٥ القطاعات المعرضة لأحمال شد محورية أو لعزوم انحناء مصحوبة بأحمال شد محورية ٥-١٨
٥-٣-٦ طول التماسك لقضبان FRP ٥-١٨
٥-٤ حالات حدود التشغيل ٥-١٩

٥-٤-١ حالات حدود التشكل والترخيم ٥-١٩
٥-٤-١-١ نسبة البحر الفعال إلى العمق الكلى ٥-١٩
٥-٤-١-٢ حساب التشكل و الترخيم (سهم الانحناء) ٥-٢٠
٥-٤-١-٣ عزم القصور الذاتي الفعال للقطاع I_e ٥-٢٠
٥-٤-٢ حالات حدود التشرخ ٥-٢١
٥-٥ البلاطات المرتكزة على التربة ٥-٢١

الملاحق
ملحق (١) التعريفات والرموز
ملحق (٢) اختبارات البوليمرات المسلحة بالألياف
ملحق (٣) لجان الكود المصري لأسس التصميم و اشتراطات تنفيذ البوليمرات المسلحة بالألياف

الباب الأول

الباب الأول

المجال والمفاهيم وأسس التصميم

١-١ مكونات ومجالات استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف

١-١-١ مكونات البوليمرات المسلحة بالألياف

أظهرت المواد المركبة المستحدثة وخاصة البوليمرات المسلحة بالألياف FRP ومنتجاتها وأنظمتها إمكانيات فنية واقتصادية كبيرة عند استخدامها فى العديد من مجالات التشييد. ويرجع ذلك إلى خصائصها المميزة والمتمثلة في المقاومة العالية وخفة الوزن وعدم قابليتها للصدأ بالإضافة الى سهولة استخدامها وتنفيذها بالمقارنة بالمواد التقليدية المستخدمة حاليا في مجالات التشييد . وتتكون البوليمرات المسلحة بالألياف من عنصرين أحدهما الألياف والآخر راتنج بوليمرى يتم دمجهما مع بعض إما في الموقع عند الاستخدام أو يتم تصنيع عناصر منها كوحدات سابقة التجهيز لتكون العنصر الإنشائي الذي يمكن استخدامه في أعمال التشييد . والألياف الأكثر استخداما في مجالات التشييد هي :

أ - ألياف الكربون

ب - ألياف الزجاج

جـ- ألياف الأراميد

ويستخدم عادة راتنج الايبوكسى أو راتنج البولي استر في الأعمال المتعلقة بالبوليمرات المسلحة بالألياف. وتوظف تلك المواد لمقاومة إجهادات الشد ولا يصرح باستخدامها لمقاومة إجهادات الضغط المؤثرة على العنصر بصفة دائمة إلا انه يمكن السماح بتعرضها لاجهادات ضغط بصفة ثانوية أو غير دائمة وفى تلك الحالات تهمل مقاومتها في الضغط.

وتتكون الوحدات التي يتم معالجتها في الموقع من لفائف من الألياف Sheets يتم تشبيعها موضعياً بالراتنج وكما تنتج الوحدات سابقة التصنيع في إحدى الصور التالية :

أ - الرقائق Laminates

ب - القضبان FRP bars

جـ- كابلات وشرائح سبق الإجهاد Prestressing FRP tendons and strips

د - القطاعات الإنشائية المشكلة بالسحب Pultruded FRP sections

ويخضع كل نوعية من النوعيات السابقة لمتطلبات خاصة فيما يتعلق بالتصميم ومعايير قبول المواد وطرق التنفيذ وضبط الجودة لها، وذلك وفقا لطبيعة الاستخدام ونوعية التطبيقات. وتستخدم تلك العناصر في مجالات التشييد التالية المذكورة في بند ١-١-٢.

١-١-٢ المجالات الانشائية لاستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف FRP

١-١-٢-١ مجال إصلاح وتدعيم المنشآت (الخرسانية أو المبانى أو المعدنية)

تستخدم فى أعمال الإصلاح والتدعيم جميع العناصر المذكورة سابقا كما يلي :

١ - باستخدام اللفائف Sheets التي يتم معالجتها بالراتنج في الموقع أثناء التنفيذ ولصقها على سطح العنصر المزمع تدعيمه أو إصلاحه . ويمكن تشكيلها في الموقع لتأخذ شكل العنصر المزمع تدعيمه . ولذلك فهي مناسبة لتدعيم الأعمدة حيث يلف العمود بتلك الألياف بعد معالجتها. كما يمكن تطبيقها لتدعيم الأسطح المستوية مثل حالات تدعيم الكمرات والبلاطات بالإضافة إلى الأسطح غير المستوية.

٢ - باستخدام الوحدات سابقة التصنيع. علما بأنه لا يمكن تشكيل تلك الوحدات في الموقع عند التنفيذ. والوحدات المستخدمة في تلك الأعمال هى :

أ - الرقائق Laminates التي يتم لصقها على سطح العنصر المزمع تدعيمه أو إصلاحه.

ب - الرقائق Laminates التي يتم وضعها داخل العنصر المزمع تدعيمه (دفنها في داخل شق في الغطاء الخرساني) Near Surface Mounted Laminates

جـ- القضبان Bars التي يتم دفنها في داخل شق في الغطاء الخرساني Near Surface Mounted Bars

د - القطاعات الإنشائية التي يمكن تثبيتها أو لصقها على العنصر المزمع إصلاحه أو تدعيمه.

هـ- كما يمكن أيضا استخدام كابلات وشرائح سبق الإجهاد في أعمال التدعيم أو الإصلاح التى قد تتطلب ذلك عن طريق سبق الإجهاد الخارجي لتلك العناصر.

و - يمكن استخدام وسائل الإصلاح والتدعيم السابقة الذكر كل على حدة أو مجتمعة .

١-١-٢-٢ مجالات تسليح العناصر الخرسانية والمباني ومجالات سبق إجهاد الخرسانة المسلحة

تستخدم القضبان المصنعة من FRP في تسليح العناصر الخرسانية المسلحة كما تستخدم الكابلات المصنعة من FRP في سبق إجهاد العناصر الخرسانية والمباني إما داخليا أو خارجيا.

١-١-٢-٣ مجال استخدام القطاعات الإنشائية في أعمال الإنشاء كوحدات إنشائية

يمكن الاستفادة من الخصائص المميزة للقطاعات الإنشائية المصنعة من البوليمرات المسلحة بالألياف المتمثلة في خفة الوزن المصحوبة بالمقاومة والجساءة العالية بالإضافة إلى عدم قابليتها للصدأ في أعمال الإنشاء للعديد من المنشآت الجديدة التي تمثل فيها هذه الخصائص مميزات اقتصادية وفنية.

١-٢ مجالات الكود

١ - يقتصر هذا الكود على المجالات التالية :

أ - أعمال الإصلاح والتدعيم للعناصر الخرسانية المسلحة باستخدام لفائف وشرائح البوليمرات المسلحة بالألياف التي يتم لصقها على السطح الخارجي للعنصر الخرسانى.

ب - أعمال تسليح العناصر الخرسانية المسلحة المعرضة إلى عزوم انحناء باستخدام القضبان المصنعة من البوليمرات المسلحة بالألياف سابقة التجهيز.

٢ - لا يشتمل هذا الكود على الاشتراطات الخاصة بكافة الأعمال الأخرى المنصوص عليها في البند السابق المتمثلة في مجالات سبق الإجهاد والعناصر الإنشائية والتطبيقات الخاصة بالعناصر المعدنية والمبانى .

٣ - يحدد هذا الكود المتطلبات الدنيا التي يجب مراعاتها في حساب وتصميم وتنفيذ ومراجعة وضبط جودة وتحقيق كفاءة المنشآت الخرسانية المدعمة أو المسلحة باستخدام الأساليب والعناصر المبينة في البند ١- ٢- ١ (أ ، ب) .

٤ - يشترط استيفاء متطلبات حالة حد المقاومة القصوى وحالات حدود التشغيل المنصوص عليها في الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية وذلك لجميع الأعمال التي تم لها تدعيم أو إصلاح للعنصر الخرساني المسلح أو سابق الإجهاد أو للعناصر الخرسانية التي تم تسليحها بالقضبان المصنعة من FRP .

٥ - يشترط أن يتولى مهندس نقابي أخصائي ذو خبرة كافة أعمال التصميم والاشراف على التنفيذ ومراقبة الجودة لكافة الأعمال التي تقع في مجال هذا الكود , وللمهندس الاستشاري أن يستعين بأحد المتخصصين فى هذا المجال على مسئوليته الخاصة.

٦ - يشترط أن يتولى مقاول متخصص في الأعمال التي تقع في مجال التدعيم والإصلاح بوجه عام ومجالات استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف ومجال التسليح باستخدام القضبان المصنعة من FRP بوجه خاص الأعمال التي تتعلق بمجال هذا الكود تحت إشراف مهندس نقابي متخصص وفقا للبند السابق .

٧ - يشترط استخدام مواد وعناصر FRP معلومة المصدر وموثقة بالمستندات الدالة على مصدر إنتاجها وخصائصها ودرجات صلاحية استخدامها بالإضافة إلى ضرورة استخدام أنظمة FRP بطريقة متكاملة وفقا لمتطلبات الجهات الموردة لتلك المواد وعدم الخلط بين أنظمة FRP المختلفة . كما يشترط عدم استخدام أي من تلك المواد أو العناصر إلا بعد إجراء اختبارات قبول لها.

٨ - يشترط عمل رصد دوري لأعمال الإصلاح والتدعيم لتقييم سلوكها مع الزمن .

٩ - لا يعفى خضوع التصميم والتنفيذ لما ورد بهذا الكود من أية مسئوليات أو التزامات قانونية .

١- ٣ أغراض الكود

تتلخص الأغراض التي يحققها الكود في أن يكون المنشأ في أجزائه المختلفة ومجموعاتها وحدة متكاملة محققا متطلبات الاستعمال والتشغيل التي أنشئ أو تم تدعيمه أو إصلاحه من اجلها والمتمثل فى استيفاء اشتراطات التشكل والتزخيم وحدوث التشرخات المعيبة وفقا للكود المصري للخرسانة مع توفير معامل أمان كاف ضد التصدع والانهيار وعدم الاتزان وعدم الاستقرار وعدم التماسك وفقا لمتطلبات هذا الكود بالإضافة إلى الكود المصري للخرسانة.

١-٤ أسس التصميم :

١ - نظرا لتأثر خصائص البوليمرات المسلحة بالألياف مع الزمن نتيجة للعوامل البيئية المحيطة وكذلك تأثيرات الزحف والكلال بالإضافة إلى التأثيرات السلبية على تلك العناصر عند تعرضها لدرجات حرارة مرتفعة وللحريق فان التصميم الإنشائي مستخدما تلك الوحدات

وتحديد معاملات الأمان له يجب أن يأخذ في الاعتبار تلك المؤثرات إما منفردة أو مجتمعة. ويتناول الباب الثالث تقييم تلك المؤثرات وإعطاء الاشتراطات التي يجب مراعاتها بأخذها في الاعتبار عند التصميم.

٢ - أعمال تدعيم و إصلاح المنشآت

أ - يقتصر أعمال تدعيم وإصلاح المنشآت في هذا الكود على استخدام كل من لفائف الألياف غير المشبعة بالراتنج والتي يتم تشبيعها به أثناء التنفيذ أو الشرائح سابقة التجهيز من FRP والتي يتم لصقها من الخارج على أسطح العنصر الخرساني المزمع معالجته. ويمكن تقسيم الأعمال المتعلقة بالإصلاح وتدعيم المنشآت إلى النوعيتين التاليتين :

- نوعية تعتمد أعمال التدعيم لها في المقام الأول على التماسك الجيد بين العنصر الخرساني المعالج وبين وحدات التدعيم من FRP (Bond-critical applications) وتخص تلك النوعية حالات تدعيم العناصر بهدف زيادة المقاومة القصوى للعنصر الخرساني لعزوم الانحناء أو عزوم اللي أو قوى القص أو قوى الشد .
- نوعية تعتمد أعمال التدعيم لها أساسا على الالتصاق التام بين العنصر الخرساني المعالج وبين عناصر التدعيم من FRP (Contact-critical applications) وتخص هذه النوعية من الأعمال حالات تدعيم العناصر المعرضة لقوى ضغط بهدف زيادة مقاومتها القصوى في الضغط أو زيادة ممطوليتها وخصوصا تحت تأثير أحمال الزلازل .

ولكل من النوعيتين السابقتين متطلبات خاصة للتصميم والتنفيذ وخصوصا فيما يتعلق بمعالجة السطح الخرساني المزمع اللصق عليه .

ب - يترتب على أعمال التدعيم للعناصر المعرضة لعزوم انحناء تقليل ممطولية تلك العناصر مما قد يسبب تغير في طبيعة انهيار العنصر الخرساني المسلح والمعرض لعزوم الانحناء من طبيعة الانهيار المطيل Ductile إلى طبيعة الانهيار القصف Brittle . وفي تلك الحالة يجب زيادة قيم معاملات خفض المقاومة القصوى للخرسانة وصلب التسليح وفقا للقيم المعطاة في الجزء الثالث من الباب الرابع من هذا الكود. هذا بالإضافة الى ضرورة اخذ معامل خفض مقاومة لعناصر التدعيم والإصلاح باستخدام FRP وتؤخذ قيم هذا المعامل وفقا للتطبيق وللقيم المعطاة في

الجزء الثالث من الباب الرابع من هذا الكود ويشترط عند إجراء أعمال التدعيم للعنصر دراسة تأثير تلك الأعمال على العناصر الأخرى غير الداخلة في أعمال التدعيم بالإضافة الى استيفاء جميع عناصر المنشأ سواء المدعم أم غير المدعم لكافة اشتراطات حالات الحدود وفقا للكود المصري للخرسانة وهذا الكود .

٣ - تسليح المنشآت الخرسانية باستخدام قضبان FRP

تستخدم قضبان FRP في تسليح العناصر المعرضة لعزوم انحناء مثل الكمرات والبلاطات الخرسانية. ولا تستخدم تلك القضبان في تسليح العناصر المعرضة لقوى ضغط مثل الأعمدة . ترتكز فلسفة التصميم على نظرية حالات الحدود وفقا للكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية. ولكن نظرا لأن كل من الخرسانة وقضبان التسليح المصنعة من FRP لها طبيعة انهيار قصف Brittle فلا تعطي إنذارات مسبقة قبل الانهيار المفاجئ وذلك على عكس طبيعة الانهيار المطيل Ductile في العناصر الخرسانية المسلحة بصلب التسليح والمعرضة للعزوم، فان انهيار تلك العناصر المسلحة باستخدام FRP سوف يكون من النوع القصف Brittle . لذلك تؤخذ معاملات خفض المقاومة القصوى للقطاع بقيم أعلى من نظائرها في كود الخرسانة المسلحة وذلك وفقا للقيم المعطاة في الباب الخامس من هذا الكود ووفقا لطبيعة انهيار العنصر الذي يكون إما بواسطة انهيار للخرسانة في الضغط أو انهيار لعناصر التسليح من FRP. ولما كان انهيار الخرسانة المضغوطة مصحوباً ببعض الإنذارات المحدودة بينما لا يكون انهيار البوليمرات المسلحة مسبوق بأية إنذارات ؛ لذلك وعلى عكس ما هو مشترط في الكود المصرى للخرسانة المسلحة فإنه يشترط للحالات التي تسمح بذلك أن يتم تصميم العناصر الخرسانية المسلحة بقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف بحيث تنهار الخرسانة المضغوطة أولاً وتنطبق هذه الحالة على القطاعات المستطيلة . إما بالنسبة للقطاعات غير المستطيلة مثل T, L فانه يتم زيادة قيم معاملات خفض المقاومة عن القيم المستخدمة في النوعية السابقة نظرا لأن الانهيار المحتمل لتلك القطاعات سوف يكون انهيارا لمواد التسليح من FRP وذلك وفقا للقيم المعطاة في الباب الخامس من هذا الكود.

الباب الثانى
خواص المواد المركبة من البوليمرات المسلحة بالألياف

٢-١ اعتبارات عامة

يشتمل هذا الباب على تعريف بالمواد المكونة للبوليمرات المسلحة بالألياف من راتنجات وألياف حيث يتم توضيح طبيعة واستخدامات البوادئ والمعجون المالئ والراتنجات المشبعة واللواصق وطلاءات الحماية وأنواع الألياف الشائعة الإستخدام والخصائص الطبيعية والميكانيكية للبوليمرات والألياف. كما يستعرض هذا الباب أيضاً منتجات البوليمرات المسلحة بالألياف بأنواعها المختلفة وخواصها سواء على هيئة رقائق مكونة من لفائف يتم تشبيعها بالراتنجات بالموقع أو رقائق سابقة التصنيع أو قضبان أو قطاعات إنشائية، ويتضمن هذا الباب الخواص الطبيعية والميكانيكية لرقائق وقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف.

وبالإضافة إلى ذلك يتم توضيح أسس الشحن والتخزين والا عبئة للمواد البوليمرية المسلحة بالألياف، كما يتم تحديد معايير مراقبة وتأكيد الجودة للمنتجات من خلال الفحص والتقييم والقبول.

تتفاوت خواص البوليمرات المسلحة بالألياف وكذلك مكوناتها حسب المصدر (المصنع) وطرق التصنيع, ولذلك تعتبر الخواص المذكورة في هذا الباب خواص عامة تعطي قيم استرشادية ولا تسري على جميع المنتجات التجارية , ويجب الرجوع إلى مصنع للحصول على الخواص الخاصة بالمنتج ومدى إمكانية تطبيقه بناء على هذه الخواص.

كما تخضع البوليمرات المسلحة بالألياف وكذلك المواد المكونة لها من ألياف وراتنجات وبوادئ ومعجون ومشبعات ولواصق للتطوير المستمر من حيث الأنواع والخواص الطبيعية والميكانيكية وأساليب وتكنولوجيا التصنيع والتنفيذ, ولذلك يتعين على المهندس المصمم تحديث معلوماته وقاعدة البيانات الخاصة بالمواد دورياً.

نظرا لاختلاف خواص المواد باختلاف المصنع, ينصح باستخدام مكونات النظام بأكمله من نفس المصدر في التطبيق الواحد, وعدم خلط ألياف مع بوليمرات أو لواصق من مصادر مختلفة, وذلك لضمان تمام توافق مكونات النظام كيميائيا وميكانيكيا.

٢-٢ المواد المكونة لأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف

تشتمل المواد المكونة لأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف والمستخدمة في أعمال الإصلاح والتقويات للعناصر الخرسانية على الراتنجات (البوليمرات) واللواصق والمعجون وطلاءات الحماية وكذلك الألياف بأنواعها المختلفة وكذلك مواد الحماية المؤقتة .

٢-٢-١ الراتنجات (البوليمرات)

٢-٢-١-١ مقدمة

الراتنجات (Resins) هى مواد ذات وزن جزيئي كبير يصل إلى مئات الألوف من وحدات متكررة تسمى المونومرات. وهي تعتبر بوليمرات في حالة لزوجة تقرب من الصمغيات (Gum-like) . و البوليمرات يمكن أن يكون أساسها ذرات الكربون والهيدروجين فتسمى بوليمرات عضويه أو يكون أساسها ذرات مثل السليكون [Si] أو الفوسفور [P] أو الكبريت [S] فتسمى بوليمرات غير عضويه.

وكلمة بوليمر كلمة عامة والذي يحدد التخصيص هنا هو معاير المرونة:

أ - البوليمرات تعتبر لدائن (Elastomers) إذا كانت قيمة معاير المرونة (E) أقل من ١٠٠ نيوتن/مم^{٢}.

ب - تعتبر ألياف (Fibers) إذا كان معاير المرونة أكبر من ٣٥٠٠ نيوتن /مم^{٢}.

جـ- تعتبر بلاستيك (Plastics) إذا كان معاير المرونة يقع بين هاتين القيمتين أى أن (E) أكبر من ١٠٠ نيوتن /مم^{٢} وأقل من ٣٥٠٠ نيوتن /مم^{٢}.

ويمكن تقسيم البوليمرات عموما إلى قسمين أساسين حسب سلوكها تحت تأثير الحرارة:

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

ب - الثرموسيت (Thermoset) وهو نوع لا يلين بالتسخين ولكن يتصلب نهائيا بالتبريد. ويمتاز هذا القسم بخواصه الكهربائية الجيدة وتمتاز البوليمرات التي لا تلين بالحرارة بعد تصلدها والمقواه بالألياف بمقاومة كبيره للشد والضغط والصدم والزحف والحرارة والماء

والكيماويات، ومن أمثلة هذا النوع البولى أستر المسلح بألياف الزجاج أو الإيبوكسى المسلح أما بألياف الكربون أو ألياف الزجاج أو ألياف الأراميد.

في بعض الأحيان يضاف إلي البوليمرات مواد مالئه (Fillers) وهى مواد صلبه ذات مقاسات صغيره مثل الرمل الناعم والأسمنت وكربونات الكالسيوم والميكا والسيليكا وغيرها وهى تضاف بغرض خفض ثمن المادة المنتجة وتعديل خواصها وزيادة مقاومتها خاصة إذا كانت ستستخدم في أغراض إنشائية.

كما أنه قد يضاف ملدنات (Plasticizers) وهى مواد 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، كما قد تستخدم الأكاسيد المعدنية لإضفاء ألوان معينه للبوليمر الناتج.

٢-٢-١-٢ أنواع الراتنجات

أ- راتنجات البولى استر Polyester Resins

البولى استر غير ال شبع عبارة عن راتنج بوليمرى يستخدم عادة لإنتاج أجزاء من المركبات الإنشائية. هذه الراتنجات تكون على هيئة سوائل منخفضة اللزوجة خلال فترة التشغيل وحتى تتم معالجتها. أما المواد المصنعة جزئياً والتي تحتوى على ألياف فيمكن استخدامها تحت ظروف معينة من درجات الحرارة والضغط. ويوجد العديد من الأنواع التجارية لراتنجات البولي استر غير المشبعة.

ب- راتنجات الإيبوكسي Epoxy Resins

الراتنجات الايبوكسية متاحة بدرجات لزوجة مختلفة و يتم خلطها مع عدد من المصلدات أو مواد المعالجة. تتيح طبيعة راتنجات الإيبوكسي أن يتم تداولها في حالة معالجة جزئية أو في حالة معالجة متقدمة و هي معروفة عموماً على أنها سابقة التشبيع (Prepreg). وفي حالة إذا ما احتوت على ألياف فان الناتج يمكن تشكيله في قوالب أو فرم آو لفه على هيئة شريط في درجة حرارة الغرفة.

على الرغم من أن بعض الايبوكسيات تتصلب عند درجة حرارة حوالى (٣٠°مئوية)، إلا أن كل الايبوكسيات تحتاج إلى التسخين لبضع درجات قبل المعالجة لتحقيق الأداء المقبول.

ويتم بدء الارتباط المتقاطع (Cross linking) للايبوكسيات باستخدام المصلدات ويوجد العديد من عناصر المعالجة المستخدمة والمتاحة في السوق .

ويعتمد وقت المعالجة وزيادة درجة الحرارة اللازمة لإتمام عملية البلمرة على نوع وكمية المادة المصلدة المستخدمة. بعض من هذه المصلدات يعمل عند درجة حرارة الغرفة. إلا أن معظم المصلدات تحتاج إلى رفع درجات الحرارة. في بعض الأحيان يتم إضافة بعض الإضافات التي تسمى معجلات إلى الراتنج الإيبوكسي السائل لتعجيل التفاعل وتقليل زمن المعالجة.

يمكن معالجة الراتنجات الإيبوكسية عند درجات حرارة تتراوح بين درجة حرارة الغرفة إلى درجة حرارة عالية (١٧٥ درجة مئوية) . وعندئذ تكون المعالجة النهائية قد تمت.

بعض المصلدات تحتاج إلى احتياطات خاصة في تناولها، هذا علاوة على أن الراتنجات وكذا بعض المصلدات يمكن أن تسبب حساسية الجلد.

بالمقارنة براتنجات البولى إستر فإن الراتنجات الإيبوكسية توفر خصائص الأداء العامة التالية:

- يمكن الحصول على مدى واسع من الخواص الميكانيكية والطبيعية بسبب تنوع المواد المضافه.
- لا تنبعث مواد طيارة خلال عملية المعالجة والتشغيل.
- ينخفض معدل الإنكماش خلال المعالجة.
- مقاومة ممتازة للمركبات الكيمائية والمذيبات.
- التصاق جيد مع الموالئ و الألياف و الأسطح أسفلها التي تطبق عليها.
- تكلفة الوسط المحيط اللاصق تكون عموماً أعلى من راتنجات ايزوبوليستر (Isopolyester) أو فينيل أستر (Vinylester).
- يجب تشغيل الايبوكسيات بعناية لكي نحافظ على مقاومتها للرطوبة .
- يمكن أن يكون وقت المعالجة طويلاً.

٢-٢-١-٣ الخواص الميكانيكية للراتنجات

- تعتبر الوظيفة الأساسية للبوليمرات في حالة تسليحه بالألياف هي تثبيت الألياف معا في الموضع والاتجاه المحدد وإحداث التماسك بينها, وتوزيع الحمل على الألياف, وكذلك حماية الألياف من التآكل والاحتكاك و الصدم ومن التأثير السلبي لسائر العوامل الخارجية عليها.
- تتفاوت خواص البوليمرات الفيزيائية والميكانيكية حسب تركيبها الكيميائي وطرق التصنيع, مما يؤثر في خواص المنتج النهائى ، ولذلك يجب الرجوع إلى مورد أو مصنع النظام للحصول على الخواص الخاصة بالمنتج.
- تتأثر الخواص الفيزيائية والميكانيكية للبوليمرات كذلك بالعوامل الخارجية مثل الحرارة والرطوبة مما يؤثر بالتالي على خواص المنتج النهائى. ولذلك يتعين حسن اختيار البوليمر المناسب للتطبيق المقترح.
- تعين الخواص الفيزيائية والميكانيكية للبوليمر بإجراء الاختبارات القياسية اللازمة للتأكد من خواصها . كما أنه قد يلزم في بعض التطبيقات إجراء اختبارات الديمومة (تحمل العوامل الخارجية مع الزمن) لتحديد مدى تأثرها و سلوكها تحت تأثير تلك العوامل.
- يوضح الجدول (٢-١) الخواص الميكانيكية الاسترشادية لبعض البوليمرات المستخدمة لتسليح الألياف وأهمها مقاومة الشد و معايير المرونة والانفعال الأقصى عند الانهيار.

جدول (٢-١) الخواص الميكانيكية الاسترشادية للبوليمرات

نوع البوليمر	الوزن النوعي	مقاومة الشد ن/مم^2	معاير المرونة للشد كن/مم^2	الاستطالة القصوى %
ايبوكسي	١,١-١,٤	٥٠-٩٠	٣,٠	٢,٠-٨,٠
بولي استر	١,٢	٥٠-٦٥	٣,٠	٢,٠-٣,٠
فينيل استر	١,١٥	٧٠-٨٠	٣,٥	٤,٠-٦,٠

٢-٢-١-٤ اشتراطات استخدام الراتنجات

يشترط فى الراتنجات المستخدمة في أعمال الإصلاح والتقويات كجزء نظام البوليمرات المسلحة بالألياف أن تحقق الآتى:

- تحقيق درجة التصاق عالية مع الأسطح الخرسانية
- تحقيق درجة التصاق عالية مع الألياف أو مع البوليمرات المسلحة بالألياف
- مقاومة المؤثرات البيئية المحيطة من رطوبة وأملاح وحرارة عالية وكيماويات قد تتعرض لها العناصر الخرسانية
- اللزوجة المناسبة
- قابلية الملء
- زمن تشغيلية مناسبة قبل التصلد.
- التوافق مع الوسط المحيط البوليمرى اللاصق لألياف التسليح.(Polymer matrix) والذي يتركز دوره في نقل الإجهادات بين ألياف التسليح والبنية المحيطة بها وفى حماية الألياف من التلف البيئي أو الميكانيكي وهذا يماثل دور الخرسانة في الخرسانة المسلحة.

٢-٢-١-٥ إعتبارات التشغيل للراتنجات

تعتمد القابلية للتشغيل وكذا الجودة النهائية لنظام المواد المركبة إلى درجة كبيرة على خواص الوسط المحيط البوليمرى مثل اللزوجة وظروف المعالجة المطلوبة. يجب الأخذ في الاعتبار أيضاً الخواص الطبيعية للوسط المحيط البوليمرى عند اختيار طريقة التصنيع التي تستخدم لضم الألياف والراتنج معاً لكي ينتج عنصر نهائي ثلاثي الأبعاد.

٢-٢-١-٦ العلاقة الوظيفية بين الوسط المحيط اللاصق البوليمرى وألياف التسليح

يوفر الوسط المحيط اللاصق الحماية والشكل للألياف. ويمكن أن يتأثر الأداء الكيميائي والحراري والكهربائي باختيار الوسط المحيط اللاصق البوليمرى ولكن دور هذا الوسط المحيط يفوق ذلك بكثير إذ إنه يحافظ على وضع الألياف. كما يقوم اللاصق الراتنجى عند تعرضه للأحمال بتوزيع الإجهادات على الألياف . و يجب أن يتميز الوسط المحيط اللاصق البوليمرى باستطالة عند الكسر أعلي من مثيلتها للألياف. ولا يجب أن ينكمش بدرجة كبيرة ومعدل سريع خلال عملية المعالجة لكي نتلافى وجود إجهادات داخلية على ألياف التسليح.

٢-٢-٢ ألياف التسليح للبوليمرات المسلحة بالألياف

٢-٢-٢-١ عام

- تصنع الألياف من مواد مختلفة بأقطار تتراوح بين ٥-٢٠ ميكرومتر في صورة خيوط طويلة توضع متوازية في اتجاه واحد أو في اتجاهين متقاطعين .
- تتميز الألياف بمقاومة ومعاير مرونة أعلى كثيرا من تلك التي تميز نفس المادة المصنعة منها في حالتها العادية.
- يجب أن تتمتع الألياف المستخدمة لتسليح البوليمرات بالمقاومة ومعاير المرونة العالية بالإضافة إلى خواص الثبات الحراري والكيميائي وغيرها. تعتبر أكثر أنواع الألياف المستخدمة في التطبيقات الهندسية هى : الزجاج، الكربون والأراميد.
- بتجميع هذه الألياف داخل الوسط المحيط اللاصق البوليمرى (Polymer matrix) المناسب تتكون طبقة رقيقة من البوليمرات المسلحة بالألياف يتم لصق عدد من هذه الطبقات فوق بعضها جيدا حتى الوصول إلى السمك المطلوب للحصول على رقائق من البوليمرات المسلحة بالألياف (FRP Laminate). ويمكن التحكم في تهيئة وتجهيز الألياف و اتجاهها في كل طبقة وكذلك تسلسل تجميع العديد من الطبقات الشبيهة أو المختلفة وذلك بغرض الحصول على الخواص الميكانيكية والطبيعية المطلوبة.
- تعتبر الألياف العنصر الرئيسي المقاوم للحمل في مركبات البوليمرات المسلحة بالألياف، حيث تعتمد الخصائص الميكانيكية للمادة المركبة بدرجة كبيرة على نوع وطول وخواص الألياف وكذلك النسبة الحجمية للألياف الى المادة المركبة ككل واتجاه وضع الألياف داخل المادة المركبة, كما تعتمد أيضا على قوة الالتصاق أو الترابط بين الألياف والوسط المحيط اللاصق البوليمري.

٢-٢-٢-٢ أنواع الألياف

أ- ألياف الزجاج Glass Fibers

- يتوافر منها عدة أنواع, أهمها :

- زجاج- E : يحتوي على نسبة عالية من الالومينات وحمض البوريك، مما يضعف من مقاومته للقلويات
- زجاج - S : يتميز بمقاومة ومعاير مرونة في الشد أعلى من زجاج- E ولكن لا يتمتع بمقاومة القلويات.
- زجاج - AR : يتميز بمقاومته للتأثر بالمحاليل القلوية لاحتوائه على نسبة من عنصر الزيركون. وله مقاومة ومعاير مرونة في الشد قريب من قيمته لزجاج-E.

تتميز ألياف الزجاج برخص سعرها مقارنة بأنواع الألياف الأخرى ولكن يعيبها زحفها المرتفع كما أن لها كثافة أعلى من الألياف الأخرى وان كانت مع ذلك أقل من كثافة الحديد والخرسانة، كما تتميز بمقاومتها للبرى والتآكل, وأنها موصلة للكهرباء ولكنها تتأثر بالمحاليل القلوية ولذا يتعين حمايتها باستخدام راتنجات مناسبة أو بواسطة الطبقات السطحية والدهانات الحامية.

تكون ألياف الزجاج ذات أسطح نشطه جداً، ويمكن أن تتلف بسهولة عند تداولها. لذلك يتم تغطية سطحها بطلاء حماية كخطوة أولى فور أن تتم عملية تصنيع الألياف. ويحتوى طلاء الحماية على مساعد للالتصاق ذو وظيفة عضوية تعمل كعامل مساعدة للربط وتعمل مساعدات الالتصاق على تحسين الترابط بين الألياف والوسط المحيط اللاصق البوليمرى. كما يوفر طلاء الحامية قابلية للتشغيل وكذا حماية من الرطوبة. ويختار مصنعو وموردو الألياف مساعدات الالتصاق وكذا طلاء الحامية الخاص بهم اعتمادا على عوامل تصنيع وتشغيل الوسط المحيط اللاصق البوليمري للمنتج المطلوب.

عند التأثير على ألياف الزجاج بأحمال الشد تبدي سلوك خطي مرن إلى أن يحدث الانهيار. معاير المرونة لها يتراوح بين (٧٠ - ٩٠ كيلو نيوتن/مم^{٢}). وانفعال الانهيار النهائي في حدود ٣,٠٠ % إلى ٥,٥ % .

ب - ألياف الكربون Carbon Fibers

تتميز بأعلى مقاومة للشد ومعاير المرونة مقارنة بأنواع الألياف الأخرى وكذلك انخفاض الكثافة. ويعيبها السلوك القصف حيث يحدث الانهيار عند استطالة قليلة نسبيا بالرغم من حدوثه عند إجهاد أقصى أعلى كثيرا في قيمته من الألياف الأخرى, كما تتميز بمقاومتها للبري والتآكل, وتتميز بقيمة سالبة لمعامل التمدد الحراري. كذلك تتصف بالتوصيل الجيد للكهرباء, مما يجعلها

غير مناسبة للاستخدام في بعض المنشات أو العناصر المعرضة لمجال كهربي. ألياف الكربون تقاوم الصدأ وان كانت قد تسبب تآكل بعض المعادن الأخرى فى حالة تلامسها معها مثل الحديد والألومنيوم. ويتوافر منها عدة أنواع, أهمها:

- ألياف كربون الاستخدام العادي General Purpose
- ألياف كربون عالية المقاومة High Strength
- ألياف كربون فائق المقاومة Ultra-High Strength
- ألياف كربون عالية معاير المرونة High-Modulus
- ألياف كربون فائق معاير المرونة Ultra High Modulus

جـ - ألياف الأراميد Aramid Fibers

ألياف الارميد لها سلوك خطي مرن في الشد وتتميز بمقاومة الشد العالية ونسبة الاستطالة العالية حتى الكسر. وكذلك قدرتها على امتصاص الطاقة, ومقاومة الكلال, مما يجعلها مناسبة للاستخدام في عناصر المنشات المعرضة لقوى صدم. كما تتصف بسلوك مرن وغير خطي في الضغط, وكذلك بضعف مقاومتها للضغط وقيمة سالبة لمعامل التمدد الحراري. ويتوافر منها نوع للاستخدام عالي معاير المرونة ونوع آخر فائق معاير المرونة.

٢-٢-٢-٣ الخواص الميكانيكية للألياف

- تتميز الألياف بمقاومة ومعاير مرونة أعلى كثيرا من تلك التي تميز نفس المادة المصنعة منها في حالتها العادية, حيث أنه كلما زادت نسبة الطول إلى قطر الألياف (aspect ratio) تزيد كفاءة انتقال الحمل بين الألياف والمادة الراتنجية المالئة, مما يحقق أعلى استغلال لخواص الألياف ويجعل الألياف مادة مناسبة لتسليح البوليمرات.
- الألياف المستخدمة لتسليح البوليمرات يجب أن تتميز بالمقاومة ومعاير المرونة العالية بالإضافة إلى خواص الثبات الحراري والكيميائي وغيرها.
- تتفاوت خواص الألياف المستخدمة لتسليح البوليمرات حسب نوع الألياف والمصدر المصنع وطرق التصنيع, ولذلك يجب الرجوع إلي مورد أو مصنع النظام للحصول على الخواص الخاصة بالمنتج. ويوضح الجدول رقم (٢-٢) الخواص الميكانيكية الاسترشادية للألياف .

جدول (٢-٢) الخواص الميكانيكية الاسترشادية للألياف في الشد

نوع الألياف	مقاومة الشد ن/مم^2	معاير المرونة كن/مم^2	الاستطالة القصوى في الشد %
زجاج E-	١٩٠٠-٢٧٠٠	٧٠	٣,٠-٤,٥
زجاج S-	٣٥٠٠-٤١٣٥	٨٥-٩٠	٤,٥-٥,٥
كربون الاستخدام العادى	٢٠٥٠-٣٨٠٠	٢١٥-٢٣٥	١,٢-١,٤
كربون عالي المقاومة	٣٨٠٠-٤٨٠٠	٢١٥-٢٣٥	١,٤-٢,٠
كربون فائق المقاومة	٤٨٠٠-٦٢٠٠	٢١٥-٢٣٥	١,٥-٢,٣
كربون عالي معاير المرونة	٢٥٠٠-٣١٠٠	٣٥٠-٥١٥	٠,٥-٠,٩
كربون فائق معاير المرونة	٢١٠٠-٢٤٠٠	٥١٥-٧٠٠	٠,٢-٠,٤
أراميد منخفض معايرالمرونة	٣٥٠٠-٤١٠٠	٧٠-٨٠	٤,٣-٥,٠
أراميد عالي معاير المرونة	٣٥٠٠-٤١٠٠	١١٥-١٣٠	٢,٥-٣,٥

٢-٢-٢-٤ أشكال ألياف التسليح Forms of Fiber Reinforcement

يوجد عدد من أشكال الألياف أهمها :

أ- اللفات Rovings

هذا هو الشكل الأساسي للألياف المتصلة (Rovings) وتكون عبارة عن تجمعات لمجموعة من الخيوط /الحبال أو تكون في حالة ما يسمى سحب مباشر (Direct-Pull) حيث يتم تكوين اللفة كلها بالكامل دفعة واحدة وينتج عن ذلك منتج أكثر تجانساً مما يقلل من الانحناء في مجموعات اللفات للخيوط المعرضة لأحمال شد غير متساوية.

ب- اللفات المنسوجة Woven Rovings

يستخدم نفس منتج اللفات المذكور أعلاه كمدخل للتسليح باللفات المنسوجة. ويعرف المنتج على أنه من النوع المنسوج والذي يمكن أن يكون عند درجة ميل (صفر ، ٩٠^o) أو مائلا عند درجة (+٤٥ ، -٤٥ درجة) أوعدة أشكال أخرى تعتمد على أسلوب التصنيع وتباع هذه المنتجات بالوزن لكل متر مربع .

جـ- الحصـــــــائر Mats

عبارة عن أعداد كبيرة من الخيوط التي يتم تقطيعها إلى أطوال قصيرة (Chopped) مرتبة ترتيباً عشوائياً في مستوى ثنائي الأبعاد . يتم وضع خيوط الألياف على ناقل مستمر وتمر خلال ماكينة حيث يتم نثر الراتنجات فوقها و يتصلد هذا الراتنج بالحرارة ويربط الحصيرة مع بعضها البعض. ويتغلغل الراتنج (كمادة رابطة) في نسيج البولى استر أو الفينيل استر وبذلك يسمح للحصيرة أن تتشكل على حسب الشكل المطلوب.

د- المنتجات المجمعة Combined Product

من الممكن أن يتم دمج اللفات المنسوجة مع حصيرة ذات خيوط يتم تقطيعها لأطوال صغيرة . وهناك العديد من التقنيات لتحقيق ذلك. أحد هذه التقنيات يربط اللفات مع الحصيرة مع بعضهم البعض بواسطة راتنج مماثل لذلك المستخدم في أسلوب الخيوط المقطعة قطع صغيرة (الحصائر). أسلوب أخر يبدأ باللفات المنسوجة توضع ألياف الخيوط التي يتم تقطيعها لأطوال صغيرة على سطح اللفات المنسوجة ويتبع ذلك مباشرة عملية غرز لتأمين تلك الألياف.

٢-٢-٢-٥ الحماية المؤقتة Temporary Protection

قد تتعرض لفائف أو رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف إلى درجات حرارة عالية أو إلى أمطار مباشرة عليها أو أتربة أو أشعة شمس شديدة مسلطة عليها أو إلى عوامل أخرى خلال عمليات تكوين المادة المركبة والتى تؤدى إلى المعالجة والتصلب غير المناسب للراتنجات. والحماية المؤقتة بواسطة الخيام والستائر البلاستيك قد تكون مطلوبة أثناء تكوين المادة المركبة وحتى تمام معالجة الراتنجات وتصلبها. في حالة إذا ما أستلزم الأمر إقامة صلبات فإن البوليمرات المسلحة بالألياف يجب أن يتم معالجتها وتصلبها نهائياً قبل إزالة هذه الصلبات والسماح للعناصر الإنشائية بتحمل أحمال التصميم الاضافية. ويجب اللجوء الى المهندس المصمم واستشارة مصنعي النظام لإعطاء المشورة في حالة حدوث تلف في البوليمرات المسلحة بالألياف خلال التركيب.

٢-٢-٣ المعجـــــــون

يستخدم المعجون لملء الفراغات الصغيرة في سطح الخرسانة التحتية وكذلك لتزويده بسطح ناعم ولمنع تكوين فقاعات عند وضع الراتنج المشبع أثناء وضع البوليمرات المسلحة بالألياف وذلك وفقا للجزء الرابع من الباب الرابع من هذا الكود.

٢-٢-٤ اللـــــواصق

تستخدم اللواصق في تماسك البوليمرات المسلحة بالألياف سابقة المعالجة مع سطح الخرسانة أو فى لصق الطبقات المتعددة لهذه الأنظمة سوياً.

٢-٢-٥ الطلاءات الحاميـــــة

تستخدم الطلاءات في حماية السطح النهائي للبوليمرات المسلحة بالألياف من التأثير الضار للوسط المحيط.

٢-٣ البوليمرات المسلحة بالألياف Fiber Reinforced Polymers (FRP)

تشتمل الأجزاء التالية على استعراض للبوليمرات المسلحة بالألياف الشائع استخدامها وأهمها الرقائق المستخدمة خارجيا لإصلاح وتقوية وتدعيم العناصر الإنشائية المتدهورة أو لزيادة قدرتها على تحمل الأحمال نتيجة تغير استعمال المنشأ أو لتصحيح أخطاء ناتجة عن التصميم أو التنفيذ. وقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف المستخدمة كتسليح رئيسي للقطاعات الخرسانية أو كوسائل للتدعيم الإنشائي وكذلك الأنظمة المركبة.

٢-٣-١ اعتبارات التصميم للبوليمرات المسلحة بالألياف

- يعتمد أداء مركبات البوليمرات المسلحة بالألياف على خواص المواد المكونة لها من حيث نوع وخواص الوسط المحيط اللاصق البوليمري، ونوع وطول وخواص ألياف التسليح المقاوم للأحمال الأساسية، ونسبة الألياف واتجاهها, وكذلك قوة الالتصاق أو الترابط بين الألياف والوسط المحيط اللاصق البوليمري. وكذلك على التوافق فيما بين هذه المواد بعضها البعض.

- ترتيب الألياف عن طريق توحيد اتجاهها كجعلها أحادية الاتجاه داخل المركب ينتج عنه أقصى مقاومة للشد وأقصى معاير مرونة في اتجاه محور الألياف. أما ترتيب الألياف ثنائيه الأبعاد فتكون لها مقاومة مختلفة باختلاف زوايا الألياف وتتناسب الخواص الميكانيكية في أي من الاتجاهات مع نسبة الألياف في هذا الاتجاه.

- تتمتع كثير من مركبات البوليمرات المسلحة بالألياف بخواص تخميد (Damping) داخلية عالية. هذا يقود إلى طاقة امتصاص عالية للاهتزازات والذبذبات خلال المادة ويقلل من احتمالات انتقالها إلى المنشآت المجاورة. ويكون هذا السلوك ملائماً للمنشآت المعرضة لاهتزازات أو لأحمال مؤقتة في فترة زمنية قصيرة .

يجب أن تؤخذ الاعتبارات التالية في الحسبان عند اختيار البوليمرات المسلحة بالالياف الشائعة الاستخدام:

- البوليمرات المسلحة بالالياف تكون متباينة الخواص ويمكن توحيد اتجاه الألياف في اتجاه الأحمال المطلوبة.

- هناك درجة عالية من الحرية في التصميم. والتي يمكن معها التجاوز في سمك وشكل الجزء المراد تصميمه.

- بالمقارنة بالتصميمات التقليدية للمواد المركبة فإن مقاومة الألياف للشد تكون عالية ولكنها تكون أقل جساءة ما لم تكن الألياف الكربونية موجودة. وفى حالة استعمال الألياف الكربونية فإنه يصبح لزاماً على المصممين أن يهتموا بالصدم و التقصف.

هناك أيضاً اعتبارات أخرى يجب أخذها في الاعتبار عند التصميم وهى:

- توفير أقصى جساءة مع استعمال الكمية والنوعية المناسبة للتصميم.

- الاستفادة من ميزة تباين خواص المادة والألياف الموجهة في التأكد من أن أساليب التصنيع متناسبة مع الاختيارات.

- الحصول على القيم المثلى للانفعالات الخاصة بالرقائق، حيث تكون استطالة الراتنجات عاملاً هاماً عند اختيار الوسط المحيط اللاصق البوليمرى وذلك للأجزاء الإنشائية الضخمة. ومع ذلك فإن تأثير إجهاد الخضوع و إجهاد التآكل المحتمل في المواد الكيميائية أو في ظروف بيئية مجهدة يمكن أن يخفض من الأداء طويل الأجل وفى هذه الحالة يكون المطلوب مراعاة

الحرص في التصميمات. وذلك يسمح بالأخذ في الاعتبار تأثيرات الزحف والتشرخ و التقادم و محاليل الإذابة .

- فهم واستيعاب خواص الزحف، والكلال للرقائق عند تعرضها لأحمال دائمة أو متقطعة.
- إدراك إنه لكي يتم تحسين الخواص بحيث تكون مقبولة فيجب أن يكون الوسط المحيط اللاصق قادراً على قبول انفعالات أعلى من انفعال مادة التسليح.
- التأكد من أن الطاقة المختزنة عند الانهيار والتي تمثلها المساحة تحت منحنى (الإجهاد – الانفعال) تكون أكبر ما يمكن حيث إنها تدل على متانة المواد المركبة .

٢-٣-٢ رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف FRP Laminates

٢-٣-٢-١ مقدمة

- يقصد بالرقيقة – كما هو موضح بالتعريفات– الطبقة الواحدة من الألياف ويمكن أن تكون عبارة عن رقائق جاهزة مصنعة من ألياف طويلة توضع متوازية في اتجاه واحد أو في اتجاهين متقاطعين وتغمر تماما بالبوليمر لتشبع وتعالج حتى التصلد وتعتبر رقيقة جاهزة للصق على الأسطح, كما يمكن أن تشبع الألياف جزئيا بالراتنج وتورد في هيئة نسيج أحادي الاتجاه أو متعامد الاتجاه يستكمل غمره ولصقه باستخدام اللواصق على طبقة أخرى أو على السطح المراد تدعيمه. وكذلك يمكن أن تقطع الألياف إلى أطوال صغيرة وتوضع مع البوليمر أثناء خلطه وتجهيزه ثم تصب في قالب وتعالج حتى التصلد مكونة طبقة وهذا خارج نطاق هذا الكود.
- يمكن تصنيف الأنواع المختلفة من رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف طبقاً للصورة التي تأتى بها للموقع وطريقة التثبيت وتشمل الآتي:

أ - النظم المشبعة بالموقع Wet and dry lay-up

تتكون الرقائق المشبعة بالموقع من لفائف جافة من الألياف ذات اتجاه واحد أو متعددة الاتجاهات ويتم تشبيعها بالمادة الراتنجية بالموقع . ويستخدم كل من الراتنج المشبع بالإضافة إلى البادئ المناسب والمادة المالئة في لصق وتثبيت هذه الرقائق على سطح

الخرسانة . وحيث أن الأنظمة المشبعة بالموقع يتم تشبيعها وتصلدها بالموقع لهذا يمكن تشبيهها بالخرسانة التي يتم صبها بالموقع .

ب - النظم المشبعة قبل التصلد Prepreg Systems

وتتكون من رقائق ألياف أحادية أو متعددة الاتجاهات قد تم تشبيعها بالراتنجات في المصنع . ويمكن تثبيت هذه الرقائق على سطح الخرسانة باستخدام كميات إضافية من الراتنجات حسب متطلبات التطبيق. كما تتشابه هذه الرقائق مع الرقائق المشبعة بالموقع فى إتمام عملية التصلد بالموقع. وعادة ما تتطلب هذه الرقائق تسخين إضافي لإتمام عملية التصلد. يجب استشارة المنتج في شروط التخزين ومدة صلاحية الاستعمال.

جـ- النظم سابقة المعالجة Precured Systems

تتكون هذه الرقائق من العديد من الأشكال المركبة التي يتـ تصنيعها بالمصنع وتورد الى الموقع . وعادة ما تستخدم اللواصق مع البادئ والمعجون لتثبيت هذه الأنظمة على سطح الخرسانة ويجب الرجوع إلى المنتج للوقوف على خطوات اللصق و التثبيت بشرط استيفاء متطلبات الباب الرابع من هذا الكود ، ويمكن تشبيه هذه الأنظمة بالخرسانة سابقة التجهيز . ولها عده صور مثل رقائق وحيدة الاتجاه وتورد إلى الموقع على هيئة رزمه من الرقائق المسطحه أو على هيئة شريط رقيق من الرقائق ملفوف على بكرة أو شبكات متعددة الاتجاه من الألياف عادة ما تورد إلى الموقع على هيئة بكرات.

- تعتمد الخواص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية لرقائق البوليمر المسلح بالألياف سواء المعالجة بالموقع أو الرقائق الجاهزة على نوع وخصائص الألياف والراتنجات المستخدمة ونسبة الألياف واتجاهات وضعها وكذلك على أسلوب وطرق التصنيع والمعالجة وضبط الجودة.
- تتميز رقائق البوليمر المسلح بالألياف بخاصية رئيسية تميزها عن المواد الشائعة الاستخدام في التطبيقات الهندسية وهي خاصية عدم تجانس خواص المادة في الاتجاهات المختلفة Anisotropy، مما يؤدي إلي حدوث تأثيرات ثانوية (مثل الالتواء والانبعاج والتشوه لشكل

القطاع) تحت تأثير الأحمال, وهذه الخاصية تعطي للمصمم إمكانيات وأبعاد أخرى للتصميم ليتواءم تماما مع التطبيق.

- تؤثر طريقة التصنيع وضبط الجودة في خواص مواد البوليمرات المسلحة بالألياف. ولذلك تعتبر الخواص المذكورة في هذا الجزء خواص عامة ولا تنطبق على جميع المنتجات التجارية، ويجب أن يقوم المهندس المصمم باستشارة منتج النظام ليحصل على الخواص الخاصة بالمنتج وإمكانية تطبيقه بناء على هذه الخواص .
- تتأثر الخواص الفيزيائية والميكانيكية للرقائق كذلك بالعوامل الخارجية المعرض لها المنشأ بعد الإصلاح أو التدعيم مثل الحرارة والرطوبة مما يؤثر بالتالي على خواص المنتج النهائي كما سيرد تفصيلا فى الباب الثالث من هذا الكود الخاص بالتحمل مع الزمن. ولذلك يتعين حسن اختيار المكونات المناسبة للتطبيق المقترح.

٢-٣-٢-٢ الخواص الطبيعية لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف

٢-٣-٢-٢-١ الكثافة

تتراوح كثافة رقائق البوليمرات المسلحة بالأنواع المختلفة من الألياف من (٠,٢ - ٣,٣٨)×١٠$^{-٣}$ جرام/مم^{٣} وتعتبر هذه القيم ٤ - ٦ مرات أقل من كثافة صلب التسليح المستخدم في تسليح العناصر الخرسانية كما يتضح من جدول (٢-٣) .وهذه القيم الصغيرة تؤدى إلى انخفاض فى تكاليف النقل ، وكذلك تؤدى إلى انخفاض فى قيم الأحمال الدائمة على العنصر الخرسانى ، كما تؤدى إلى سهولة مناولة هذه المواد فى مواقع العمل.

٢-٣-٢-٢-٢ معامل التمدد الحراري

يختلف معامل التمدد الحراري لرقائق البوليمرات المسلحة بألياف أحادية الاتجاه في الاتجاه الطولي عنها في الاتجاه العرضي ، وتعتمد قيمة التغير على نوع الألياف المستخدمة ، وكذلك نوع الراتنجات والنسبة المستخدمة من هذه الألياف . ويوضح الجدول (٢-٤) معامل التمدد الحراري في الاتجاه الطولي والاتجاه العرضي لنوع نمطي أحادى من أنواع البوليمرات المسلحة بالألياف.

وتعبر القيم السالبة لمعامل التمدد الحراري في الجدول على أن نوعية المادة المستخدمة تنكمش بارتفاع درجات الحرارة وتتمدد بانخفاضها . علماً بأن قيمة معامل التمدد الحراري للخرسانة (٧×١٠$^{-٦}$ -١١×١٠$^{-٦}$ /م$^{\circ}$) في حين يبلغ معامل تمدد حديد التسليح (١١,٧ × ١٠$^{-٦}$ /م$^{\circ}$) .

جدول (٢-٣) كثافة الرقائق من البوليمرات المسلحة بالألياف (جرام/مم^{٣}) (استرشادي)

صلب التسليح	البوليمرات المسلحة بألياف الكربون	البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج	البوليمرات المسلحة بألياف الأرميد
٧,٩×١٠$^{-٣}$	(١,٢ - ٢,١)×١٠$^{-٣}$	(١,٥ - ١,٦)×١٠$^{-٣}$	(١,٢ - ١,٥)×١٠$^{-٣}$

جدول (٢-٤) معامل التمدد الحراري لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف * (استرشادي)

إتجاه الألياف	معامل التمدد الحراري × ١٠$^{-٦}$ لكل درجة مئوية		
	البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج	البوليمرات المسلحة بألياف الكربون	البوليمرات المسلحة بألياف الأرميد
الاتجاه الطولي للألياف α_L	٦ إلى ١٠	-٩ إلى صفر	- ٦ إلى - ٢
الاتجاه العرضي α_T	١٩ إلى ٢٣	٢٢ إلى ٥٠	٦٠ إلى ٨٠

* هذه القيم لمحتوى الألياف بنسبة ٥٠% إلى ٧٠% من الحجم

٢-٣-٢-٢ -٣ تأثير درجات الحرارة العالية

يقل معاير المرونة للبوليمرات بدرجة ملحوظة نتيجة للتغير في التركيب الجزيئى لها عندما تصل درجة الحرارة إلى ما بعد الدرجة التي يحدث عندها تغير في التركيب الفيزيائي للمادة (T_g) (درجة التحول الزجاجي) وتعتمد قيمة (T_g) على نوع الراتنجات. وفى أغلب الأحيان تتراوح درجة حرارة التغير بين (٦٠ إلى ٨٢ درجة مئوية) . أما بالنسبة للبوليمرات المسلحة بالألياف فإنها تتصرف حراريا بصورة أفضل من البوليمرات وحدها نظرا لوجود

الالياف. ففي حالة ارتفاع درجات الحرارة فهي تستمر في تحمل بعض الأحمال في الاتجاه الطولي حتى تصل إلى الدرجة الحرجة للألياف(T_g) . و يحدث هذا عند درجـــــــة حرارة (١٠٠٠ درجة مئوية) لألياف الزجاج و(١٧٥ درجة مئوية) لألياف الأراميد و تتحمل ألياف الكربون درجة حرارة تزيد على (٢٧٥ درجة مئوية).

يعتبر التماسك بين الألياف وسطح الخرسانة من الأمور الهامة التي يجب الاهتمام بها وذلك في الأحوال التي تعتمد على التماسك بين الخرسانة و رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف . وفى درجات الحرارة المرتفعة والتي تصل إلى درجات الحـــرارة التي بعدها يحدث التغير في التركيب الجزيئى للمادة (T_g) ، تقل بصورة ملحوظة الخصائص الميكانيكية للبوليمرات المستخدمة ، وبعدها تفقد البوليمرات خصائصها لنقل الإجهادات المؤثرة من الخرسانة إلى الألياف المستخدمة.

٢-٣-٢-٣ الخواص الميكانيكية لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف

٢-٣-٢-٣-١ عـــام

- يتعرض هذا الجزء للخواص الميكانيكية لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف تحت تأثير قوى التحميل قصيرة المدى, ولا يشمل تأثير الأحمال الميكانيكية المستمرة: مثل الزحف والكلال, أو تأثير الرطوبة والحرارة والمحاليل الحمضية والقلوية والملحية، حيث، تعرض تلك التأثيرات تفصيليا في الباب الثالث من هذا الكود والخاص بالتحمل مع الزمن للبوليمرات المسلحة بالألياف.
- يجب الرجوع إلي مورد أو مصنع النظام للحصول على الخواص الخاصة بالرقائق الجاهزة ثم يتم إجراء الاختبارات المعملية اللازمة كشرط لقبول الرقائق الجاهزة الموردة . أما الرقائق المطبقة بالموقع فيتم أخذ عينات منها للاختبار.
- الخواص الميكانيكية للرقائق وكذلك مكوناتها يتم تحديدها من خلال إجراء الاختبارات القياسية المبينة بملحق الاختبارات بهذا الكود على العينات الموردة .

- تعين الخواص الفيزيائية والميكانيكية للرقيقة معمليا عن طريق إجراء الاختبارات القياسية المذكورة تفصيليا بملحق الاختبارات بالكود. كما أنه قد يلزم في بعض التطبيقات إجراء اختبارات الديمومة (تحمل العوامل الخارجية مع الزمن) لتحديد مدي تأثرها و سلوكها تحت تأثير العوامل المذكورة في الباب الثالث من هذا الكود و الخاص بتحمل البوليمرات المسلحة بالألياف مع الزمن.

- يتم إقرار الخواص الميكانيكية للرقائق على أساس المساحة الخالصة للألياف خاصة في حالة الأنظمة المطبقة بالموقع نظرا للدور الرئيسي للألياف في تحمل الأحمال, أو على أساس المساحة الكلية لقطاع الرقيقة بما في ذلك الألياف والراتنج, وذلك في حالة الرقائق الجاهزة سابقة المعالجة.

- يوضح الجدول (٢-٥) قيم للخواص الميكانيكية الاسترشادية لبعض المنتجات المتوفرة تجاريا من رقائق البوليمر المسلح بألياف الزجاج والكربون والأرميد بنسبة تسليح ٥٠% بالحجم من حيث مقاومته للشد والقص ومعاير المرونه ونسبه بواسون لتعطي قيم استرشادية للخواص الميكانيكية كما يعطي الجدول (٢-٦) القيم القصوى لمقاومة الشد لبعض الأنظمة الأخرى من رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف محسوبة لوحدة عرض الرقيقة أو النسيج.

جدول (٢-٥): الخواص الميكانيكية الاسترشادية لبعض المنتجات المتوفرة تجارياً لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف

نوع الألياف/البوليمر	زجاج-E / فينيل استر	كربون/ ايبوكسي	أراميد /ايبوكسي
مقاومة الشد في الاتجاه الطولي (ن/مم٢)	٦١٠	١٤٤٨	١٤٠٠
مقاومة الشد في الاتجاه العرضي (ن/مم٢)	٤٩	٥٢	١٢
مقاومة القص (ن/مم٢)	١٦	٩٣	٣٤
معاير المرونة في الاتجاه الطولي (كن/مم٢)	٥٤.	١٨١	٧٦
معاير المرونة في الاتجاه العرضي (كن/مم٢)	١٤	١٠	٦
معاير المرونة للقص (كن/مم٢)	٥	٧	٢
نسبة بواسون(الانفعال العرضي/الطولي)	٠,٢٥	٠,٣٠	٠,٣٤

- يمكن تعيين الخواص الميكانيكية للرقائق باستنتاجها من المعادلات الهندسية والقوانين الخاصة بالرقائق من واقع أبعاد وخصائص ونسب مكوناتها من الألياف والبوليمر, وتعتبر هذه القيم تقديرية حيث أنها تحسب على أساس افتراضات مثالية لانتظام الأبعاد والخواص والتماسك التام بين الرقائق وبين الألياف والراتنجات. وتؤخذ فقط القيم الفعلية المحققة من الاختبارات. فيمكن استنتاج الخواص الميكانيكية لمركبات البوليمر المسلح بالألياف باستخدام المعادلات الآتية وذلك للاسترشاد فقط اخذا فى الاعتبار المقاومة القصوى للالياف والايبوكسى :

$$E = E_f V_f + E_m V_m \qquad (2\text{-}1)$$

$$f = f_f V_f + f_m V_m \qquad (2\text{-}2)$$

حيث :

E = معاير المرونة للمادة المركبة

f_f = مقاومة الألياف

f_m = مقاومة المادة الراتنجية المالئة

E_f = معاير المرونة للألياف

E_m = معاير المرونة للمادة الراتنجية

V_f = نسبة الألياف بالحجم إلى الحجم الكلي للمركب

V_m = نسبة المادة الراتنجية بالحجم إلى الحجم الكلي للمركب

٢-٣-٢-٣-٢ السلوك في الشد

- يتميز سلوك رقائق البوليمر المسلح بألياف من نفس النوع عند تحميلها بحمل شد مباشر بعلاقة خطية مرنة بين الحمل والاستطالة حتى الانهيار الذي يحدث فجأة, ولايسبق الانهيار حدوث أي خضوع أو استطالة غير مرنة.
- لتعيين مقاومة الشد لرقائق البوليمر المسلح بالألياف يجري اختبار الشد القياسي الموضح بملحق الاختبارات، ويراعي استخدام كلابات تثبيت (Testing Grips) خاصة لتلافي حدوث تركيز للاجهادات عند نقاط التثبيت والذي يمكن أن يسبب كسر العينة قبل الوصول للحمل الأقصى.

- تقدر قيمة مقاومة الشد لرقائق البوليمر المسلح بالألياف بأنها أقصى إجهاد على المساحة الخالصة للألياف أو على أساس المساحة الكلية لقطاع الرقيقة المعرض للاختبار مع الأخذ فى الاعتبار فى كليهما نسبة الألياف بالحجم إلى الحجم الكلي للمركب , ويؤخذ المتوسط الحسابي لمقاومة الشد القصوى للعينات المختبرة مطروحا منه ثلاثة أمثال الانحراف المعياري, وكذلك يتحدد الانفعال الأقصى باتباع نفس الطريقة.
- تؤخذ قيمة مقاومة الشد للرقائق السابقة المعالجة من البوليمر المسلح بالألياف من بيانات وتقارير المصنع و/ أو المورد و من واقع نتائج اختبار الشد كما سبق ويجب أن يحتوي التقرير على وصف نوع وطريقة الاختبار وعدد العينات والقيمة المتوسطة والانحراف المعيارى.
- تعتمد مقاومة الشد لرقائق البوليمر المسلح بالألياف على خواص كل من الألياف التي تمثل المكون الرئيسي الحامل وكذلك شكل وأبعاد الألياف واتجاهاتها ونسبتها إلى البوليمر ودرجة تماسكها معه ، كما تعتمد أيضا على أسلوب التصنيع والمعالجة وضبط الجودة للتصنيع.
- لإيضاح مدى تأثر مقاومة الرقائق باتجاهات الألياف بالنسبة لاتجاه التحميل, يبين الجدول (٢-٧) بعض القيم الاسترشادية لمقاومة الشد ومعاير المرونة ونسبة الاستطالة القصوى لرقائق من البوليمر المسلح بالألياف بنسبة تتراوح بين ٤٠-٦٠ % بالحجم, سمك الرقيقة الواحدة ٢,٥ مم ، حيث الزوايا (صفر) تعني أن جميع الألياف بالرقائق موضوعة طوليا في ذات اتجاه (موازية) حمل الشد ، و (صفر / ٩٠) تعني أن الألياف موزعة بالتساوي طوليا وعرضيا (عموديا) على اتجاه التحميل ، و(-٤٥ / +٤٥) تعني أن الألياف موزعة بالتساوى في اتجاهين عموديين يميلان بزاوية مقدارها ٤٥ ° على اتجاه التحميل.

جدول (٢-٦): مقاومة الشد القصوى الاسترشادية لبعض المنتجات المتوفرة تجاريا من رقائق البوليمر المسلح بالألياف

وصف النظام الألياف / البوليمر المشبع	شكل المنتج	الكثافة $\times ١٠^{-٣}$ (جم / مم^{٢})	المقاومة القصوى (كيلونيوتن / م عرض)
كربون عادي / ايبوكسي	رقائق أحادية الاتجاه	٠,٢ ٠,٤	٥٠٠ ٣١٥
كربون عالي المقاومة / ايبوكسي	رقائق أحادية الاتجاه	٠,٢٣ ٠,٣ ٠,٦٢	٦٢٠ ٧٠٠ ٩٦٠
كربون عالي معاير المرونة / ايبوكسي	رقائق أحادية الاتجاه	٠,٣	٦٠٠
كربون عادي / ايبوكسي	نسيج متعادل في الاتجاهين	٠,٣	١٨٠
زجاج -E / ايبوكسي	رقائق أحادية الاتجاه	٠,٩ ٠,٣٥	٧٢٠ ٢٣٠
زجاج -E / ايبوكسي	نسيج متعادل في الاتجاهين	٠,٣	١٢٠
أراميد / ايبوكسي	رقائق أحادية الاتجاه	٠,٤٢	٧٠٠
كربون عالي المقاومة / ايبوكسي	رقائق أحادية الاتجاه سابقة المعالجة	٢,٣٨	٣٣٠٠

جدول (٢-٧): الخواص الميكانيكية الإسترشادية لبعض أنظمة رقائق البوليمر المسلح بالألياف وتغيرها مع اتجاه الألياف (حيث محتوى الألياف ٤٠-٦٠ % من حجم الرقيقة)

نوع الألياف/ البوليمر	الزاوية	مقاومة الشد القصوى ن/مم^2		معايير المرونة في الشد كن/مم^2		نسبة الاستطالة %
		الاتجاه الطولي	الاتجاه العرضي	الاتجاه الطولي	الاتجاه العرضي	
زجاج/ ايبوكسي	صفر	٥٢٠-١٤٠٠	٣٥-٧٠	٢٠-٤٠	٢٠-٣٤	١,٥-٣,٠
	٠/ ٩٠	٥٢٠-١٠٢٠	٥٢٠-١٠٢٠	١٥-٣٥	١٤-٣٥	٢,٠-٣,٠
	-٤٥/ +٤٥	١٨٠-٢٨٠	١٨٠-٢٨٠	١٥-٢٠	١٤-٢٠	٢,٥-٣,٥
كربون عالي المقاومة/ ايبوكسي	صفر	١٠٢٠-٢٠٨٠	٣٥-٧٠	١٠٠-١٤٠	١٠٠-١٤٥	١,٠-١,٥
	٠ / ٩٠	٧٠٠-١٠٢٠	٧٠٠-١٠٢٠	٥٥-٧٥	٥٥-٧٥	١,٠-١,٥
	-٤٥/ +٤٥	١٨٠-٢٨٠	١٨٠-٢٨٠	١٥-٣٠	١٤-٢٨	١,٥-٢,٥
أراميد عالي الخواص /ايبوكسي	صفر	٧٠٠-١٧٢٠	٣٥-٧٠	٤٨-٦٨	٤٨-٦٨	٢,٠-٣,٠
	٠ / ٩٠	٢٨٠-٥٥٠	٢٨٠-٥٥٠	٢٨-٣٤	٢٨-٣٥	٢,٠-٣,٠
	-٤٥/ +٤٥	١٤٠-٢١٠	١٤٠-٢١٠	٧-١٤	٧-١٤	٢,٠-٣,٠

٢-٣-٢-٣-٣ السلوك في الضغط

- تستخدم أنظمة البوليمر المسلح بالألياف في تحمل أحمال الشد في المقام الرئيسي ولا ينصح بأن تعرض لتحمل الضغط المحوري في الاتجاه الطولي لها وذلك لتفادي احتمالات انفصال الرقائق عن السطح.
- تعتمد مقاومة رقائق البوليمر المسلح بالألياف للضغط على نوع الألياف ونسبتها ونوع البوليمر. ويتوقع حدوث الانهيار بسبب الانبعاج الموضعي للألياف (Fiber-micro-buckling) أو انهيار تحت تأثير القص أو اجهادات الشد في الاتجاه المستعرض.
- تبين نتائج اختبارات الضغط التي تم إجراؤها في دراسات سابقة على عدد من عينات رقائق البوليمر المسلح بالألياف أن مقاومة الضغط لها أقل من مقاومة الشد, فتمثل مقاومة الضغط للبوليمرات المسلحة بألياف الزجاج والكربون والأراميد ٥٥%, ٧٨%, ٢٠% من قيم مقاومة الشد لهذه المواد على التوالى .

- وتبين نتائج الاختبارات للرقائق المسلحة الألياف المستمرة أحادية الاتجاه أن مقاومة الضغط في الاتجاه العمودي على الألياف أعلى من مقاومة الضغط في الاتجاه الموازي للألياف. وذلك لأن مقاومة البوليمر للضغط أعلى من مقاومته للشد, وكذلك بسبب مساهمة الألياف في تحمل الاجهادات. يستثنى من ذلك حالة التسليح بألياف الأراميد التي تتعرض للانبعاج عند مستوى تحميل منخفض بالضغط.
- كما تبين نتائج اختبارات الضغط التي أجريت في بعض الدراسات المعملية السابقة أن معايير المرونة في الضغط عادة أقل من معايير المرونة في الشد,
- للحصول على قيم مقاومة الضغط لرقائق البوليمر المسلح بالألياف يرجع إلى بيانات المصنع, ويجب أن يبين المصنع أسلوب الاختبار الذي اتبعه. أو يمكن إجراء الاختبار كما هو موضح بملحق الاختبارات.
- يبين الجدول (٢-٧) قيم استرشادية لخواص الإجهاد الأقصى ومعايير المرونة فى الشد لبعض رقائق البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج والكربون والأرميد المستمرة والمتوازية في اتجاه الألياف وفي الاتجاه العمودي عليه لنسبة ألياف ٤٠-٦٠% بالحجم.

٢-٣-٢-٣-٤ مقاومة الانحناء

- عند تعرض رقائق البوليمر المسلح بالألياف للانحناء فإنها تتعرض إلى اجهادات شد وضغط ناتجة عن الانحناء. ويمكن استنتاج قيم هذه الاجهادات من التحليل الإنشائي للقطاع .
- تعتمد مقاومة الانحناء للرقائق على نفس العوامل المؤثرة في مقاومتها للشد والضغط مثل نوع الألياف والبوليمر والنسبة الحجمية لهما , وكذلك على اتجاهات الألياف بالنسبة لاتجاه التحميل وأبعاد الطبقات وتتابعها (ترتيب رص الطبقات ذات اتجاهات الألياف المختلفة) وكلما زاد التماسك التام بين الطبقات زادت مقاومتها للانزلاق النسبي بينها.

٢-٣-٢-٣-٥ مقاومة القص

- مقاومة رقائق البوليمر المسلح بألياف متوازية للقص المؤثر في اتجاه عمودي على الألياف تكون ضعيفة لاعتمادها تماما على مقاومة البوليمر وحده لقوى القص نظرا لضعف مقاومة الألياف لقوى عمودية عليها. ويمكن تحسين مقاومة القص عن طريق وضع بعض الألياف مائلة بزاوية ٤٥ ° على اتجاه قوى القص.

- تتمتع الرقيقة بأقصى مقاومة للقص بوضع جميع الألياف بها مائلة بزاوية ٤٥° على اتجاه قوى القص ، وإن كان ذلك يضعف من مقاومة الرقيقة لقوى الشد المحوري والانحناء ، وهذا يستلزم قيام المصمم باختيار عدد واتجاهات ألياف الرقائق المناسبة لكل حالة.
- تعين مقاومة القص لرقيقة البوليمر المسلح بالألياف عن طريق الاختبار المتخصص وذلك بالرجوع إلى ملحق الاختبارات .

٢-٣-٢-٣-٦ مقاومة التماسك (مقاومة انفصال الرقائق)

- يمكن أن يحدث الانفصال بين الطبقات (الرقائق) في مستوى موازي لمستوى الرقيقة, أو بين الرقيقة والسطح الملصوق عليه, وذلك بسبب ضعف الترابط والتماسك بين الطبقات.
- تعتمد قوة التماسك بصورة رئيسية على خواص البوليمرات والنسبة الحجمية لها, فتزيد بزيادة ممطولية البوليمر ، كما تعتمد على حالة السطح بين الألياف والبوليمر.
- تقاس قوة التماسك بين الطبقات أو بين الطبقة والسطح الملصوق عليه بواسطة اختبار الاقتلاع , Pull off test المبين بملحق الاختبارات.
- لزيادة التماسك بين الرقائق يجب استخدام راتنجات لاصقة ذات خواص التصاق عالية والاهتمام بإتقان جميع خطوات عملية تثبيت الرقائق ومصنعياتها.
- يمكن كذلك الحد من قابلية انفصال الطبقات عن طريق وضع الألياف عمودية على سمك الرقيقة إذا أمكن ذلك ، مما يحقق نوع من الربط بين الطبقات تمنع أو تقلل من احتمال انفصالها. كما يمكن أيضا تنفيذ الروابط بين الطبقات (الرقائق) بعضها البعض وبينها وبين سطح المنشأ بأساليب متعددة مثل الخياطة (sewing) ، التدبيس (stitching) ، التعشيق (anchoring), أو غيرها ليحدث الربط الميكانيكي بدلا من الاعتماد على قوة الالتصاق للراتنجات بمفردها.

٢-٣-٣ قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف

٢-٣-٣-١ مجالات الاستخدام والتطبيقات

تتميز قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف بمقاومتها العالية للصدأ مما يجعلها مناسبة كتسليح للمنشآت الواقعة في البيئة ذات الهجومية العالية مثل حواجز البحر و بعض منشآت

المواني ، أرصفه الكباري و المنشآت المعرضة لإذابة الثلج بالأملاح ، (الأرصفة التي يذاب الثلج عليها بالأملاح) .

كذلك فان خاصيةّ عدم المغنطة للبوليمرات المسلحة بالألياف يجعلها مناسبة في حالة المنشات الحاملة لوحدات لها مجال مغناطيسي أو أي معدات حساسة للمجالات الكهرومغناطيسية. فيفضل استخدام هذه المادة في المنشآت التي يمكن أن تستفيد من تلك الخواص للـــبوليمرات المسلحة بالألياف مثل عدم الصدأ وعدم الموصلية كسلوك لهذه المادة .

يجب أن يؤخذ في الاعتبار الخصائص المميزة لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف عند أستخدامها كتسليح من حيث مناسبتها لظروف تطبيق محددة. يوضح جدول (٢-٨) بعض العيوب والمميزات لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف المستخدمة كتسليح للمنشآت الخرسانية.

ولا يجب أن يعتمد على البوليمرات المسلحة بالألياف كتسليح لمقاومة الضغط حيث توضح البيانات المتاحة أن معاير المرونة في الضغط لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف أقل من معاير المرونة في الشد. لذلك فإنه لا يجب استخدام قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف كتسليح في الأعمدة أو كتسليح ضغط في العناصر المعرضة للانحناء وهذا الموضوع يحتاج إلى مزيد من الأبحاث.

٢-٣-٣-٢ قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف المتاحة تجارياً

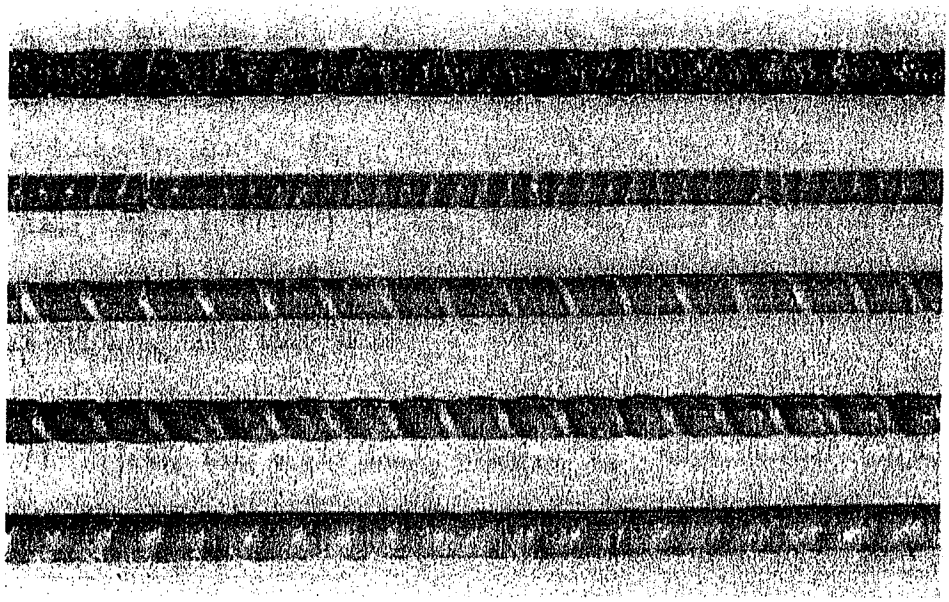
الأنواع المتاحة تجاريا من البوليمرات المسلحة بالألياف لاستخدامها كتسليح للخرسانة تصنع من ألياف الأراميد أو ألياف الكربون أو ألياف الزجاج المغمورة في مادة الراتنج. وتنتج على شكل شبكة جاهزة أو قضبان أو نسيج أو حبال مجدولة . وتختلف القضبان من حيث شكل المقطع (مربعة – مستديرة – مصمتة ومفرغة) وكذلك حالة السطح (الألياف الملفوفة خارجيا – التغطية بالرمل – النتوءات المنفصلة). يوضح الشكل رقم (٢-١) الأشكال الأكثر شيوعا من قضبان التسليح من البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج.

جدول (٢-٨) : مميزات وعيوب التسليح بقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف

مميزات قضبان البوليمرات المسلحة بالالياف	عيوب قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف
- مقاومة عالية في الاتجاه الطولي (تختلف مع اتجاه وإشارة التحميل بالنسبة للألياف) - مقاومة للصدأ والتآكل (غير معتمدة على سمك التغطية) - غير مغناطيسية (لا تقبل المغنطة) - تحمل عالي للكلال (تبعا لنوع ألياف التسليح) - خفيف الوزن(حوالي ١/٤ إلى ١/٥كثافة الصلب) - أقل موصلية للحرارة والكهرباء (ألياف الزجاج والأراميد)	- مقاومة ضعيفة في الاتجاه العرضي (تختلف مع اتجاه وإشارة التحميل بالنسبة للألياف) - لا يحدث خضوع قبل الانهيار القصفى - معاير مرونة منخفض (يختلف تبعا لنوع ألياف التسليح) - قابلية التأثر والتلف للألياف والراتنج البوليمرى عند التعرض للأشعة فوق البنفسجية - حدوث انخفاض في متانة ألياف الزجاج مع الزمن - حدوث انخفاض في متانة بعض ألياف الزجاج والأراميد في الوسط القلوي مع الزمن - ارتفاع معامل التمدد الحراري في الاتجاه العمودي على الألياف بالنسبة للخرسانة - التأثر بالحريق يعتمد على نوع البوليمر ووجود الغطاء الخرساني وسمكه

٢-٣-٣-٢-١ مقاومة الشد ومعاير المرونة لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف

تصنع قضبان التسليح من البوليمرات المسلحة بالألياف بأقطار مختلفة وتكون مقاومة الشد على أساس أقل مقاومة موجودة (٤٠٠ ن/مم^{٢}). و قد تنتج بمقاومة شد أعلى كما هو موضح بالجدول (٢-٩) بصفة استرشادية



شكل (٢-١) أشكال قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف الأكثر شيوعاً

جدول (٢-٩) : مقاومة الشد لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف

		مقاومة الشد
F60	:	تناظر ٤٠٠ ن/مم^2	$F^* f_u \geq 400$ Mpa
F70	:	تناظر ٥٠٠ ن/مم^2	$F^* f_u \geq 500$ Mpa
F300	:	تناظر ٢٠٠٠ ن/مم^2	$F^* f_u \geq 2000$ Mp

لأغراض التصميم يستطيع المهندس اختيار أي مقاومة لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف بين F60 و F300 بدون الحاجة لاختيار نوع تجارى معين من قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف.

يتم تحديد رتبة معايير المرونة من خلال خواص المنتج لتحديد رتبه المقاومة ويجب أن يحدد أصغر معايير مرونة لكل نوع من أنواع الألياف. يستطيع المهندس المصمم أن يختار أصغر رتبه لمعايير المرونة والتي تكون مناظره لنوع الألياف المستخدم في التسليح.

في حالة قيام المنتج بإنتاج قضبان من البوليمرات المسلحة بالألياف ذات معاير مرونة اكبر من القيمة الدنيا المحددة فسوف يؤدى ذلك إلى إنتاج قضبان أعلى رتبه وبالتالي يتم التوفير في كمية التسليح المستخدمة من البوليمرات المسلحة بالألياف في بعض التطبيقات.

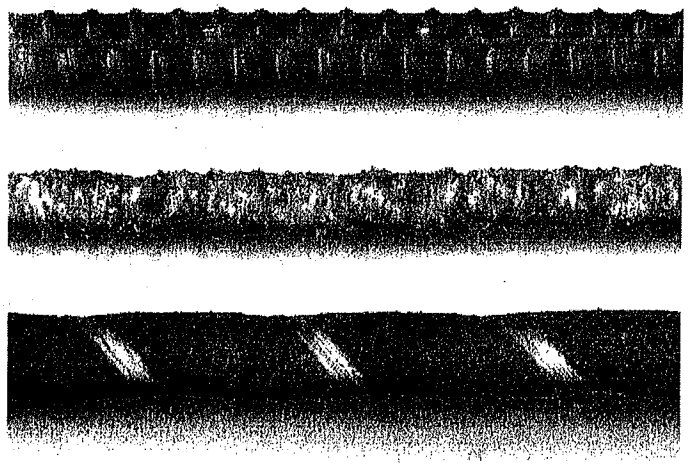
يلخص جدول رقم (٢-١٠) رتب معاير المرونة الدنيا الاسترشادية للأنواع المختلفة من قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف. يجب قياس قيمة انفعال الكسر لكل قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف من خلال اختبار الشد.

جدول (٢-١٠): أدنى معاير مرونه لقضبان التسليح من أنواع الألياف المختلفة (إسترشادى)

نوع القضبان	رتبه معاير المرونة × ١٠ ^{٣} كن / مم^{٢}
قضبان البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج GFRP	40
قضبان البوليمرات المسلحة بألياف الأراميد AFRP	70
قضبان البوليمرات المسلحة بألياف الكربون CFRP	110

٢-٣-٣-٢-٢ شكل السطح

تنتج قضبان التسليح من البوليمرات المسلحة بالألياف من خلال عمليات تصنيع متعددة وتختلف حالة السطح طبقا لطريقة التصنيع. وتكتسب الخواص الطبيعية لسطح قضيب البوليمرات المسلحة بالألياف أهمية خاصة وذلك لدورها في ميكانيكية التماسك مع الخرسانة. يوضح شكل (٢-٢) ثلاثة أنواع لحالة التشكلات بسطح قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف.



شكل (٢-٢) نماذج تشكيلات السطح لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف المتاحة تجاريا
أ) المضلع ، ب) المغطى بالرمل ، حـ) المجدولة ومغطى بالرمل

٢-٣-٣-٢-٣ مقاسات القضبان

القطر الاسمى لقضيب البوليمر المسلح بالألياف ذو التنؤات يكون مكافئ لنفس القضيب الأملس المستدير الذي له نفس المساحة وفى حالة القضيب غير التقليدي مثل القضبان غير الدائرية المقطع أو غير المصمتة (مثل المستطيل المقطع أو المفرغ) فان القطر الأسمى في هذه الحالة يكون مكافئا للقضيب المستدير المصمت الذي له نفس المساحة ويجب أيضا أن يعطى أقصى بعد خارجي للقضيب بالإضافة إلى القطر الأسمى المكافئ.

٢-٣-٣-٢-٤ تمييز القضبان

من الضروري مع توافر الرتب و المقاسات والأنواع المختلفة من قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف المتاحة أن تزود هذه القضبان ببعض الوسائل ليسهل تمييزها. يجب على كل منتجي القضبان وضع بطاقة تمييز القضبان على الحاوية أو الحزمة (الربطة) من القضبان أو الاثنين معا مدون عليها المعلومات الآتية:

أ - رمز تمييز المنتج

ب - حرف ليوضح نوع الألياف (بمعنى ج للزجاج ، ك للكربون ، أ للأراميد أو هـ للنظام المختلط) ملحق به الرقم المناظر للمقاس الأسمى للقضيب المسمى (المميز) طبقا لمواصفات بلد المنشأ.

جـ- علامة تميز رتبه المقاومة للشد

د - علامة تميز رتبه معاير المرونة للقضيب

هـ- وفى حالة القضبان غير التقليدية (مقطع القضيب غير مصمت أو منتظم الإستداره) توضع علامة تميز القطر الخارجي أو أقصى بعد خارجي .

و - رتبه التماسك يجب أن تضاف عندما يكون لها تصنيف

مثال لتوضيح رموز التمييز

XXX-G- # -4- F 60 E 6.0

حيث

G # 4 : قضيب البوليمرات المسلحة بالألياف من ألياف الزجاج رقم ١٣ (القطر الأسمى ١٢,٧ مم)

F 60 : رتبه المقاومة على الأقل ٤٠٠ ن/مم^{٢}

E6.0 : رتبه معاير المرونة على الأقل ٤٠ ن/مم^{٢}

فى حالة القضبان ذات الاشكال غير التقليدية أو المفرغة ، يجب أن تضاف تعريفات أكثر لرموز التمييز كما هو موضح بعد

XXX G # 4 F 100 E6.0 0.16

حيث ٠,١٦ : أقصى بعد خارجى.

يجب أن تستخدم العلامات فى موقع الإنشاء للتحقق من أن نوع ورتبه ومقاس القضبان المحددة قد استخدمت.

٢-٣-٣-٢-٥ القضبان المستقيمة

تقطع القضبان بالطول المطلوب من الأطوال الموجودة فى ورشة التشغيل أو موقع التصنيع.

٢-٣-٣-٢-٦ القضبان المثنية

يجب أن ينفذ ثنى قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف المصنوعة من راتنج الثرموثت قبل التصلد الكامل للراتنج. حيث يستحيل ثنى هذه القضبان أو تعديل شكلها بعد حدوث التصلد

نتيجة الجساءه الطبيعية التى تكتسبها القضبان بعد التصلد . وكذلك فإن تسخين القضبان غير مسموح به لانه يؤدى إلي تفكك او تحلل الراتنج وبناء عليه فقدان مقاومة البوليمرات المسلحة بالألياف .

تختلف مقاومة القضبان المثنية بدرجة كبيره عن القضبان المستقيمة لنفس النوع من الألياف وهى تعتمد على طريقة الثنى ونوع الراتنج المستخدم. لذلك فإن مقاومة الجزء المثني عموماً يجب أن تخفض إعتماداً على الأختبارات المناسبة التى تجرى طبقاً لتوصيات طرق الأختبار (ملحق الأختبارات). يمكن أن تثني القضبان التى لم يحدث تصلد كامل للراتنج بها ولكن طبقاً لمواصفات المصنع مع حدوث ثنى تدريجى متجنبا الزوايا الحاده التى تتلف الألياف.

٢-٣-٣-٣ الخواص الطبيعية لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف

٢-٣-٣-٣-١ الكثافة

تتراوح كثافة القضبان من البوليمرات المسلحة بالألياف من ١,٢٠ إلى ٢,١ × ١٠$^{-٣}$ جم/مم^{٣} وهى تعادل من ١/٦ إلى ١/٤ كثافة قضبان الصلب كما هو موضح بالجدول (٢-١١) . وهذا التخفيض في الوزن يؤدى إلى تكاليف نقل أقل وكذلك سهولة مناولة القضبان في موقع العمل.

جدول (٢-١١) كثافة قضبان التسليح المختلفة x ١٠ $^{-٣}$ جم/مم^{٣} (استرشادي)

الصلب	البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج	البوليمرات المسلحة بألياف الكربون	البوليمرات المسلحة بألياف الأرميد
٧,٩٠	١,٢٥ – ٢,١٠	١,٥٠ – ١,٦٠	١,٢٠ – ١,٤٠

٢-٣-٣-٣-٢ معامل التمدد الحرارى

تتغير معاملات التمدد الحراري للقضبان من البوليمرات المسلحة بالألياف بالنسبة لكل من الاتجاهين الطولي والعرضى طبقاً لنوع الألياف ، ونوع الراتنج ونسبة تواجد الألياف بالحجم. ولذلك فإن معامل التمدد الحراري في الاتجاه الطولي يتأثر غالباً بخواص الألياف ، بينما يتأثر معامل التمدد الحراري في الاتجاه العرضي بخواص الراتنج.

ويوضح جدول (٢-١٢) معامل التمدد الحراري الطولي والعرضي لكل من القضبان من البوليمر المسلح بالألياف مقارنة بالقضبان الصلب. ويجب ملاحظة أن القيمة السالبة لمعامل التمدد الحراري تدل على أن المادة تنكمش بزيادة درجة الحرارة وتتمدد عندما تقل درجة الحرارة. ويمكن الاسترشاد بالقيم الخاصة بالخرسانة حيث أن لها معامـــــل تمـــدد حراري يساوى (٧-١١×١٠$^{-٦}$ /م^{o}) ودائماً يفترض أنها ذات خواص موحدة في جميع الاتجاهات (Isotropic)

٢-٣-٣-٣-٣ تأثير درجات الحرارة العالية

يوصى بعدم استخدام قضبان التسليح من البوليمر المسلح بالألياف في المنشآت التي تتطلب مقاومتها للحريق بصورة أساسية وذلك حفاظاً على سلامة المنشأ. وحيث أن قضبان التسليح من البوليمر المسلح بالألياف تكون مدفونة في الخرسانة فإنها لا يمكن أن تحترق لعدم وجود الأكسوجين ، ولكن البوليمر سوف يتأثر بدرجات الحرارة العالية ويبدأ قوامه في الانصهار. وتعرف درجة الحرارة التي يبدأ عندها التغير في التركيب الفيزيائي للبوليمر بـــ (T_g) (Glass-Transition-temp.). وبعد الوصول إلى درجة الحرارة (T_g) فإن معاير المرونة للبوليمر يقل بدرجة ملحوظة نتيجة للتغيرات التي تحدث في تركيبه الجزيئى . وتعتمد قيمة (T_g) على نوع الراتنج وتتراوح قيمتها من (٦٠ إلى ٨٢ م^{o}) في المواد المركبة حيث تكون الألياف ذات خواص حرارية أعلى من الراتنج ويمكن أن تستمر في حمل بعض الأحمال في الاتجاه الطولي في حين أن خواص الشد للمركب كله تقل كنتيجة للنقص في قوى التماسك المنقولة بين الألياف والراتنج. فى حالة الخرسانة المسلحة بقضبان من البوليمر المسلح بالألياف، فإن خواص البوليمر عند سطح القضيب تكون أساسية للحفاظ على التماسك بين القضبان والخرسانة . تقل الخواص الميكانيكية للبوليمر بدرجة ملحوظة عند درجة حرارة قريبة جداً من (T_g)، ويكون البوليمر غير قادر على نقل الإجهادات من الخرسانة إلى الألياف. وقد أجريت دراسة واحدة على قضبان لها (T_g) من (٦٠ – ١٢٤ م^{o}) وقد أوضحت هذه الدراسة نقص في مقاومة التماسك باختبار الاقتلاع يتراوح من ٢٠ – ٤٠ % عند درجة حرارة حوالي ١٠٠ م^{o} ، ويبلغ هذا النقص من ٨٠ – ٩٠ % عند درجة حرارة ٢٠٠ م^{o}. وفى دراسة أخرى عن قضبان التسليح من البوليمرات المسلحة بالألياف أوضحت النتائج انهيار التسليح في الشد عندما تتراوح درجة حرارة قضبان التسليح من ٢٥٠ إلى ٣٥٠ م^{o}.

ومثل هذا السلوك ينتج عنه زيادة في عرض الشروخ الموضعية وكذلك سهم الانحناء . ويمكن تجنب انهيار المنشأ إذا كانت الحرارة العالية ليست عند المناطق النهائية من قضبان البوليمر المسلح بالألياف مما يسمح باستمرار التماسك .

ويحدث انهيار المنشأ عندما يتم فقد التماسك نتيجة لأن قوام البوليمر قد أصبح ليناً أو إذا ارتفعت درجة الحرارة فوق الدرجة المسموح بها للألياف نفسها ، وفى هذه الحالة يظهر الانهيار عند درجة حرارة حوالي ٩٨٠ م° بالنسبة لألياف الزجاج و ١٧٥ م° لألياف الأراميد أما ألياف الكربون فهي قادرة على تحمل درجة حرارة حتى ١٦٠٠ م°.

وقد وجد أن سلوك ومدى تحمل المنشآت الخرسانية المسلحة بقضبان من البوليمر المسلح بالألياف والمعرضة للحريق أو درجات حرارة عالية ما زالت تحت الدراسة .

جدول (٢-١٢): معامل التمدد الحرارى لقضبان التسليح المختلفة * (إسترشادى)

الإتجاه	معامل التمدد الحرارى × ١٠$^{-٦}$/ م°			
	الصلب	البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج	البوليمرات المسلحة بألياف الكربون	البوليمرات المسلحة بألياف الأرميد
الطولي α_L	١١,٧	٦ إلى ١٠	- ٩إلى صفر	- ٦ إلى - ٢
العرض α_T	١١,٧	٢١ إلى ٢٣	٧٤,٠ إلى ١٠٤,٠	٦٠ إلى ٨٠

* هذه القيم عندما تكون نسبة الألياف بالحجم تتراوح من ٥٠ % إلى ٧٠% من الحجم

٢-٣-٣-٤ الخواص الميكانيكية لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف

تختلف الخواص الميكانيكية لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف بدرجة كبيرة من منتج لآخر. حيث توجد عده عوامل لها تأثير كبير على الخواص الفيزيائية والميكانيكية لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف مثل نسبة محتوى الألياف الحجمى، نـوع الأليـاف، نوع الراتنج، توجيه الألياف، الأبعاد (Dimensional-Effect)، ضبط الجودة وطريقة التصنيع. ويجب أن تطابق هذه الخواص المواصفات القياسية المطبقة في بلد المنشأ. كما يعطى لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف علامة مميزة مع اختلاف الرتب طبقاً لخواصها الهندسية مثل مقاومة الشد ومعايير المرونة.

٢-٣-٣-٤-١ السلوك في الشد

- يتميز سلوك قضبان البوليمر المسلح بالألياف عند تحميلها بحمل شد بعلاقة خطية مرنة بين الحمل والاستطالة حتى الانهيار, ولا يسبق الانهيار حدوث أي خضوع أو استطالة غير مرنة بخلاف صلب التسليح.
- تعتمد مقاومة الشد لقضبان البوليمر المسلح بالألياف على خواص كل من الألياف التي تمثل المكون الرئيسي الحامل وكذلك شكل وأبعاد الألياف واتجاهاتها ونسبتها إلى البوليمر ودرجة تماسكها معه ، كما تعتمد أيضا على أسلوب التصنيع والمعالجة وضبط الجودة للتصنيع.
- يؤثر قطر قضيب البوليمر المسلح بالألياف على المقاومة للشد وذلك نتيجة عدم انتظام توزيع الاجهادات على قطاع القضيب حيث تزيد على المحيط الخارجي عنها في المنتصف(Shear Lag Effect) , ويزيد هذا التأثير خاصة بزيادة قطر القضيب, مما يخفض من مقاومة وكفاءة القضبان ذات الأقطار الكبيرة.
- تؤخذ قيمة مقاومة الشد لقضبان البوليمر المسلح بالألياف من واقع بيانات وتقارير المصنع/ المورد بأنها أقصى إجهاد على القضيب المعرض لاختبار الشد, ويؤخذ المتوسط الحسابي للعينات المختبرة مطروحا منه ثلاثة أمثال الإنحراف المعياري, وكذلك يتحدد الانفعال الأقصى بنفس الأسلوب.
- لتعيين مقاومة الشد لقضبان البوليمر المسلح بالألياف يجري اختبار الشد القياسي الموضح بملحق الاختبارات، ويراعي استخدام كلابات تثبيت (Testing Grips) خاصة لتلافي حدوث تركيز للاجهادات عند نقاط التثبيت والذي يمكن أن يسبب كسر العينة قبل الوصول للحمل الأقصى.
- الجدول (٢-١٣) يوضح قيم استرشادية لخواص قضبان البوليمر المسلح بألياف الزجاج والكربون والأراميد (نسبة الألياف حوالي ٥٠-٧٠% من الحجم) تحت تأثير الشد, مقارنة بصلب التسليح.

جدول (٢-١٣): الخواص الميكانيكية الإسترشادية لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف في الشد

نوع القضيب	إجهاد الخضوع ن/مم^2	مقاومة الشد القصوى ن/مم^2	معاير المرونة للشد كن/مم^2	معامل الانفعال %	الاستطالة القصوى %
الصلب	٢٧٦- ٥١٧	٤٨٣- ٦٩٠	٢٠٠	١,٤-٢,٥	٦-١٢
من ألياف الزجاج	--	٤٨٣- ١٦٠٠	٣٥- ٥٠	--	١,٢-٣,١
من ألياف الكربون	--	٦٠٠- ٣٦٩٠	١٢٠- ٥٨٠	--	٠,٥- ١,٧
من ألياف الأراميد	--	١٧٢٠- ٢٥٤٠	٤١- ١٢٥	--	١,٩- ٤,٤

٢-٣-٣-٤-٢ مقاومة الاجزاء المثنية

- تصنع القضبان غالبا من البوليمر الثيرموسيت المسلح بالألياف, فلا يمكن ثنيها بعد تمام التصلد. يستثنى من ذلك القضبان المصنعة من بوليمر الثيرموبلاست الذي يمكن إعادة تليينه بالحرارة أو الضغط أو كليهما بحيث يمكن تشكيله وثنيه. لهذا السبب يجب أن تشكل قضبان البوليمر المسلح بالألياف أثناء التصنيع وقبل تمام التصلد للبوليمر لتأخذ الزوايا والاستدارات المطلوبة.
- يحدث تخفيض في مقاومة الشد عند الزوايا والأجزاء المثنية بقيم تتراوح من ٤٠-٥٠% عن القيمة المناظرة للقضبان المستقيمة.
- لتعيين مقاومة الشد للأجزاء المثنية من قضبان البوليمر المسلح بالألياف يجري اختبار شد خاص موضح خطوات وأسلوب إجراؤه بملحق رقم (٢) الخاص بالاختبارات بهذا الكود.

٢-٣-٣-٤-٣ السلوك في الضغط

- تستخدم قضبان البوليمر المسلح بالألياف بحيث تتحمل أحمال الشد في المقام الرئيسي ولا يسمح بها لتحمل الضغط المحوري في الاتجاه الطولي لها ويجب أن تمتد رقائق المواد

المركبة إلى مناطق الضغط للتأكد من طول الرباط والتصاقة بالخرسانة علما بأن هذه الرقائق ذات مقاومة ضغط ضعيفة.

- تعتمد مقاومة قضبان البوليمر المسلح بالألياف للضغط على نوع الألياف ونسبتها ونوع البوليمر. ويتوقع حدوث الانهيار بسبب الانبعاج الموضعي للألياف (Fiber Micro Buckling) أو انهيار تحت تأثير القص أو اجهادات الشد في الاتجاه المستعرض.
- للحصول على قيم مقاومة الضغط لقضبان البوليمر المسلح بالألياف يرجع إلى بيانات المصنع, وذلك لعدم الاتفاق على الاختبارات القياسية المحددة لتعيين هذه الخاصية, ويجب أن يبين المصنع أسلوب الاختبار الذى اتبعه.
- توضح نتائج اختبارات الضغط التي تم إجراؤها في دراسات سابقة على عدد من العينات القصيرة لقضبان البوليمر المسلح بالألياف(نسبة الطول : القطر تتراوح بين ١: ١ إلى ٢: ١) أن مقاومة الضغط لها أقل من مقاومة الشد, فتمثل مقاومة الضغط للقضبان من البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج والكربون والأراميد ٥٥%, ٧٨%, ٢٠% من قيم مقاومة الشد لنفس هذه القضبان على التوالي . كذلك تبين نتائج اختبارات الضغط أن معايير المرونة في الضغط عادة أقل من معايير المرونة في الشد, ويمثل معايير المرونة في الضغط للبوليمرات المسلحة بألياف الزجاج والكربون والأراميد ٨٠%, ٨٥%, ١٠٠% مقارنة بقيم معايير المرونة في الشد لنفس هذه المنتجات.

٢-٣-٣-٤-٤ السلوك في القص

- المواد المركبة من البوليمر المسلح بالألياف المستمرة ذات مقاومة ضعيفة لاجهادات القص الموازية لاتجاه الألياف وهو اتجاه المحور الطولي للقضيب, وذلك بسبب إعتمادها على مقاومة البوليمر وحده لقوى القص نظرا لانعدام مقاومة الألياف للقوى العمودية عليها.
- تعتبر قضبان البوليمر المسلح بالألياف غير معرضة لإجهادات قص حتى في حالة استخدامها لتسليح قطاعات الخرسانة لمقاومة قوى القص, وذلك لأن الإجهاد المترتب على ذلك يكون اجهاد شد في القضيب عند الأماكن المحتملة لحدوث الشروخ في الخرسانة.
- يمكن تحسين مقاومة القص عن طريق وضع بعض الألياف مائلة على اتجاه الألياف الرئيسية في اتجاه مستعرض أو متقاطع معها. ويتم ذلك أثناء تصنيع القضيب بلف أو جدل أو تضفير ألياف إضافية مع الألياف الطولية الرئيسية.

- تعين مقاومة القص لقضيب البوليمر المسلح بالألياف عن طريق الاختبار. ويذكر في تقارير المصنع نوع اختبار القص وأسلوب إجراؤه وعدد العينات ونتائجها.

٢-٣-٣-٤-٥ التماسك

- تعتمد مقاومة التماسك بين قضيب البوليمر المسلح بالألياف والخرسانة على الخواص الميكانيكية للقضيب ، وشكل السطح وحالة تماسكه مع المنشأ و تنتقل القوى بين القضيب والخرسانة عن طريق :
  - الالتصاق على سطح التماس بالروابط الكيميائية
  - مقاومة الانزلاق على سطح التماس بالإحتكاك
  - التماسك الميكانيكي نتيجة عدم انتظام السطح, مثل الخشونة أو وجود نتوءات.
- تقاس مقاومة التماسك بين القضيب و بين الخرسانة بواسطة اختبار الاقتلاع (pull out test) المبين بملحق الاختبارات. ويجب أن يذكر في تقارير المصنع نوع اختبار التماسك وأسلوب إجرائه وعدد العينات ونتائجها.
- لزيادة التماسك بين القضيب و بين الخرسانة يجب أن تستخدم لتصنيع النتوءات على سطح القضبان أو للصق الرمال على سطح القضبان رانتجات لاصقة ذات خواص التصاق عاليه والاهتمام بإتقان جميع خطوات عملية التصنيع وضبط الجودة ، كما يمكن عمل نتوءات بسطح القضيب طولية أو حلزونية أو على شكل جدائل (ضفائر) أو تخشين سطح القضيب بالرمال أثناء التصنيع وذلك لزيادة التماسك بين القضيب والخرسانة.

٢-٣-٤ القطاعات الجاهزة من البوليمرات المسلحة بالألياف

- تصنع القطاعات الجاهزة من البوليمر المسلح بالألياف بطرق التصنيع المختلفة (مثل السحب للألياف Pultrusion أو لفها Filament Winding أو بالصب في القوالب أو غير ذلك) وتورد بأطوال مناسبة لتجمع وتركب على السطح المطلوب بواسطة اللصق، كما يمكن أيضا استخدام هذه القطاعات بمفردها وكذلك يمكن استخدامها كتدعيم للقطاعات الخرسانية.
- تتوافر هذه القطاعات بأشكال هندسية مختلفة مثل الألواح والشبكات grids والمواسير والزوايا والقشريات shells وغيرها وهى ذات أبعاد وتخانات مختلفة. كما يمكن إنتاج قطاعات مسطحة أو منحنية بأية أشكال وأبعاد أخرى يحددها المصمم.

- تتباين الخواص الفيزيائية والميكانيكية لهذه القطاعات تبعا للمواد المكونة من ألياف وراتنجات، ونسبها واتجاهات الألياف في كل طبقة وكذلك أبعاد القطاع وترتيب وتتابع الطبقات مما يشكل ميزة كبيرة لهذه القطاعات حيث يعطي المصمم مجال واسع لاختيار أبعاد القطاع وكذلك مواده ومكوناته التفصيلية لكي يحقق تماما المتطلبات التصميمية المطلوبة.
- تعتمد خواص القطاعات الجاهزة على طريقة التصنيع ومستوى مراقبة الجودة المتبع أثناء التصنيع مما قد يستدعي إجراء اختبارات تأكيديه لقبول المواد وذلك لضمان الخواص الميكانيكية لهذه القطاعات.
- يعتمد السلوك النهائي للمنشآت المدعمة بهذه المواد على خواص القطاع كما سبق ذكره, وكذلك على الأداء المركب للقطاع مع القطاع الخرساني للعنصر الإنشائي المدعم. ولتحقيق ذلك يلزم التأكد من كفاءة الالتصاق وتمام التماسك والترابط بينهما وكذلك التصميم الذي يأخذ في الاعتبار السلوك المشترك للقطاع المركب.

٢-٣-٥ الأنظمة المركبة من البوليمرات المسلحة بالألياف Hybrid Systems

- يقصد بالأنظمة المركبة استخدام البوليمر المسلح بأنواع مختلفة من الألياف معا في نفس الطبقة أو في طبقات متتابعة، أو استخدام منتجات مختلفة من البوليمر المسلح بالألياف (مثل الرقائق, الألواح، القضبان، القطاعات الجاهزة) معا أو مع مواد أخرى, لتشكل في النهاية مع العنصر المراد تدعيمه عنصرا واحدا يسلك سلوكا إنشائيا موحدا تحت تأثير الأحمال مع تحمل كل من مكوناته الاجهادات الخاصة بها.
- يلجأ المصمم إلى استخدام هذه الأنظمة ليحقق أقصى استفادة ممكنة من الخواص الفيزيائية والميكانيكية المتميزة لكل مادة من مكونات هذه الأنظمة ويتلافى العيوب والخواص السلبية لبعض هذه المواد. وذلك بهدف تحقيق متطلبات التصميم بالإضافة إلى تحقيق اقتصادية التصميم.
- يتطلب تصميم هذه الأنظمة دراية كبيرة من المصمم بالخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمواد الهندسية المختلفة بالإضافة إلى تركيبها وخواصها الكيميائية وذلك لضمان عدم حدوث تفاعل بسبب تلامسها يضر بالمنشأ على المدى البعيد.
- وكذلك يتطلب تصميم هذه الأنظمة خبرة من المصمم للاختيار المناسب للمكونات والنظام الذي يحقق السلوك الإنشائي المفترض والمطلوب بعد تطبيقه على المنشأ.

- حيث أن هذه الأنظمة المركبة من المواد المستحدثة فإن تطبيقها في مجال المنشآت يعتبر حديث نسبيا، لذلك يفضل عمل نماذج لهذه الأنظمة ونماذج لبعض العناصر مطبقا عليها هذه الأنظمة بمقياس مناسب، وإجراء اختبارات معملية عليها لدراسة السلوك الإنشائي لهذه العناصر والتأكد من تحقيقه للسلوك المفترض في التصميم، وذلك قبل الشروع في تنفيذ هذا النظام.

٢-٤ الشحن والتخزين والتعبئة

٢-٤-١ الشحن والتخزين والتعبئة لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف

٢-٤-١-١ الشحن

إن المواد الأساسية المكونة لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف ، لابد من تجميعها وشحنها بطريقة تتفق مع نظم و أكواد الشحن والتجميع المحلية المصرية أو العالمية. ويجب تصنيف تلك المواد حسب نوعها حتي يمكن التعامل الآمن معها إذا ما كانت مواد سامه أو مسببة للتآكل . فعلي سبيل المثال فإن تجميع وشحن المواد الراتنجية الثرموسيت تخضع لشروط ومواصفات المشروع.

٢-٤-١-٢ التخزين

أ- ظروف التخزين

لابد من تخزين المواد طبقا لمتطلبات وشروط المنتج للحفاظ علي سلامة تخزين المواد الأساسية المكونة لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف. كما يجب توافر متطلبات الأمان والتخزين لبعض المكونات الرئيسية مثل مواد المعالجة والمواد المصلبة ، والبوادئ (Initiators) والمذيبات السائلة وذلك طبقاً لما تنص عليها المواصفات المصرية أو العالمية أو ما يوصي به المنتج. يجب أن يتم تخزين المحفزات والبوادئ (خاصة البيروكسيدات Peroxides) بطريقة منفصلة .

ب- مدة التخزين

إن خواص المواد الراتنجية غير المعالجة من الممكن أن تتغير مع الزمن أو مع تغير درجة الحرارة أو الرطوبة المحيطة ، حيث أن هذه التغيرات تؤدى إلى التأثير علي تفاعل الأنظمة المخلوطة وخواص المواد المعالجة وغير المعالجة، ويجب علي المنتج أن يحدد زمن التخزين متضمنا فيه استمرارية خواص المواد ذات التركيب الراتنجي ومدي التغير المتوقع مع الزمن مقارنة بمعايير حالة الأداء المذكورة . ويجب الأخذ في الاعتبار أن المكونات الرئيسية التي تتجاوز العمر الافتراضي تكون فاسدة وسامة وغير صالحة للاستخدام، يجب التخلص من المواد التي تتجاوز العمر الافتراضي بطريقة محددة من المنتج وكذلك بطريقة مقبولة للقوانين والمواصفات المصرية أو أحد المواصفات العالمية .

٢-٤-١-٣ التعبئة والتداول

أ- البيانات الخاصة بسلامة المادة :

لابد من توفر البيانات الخاصة بسلامة المواد المكونة لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف من المنتجين، كما يجب التأكيد علي تواجدها بالقرب من مواقع العمل وذلك لتوفير البيانات اللازمة عند الحاجة لها .

ب- مصادر المعلومات :

أن المعلومات التفصيلية الخاصة بالتعبئة والأخطار الكامنة للمواد المكونة لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف تتوفر بمصادر معلومات مختلفة مثل تقارير الشركات المنتجة للمواد وايضاً المواصفات القياسية الصادرة فى هذا الشأن .

جـ- المخاطر العامة للتداول :

إن المواد الراتنجية من نوع الثرموسيت تمثل مجموعة عامة من المنتجات التي تحتوي علي مواد البولي استر غير المشبعة أوفينيل استر أو الإيبوكسيات أو مواد البولي يوريثان الراتنجيه . أن المواد المستخدمة معهم من الممكن توصيفها عامة بالمواد المصلدة(Hardeners) مثل الوسائط المعالجة والمواد البادئه البيروكسيدية ومواد مالئة ومواد مرنة .

يجب مراعاة التحذيرات الواجبة عند تعبئة أو التعامل مع الراتنجات الثرموسيت والعناصر المكونة لها. ويمكن حصر المخاطر التي يمكن التعرض لها عند التعامل مع راتنجات الثرموسيت في النقاط التالية :

١ - التهاب الجلد (تهيج الجلد) مثل الحروق والطفح الجلدي .

٢ - حساسية الجلد الذي يعتبر مثل رد الفعل الشديد الحساسية الناتج من المواد العازلة بالمباني (الصوف الصخري أو الزجاجي) أو غيرها من المواد المثيرة للحساسية .

٣ - التعرض لتنفس أبخرة عضوية من المنظفات السائلة أوالمونيمرات أو المواد المخففة .

٤ - يمكن أن ينتج من ارتفاع تركيز هذه المواد بالهواء أن تؤدي للانفجار أو الاشتعال - وذلك للمواد القابلة للاشتعال - عند التعرض للحرارة أو اللهب أو الشرار أو كهرباء استاتيكية أو أي مصادر أخري للاشتعال .

٥ - التعرض للحرائق أو إصابة الأشخاص نتيجة تفاعلات هذه المواد الناتجة من سوء التخزين .

٦ - التعرض للغبار المؤذي نتيجة عمليات الطحن أو التعبئة للمواد المعالجة للبوليمرات المسلحة بالألياف كما يجب مراعاة النشرات المرفقة بالمواد والصادرة من منتج المواد عن المخاطر الخاصة .

إن تعقيد التركيب الكيميائي لمواد الراتنجات الثرموسيت والمواد المتحدة معها يجعل توافر الملصقات المقروءة عليها والتعليمات أمر واجب. ويجب أن تكون هذه الملصقات والتعليمات سهلة الفهم علي المتعاملين مع هذه المنتجات . ويمكن الرجوع لبعض القواعد والإرشادات المحلية أو العالمية التي تحكم هذا الشأن و التي توضح نظام عمل الملصقات أو الإرشادات الخاصة للمواد الخطرة متضمنا الملصقات الخاصة للمواد الراتنجيه الحافظة للحرارة ، كما يوفر إرشادات أخري خاصة بعمليات التصنيف والاحتياطات اللازمة.

د- سلامة الأشخاص عند عملية التعبئة والملابس الخاصة بذلك (السلامة المهنية)

تعتبر الملابس والقفازات المصنوعة من البلاستيك أو المطاط من أفضل الأنواع التي يوصي باستخدامها وذلك لسهولة التخلص منها بعد الاستخدام وبذلك تكون الأنسب عند التعامل مع تعبئه الألياف والمواد الراتنجية .

كذلك لابد أن تكون المادة المصنعة للقفازات مقاومة للمواد الراتنجيه والمواد المذيبة عند التعامل مع مكونات المواد الراتنجية والمذيبات. كما يحب ارتداء نظارات وقاية آمنة . ولحماية الجهاز التنفسي لابد من وضع أقنعة مقاومة للغبار أو أجهزة تنفس خاصة عند توفر غبار أو رماد ألياف أو أبخرة عضوية أو أثناء عملية نقل وخلط المواد الراتنجية وطبقا لتعليمات المنتج .

هـ- سلامة مكان التعبئة :

يجب أن يكون مكان العمل جيد التهوية ، ويجب أن تكون الأسطح مغطاة لحمايتها من سمية أو انسكاب المواد الراتنجية . إن جميع مكونات البوليمرات المسلحة بالألياف لها متطلبات خاصة عند التعبئة والتخزين وذلك لمنع أي أضرار محتمله . لذلك لابد من استشارة منتج المادة للحصول علي الإرشادات اللازمة والواجب اتباعها واتباع قواعد الأمن والسلامة الحكومية الخاصة بذلك .

بعض المواد الراتنجية تكمن مخاطرها في عملية خلط مكوناتها لذلك لابد من الإطلاع علي النشرة الخاصة بالمنتج قبل استخدامه للتعرف علي طرق الخلط الجيدة ومخاطر عمليات التعبئة المذكورة في المواصفات الدولية .

ينتج عن التفاعلات الخاصة بالمعالجة للمواد الراتنجية ارتفاع في درجة حرارة الجو المحيط والتي من دورها تزيد من سرعة التفاعل . إن عدم التحكم في التفاعل يؤدي لحدوث الحرائق أو خروج الدخان أو الغليان الشديد في الخزانات المحتوية علي كتل الخلط الخاصة بالمواد الراتنجية وبالتالي لابد من مراقبة الخزانات بشكل دوري .

و- عمليات النظافة والتخلص من النفايات :

تشمل عمليات النظافة استخدام مواد مذيبة وهذه المواد قابلة للاشتعال ولذلك لابد من اتخاذ الاحتياطات المناسبة مع مراعاة أن المواد المذيبة المتوفرة تختلف في درجة اشتعالها. ويجب فى جميع الأحوال جمع المخلفات الناتجة والتخلص منها بالطريقة المحددة من قبل إدارة البيئة .

٢-٤-٢ مناولة وتخزين ورص قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف

٢-٤-٢-١ مناولة وتخزين القضبان

إن قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف أكثر عرضة لحدوث أضرار علي سطحها الخارجي ، ويلاحظ أن حدوث هذه الأضرار بالسطح أو حدوث شرخ أو ثقب بها يؤدي إلى خفض مقاومة قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف بدرجة كبيرة . وبسبب فقد للديمومة نتيجة لاختراق القلويات وإتلافها للقضبان. يجب اتباع الخطوات التالية لتقليل الضرر لكل من القضبان والعمال عند التعامل معها أثناء النقل والتخزين:

- لابد من ارتداء قفازات باليد عند التعامل مع قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف وذلك لتفادي الجروح الشخصية التي يمكن أن تنتج من الألياف أو الأطراف الحادة .
- يجب عدم تخزين القضبان علي الأرض ولكن توضع فوق ألواح مخصصة لهذا الغرض ، وذلك لتسهيل التعامل معها .
- يجب حماية القضبان من التعرض لدرجات الحرارة العالية أو الأشعة فوق البنفسجية ، أو المواد الكيميائية ، وذلك لتأثيرها الضار علي القضبان .
- في كثير من الأحيان أثناء عملية التصنيع تصبح أسطح القضبان ملوثة ببعض المواد مثل زيوت معالجة الشدات والتي يمكن أن تؤدي إلى خفض مقاومة الترابط مع الخرسانة ، لذا فإنه يجب إزالتها من خلال تنظيف سطح القضبان بمواد مذيبة قبل استخدامها ، وبحيث لا تؤثر تلك المذيبات علي خواص القضبان .
- من الضروري استخدام قضبان لبسط وتوزيع القضبان وذلك للسماح برفع القضبان بحرية دون إحداث أي انحناء إضافي بها .
- ليس من المفضل قطع القضبان ، وعند الضرورة يوصي باستخدام الأقنعة للحماية من الأتربة وكذلك القفازات والنظارات لحماية العيون أثناء القطع .
- لابد من أداء عملية القطع بواسطة قاطع مسنون جيدا يمتاز بسرعة عالية أو منشار ذي أسنان حادة.
- يجب عدم تعريض القضبان أثناء نقلها أو تخزينها أو أثناء رصها أو أثناء قطعها لأي قوي قص .

٢-٤-٢-٢ رص وتجميع القضبان

بشكل عام توضع وترص قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف بطريقة مماثلة لوضع قضبان التسليح من الصلب ، ويجب مراعاة بعض الاستثناءات لبعض المواصفات والتي يتم إعدادها من قبل المهندس كما يلي:

١ - لابد من رص وتثبيت قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف بواسطة كراسي لا تسبب أية تلف للقضبان (تفضل أن تكون من مواد بلاستيكية أو مواد غير قابلة لأحداث تآكل أو صدأ) ويجب أن تذكر متطلبات الكراسي في مواصفات واشتراطات المشروع .

٢ - يجب التأكد من تثبيت القضبان في أماكنها عند رصها وعدم السماح بأي إزاحة يمكن أن تحدث أثناء صب الخرسانة . وتربط القضبان في أماكنها بواسطة مواد لا تسبب أية أضرار للقضبان مثل سلك الرباط المغطي أو أربطة من البلاستيك والنايلون . متطلبات وأسلوب مواد الربط لابد أن تكون متضمنة ضمن مواصفات المشروع .

٣ - لا يجب السماح بحدوث أي انحناء لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف المنتجة من الـــثرموسيت المعالج . كما يجب اتباع تعليمات المنتج لأنواع القضبان الأخرى .

٤ - عند الاحتياج لاستمرارية في القضبان لابد من استخدام الوصلات المتراكبة عند نقاط التوصيل ويعتمد طول الوصلات المتراكبة علي مقاومة الخرسانة ونوعها ورتبة القضبان ومقاسها وشكل السطح والمسافات بين القضبان وسمك الغطاء الخرساني .

٥ - يجب إرفاق التفاصيل الإنشائية للوصلات المتراكبة في مواصفات المشروع .

٢-٥ الفحص والتقييم والقبول لانظمة البوليمرات المسلحة بالألياف

لابد من تطبيق برامج ومعايير تأكيد جودة المنتج أو مراقبة الجودة للمنتج من قبل منتجي أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف والمقاولين وغيرهم من العاملين بهذا المجال. كذلك لابد أن يكون نظام التحكم في جودة المنتج مفهوما وشاملا لجميع جوانب المشروع . وتعتمد درجة التحكم في الجودة والغرض من عمليات الفحص والاختبار وكذلك التسجيل الدوري علي حجم وأهمية المشروع . ويمكن التأكد من تحقيق الجودة بواسطة العديد من الفحوصات والاختبارات العملية وذلك لتوثيق قبول تلك المواد خلال مراحل التنفيذ المختلفة.

يجب أن يدرج في مواصفات المشروع خطة للتأكد من جودة المنتج – سواء أثناء عمليات التركيب أو المعالجة – وذلك لجميع مواد البوليمرات المسلحة بالألياف. كما لابد أن تتضمن الخطة أسس وطرق السلامة المهنية وأسلوب تنفيذ وفحص أنظمة مواد البوليمرات المسلحة بالألياف ، بالإضافة إلى مواضع الوصلات وتوصيات المعالجة وطرق تجهيز الأسطح الجافة. وكذلك يجب توفير عينات معتمدة لاستخدامها في التأكد من جودة المنتج وأساليب عمليات التنظيف وغيرها من المستلزمات المحددة بمواصفات المشروع .

٢-٥-١ عمليات التفتيش

يجب أن يخضع نظام تنفيذ البوليمرات المسلحة بالألياف في جميع مراحله لعمليات تفتيش طبقا لمتطلبات هذا الكود ، وفي حالة عدم توافر هذه المتطلبات لابد أن تجري عمليات الفحص تحت إشراف مهندس نقابي معتمد (مراقب جودة) وله خبرة بهذه النوعية من الأعمال ، كما يجب أن يكون مراقب الجودة علي دراية تامة بالرسومات التصميميه ومواصفات المشروع .

أثناء تنفيذ أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف لابد من إجراء تفتيش وفحص يومي ، وعلى أن يشمل ما يلي:

١ – تاريخ ووقت الإنشاء

٢ – درجة حرارة الجو المحيط ونسبة الرطوبة و الظروف المناخية بصفة عامة .

٣ – درجة حرارة سطح الخرسانة.

٤ – معدل الجفاف للسطح.

٥ – عمليات تجهيز السطح والشكل الناتج.

٦ – توصيف كمي لعملية تنظيف السطح .

٧ – أنواع ومصادر الحرارة الخارجية في حالة استخدامها.

٨ – مدي اتساع الشروخ غير المحقونة بالراتنجات.

٩ – رقم لوط الألياف أو رقم شحنة الألياف سابقة المعالجة وموضع استخدامها التقريبي في المنشأ .

١٠ - ترقيم الكميات المعدة للاستخدام ، نسب الخلط ، أزمنة الخلط ، والفحص الكمي لمكونات خلطات المواد الراتنجية .

١١ - الملاحظات المدونة علي مدي تقدم المعالجة للراتنجات .

١٢ - مدي التوافق بين خطوات التنفيذ والتركيب.

١٣ - نتائج اختبارات الاقتلاع والتي تشمل مقاومة الترابط ، شكل الانهيار ومكانه .

١٤ - تحديد خواص المواد البوليمرية المدعمة بالألياف من خلال الاختبارات التي تجري بالموقع أو علي العينات المأخوذة من الموقع أو علي العينات المعتمدة أو كليهما.

١٥ - تسجيل أماكن وحجم أي انفصال بالطبقات أو فراغات هوائية.

١٦ - تسجيل لمعدل التقدم في العمل.

ويجب علي مسئول ضبط الجودة أن يزود المهندس أو المالك بمستندات التفتيش ونتائج العينات المعتمدة التي سيتم الحكم بناءً عليها. يجب الاحتفاظ بمستندات التفتيش ونتائج العينات المعتمدة لمدة لا تقل عن ١٠سنوات أو الفترة التي يحددها المهندس المسئول كما أن مقاول التنفيذ لابد أن يحتفظ بعينات من الراتنج المخلوط المستخدم ويحافظ علي سجل لخلط وصب كل خلطه.

٢-٥-٢ التقييم والقبول

يجب أن يتم تقييم أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف من حيث القبول أو الرفض طبقا لمدي توافقها مع الرسومات التصميمية والمواصفات . كما يجب أن تشمل عملية التقييم العديد من البنود مثل : خواص المواد المكونة لأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف وعملية التصنيع مع تحديد سماحات التركيب وكذلك تحديد تواجد أماكن الانفصال في الطبقات ومعالجة المواد الراتنجية والالتصاق بخرسانة الأساس. وكذلك يجب تقييم مواضع القدرة علي التحمل المتضمنة اتجاه الألياف ، السمك المعالج ، اتجاه الثنيات(الطيات)،العرض والتقسيط ،أنصاف أقطار الأركان وأطوال الوصلات التراكبية.

تستخدم اختبارات الاقتلاع والعينات المعتمدة لتقييم نظم البوليمرات المسلحة بالألياف المنفذة. كما يمكن استخدام اختبار التحميل للتأكد من سلوك العناصر الإنشائية المدعمة بالبوليمرات المسلحة بالألياف.

٢-٥-٢-١ المواد

قبل بدء المشروع لابد أن يتقدم منتج نظم البوليمرات المسلحة بالألياف بشهادات تبين خواص المواد ونتائج اختباراتها ومدي مطابقة جميع المواد المستخدمة للمواصفات الموضوعة وتحديد المواد الأخرى التي يجب استخدامها إن وجدت. ويمكن إجراء اختبارات تأكيدية على المواد عند الحاجة لها ، وذلك اعتماداً على مدي أهمية وحجم المشروع.

يجب أن يشمل تقييم مواد البوليمرات المسلحة بالألياف الموردة نتائج درجة التحول الزجاجي، بالإضافة إلى العديد من الاختبارات مثل اختبار مقاومة الشد ، التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء وزمن التشغيل ، والمدة القصوى للتخزين ، ومقاومة المواد اللاصقة للقص. ويتم إجراء هذه الاختبارات على عينات ترسل للمختبر طبقا لخطة مراقبة الجودة . كما تجرى في موقع العمل الاختبارات الخاصة بزمن التشغيل للمواد الراتنجية المتصلدة بالمعالجة ، ويجب رفض المواد التي لا تحقق حدود المواصفات.

يجب استخدام العينات المعتمدة لتقييم مقاومة الشد ومعايير المرونة ومقاومة الوصلات التراكبيه واختبار الصلادة للبوليمرات المسلحة بالألياف المنفذة والمعالجة بموقع العمل ، ويجب أن يتم التنفيذ تبعاً لخطوات الإنشاء المتبعة لإنشاء وتركيب ومعالجة أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف الواردة بمواصفات المشروع. يمكن أثناء التنفيذ تصنيع ألواح مسطحة ذات قياسات وأسماك محددة مسبقاً ومصنعة بالموقع ومعالجة بالموقع طبقا لخطة جمع العينات ، على أن ترسل هذه الألواح بعد ذلك للاختبار بالمعمل. يجب أن يحتفظ بالعينات التأكيدية – أو أن تسلم إلى معمل معتمد بمعدل زمني محدد – لإجراء اختبارات مقاومة الشد والصلابة و التحليل الطيفي عليها . يمكن تحديد مقاومة الشد ومعايير المرونة لخامات البوليمرات المسلحة بالألياف طبقا للمواصفات العالمية و مواصفات المشروع ويشتمل هذا الكود على الخواص التي يجب اختبارها ، مثل مقاومة الشد ومعايير المرونة والتحليل الحرارى ... الخ، ويمكن للمهندس أن يبطئ أو يعجل معدل إجراء الاختبارات. يصعب في بعض الأحيان تصنيع ألواح صغيرة منبسطة من بعض أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ــ مثل الأنظمة السابقة المعالجة والمشكلة بالميكنة ــ ففي هذه الحالة يمكن أخذ عينات تأكيديه (Witness panels) تصلح للاختبار ولابد أن يعدل المهندس المتطلبات – في هذه الحالات – بحيث تتضمن ألواح الاختبارات أو العينات التي يجب أن يوفرها المنتج . ويمكن تحديد مقاومة الشد ومعايير المرونة، ومقاومة تماسك الوصلات المتراكبة للمواد البوليمرية المدعمة بالألياف باستخدام الاختبارات

الخاصة بها على العينات المصنعة بالموقع أثناء التركيب ، كما يجب تجهيز عينات من أكواب تحتوى على الراتنج المخلوط طبقا لخطة جمع عينات سابقة التحديد وتحفظ بعد ذلك لتحديد مستوى المعالجة.

٢-٥-٢-٢ اتجاهات الألياف

لابد من تقييم الألياف أو اتجاهات الطبقات (الرقائق) السابقة المعالجة بالفحص البصري، عند التنفيذ بطريقة النظم المشبعة بالموقع (Wet lay-up system). كما يجب تقييم تموج الألياف – وهو عبارة عن اختلاف موضعي لاتجاه الألياف يكون علي هيئة فتل أو تموج يخرج عن الاتجاه العام للألياف– وبحيث تحدد نسبة هذا الاختلاف. ويجب إبلاغ المهندس المسئول عن التقييم والقبول بأي عيوب في انحراف الألياف لأكثر من ٥ درجات عن الاتجاهات المحددة بالرسومات التصميمية.

٢-٥-٢-٣ انفصال الطبقات

لابد من تقييم البوليمرات المسلحة بالألياف المعالجة من ناحية انفصال الطبقات أو تواجد الفراغات الهوائية بين الطبقات المزدوجة أو بين البوليمرات المسلحة بالألياف نفسها والخرسانة. كما يجب أن تكون طـرق الفحـص قـادرة علي كشف انفصال الطبقات لمساحة ١٣٠٠مم^{٢} أو أكثر . والطرق المتبعة للتقييم هي علي سبيل المثال التردد الصوتي والموجات فوق صوتية وطرق الفحص الحراري التي تستخدم لكشف انفصال الطبقات . ولابد من تقييم تأثير انفصال الطبقات وغيرها من العيوب علي تكامل الهيكل وتحمل ومتانة البوليمرات المسلحة بالألياف. ويجب أن يؤخذ في الاعتبار عند التقييم حجم انفصال الطبقات ومكان تواجدها وكميتها نسبة إلى منطقة الاستخدام الكلية. ويمكن إجمال إرشادات القبول للنظم المشبعة بالموقع في ما يلي:

١ – يمكن السماح بانفصال طبقي صغير لا تزيد مساحته عن ١٣٠٠مم^{٢} طالما أن المساحة المنفصلة من الطبقات أقل من ٥% من المساحة الكلية للطبقات ، وبحيث لا يزيد عدد هذه العيوب عن عشرة لكل متر مربع .

٢ – من الممكن أن يؤثر الانفصال الكبير للطبقات أكثر من ١٦,٠٠٠مم^{٢} علي أداء البوليمرات المسلحة بالألياف ولابد من إصلاحها بالتقطيع الاختياري للأجزاء المعيبة واستخدام كميات أخري معده علي شكل ألواح متداخلة تحتوي علي طبقات تكافئ الجزء المعيب.

٣ - كذلك يمكن إصلاح انفصال الطبقات الأقل من ١٦,٠٠٠مم^{٢} بواسطة الحقن بالمواد الراتنجية أو استبدال الطبقات ، ويعتمد ذلك علي حجم وعدد الطبقات المنفصلة وأماكنها .

فيما يخص المعالجة للمواد البوليمرية المدعمة بالألياف يجب تقييم وإصلاح أي انفصال في الطبقات طبقا لتوجيهات المهندس المختص.وعند اكتمال عمليات الإصلاح ، لابد من إعادة الكشف علي الطبقات المتصلة للتحقق من جودة إنجاز عملية الإصلاح.

٢-٥-٢-٤ مرحلة المعالجة للمواد الراتنجية

يتم تقييم درجة المعالجة النسبية للبوليمرات المسلحة بالألياف من خلال الاختبارات المعملية للعينات التأكيدية (witness panels) أو عبوات المواد الراتنجية وذلك بالرجوع إلى المواصفات العالمية و مواصفات المشروع كذلك من الممكن تقييم المعالجة النسبية للمواد الراتنجية في موقع عمل المشروع بواسطة الملاحظة الدقيقة لسمك المواد الراتنجية وصلادة أسطح العمل أو صلادة عينات المواد الراتنجية المحتفظ بها. لابد من استشارة منتج البوليمرات المسلحة بالألياف لتحديد متطلبات التحقق من طرق المعالجة الصحيحة للمواد الراتنجية . لابد من إجراء القياسات الخاصة بتصلد المواد اللاصقة للأنظمة سابقة المعالجة (Pre-cured systems) ، طبقا لتوصيات المنتج وبما لا يتعارض مع ما جاء بالكود في هذا الشأن.

٢-٥-٢-٥ قوة الالتصاق

لتطبيقات أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف التي تعتمد علي الترابط بينها وبين الخرسانة، فإن اختبارات الشد للمواد اللاصقة لابد أن تجري طبقا للطرق المستخدمة في المواصفات العالمية و مواصفات المشروع ولابد من تحديد معدل أخذ العينات واختبارها والتي يجب أن لا تقل عن ٣ عينات لكل مرحلة تطبيق ومعالجة واحدة وبحيث لا يقل العدد عن ٦ عينات خلال اليوم الواحد . كما يجب أن تزيد مقاومة شد الالتصاق على ١,٥نيوتن/مم^{٢} وبحيث يحدث الانهيار في طبقة الخرسانة .وفي حالة انخفاض المقاومة عن القيمة المحددة أو حدوث انهيار بين البوليمرات المسلحة بالألياف والخرسانة أو بين الطيات فإنه يجب إبلاغ المهندس لإجراء عمليات التقييم والقبول.

٢-٥-٢-٦ سمك المادة المعالجة

للتأكد من سمك الطبقة وعدد الطبقات لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف فإنه يتم أخذ عينات من قلب نظام البوليمرات المسلحة بالألياف بقطر ١٣ مم وفحصها بصرياً للتأكد من سمك الطبقة وعدد الطبقات. من الممكن استخدام العينات المطلوبة لإجراء الاختبارات الخاصة بمقاومة شد الالتصاق للتأكد من سمك الطبقات وعدد الطبقات . كما يجب تحديد معدل جمع العينات مع تجنب أخذ عينات من المناطق العالية الإجهادات أو مناطق التراكب .

لابد من ملء مكان أخذ العينات بمونة ترميم أو عجينه البوليمرات المسلحة بالألياف وتسوية سطحها بعد ذلك . ويمكن كذلك استخدام ألواح معده من البوليمرات المسلحة بالألياف لها نفس تركيب الطبقات بأبعاد ١٠٠ ــ ٢٠٠ مم وذلك لوضعها علي أماكن أخذ العينات علي أن يسوي سطحها ، وعلي أن يتم تنفيذ ذلك طبقا لخطوات الإنشاء التي يقرها المنتج والمعتمدة من المهندس الاستشاري .

٢-٥-٣ ضبط الجودة والتفتيش لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف

يجب أن تتم عملية ضبط الجودة لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف من خلال إجراء الاختبارات علي كل شحنة بشكل منفصل. يمكن الاعتماد علي نتائج الاختبارات التي تجري من خلال المنتج والتي تقدم في صورة شهادات اختبار ويجب إجراء اختبارات تأكيديه في معامل معتمدة بعد توريد القضبان . ولابد من تنفيذ جميع الاختبارات طبقا للطرق الموصي بها في الكود أو أحد المواصفات العالمية التي يتم ذكرها في مواصفات المشروع .

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

١ - اختبار خواص الشد المحورية لقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف .

٢ - اختبار مقاومة التماسك لقضبان البوليمرات المسلحة بالالياف عن طريق اختبار النزع .

٣ - اختبار مقاومة قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف للقلويات .

أثناء التوريد يتم ضبط جودة كل شحنة عن طريق إجراء الاختبارات التالية:

١ - مقاومة الشد .

٢ - معاير المرونة في الشد والانفعال الأقصى .

يجب علي المنتج أن يوفر شهادة ـ عند الطلب ـ تبين تطابق أي كمية من قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف مع توصيف كامل لمنهاج الاختبارات التي أجريت.

ملحوظة : يتم اجراء الاختبارات طبقا لملحق الكود الخاص بالاختبارات والجارى إصداره.

الباب الثالث

تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف مع الزمن

٣-١ اعتبارات عامة

يشترط تقييم تحمل مواد وأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف مع الزمن والوقوف علي قدرتها علي مقاومة تأثير العوامل الخارجية مع الاحتفاظ بفاعليتها تحت تأثير هذه الظروف . ويقتصر هذا الباب على المواد والأنظمة المذكورة خواصها واشتراطات تنفيذها في الباب الثاني والرابع من هذا الكود. وفى حالة استخدام مواد أخرى مستحدثة فيشترط دراسة خصائصها وتحملها مع الزمن قبل السماح باستخدامها.

ويشتمل هذا الباب علي البنود التالية:

أ - تعريف تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف والمواد اللاصقة لها مع الزمن ، واستعراض العوامل المؤثرة علي تحمل تلك المواد، ويحتوي كذلك علي الأسس الواجب مراعاتها عند تعرض تلك الأنظمة للرطوبة والمحاليل الكيمائية خاصة محاليل القلويات ودرجات الحرارة العالية والتعرض للتجمد والذوبان بالإضافة إلي التعرض للأشعة فوق البنفسجية (بنود ٣-٥-١-٢،٣،٤،٥ &٦)

ب - مقاومة المنشآت المدعمة أو المسلحة بالبوليمرات المسلحة بالألياف للحريق (بند ٣-٥-٧)

جـ- خواص الزحف والكلال (بندين ٣-٥-٨&١٠)

٣-٢ تعريف تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف مع الزمن (Durability)

هى قدرة البوليمرات المسلحة بالألياف علي مقاومة تأثير العوامل البيئية المحيطة من رطوبة وحرارة ودورات بلل وجفاف ودورات تجمد الثلج وذوبانه وأشعة فوق بنفسجية وعوامل أخري مثل قوي البري والمهاجمة بالكيماويات والتأثر بالوسط القلوي للخرسانة والزحف واسترخاء الإجهاد والكلال والحريق خلال عمر المنشأ. وعند تعرض البوليمرات المسلحة بالألياف لأحد العوامل السابقة أو بعض منها مجتمعة ، فإن ذلك قد يؤدي إلى تأثير سلبى علي خصائصها الميكانيكية أو الفيزيائية أو الكيميائية مع الزمن.

٣-٣ تحمل المواد الإيبوكسية اللاصقة مع الزمن

٣-٣-١ عام

يتناول هذا الجزء تحمل راتنج الإيبوكسي مع الزمن وهو يستخدم كمادة لاصقة لأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف المستخدمة في تدعيم العناصر الإنشائية مع سطح الخرسانة. كما يتناول العوامل المؤثرة علي تحمل راتنج الإيبوكسي والاشتراطات الواجب اتباعها حتي يتحقق الأمان اللازم لتلك العناصر. ويعتمد تحمل راتنج الإيبوكسي مع الزمن علي تحمل سطح العنصر الخرساني المدعم، بالإضافة إلي بعض العوامل الأخرى مثل المؤثرات البيئية وطريقة إعداد ومعالجة راتنج الإيبوكسي.

٣-٣-٢ تأثير الرطوبة

أ - يؤثر التعرض طويل المدى للرطوبة تأثيرا سلبياً علي خواص ومقاومة الالتصاق للراتنج اللاصق حيث تنخفض مقاومة الالتصاق بزيادة زمن التعرض للرطوبة .

ب - تنخفض مقاومة الالتصاق بدرجة كبيرة عند تعرض أنواع من الإيبوكسي للأحمال الثابتة في وجود الرطوبة

جـ- يجب عدم إستخدام راتنج الإيبوكسي كمادة لاصقة إذا كان سطح الخرسانة المدعمة رطباً أو مبللا إلا إذا كان الراتنج مجهزا خصيصاً لهذا الغرض كما هو مبين في البند ٤-٤-١-٢ .

د - يجب توفير منافذ لخروج بخار الماء خارج السطح الخرساني في التطبيقات التي يوجد بها حركة متوقعة للمياه داخل الخرسانة كما هو مبين في البند ٤-٣-٢-٤- أ

٣-٣-٣ تأثير التجمد والذوبان

أ - تؤدي دورات التجمد والذوبان للماء إلي فقد جزئي في مقاومة الالتصاق سواء بين أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف وبين سطح الخرسانة أو بين طبقات البوليمرات المسلحة بالألياف ذاتها. وتنخفض مقاومة الالتصاق بوجود فجوات بين المادة اللاصقة والخرسانة.

ب - يعجل وجود الأملاح من تدهور مقاومة الالتصاق وذلك نتيجة تشكل وكبر حجم بلورات الملح.

٣-٣-٤ تأثير الأوساط القلوية والحمضية

أ - أظهر راتنج الإيبوكسي بوجه عام نتائج مرضية عند تعرضه للأوساط الكيمائية وخاصة الأوساط القلوية والحامضية. ويعتمد تأثره بتلك الأوساط علي تركيز المادة القلوية أو الحمضية وعلى درجات الحرارة ويعطى جدول ٣-١ قيم استرشادية لتلك التأثيرات .

ب - يجب استخدام راتنج مقاوم للبيئتين القلوية والحمضية عند لصق أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف على العناصر الإنشائية المعرضة لهاتين البيئتين .

جـ- يجب عمل الاختبارات التي تؤكد ملاءمة راتنج الإيبوكسي المستخدم للأوساط المحيطة.

٣-٣-٥ تأثير التعرض للإشعاع

أظهر راتنج الإيبوكسى مقاومة جيدة للإشعاع وخاصة أشعة جاما .

٣-٣-٦ تأثير درجة الحرارة

أ - يمكن إهمال تأثير درجة الحرارة علي خواص راتنج الإيبوكسي ما دامت درجة الحرارة أقل من درجة حرارة الانعطاف الحرارى (HDT) ، والتي تتأثر عندها خصائص راتنج الإيبوكسي سلباً من حيث الصلابة ومقاومة الزحف ومقاومة التأثير الكيميائي .

ب - تنفحم وتتبخر معظم الراتنجات في درجات الحرارة العالية والتى تزيد عن ٣٠٠ درجة مئوية وقد تكون الأدخنة الناتجة عنها في هذه الدرجات ذات تأثير سام .

٣-٣-٧ تأثير الزحف

يتعرض راتنج الإيبوكسي المعالج للزحف سواء في درجات الحرارة العادية أو العالية، ويتوقف ذلك علي درجة حرارة الانعطاف الحراري (HDT) والإجهاد المؤثر ، ويزيد معدل الزحف بزيادة درجة الحرارة عن درجة حرارة الانعطاف الحراري .

٣-٤ تحمل الألياف مع الزمن

أ - يتناول هذا البند تحمل مادة الألياف على حده مع الزمن، مع الأخذ في الاعتبار أن مادة الألياف في معظم الأحيان لا تكون معرضة مباشرة للعوامل المحيطة حيث أن مادة الراتنج المستخدمة معها فى تكوين النظام تكون خط المواجهة الأول.

ب – تحقق ألياف الكربون عموما تحمل عالي للأوساط المختلفة ، حيث أنها لا تمتص الماء ولها تحمل عالي للمحاليل الكيميائية والأحماض والقلويات والمذيبات العضوية. يجب مراعاة أن ألياف الكربون لها درجة توصيل جيدة للكهرباء مما قد يجعلها تعمل على الإسراع من صدأ الصلب إذا استخدمت بجواره وملامسة له .

جـ– تتأثر ألياف الأراميد بالرطوبة بشكل كبير خصوصا في وجود نسب رطوبة عالية. كما أنها لها مقاومة ضعيفة للأشعة فوق البنفسجية UV وتحتاج إلى حماية لها مع هذا التعرض. وأيضا تتأثر ألياف الأراميد سلبا بدرجات الحرارة العالية بشكل كبير.

د – يختلف مقدار تحمل ألياف الزجاج مع الزمن على حسب نوع ألياف الزجاج المستخدمة. حيث أن AR glass يحقق مقاومة جيدة للقلويات في حين يكون للأنواع الأخرى مثل E & S glass مقاومة ضعيفة للقلويات. أما بالنسبة للأحماض فأن ألياف الزجاج تتأثر سلبا بالأحماض القاسية.

٣-٥ تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف

٣-٥-١ تأثير الرطوبة على تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف

أ – تؤثر الرطوبة المحيطة على البوليمرات المسلحة بالألياف، ويؤدي ذلك إلى زيادة وزن هذه المواد.

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

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

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

هـ– يمنع استخدام البوليمرات المسلحة بألياف الأراميد في الأوساط المغمورة والرطبة .

و – يجب توفير حماية كافية من الرطوبة في حالة استخدام البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج في وسط رطب ، وذلك وفقا للبند ٣- ٥-١١-٢ .

وسيتم التعرض للتأثير المشترك للرطوبة مع العوامل المهاجمة الأخرى في البنود التالية.

٣-٥-٢ تأثير الكيماويات على تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف

٣-٥-٢-١ عام

يتناول هذا البند تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف عند تعرضها لمهاجمة المواد الكيميائية وذلك وفقا لأنواعها وتباين تركيزاتها ودورات تعرض الأنظمة لها وحالتها من حيث الصلابة أو السيولة أو الغازية . كما يشتمل هذا البند أيضا على بعض الاشتراطات الواجب اتباعها لمقاومة التأثيرات الكيميائية الضاره . ويجب التنويه أن تأثير الكيماويات علي البوليمر المستخدم والألياف كل على حدة يختلف عن تأثيرها علي النظام المركب منهما ويختلف هذا التأثير بتفاوت انتشار وامتصاص الكيماويات داخل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف والراتنج المستخدم ، كما يحتوي هذا البند أيضا على تأثير الأحماض والمذيبات على تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف .

٣-٥-٢-٢ تأثير الأملاح على تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف

أ - يتناول هذا البند تأثير أملاح الكلوريدات والكبريتات والنترات وغيرها على أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف والذي قد يؤدي إلي ضعف تحمل هذه الأنظمة مع الزمن.

ب - يؤدي وجود الأملاح الذائبة إلي زيادة الخاصية الأسموزية والتي تدفع المحلول الملحي إلي التحرك إلي داخل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف مما يؤثر تأثيراً سلبياً علي تحمل هذه الأنظمة .

جـ- يتوقف تحمل نظام البوليمرات المسلحة بالألياف علي نوع الراتنج المستخدم ، ويعتبر الإيبوكسي أكثر الراتنجات تحملاً تحت تأثير الأملاح المختلفة ، كما يحقق راتنج الفينيل استر تحملاً أفضل لأملاح الكلوريدات من راتنج البولى استر ، وعموماً يعتبر تحمل الراتنجات تحت تأثير الأملاح مقبولاً .

د - يؤثر نوع الملح وتركيزه على تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ، ويجب تحديد التركيز المسبب لضعف ملحوظ في تحمل النظام ، ويتم ذلك عن طريق اختبارات تحمل معملية معتمدة .

هـ- تحقق أنظمة البوليمرات المسلحة بألياف الكربون أفضل تحمل مقارنة بالأنظمة المحتوية على الألياف الأخرى مثل الزجاج والأراميد .

٣- ٥-٢-٣ تأثير الأحماض والمذيبات على تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف

أ - تؤثر أحماض الكبريتيك والنيتريك والهيدروكلوريك علي معظم أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ، وتتوقف درجة التأثر علي نوع الحمض ودرجة تركيزه ودرجة الحرارة، وكذلك نوع الراتنج المستخدم .

ب - تحقق أنظمة البوليمرات المسلحة بألياف الكربون تحملاً أفضل للأحماض مقارنة بتلك المسلحة بالأنواع الأخرى من الألياف مثل الزجاج والأراميد .

جـ- يعجل ارتفاع درجات الحرارة من تدهور خصائص البوليمرات المسلحة بالألياف المعرضة للأحماض .

د - تقاوم البوليمرات المسلحة بالألياف المذيبات بصفة عامة وذلك مثل البنزين والكيروسين وإن كانت البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج تتأثر تأثراً طفيفاً بالمذيبات .

٣-٥-٢-٤ تأثير القلويات على تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف

أ - تؤثر الأوساط القلوية (pH>٧) سلباً على خواص أنظمة البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج .

ب - عند تعرض أنظمة البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج لأوساط قلوية قوية يحدث انخفاض واضح في الخواص الميكانيكية الذي قد يتجاوز ٧٠ % مما قد يؤدي إلي الانهيار الكامل للنظام .

جـ- يمكن استخدام بعض أنواع البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج المقاومة للأوساط القلوية بشرط أن تتوفر نتائج اختبارات معملية معتمدة تثبت صلاحيتها ، كما يجب أن تتوفر الخبرة في استخدامها في مشروعات مماثلة .

د - يمكن إهمال تأثير الأوساط القلوية بمختلف تركيزاتها علي البوليمرات المسلحة بألياف الكربون .

هـ- تظهر أنظمة البوليمرات المسلحة بألياف الأراميد تحملاً مقبولاً عند تعرضها للأوساط القلوية وتأتى فى المرتبة الثانية بعد أنظمة البوليمرات المسلحة بألياف الكربون .

و - قد تؤدى الأوساط القلوية إلي زيادة تماسك القضبان المصنعة من البوليمرات مع الخرسانة والمستخدمة في التسليح الداخلي للعناصر الإنشائية ، وذلك نتيجة للزيادة الحجمية الطفيفة التى تحدث لهذه القضبان .

٣-٥-٣ تأثير درجة الحرارة على تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف

٣-٥-٣-١ عام

تؤثر درجة الحرارة للوسط المحيط تأثيراً مباشراً علي خواص نظام البوليمرات المسلحة بالألياف وذلك لكل من درجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة ، وسيتناول هذا البند هذه التأثيرات بالإضافة إلى التأثير المشترك للحرارة والرطوبة .

٣-٥-٣-٢ تأثير درجات الحرارة المرتفعة

أ - لا توجد تأثيرات جوهرية لدرجات الحرارة المحيطة بالمنشآت الأقل من درجة حرارة التحول الزجاجي علي خواص البوليمرات المسلحة بالألياف. أما بالنسبة لتأثير درجات الحرارة الأعلى من درجة حرارة التحول الزجاجي فيعتمد علي :

١ - نوع الراتنج المستخدم في منظومة البوليمرات المسلحة بالألياف .

٢ - نوع الراتنج اللاصق .

٣ - نوع الألياف ومحتواها في الاتجاهات المختلفة و كون نظام البوليمرات المسلحة بالألياف خارجياً أو داخلياً .

٤ - تعرض تلك المواد لدورات من التغيرات الحرارية .

٥ - نوع التغطية ومواد الحماية

ب - عند استخدام بعض أنواع البوليمرات المسلحة بالألياف والتي لها تمدد حراري عرضي عالى نسبيا فإن التغيرات في درجة الحرارة قد تؤدي إلى حدوث إجهادات شد في الخرسانة المحيطة بالقضبان مما قد يؤدى إلي حدوث شروخ انفصالية في الخرسانة وما يتبعها من نقص في تحمل العنصر الخرساني. يجب علي المصمم اخذ تلك الاجهادات في الاعتبار عند التصميم .

جـ- في حالة احتمال تعرض المنشأ خلال استخدامه لدرجات حرارة قريبة أو أكثر قليلا من درجة حرارة التحول الزجاجي فيجب علي المصمم أخذ النقص في معايير المرونة والمقاومة في الإعتبار .

د - يمكن إهمال تأثير درجات الحرارة الأقل من درجة حرارة التحول الزجاجي علي مقاومة التماسك بين نظام البوليمرات المسلحة بالألياف الخارجي والخرسانة .

هـ- يجب عمل نظام حماية فعال في حالة تعرض المنشأ لدرجات حرارة تساوي درجة حرارة التحول الزجاجي أو أعلى منها .

و - يجب علي المصمم أخذ تأثير زيادة درجة الحرارة المحيطة علي زيادة كل من الزحف واسترخاء الإجهاد

ز - يؤدى ارتفاع درجات الحرارة إلى زيادة معدل امتصاص الرطوبة مما يعجل من تأثير الرطوبة السلبى علي تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف ولذلك يجب علي المصمم اختيار الراتنج المناسب لهذا الفعل المشترك وذلك طبقا للجدول رقم (٣-١). ينصح باستخدام الايبوكسي فى تلك الحالات على أن يكون هناك تجارب للتحمل في تلك الأجواء .

ح - يجب أخذ الاحتياطات المناسبة فى حالة تعرض أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف لدرجات حرارة عالية في وجود وسط قاس من المحاليل الكيميائية أو الأوساط القلوية ، حيث أن ارتفاع درجة الحرارة يعجل من التأثير السلبي لتلك الأوساط ، ويوضح جدول رقم (٣-١) تأثير درجة الحرارة عند ٢٥ درجة مئوية و ٦٥ درجة مئوية علي سلوك الراتنجات والإيبوكسيات في الأوساط المختلفة .

ط - يجب استخدام أقل سمك ممكن من راتنج الإيبوكسي ينص علية المنتج في لصق نظام البوليمرات المسلحة بالألياف مع الخرسانة لتقليل تأثير معامل التمدد الحراري العالي لراتنج الإيبوكسي .

٣-٥-٣-٣ درجة حرارة الاستخدام القصوى

أ - يجب تحديد درجة حرارة الاستخدام القصوى لكل نظام من أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف سواء كان داخليا أو خارجيا وتعرف بأنها درجة الحرارة التي يمكن عندها استخدام ذلك النظام بأمان دون حدوث فقد في الخواص الميكانيكية وتؤخذ هذه الدرجة

على أساس درجة الحرارة التي تقل بمقدار عشرون درجة مئوية عن درجة حرارة التحول الزجاجى .

ب – يسمح برفع درجة حرارة الاستخدام القصوى في حالة توفر نظام لحماية البوليمرات المسلحة بالألياف من درجات الحرارة المحيطة، على أن تتوفر الخبرة والتجارب المعتمدة المؤكدة لصلاحية هذا النظام وعلى أن لا تزيد درجة حرارة الاستخدام في هذه الحالة عن درجة التحول الزجاجى .

٣-٥-٤ تأثير دورات التجمد والذوبان على تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف

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

ب – تتحول المادة اللاصقة من البوليمرات وكذلك الراتنج إلى مادة قصفة مما ينتج عنه خفض الانفعال الحرج وزيادة الجساءة عند درجات حرارة تحت الصفر المئوى.

جـ– يجب الأخذ في الاعتبار أن بعض أنواع الايبوكسيات يزيد امتصاصها للماء عند انخفاض درجات الحرارة المحيطة بها مما يؤثر علي تحملها وذلك ما يعرف بظاهرة التأثير الحراري العكسى .

د – تؤدى دورات التجمد والذوبان إلى احتمال فقد جزئي للتماسك بين أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف خاصة في حالة وجود فراغات بين مستويات الالتصاق ، ويصل هذا الفقد إلى ٢٠% في حالة أنظمة البوليمرات المسلحة بألياف الأراميد الداخلية .

هـ– تؤدى دورات التجمد والذوبان المتعاقبة إلى احتمال نقص مقاومة الشد القصوى ومعاير المرونة لأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ويزداد التدهور في الخواص الميكانيكية مع استمرار دورات التجمد والذوبان نتيجة لتولد شروخ صغيرة في منطقة الراتنج. ويتوقف التأثير السلبى لتلك الشروخ على قيمة الانكماش الناتج من معالجة الراتنج.

و – تؤدى دورات التجمد والذوبان إلى احتمال زيادة التدهور في تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف فى حالة وجود أملاح في وسط مبتل وذلك لحدوث شروخ دقيقة وتدهور تدريجي نتيجة تكون البللورات وزيادة تركيز الأملاح.

جدول رقم (٣-١) سلوك المواد البوليمرية في الأوساط الكيميائية المختلفة عند درجتي حرارة ٢٥ و ٦٥ درجة مئوية

المحاليل	أكريلك		ايبوكسي		بوليستر		بولي ريثان		سيلكون		استيرين بوتادين	
	٢٥° م	٦٥° م	٢٥° م	٦٥° م	٢٥° م	٦٥° م	٢٥° م	٦٥° م	٢٥° م	٦٥° م	٢٥° م	٦٥° م
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	مقبول	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						

ز – يجب حساب الاجهادات المتبقية فى حالة تعرض نظام البوليمرات المسلحة بالألياف لفروق كبيرة في درجة الحرارة وذلك بين درجة حرارة المعالجة ودرجة حرارة الاستخدام في الأجواء الباردة حتى يمكن تلافى الشروخ المتولدة نتيجة لهذه الاجهادات .

ح – عند استخدام الألياف في تطبيقات تتعرض لدورات تجمد وذوبان يجب أخذ الاحتياطات الكافية في اختيار المادة اللاصقة كي لا تتعرض للتدهور وتتحول إلى مادة قصفة . وفى جميع الأحوال يجب أن تتوفر الخبرة العملية والتجارب المعتمدة المؤكدة لذلك.

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

ك – يجب العناية بتحضير السطح واستوائه عند لصق أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف ، وذلك لتلافى وجود فراغات بين هذه الأنظمة وسطح العنصر الإنشائى المدعم.

٣– ٥–٥ تأثير التعرض للأشعة فوق البنفسجية على تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف

أ – تتأثر خواص البوليمرات سلبياً عند تعرضها لأشعة فوق بنفسجية نتيجة تفكك الراوبط الكيميائية للمادة، ومن الممكن أن يؤدى ذلك إلى التفاعل مع الأكسجين فتتأكسد تلك المواد، وتتغير روابطها أو تتفكك .

ب – ينحصر التأثير السلبى للأشعة في سطح الألياف المعرض للأشعة مباشرة.

جـ– يكمن التأثير السلبي الرئيسي للأشعة فوق البنفسجية في زيادة امتصاص تلك الألياف للرطوبة من خلال أسطحها المتأثرة بتلك الأشعة ، وبذلك يمتد التأثير السلبي لداخل الأنظمة نتيجة تغلغل الرطوبة.

د – يتوقف تأثير الأشعة فوق البنفسجية على الألياف عند تخزينها علي طريقة تعرضها لأشعة الشمس. وقد أظهرت الاختبارات أن ألياف الأراميد هي الأكثر تأثراً، تليها ألياف الزجاج بينما لا تتأثر ألياف الكربون .

هـ– يجب حفظ الألياف بعيداً عن أشعة الشمس عند تخزينها.

و – يجب حماية الألياف التي تتأثر بالأشعة فوق البنفسجية وفقا للبند٣– ٥–١١–٣ وذلك لحماية أسطحها من التلف.

٣ -٥-٦ تأثير التعرض للإشعاع على تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف

لا توجد البيانات والمعلومات الكافية عن تأثير الأنواع المختلفة من الإشعاع علي سلوك وتحمل البوليمرات المسلحة بالألياف مع الزمن.بينما أظهر راتنج الإيبوكسي تحملاً جيداً للإشعاع وخاصة أشعة جاما .

٣ -٥-٧ تحمل أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف للحريق

أ - يبدأ الراتنج في الليونة بارتفاع درجة الحرارة عن حرارة التحول الزجاجي ومع تصاعد درجات الحرارة إلي درجة حرارة الحريق تبدأ الطبقات السطحية في التفحم ، وتتميز البوليمرات عند تفحمها بأنها ذاتية الإطفاء .

ب - تتوقف مقاومة الحريق علي خواص العزل والتوصيل الحراري للمواد اللاصقة وكذلك علي مستوي درجة الحرارة ومدة التعرض ، كما تتوقف علي كمية واتجاه التأثير الحراري على الطبقة اللاصقة .

جـ- تفقد أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف المعرضة للحريق كامل فاعليتها .ويمكن تحسين وزيادة مقاومة الحريق عن طريق استخدام إضافات خاصة لمقاومة الحريق واستخدام طبقات تغطية للحماية .مثل استخدام طبقة من مونة الأسمنت والرمل بسمك مناسب أو بإضافة مواد غير عضوية مالئة مثل الطين ذو الحبيبات الناعمة جدا أو هيدرات الألومينا داخل الراتنج أثناء عملية التشغيل وفي هذه الحالة يجب أخذ تأثير تلك المواد المالئة علي مقاومة النظام .

٣ - ٥-٨ الزحف في أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف

٣- ٥-٨-١ عام

يؤدى تعـرض البوليمرات المسلحة بالألياف لاجهادات ثابتـة مع الزمـن نتيجة لتعرض العنصر الخرساني لأحمال دائمة وأحمال حية شبة الدائمة إلى احتمال انهيارها بعد فترة زمنية تسمى زمن الانهيار بالزحف (Creep Rupture Time) و يعرف هذا الانهيار بانهيار الزحف. وتؤدى زيادة نسبة إجهاد الشد على أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف إلى تقليل زمن الانهيار بالزحف ويقل هذا الزمن أيضا نتيجة سوء حالة العوامل البيئية المحيطة مثل ارتفاع درجة

الحرارة ، التعرض للإشعاعات فوق البنفسجية و القلوية العالية و التعرض لدورات بلل وجفاف بالإضافة إلي دورات التجمد والذوبان. وعموما فإن الأنظمة المسلحة بألياف الكربون هي أقل الأنظمة تعرضا لانهيار الزحف تليها تلك المسلحة بألياف الأراميد و أخيراً الأنظمة المسلحة بألياف الزجاج.

٣- ٥-٨-٢ حد الزحف والكلال

أ - هو أقصى إجهاد مسموح به للبوليمرات المسلحة بالألياف تحت تأثير الأحمال الدائمة (الأحمال الميتة + جزء من الأحمال الحية ذات الصفة الدائمة + مقدار الحمل الأقصى لدورة التحميل) والذي لا يسبب انهيار الزحف خلال عمر المنشـأ . ويعتمد حد الزحف (C_L) أساسا على نوع الألياف المستخدمة في النظام ويؤخذ حد الزحف طبقا للقيم التالية:

ألياف الزجاج	(3-1)	$C_L = 0.20f_{fu}$
ألياف الأراميد	(3-2)	$C_L = 0.30f_{fu}$
ألياف الكربون	(3-3)	$C_L = 0.55f_{fu}$

حيث f_{fu} تمثل المقاومة المميزة القصوى للشد للبوليمرات المسلحة بالألياف طبقاً للبند (٢-٣-٢-٣-٢) .

ب - ألا تزيد الاجهادات المحسوبة باستخدام نظريات المرونة والواقعة على البوليمرات المسلحة بالألياف تحت تأثير أحمال التشغيل الدائمة للقطاع عن حد الزحف.

٣-٥- ٩ معاملات خفض المقاومة القصوى والانفعال الأقصى نتيجة الظروف المحيطة

أ - تؤثر الظروف المحيطة بالعنصر تأثيراً مباشراً على خواص الزحف للبوليمرات المسلحة بالألياف.

ب - يعتمد تأثير الظروف المحيطة على نوع الألياف والبوليمرات المستخدمة وعلى نوع وتركيز الوسط المحيط بالإضافة إلى درجة تعرض السطح للعوامل البيئية .

جـ تقلل الظروف المحيطة القاسية من زمن الانهيار بالزحف . ولذلك يجب حساب حد المقاومة القصوى للقطاع المستخدم به نظم البوليمرات المسلحة بالألياف وعمل تخفيض لمقاومة الشد القصوى والانفعال الأقصى لهذه الأنظمة طبقاً للمعادلات (٣-٤) ، (٣-٥).

د - يؤخذ معاير المرونة لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف ثابتاً ومماثلاً للعينة الأولية طبقاً للمعادلة رقم (٣-٦) حيث أنها لا تتأثر بالبيئة المحيطة .

$$f^{*}_{fu} = C_E . f_{fu} \qquad (3\text{-}4)$$

$$\varepsilon^{*}_{fu} = C_E . \varepsilon_{fu} \qquad (3\text{-}5)$$

$$E_f = \frac{f_{fu}}{\varepsilon_{fu}} \qquad (3\text{-}6)$$

حيث :

f^{*}_{fu} - المقاومة القصوى للشد

ε^{*}_{fu} - الانفعال الأقصى

C_E - معامل خفض المقاومة القصوى والانفعال الأقصى نتيجة تأثير العوامل الجوية للأنظمة المختلفة وتؤخذ قيمته من جدول رقم (٣-٢)

E_f - معاير المرونة

جدول ٣-٢ معامل خفض المقاومة للأنظمة المختلفة
من البوليمرات المسلحة بالألياف نتيجة تأثير العوامل البيئية .

درجة تعرض السطح للعوامل البيئية	نوع الألياف/نوع اللاصق	C_E
الأسطح المحمية وتشمل جميع العناصر الداخلية المحمية	كربون / ايبوكسي	٠,٩٥
	أراميد / ايبوكسي	٠,٨٥
	زجاج / ايبوكسي	٠,٧٥
الأسطح غير المحمية وتشمل الكباري والجراجات وجميع الأسطح المعرضة للبيئة الخارجية	كربون / ايبوكسي	٠,٨٥
	أراميد / ايبوكسي	٠,٧٥
	زجاج / ايبوكسي	٠,٦٥
الأسطح المعرضة لتأثيرات ضارة وتشمل محطات الصرف الصحي و المصانع الكيماوية وجميع الأسطح المعرضة لمواد كيماوية أو أبخرة	كربون / ايبوكسي	٠,٨٥
	أراميد / ايبوكسي	٠,٧٠
	زجاج / ايبوكسي	٠,٥٠

هـ- في حالة تعرض البوليمرات المسلحة بالألياف لدرجات حرارة عالية يجب تخفيض قيمة المعامل C_E وذلك بناءً علي تجارب معملية .

و - في حالة تنفيذ البوليمرات المسلحة بالألياف في بيئة غير مؤثرة (تعرض داخلي) يمكن استخدام قيم أعلى لمعامل خفض المقاومة C_E 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 فى حالة استخدام حماية لأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف من العوامل الجوية بشرط التأكد معمليا من كفاءة هذه الحماية مع الزمن .

٣- ٥-١٠ الكلال

أ - تعتبر ألياف الكربون هي الأقل تأثراً بالكلال مقارنة بالأنواع المختلفة من البوليمرات المسلحة بالألياف و مقارنة بصلب التسليح ، ويؤخذ حد الكلال للأنظمة المسلحة بألياف الكربون أحادية الاتجاه مساوياً ٦٠ % من المقاومة المميزة القصوى للشد وذلك في حالة استخدام نسبة ألياف ٦٠% بالحجم والمعرضة لحمل شد متراوح (النسبة بين الإجهاد الأدنى إلى الإجهاد الأقصى = ١٠%) ولا تتأثر مقاومة ألياف الكربون للكلال بالرطوبة

أو درجة الحرارة المحيطة ما لم يتأثر الراتنج اللاصق (Resin) أو السطح الفاصل بين الألياف و المادة اللاصقة بالبيئة المحيطة .

ب - يؤخذ حد الكلال ٣٠% ألياف الزجاج و ٥٥% لألياف الأراميد من مقاومة الشد المميزة ، وهو أقل من حد كلال ألياف الكربون المعرضة لنفس ظروف التحميل وبنفس نسبة الألياف السابق ذكرها.

جـ- في حالة زيادة نسبة الإجهاد الأدنى إلى الإجهاد الأقصى عن ١٠% أو نقص نسبة الألياف في النظام بالحجم عن ٦٠% ، فأنه يجب الإعتماد على نتائج معملية معتمدة لتحديد حد الكلال.

د - يراعى أن العوامل البيئية المحيطة مثل الرطوبة و ارتفاع درجة الحرارة لها تأثير سلبي على حد الكلال لكل من ألياف الزجاج و ألياف الأراميد ويجب الرجوع إلى اختبارات معملية معتمدة لتحديد حد الكلال في هذه الحالة.

٣-٥-١١ طبقات الحماية للبوليمرات المسلحة بالألياف (FRP)

٣-٥-١١-١ عام

على المهندس المصمم التأكد من استيفاء المتطلبات الخاصة بحماية البوليمرات المسلحة بالألياف من العوامل المؤثرة بالسلب 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. يشمل هذا الجزء طرق الحماية من الرطوبة والمواد الكيميائية ، والحماية من الأشعة فوق البنفسجية، والصواعق (البرق) والتعرض لصدأ صلب تسليح المنشأ بواسطة الخلايا الجلفانية (الكهرباء الحادثة بالتفاعل الكيميائي) .

٣-٥-١١-٢ الحماية من الرطوبة والمواد الكيمائية

يجب عموماً حماية الأنظمة المستخدم بها ألياف الزجاج من الرطوبة والمواد الضارة باستخدام طبقات الحماية مثل اليوريثان، والإيبوكسى أو بعض أنواع اللاتكس .

٣-٥-١١-٣ الحماية من الأشعة فوق البنفسجية

أ - معظم المواصفات الخاصة بأنظمة التدعيم باستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف لها بعض المتطلبات الخاصة بالطلاء للحماية من الأشعة فوق البنفسجية. ويمكن عمل الحماية من الأشعة فوق البنفسجية إما باستخدام طلاء من الأكريليك أو طلاء من البولى يوريثان، أو الجل أو الفلورين ذي الأساس الراتنجى ، ويجب استخدام طبقتين على الأقل.

ب - ويمكن الاسترشاد بما ورد بطرق الحماية الموصي بها من قسم النقل بولاية كاليفورنيا بالاولايات المتحدة الأمريكية عن الطلاءات المستخدمة لمقاومة الأشعة فوق البنفسجية .

٣-٥-١١-٤ الحماية من الصواعق (البرق) والتآكل بواسطة الخلايا الجلفانية (الكهرباء الناتجة من التفاعل الكيميائي)

أ - كثير من تطبيقات التدعيم بأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف لا تتعرض للبرق مثل التطبيقات داخل المباني أو داخل الكمرات الصندوقية والتي تماثل الموصل الأرضي ، وإذا كان هناك بعض الحالات التي ربما قد تتعرض للبرق فإنه يجب حماية أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف عن طريق استخدام شبك من المعدن.

ب - لحماية صلب تسليح المنشأ من التآكل الناتج عن طريق خلايا الجلفنة **Galvanic (Corrosion Cells)** فإنه يجب منع ألياف الكربون من ملامسة الصلب وذلك بأخذ الاحتياطات اللازمة والتفتيش الدقيق .

٣- ٥-١١-٥ اشتراطات الاستخدام لطبقات الحماية

تستخدم طبقات الحماية لأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف بعد الانتهاء من أعمال التدعيم ، وتكون هي الطبقة النهائية على السطح ويجب الاهتمام بالاشتراطات التالية :

أ - يجب عدم استخدام طبقات الحماية قبل أن تتصلب طبقة الآيبوكسى المستخدمة في لصق نظام البوليمرات المسلحة بالألياف .

ب - يجب أن يكون السطح المطلوب حمايته نظيفاً من الأتربة أو أي عوالق ، ويجب تنظيف السطح بفرشاة أو قماش جاف بحيث لا يحدث به أية خدوش .

جـ- يجب أن يكون السطح خالي من الرطوبة والزيوت والشحوم أو أي مواد تؤثر على التماسك بين السطح وطبقات الحماية المطلوب استخدامها.

د - يجب اختيار البوليمرات ومواد الحماية التي تناسب درجة حرارة التشغيل بالموقع.

هـ- يجب أن لا تستخدم المواد التي انتهت فترة صلاحيتها.

و - يجب استبعاد أي بوليمرات أو أيبوكسيات انتهت فترة تشغيلها (Pot life) أثناء عملية إعداد طبقات الحماية .

الباب الرابع
إصلاح وتدعيم المنشآت الخرسانية المسلحة بإستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف

اعتبارات عامة :

يتناول هذا الباب كيفية تحقيق البنود الأساسية الخاصة بتصميم وتنفيذ أعمال إصلاح وتدعيم المنشآت بإستخدام مواد البوليمرات المسلحة بالألياف ذات النوعيات والخصائص المبينة فى الباب الثانى وأنظمة الاستخدام الموضحة فى هذا الباب. ويتم تحقيق البنود الأساسية فى تصميم أعمال الإصلاح والتدعيم للمنشآت بإستخدام هذه المواد والأنظمة وفقاً لطريقة حالات الحدود ، وهى الحالات التى تضمن تحقيق أماناً كافياً ضد الإنهيار نتيجة لوصول القطاع إلى مقاومته القصوى مع ضمان إستيفاء كافة متطلبات التشغيل وذلك وفقاً للشروط الواردة فى هذا الباب . ويشتمل التصميم الأخذ فى الإعتبار الإشتراطات الخاصة بالمتانة والتحمل مع الزمن الواردة فى الباب الثالث . ويقتصر هذا الباب على أعمال التدعيم والإصلاح للمنشآت الخرسانية المسلحة فقط وذلك بإستخدام أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف التى يتم لصقها خارجياً على العنصر المزمع إصلاحه أو تدعيمه.

يشتمل هذا الباب على الأجزاء الأربعة التالية :

الجزء الأول : تقييم حالة المنشأ وتحديد متطلبات التدعيم

ويتناول أسباب ظهور العيوب بالمنشآت الخرسانية وكيفية تقييمها (بند ٤-١-٣-٢). وأسس تحديد مقدار التدعيم والإصلاح المطلوبة (بند ٤-١-٤).

الجزء الثانى : أسس الاختيار والمفاضلة بين مواد وأنظمة تدعيم وإصلاح المنشآت

يتناول أسس الاختيار والمفاضلة بين مواد تدعيم وإصلاح المنشآت والأنظمة الخاصة بها (بند ٤-٢-٢) وكذلك تصنيف أعمال التدعيم بأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف المطبقة خارجياً (بند ٤-٢-٣).

الجزء الثالث : تصميم أعمال تدعيم وإصلاح المنشآت بطريقة حالات الحدود

يتناول هذا الجزء أسس تحقيق الأمان لأعمال تدعيم وإصلاح المنشآت وفقاً لمتطلبات حالة حد المقاومة القصوى فيتناول الفلسفة العامة وأسس التصميم (بند ٤-٣-١) ، وطريقة حالات الحدود (بند ٤-٣-٢) وستشمل على حساب المقاومة القصوى للقطاعات الخرسانية المدعمة بأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف لمقاومة عزوم الإنحناء (بند ٤-٣-٢-١) ولمقاومة قوى القص وعزوم اللى (بند ٤-٣-٢-٢) , وكذلك القطاعات الخرسانية المدعمة لمقاومة الضغط أو قوى الشد المحورية وتحسين ممطوليتها (بند ٤-٣-٢-٣) . كما يتناول أسس تحقيق أعمال التدعيم وإصلاح المنشآت لمتطلبات حالات حدود التشغيل (بند ٤-٣-٣).

الجزء الرابع : اشتراطات تنفيذ أعمال الإصلاح والتدعيم

يتناول هذا الجزء البنود المتعلقة بالإشتراطات الخاصة بأعمال تركيب ولصق مواد التدعيم والإصلاح والمعدات اللازمة لذلك (بند ٤-٤-١) ، والإشتراطات اللازم توافرها فى القائمين على أعمال التدعيم شاملة المقاولين والمهندسين والفنيين (بند ٤-٤-٢) . كما يتناول الإشتراطات الخاصة بأعمال التفتيش والتقييم وقبول أعمال التدعيم والإصلاح شاملة متطلبات تأكيد الجودة (بند ٤-٤-٣) . ويتعرض الباب كذلك للصيانة والرصد الدورى لأعمال الإصلاح والتدعيم وكذلك إصلاح أعمال التدعيم والإصلاح بإستخدام هذه الأنظمة (بند ٤-٤-٤).

الجزء الأول : ٤-١ تقييم حالة المنشأ وتحديد متطلبات التدعيم

٤-١-١ عام

يجب أن تشتمل أعمال التقييم وتحديد الكفاءة الإنشائية واحتياجات التدعيم للمنشأ على إجراء الخطوات الآتية :

أ - تحديد مسببات العيوب الحادثة بالمنشأ وذلك بدراسة كافة المسببات التى ترتب عليها حدوث تلك العيوب بالمنشأ والإحتمالات المستقبلية لإستمرار تلك المسببات.

ب - تقييم مقدار أمان ومتانة المنشأ بناء على دراسة إنشائية واختبارات متكاملة وفقاً لمتطلبات المشروع والتى تحدد مدى إستيفاء المنشأ للكود المصرى للخرسانة المسلحة.

جـ- تحديد متطلبات التدعيم والإصلاح.

يشترط أن يقوم بأعمال التقييم وتحديد احتياجات التدعيم للمنشآت مهندسون نقابيون ذوى خبرة كافية فى مجالات الهندسة الإنشائية كما يشترط أن يتم تنفيذ أعمال الإصلاح والتدعيم بواسطة مقاولين متخصصين فى هذا المجال وفقاً للوائح والقوانين المنظمة.

٤-١-٢ تعريفات :

- **إعادة التأهيل Rehabilitation والترميم Restoration** : تجرى للعناصر المتضررة نتيجة مؤثرات سلبية نتج عنها بعض التداعيات التى أثرت بالسلب على كفاءة العنصر وجساءته. وتهدف أعمال إعادة التأهيل أو الترميم إلى إستعادة العنصر لمقاومته التصميمية للأحمال وكفاءته فى منع التشكلات والترخيمات المعيبة وضمان المتانة مع الزمن.

- **التدعيم والتقوية Strengthening** : تهدف إلى رفع مقاومة العنصر للأحمال وتحسين طبيعة انهياره وزيادة جساءته ، وذلك نتيجة لتغير في الأحمال المعرض لها المنشأ نتيجة تغير استخدام المنشأ أو تغير في متطلبات الكود أو عوامل أخرى تتطلب إجراء التقوية.

- **الإصلاح Repair** : تجرى للعناصر المتضررة نتيجة مؤثرات سلبية نتج عنها عدم استيفاء العنصر لمتطلبات الأمان وحسن الاستخدام والمتانة وفقاً لاشتراطات الكود المصري للخرسانة المسلحة . وتهدف أعمال الإصلاح إلى استعادة العنصر لمقاومته التصميمية للأحمال وكفاءته في منع التشكلات والترخيمات المعيبة وضمان المتانة مع الزمن.

- **التأهيل Retrofitting** : تهدف إلى إكساب المنشأ أو العنصر خصائص لا يتصف بها لأنها لم تؤخذ في الاعتبار عند التصميم الأصلي للمنشأ وتنفيذه ، كحالة حدوث تغير في الكودات أو إضافة متطلبات للتصميم لم تكن موجودة سابقاً ، أو متطلبات تصميمية إضافية للمشروع.

٤-١-٣ العيوب المحتملة بالمنشآت الخرسانية وأسبابها
CAUSES OF DETERIORATION AND DISTRESS

يختص هذا البند بتقديم الأسباب الأكثر شيوعاً وراء حدوث العيوب بالمنشآت الخرسانية المسلحة وذلك على مستوى المنشأ كوحدة متكاملة أو بالعناصر الإنشائية المختلفة وكيفية تقييم هذه العيوب فنيا

٤-١-٣-١ العيوب المحتملة بالمنشآت الخرسانية :

يمكن تقسيم العيوب في المنشآت الخرسانية إلى القسمين الرئيسيين التاليين :

- القسم الأول يتمثل فى عيوب في المنشأ ككل كوحدة متكاملة تؤثر بالسلب في أمان المنشأ وتحمله وسلامته ومقاومته القصوى : مثل انهيار كلى أو جزئي للعناصر الإنشائية الهامة أو عدم اتزان أو هبوط رأسي معيب أو ميل أو انزلاق أو فرق هبوط أو دوران أو التواء غير مقبول أو حدوث شروخ واضحة معيبة أو فقد الثبات أو عيوب تتعلق بالصلاحية أو اهتزازات معيبة.

- القسم الثاني يتمثل فى عيوب على مستوى العناصر الإنشائية من أساسات وميدات وأعمدة وحوائط وكمرات وبلاطات وأسقف سواء على هيئة تفتت أو تآكل أو تساقط أو تصدع أو

تشققات أو انتفاخ أو تعشيش بالخرسانة أو صدأ بصلب التسليح أو تشكل أو ترخيم معيب للعناصر المعرضة للانحناء أو انبعاج بالعناصر المعرضة للضغط مع ظهور شروخ معيبة لها اتجاهات واتساعات مختلفة غير مقبولة أو سقوط الغطاء الخرساني أو تهشم في بعض الأجزاء بالعناصر أو انهيارات جزئية أو كلية.

٤-١-٣-٢ أسباب ظهور العيوب بالمنشآت الخرسانية

يرجع ظهور العيوب بالمنشآت الخرسانية إلى العديد من الأسباب والتي يكون تأثيرها إما منفرداً أو مجتمعاً ، ويذكر منها عن سبيل المثال وليس الحصر الأسباب التالية :

١ – القصور في التربة.

٢ – القصور في التفاصيل الإنشائية.

٣ – القصور في خصائص المواد.

٤ – القصور في التنفيذ.

٥ – القصور في الصيانة.

٦ – التعليات والتعديلات غير المدروسة.

٧ – الكوارث غير المتوقعة.

ويشترط عند إجراء التقييم الإنشائي لدراسة أمان ومتانة المنشآت أن يتم دراسة هذه العوامل وتأثيراتها منفردة ومجتمعة على أمان وحسن استخدام المنشأ.

٤-١-٤ التقييم الإنشائي وتحديد متطلبات التدعيم

CONDITION SURVEY, STRUCTURAL EVALUATION AND STRENGTHENING DEMANDS

يتم تقييم الحالة الإنشائية للمنشآت الخرسانية من خلال دراسة الحالة الإنشائية حتى يمكن الحكم الفني السليم على المنشأ محل الدراسة وعمل تقرير فني لتوصيف الحالة الإنشائية وتحديد احتياجات التدعيم والإصلاح . ويتوقف حجم الدراسات والاختبارات والتحاليل اللازمة لتحديد حالة منشأ ظهر به عيب أو تصدع على نوعية هذا العيب واحتمالات مسبباته . ويلزم إعداد تقرير فني عن حالة المنشأ يشتمل على الأعمال التالية والتي يتم بناء عليها اتخاذ القرار الإنشائي المناسب بالتدخل بالعلاج المناسب من حيث طرقة ومواده واقتصادياته وحتى يؤدى المنشأ وظيفته بكفاءة خلال عمره الافتراضي أو اتخاذ قرار الهدم الجزئي أو الكلى.

٤-١-٤-١ معلومات عن المنشأ

وتشمل جمع كل المعلومات الممكنة عن المنشأ لتكوين خلفية فنية عن المنشأ ووضعه.

٤-١-٤-٢ الفحص البصري الظاهري وتسجيل العيوب الظاهرة

يتم عمل فحص مبدئي للمنشأ محل الدراسة ككل وللعناصر بالأدوار المختلفة على كامل مسطح كل دور مع تدوين الملاحظات واجراء بعض الاختبارات المبدئية البسيطة والذي يتم بناء عليها وضع احتمالات مبدئية لأسباب العيوب ويتم اقتراح الأماكن المطلوب الكشف عليها وأماكن ونوعيات الاختبارات المطلوبة للتشخيص الدقيق للحالة.

٤-١-٤-٣ المسح الشامل والاختبارات الفنية

في حالة المسح الشامل يجب أن يتم فحص الهيكل الإنشائي وتحدد المناطق المطلوب الكشف عليها والاختبارات المطلوبة من اختبارات غير متلفة واختبارات القلب الخرساني والقياسات التي ستجرى على العناصر ورفع الشروخ (تركيب أجهزة قياس حركة الشروخ أو قياسها بالوسائل اليدوية – إن لزم) وتركيب أجهزة رصد حركة المنشأ (إذا تطلب الأمر) لتحديد أسباب العيوب الموجودة والحكم على سلامة المنشأ واقتراح طرق التدخل الإنشائي من إصلاح أو تدعيم أو خلافه. وقد يشمل المسح الشامل الكشف على الأساسات وقياس أبعادها والتأكد من تسليحها ومستوى تنفيذها وعمل جسات للتربة في حالة ظهور عيوب تشير إلى وجود قصور بالتربة أو الأساسات وقد يشمل فحص الهيكل الإنشائي بقياس مقاومة الخرسانة وتحليل الخرسانة المتصلدة لتحديد نسب الأملاح مثل الكلوريدات والكبريتات ونسبة الأسمنت في الخلطة الخرسانية وقد يشمل اختبارات الصدأ مثل قياس سمك الغطاء الخرساني ودرجة الكربنة وقطر الأسياخ ونشاط الصدأ كما قد يتم اللجوء إلى اختبارات التحميل لتحديد قدرة العناصر الإنشائية كالبلاطات والكمرات في حالة تغير أبعادها أو تسليحها عن اللوحات التصميمية أو في حالة تصدعها.

٤-١-٤-٤ التحليل الإنشائي للمنشأ

أ – إجراء تحليل إنشائي كامل للمنشأ في حالته الفعلية الحالية مع الأخذ في الاعتبار الأحمال الفعلية المؤثرة عليه وكافة التصدعات والتشرخات أو أي مؤثرات سلبية أخرى والتي قد ينتج عن وجودها إحداث تغيير في النظام الإنشائي للمنشأ عن النظام الإنشائي الأصلي

لتحديد أي تغير في توزيعات أو مسارات الأحمال والتأكد من عدم تجاوز القوى الداخلية في جميع العناصر لمتطلبات الأمان وحسن الاستخدام وفقاً للكود المصري للخرسانة المسلحة. فقد يؤدى تصدع أحد العناصر بالمنشأ إلى تأثيرات على العناصر الأخرى نتيجة تغيير النظام الإنشائي ومسارات الأحمال مما قد يسبب تجاوز الإجهادات بها معاملات الأمان وقد يستلزم الأمر تدعيم هذه العناصر القائمة.

ب – يجب إجراء تحليل إنشائي للمنشأ بعد أعمال الإصلاح أو التقوية أو إعادة التأهيل المقترحة بهدف التحقق من اتزان المنشأ كوحدة واحدة وسلامة وكفاءة النظام الإنشائي المتكامل وكذلك استيفاء كل عنصر من عناصره لمتطلبات الكود المصري للخرسانة المسلحة في كل حالة من حالات الحدود (حالة حد المقاومة القصوى – حالة عدم الاستقرار – حالات حدود التشغيل وحد التشرخ وحد الترخيم وحد الاهتزاز غير المقبول) وبمعامل أمان كاف يضمن أن يقاوم جميع الأحمال والتأثيرات التي يمكن أن يتعرض لها سواء أثناء مرحلة التشغيل وكذا لأي من الحالات الحرجة التي يصبح فيها المنشأ غير صالح للاستخدام وأن يتحمل المنشأ الظروف المحيطة به.

٤-١-٤-٥ تحديد متطلبات التدعيم والإصلاح

يتم تحديد متطلبات التدعيم والإصلاح وفقاً لنتائج التحليل الإنشائي السابق وتعيين مقدار رفع الكفاءة المطلوب لكل عنصر . ويتم المفاضلة بين أساليب التدعيم أو الإصلاح المتاحة واختيار الأسلوب الأنسب وفقاً للجزء الثاني من هذا الباب.

٤-١-٤-٦ إعداد تقرير التقييم الإنشائي

يتم إعداد تقرير فني بحالة المنشأ بناء على المعاينة والفحص الظاهرى وكذلك الاختبارات الحقلية والمعملية التي تم إجراؤها ونتائج التحليل الإنشائي للمنشأ ، ويحتوى التقرير على التوصيات الخاصة بكفاءة المنشأ وجميع عناصره أو احتياج التدعيم لبعض عناصره وتعيين مقدار التدعيم المطلوب لها، والتي يتم تعيينها وفقاً للبند السابق ٤-١-٤-٤ .

الجزء الثانى :(٤-٢) أسس الاختيار والمفاضلة بين مواد وأنظمة تدعيم وإصلاح المنشآت

٤-٢-١ اعتبارات عامة

يتناول هذا الجزء أسس المفاضلة بين مواد وأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف FRP لاستخدامها في تدعيم أو إصلاح المنشآت الخرسانية وذلك بهدف أن يقوم المهندس الاستشاري المصمم باختيار أفضل هذه المواد والأنظمة المتاحة من حيث كفاءتها ومناسبتها لهذا التطبيق تحديدا.

وتستخدم لأعمال تدعيم وإصلاح المنشآت العديد من الأنظمة منها الأساليب الاعتيادية التي تستخدم فيها للإصلاح مواد التشييد الاعتيادية كالخرسانة المسلحة والصلب ومنها ما يستخدم فيه أنظمة المواد المستحدثة من البوليمرات المسلحة بالألياف أو طرق تعتمد على المزج بينهما.

ويجب الإشارة إلى أن أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف قد لا تصلح لجميع حالات التدعيم أو الإصلاح للعناصر الخرسانية، ويتوقف صلاحيتها على العديد من العوامل منها ما يتعلق بخصائص المواد المستخدمة ومنها ما يتعلق بالعوامل البيئية التي قد تؤثر سلبيا على تحمل تلك الأنظمة مع الزمن والأخرى قد تتعلق بطبيعة وحالة العنصر المراد تدعيمه أو إصلاحه وحدود التدعيم القصوى المسموح بها عند استخدام FRP . ففي هذه الحالات التي لا يصلح فيها استخدام مواد البوليمر المسلح بالألياف يتخذ القرار بالتدعيم أو الإصلاح بالطرق الاعتيادية التقليدية أو بأنظمة مختلطة من الأساليب التقليدية والبوليمرات المسلحة بالألياف معا، ولا يختص هذا الكود بتقديم الاشتراطات الخاصة بهاتين الحالتين.

في الحالات التي يمكن فيها التدعيم باستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف فانه يجب إجراء مفاضلة لاختيار المواد والأنظمة المناسبة لهذا التطبيق بصفة خاصة على النحو التالي:

أولا : اختيار مواد البوليمرات المسلحة بالألياف المناسبة لهذا التطبيق : يتم ذلك بناء على خصائص المواد المختلفة ومميزات وعيوب كل مادة من حيث خواصها الميكانيكية والفيزيقية والكيمائية (الباب الثاني) ودرجة تحملها مع الزمن (الباب الثالث)، وذلك بهدف اختيار أنسب المواد لتدعيم العنصر المطلوب تبعا لوضع هذا العنصر في المنشأ والأحمال المعرض لها (أحمال دائمة،أحمال ديناميكية) وكذلك ظروف التعرض الخارجية

الجوية والبيئية (حرارة، رطوبة، أملاح، قلويات) حيث تملى خواص المادة ومميزاتها وعيوبها مدى مناسبتها أو عدم مناسبتها لهذا التطبيق .

ثانيا : اختيار نظام البوليمر المسلح بالألياف المناسب، من بين الأنظمة المختلفة: ويشترط استخدام نظام بكامل مشتملاته من نفس المصدر المورد لضمان تمام التجانس الكيميائي والميكانيكي والفيزيقي. وتتحكم في اختيار النظام المناسب عدة عوامل واعتبارات مثل :

١ - خصائص العنصر المراد تدعيمه.
٢ - خصائص نظام البوليمر المسلح بالألياف حسب توصيات الجهة الموردة.
٣ - اشتراطات التصميم ومقدار رفع الكفاءة المطلوب تحقيقه.
٤ - مستوى ضبط الجودة المطلوب أثناء التنفيذ ومدى إمكانية تحقيقه بالموقع.
٥ - ظروف العمل بالموقع والجدول الزمني المطلوب للتنفيذ.
٦ - تكلفة النظام المقترح ومدى ملاءمته لاقتصاديات المشروع.
٧ - مدى توافر النظام المقترح من حيث التوريد والعمالة المدربة وأساليب ضبط الجودة.

ويتناول هذا الجزء أسس المفاضلة والاختيار لمواد وأنظمة التدعيم من FRP محددة الخواص في الوقت الحالي والموضحه بالباب الثانى وهذه الأنظمة يتم تطويرها بصفة مستمرة من خلال تطوير وتحسين خواص وسلوك تلك المواد و اختبارها إنشائيا. أما بالنسبة لتلك الأنظمة و التركيبات من الألياف و الراتنجات غير المختبرة فهي تعطى خواص مختلفة ومتباينة كما تؤدى أيضا إلى مواد غير متوافقة وغير متوائمة. وعلى ذلك فانه يشترط في حالة استخدام أي نظام للبوليمرات المسلحة بالألياف FRP أن تتوفر عنه نتائج اختبارات كافية تبين السلوك الجيد للنظام الكلى في تطبيقات و استخدامات مماثلة و مشتملة على طريقة و أسلوب الاستخدام. ويشترط كذلك استخدام نظام متكامل معلوم المصدر لضمان تمام تجانسه وتوائمه فيزيائيا وكيميائيا. على أن يتم إجراء اختبارات ضبط الجودة اللازمة على المواد و أعمال التدعيم وفقا للباب الثاني من الكود.

٤-٢-٢ اختيار مواد التدعيم و الإصلاح

يتم اختيار مواد التدعيم بعد الرجوع إلى الباب الثاني لتحديد الخواص الفيزيائية والكيميائية للألياف والبوليمر والبوليمرات المسلحة بالألياف، وكذلك يرجع للباب الثالث لمعرفة

خواص المقاومة مع الزمن والعوامل البيئية الخارجية (الديمومة) لهذه المواد. ويمكن الاستعانة بالارشادات المقدمة في الجدول ٤-١ لاختيار المادة المناسبة لبعض الحالات وفقا لظروف التعرض أو التحميل للعنصر المراد تدعيمه أو إصلاحه.

جدول رقم (٤-١) : اختيارات استرشادية لنوع الألياف وفقا لظروف التعرض والتحميل

ظروف التعرض	زجاج-E	ارامید	كربون
المنشأ معرض لزيادة في الاجهادات أقل من ٢٥% من مقاومة الشد القصوى	✓		
المنشأ معرض لزيادة في الاجهادات بين ٢٥ إلى ٤٠ % من مقاومة الشد القصوى			✓
تحت الماء- سواء مغمور كليا أو معرض للبلل باستمرار			✓
تحت الماء - منطقة التعرض للرزاز في المنطقة الانتقالية فوق سطح الماء Splash Zone			✓
حالات التدعيم لزيادة المقاومة القصوى Strength Applications	✓		✓
حالات التدعيم لزيادة الجساءة Stiffness Applications			✓
تحت الأرض - تعرض لدورات متكررة من البلل و الجفاف	✓		✓
حالات أحمال الصدم الشديدة		✓	
حالات التوصيلية الكهربية و احتياطات حدوث خلية كهربية	✓		
الخرسانة الطازجة- التطبيقات الداخلية و الخارجية			✓
الظروف عالية القلوية ذات أس هيدروجيني pH 9.5 – 13.5			✓
الظروف عالية الحامضية ذات أس هيدروجيني pH 2.0 - 7.0	✓		
الاجهادات المنخفضة مع دورات كلال عالية	✓		
الاجهادات المرتفعة مع دورات كلال عالية			✓

٤-٢-٣ تصنيف أعمال التدعيم

تصنف أعمال التدعيم إلى قسمين رئيسيين : الأول يعتمد على تحقيق تماسك كامل بين الخرسانة ومواد التدعيم وينطبق هذا على التدعيم لرفع كفاءة العنصر في تحمل عزوم الانحناء أو مقاومة الشد أو القص Bond Critical Applications . والنوع الآخر يعتمد على وجود تلامس كامل للسطح بدون أي فراغات فيما بينهم وينطبق ذلك على حالة تدعيم الأعمدة Contact Critical Applications.

٤-٢-٣-١ التطبيقات المعتمدة على التماسك مع السطح

BOND CRITICAL APPLICATIONS

تعتمد تلك التطبيقات على ضمان تحقق تماسك كامل بين الخرسانة ومواد التدعيم وتمثل مقاومة الخرسانة (رتبة الخرسانة) والمتضمنة مقاومة عزوم الانحناء ومقاومة القص ومقاومة الشد العامل الرئيسي لتحقيق متطلبات وكفاءة التدعيم والإصلاح لتلك النوعيات. ولضمان كفاءة نظم FRP لابد من وجود مقاومة شد مباشر ومقاومة قص جيدة بين مواد التدعيم والخرسانة . ويشترط لتحقيق ذلك أن لا تقل المقاومة المميزة للضغط للخرسانة عن ٢٠ ن/مم^{٢} ، ومقاومة الشد الناتجة من اختبار الانتزاع للسطح pull -off adhesion test عن قيمة ١,٥ ن/مم^{٢} . وفى حالة عدم تحقق هذه القيمة للسطح المختبر، يتم إزالة الطبقة السطحية الضعيفة حتى يتم الوصول إلى طبقة قوية تستوفي الشرط السابق، ويجب أن يتم معالجة السطح المزمع اللصق عليه طبقا للتوصيات المدرجة بالجزء الرابع من هذا الباب ثم إجراء اختبار آخر للسطح بعد المعالجة. وإذا تعذر تحقيق الشرط السابق فانه من المحتمل أن لا يكون من الممكن عمل تدعيم لهذا العنصر باللصق السطحي، ولكن في بعض الحالات يمكن السماح بإجراء التدعيم في حالة قيام المهندس الاستشاري المصمم باقتراح حلول بديلة مثل عمل تثبيت لتلك الرقائق بواسطة وسائل تثبيت معتمدة مع ضرورة تقديمه ما يثبت كفاءة النظام المقترح تحليليا وحسابيا وبواسطة اختبارات معملية مؤكدة.

٤-٢-٣-٢ التطبيقات المعتمدة على الملامسة للسطح

CONTACT CRITICAL APPLICATIONS

تعتمد هذه التطبيقات على وجود تلامس كامل بين سطح الخرسانة ونظام التدعيم وينطبق ذلك على حالة تدعيم الأعمدة عن طريق إحاطة الأعمدة جانبيا CONFINEMENT لرفع كفاءتها

لتحمل قوى الضغط المحوري. وزيادة ممطوليتها . وعلى ذلك فان عملية إعداد السطح يجب أن تضمن تحقيق تلامسا كاملا مستمرا بين سطح الخرسانة و نظام FRP فوجود أي فراغات أو نتوءات سوف تؤثر سلبيا بدرجة كبيرة على كفاءة التدعيم . يجب ملء الفراغات الكبيرة على السطح بمادة إصلاح مناسبة للخرسانة وإزالة أي نتوءات وكذلك إزالة المواد ذات المقاومة المنخفضة أو معاير المرونة المنخفض مثل Plaster والتي من الممكن أن تقلل من كفاءة نظام FRP .

فى هذه التطبيقات المعتمدة على الملامسة لا تنطبق الاشتراطات المنصوص عليها بالبند السابق ٤-٢-٣-١ والخاصة بمقاومة الخرسانة في الضغط والشد والقص، وبالتالي لا يحتاج الأمر إلى إجراء اختبار الانتزاع لأسطح الخرسانة بالنسبة لهذه التطبيقات.

٤-٢-٤ أنظمة التدعيم والإصلاح بالبوليمرات المسلحة بالألياف

توجد عدة طرق للتدعيم بأنظمة FRP والتي يمكن تلخيصها كالآتي:

أ - الأنظمة باللصق على أسطح العنصر :

- نظم استخدام النسيج والرقائق المعالجة بالموقع FRP sheets (بند ٤-٢-٤-١)
- نظم استخدام العناصر الجاهزة وسابقة التصنيع (بند ٤-٢-٤-٢) FRP prefabricated elements.
- أنظمة خاصة مثل اللف الآلي و سبق الإجهاد وخلافه (بند ٤-٢-٤-٣) Special systems, e.g. automated wrapping, prestressing etc...

ب - الأنظمة المطبقة داخل شقوق قريبة من السطح

Near Surface Mounted Systems NSMS

يتم ذلك عن طريق وضع رقائق أو قضبان البوليمرات المسلحة بالألياف وتثبيتها باللواصق داخل شقوق يتم عملها قريبا من السطح الخارجي للعنصر الخرساني.

٤-٢-٤-١ نظم استخدام النسيج والرقائق المعالجة بالموقع FRP sheets

يرد نسيج البوليمرات المسلحة بالألياف والتي تستخدم وتعالج بالموقع في الصور التالية :

١ - نسيج جاف من الألياف أحادية أو متعدد الاتجاهات. ويتم استخدام نسيج الألياف الجافة بوضع نسيج الألياف في الاتجاه المحدد وفقا لمتطلبات التصميم ليغطى العنصر الإنشائي أما كليا أو جزئيا. ويتطلب تطبيق النسيج فوق السطح الخرساني التشبيع بالراتنج . وتوجد طريقتان مختلفتان لاستخدام النسيج كما يلي:

أ - فرش النسيج الجاف (Dry Lay-up) :

يتم فرش النسيج وهو جاف (غير مشبع) مباشرة فوق سطح الخرسانة الذي قد تم دهانه بالراتنج ، ثم يتم دهان النسيج بالراتنج لضمان التشبع الكامل للألياف.

ب - فرش النسيج الرطب Wet Lay-up :

يتم تشبيع النسيج بالراتنج أولا في ماكينة التشبيع أو يدويا فى المشروعات الصغيرة ثم يتم تطبيقه و هو رطب(مشبع) على السطح الخرساني.

٢ - نسيج سابق التشبيع براتنج غير مكتمل المعالجة الغير متصلد pre-impregnated أحادى أو متعدد الاتجاهات.

يوضع في الاتجاه المحدد وفقا لمتطلبات التصميم وقد يتطلب التطبيق أضافه المزيد من الراتنج في حالة الحاجة إلى ذلك .

٣ - رقائق الألياف الجافة أحادية الاتجاه و المستمرة و التي تلف أو تطبق ميكانيكيا على سطح الخرسانة ويتم وضع الراتنج على الألياف أثناء عملية اللف والتطبيق.

٤ - رقائق الألياف السابقة التشبع بالراتنج والتي تلف أو تطبق ميكانيكيا على سطح الخرسانة ويتم وضع مزيد من الراتنج على الألياف أثناء عملية اللف والتطبيق في حالة الحاجة إلى ذلك.

٤-٢-٤-٢ نظم استخدام العناصر الجاهزة وسابقة التصنيع FRP prefabricated elements

تشتمل المنتجات سابقة التصنيع من البوليمرات المسلحة بالألياف والتي يمكن استخدامها سطحيا بلصقها على العناصر الخرسانية على شكل رقائق سابقة التصنيع والمعالجة بالمصنع أو

قضبان أو شبكات من القضبان كما تشتمل على قطاعات إنشائية ذات أشكال مختلفة (مثل الزوايا أو قطاعات **L, I, T**) والتي يمكن تثبيتها على العنصر المزمع تدعيمه وهذه المنتجات يتم تصنعيها في الغالب بطريقة السحب Pultrusion.

٤-٢-٤-٣ بعض أنظمة الاستخدام الخاصة

يوجد العديد من الأنظمة الخاصة منها :

١ - أسلوب اللف الآلى AUTOMATED WRAPPING

حيث يتم لف مستمر لأنسجة الألياف المشبعة بزاوية مائلة قليلا حول الأعمدة أو المنشآت الأخرى مثل المداخن بواسطة إنسان آلي (روبوت). و يتميز هذا الأسلوب بسرعة التنفيذ إلي جانب مستوى جيد لمراقبة الجودة.

٢ - أسلوب سبق الإجهاد PRESTRESSED FRP

في بعض الأحوال قد يكون من المفيد لصق التسليح الخارجي من البوليمرات المسلحة بالألياف على سطح الخرسانة وهى في حالة سبق للإجهاد. وتعطي أعمال سبق إجهاد الرقائق مميزات مشابهة لتلك التي يمكن تحقيقها بواسطة استخدام الأساليب المعتادة لسبق إجهاد العناصر الخرسانية

٣ - أسلوب المعالجة السريعة بالموقع بواسطة وحدة التسخين IN-SITU FAST CURING USING HEATING DEVICE

يستخدم في هذا النظام أجهزة تسخين خاصة لمرور تيار كهربي من خلال أو عبر الرقائق. وتستخدم هذه الطريقة في المناطق الباردة والمعرضة لدرجات الحرارة المنخفضة حيث يمكن تقليل الزمن اللازم للمعالجة علي البارد. كما يمكن التنفيذ في الأجواء ذات درجات الحرارة المرتفعة وتشتمل الأنظمة الحرارية المختلفة التي يمكن استخدامها على السخانات الكهربية والأشعة تحت الحمراء (Infrared) والبطاطين الحرارية .

٤ - البوليمرات المسلحة بالألياف المشبعة بالتفريغ
FRP IMPREGNATION BY VACUUM

يتوافق هذا النظام مع نظام التطبيق بفرش النسيج الرطب. يسبق التطبيق معالجة العنصر الخرساني بنفس الأسلوب المعتاد فيتم تنظيف السطح بعناية ووضع البرايمر ثم توضع الألياف في الاتجاهات المعدة من قبل، ولكن لابد من وجود قنوات بالأنسجة والرقائق لمساعدة الراتنج على السريان، أو باستخدام مواد خاصة لعمل فراغات بين الألياف . ويتم وضع شنطة التفريغ على السطح العلوي للألياف التي يوجد بها فتحتان تعمل إحداهما على عمل ضغط التفريغ والأخرى كمدخل لحقن الراتنج ثم يتم التأثير عليها بضغط التفريغ .

٤-٢-٥ اختيار أنظمة التدعيم والإصلاح بالبوليمرات المسلحة بالألياف.

يتم اختيار أنسب الأنظمة للتدعيم من بين الأنظمة المعطاة في البند ٤-٢-٤ وفقا لما جاء في الاعتبارات العامة (بند ٤-٢-١) . ويعطى جدول ٤-٢ بيانات استرشادية لاختيار الأنظمة ونوع الألياف المناسبة لمجالات التطبيقات المختلفة .

جدول رقم (٤-٢) : ارشادات لكيفية اختيار أنظمة ومواد FRP وفقا لمجالات التطبيق

مجال تطبيق أعمال التدعيم		الألياف الملتصقة خارجيا			
		نظام ألياف	نظام ألياف	نظام ألياف	العناصر الجاهزة السابقة الصنع
		الاراميد	الزجاج	الكربون	رقائق كربون
الكمرات	العزوم		B	B	A
	القص		B	A	B
	حدود التشغيل		C	B	A
البلاطات	العزوم		B	B	A
	القص		B	A	C
	حدود التشغيل		C	B	A
الأعمدة	العزوم		B	A	B
	الضغط		B	A	B
	القص		B	A	B
	الصدم	A	A	B	C
	الزلازل		A	B	C
	حدود التشغيل		B	A	B
الحوائط	العزوم		B	B	A
	القص		B	A	C
	الصدم	A	A	B	C
	الزلازل		A	B	B
	الانفجارات	A	B	A	B
	حدود التشغيل		B	B	A

A = أفضل أسلوب | B = أسلوب مقبول | C = أسلوب غير مقبول

الجزء الثالث: (٤-٣) تصميم أعمال تدعيم وإصلاح المنشآت بطريقة حالات الحدود

٤-٣- ١ اعتبارات عامة للتصميم

GENERAL DESIGN CONSIDERATIONS

أ - يتناول هذا الجزء كيفية تحقيق البنود الأساسية في تصميم أعمال إصلاح وتدعيم المنشات باستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف بطريقة حالات الحدود . وهى الحالات التي تضمن أمانا كافيا ضد الانهيار نتيجة لوصول القطاع إلى حد المقاومة القصوى طبقا لما سوف يرد في البند ٤-٣-٢ مع استيفاء كافة متطلبات التشغيل طبقا للشروط الواردة في البند ٤-٣-٣ مع الأخذ في الاعتبار الخصائص الميكانيكية للبوليمرات المسلحة بالألياف وفقا للباب/الثاني واعتبارات التحمل مع الزمن الواردة بالباب الثالث من هذا الكود , مع ضمان استيفاء أسس واشتراطات التصميم المنصوص عليها في الكود المصري لتصميم واشتراطات تنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة فيما لا يتعارض مع المتطلبات المنصوص عليها في هذا الكود.

ب - يقتصر هذا الجزء فقط على حالات التدعيم وإصلاح المنشآت باستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف الملصوقة على السطح الخارجي للعنصر المراد تدعيمه .

جـ- ترتكز أسس التدعيم باستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف على الحالات التي تكون فيها الألياف معرضة لاجهادات الشد فقط وبالتالي يجب عدم استخدامها لمقاومة إجهادات الضغط. ولكن من الممكن استخدامها في حالات تعرضها لاجهادات متغيرة من شد إلى ضغط على انه في مثل تلك الحالات تهمل مقاومتها لأي إجهادات ضغط قد تتعرض لها.

د - تستخدم أنظمة FRP بكفاءة لإصلاح وتدعيم ورفع كفاءة العناصر الإنشائية لمقاومة عزوم الانحناء (بند٤-٣-٢-١) وقوى الشد (بند ٤-٣-٢-٣) عن طريق وضع الألياف في اتجاه محور العنصر وقوى القص (بند ٤-٣-٢-٢) وكذلك زيادة المقاومة القصوى و ممطولية العناصر المعرضة لقوى ضغط عن طريق إحاطة قطاع العنصر بألياف FRP (بند ٤-٣-٢-٣). وتعتبر أنظمة FRP المبينة في الجزء الثاني من هذا الباب غير فعالة في حالات التدعيم لمقاومة القص الثاقب أو الارتكاز . ولهذه الحالات يمكن استخدام أنظمة FRP مرادفة بشرط تقديم ما يثبت فاعليتها من خلال دراسات معتمدة وبعد إجراء اختبارات تأكيد فاعليتها عند التطبيق.

هـ تعتبر أنظمة FRP ذات فاعلية كبيرة فى مجال إصلاح وتدعيم المنشآت في مقاومتها لأحمال الزلازل وخصوصا فيما يتعلق بزيادة ممطولية الأعمدة وزيادة قدرة تحمل الخرسانة لقوي

القص عن طريق إحاطة قطاع العمود بالياف FRP بحيث توجة الالياف فى الاتجاه العمودى على محور العمود (بند ٤-٣-٢- ٣) . على انه يجب التأكد في حالة تدعيم الإطارات المطيلة عدم تحول انهيار كمرات تلك الإطارات من انهيار مطيل إلى انهيار قصفي في حالة استخدام FRP لرفع كفاءة المقاومة القصوى للعزوم لتلك الكمرات (بند ٤-٣-٢-١). كما يشترط التأكد من استيفاء كافة متطلبات الكود المصرى للخرسانة المسلحة فيما يتعلق بالإطارات المطيلة.

٤-٣-١-١ الفلسفة العامة للتصميم Design Philosophy

يتم تصميم كافة أعمال التدعيم باستخدام نظرية حالات الحدود والتي تشتمل على استيفاء المتطلبات التالية:

١ - حالة حد المقاومة القصوى التي يضمن استيفائها تحقيق كافة متطلبات الأمان وتقييم طبيعة واحتمالات انهيار المنشأ بعد التدعيم. ويتم استيفاء ذلك باستخدام الأحمال القصوى المعطاة في الباب الثالث من الكود المصري للخرسانة المسلحة وفقا للاشتراطات الخاصة بذلك . وتؤخذ معاملات خفض المقاومة القصوى للخرسانة وصلب التسليح في حالات الإصلاح والتدعيم لمقاومة قوى القص والعناصر المعرضة لقوى ضغط أو شد وفقا للقيم المعطاة في الباب الثالث من الكود المصري للخرسانة المسلحة . أما في حالات العناصر المعرضة للعزوم فتؤخذ معاملات خفض المقاومة القصوى للخرسانة وصلب التسليح وفقا للقيم المعطاة في البند ٤-٣-٢-١-٧. كما تؤخذ معاملات خفض المقاومة لمواد FRP وفقا للقيم المعطاة في هذا الجزء والتي تتوقف قيمها على نوعية التطبيق و طبيعة الاستخدام وطبيعة الإنهيار وأهمية العنصر المدعم على أنه يجب اعتبار أن تلك القيم تمثل الحدود الدنيا المسموح باستخدامها والتي يمكن زيادة قيمتها وفقا لمتطلبات التدعيم الخاصة.

٢ - حالات حدود التشغيل وهى الحدود التي يؤثر تجاوزها سلبيا على استخدام ومتانة المنشأ المتمثل في ضمان عدم حدوث ترخيم أو تشرخات أو اهتزازات معيبة بناء على أسس استيفاء متطلبات حالات الحدود المنصوص عليها في الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة .

٣ - تحدد الخصائص والمقاومات القصوى للبوليمرات المسلحة بالألياف وفقا لما هو وارد في الباب الثاني مع الأخذ فى الاعتبار الاشتراطات الخاصة بالمتانة والتحمل مع الزمن الواردة في بند ٣-١٤-٣ في الباب الثالث .

٤-٣-١-٢ الحدود القصوى لقيم التدعيم المسموح بها

STRENGTHENING LIMITS

يشترط عند تصميم أعمال التدعيم وضع حدود قصوى لقيم التدعيم ورفع كفاءة العنصرالمسموح بها والتي تضمن عدم حدوث انهيار للمنشأ المدعم نتيجة لفقدان فاعلية أعمال التدعيم له كنتيجة لحدوث حريق (بند ٤-٣-١-٢- ٢) أو أعمال تخريب أو أي أسباب أخري تؤثر سلبيا على كفاءة أعمال التدعيم.

وقد يتحكم في قيم الحدود القصوى المسموح بها للتدعيم ضمان استيفاء العنصر الذي يتم تدعيمه لكافة متطلبات حدود المقاومة القصوى وحدود التشغيل وفقا للكود المصري للخرسانة المسلحة ومتطلبات البند ٤-٣- ١-٢-١ من هذا الكود.

٤-٣-١-٢-١ الحدود الفعالة للتدعيم

تحدد القيم المسموح بها لحدود التدعيم على اساس ضمان استيفاء المنشأ لكافة متطلبات حالة المقاومة القصوى وحالات حدود التشغيل لكافة عناصرة واجزاءة وفقا لمتطلبات الكود المصرى للخرسانة المسلحة وبشرط ان لاتتعدى تلك الحدود الحدود القصوى والخاصة بضمان الامان وعدم حدوث انهيار للمنشأ عند تعرضة للحريق والمعطاة فى البند ٤-٣-١-٢-٢

٤-٣-١-٢-٢ الحدود القصوى لقيم التدعيم وفقا لمتطلبات مقاومة الحريق

ترتكز فلسفة تحقيق الأمان للمنشأ المدعم باستخدام FRP في مقاومة التأثيرات السلبية للحريق على اعتبار إمكانية حدوث فقدان لأعمال التدعيم بالإضافة إلى بعض الأضرار الأخرى في المنشأ نتيجة الحريق ولكن دون أن يترتب على ذلك حدوث انهيار للمنشأ وذلك وفقا للأسس التالية:

١ - تفقد كافة أعمال التدعيم المعرضة للحريق فاعليتها نظرا لارتفاع درجة الحرارة المصاحبة للحرائق وانخفاض درجة الحرارة التي تفقد عندها البوليمرات قدرتها التماسكية (T_g تساوى ٦٠- ٨٢ درجة مئوية). مما يترتب علية عدم استطاعة تلك الأنظمة مقاومة

للحريق للفترات الزمنية المحددة في الكود المصري للحريق والكود المصري للخرسانة المسلحة و ذلك في حالة عدم إستخدام طرق فعالة لحماية و عزل أعمال التدعيم عند الحريق.

٢ - يتم تحقيق متطلبات الأمان وعدم حدوث انهيار للمنشأ في حالة عدم استخدام طرق لحماية وعزل أعمال التدعيم ضد الحريق أو عدم استخدام مواد لاصقة لها مقاومات فعالة للحريق على أساس استيفاء المقاومة القصوى للقطاع غير المدعم للحمل الأقصى المعطى في العلاقة ٤-١ وذلك بعد اخذ تأثير التخفيضات في مقاومة الخرسانة أو صلب التسليح كنتيجة للحريق كما يلي :

$$U = 1.2\ DL + 0.85\ LL \qquad (4\text{-}1)$$

حيث أن: DL = مجموع الأحمال الميتة

حيث أن: LL = مجموع الأحمال الحية

٣ - يتم تحقيق متطلبات الأمان في حالة استخدام طرق لحماية وعزل أعمال التدعيم ضد الحريق أو استخدام مواد لاصقة لها مقاومات للحريق على أساس استيفاء المقاومة القصوى للقطاع الحمل الأقصى المعطى في العلاقة ٤- ٢

$$U = DL + LL \qquad (4\text{-}2)$$

ويشترط في هذه الحالة أن يتم تحديد درجة فاعلية طرق العزل والمواد اللاصقة المقاومة للحريق على أساس تقارير معتمدة ونتائج اختبارات تأكد فاعلية تلك الطرق في زيادة مقاومة أنظمة FRP للحريق ومع ضرورة استيفاءهما الكامل لمتطلبات الكود المصري للحريق والكود المصري للخرسانة المسلحة .

٤ - يتم تحديد الحدود القصوى المسموح بها لتدعيم العناصر الإنشائية والتي تضمن تحقيق الأمان في حالة تعرض العنصر للحريق عن طريق استيفاء العلاقتين ٤-١&٢ السابقتين. ويستثنى من ذلك العناصر التي تم عزلها بطريقة أثبتت من خلال الاختبارات و الدراسات فاعليتها في عزل العنصر ضد الحريق و التي تضمن استيفاء العنصر لمتطلبات الأمان ضد الحريق في الكود المصري للخرسانة المسلحة و كذلك متطلبات كود الحريق وذلك خلال الفترة الزمنية المحددة في الكود التي من خلالها يحتفظ العنصر بكافة متطلبات

الأمان وعلى أن لا تقل ساعات مقاومة العنصر للحريق بعد التدعيم عن مرة ونصف عدد الساعات التي تم تصميم المنشأ على مقاومتها .

٥ - تمثل الحدود القصوى لقيم التدعيم وفقا لمتطلبات مقاومة الحريق أعلى قيم لحدود التدعيم مسموح بها.

٤-٣-٢ حالة حد المقاومة القصوى : أسس تحقيق الأمان لأعمال التدعيم والإصلاح

٤-٣-٢-١ التدعيم والإصلاح لعزوم الانحناء FLEXURE

٤-٣-٢-١-١ اشتراطات عامة

أ - يتم تصميم أعمال التدعيم والإصلاح للعناصر الخرسانية المسلحة لمقاومة عزوم الانحناء طبقا لنصوص هذا البند الذي يقدم أيضا تطبيق للمعادلات والمفاهيم المستخدمة في أعمال التدعيم والإصلاح لقطاعات مستطيلة مسلحة بصلب من ناحية الشد فقط ومدعمة بإضافة ألياف طولية من FRP ناحية الشد على انه يمكن تطبيق نفس المفاهيم على القطاعات غير المستطيلة وعلى العناصر التي تحتوي على صلب في منطقة الضغط . أما في حالة العناصر الخرسانية سابقة الإجهاد، فإنه يوصى باستخدام طريقة توافق الانفعالات مع الأخذ في الاعتبار الانفعال الواقع على العنصر لحظة التدعيم وذلك عند حساب مشاركة FRP في زيادة مقاومة العزوم. كما يجب الأخذ في الاعتبار حالة انهيار إضافية ناتجة عن الكسر في صلب سبق الإجهاد.

ب - عند استخدام FRP لزيادة مقاومة العناصر الخرسانية للعزوم، فإنه من الضروري التحقق من أنّ العنصر قادر على مقاومة قوى القص المصاحبة لزيادة العزوم وذلك لتجنب حدوث انهيار مفاجئ للعنصر الخرساني نتيجة قوى القص. وعند الحاجة لزيادة مقاومة القص، يمكن إضافة رقائق من FRP لمقاومة قوى القص الإضافية كما هو وارد في ٤-٣-٢- ٢. كما يجب التأكد في حالة البلاطات المسطحة من أن البلاطة قادرة على مقاومة القص الثاقب الإضافي والناتج عن رفع كفاءة العنصر . وكذلك فإنه من المهم أيضا التحقق من أنه لا يترتب على أعمال رفع كفاءة الكمرات أو البلاطات زيادة في قيم الترخيم عن القيم المسموح بها وفقا للكود المصري للخرسانة المسلحة.

جـ- يجب التأكد من أن زيادة مقاومة العناصر الخرسانية في العزوم لا يتعدى الحدود القصوى للتدعيم المعطاة في البند ٤-٣-١-٢ والبند ٤-٣-٢-١-٢ .

د - يترتب على أعمال التدعيم للعناصر المعرضة لعزوم انحناء تقليل ممطولية تلك العناصر مما قد يسبب تغير في طبيعة انهيار العنصر الخرساني المسلح والمعرض لعزوم الانحناء من طبيعة الانهيار المطيل Ductile إلى أخري ذات طبيعة انهيار قصف Brittle . فى تلك الحالة يجب زيادة قيم معاملات خفض المقاومة القصوى للخرسانة وصلب التسليح عن القيم المعطاة في كود الخرسانة وذلك وفقا لما هو معطى في البند ٤-٣-٢-١-٧ من هذا الجزء . هذا بالإضافة ألي ضرورة اخذ معامل خفض مقاومة لعناصر التدعيم والإصلاح باستخدام FRP تتناسب مع طبيعة الانهيار (بند ٤-٣-٢-١-٧)

هـ- لا تستخدم أنظمةFRP المعطاة في هذا البند فى حالات الإطارات المطيلة المقاومة لأحمال الزلازل

٤-٣-٢-١- ٢ حدود التدعيم القصوى المسموح بها فى العزوم

١ - تؤثر عوامل متعددة في تحديد قيمة التدعيم ورفع مقاومة العزوم المسموح بها . تلك العوامل في اغلب الأحيان تكون متداخلة وذات أولويات تأثير مختلفة وفقا لطبيعة العنصر. ولذلك يشترط عند أجراء أعمال تدعيم للعزوم عمل دراسة شاملة لكافة العناصر والمقاومات التي قد تتأثر بالسلب نتيجة لزياد مقاومة العنصر للعزوم (مثل مقاومة القص والقص الثاقب وحدود التشغيل) مما يترتب علية احتمال تحديد قيمة حدود التدعيم المسموح بها في العزوم التي تضمن استيفاء كافة العوامل والمؤثرات لمتطلبات الكود المصري للخرسانة المسلحة. على انه يمكن الإستغناء عن وضع حدود للتدعيم لهذه الحالات في حالة اتخاذ إجراء تدعيم للعناصر المتضررة بالدرجة التي تضمن استيفاء متطلبات حالات حدود الكود.

٢ - احتمال تغير طبيعة انهيار العنصر المعرض للعزوم من الطبيعة المطيلة الي انهيار قصفي كنتيجة لأعمال التدعيم. مما يترتب علية عدم استيفاء متطلبات الكود المصري الخاصة بمقاومة أحمال الزلازل .

٣ - يمثل استيفاء متطلبات مقاومة الحريق (بند ٤-٣-١-٢-٢) الحدود القصوى المسموح بها لرفع مقاومة العزوم للعنصر أو ٤٠% أيهما اكبر .

٤-٣-٢-١- ٣ الفروض الأساسية

يجب أن يفي حد المقاومة القصوى للقطاعات المعرضة إلى العزوم والمُدعم باستخدام تسليح خارجي من FRP بشروط الاتزان EQUILIBRIUM CONDITIONS وشروط توافق الانفعالات COMPATIBILITY CONDITIONS بالإضافة إلى الفروض والاعتبارات العامة التالية :

١ - يجب إجراء الحسابات التصميمية للتدعيم على أساس الأبعادِ الحقيقيةِ للقطاعات و ترتيب صلب التسليح الداخلي ، وخواص الموادِ للعنصر الذي يتم تدعيمه .

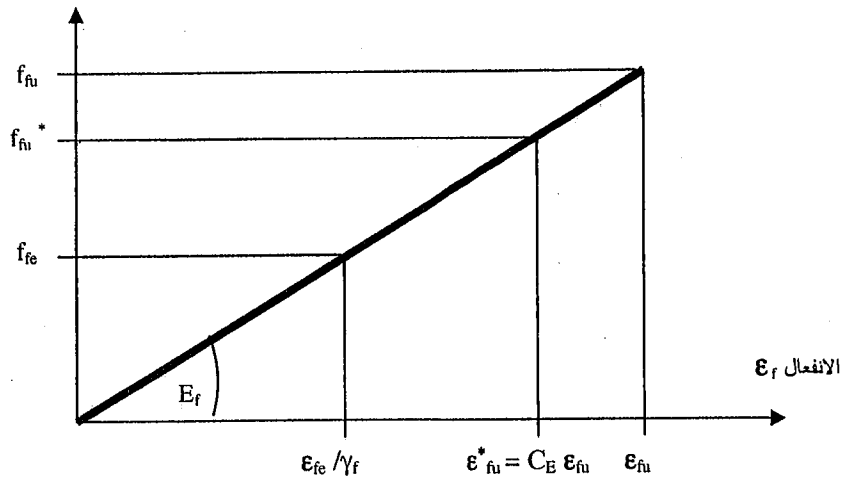
٢ - توزع الانفعالات على القطاع توزيعا خطيا وبالتالي تعتبر الانفعالات في الصلب والخرسانة والألياف FRP متناسبة مع البعد عن محور الخمول في كل العناصر.

٣ - يؤخذ الانفعال الأقصى للانضغاط في القطاعات الخرسانية (انفعال الضغط بالخرسانة) مساويا ٠,٠٠٣.

٤ - تُهملُ مقاومة الخرسانة في الشدّ ويقاوم كل من الصلب و FRP كافة إجهادات الشد عند حساب المقاومة القصوى

٥ - لا يوجد انزلاق نسبي بين تسليح FRP الخارجيِ والخرسانة.

٦ - العلاقة بين الإجهاد والانفعال الخاص بتسليح FRP علاقة خطيّة مرنة حتى الانهيار (شكل ٤-١) وتؤخذ العلاقة بين الاجهاد والانفعال فى الخرسانة في منطقة الضغط وللصلب طبقا للمنحنيين الاعتباريين في الكود المصري للخرسانة المسلحة.



شكل (٤- ١) منحنى الإجهاد والإنفعال للبوليمرات المسلحة

٤-٣-٢-١-٤ عزم الانحناء الحدي الأقصى لمقاومة القطاعات

أ - يحسب العزم الحدي الأقصى للقطاعات الخرسانية المدعمة بالبوليمرات المسلحة بالألياف على أساس استيفاء شروط الاتزان وتوافق الانفعالات مستخدما في ذلك ، الأحمال القصوى طبقاً للكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشات الخرسانية ومعاملات تخفيض المقاومة وفقا للبند ٤-٣-٢-١-٧ من هذا الباب مع اعتبار نوعيات الانهيار وفقا للبند ٤-٣-٢-١-٥.

ب - يجب الأخذ في الاعتبار عند حساب العزم الحدي الأقصى للقطاعات الخرسانية المدعمة بالبوليمرات المسلحة بالألياف والتي يتم أعمال التدعيم لها دون رفع الأحمال المؤثرة على العنصر عند إجراء أعمال التدعيم قيمة الانفعال في صلب التسليح في القطاع الناتجة عن أحمال التشغيل المؤثرة على العنصر وقت إجراء أعمال التدعيم وتستخدم في تحديد قيمتها نظرية المرونة للقطاعات الخرسانية بعد التشرخ . وتعتبر تلك الانفعالات في الصلب انفعالات ابتدائية يتم تخفيض قيمتها من الانفعال الأقصى لرقائق التدعيم .

٤-٣-٢-١-٥ طبيعة ونوعية الانهيار

أ - تَعتمدُ المقاومة الحدية للقطاعات المدعمة باستخدام FRP لعزوم الانحناء على طبيعة الانهيار. ويجب اعتبار أشكال الانهيار الآتية:

- انهيار الخرسانة في الضغط قبل وصول صلب التسليح لإجهاد الخضوع
- وصول صلب التسليح لإجهاد الخضوع ثم تمزق رقائق FRP
- وصول صلب التسليح لإجهاد الخضوع ثم انهيار الخرسانة في الضغط
- انفصال الغطاء الخرساني نتيجة قص / شد (shear/tension delamination) ؛
- انفصال FRP عن سطح الخرسانة (FRP debonding).

ب - ويفترض أن يحدث الانهيار في الخرسانة إذا وصل الانفعال الأقصى بها في الضغط إلى ٠,٠٠٣، بينما يحدث التمزق في FRP إذا وصل الانفعال به إلى أقصى انفعال تصميمي ($\varepsilon_f = \varepsilon^*_{fu}$) قبل وصول الخرسانة للانفعال الأقصى وتعطى المعادلة ٣- ٥ من الباب الثالث قيم ε^*_{fu} .

جـ- ويحدث الانفصال بالغطاء الخرساني أو برقائق FRP (or delamination debonding) إذا كان سطح الخرسانة لا يتحمل القوى الموجودة بالرقائق . و يمكن

منع حدوث هذا النوع من الانهيار بواسطة وضع حد أقصى للانفعال في FRP وفقا المعادلة (٤- ٣) التي تعطى المعامل κ_m الذي يعتمد على قوة التماسك بين الخرسانة و FRP بالإضافة إلى استيفاء متطلبات البندين ٤-٣-٢-٤&٣-٤ والخاصين بتفاصيل وطول تماسك رقائق FRP

$$\varepsilon_{fe} < \kappa_m \ \varepsilon^*_{fu} \qquad (4-3a)$$

$$\kappa_m = \begin{cases} \dfrac{1}{60\varepsilon^*_{fu}}\left(1-\dfrac{n E_f t_f}{360{,}000}\right) \le 0.90 & \text{for} \quad nE_f t_f \le 180{,}000 \\ \dfrac{1}{60\varepsilon^*_{fu}}\left(\dfrac{90{,}000}{nE_f t_f}\right) \le 0.90 & \text{for} \quad nE_f t_f > 180{,}000 \end{cases} \qquad (4\text{-}3b)$$

حيث أن :

n = عدد طبقات رقائق الـــ FRP

E_f = معاير المرونة لرقائق الـــ FRP

t_f = سمك القبقة الواحدة من رقائق الـــ FRP

ويجب أن لا تزيد قيمة المعامل κ_m عن ٠,٩٠ وذلك لمنع حدوث انفصال بين FRP وسطح الخرسانة أو بالغطاء الخرساني عند نهاية التسليح الخارجي. ويلاحظ أنه كلما زادت جساءة رقائق FRP كلما قلت قيمة المعامل κ_m .

٤-٣-٢-١-٦ الممطولية

يقلل استخدام تسليح خارجي من رقائق FRP لتدعيم الكمرات الخرسانية من الممطولية لهذه العناصر، مما قد يترتب علية تغير في طبيعة انهيار العنصر من انهيار مطيل إلى انهيار قصفي ولذا فيجب حساب الممطولية لهذه العناصر بعد التدعيم. ولكي يتحقق حد أدنى للمطوليه بالعناصر المدعمة، فيجب حساب الانفعال بصلب التسليح الداخلي عند مقاومة الحد الأقصى لعزوم الانحناء. وتتحقق الممطولية الكافية إذا كان الانفعال بصلب التسليح لا يقل عن القيم التالية عند بلوغ انفعال الخرسانة قيمته القصوى أو حدوث انهيار في FRP سواء نتيجة تمزقه أو حدوث انفصال بينه وبين الخرسانة :

لصلب تسليح ٢٤٠/٣٥٠	0.005
لصلب تسليح عالى المقاومة ٤٠٠/٦٠٠	0.0065

(4-4)

٤-٣-٢-١-٧ معاملات خفض المقاومة القصوى

تؤخذ معاملات خفض المقاومة القصوى في الخرسانة وصلب التسليح والألياف وفقا للعلاقات ٤-٥ وشكل ٤- ٢.

Ductile Failure: For $\varepsilon_s \geq 0.005$ (St 240/350)

or For $\varepsilon_s \geq 0.0065$ (St. 400/600)

$\gamma_c = 1.5$ $\gamma_s = 1.15$

For FRP Sheets	$\gamma_f = 1.5$	(4-5-a)
For FRP Laminates	$\gamma_f = 1.4$	

Brittle Failures : For $\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s < 0.005$ (St. 240/350)

or For $\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s < 0.0065$ (St. 400/600)

$\gamma_c = 1.5\ \eta$ $\gamma_s = 1.15\ \eta$

For FRP Sheets	$\gamma_f = 1.5\ \eta$	(4-5- b)
For FRP Laminates	$\gamma_f = 1.4\ \eta$	

Where:

$$\eta = 1+0.15\ [\ 0.005- \varepsilon_s\ ] / [\ 0.005 - \varepsilon_{sy}] \quad (\text{St. } 240/350)$$

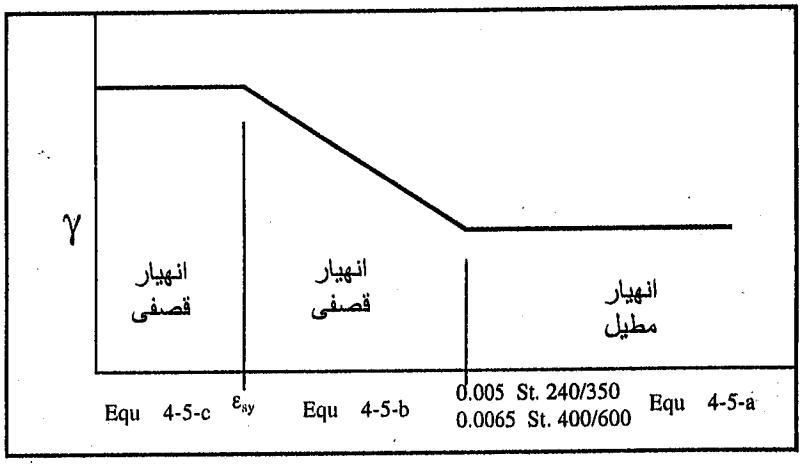
(4-5-b')

$$\eta = 1+0.15\ [\ 0.0065- \varepsilon_s\ ] / [\ 0.0065- \varepsilon_{sy}] \quad (\text{St. } 400/600)$$

For $\varepsilon_s < \varepsilon_{sy}$

$\gamma_c = 1.7$ $\gamma_s = 1.32$

For FRP Sheets	$\gamma_f = 1.7$	(4-5- c)
For FRP Laminates	$\gamma_f = 1.6$	



شكل (٤- ٢) معامل خفض المقاومة القصوى للخرسانة وصلب التسليح و لرقائق FRP

٤-٣-٢-١- ٨ الانفعال في FRP

يجب تحديد مستوى الانفعال في رقائق FRP عند العزم الحدي الأقصى للقطاع الخرساني (بند ٤-٣-٢-١-٤-ب). وتحدد قيمة الانفعال المسموح به(ε_{fe}) في رقائق FRP بقيمة الانفعال الحادثة عند انهيار الخرسانة أو تمزق FRP أو عند حدوث انفصال بين FRP والخرسانة. ويمكن حساب هذا الانفعال باستخدام المعادلة (٤- ٦).

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu}\left(\frac{h-c}{c}\right) - \varepsilon_{bi} \le \kappa_m \, \varepsilon^*_{fu} \qquad (4\text{-}6)$$

حيث :

ε^*_{fu} = الانفعال التصميمى في FRP مع الأخذ في الاعتبار التأثيرات البيئية وتعطى قيمته من المعادلة ٣- ٥ من الباب الثالث

ε_{bi} = الانفعال الابتدائي في الخرسانة عند مستوي ال FRP تحت تأثير أحمال التشغيل عند إجراء أعمال التدعيم الخرساني (بند ٤-٣-٢-١-٤-ب)

٤-٣-٢-١-٩ الإجهاد التصميمي الأقصى في FRP

يحدد قيمة الانفعال المسموح به للتسليح الخارجي من FRP والمعطى من المعادلة ٤-٦ والعلاقة بين الإجهاد والانفعال للبوليمرات المسلحة بالألياف (شكل ٤-١) الإجهاد التصميمى الأقصى الفعال (f_{fe}) والمعطى بالمعادلة ٤-٧.

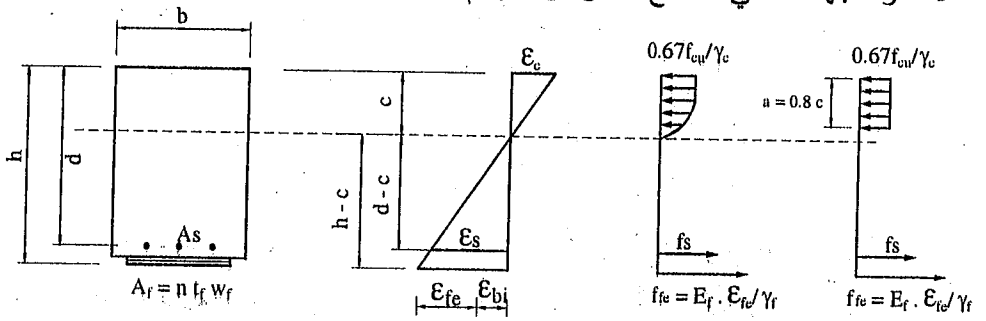
$$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe} / \gamma_f \qquad (4\text{-}7)$$

٤-٣-٢-١-١٠ استيفاء متطلبات حدود التشغيل

يجب أن يستوفى التصميم متطلبات حالات حدود التشغيل وفقا للبند ٤-٣- ٣

٤-٣-٢-١-١١ تطبيق على القطاعات المستطيلة المعرضة لعزوم انحناء ذات تسليح فى الشد

يجب أن يفي حساب المقاومة القصوى للقطاعات المدعمة والمعرضة لعزوم انحناء شرط الاتزان وتوافق الانفعالات مع الأخذ في الاعتبار الطبيعة الحاكمة للانهيار . ويتطلب الأمر عند تحقيق ذلك إجراء عدة محاولات للتأكد من استيفاء كل هذه المتطلبات. ويبين شكل ٤- ٣ توزيع الانفعالات والاجهادات في القطاع المعرض لعزوم قصوى



قطاع خرسانى مسلح | توزيع الإنفعالات | توزيع الإجهادات (توزيع لا خطى لاجهادات الخرسانة) | توزيع الإجهادات (التوزيع المكافئ لاجهادات الخرسانة)

شكل ٤- ٣ : توزيع الاجهادات والانفعالات لقطاع خرساني مستطيل معرض لعزوم انحناء قصوى

يتم حساب قيمة الانفعالات و الاجهادات في صلب التسليح من المعادلتين ٤-٨ & ٤-٩ على التوالي وذلك بطريقة الخطأ و تكرارية التصويب :

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}).\left(\frac{d - c}{h - c}\right) \quad (4\text{-}8)$$

$$f_s = E_s\varepsilon_s \le f_y/\gamma_s \quad (4\text{-}9)$$

يتم حساب عمق المستطيل المكافئ للضغط فى الخرسانة المضغوطة من المعادلة ٤-١٠

$$a = \frac{A_s f_s + A_f f_{fe}}{(0.67 f_{cu} b)/\gamma_c} \quad (4\text{-}10)$$

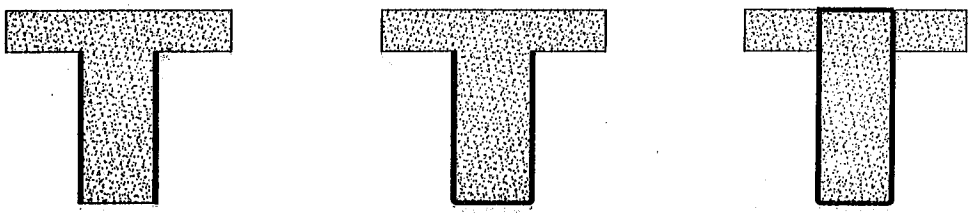
كما يتم حساب العزم الحدي الأقصى من المعادلة ٤-١١

$$M_u = A_s f_s.\left(d - \frac{a}{2}\right) + A_f f_{fe}.\left(h - \frac{a}{2}\right) \quad (4\text{-}11)$$

٤-٣-٢-٢ التدعيم لمقاومة القص SHEAR STRENGTHENING

٤-٣-٢-٢-١ اعتبارات عامة

أ- تستخدم البوليمرات المسلحة بالألياف FRP في تدعيم الكمرات و الأعمدة الخرسانية المسلحة وذلك لزيادة مقاومتها في القص. توجد ثلاث طرق مختلفة لاستخدامات البوليمرات المسلحة بالألياف في تدعيم الأعمدة و الكمرات الخرسانية للقص. حيث يتم في الطريقة الأولى لف العنصر الخرساني لفا كاملا على جميع الأوجه(شكل ٤-٤-أ) وتعتبر هذه أكثر الطرق كفاءة في التدعيم و تستخدم عادة عند تدعيم الأعمدة ويمكن في بعض الحالات أيضا استخدامها عند تدعيم الكمرات. بينما يتم لف العنصر الخرساني لفا جزئيا في كل من الطريقتين الثانية والثالثة. ويستخدم اللف الجزئي عادة في الكمرات نظرا لاتصالها مليثيا مع البلاطات. ويتم لف الكمرات في الطريقة الثانية لفا جزئيا لثلاثة أوجه من الكمرة على شكل حرف U (شكل ٤-٤-ب) بينما يتم لصق رقائق منفصلة على جانبي جذع الكمرة في طريقة التدعيم الثالثة وهي أقلهم كفاءة (شكل ٤-٤-ج).



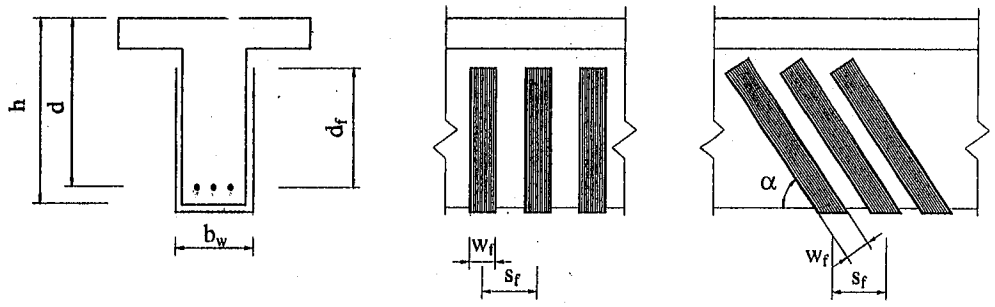
لف كامل
شكل (٤-٤-أ)

لف من ثلاثة جوانب
شكل (٤-٤-ب)

لف من جانبين
شكل (٤-٤-ج)

شكل رقم (٤-٤) طرق تدعيم العناصر الخرسانية بالألياف لمقاومة القص

ب - يمكن أن يكون لف البوليمرات المسلحة بالألياف مستمرا على كامل محور العنصر الخرساني أو على هيئة رقائق منفصلة تفصل بينها مسافات بينية (شكل ٤-٥).



شكل رقم (٤- ٥) تعريف المتغيرات اللازمة عند حساب مقاومة القص للألياف

جـ- يراعى عند لف البوليمرات المسلحة بالألياف على كامل طول العنصر الاحتياطات اللازمة لتجنب زيادة الرطوبة بداخل العنصر وذلك عن طريق ترك مسافات بين الرقائق على مسافات متعددة وفقا للبند ٤-٣-٢-٤- ٨ .

د - تؤخذ قيمة معامل خفض المقاومة للبوليمرات المسلحة بالألياف γ_f طبقا لطريقة التدعيم في القص كما يلي ما لم يذكر خلاف ذلك:

$\gamma_f = 1.5$ حالة اللف الكلي (شكل ٤-٤-أ) (4-12a)

$\gamma_f = 1.6$ حالة اللف الجزئي (شكل ٤-٤-ب أو ج) (4-12b)

٤-٣-٢-٢-٢ مقاومة القص القصوى الاعتبارية للعناصر الخرسانية المدعمة للقص

يتم حساب مقاومة القص القصوى الاعتبارية للعناصر الخرسانية المدعمة بالبوليمرات المسلحة بالألياف وذلك بإضافة مقاومة القص القصوى الاعتبارية للألياف إلى مقاومة القص القصوى الاعتبارية للخرسانة و صلب التسليح اللذان يتم تقيمهما وفقا للكود المصري للخرسانة المسلحة وذلك طبقا للمعادلة التالية:

$$q_u = 0.5\, q_{cu} + q_{su} + q_{fu} \qquad (4\text{-}13a)$$

حيث :

q_u - إجهاد القص الاعتباري الأقصى

q_{su} - مقاومة القص الاعتبارية القصوى لصلب تسليح القص

q_{cu} = مقاومة القص الاعتبارية القصوى للخرسانة

q_{fu} = مقاومة القص الاعتبارية للبوليمرات المسلحة بالألياف

وفى جميع الأحوال يجب الا تزيد قيمة مقاومة القص الاعتباري للعناصر المقاومة للقص والمدعمة بالألياف عن القيمة الأتية:

$$q_{u\,max} = 0.7\sqrt{\frac{f_{cu}}{\gamma_c}} \qquad (4\text{-}13b)$$

و بحد أقصي ٣ ن/مم^2

٤-٣-٢-٢-٣ مقاومة القص القصوى الاعتبارية للبوليمرات المسلحة بالألياف

يتم حساب مقاومة القص القصوى الاعتبارية للبوليمرات المسلحة بالألياف من المعادلات التالية

$$q_{fu} = A_f\,(E_f\,\varepsilon_{ef}/\gamma_f)\,(\sin\alpha + \cos\alpha)\,(d_f/d)/(S_f.b_w) \qquad (4\text{-}14a)$$

$$A_f = 2\, n\, t_f\, w_f \qquad (4\text{-}14b)$$

حيث:

A_f مساحة مقطع البوليمرات المسلحة بالألياف (المعادلة ٤- ١٤ب)

E_f معاير مرونة البوليمرات المسلحة بالألياف

ε_{ef} الانفعال الفعال للبوليمرات المسلحة بالألياف (المعادلة ٤-١٥ للف الكلى والمعادلة ٤-١٨ للف الجزئي)

γ_f معامل خفض المقاومة للبوليمرات المسلحة بالألياف (بند ٤-٣- ٢-٢-١-د)

α زاوية ميل الألياف مع محور العنصر

d العمق الفعال للقطاع الخرساني

d_f عمق الألياف

S_f المسافة بين محاور رقائق الألياف

b_w عرض القطاع الخرساني

n عدد طبقات البوليمرات المسلحة بالألياف

t_f سمك الطبقة الواحدة من البوليمرات المسلحة بالألياف

w_f عرض رقيقة البوليمرات المسلحة بالألياف

ويجب ألا تزيد المسافة S_f عن d/4 أو ٢٠٠مم أيهما أقل بالإضافة إلى عرض رقيقة البوليمرات w_f وذلك مقاساً فى إتجاه محور العنصر ويوضح الشكل رقم (٤-٥) المتغيرات الموضحة أعلاه.

٤-٣-٢-٢-٤ الانفعال الفعال للبوليمرات المسلحة بالألياف

الانفعال الفعال في البوليمرات المسلحة بالألياف هو أقصى انفعال يمكن حدوثه عند الحمل الأقصى وتتحدد قيمته طبقا لشكل انهيار الألياف والعنصر الخرساني المسلح وفقا لما يلي:

٤-٣-٢-٢-٤-أ حالة اللف الكلي

في العناصر الخرسانية التي يتم تقويتها بلف البوليمرات المسلحة بالألياف لفا كليا على جميع أوجه العنصر (شكل ٤-٤-أ) يجب ألا تزيد قيمة الانفعال الفعال في الألياف عن ٠,٤ %

طبقا للمعادلة (٤-١٥) وذلك لضمان الحفاظ على الاحتكاك الداخلى فى الخرسانة اللازم لضمان مشاركة الخرسانة في مقاومة للقص كما يلي :

$$\varepsilon_{ef} = 0.75\ \varepsilon^{*}_{fu} \leq \quad 0.004 \qquad (4\text{-}15)$$

حيث :

ε_{ef} الانفعال الفعال في البوليمرات المسلحة بالألياف

ε^{*}_{fu} الانفعال الأقصى في البوليمرات المسلحة بالألياف وفقا للمعادلة ٣-٥ من الباب الثالث

٤-٣-٢-٢-٤-ب حالة اللف الجزئي

١ - فى العناصر الخرسانية التي يتم تقويتها بلف البوليمرات المسلحة بالألياف لفا جزئيا على وجهين أو ثلاثة أوجه للعنصر الخرساني(شكل ٤-٤-ب&ج) يكون الانهيار ناتجا عن انفصال الألياف البولمرية عن سطح الخرسانة Debonding (بند ٤-٣-٢-٤-٣) وذلك نظرا لزيادة إجهادات التماسك و يحدث ذلك عند انفعال أقل من أقصى انفعال مسموح به وفقا للمعادلة (٤-١٥) . وفى هذه الحالة يلزم تخفيض قيمة الانفعال الفعال في الألياف لضمان فاعلية طول الرباط الفعال للمحافظة على تماسك الألياف مع سطح الخرسانة عند الوصول للحمل الأقصى الناتج عن انفصال الألياف عن الخرسانة Debonding . ويشترط عمل دوران لحواف الكمرة بنصف قطر دوران كما هو موضح فى الشكل٤-٤-ا&ب.

٢ - يتم حساب طول الرباط الفعال Le و معامل خفض المقاومة لاجهادات التماسك k_v طبقا للمعادلات (٤- ١٦ -أ) و (٤- ١٦-ب). و تعتمد قيمتها على المقاومة المميزة للخرسانة (f_{cu}) وجساءة الألياف ($n\ t_f\ E_f$) وعلى ان تحسب قيمه الانفعال الفعال من المعادلة ٤-١٨

$$L_e = 23300/(n\ t_f\ E_f)^{0.58} \qquad (4\text{-}16a)$$

$$k_v = k_1\ k_2\ L_e /(\ 11900\ \varepsilon^{*}_{fu}\ ) \leq 0.75 \qquad (4\text{-}16b)$$

حيث :

k_1 – معامل تتوقف قيمته على مقاومة الخرسانة ويحسب من العلاقة التالية :

$$k_1 = (f_{cu} / 33.75)^{2/3} \qquad (4\text{-}17a)$$

k_2– معامل يتوقف على نوعية اللف الجزئي ويحسب من العلاقة التالية :

حالة لف على ثلاثة أوجه $k_2 = (d_f - L_e) / d_f$ (4-17-b)

حالة لف على وجهين $k_2 = (d_f - 2\,L_e) / d_f$ (4-17- c)

٣ – يحسب الانفعال الفعال في حالة اللف الجزئي وفقا للمعادلة التالية :

$$\varepsilon_{ef} = k_v \varepsilon^{*}_{fu} \leq 0.004 \qquad (4\text{-}18)$$

٤ – لزيادة فاعلية الربط يمكن استخدام وسائل الربط الخاصة والمعطاة في البند ٤-٣-٢-٤- ٩

٤-٣-٢-٣- تدعيم العناصر المعرضة لقوى ضغط أو شد محوري وتحسين الممطولية
AXIAL COMPRESSION, TENSION, AND DUCTILITY ENHANCEMENT

٤-٣-٢-٣-١ التدعيم لزيادة الضغط المحوري و الممطولية للعناصر المعرضة لقوى ضغط محوري

AXIAL COMPRESSION

٤-٣-٢-٣-١-١ عام

أ – يمكن استخدام القمصان المصنوعة من البوليمرات المسلحة بالألياف لزيادة مقاومة الضغط المحوري والممطولية للأعمدة الخرسانية حيث يترتب عن إحاطة قطاع العمود زيادة المقاومة لخرسانة العمود فى الضغط وكذلك زيادة الانفعال الأقصى للانضغاط.

ب – تتم إحاطة القطاع الخرساني للعمود عن طريق استخدام قمصان مصنوعة من لفائف SHEETS من البوليمرات المسلحة بالألياف والتي يكون فيها اتجاه الألياف عمودياً على

المحور الطولي للعمود. يجب إهمال أي مقاومة للألياف الموازية لمحور العمود إن وجدت.

جـ- للأعمدة ذات المقاطع الدائرية يكون لف الأعمدة الخرسانية المسلحة بالبوليمرات المسلحة بالألياف إما كلياً على كامل ارتفاع العمود أو جزئياً والذي يتم تحديد مواضعها وعددها وفقا لمتطلبات التدعيم .

د - للأعمدة ذات المقاطع المستطيلة يسمح فقط باللف الكلى للعمود على كامل ارتفاعه.

هـ- في حالات اللف الكلى للعمود يجب استيفاء متطلبات البند ٤-٣-٢-٤- ٨ والخاصة بالرطوبة ومنع تجمعات المياه داخل القمصان

و - تعطى قمصان البوليمرات المسلحة بالألياف إحاطة جانبية سلبية للأعمدة حيث تظل القمصان المصنوعة من البوليمرات المسلحة بالألياف غير مجهدة إلى أن يبدأ قطاع العمود في التشرخ عند مستوى الأحمال القصوى.

ز - يجب التأكد من الالتصاق التام للقميص بقطاع العمود . ولضمان عدم فقدان هذا الالتصاق يشترط استيفاء متطلبات حدود التشغيل وفقا للبند ٤-٣-٣ - ٢ .

ح - يتم إهمال تأثير إجهاد الإحاطة الجانبي في حالة الأعمدة ذات القطاعات المستطيلة التي تزيد فيها نسبة استطالة قطاع العمود (t/b) عن (١,٥) وذلك وفقا للمعادلة ٤-٢٩ أو التي يزيد فيها أي من بعدي قطاع العمود عن ٦٥٠مم. على انه يمكن زيادة المقاومة القصوى للأعمدة المستطيلة التي تزيد فيها نسبة بعدى قطاع العمود (t/b) عن (١,٥) في حالة استخدام طرق تحليل خاصة والتي يشترط فيها استيفاء شروط الاتزان وتوافق الانفعالات والتي تكون مؤيدة بنتائج اختبارات كافية .

ط - يجب اخذ تأثير زيادة مقاومة العمود للضغط المحوري على مقاومة العمود للانبعاج وفقا لمتطلبات الكود المصري للخرسانة المسلحة.

ك - يجب أن لا يتعدى الحد الأقصى لزيادة مقاومة الأعمدة عن الحدود الخاصة باستيفاء متطلبات الحريق وفقا للبند ٤-٣-١-٢-١

ل - يؤخذ معامل خفض المقاومة للبوليمرات المسلحة بالألياف γ_f مساوياً (١,٣) في جميع المعادلات الواردة في هذا البند

م - يؤخذ الانفعال الفعال للبوليمرات المسلحة بالألياف ε_{fe} والمصنوع منها القميص المحيط بقطاع العمود طبقا المعادلة الآتية :

$$\varepsilon_{ef} = 0.75\ \varepsilon^{*}_{fu} \leq \quad 0.004 \qquad (4\text{-}19)$$

حيث ε^{*}_{fu} هو الانفعال الأقصى للبوليمرات المسلحة بالألياف وفقا للمعادلة ٣- ٥ من الباب الثالث

ن - يتم عمل وصلات التراكب للألياف وفقا للبند ٤-٣-٢-٤- ٧ والخاص بتفاصيل التراكيب والوصلات للأعمدة

٤-٣-٢-٣-١-٢ المقاومة القصوى للقطاعات الخرسانية المدعمة والمعرضة لقوى ضغط

تحسب مقاومة القطاعات الخرسانية القصوى المعرضة لقوة ضغط محورية المدعمة بقميص مصنوع من البوليمرات المسلحة بالألياف طبقا للمعادلات التالية:

١ - في حالة أعمدة ذات كانات منفصلة.

$$P_u = 0.35 f_{cuc} A_c + 0.67 f_y A_{sc} \qquad (4\text{-}20\text{-a})$$

٢ - في حالة أعمدة ذات كانات حلزونية مطابقة للشروط الوارد في بند (٦- ٤-٧- ط , ك , ل) بالكود المصري لتصميم و تنفيذ المنشآت الخرسانية .

$$P_u = 0.40 f_{cuc} A_c + 0.76 f_y A_{sc} \qquad (4\text{-}20\text{-b})$$

حيث :

A_c مساحة القطاع الخرساني الصافي

A_{sc} مساحة صلب التسليح الطولي

f_y إجهاد الخضوع لصلب التسليح الطولي

f_{cuc} مقاومة الضغط الظاهرية للخرسانة نتيجة لف العمود بقميص مصنوع من البوليمرات المسلحة بالألياف و تحسب قيمته طبقا لما يلي :

$$f_{cuc} = f_{cu}\left[2.25\sqrt{1+9.875\frac{f_l}{f_{cu}}} - 2.5\frac{f_l}{f_{cu}} - 1.25\right] \qquad (4\text{-}21)$$

حيث

f_{cu} مقاومة الضغط المميزة للخرسانة (رتبه الخرسانة)

f_l إجهاد الإحاطة الجانبي للعمود .

ويتم حساب f_l في حالة الأعمدة الدائرية وفقا للبند ٤-٣-٢-٣-١-٣ وللأعمدة المستطيلة أو غير الدائرية وفقا للبند ٤-٣-٢-٣-١- ٤ .

٤-٣-٢-٣-١-٣ الأعمدة الدائرية

٤-٣-٢-٣-١-٣ إجهاد الإحاطة الجانبية - حاله اللف الكلي الأعمدة الدائرية

في حاله اللف الكلي للعمود الدائري يحسب إجهاد الإحاطة الجانبية f_l من المعادلة الآتية:

$$f_l = \frac{\mu_f E_f \varepsilon_{fe}}{2\gamma_f} \qquad (4\text{-}22)$$

حيث :

E_f معاير المرونة للبوليمرات المسلحة بالألياف

μ_f نسبة حجم تسليح البوليمرات المسلحة بالألياف في حاله اللف الكلي و تساوي:

$$\mu_f = \frac{4nt_f}{D} \qquad (4\text{-}23)$$

حيث :

n عدد لفات البوليمرات المسلحة بالألياف

t_f سمك اللفة الواحدة

D قطر العمود

٤-٣-٢-٣-١-٣ -ب إجهاد الإحاطة الجانبية- حاله اللف الجزئي للأعمدة الدائرية

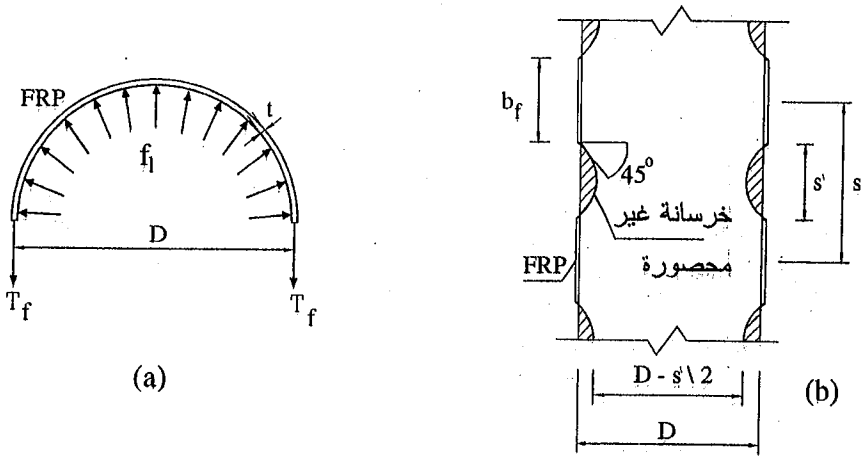
يحسب إجهاد الإحاطة الجانبية f_l للأعمدة الدائرية المحاطة جزئيا وفقا للمعادلة (4-24)

$$f_l = K_e \frac{\mu_f E_f \varepsilon_{fe}}{2\gamma_f} \qquad (4\text{-}24)$$

حيث :

μ_f نسبة حجم تسليح البوليمرات المسلحة بالألياف في حاله اللف الجزئي وتساوي:

$$\mu_f = \frac{4 b_f \, n \, t_f}{SD} \qquad (4\text{-}25)$$



شكل ٤-٦ اللف الجزئي للأعمدة الدائرية

K_e معامل فاعلية الإحاطة في حاله اللف الجزئي للأعمدة الدائرية و يساوي :

$$K_e = \left(1 - \frac{(S - b_f)}{2D}\right)^2 \qquad < 1 \qquad (4\text{-}26)$$

حيث :

b_f عرض رقيقة البوليمرات المسلحة بالألياف

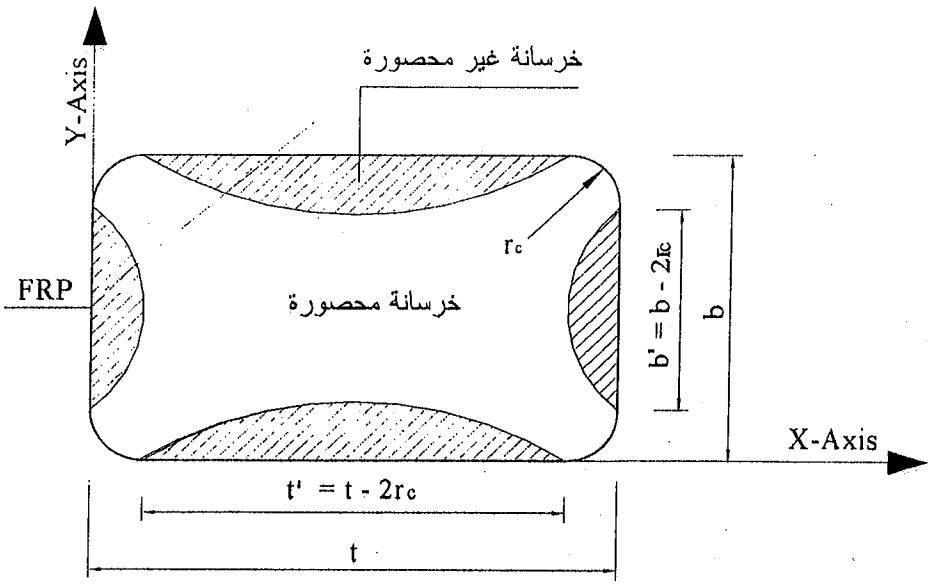
S المسافة الرأسية بين مركزي رقيقتين متتاليتين(شكل ٤-٦)

t_f & D & n كما في البند ٤-٣-٢-٣-١-٣-أ

٤-٣-٢-٣-١-٤ الأعمدة المستطيلة والأعمدة غير الدائرية - حاله اللف الكلي

٤-٣-٢-٣-١- ٤-أ كفاءة أعمال التدعيم للأعمدة غير الدائرية

أثبتت الاختبارات المعملية أن إحاطة الأعمدة ذات القطاعات المربعة أو المستطيلة أو القطاعات غير الدائرية باستخدام القمصان المصنوعة من رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف يتسبب في زيادة ضئيلة في مقاومتها للضغط المحوري ولذا يجب التدقيق في استعمال هذا النوع من التدعيم في مثل هذه الحالات. على انه يمكن اتباع ما يلي في تصميم أعمال التدعيم باستخدام تلك الرقائق للعناصر غير الدائرية وذلك وفقا للاشتراطات والقيود و للحالات المسموح بتطبيقها والمعطاة في هذا البند . على انه يمكن زيادة كفاءة أعمال التدعيم للأعمدة غير الدائرية عن طريق عمل دوران لحواف العمود بنصف قطر دوران للحواف r_c كما هو مبين في شكل ٤ - ٦ . ونظرا لان استخدامات البوليمرات المسلحة بالألياف محل تطوير مستمر فأنه في حالة الاقتراح باستخدام أنظمة مرادفة للتدعيم باستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف غير تلك المذكورة في هذا البند فانه يمكن السماح بتطبيقها بعد تقديم ما يثبت فاعليتها واستيفاءها لاشتراطات الاتزان وتوافق الانفعالات وعلى أن تكون مؤيدة بنتائج اختبارات معملية كافية لإثبات فاعليتها وتحديد درجة كفاءتها .



شكل (٤ - ٧) كفاءه الإحاطة للقطاع المستطيل

٤-٣-٢-٣-١- ٤- ب- إجهاد الإحاطة الجانبية للأعمدة غير الدائرية

يتم حساب إجهاد الإحاطة الجانبي من المعادلة رقم ٤ -٢٧.

$$f_l = K_e \frac{\mu_f E_f \varepsilon_{fe}}{2\gamma_f} \qquad (٤-٢٧)$$

وتؤخذ نسبة حجم تسليح البوليمرات المسلحة بالألياف في حالة القطاع المستطيل من المعادلة التالية:

$$\mu_f = \frac{2nt_f(b+t)}{bt} \qquad (٤-٢٨)$$

ويؤخذ معامل فاعلية الإحاطة في حالة اللف الكلي لعمود مستطيل:

$$K_e = 1 - \frac{(b-2r_c)^2 + (t-2r_c)^2}{3(b\times t)(1-\mu_s)} \qquad (٤-٢٩)$$

حيث أن:

t البعد الأكبر للعمود

b البعد الأصغر للعمود

μ_s نسبة الحديد الطولي بقطاع العمود

r_c نصف قطر الدوران لأركان العمود

٤-٣-٢-٣-٢ التدعيم لزيادة مقاومة الشد المحوري

أ - يمكن استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف التي تكون اتجاه الألياف فيها في اتجاه موازى لمحور العنصر لزيادة مقاومة الشد المحوري له. ونتيجة للعلاقة الخطية المرنة بين الاجهادات والانفعال المصاحب للبوليمرات المسلحة بالألياف فإن قوة الشد المتولدة تتناسب مع الانفعال الحادث في عنصر التدعيم. تتحدد مقاومة الشد التصميمية للبوليمرات المسلحة بالألياف بالقدرة على نقل قوة الشد عن طريق التماسك بين عنصر التدعيم والعنصر الخرساني المقاوم لقوة الشد وكفاءة التثبيت للألياف عند طرفي العنصر

ب - تحسب مقاومة الشد الإضافية نتيجة استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف لهذه الحالة من:

$$T_f = \frac{n\, t_f\, p_m\, \varepsilon_{fe}\, E_f}{\gamma_f} \qquad (4\text{-}30)$$

حيث :

p_m إجمالي عرض الرقائق المستخدمة لزيادة مقاومة الشد

جـ- يتحكم في طبيعة انهيار العنصر المشدود كفاءة طول الرباط عند بداية ونهاية العنصر . ولضمان عدم حدوث انهيار ناتج عن انفصال الألياف البولمرية عن سطح الخرسانةDebonding (وذلك وفقا لطبيعة التثبيت المعطاة في البند ٤-٣-٢-٢- ٤) تؤخذ قيمة الانفعال الفعال ε_{fe} في المعادلة ٤-٣٠ وفقا للقيم المعطاة في المعادلة ٤-١٨ . على أن تؤخذ قيمة المعامل $k_1 = 1$ بدلا من القيمة المعطاة في المعادلة ٤-١٧ أ وذلك عند حساب قيمة الانفعال الفعال. ويؤخذ طول الرباط التصميمي L_{ed} مساويا لضعف طول الرباط

الفعال L_e المحسوب وفقا للمعادلة (٤-١٦أ) , ($L_{ed}= 2\ L_e$) مقاسا من بداية ونهاية العنصر المشدود .

د - فى الحالات التي يمكن السماح فيها بقيمة انفعال فعال في العنصر المعرض للشد أعلى من القيمة المعطاة في المعادلة ٤- ١٨ بشرط أن لا تتعدى قيمة الانفعال الفعال القيمة المعطاة في المعادلة ٤-٣١

$$\varepsilon_{fe} < 0.75\ \varepsilon^{*}_{fu} \qquad (4\text{-}31)$$

ويحسب طول التماسك التصميمى من المعادلة ٤-٣٤ وفى ذلك ضمان لعدم حدوث انهيار في الألياف نتيجة لوصول قطاع الألياف إلى مقاومته القصوى مع عدم حدوث انهيار عند مناطق التثبيت . ويشترط في هذه الحالات إمكانية مد وتثبيت الألياف بطول يساوى طول التماسك التصميمى بعد نقطة بداية ونقطة نهاية العنصر المشدود مقاسة من نقطتي البداية والنهاية للعنصر .

٤-٣-٢-٣- ٣ التدعيم لتحسين ممطولية الأعمدة المعرضة لعزوم انحناء

أ - يمكن تحسين ممطولية الأعمدة المعرضة لأحمال الزلازل عن طريق إحاطة القطاع الخرساني بقميص مصنوع من البوليمرات المسلحة بالألياف بحيث يكون اتجاه الألياف عموديا علي المحور الطولي للعمود، حيث تتسبب الإحاطة في زيادة الانفعال الأقصى للانضغاط .

ب - في التطبيقات التي يكون فيها العمود معرضا لأحمال الزلازل والتي يكون فيها التدعيم قاصرا على زيادة ممطولية العمود (سواء كان القطاع دائرياً أو مستطيلاً) في المناطق التي يحدث فيها اكبر إجهادات الناتجة عن العزوم مثل وصلة العمود بالقاعدة أو وصلة العمود بالكمرة وذلك لارتفاع لا يقل عن سمك العمود وكذلك عند أماكن وصلات صلب تسليح العمود .

جـ- يتم إهمال تأثير إجهاد الإحاطة الجانبي على تحسين ممطولية الأعمدة المعرضة لأحمال الزلازل والتي يكون التدعيم قاصرا على زيادة ممطولية العمود في حالة الأعمدة ذات القطاعات المستطيلة و التي يزيد فيها أى من بعدى قطاع العمود عن ٩٠٠مم ولا تزيد

نسبة بعدى قطاع العمود عن (١,٥) . ويستثنى من هذا الشرط الأعمدة المستطيلة التى يكون التدعيم فيها لتحسين الممطولية فقط والتى لا يزد بعد القطاع المعرض لأقصى إجهادات عن ٦٠٠ مم .

د - الانفعال الأقصى للانضغاط الناتج قطاع من استخدام القمصان المصنوعة من البوليمرات المسلحة بالألياف ε_{cuc} يعتمد علي شكل قطاع الخرسانة (دائرى أو مستطيل) ويمكن حسابه من المعادلة التالية :

$$\varepsilon_{cuc} = \frac{1.37(5f_{cuc} - 4f_{cu})}{E_c} \qquad (4\text{-}32)$$

حيث تؤخذ قيمة f_{cuc} من المعادلة (4-21)

ويتم حساب قيمة كفاءة الزيادة في الممطولية نتيجة للف العمود بالقميص من المعادلات الواردة في هذا البند لقطاعات العمود الدائرية أو المستطيلة .

٤-٣-٢-٤ طول التماسك وطول الرباط والوصلات والتفاصيل
DEVELOPMENT & BOND LENGTHS, SPLICES AND DETAILING

٤-٣-٢-٤-١ عام

يقدم هذا البند الاشتراطات الخاصة بالتماسك وطول الرباط ووصلات التراكب وتفاصيل التدعيم باستخدام رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف الملصوقة خارجيا على العنصر. وتعتمد تلك الاشتراطات على الشكل الهندسى للعنصر الخرسانى المزمع تدعيمه، ومقاومة وسلامة السطح وكذلك مستويات الأحمال التى سوف تتعرض لها هذه الرقائق . و يمكن تلافى العديد من الانهيارات المتعلقة بالتماسك عن طريق اتباع التوصيات الخاصة بتفاصيل التسليح التالية:

أ - ألا يقل نصف قطر دوران الأركان الخارجية عن ١٣مم.

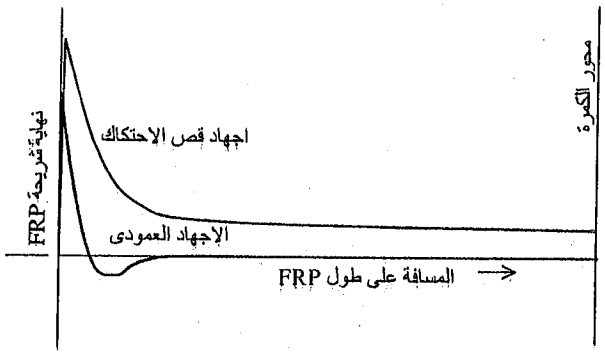
ب - يجب اتباع التوصيات الخاصة بطول التماسك وطول الرباط وفقا للبندين ٤-٣-٢-٤- ٤ و ٤-٣-٢-٤-٦

جـ- يجب إعطاء تراكب كافٍ عند وصل رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف وفقا للبند ٤-٣-٢-٤-٧

د - يجب عدم ثنى الالياف عند الاركان الداخلية للعنصر

٤-٣-٢-٤-٢ توزيع الاجهادات عند سطح التصاق الالياف بالعنصر الخرسانى

التوزيع الفعلي لاجهادات التماسك في رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف يكون معقداً نتيجة التشرخات الموجودة بالسطح الخرساني. يعرض الشكل (٤- ٨) توزيع إجهادات القص السطحية و إجهادات الشد العمودية على سطح الخرسانة والمحسوبة على أساس نظرية المرونة وذلك في رقائق من البوليمرات المسلحة بالألياف متماسكة مع سطح خرساني لا يحتوى على تشرخات. يجب ملاحظة أن نقطة الضعف في سطح التماسك بين الخرسانة ورقائق البوليمرات المسلحة بالألياف هي السطح الخرساني. مقاومة الشد للخرسانة المكونة لسطح التماسك تحدد فعالية رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف. وقد يترتب على ذلك احتمال حدوث انهيار قصفي نتيجة انفصال رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف عن سطح الخرسانة DEBONDING أو نتيجة انفصال الغطاء الخرساني DELAMINATION وفقا لما يلي .



شكل ٤- ٨ :توزيع اجهادات القص واجهادات الشد العمودية على سطح الخرسانة

٤-٣-٢-٤-٣ انفصال رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف عن سطح الخرسانة DEBONDING

يحدث إنفصال ذو طبيعة قصفه لرقائق البوليمرات المسلحة بالألياف من سطح الخرسانة كنتيجة لنقص مساحة التماسك بين تلك الرقائق والسطح الخرساني، حيث تؤدى زيادة إجهادات القص السطحية وكذلك الإجهادات العمودية إلى إنفصال تلك الرقائق عن السطح الخرساني مصحوبة بطبقة رقيقة من خرسانة السطح . ولضمان عدم حدوث هذة النوعية من الانهيارت يجب ان تمتد الالياف لمسافة تساوى طول التماسك التصميمى L_{df} والتى يتم حسابها وفقا للبند ٤-٣-٢-٤-٤ والخاص بطول التماسك .

٤-٣-٢-٤-٤ طول التماسك

يحسب طول التماسك للالياف L_f على اساس مقاومة القص الأفقى ومقاومة الشد عند السطح المشترك بين الالياف وسطح الخرسانة وذلك وفقا للمعادلات التالية :

أ - في حالة استخدام رقائق ذات عرض يساوى عرض القطاع الخرساني يؤخذ (L_f) من العلاقة التالية:

$$L_f = \frac{E_f \varepsilon_f n t_f}{0.24\sqrt{f_{cu}/\gamma_c}} \qquad (4\text{-}33\ a)$$

ب - في حالة استخدام رقائق ذات عرض اقل من عرض القطاع الخرساني يؤخذ (L_f) من العلاقة التالية:

$$L_f = \frac{b_{FRP}}{b_w} \frac{E_f \varepsilon_f n t_f}{0.24\sqrt{f_{cu}/\gamma_c}} \qquad (4\text{-}33\ b)$$

حيث :

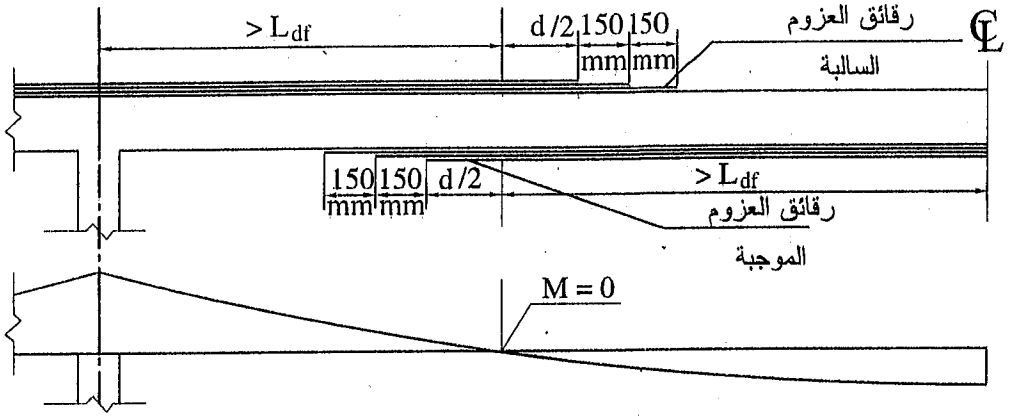
b_w عرض قطاع العنصر الخرساني المعرض للشد

b_{FRP} العرض الفعال للبوليمرات المسلحة بالألياف

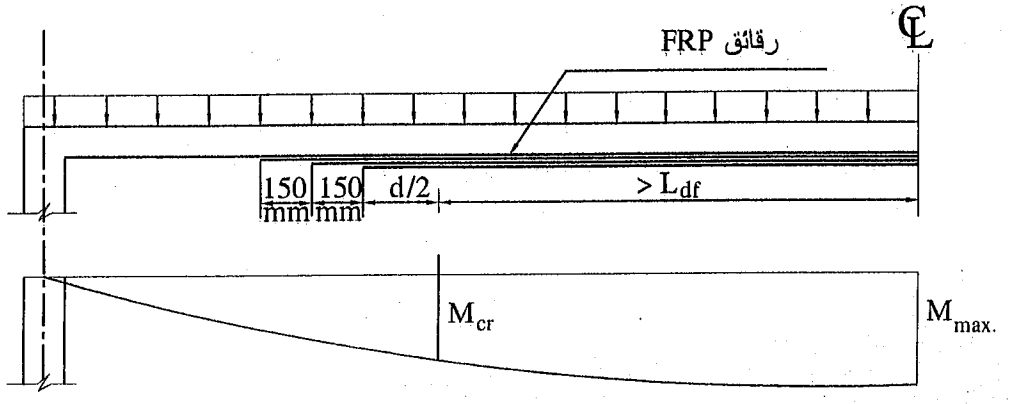
جـ- نتيجة للطبيعة القصفة للإنهيارات الناتجة عن إنفصال الغطاء الخرسانى نتيجة للقص أو الشد أو لانهيار التماسك السطحى فإنه يوصى باستخدام معامل لخفض مقاومة التماسك ذو قيمة تساوي ٠,٥ وذلك عند استخدام الطرق المتاحة لحساب إجهادات التماسك. ويجسب طول التماسك التصميمى كما يلى :

$$L_{df} > 2\ L_f \qquad (4\text{-}34)$$

د - فى العناصر المعرضة لعزوم انحناء يقاس طول التماسك التصميمى L_{df} من القطاع المعرض لاقصى اجهادات شد عند القطاع المعرض لاقصى قيمة للعزوم كما هو مبين فى شكل ٤- ٩ . كما يجب ان تمتد الالياف لمسافة اضافية تساوى طول الرباط وفقا للبند ٤-٣-٢-٤- ٦ وشكل ٤- ٩ .



شكل ٤- ٩ - أ : توقيف رقائق FRP للكمرات المستمرة

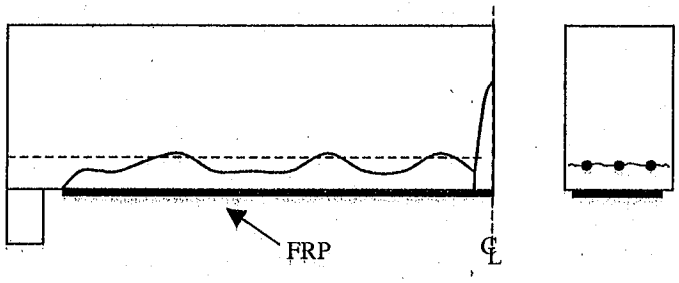


شكل ٤- ٩ - ب: توقيف رقائق FRP للكمرات بسيطة الارتكاز

شكل ٤- ٩ : توقيف رقائق FRP للعناصر المعرضة لعزوم انحناء

٤-٣-٢-٤-٥ انفصال الغطاء الخرساني DELAMINATION

يحدث إنفصال قصفى للغطاء الخرسانى (شكل ٤-١٠) كنتيجة لإجهادات الشد العمودية التى تنشأ في رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف الملتصقة بالسطح(شكل ٤-٨) . كنتيجة لهذا النوع من الانفصال فإن صلب التسليح يعمل كمانع للتماسك فى المستوى الأفقى وينتهى الأمر بانفصال الغطاء الخرساني تماماً عن الكمرة وذلك عند مستوى اتصال الغطاء الخرسانى بصلب التسليح المقاوم لقوى الشد. ويمكن تلافى هذه النوعية من الانهيار القصفى بمد الالياف بطول رباط كافى وفقا للبند ٤-٣-٢-٤-٦ بالاضافة الى استخدام وسائل تثبيت اضافية عند نهايات الالياف .



شكل (٤-١٠) : انفصال رقائق البوليمرات المسلحة بالالياف عن سطح الخرسانة نتيجة لاجهادات الشد

٤-٣-٢-٤-٦ طول الرباط

يمكن التحكم فى انفصال الغطاء الخرسانى عن طريق التحكم في مستوى الإجهادات عند نقطة توقف رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف. وفى حالة عدم توافر طرق دقيقة للتحليل فإنه يمكن اتباع التوصيات التالية لتحديد أماكن توقف رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف واطوالها لتفادى انفصال الغطاء الخرسانى:

أ - فى حالة الكمرات البسيطة فإن رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف يجب أن تمتد لمسافة لا تقل عن نصف عمق الكمرة (d/2) بعد القطاع المعرض لعزوم انجناء يساوى عزم التشرخ Mcr تحت تأثير الأحمال القصوى كما هو موضح بالشكل ٤- ٩ . وبالإضافة لذلك فإنه إذا

كانت قيمة قوة القص القصوى عند نقطة التوقف تزيد عن ٣/٢ مقاومة الخرسانة للقص فإنه يجب ربط رقائق البوليمرات المسلحة بألياف عرضية على شكل حرف U لمنع انفصال الغطاء الخرسانى. ويشترط ايضا مد الالياف بعد نهاية طول التماسك التصميمى لمسافة طول رباط لايقل طوله عن نصف عمق الكمرة (d/2). فى حالة استخدام تسليح مكون من عدة رقائق فإنه يجب عدم توقف جميع الرقائق عند قطاع واحد بل يجب مد تلك الرقائق على مراحل بطول رباط اضافى على ألا تقل مسافة توقف أول رقيقة عن ١٥٠مم وتضاف ١٥٠مم أخرى لحساب مسافة نقطة توقف الرقائق التالية كما هو مبين فى الشكل ٤-٩ .

ب - فى حالة الكمرات المستمرة فإنه يراعى مد الالياف لمسافة لاتقل عن نصف العمق الفعال للكمرة (d/2) مقاسة من نقطة الانقلاب (النقطة التى تكون فيها قيم العزوم الحانية منعدمة تحت تأثير الأحمال القصوى). فى حالة استخدام تسليح مكون من عدة رقائق فإنه يجب أن تتوقف تلك الرقائق على مراحل على ألا تقل مسافة توقف أول رقيقة عن نقطة الانقلاب عن ١٥٠مم وتضاف ١٥٠مم أخرى لحساب مسافة نقطة توقف الرقائق التالية كما هو مبين فى شكل ٤- ٩ . وتنطبق تلك التوصيات على المناطق المعرضة لعزوم انحناء موجبة أو سالبة. ولزيادة مقاومة انفصال الغطاء الخرسانى يمكن ربط رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف عن طريق لصق الياف على شكل U لاحتواء الرقائق الطولية عند نهاياتها.

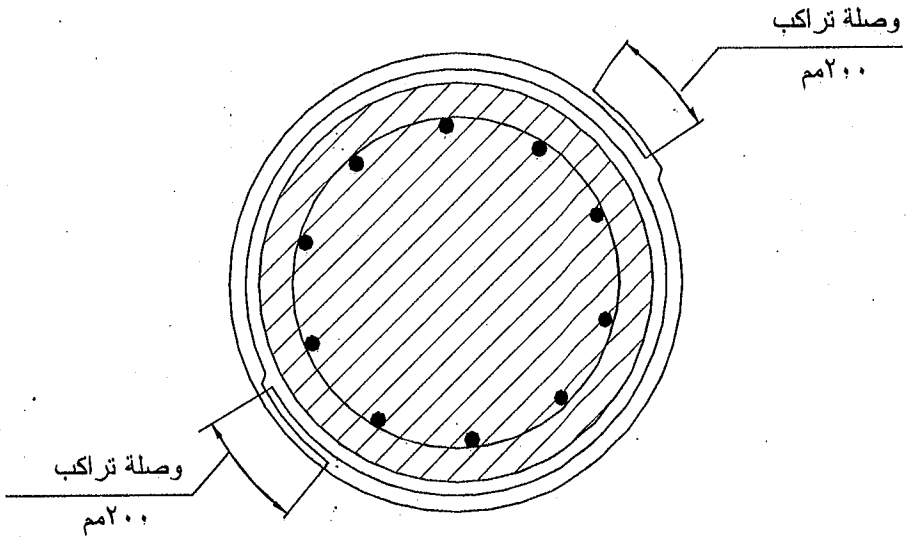
جـ- يمكن استخدام طرق الربط الميكانيكية لزيادة مقاومة اعمال التدعيم لانفصال الغطاء الخرسانى كما هو مبين فى طرق الربط الخاصة وفقا للبند ٤-٣-٢-٤- ٩ .

٤-٣-٢-٤-٧ تفاصيل التراكيب والوصلات

أ - يتم وصل رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف كما هو وارد بالرسومات التنفيذية أو بالمواصفات أو كما يصرح به المهندس المصمم تبعاً لتوصيات المورد.

ب - يجب السماح بعمل تراكب كاف للرقائق وذلك للتأكد من عدم حدوث الانهيار لهذه الرقائق قبل حدوث انفصال للغطاء الخرسانى.

جـ- يجب عدم عمل وصلات القمصان المصنوعة من البوليمرات المسلحة بالألياف للأعمدة عند نفس المكان من القطاع كما يجب ان لايقل طول وصلة التراكب عن ٢٠٠ مم وذلك للتأكد من عدم حدوث الانهيار للقميص عند مقاطع الوصلات (شكل ٤-١١).



شكل ٤-١١ وصلات التراكب للاعمدة

د - عند استخدام رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف أحادية الاتجاه يجب أن تكون وصلات التراكب في إتجاه الألياف مع عدم ضرورة عمل تراكب بين الرقائق المتجاورة . اما فى حالة استخدام رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف المكونة من حصائر متعددة الاتجاهات فانة يجب عمل وصلات بالتراكب فى تلك الاتجاهات.

٤-٣-٢-٤-٨ التفاصيل الخاصة بتأثيرات الرطوبة والمحتوى المائى

أ - عند استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف وبخاصة فى حالة اللف الكلى للعنصر فإنه يمكن أن يحدث تجمع للمياه عند خطوط الالتصاق، ولهذا فإنه ينصح بترك فجوة تسمح بمرور البخار فى حالة التدعيم لمقاومة الانحناء فى الكمرات والبلاطات.

ب - فى حالة التدعيم لمقاومة القص يجب ترك فجوات على مسافات لا تزيد عن ٣٠٠مم.

جـ- فى حالة تدعيم الأعمدة يتم ترك فجوة من ٣٠مم إلى ٥٠مم لكل ٣٠٠ مم وعند الوصلة بين العمود والقاعدة دون لف البوليمرات المسلحة بالألياف عليها. يجب عدم السماح للماء بالإنسياب ما بين سطح الخرسانة ورقائق البوليمرات المسلحة بالألياف عن طريق غلق الفجوة بمانع مائى (إيبوكسى أو دهان).

د – عند التعامل مع مشاكل الرطوبة والمحتوى المائى فإنه يمكن تقسيم المنشآت المزمع تدعيمها من ناحية تعرضها للعوامل البيئية إلى التقسيم الآتى:

القسم الأول: منشآت موجودة فى بيئة جافة ذات محتوى رطوبة ضعيف مثل العناصر الداخلية المحمية من المنشآت العادية كالمبانى.

القسم الثانى: المنشآت المعرضة للتجمد والذوبان فى بيئة ذات محتوى رطوبة صغير مثل المنشآت المحمية الموجودة فى العراء.

القسم الثالث: المنشآت الموجودة فى بيئة رطبة مثل المنشآت الموجودة فى العراء وليست معرضة مباشرة للماء أو الأمطار.

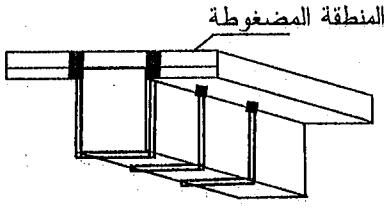
القسم الرابع: المنشآت الموجودة فى بيئة ذات نسبة رطوبة عالية أو المعرضة مباشرة للماء أو تلك المعرضة لدرجة حرارة عالية مصحوبة بمحتوى رطوبة عالٍ مثل الأرصفة البحرية ــ الكبارى أو السدود.

يمكن استخدام اللف الكلى فى حالة القسمين الأول والثانى، كما يجب إجراء دراسة على حالة السطح فى القسم الثالث ويجب عدم اللجوء للف الكلى في حالة القسم الرابع.

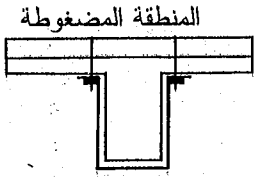
٤-٣-٢-٤- ٩ طرق الربط الخاصة وتفاصيلها

أ – حالة التدعيم لمقاومة القص

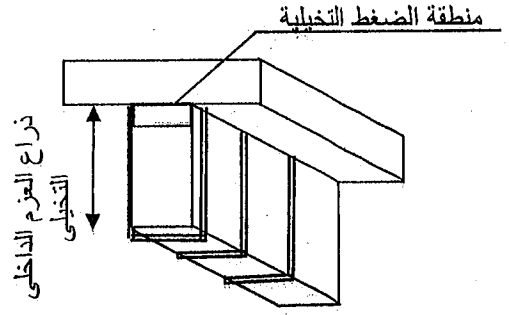
عند التدعيم للقص لا يفضل استخدام رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف على جانبى الكمرة فقط بل يفضل أن يتم الربط بكامل ارتفاع منطقة الضغط إذا أمكن ذلك عن طريق اللف الكلى أو اللف الجزئى فى منطقة الضغط كما هو موضح فى شكل رقم ٤– ١٢ وشكل رقم ٤– ١٣. وفى حالة عدم وجود ربط كافٍ فى منطقة الضغط فإنه يجب خفض قيمة الارتفاع الفعال (ذراع العزم الداخلى) وذلك لخفض المقاومة القصوى للانحناء كما هو موضح بشكل رقم ٤– ١٤ . ويوصى باستخدام تلك الطريقة ما لم تتوافر طرق حساب أخرى أكثر دقة.



شكل ٤ – ١٢ التثبيت في المنطقة المضغوطة



شكل ٤ – ١٣ التثبيت في المنطقة المنضغطة – أسلوب مرادف



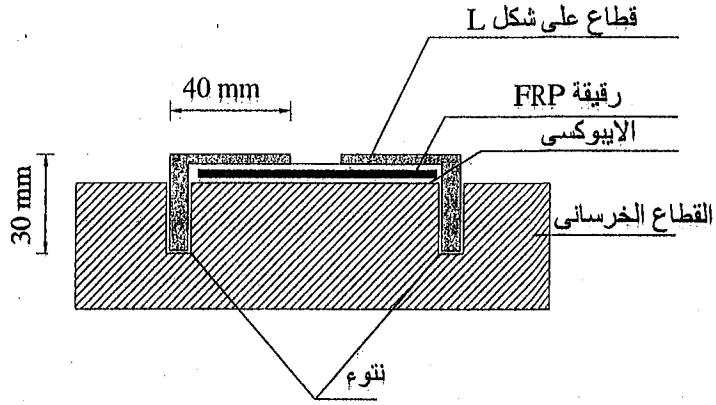
شكل (٤–١٤) حالة عدم وجود ربط كافي

ب – الأنظمة الخاصة للربط لزيادة المقاومة للأنهيار القصف الناتج عن انفصال الرقائق والغطاء الخرساني

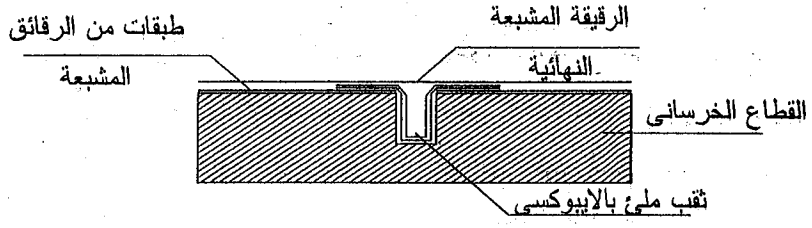
١ – يوصى باستخدام الرقائق على شكل U أو على شكل L او وسائل ربط ميكانكية للرقائق (شكل ٤–١٥) او طرق تثبيت باستخدام البوليمرات المسلحة بالالياف (شكل ٤–١٦) وذلك عند نهايات رقائق البوليمرات المسلحة بالألياف وذلك لمقاومة تركيز إجهادات

القص والإجهادات العمودية على السطح والمتسببة فى إنفصال الرقائق أو الغطاء الخرسانى.

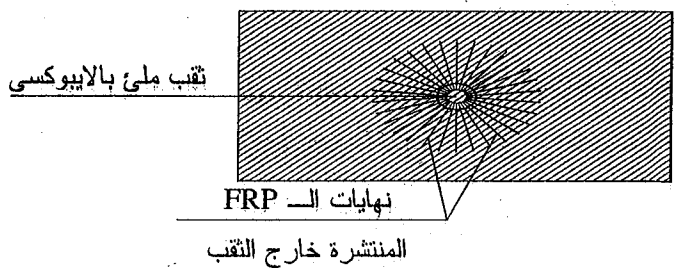
٢ – بالنسبة للربط عن طريق استخدام مسامير التثبيت فإنه يجب التأكد من ان لايؤدى استخدامها لإحداث قطع بالالياف.



شكل ٤–١٥ طرق التثبيت باستخدام وسائل ربط ميكانيكية



قطاع في منطقة التثبيت



شكل ٤–١٦ طرق تثبيت باستخدام البوليمرات المسلحة بالالياف

٤-٣-٣ حالات حدود التشغيل

٤-٣-٣-١ العناصر المعرضة للعزوم

٤-٣-٣-١-١ متطلبات كود الخرسانة المسلحة

يجب أن تستوفي أعمال التدعيم والإصلاح متطلبات حدود التشغيل (حالات حدود الترخيم والتشرخ) المنصوص عليها في الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة تحت تأثير أحمال التشغيل. ويمكن تقييم تأثير إضافة البوليمرات المسلحة بالألياف على متطلبات حدود التشغيل باستخدام خصائص القطاع الفعال المكافئ بعد التشرخ. ولضمان عدم حدوث تشكلات غير مرنة في القطاعات الخرسانية المدعمة بالبوليمرات المسلحة بالألياف، فإن الاجهادات المتولدة في صلب التسليح تحت تأثير أحمال التشغيل وبعد زيادة كفاءة القطاع والتي يتم تقيمها وفقا للمعادلة ٤- ٣٥ . يجب أن لا تتعدى ٨٠% من إجهاد الخضوع.

٤-٣-٣- ١-٢ حد انهيار الزحف و حد إجهادات الكلال

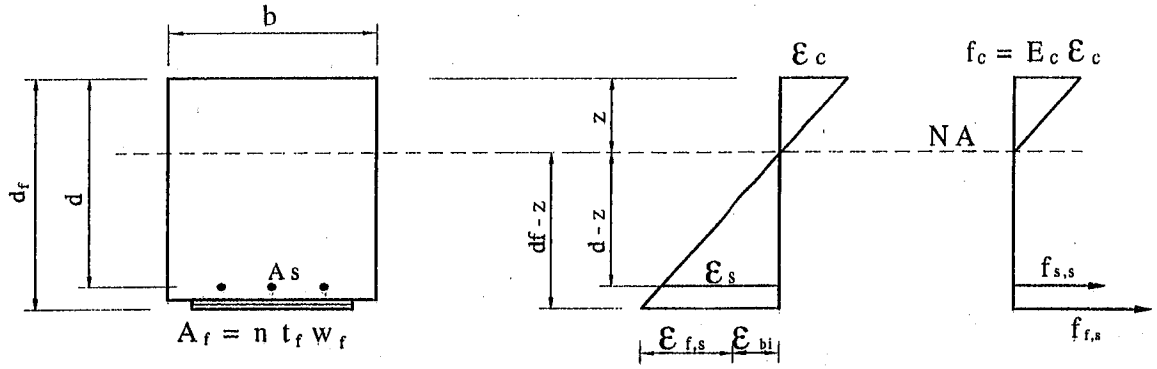
أ - يجب وضع حدود آمنة لهذه الاجهادات المتولدة لتجنب انهيار الزحف للقطاع المدعم بالبوليمرات المسلحة بالألياف . ويمكن تقدير هذه الاجهادات في البوليمرات المسلحة بالألياف باستخدام طريقة المرونة والتي يتم فيها تقييم المنشأ تحت تأثير جميع الأحمال الدائمة (الأحمال الدائمة والجزء الدائم من الأحمال الحية التي يمكن اعتباره شبة دائم).

ب - تم توصيف ظاهرة انهيار الزحف للأنواع المختلفة من الألياف وكيفية التغلب عليها في الفصل الثالث . ويعتبر العنصر غير معرض لانهيار الزحف متى كانت الاجهادات المتولدة به طبقا للبند ٣-٥-٨-٢ بمعادلات (٣-١) و (٣-٢) و (٣-٣) في الباب الثالث.

جـ- إذا تعرض المنشأ إلى أحمال دورية فأن الاجهادات المتولدة في البوليمرات المسلحة بالألياف يجب أن لا تتعدى قيم الاجهادات الواردة فى بند ٣-٥-٨-٢ بمعادلات (٣-١) و (٣-٢) و (٣-٣) في الباب الثالث.

٤-٣-٣-١- ٣ حساب الاجهادات في صلب التسليح عند مستوى أحمال التشغيل

يتم حساب الاجهادات في صلب التسليح باستخدام الخصائص المكافئة للقطاع المقوى بالبوليمرات المسلحة بالألياف بعد التشرخ كما هو موضح في المعادلة ٤- ٣٥ مع تقدير العزم M_s على أساس الأحمال الدائمة (الأحمال الدائمة والجزء الدائم من الأحمال الحية) (شكل ٤-١٧)



شكل (٤ - ١٧) الإجهاد و الإنفعال تحت تأثير أحمال التشغيل

$$f_{s,s} = \frac{\left[M_s + \varepsilon_{bi} A_f E_f \left(d_f - z/3\right)\right](d-z)E_s}{A_s E_s \left(d - z/3\right)(d-z) + A_f E_f \left(d_f - z/3\right)(d_f - z)} \le 0.8 f_y \qquad (4\text{-}35)$$

حيث :

z عمق محور الخمول للقطاع تحت تأثير أحمال التشغيل

d_f العمق الفعال لألياف التدعيم

٤-٣-٣-١-٤ حساب الاجهادات في البوليمرات المسلحة بالألياف تحت تأثير أحمال التشغيل

يتم حساب الاجهادات في البوليمرات المسلحة بالألياف باستخدام الخصائص المكافئة للقطاع المقوى بعد التشرخ. ويتم حساب الاجهادات تحت تأثير أحمال التشغيل في البوليمرات المسلحة بالألياف $f_{f,s}$ وفقا للمعادلة ٤ - ٣٦

$$f_{f,s} = f_{s,s}\left(\frac{E_f}{E_s}\right)\frac{d_f - z}{d - z} - \varepsilon_{bi}E_f \qquad (4\text{-}36)$$

ويجب أن لا تتجاوز الاجهادات في البوليمرات المسلحة بالألياف عن القيم المنصوص عليها فى البند ٣-٥-٨-٢

٤-٣-٣-٢ العناصر المعرضة لاجهادات ضغط

أ - يجب التأكد من عدم حدوث تشرخات عرضية في العمود (عمودية على اتجاه التحميل) تحت تأثير أحمال التشغيل حيث أن الإحاطة الجانبية للعمود الناتجة عن القمصان المصنوعة من البوليمرات المسلحة بالألياف إحاطة سلبية تكون ذات فاعلية في حالة التحميل القصوى فقط.

ب - للتأكد من عدم حدوث تشرخات عرضية في العمود تحت تأثير أحمال التشغيل يجب التأكد من أن قيم الاجهادات الحادثة في الخرسانة أثناء أحمال التشغيل لا تتعدى قيمة إجهادات الضغط في الخرسانة عن $0.4\ f_{cu}$ بالإضافة إلى ذلك يجب أن لا تتعدى قيمة الاجهادات في صلب التسليح عن $0.6\ f_y$ لتفادى أية تشكلات غير مرنة تحت تأثير الأحمال الدائمة أو الترددية

جـ- يضمن تحديد قيمة الإجهادات في الخرسانة وعدم حدوث تشرخات أثناء أحمال التشغيل بقاء الاجهادات في البوليمرات المسلحة بالألياف قليلة نسبياً مما يضمن عدم احتمال حدوث انهيار نتيجة للزحف

د - بالإضافة لما سبق فإنه يجب دراسة التشكلات المحورية تحت تأثير أحمال التشغيل للتحقق من تأثيرها على أداء العنصر الخرسانى.

الجزء الرابع : (٤-٤) اشتراطات تنفيذ أعمال الإصلاح والتدعيم

٤-٤-١ الاشتراطات الخاصة بأعمال تطبيق ولصق مواد التدعيم والإصلاح

٤-٤-١-١ أساليب و تقنيات التنفيذ

يتناول هذا البند أساليب تنفيذ أعمال التدعيم وإصلاح المنشآت الخرسانية باستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف كتسليح سطحي خارجي يلصق على أسطح العناصر الخرسانية المراد تدعيمها مستخدما في ذلك الأنظمة المعطاة في الجزء الثاني من هذا الباب (جزء ٤-٢) وأسس الاختيار والمفاضلة بينها .

٤-٤-١-١-١ الأسلوب و تقنية التنفيذ الرئيسية - التطبيق اليدوي

يستند أسلوب التدعيم الرئيسي باستخدام FRP على التطبيق اليدوي على العنصر المراد تدعيمه . ويتم اللصق من خلال بلمرة مادة لاصقة تتكون من مركبين يتم تصلدها على البارد (عادة ما تكون ذات أساس ايبوكسى) . ويتم ذلك وفقا للاشتراطات و المواصفات المذكورة في البنود المذكورة في هذا البند.

ويشتمل أسلوب التدعيم الرئيسي على ثلاثة عناصر تعرف كما يلي :

١ - سطح التدعيم **Substrate**

تتوقف كفاءة أعمال التدعيم على نوع وخصائص خرسانة المنشأ القائم وحالة السطح التي سيتم لصق التسليح FRP عليه. و يشترط في سطح الخرسانة ما يلي :

أ - أن يكون مستوى وخالي من أي عيوب ظاهرية مثل النتوءات أو التعشيش أو التشرخات أو الرطوبة بالسطح وأن يكون كذلك كذلك خالي من محتوى أيونات الكلوريدات والكبريتات.

ب - أن تكون خصائص الخرسانة عند السطح تفى بمتطلبات ضمان جودة وفاعلية التدعيم.

جـ- أن يكون الغطاء الخرساني خالي من الكربنة وان لا يوجد صدا في صلب تسليح العنصر.

٢ - اللاصق الراتنجي **Adhesive/Resin**

عامل الربط المناسب لتسليح FRP الذي يشترط أن يفى بالمواصفات والاشتراطات المطلوبة في المشروع . ويعتمد نوع عامل الربط على نوع تسليح FRP وعلى نوع وحالة السطح وذلك لضمان الربط و اللصق الجيد بين FRP و السطح . بالإضافة إلى انه قد يتطلب خاصية إمكانية التشريب الجيد لنسيج الألياف لمادة اللاصق وذلك في حالة استخدام نظام التطبيق بفرش النسيج الرطب "wet lay-up"

٣ - البوليمرات المسلحة بالألياف FRP

التسليح الخارجي من FRP الذي يتم لصقه سطحيا هو مادة مركبة وفقا لما جاء في الباب الثاني. ويمكن تحديد النوعين الرئيسيين من التسليح طبقا للتطبيق كما تم تصنيفهم في الجزء الثاني من هذا الباب وفقا للبند ٤-٢-٤ لتحديد الأنواع المختلفة لأنظمة FRP. ويعطى جدول ٤-٣ الخصائص الأساسية لنوعيتي ألواح ورقائق جاهزة الصنع "Prefab "pre-cured" strips or laminate or والأنسجة والا سفائح لنظام التطبيق اليدوي بفرش الرقائق المشبعة بالموقع (wet lay-up (hand lay-up) أو sheets or fabrics cured in situ من تلك الأنظمة.

٤-٤ -١-١-٢ الأساليب والتقنيات الخاصة :

تم إستحداث وتطوير عدة تقنيات وأساليب خاصة للتطبيق كما هو معطى في بند ٤-٢-٤-٣. ولا يشتمل هذا الكود على أي مواصفات خاصة بتلك الأساليب .لذا يجب في حالة الموافقة على استعمالها إجراء اختبارات معملية مستقلة للتأكد من فاعليتها وكفاءتها .

٤-٤ -١-٢ اشتراطات ومتطلبات عامة للتنفيذ :

يشترط استيفاء الاشتراطات العامة التالية عند إجراء أعمال لصق وتطبيق FRP على الأسطح الخرسانية :

١ - يتم تطبيق أعمال اللصق والتثبيت للبوليمرات المسلحة بالألياف على سطح العنصر الإنشائي أما في الجو الجاف أو الرطب. ولكل حالة توجد متطلبات محددة يجب استيفاءها لضمان التماسك و الربط الجيد .

٢ - يجب إجراء أعمال اللصق في حالة ماذا كان سطح العنصر الخرساني جاف كلما أمكن ذلك. وتجرى التجارب الخاصة بتحديد درجة الرطوبة في الخرسانة ولضمان عدم تأثر أعمال التدعيم بالسلب نتيجة وجود الرطوبة .

جدول رقم (٤-٣) : الخصائص الأساسية لتسليح FRP الملتصق سطحيا

	الأنسجة للأنظمة المشبعة CURED IN SITU (WET LAY-UP)	ألواح و رقائق جاهزة الصنع PRE-CURED (PREFAB)
الشكل	أنسجة ورقائق	ألواح و رقائق جاهزة
السمك	من ٠,١-٠,٥ مم	من ١- ١,٥ مم
الاستخدام	يتم لصق و تشبيع النسيج أو الرقائق بالراتنج (يشكل و يتصلد بالموقع)	يلصق العنصر المصنع و الجاهز بسهولة بواسطة المادة اللاصقة
مظاهر التطبيق النمطي	يجب لف و تدوير السوك و الأركان الحادة	تستخدم للأسطح المستوية و المسطحة فقط إذا لم يتم تشكيلها
	الراتنج المستخدم للصق و التشريب يكون منخفض اللزوجة	اللاصق الرابط له قوام غير قابل للتسييل Thixotropic
	عادة يكون مكون من عدة طبقات	عادة طبقة واحدة مع إمكانية عمل عدة طبقات
	غالبا ما يتم الاحتياج لمعجون أو مونة تسوية لمنع الإنفصال و الانفلات من السطح لعدم الاستوائية	جساءة الرقيقة واللاصق غير القابل للتسييل يسمح ببعض عدم الاستوائية للسطح
	نظام مرن في الاستعمال يحتاج مراقبة جودة صارمة	سهل الاستعمال و ضمان عالي للجودة لكونه نظام جاهز (prefab system)
مراقبة الجودة	يجب إجراء مراقبة وضبط جودة لتلك الأعمال حيث أن التطبيق الخاطئ و المصنعيات السيئة تؤدى إلى فقد فاعلية أداء المركب بين FRP وسطح المنشأ مما يؤدى إلى قصور في سلامة النظام على المدى الطويل	

٣ - في الأجواء الرطبة لابد من التأكد أن رطوبة السطح الخرساني الداخلية لن تؤثر سلبا على التماسك والالتصاق بين عناصر التدعيم من البوليمرات المسلحة بالألياف و بين التدعيم السطحي. مع مراعاة أن رطوبة السطح لها تأثيرات سلبية جانبية خطيرة نتيجة صدأ حديد التسليح الداخلي الذي سيؤدى لتلف و انفصال الغطاء الخرساني مما سيتبع ذلك فقدان أعمال التدعيم لكامل فاعليتها . في حالة ظروف التطبيق التي يكون فيها العنصر الخرساني المزمع تدعيمه معرض لتشبع مستمر لسطحه بالمياه مثل حالات التدعيم تحت سطح الماء لابد من إجراء دراسات خاصة و بحث سلوك و فاعلية عملية التماسك حتى لو تبين أن اللصق له قوة تلاصق جيدة مع الأسطح في الظروف الجوية الرطبة.

٤ - يجب ألا تزيد درجة حرارة أجزاء العنصر الإنشائي الذى يتم تدعيمه عن درجة حرارة التحول الزجاجي T_g للمادة اللاصقة الراتنجية، ولذا يجب أن لا تزيد درجة الحرارة عند التطبيق عن ٤٥ °م .

٥ - يجب أن يتم الأخذ في الاعتبار جيدا المظاهر التالية : فروق درجات الحرارة بين FRP و السطح تحت ظروف التشغيل , الحماية ضد الحريق , الحماية من الأشعة فوق البنفسجية UV , احتمال حدوث تدمير أو إتلاف متعمد لأعمال التدعيم .

٦ - يشترط معالجة الصدأ في صلب التسليح وأي عيوب في المنشأ وفى سطح الخرسانة قبل البدء في تطبيق أعمال التدعيم باستخدام FRP .

٧ - يشترط أن تجرى أعمال التدعيم طبقا للمواصفات والمتطلبات المعطاة في هذا الجزء . بالإضافة إلى ضرورة الأخذ في الاعتبار التعليمات المعطاة بواسطة المورد والمصنع للمواد اللاصقة والراتنجية و FRP والنظام ككل. على أن يتم ذلك تحت إشراف استشاري متخصص مستخدما في ذلك المواصفات والرسومات التصميمية للمشروع المعتمدة من استشاري متخصص مع ضرورة اتباع نظام لمراقبة وضبط الجودة متفقا مع متطلبات الكود

٨ - يجب أن يقوم بتنفيذ و تطبيق تقنيات البوليمرات المسلحة بالألياف مقاولون متخصصون مؤهلون وان يكون قد تم تدريبهم بعناية للقيام بتلك الأعمال

٤-٤ -١-٣ تطبيق و تنفيذ أعمال التدعيم والإصلاح

يجب أن يتم تطبيق أعمال التدعيم والإصلاح باستخدام FRP وفقا لاشتراطات هذا البند. كما يجب كذلك اتباع المواصفات الخاصة والمعطاة من المورد والمصنع لمواد التسليح من

FRP واللواصق بشرط ألا تتعارض مع اشتراطات هذا البند والتي يشترط أن يتم توثيقها وتأكيد سلامتها من واقع نتائج الأبحاث والاختبارات . وتعتمد خطوات الاستخدام العملي للتسليح السطحي الملصوق من FRP على نوع FRP (ألواح ورقائق جاهزة الصنع "Prefab" أو الأنسجة) وكذلك على نظام التطبيق وفقا لما يلي :

٤-٤ -١- ٣ -١ أعمال الإصلاح و الترميم السابقة لأعمال التدعيم للعنصر الخرساني:

يجب أن تكون الخرسانة سليمة ومتماسكة وذات مقاومة كافية تناسب أعمال التدعيم. ويشترط أن يتم علاج وإصلاح أي عيوب في الخرسانة وسطحها قبل البدء في أعمال التدعيم والتقوية. كما يجب أيضا أن لا تكون هناك خطورة من صدأ صلب التسليح على العناصر القائمة. ولذا فانه يشترط أن يشمل أعمال الإصلاح إزالة الصدأ مع ضرورة عمل حماية لصلب التسليح الداخلي باستخدام طرق مختبرة ومعتمدة قبل البدء في أعمال التدعيم باستخدام FRP. مع ملاحظة انه لا يترتب على استخدام FRP وقف التأثيرات الضارة مثل صدأ صلب التسليح أورشح و تسرب الماء أووجود نسبة عالية من الكلوريدات و خلافه . ويجب استشارة المورد المصنع لنظام FRP عن مدى ملائمة و توافق مواد الإصلاح و الترميم للخرسانة وصلب التسليح مع نظام FRP المستخدم . ويتم استيفاء ما ورد في هذا وفقا لما يلي:

١ - للتطبيقات المعتمدة علي التماسك مع السطح BOND CRITICAL APPLICATIONS (بند ٤-٢-٣-١) يجب التحقق من سلامة و قوة السطح ويشترط أن لا تقل مقاومة الشد للسطح عن ١,٥ نيوتن/مم^{٢} . وفى حالة عدم استيفاء مقاومة الشد للسطح لتلك القيمة يتم إزالة طبقة رقيقة من خرسانة الغطاء الخرساني حتى نصل إلى المقاومة المطلوبة . وفى حالة وجود تلف أو تآكل بسمك عميق بالسطح الخرساني بحيث لا يمكن تحقيق قيمة مقاومة الشد المطلوبة يتم علاج تلك العيوب بطرق العلاج السطحي التي قد تتطلب استبدال الخرسانة في ذلك الجزء. ويتم الاستبدال بمون ترميم جاهزة أو جراوت أو بخرسانة دقيقة جديدة ذات جودة عالية. ويشترط وجود تماسك كامل بين مونة العلاج وسطح الخرسانة وعلى أن يتم اختبار سطح المونة لضمان استيفائها لقيمة مقاومة الشد المطلوبة .

٢ - بالرغم أن التسليح الخارجي يعطى حماية جزئية لصلب التسليح ضد الصدأ إلا انه يشترط منع استمرار حدوث الصدأ لتجنب تلف الغطاء الخرساني نتيجة تمدد الصدأ وفقدان أعمال التدعيم فاعليتها وخصوصا في حالات التطبيقات المعتمدة علي التماسك مع

السطح . لذا فانه يشترط عمل الترميم والحماية لصلب التسليح إذا كان الصدأ موجود بالفعل . وللتحقق من ذلك قد يتطلب الأمر معرفة عمق الكربنة بالغطاء الخرساني ومحتوى الكلوريدات به ويشترط ألا تتعدى نسبة الكلوريدات في الغطاء الخرساني القيم المسموح بها في الكود المصري للخرسانة المسلحة .

٣ - يجب أن يتم حقن و ملء أي شروخ أو فواصل صب إنشائية بعرض أكبر من ٠,٢مم والتي يمكن أن يحدث رشح للماء منها بمادة راتنجية منخفضة اللزوجة مناسبة ومتوافقة. بالإضافة إلى انه يجب علاج مسامية الأسطح الخرسانية لتقليل خطورة صدأ صلب التسليح.

٤-٤ -١- ٣ -٢ تحضير الأسطح للعنصر الخرساني ولعناصر التدعيم

٤-٤ -١- ٣ -٢-١ تحضير السطح الخرساني :

تعتمد متطلبات تحضير السطح على نوع التطبيق لنظام الـFRP (بند ٤-٢-٣) . حيث يتم تصنيفهم إلى تطبيق يعتمد على التماسك والتلاصق Bond Critical Applications وتطبيق يعتمد على الملامسة للسطح Contact Critical Application . ويتم تحضير السطح الخرساني جيدا و ذلك لضمان إعطاء التماسك الكامل والملامسة المطلوبة للسطح .

١ - يجب أن يتم تخشين وفتح مسام السطح ليكون خالي من الملوثات ولباني الأسمنت وبالطريقة التي يتم بها الاستفادة القصوى من جودة الخرسانة. يفضل أجراء ذلك بالطرق الميكانيكية مثل الترميل (السفع الرملي) أو السفع المائي أو التجليخ . قد تستعمل طرق الزنبرة اليدوية الدقيقة أو الزنبرة الميكانيكية (البشردة) Scabling وذلك في حالات عيوب ضعف خرسانة الغطاء الخرساني . وقد تتطلب إزالة سمك قد يصل إلى عدة سنتيمترات على أن يتم التحقق من موافاة مقاومة الشد و التماسك المطلوبة في التصميم. وفى حالات تحضير السطح الخرساني بالطرق المعتمدة على السفع والترميل يجب أن يكون السطح الذي تم تحضيره مشابه للسنفرة الخشنة مع أقل كشف للركام الكبير . ومعظم أنظمة التطبيق بفرش النسيج الرطب wet lay-up systems تتطلب سطح أملس مستوى كما هو مبين في الجدول رقم (٤-٤) وهو ما يجعل أسلوب التجليخ مناسبا جدا لهذه الحالة . أما إذا تم استخدام أسلوب التحضير الميكانيكي بالسفع فقد يتطلب ذلك استخدام مونة تسوية أو معجون بعد التحضير و تخشين الأسطح. وفى حالة التحضير بالسفع المائي يجب تنفيذ

التسليح السطحي FRP بعد الحصول على سطح جاف كافي مرة ثانية وفقا للمتطلب رقم ٦ التالي . كما يجب عدم إتلاف أو تدمير الخرسانة أى كانت طريقة التحضير .

٢ - يجب أن تكون الخرسانة متماسكة و قوية و خالية من العيوب و كل أنواع التلف المؤثر . كما يجب أن يتم تجليخ البروزات و السوك و الأركان و تنظيف الصدأ و الشروخ المتسعة وخلافه.

٣ - يعتمد عدم الاستواء المسموح به بالسطح على نوع التسليح السطحي من FRP . فالرقائق الجاهزة والتي لها بالفعل جساءة قبل التطبيق و تطبق بلصقها بلاصق ذو لزوجة عالية وغير قابل للتسييل حيث أنها تكون اقل تأثرا وحساسية لعدم الاستواء بالسطح. بينما الأنسجة والصفائح تكون اكثر مرونة وبالتالي يكون تأثير عدم استوائية السطح أكثر أهمية في حالة الأنسجة والصفائح . و يعطى جدول رقم (٤- ٤) القيم المسموح بها لعدم استواء سطح الخرسانة .

جدول رقم (٤- ٤) : القيم المسموح بها لعدم استواء سطح الخرسانة

نوع التسليح السطحي من FRP	التفاوت المسموح به في طول ٣٠سم (مم)	التفاوت المسموح به في طول ٢,٠٠ متر (مم)
الرقائق الجاهزة ذات سمك اكبر من ١ مم "Prefab", > ١ mm	٤	١٠
الرقائق الجاهزة ذات سمك أقل من ١ مم "Prefab", < ١ mm	٢	٦
الأنسجة التي تتصلد بالموقع (مثل أنظمة التطبيق بفرش النسيج الرطب) "Cured in situ"	٢	٤

٤ - ونتيجة لأهمية التفاوت المسموح به في استواء سطح الخرسانة يتم غالبا استخدام المعجون أو مونة التسوية الخاصة مع الراتنج اللاصق و ذلك في أنظمة التطبيق بفرش النسيج الرطب.wet lay-up systems . وهذا المعجون يجب أن يوفى المتطلبات الخاصة بمنتجات علاج وترميم الخرسانة. ويجب أن يستخدم المعجون (مونة التسوية) بحيث

يستوفى جميع المواصفات والاشتراطات الخاصة بمصنع المادة وعلى أن يكون قد ثبت توافق و ملائمة كل من الراتنج والمعجون للصق النسيج.

٥ - يجب أن تكون الأسطح التي تم تحضيرها نظيفة خالية من الأتربة قبل تنفيذ أسلوب وتقنية التقوية والتدعيم. ويتأتى هذا باستخدام وسائل ميكانيكية مثل شفط الهواء بالتفريغ أو الهواء المضغوط الخالي من الزيوت.

٦ - يجب أن تكون الأسطح التي تم تحضيرها جافة . ويراعى نسبة الرطوبة القصوى المسموح بها بالسطح والتي تحدد بواسطة منتج النظام. ويلاحظ أن بعض اللواصق يمكن استخدامها في بيئة وظروف رطبة. ولا يسمح بأي حال بان يكون السطح الخرساني مبتل. ويجب أن تتخطى درجة حرارة السطح نقطة الندى (اكبر بخمسة درجات مئوية على الأقل) ونقطة الندى تعتمد على الرطوبة النسبية بالجو ودرجة حرارته . وإذا لم يتحقق ذلك فلابد من عمل التهوية وتعديل حرارة الوسط المحيط (قد يكون بالتسخين).

٧ - يتم عمل علامات تحديد على سطح الخرسانة في الأماكن المزمع تطبيق التسليح الخارجي من FRP عليها. وبالنسبة لتطبيق النسيج يجب لف السواعد والأركان وذلك بنصف قطر طبقا للرسومات التصميمية. وإذا كان مطلوب عمل رباط وتثبيت ميكانيكي فيجب أن تنفذ أعمال التحضير والتجهيز المطلوبة لذلك بطريقة سليمة وصحيحة.

٨ - استخدام طبقة الدهان البادئ (البرايمر) ليس بالضروري إلا إذا أوصى بذلك المصنع للنظام. والدهان البادئ قد يستعمل قبل طبقة المعجون (مونه التسوية) والذي يستخدم لضبط استوائية السطح.

٤-٤ -١- ٣ -٢-٢ تحضير البوليمرات المسلحة بالألياف :

أ- الألواح والرقائق جاهزة الصنع "Prefab"

يجب أن يتم توريد الرقائق الجاهزة إلى الموقع بالعرض و السمك المطلوب و يتم تقطيعها بحسب الطلب طبقا للأطوال الموصفة و المطلوبة في الرسومات التصميمية . ويجب أن تكون الرقائق خالية من أية ملوثات ملتصقة مثل الدهون و الشحوم والغبار الكربوني و الأتربة وزيوت الشدات والفرم وخلافه. وبالنسبة للرقائق التي يتم توريدها بشريط لاصق عليها لضمان سطح نظيف يجب أن لا يتم إزالة هذا الشريط إلا قبل التنفيذ مباشرة. كما يجب عدم اللمس باليد ثانية لسطح الرقيقة. وهناك رقائق أخرى قد تتطلب أن تجلخ و تنظف قبل الاستخدام وذلك

لضمان أن يكون سطح الرقائق في حالة جيده قابلة للصق بكفاءة عالية. كما يجب أن تتم مناولة و تداول الرقائق باستخدام القفازات النظيفة وفي ظروف جافة.كما يجب التأكد من عدم وجود أي تلف بها أثناء النقل والمناولة أو التقطيع. كما يجب أن تكون الرقائق غير ملتوية أو منحنية أو متقوسة أو معوجة.

ب – الأنسجة الخاصة بنظام التطبيق بفرش النسيج الرطب wet lay-up TYPE

يتم تقطيعها بالأبعاد المسطحة المطلوبة والمحددة بالرسومات التصميمية كما يجب المحافظة عليها نظيفة من أية ملوثات ومع مراعاة عدم حدوث أية تلف نتيجة النقل أو المناولة أو التقطيع الخاطئ. كما يراعى إزالة التغليف و لفات طبقات الحماية مباشرة قبل الاستخدام و التطبيق. كما يجب اتباع مواصفات و إرشادات واحتياطات المصنع للنظام. كما يجب فحص الأنسجة للتأكد من عدم وجود أية تلف نتيجة النقل أو المناولة أو التقطيع الخاطئ . و يجب أن تكون الأنسجة غير ملتوية أو خيوط ألياف غير صحيحة الاتجاه.

٤-٤ -١- ٣ -٣ تطبيق التسليح السطحي من البوليمرات المسلحة بالألياف :

يعتمد التطبيق على نوع ونظام التسليح السطحي من FRP فبالنسبة للرقائق الجاهزة يعمل اللاصق على ضمان اللصق فقط. وغالبا ما يطبق اللاصق العالي اللزوجة ذو قوام غير قابل للتسييل Thixotropic. أما بالنسبة للأنسجة (نظام التشريب بالموقع "wet lay-up) فالراتنج يجب أن تكون له خاصية تشريب الألياف في النسيج إلى جانب تأكيد الالتصاق بالسطح الذي يتطلب أن تكون المادة ذات لزوجة منخفضة مع الأخذ في الاعتبار أن تكون اللزوجة كافية لإمكانية التنفيذ بالأسطح السفلية للعناصر Overhead (مثل القيعان بالكمرات و أسفل البلاطات) . ويجب أن ينفذ التطبيق للتسليح السطحي من FRP بحيث يفى بالمواصفات المعطاة في هذا البند مع ضرورة إجراء اختبارات مراقبة الجودة المنصوص عليها في هذا الكود . هذا بالإضافة إلى الأخذ في الاعتبار كل الاشتراطات و المواصفات والاحتياطات المعطاة من المورد المصنع للنظام مثل درجتى حرارة الوسط والسطح المسموح بهما و حدود كل من الرطوبة النسبية ونسب الخلط للمركبات وزمن الخلط والتقليب وزمن صلاحية التشغيل بعد الخلط و الزمن الكافي لعمل الوصلات بالتراكب والصلاحية واحتياطات وإجراءات الأمن والسلامة كما بالنشرة الفنية الخاصة بتعليمات الأمان كما يراعى أيضا تأثيرات الوسط المحيط وزمن التصلد والجفاف وخلافه. كما يجب أن تكون حدود درجة حرارة الوسط والرطوبة النسبية طبقا لمواصفات المصنع للنظام (للراتنج واللاصق) وعلى ذلك يجب أن ينتهي

التطبيق بحيث لا يتخطى ٨٠% من زمن صلاحية التشغيل Pot life والزمن الكافي لعمل الوصلات بالتراكب ،بعد إتمام أعمال التطبيق والتصلد والجفاف يجب أن يكون سطح FRP مستو حيث أن الأسطح المقعرة سوف تؤدى إلى أن ينفصل FRP ويترك السطح ويعبر عن ذلك بعمق التغير في السطح بالقياس على أساس طول ٣٠ سم فان التفاوت يجب أن لا يزيد عن ٤مم في أنظمة الرقائق الجاهزة "Prefab" ولا يزيد عن ٢ مم في أنظمة التطبيق بفرش النسيج الرطب wet lay-up .

٤-٤ -١- ٣ -٣-١ للرقائق الجاهزة Strips or Laminates Prefab

يتم تطبيق اللاصق على سطح الخرسانة كطبقة رقيقة مباشرة بعد الخلط كما يتم وضع اللاصق على سطح رقيقة FRP على شكل منحنى قبة (بالنسبة لرقيقة بعرض ١٠٠ مم أقصى سمك للاصق ٥مم) ومع وجود كمية اللاصق اكثر قليلا بمحور الرقيقة فان هذا يؤدى لعدم تكون فراغات اسفل الرقيقة عند التطبيق. ثم يتم وضع الرقيقة على السطح و يتم الضغط برولة مطاطية خاصة لضمان وجود اتصال تام مع الخرسانة. كما يتم خروج الكمية الزائدة من اللاصق باندفاع من جانبي الرقيقة مع الحرص أن يؤثر بالضغ ـ بحيث لا يؤدى لتكون فراغات (الضغط يتم من المنتصف أو محور الرقيقة إلى الأطراف الخارجية). ويكون سمك خط اللصق النهائي منتظم تقريبا و بسمك لا يقل عن ١,٥-٢ مم . وعادة تنفذ الرقائق على طبقة واحدة ألا انه قد يتم تنفيذ عدة طبقات (لا يزيد عن ٣ طبقات للرقائق الجاهزة إلا إذا تم إثبات غير ذلك بالاختبارات). عند أماكن التقاطعات بين الرقائق يتم زيادة سمك اللاصق تدريجيا قبل و بعد التقاطع و بحيث يوفى اشتراطات الجدول رقم (٤-٤). وإذا تم وضع شريط ورق لاصق على طول جانبي الرقيقة قبل عملية اللصق فان هذا يسهل إزالة الزائد من اللاصق. كما انه عادة لا تكون هناك حاجة لوسيلة ضغط خارجي أثناء التصلد و الجفاف.

٤-٤ -١- ٣ -٣-٢ لأنواع الأنسجة (نظام التطبيق بفرش النسيج الرطب) wet lay-up"

غالبا ما يتطلب الأمر استخدام معجون مع دهان بادئ للسطح الخرساني و ذلك للوصول لسطح مستوى حسب المواصفات و الاشتراطات والتي يجب أن تنفذ طبقا لمواصفات و اشتراطات المصنع للنظام ثم يتم بعد ذلك تطبيق راتنج منخفض اللزوجة (أو معجون) على سطح الخرسانة ويكون بسمك كافي ومنتظم ويتم التطبيق بالرولة أو الفرشاة أو البروة المسننة وهذه الخطوة تسمى الطبقة التحتية من الطلاء (undercoating) . حينئذ يتم تطبيق النسيج بالضغط يدويا في الراتنج اللاصق وبطريقة بحيث يكون مشدودا بدون التسبب في عمل فراغات . ثم يتم التشريب و مزيد من الضغط على النسيج

بتطبيق كمية من اللاصق فوق سطح النسيج (بعد إزالة الورق الخلفي لبعض الأنواع إذا وجدت) ويتم تطبيق اللاصق أيضا بالرولة أو الفرشاة وهو ما يسمى بالتغطية للدهان (over coating) وسمك خط اللاصق يجب ان يكون منتظماً. وهذا الأسلوب يسمى بالتشريب اليدوي (Manual Saturation). وللحصول على مستوى أعلى لتأكيد الجودة يوجد أسلوب مرادف باستخدام جهاز أو ماكينة تشريب (saturator) حيث يتم تشريب الأنسجة بالراتنج فيه وهذا الأسلوب يمتاز بأنه يمكن من التحكم الجيد في التشريب وبمعدل منتظم من الراتنج و بالتالي يعطى سمك نهائي منتظم. و يسمى هذا الأسلوب بالتشريب الآلي (Automated Saturation) . ثم بعد ذلك يتم تطبيق النسيج السابق تشريبه على السطح الخرساني السليم المغلق المسام. وغالبا يتم تنفيذ عدة طبقات وذلك قبل أن تجف و تتصلد الطبقة السابقة ما لم يوصف غير ذلك (عادة لا يزيد عدد الطبقات عن خمسة طبقات إلا إذا تم إثبات غير ذلك بالاختبارات). كما انه عادة لا يتم الاحتياج وسيلة ضغط خارجي أثناء التصلد و الجفاف.

٤-٤-١-٣ التشطيب و نهو السطح :

قد يتطلب الأمر نوع معين من التشطيب لأغراض تجميل معمارية. أو للحماية من الحريق أو من تأثير الأشعة فوق البنفسجية أو احتمالات التلف و التخريب . و عليه فتكون طبقة التشطيب ذات تأثير حرج و حاسم لإتمام تدعيم المنشأ على المدى الطويل . قد يتم تطبيق عدة طبقات من التشطيب عن طريق الدهانات المتكررة أو باستخدام مدفع الخرسانة أو ألواح الحماية من الحريق. ويتم تطبيق أنواع التشطيبات هذه طبقا لمواصفات و اشتراطات المصنع. كما يجب أن يثبت توافق طبقات التشطيب مع التسليح الملتصق سطحيا من FRP . كما انه يجب أن لا تؤدى طبقات التشطيب أو التغطية إلى حرارة قد تتلف و تؤثر على سلامة التماسك والالتصاق.

٤-٤-٢ تأهيل المقاول للقيام بأعمال التنفيذ

٤-٤-٢-١ يقوم بأعمال التنفيذ لتدعيم أو إصلاح عناصر المنشات الخرسانية باستخدام أنظمة البوليمر المسلح بالألياف, متضمنة أعمال تجهيز السطح الخرساني وترميمه إذا لزم الأمر، مقاول مؤهل وذو خبرة كافية للقيام بتنفيذ هذه الأعمال. وذلك نظرا للطبيعة الخاصة لهذه الأعمال والتي تعتمد كفاءتها النهائية بصورة أساسية على دقة وجودة التنفيذ ، مما يؤثر على سلامة المنشأ وشاغليه وكذلك اقتصاديات تشغيله.

٤-٤-٢-٢ يقدم المقاول إلى الاستشاري الممثل للمالك المستندات الدالة على تأهيله للقيام بهذه الأعمال وبناء عليها يتخذ المالك القرار بمدى أهلية المقاول وبالتالي إسناد الأعمال أليه، ومن هذه المستندات:

أ - بيان بأعمال سابقة لتدعيم أو إصلاح للمنشآت باستخدام أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف.

ب - بيان بأعمال سابقة في مجال تدعيم أو إصلاح المنشآت.

جـ- اجتياز الدورات التدريبية المتخصصة للأفراد العاملين على تطبيق هذه المواد.

د - خطابات تزكية من عملاء أو استشاريين بإتمام أعمال سابقة مشابهة بكفاءة.

٤-٤-٢-٣ يقوم بالعمل والتنفيذ في الموقع عمالة فنية مدربة تدريبا متخصصا على تنفيذ أعمال الإصلاح والتدعيم بأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف, ويكون المقاول مسئولا عن تدريب العمال لديه التدريب المناسب وتحديث هذا التدريب على فترات مناسبة نظرا للتطوير المستمر للمواد والأنظمة وأدوات وأساليب التنفيذ المتبعة في هذا المجال.

٤-٤-٢-٤ يفضل أن يكون العمال والفنيين المكلفين بالتنفيذ قد تلقوا تدريبا متخصصا على تطبيق نفس النظام المنفذ، وذلك بأحد مراكز التدريب المتخصصة المعتمدة بواسطة مورد النظام.

٤-٤-٢-٥ يقوم بالإشراف على العمل بالموقع شخص ذو دراية كافية بمواد وأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف المطبقة والأسلوب التفصيلي للتطبيق والمعالجة والظروف المناسبة للعمل ومؤشرات مستوى جودة التنفيذ ومعايير القبول للأعمال المنفذة. ويلزم وجوده بموقع العمل أثناء جميع مراحل التنفيذ.

٤-٤-٢-٦ كما يلزم أن يكون المشرف أو المسؤول عن السلامة على دراية تامة باحتياطات الأمن والسلامة لتخزين وتداول واستخدام هذه المواد المحددة بالمواصفات وتبعا لتوصيات المورد/ المصنع، والأخطار المحتملة وإجراءات الطوارئ المتبعة فى حالة الحوادث.

٤-٤-٣ التفتيش والتقييم وقبول أعمال التدعيم ومراقبة جودة التنفيذ

٤-٤-٣-١ اعتبارات عامة

٤-٤-٣-١-١ يختص هذا الجزء بمراقبة وضبط وتأكيد الجودة لأعمال التنفيذ لإصلاح أو تدعيم العناصر الخرسانة المسلحة بأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف, وكذلك أعمال تجهيز أسطح العناصر الخرسانية وتهيئتها لتطبيق تلك الأنظمة عليها من خلال إجراءات لضمان جودة المواد وحسن استخدامها وضمان متطلبات أسس التصميم واشتراطات التنفيذ الواردة بهذا الكود وتلك المحددة من قبل المصمم وأصول الصناعة والتنفيذ بما يحقق مستوى الأداء الواجب لهذه الأعمال. كما يستعرض هذا البند الإجراءات والخطوات المتبعة لأعمال المراقبة والتفتيش والاختبارات المطلوبة لضبط وتأكيد جودة التنفيذ ويحدد معايير القبول للأعمال المنفذة.

٤-٤-٣-١-٢ يرجع إلى التعريفات والمفاهيم الموضحة بالكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية بالباب الثامن الخاص بضبط وتأكيد الجودة لأعمال الخرسانة المسلحة.

٤-٤-٣-١-٣ يتم ضبط الجودة لأعمال الإصلاح والتدعيم بالبوليمرات المسلحة بالألياف بواسطة جهتين لضبط الجودة:

أ - ضبط الجودة داخليا :

ويقوم بتنفيذه مهندس متخصص على دراية كافية وعادة ما يكون من المسئولين عن تنفيذ المشروع, وفي حالة عدم توافر الخبرة الكافية يتم الاستعانة بمتخصص في أعمال المراقبة والتفتيش وضبط الجودة يكلف بذلك من قبل المالك ويجب أن يمده المالك بجميع المستندات والتسهيلات اللازمة لقيامه بمهامه.

ب - ضبط الجودة خارجيا :

بواسطة أجهزة خارجية لا تربطها صلة بأجهزة ضبط الجودة الداخلية لنفس المشروع, ويشمل مراجعة مستندات المشروع والفحص الدوري وأجراء اختبارات خاصة على المواد إذا لزم, والتفتيش الدوري والمفاجئ على التنفيذ.

٤-٤-٣-١-٤ يلزم أن يقوم بأعمال المراقبة والتفتيش والقبول لتنفيذ أعمال تطبيق أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف مهندس متخصص لديه خبرة ودراية بهذه الأنظمة وكذلك بأساليب مراقبة وضبط جودة التنفيذ.

٤-٤-٣-١-٥ يحدد بمستندات التعاقد لأعمال الإصلاح والتدعيم للمنشآت برنامج المراقبة والتفتيش الفني المطلوب اتباعه متضمنا وصفا تفصيليا لإجراءات وخطوات ضبط وتأكيد الجودة للأعمال.

٤-٤-٣-١-٦ تتم أعمال التفتيش والمراقبة لتنفيذ أعمال إصلاح أو تدعيم عناصر الخرسانة المسلحة بأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف في عدد من المراحل كما سيرد تفصيليا فى البند (٤-٤-٣-٥) .

٤-٤-٣-١-٧ يجب أن تجرى التجارب الخاصة بضبط جودة وقبول المواد في معمل معتمد من قبل المالك (ويمثله الاستشاري) تتوافر لديه الإمكانيات اللازمة والخبرة الكافية لإجراء اختبارات ضبط الجودة الخاصة بالمواد المركبة من البوليمرات المسلحة بالألياف.

٤-٤-٣-٢ تعريفات

يرجع إلى التعريفات المعطاة بالكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية (الباب الثامن) والذي يعرف المصطلحات الرئيسية للأعمال المرتبطة بضبط الجودة والمبينة في التعريفات الآتية:

٤-٤-٣-٢-١ تأكيد الجودة

يعتبر تأكيد الجودة أداة إدارة وهي مجموعة التنظيمات والخطط والبرامج اللازمة والضرورية للتأكد من أن المنشأ النهائي سيطابق الوظيفة المستهدفة.

٤-٤-٣-٢-٢ ضبط الجودة

يعتبر ضبط الجودة آلة إنتاج وهي مجموعة الإجراءات التي لها صلة بالخواص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية المميزة للمواد والأساليب والخدمات التي تقدم كوسيلة للقياس والتحكم مسبقا للمعايير الكمية للخواص المميزة.

٤-٤-٣-٢-٣ نظام تأكيد الجودة

هو نظام تحكم إداري ينظم التعهدات والسياسات والمسئوليات ومتطلبات المالك التي تسجل بواسطة خطة تأكيد الجودة والمتضمنة خلال برنامج تأكيد الجودة لتقديم وسائل ضبط جودة تؤثر في الأنشطة والمتطلبات السابق تحديدها.

٤-٤-٣-٢-٤ خطة تأكيد الجودة

هى خطة مشروع معدة ومحددة بواسطة المالك بالاستعانة باستشاري أو بمهندس ضبط جودة, وتحتوى هذه الخطة على سياسات المالك وأهداف الجودة للمشروع مع وصف تفصيلي لأسلوب العمل والعلاقات التنظيمية والتي تهدف إلى أن يتأكد المالك ببدء مشروعه بخطة نظام يلتزم باتباعها الأطراف المعنية. وتعد خطة تأكيد الجودة وثيقة على أعلى مستوى في النظام الشامل لتأكيد الجودة.

٤-٤-٣-٢-٥ برنامج تأكيد الجودة

هو مستند يصف السياسات والممارسات وطرق العمل التي تتفق مع متطلبات الجودة ومستندات التعاقد.

٤-٤-٣-٢-٦ ضبط الجودة داخليا

يجرى ضبط الجودة داخليا بصفة مستمرة للتأكد من تحقيق الاشتراطات المطلوبة ويجب أن يقوم بتنفيذه متخصصون علي دراية كافية, وعادة ما يكون المسئول عن تنفيذ بنود ضبط الجودة من الأخصائيين المسئولين عن المشروع. وفي حالة عدم توافر الخبرة الكافية يتم الاستعانة بمتخصصين في الأشراف على أعمال ضبط الجودة الداخلية.

٤-٤-٣-٢-٧ ضبط الجودة خارجيا

يجرى ضبط الجودة خارجيا بواسطة أجهزة خارجية لا تربطها صلة في أية صورة تعاقدية أو تبعية بأجهزة ضبط الجودة الداخلية لذات المشروع. ويشمل هذا الشق من ضبط الجودة خارجيا مراجعة التصميم الإنشائي وفحوصا دورية واختبارات خاصة عند الضرورة على المواد, والتفتيش الدوري والمفاجئ على التنفيذ في جميع مراحل المشروع.

٤-٤-٣-٢-٨ دور الجودة خلال عمر المشروع

تأكيد وضبط الجودة عملية متكاملة تبدأ منذ التفكير في جدوى المشروع وتستمر بالمشروع الابتدائي ومراحل التصميم والتنفيذ والتسليم, كذلك تستمر خلال فترة الاستخدام للمنشأ كما هو موضح بالباب الثامن بالكود المصري للخرسانة.

٤-٤-٣-٣ التفتيش الفني

٤-٤-٣-٣-١ التفتيش

التفتيش هو وضع وتجهيز برنامج للتأكد من أن المواد والأنظمة المستخدمة وكذلك المنشأ الخرساني بعد الإصلاح أو التدعيم لبعض عناصره تحقق المتطلبات المنصوص عليها بهذا الكود وكذلك بمستندات التعاقد.

٤-٤-٣-٣-٢ القائم بالتفتيش الداخلي

يجب أن يتم التفتيش بواسطة أشخاص مؤهلين بخلاف هؤلاء الذين يقومون بالأشراف المباشر على الأنشطة التي يتم التفتيش عليها. ويتم اعتماد مؤهلات المفتش وكذلك البرنامج من المهندس الاستشاري.

٤-٤-٣-٣-٣ التفتيش الفني الخارجي

يتبع المفتش الخارجي أيا من المالك أو المكتب الاستشاري المشرف أو الأجهزة المعتمدة أو إحدى الجهات الحكومية المسئولة عن ضبط الجودة في صناعة التشييد والبناء, ولا يتبع هذا المفتش الفني الخارجي بأي صورة من الصور لمقاول أو المراقب الداخلي لضبط الجودة, لذلك يجب أن يكون اختيار المفتشين الفنيين للمراقبة الخارجية ممن يتوافر لهم ما يحقق استقلال آرائهم وحيدتهم بالإضافة لخبرتهم.

٤-٤-٣-٤ معمل اختبارات الموقع

يتوقف تواجد وتجهيز معمل اختبارات والأجهزة المطلوبة للاختبارات المحددة بالتعاقد في موقع المشروع على حجم المشروع ودرجة التحكم المطلوبة. ويسمح بإجراء بعض أو جميع الاختبارات المطلوبة في معامل متخصصة أخرى. ويحدد مستوى معمل الاختبار بمعرفة المهندس الاستشاري وينص عليه في مستندات المشروع.

٤-٤-٣-٥ مراحل ضبط الجودة

تتم أعمال ضبط الجودة والمراقبة والتفتيش لأعمال إصلاح أو تدعيم عناصر الخرسانة المسلحة بأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف في عدد من المراحل كما سيرد تفصيليا في الفقرات التالية، وتنقسم هذه المراحل إلى :

أ - مرحلة ما قبل التنفيذ وتتم فيها استلام مستندات المشروع ومراجعتها وقبول المواد .

ب - مرحلة التنفيذ لمراقبة أعمال تجهيز السطح وتطبيق أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف حتى تمام تصلدها والطبقات السطحية الحامية, والاختبارات اللازمة ومعايير القبول لهذه الأعمال.

جـ- مرحلة ما بعد التنفيذ للتفتيش على الأعمال المنفذة وتتضمن كذلك التفتيش الدوري على المنشأ على فترات متباعدة خلال عمر المنشأ بهدف رصد أي عيوب بأعمال التدعيم وإجراء الإصلاح لها كما سيرد تفصيلا بالفقرة ٤-٤-٤.

٤-٤-٣-٦ مراحل ضبط الجودة والتفتيش قبل التنفيذ

٤-٤-٣-٦-١ استلام ومراجعة مستندات المشروع

يلزم توافر المستندات التالية ليتيسر القيام بأعمال كل من ضبط الجودة الداخلي وكذلك المراقبة والتفتيش الداخلي والخارجي وذلك قبل البدء في تنفيذ التدعيم أو الإصلاح باستخدام أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف.

أ - اللوحات الخاصة بأعمال التدعيم للمشروع

ب - المواصفات الخاصة بالمشروع

جـ- تحديد وتوصيف جميع المواد الموردة من مورد النظام لاستخدامها في المشروع, وشهادة معتمدة لخواص هذه المنتجات الموردة.

د - توصيف تفصيلي لأسلوب التطبيق المتبع لتدعيم أو إصلاح العنصر الإنشائي, بما ذلك تجهيز السطح الخرساني وتهيئته لتقبل تطبيق النظام, وأسلوب المعالجة والحماية. وكذلك الأدوات المستخدمة والتوصيات الخاصة بالتداول والتخزين واحتياطات السلامة.

هـ- برنامج مراقبة وضبط الجودة لتنفيذ الأعمال المحدد من قبل المالك ويمثله الاستشاري ويتضمن أساليب وإجراءات مراقبة جودة تنفيذ الأعمال ومعايير قبولها.

و - شهادات قبول المواد الموردة للموقع

ز - شهادات تأهيل المقاول المنفذ لأعمال الإصلاح والتدعيم وأفراد العمال ومسئول السلامة.

٤-٤-٣-٦-٢ مراجعة التصميم الإنشائي

وتعتبر مرحلة أساسية من مراحل التفتيش ويلزم أن تتم مراجعة التصميم الإنشائي الأصلي للمنشأ القائم ومراجعته مع اللوحات الإنشائية التصميمية والمرفوعة من الواقع, وتقارير المعاينة وتقييم الحالة الإنشائية قبل الإصلاح والتدعيم. وكذلك تتضمن مراجعة تصميم أعمال الإصلاح والتدعيم للعناصر. ويجب ألا يبدأ التنفيذ إلا بعد مراجعة التصميم الإنشائي طبقا لاشتراطات هذا

الكود والتحقق من توافقه وعدم تعارضه مع العناصر الأخرى (معماري, صحي, تكييف), واعتمادها من الجهة المنوط لها بالمراجعة وفقا للوائح والتشريعات المعمول بها.

٤-٤-٣-٦-٣ التفتيش الابتدائي

يجرى التفتيش الابتدائي بغرض تقييم معمل الاختبارات لضبط الجودة الداخلية من حيث الكوادر البشرية والإمكانيات المعملية طبقا للمتطلبات التي يحددها هذه الكود ومواصفات المشروع. كما يمكن عمل زيارة للموقع لإجراء معاينة وفحص بصري للعناصر الخرسانية المراد تدعيمها أو إصلاحها وكذلك معاينة الأماكن المعدة للتشوينات وظروف تخزين المواد.

٤-٤-٣-٦-٤ التفتيش الفني على المواد

٤-٤-٣-٦-٤-١ قبل بداية التنفيذ لأعمال التدعيم والإصلاح يجب أن يقوم القائم بالتفتيش بالتأكد من مطابقة المواد الموردة بالموقع للمواد المكونة لنظام التدعيم بالبوليمرات المسلحة بالألياف الذي تم تصميمه وتوصيفه من قبل الاستشاري. كما يحدد الاستشاري كذلك معايير القبول في توصيف أعمال ضبط ومراقبة الجودة.

٤-٤-٣-٦-٤-٢ يقوم المورد بتقديم شهادات الإنتاج لجميع المواد الموردة تشتمل على الخواص المميزة لكل من البوليمر المالئ واللواصق والألياف أو النسيج أو الرقائق والطبقات الحامية, وكذلك تاريخ الإنتاج ومدة الصلاحية للبوليمرات. ويجب على المفتش التأكد من مطابقة الخواص الواردة بهذه الشهادات لتلك المطلوبة والموصفة للمشروع, وكذلك التأكد من عدم تجاوز المدى الزمني لصلاحية البوليمرات للاستخدام.

٤-٤-٣-٦-٤-٣ يجب الإعتماد على الخواص الميكانيكية للرقائق والألياف المقدمة من المصنع أو المورد مع إجراء اختبارات تأكيديه للخواص المهمة والتي يبنى على أساسها اختيار النظام وأهمها مقاومة الشد بالإضافة إلي أية خواص أخرى ينص عليها الاستشاري. وتجرى الاختبارات على عدد من العينات

تمثل الكمية الموردة ترسل إلى معمل معتمد قبل التنفيذ بفترة مناسبة لاختبارها و إعداد تقرير بنتائج الاختبار. ويتم ذلك وفقا لما ذكر بالباب الخاص بالمواد والاختبارات في الجزء الخاص بفحص وقبول المواد – بند ٢-٥ وملحق الاختبارات.

٤-٤-٣-٦-٤-٤ إذا لم تحقق نتائج الاختبارات الحدود الدنيا المطلوبة من قبل الاستشاري ترفض المواد الموردة وتستخدم في أعمال التدعيم.

٤-٤-٣-٦-٤-٥ ينبغي التأكد من مطابقة ظروف حفظ وتخزين المواد بالموقع لإرشادات المصنع/ المورد الواردة بمواصفات المشروع, وكذلك موافقتها لإجراءات السلامة لتداول وحفظ وتخزين المواد الراتنجية والبوليمرية. وفي حالة اختلافها يتم إبلاغ الاستشارى بذلك.

٤-٤-٣-٦-٥ اعتماد المواد

٤-٤-٣-٦-٥-١ اعتماد المصادر

يعتمد مندوب المراقبة الخارجي أو المفتش الفني المصادر المقترحة للمواد وقدرتها على الوفاء بمتطلبات المشروع. واستنادا إلى هذا الاعتماد يقوم المقاول المسئول بالتعاقد مع الجهات المنتجة أو الموردة. ويكون الاعتماد مزودا بمجموعة من البيانات أهمها شهادات المنتج ونتائج الاختبارات على المواد في معامل متخصصة وكذلك شروط التوريد.

٤-٤-٣-٦-٥-٢ القبول على أساس شهادة المنتج

في بعض الحالات التي تورد فيها المواد من مصادر إنتاج ذات خبرة متميزة في مزاولة هذه الأعمال يمكن اعتماد المواد على أساس شهادة المنتج, والتي يجب أن تصحبها جميع البيانات اللازمة لاعتماد القبول مثل نتائج اختبار ضبط الجودة في موقع الإنتاج ونتائج الاختبارات في معامل متخصصة. ولا يعني القبول على أساس شهادة المنتج بأية حال الحد من الاختبارات الدورية أو الاختبارات الإضافية إذا رأى المراقب الخارجي أو المفتش الخارجي إجراء أي من هذه الاختبارات في أي من مراحل العمل.

٤-٤-٣-٦-٥-٣ رفض المواد

في حالة عدم مطابقة المادة لمتطلبات هذه الكود أو مواصفات المشروع يجب رفضها وعدم استخدامها, كما يجب التخلص منها من موقع التشوينات و إبعادها تماما عن الرسائل المقبولة. ويمكن في بعض الحالات إذا توافرت أسباب كافية للتشكيك في نتائج الاختبار الموافقة على إعادة الاختبار على المواد المرفوضة. وتلزم في هذه الحالة الإعادة على عينتين منفصلتين مأخوذتين في نفس الوقت, كما يلزم أن تنجح في إعادة الاختبار كل من العينتين على حدة. ويجب أن يتضمن التقرير النهائي للقبول النتيجة الأولى التي أشارت إلى عدم النجاح ونتيجة الإعادة.

٤-٤-٣-٧ المراقبة وضبط الجودة لأعمال التنفيذ

يلزم تواجد القائم بأعمال ضبط الجودة والمراقبة وكذلك القائم بالتفتيش الفني والتقييم وقبول الأعمال (أو من يعينه وينيبه هو للقيام بهذه المهمة) بموقع العمل أثناء التنفيذ وذلك للقيام بالمهام التالية :

أ – إقرار مطابقة المواد الموردة لاشتراطات الكود المصري, وتدوين ذلك.

ب – إقرار مطابقة المواد الموردة للمواصفات والرسومات التصميمية لأعمال التدعيم أو الاصلاح, كما ورد بالبند ٤-٤-٣-٢-٢ وتدوين ذلك, واعتماد هذه المواد وقبولها.

جـ– قبول أعمال تجهيز السطح وتهيئته لقبول لصق المواد عليه, وفقا لاشتراطات الكود المصري وكذلك وفقا للكيفية ومعايير القبول المحددة باشتراطات مورد/ مصنع النظام والمعتمدة من المصمم، وتدوين ذلك.

د – التأكد من توافر الكميات المجهزة من الألياف والبوليمرات المقرر صبها لليوم الواحد قبل بدء العمل.

هـ– مراقبة عمليات خلط البوليمرات واللواصق من حيث الكمية والنسب ومدة وكيفية الخلط, وكذلك عملية غمر وتطبيق البوليمر على الألياف للأنظمة المطبقة بالموقع أو لصق الرقائق السابقة المعالجة والتصلد.

و – معاينة العدد المحدد من الأجزاء التي تم تطبيقها في هذا اليوم من حيث عدد وسمك الطبقات واتجاه الألياف وتوازيها.

ز – التأكد من تحقق اشتراطات التنفيذ الموصفة بالكود أو الاحتياطات المحددة من قبل المصمم أو المصنع والواجب مراعاتها مثل عدم تلامس ألياف الكربون مع صلب التسليح أو أية أجزاء حديدية أو معدنية.

ح – متابعة عملية تجهيز العينات حسب العدد المحدد وإرسالها لاختبارها معمليا في معمل معتمد.

ط – التأكد من تمام التصلد للأنظمة المطبقة.

ى – معاينة جميع العناصر بعد تمام العمل معاينة بصرية أو بالأسلوب المطلوب لتأكيد الجودة.

ك – ملاحظة أي عيوب موجودة ومقارنتها بمعايير القبول.

ل – مراقبة عمليات الإصلاح للعيوب في الأنظمة المطبقة أن وجدت واختبارها.

ويتم تدوين أعمال المراقبة والتفتيش والتقييم والقبول لهذه الأعمال في تقرير يومي لمتابعة سير الأعمال, ويمكن أن يكون ذلك في صورة قائمة checklist تحتوي على جميع المهام التي تم القيام بها وتعتبر توثيق للأعمال التي تمت وحالتها ليمكن تتبع وتفسير أية عيوب قد تطرأ على أعمال التدعيم وتلاحظ فيما بعد أثناء الصيانة الدورية للمنشأ.

٤-٤-٣-٧-١ المراقبة وضبط الجودة والتفتيش الفني لأعمال تجهيز السطح

٤-٤-٣-٧-١-١ يجب على القائم بأعمال ضبط الجودة وكذلك التفتيش وتقييم أعمال التنفيذ التأكد من تتابع خطوات عمليات تجهيز السطح وكيفية أدائها كما وردت بتوصيف المشروع وبما يتفق مع إرشادات المصنع أو المورد والمعتمدة من الاستشاري.

٤-٤-٣-٧-١-٢ كما يجب أن تتفق أعمال تجهيز السطح مع اشتراطات التنفيذ الواردة بالبند ٤-٤-١-٣-٢ بهذا الكود.

٤-٤-٣-٧-١-٣ يجرى اختبار الاقتلاع (الانتزاع) pull-off test لقياس قوة التماسك بين اللاصق والسطح مما يعطي مؤشرا لقدرة السطح والتماسك بينه وبين نظام التدعيم الملصوق عليه, وتقييم لعمليات التجهيز والتهيئة التي أجريت للسطح. ويجرى الاختبار بالكيفية الموضحة بملحق الاختبارات لهذا الكود.

٤-٤-٣-٧-٢ قبول واعتماد السطح التحتي قبل اللصق

تحدد معايير القبول للسطح المجهز للصق نظم التدعيم بالبوليمرات المسلحة بالألياف عليه بواسطة المصمم وتذكر بمواصفات المشروع وتكون متفقة مع الحدود الدنيا المذكورة بالبند ٤-٤-١-٣-٢ من هذا الكود. وفي حالة عدم تحققها يرفض تطبيق النظام على هذا السطح.

٤-٤-٣-٧-٣ المراقبة وضبط الجودة والتفتيش الفني أثناء تطبيق (لصق) أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف

٤-٤-٣-٧-٣-١ يدون المراقب درجة الحرارة ومستوى الرطوبة بالجو في يوم التنفيذ وعلى سطح العنصر المراد تدعيمه ويتأكد من عدم تجاوزها للقيم الموجودة بإرشادات المورد.

٤-٤-٣-٧-٣-٢ يتابع عملية خلط الراتنجات ويتأكد من مراعاة نسب الخلط بالحجم أو الوزن حسب إرشادات المصنع, وكذلك طريقة الخلط يدوي أو ميكانيكي ومدته, ويلاحظ القوام المطلوب, كما يتابع الكميات التي تجهز للعمل حتى لا يتجاوز البوليمر الزمن الصالح للتشغيل.

٤-٤-٣-٧-٣-٣ يتأكد من تمام تشبع الرقائق بالبوليمر قبل وضعها على المنشأ, بالطريقة الموصوفة.

٤-٤-٣-٧-٣-٤ يتأكد من توافق وضع الرقائق على العنصر مع المطلوب والموصف في المشروع من حيث عدد الطبقات وسمكها واتجاه الألياف والأبعاد وطول الرباط والتراكب. ويتأكد كذلك من تمام التصاق الرقائق بالسطح وعدم وجود أي فراغات.

٤-٤-٣-٧-٣-٥ يتابع عملية التصلد كما سيرد في الفقرة التالية, وتنفيذ أي دهانات أو طبقات حماية وفقا لإرشادات المورد.

٤-٤-٣-٧-٤ المراقبة وضبط الجودة والتفتيش الفني للمعالجة وتمام التصلد

٤-٤-٣-٧-٤-١ يقوم القائم بضبط جودة التنفيذ وكذلك القائم بالتفتيش الفني بمراقبة مقدار ومعدل التصلد لأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف بعد تمام تطبيقها وخطوات المعالجة التي قد ينفذها المقاول بالموقع وأيضا مراقبة الظروف المحيطة مثل الحرارة والرطوبة حتى تمام التصلد. والتأكد من مطابقة جميع ما سبق لإرشادات المورد أو المصنع للنظام المعتمدة من الاستشاري والواردة بمواصفات المشروع.

٤-٤-٣-٧-٤-٢ يعين مدى تصلد البوليمرات بالمعاينة البصرية ومشاهدة القوام واللزوجة والصلابة للراتنجات على السطح وكذلك للعينات المنفذة بالموقع. كما يمكن أيضا عمل اختبارات معملية لعينات صغيرة من الراتنج أو الرقائق المشبعة إذا نص الاستشاري على ذلك.

٤-٤-٣-٧-٤-٣ يفضل تغطية الأجزاء التي تم تنفيذ التدعيم لها وذلك لحمايتها من الإتلاف والعوامل الخارجية المتلفة حتى تمام التصلد والى حين يمكن الدهان بالطبقات الحامية المناسبة.

٤-٤-٣-٧-٥ تقارير التفتيش والتقييم لتنفيذ أعمال التدعيم

يقوم المهندس القائم بالتفتيش والتقييم بإعداد تقرير يومي لكل يوم عمل ويتضمن التقرير البيانات الآتية:

أ - تاريخ ووقت بداية التنفيذ.

ب - درجة الحرارة والرطوبة, وأي ملاحظات خاصة بالأحوال الجوية المحيطة وقت التنفيذ.

جـ- درجة الحرارة والرطوبة لسطح العنصر المراد إصلاحه أو تدعيمه.

د - خطوات تجهيز السطح التي تم عملها, وحالة السطح الظاهرية بعدها.

هـ- حالة العنصر المراد إصلاحه أو تدعيمه من حيث نعومة وجفاف السطح وخلوه من الفجوات والشروخ.

و - نظافة سطح العنصر وخلوه من الأتربة والمواد الدهنية والزيتية.

ز - تسجيل أرقام العبوات للراتنجات والألياف الموردة للموقع والمقرر استخدامها للعمل في هذا اليوم.

ح - كميات الراتنجات المخلوطة ونسب الخلط ومدته وأسلوبه, ومدى توافقه مع تعليمات المورد, وملاحظات على شكل وقوام ولون البوليمر عند التطبيق.

ط - موافقة أسلوب التطبيق المنفذ بالموقع لاشتراطات المصمم ولتعليمات المورد.

ى - معدل التصلد ومدي انتظامه وكفاءته.

ك - عدد العينات التي تنفذ بالموقع لاختبارها فيما بعد, ومتابعة تجهيزها وإرسالها للمعمل للاختبار.

ل - دهانات أو طبقات الحماية المنفذة، نوعها ومكوناتها وملاحظات على تنفيذها.

م - المعاينة والفحص للأعمال التي تم الانتهاء منها، وأي اختبارات حقلية ونتائجها.

و - ملاحظة تواجد أي عيوب بالأعمال المنفذة.

ن - ملاحظات على سير العمل بصفة عامة.

٤-٤-٣-٨ اختبارات التقييم لضبط وتأكيد الجودة أثناء التنفيذ

٤-٤-٣-٨-١ اختبارات الأنظمة المعالجة والمطبقة بالموقع

تجهز عينات أثناء العمل بالموقع وفي نفس الظروف الجوية من حرارة ورطوبة وظروف العمل الأخرى ومعدة بنفس المواد المستخدمة وبواسطة نفس العمالة. ترسل إحدى العينات لاختبارها بمعمل معتمد حيث يتم قطع عدد من الشرائط الطولية ويجرى عليها اختبار الشد. ويجب أن تحقق جميع العينات مقاومة شد لا تقل عن تلك الموصفة من المصمم. وفي حالة عدم تحقيق أي عينة لمقاومة الشد الدنيا المطلوبة, تختبر شرائط أخرى وإذا لم تحقق المقاومة المطلوبة ترسل العينة الأخرى المجهزة في نفس يوم العمل لاختبارها, ويجب أن تحقق جميع الشرائط المقاومة الدنيا المطلوبة كشرط لقبول الأعمال المنفذة, وفي حالة عدم تحقيقها ترفض الأعمال المنفذة ويجب أزالتها.

٤-٤-٣-٨-٢ اختبارات الأنظمة السابقة التشبع والمعالجة

تعد عينات من نفس نوع العينات المستخدمة بالموقع وترسل إلي معمل متخصص لاختبارها وإرسال تقرير بالنتائج. ويجب أن تحقق جميع العينات مقاومة شد لا تقل عن تلك

الموصفة من المصمم كشرط لقبول الأعمال المنفذة, وفي حالة عدم تحقيقها للمقاومة الدنيا المطلوبة ترفض الأعمال المنفذة ويجب إزالتها.

٤-٤-٣-٨-٣ الاختبارات الحقلية

قد يطلب المصمم إجراء بعض الاختبارات الحقلية مثل اختبارات البوليمر أو اختبار الانتزاع لاختبار قوة التماسك وقد ينص على أخذ عينات قلب للتأكد من عدد الطبقات وقياس سمكها من الواقع المنفذ. ويتابع المفتش إجراء هذه الاختبارات في الأماكن المحددة من قبل الاستشاري وبالعدد والكيفية المحددة. وإعداد تقرير بنتائج هذه الاختبارات. وفي حالة عدم تحقيقها لاشتراطات التصميم للمشروع يجب إجراء إصلاح للأعمال وفقا لتوصيات الاستشاري.

٤-٤-٣-٨-٤ الاختبارات غير المتلفة

يمكن إجراء بعض الاختبارات غير المتلفة إذا طلب المصمم ذلك أو إذا أشار الفحص البصري إلى وجود مشاكل ولزم مزيد من الاختبارات, لتعيين وجود فراغات داخلية غير ظاهرة أو انفصال للرقائق عن بعضها البعض أو عن السطح. ومن هذه الاختبارات غير المتلفة (acoustic hammer sounding) الموجات الصوتية ultrasonic , والثرموجرافي thermography.

٤-٤-٣-٨-٥ اختبار الانتزاع

في الحالات التي لا تفي فيها نتائج الاختبارات التي تم إجراؤها بالمواصفات المطلوبة أو حالة الشك بالخواص الميكانيكية أو مقدار التماسك للأعمال المنفذة, قد يتطلب الأمر إجراء اختبار إقتلاع pull-off test وهو يعتبر من الاختبارات المتلفة فيجرى على أجزاء غير معرضة لاجهادات عالية وتحدد عددها ومواضعها بموافقة الاستشاري. يتم إجراء الاختبار على أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف المطبقة على العنصر الخرساني بعد تمام تصلدها واكتسابها لقوتها, وذلك بالأجهزة وبالكيفية الموضحة بملحق الاختبارات بهذا الكود. وتحدد معايير القبول لنتائج الاختبار وفقا لمواصفات المهندس المصمم واستشاري المشروع.

٤-٤-٣-٨-٦ اختبار التحميل للعناصر الخرسانية بعد إصلاحها أو تدعيمها

يجرى هذا الاختبار إذا طلب ذلك في مواصفات المشروع أو في حالة الشك في كفاءة التدعيم أو الإصلاح للمنشأ. ويتم إجراء اختبار التحميل للعناصر مثل الكمرات أو البلاطات بعد تدعيمها بالبوليمرات المسلحة بالألياف بفترة كافية للوصول إلى المقاومة التصميمية. ويجرى بالكيفية الموضحة بالباب الثامن من الكود المصري للخرسانة المسلحة.

٤-٤-٣-٩ أعمال التفتيش الفني بعد التنفيذ وتقييم عيوب التنفيذ واقتراحات الإصلاح

٤-٤-٣-٩-١ يجب فحص الأعمال التي تم تنفيذها فحصا بصريا لملاحظة أي عيوب أو عدم انتظام. ويطرق على السطح طرقا خفيفا لاستكشاف آى انفصال للطبقات أو باستخدام أية وسيلة أخرى يمكن بها تحديد وجود مناطق انفصال مساحتها أكثر من ١٣ سم^{٢} ولا تسبب إتلاف للتدعيم المطبق, مثل الموجات الصوتية ultrasonic أو الانبعاث الحراري thermography .

٤-٤-٣-٩-٢ تقارن العيوب الموجودة بمعايير القبول المحددة من قبل الاستشاري. وبناء على ذلك تقبل الأعمال المنفذة أو تقدم اقتراحات الإصلاح لها ويتابع المراقب تنفيذ هذه الأعمال ويختبرها بعد التنفيذ لضمان دقة التنفيذ ويقيمها لقبولها.

٤-٤-٣-٩-٣ المعايير الشائعة لتقييم العيوب بأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف المشبعة بالموقع والمطبقة خارجيا والمقترحة في عدد من المواصفات هي كالآتي:

- العيوب مثل انفصال الطبقات بمساحات صغيرة لا تتجاوز ١٣ سم^{٢} يسمح بها ما لم يتجاوز نسبة ٥% من المساحة الكلية المدعمة وبحيث لا يتكرر ظهور هذه الانفصالات السطحية مهما صغرت أكثر من ١٠ مرات في المتر المربع الواحد.
- يعتبر وجود عيوب أو انفصال بين الطبقات أو بينها وبين سطح الخرسانة بمساحات كبيرة أكبر من ١٦٠ سم^{٢} مؤثرة في وحدة وأداء نظام التدعيم ولذلك يجب أزالتها والاستعاضة عنها بعدد مساوي من الطبقات من نفس نوعية ونسب الألياف واتجاهاتها.

٤-٤-٣-٩-٤ الانفصال بين الطبقات أو بينها وبين السطح التحتي بمساحات أقل من ١٦٠سم^{٢}, يمكن إصلاحها أما بحقن الايبوكسي أو المادة الراتنجية المناسبة بحيث تملأ الفراغات تماما, أو عن طريق استبدال الأجزاء غير الملتصقة بمساحة مكافئة أو أكثر من مادة التدعيم,

٤-٤-٤ الصيانة والرصد والإصلاح لأعمال التدعيم بأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف

٤-٤-٤-١ عام

٤-٤-٤-١-١ تتعرض أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف المنفذة لإصلاح أو تدعيم عناصر المنشآت للتلف أو التدهور مثل سائر المواد الهندسية الأخرى. وقد يكون ذلك نتيجة القطع أو الإتلاف أو سوء التداول أثناء النقل أو التركيب, وقد يكون نتيجة تعرض العنصر لصدم أو أحمال عالية غير متوقعة, وقد يكون نتيجة التأثير السلبي للعوامل البيئية المختلفة.

٤-٤-٤-١-٢ يعني وجود عيوب أو تلف بأنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف حدوث قطع أو فراغات أو تغير اتجاه الألياف, أو تغير خواص البوليمر الرابط, مما يؤثر في الخواص الميكانيكية للمادة المركبة مثل المقاومة والتماسك وقوة الإلتصاق مع عنصر المنشأ المدعم وكذلك المتانة والمقاومة مع الزمن.

٤-٤-٤-١-٣ يتناول هذا الجزء إجراءات الصيانة الدورية التي يوصى بإجرائها لعناصر المنشآت التي تم إصلاحها أو تدعيمها باستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف, وأساليب تعيين العيوب ومعايير القبول للعيوب أو إصلاحها. كما يبين أسلوب الإصلاح للعيوب وضبط جودة التنفيذ لها. ومعايير القبول لأعمال الإصلاح.

٤-٤-٤-١-٤ يشترط إجراء أعمال رصد دوري لكافة أعمال الإصلاح والتدعيم للمنشأ تحت تأثير أحمال الاستخدام المختلفة ولفترة زمنية كافية تحدد بواسطة

استشاري المشروع وفقا لطبيعة المشروع وأهميته وحجم الأعمال به، وذلك وفقا للبند رقم ٤-٤-٤-٣.

٤-٤-٤-١-٥ تتم جميع أعمال الإصلاح تبعا لتوصيات المورد / المصنع للنظام بعد أن يوافق عليها المصمم للتأكد من إنها لا تؤثر على سلامة وكفاءة النظام.

٤-٤-٤-١-٦ تجرى الاختبارات التي قد يلزم إجراؤها للتقييم وللقبول في معمل متخصص مؤهل.

٤-٤-٤-١-٧ يجب مراعاة أصول السلامة أثناء نقل وتخزين وتداول مواد الإصلاح نظرا لحساسية وخطورة بعض هذه المواد, وكذلك التخلص من المواد الفائضة.

٤-٤-٤-٢ أعمال الصيانة الدورية والمعاينة

٤-٤-٤-٢-١ ينصح بالقيام بإجراء عملية معاينة ورصد لأعمال الإصلاح أو التدعيم باستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف التي تمت للمنشآت والعناصر, على فترات يحدد تباعدها حسب اقتراح المصمم لهذه الأعمال, وذلك بهدف ملاحظة أي تدهور أو تلف قد يحدث لهذه الأنظمة واقتراح عمل إصلاح لها لاستعادة الكفاءة لها.

٤-٤-٤-٢-٢ تدون جميع أعمال الرصد والمعاينة التي تم إجراؤها في صورة تقرير رصد لحالة المنشأ وحالة أعمال التدعيم ويحتفظ بهذه التقارير الدورية للرجوع إليها فيما بعد إذا احتاج الأمر.

٤-٤-٤-٢-٣ تكون المعاينة عن طريق الفحص البصري لأعمال التدعيم بعد القيام بتنظيفها من الأتربة والعوالق والزيوت والدهون باستخدام الماء أو مذيبات عضوية مناسبة. وتدون أية ملاحظات لتغير في اللون أو تقشير أو شروخ أو فراغات أو انفصال للرقائق أو انبعاجات أو تشكلات واضحة. تدون هذه الملاحظات ويبلغ بها المصمم لتقييم أثرها على أداء نظام التدعيم.

٤-٤-٤-٢-٤ يمكن إجراء بعض الاختبارات غير المتلفة إذا طلب المصمم ذلك أو إذا أشار الفحص البصري إلى وجود مشاكل ولزم مزيد من الاختبارات, لتعيين وجود فراغات داخلية غير ظاهرة أو انفصال للرقائق عن بعضها البعض أو عن السطح. ومن هذه الاختبارات غير المتلفة (acoustic sounding hammer) الموجات الصوتية ultrasonic , والثرموجرافي thermography. وقد يطلب إجراء اختبار اقتلاع pull-off test على أجزاء محددة أو عمل اختبار تحميل في بعض الأحيان.

٤-٤-٤-٣ الرصد الدوري لأعمال التدعيم والإصلاح

٤-٤-٤-٣-١ تجرى أعمال الرصد الدوري لحالة المنشأ الخرساني حسب أهمية المشروع ككل أو بعض عناصره التي تم تدعيمها أو إصلاحها بمواد البوليمرات المسلحة بالألياف بهدف رصد السلوك الإنشائي الواقعي لهذه العناصر بعد تدعيمها أو إصلاحها تحت تأثير أحمال التشغيل والتأثيرات البيئية المختلفة، وذلك للتأكد من استيفائها لمتطلبات التصميم وتحقيق أمان المنشأ ومتانته.

٤-٤-٤-٣-٢ يجرى الرصد للمنشأ لفترة زمنية كافية تحدد بواسطة استشاري المشروع وفقا لطبيعة المشروع وأهميته وحجم الأعمال به.

٤-٤-٤-٣-٣ تتبع عدة أساليب لرصد المنشآت تتفاوت متطلباتها التقنية والبشرية تفاوتا كبيرا من حيث التكلفة ومستوى التكنولوجيا المتبعة، ويتحمل المهندس الاستشاري للمشروع مسئولية اختيار نظام الرصد المناسب من بين هذه الأساليب حسب طبيعة المنشأ وأهميته وظروف استخدامه ومدى تأثره بالعوامل السلبية التي قد تؤثر عليه، وكذلك حجم أعمال الإصلاح والتدعيم التي تم تنفيذها له.

٤-٤-٤-٣-٤ ينص في مواصفات المشروع على أسلوب الرصد لأعمال التدعيم أو الإصلاح المقرر اتباعه متضمنا التفاصيل الفنية المتكاملة لكافة أعمال الرصد

والتي يجب أن تشتمل كحد أدنى على بيانات عن الأجهزة المستخدمة ونقاط الرصد وتكرارية الرصد وكذلك محتويات والبرنامج الزمني لإتمام وتقديم التقارير الفنية للرصد وتوثيقها.

٤-٤-٣-٥ يجب أن يتضمن أي أسلوب للرصد على الوحدات والأنظمة الآتية:

- نظم وأجهزة القراءة والرصد sensory system
- نظم وأجهزة تسجيل وتبويب القراءات ونتائج الرصد data acquisition system
- نظم وأجهزة معالجة النتائج data processing system
- نظم وأجهزة الاتصال communication system
- نظم وأجهزة الإنذار الخاصة بتقييم التلف والتصدعات damage detection and modeling system

٤-٤-٤-٤ تقييم التلف ومعايير القبول

٤-٤-٤-٤-١ بناء على المعاينة والاختبارات التي تم إجراؤها على أنظمة التدعيم بالبوليمر المسلح بالألياف, يتم تقدير مقدار التلف الحادث بها وذلك بهدف تقدير مدى تأثيره ذلك التلف على كفاءة نظام التدعيم وعلى وحدة المنشأ وسلامته ومقاومته مع الزمن.

٤-٤-٤-٤-٢ يجب التأكد من تغطية جميع الخطوات المذكورة بالبند (٢-٥-٢-٣) و التي توضح حدود العيوب المسموح بها بالنسبة للانفصال بين الطبقات للبوليمرات المسلحة بالألياف و القرار اللازم اتخاذه بالنسبة لها.

٤-٤-٤-٤-٣ يجب الرجوع إلى مورد النظام أو مصنعه للحصول على معايير القبول الخاصة بهذا النظام. ويجب اتباعها إذا كانت أكثر أمانا من القيم السابقة.

٤-٤-٤-٤-٤ وكذلك قد يري الاستشاري المكلف بأعمال التقييم والإصلاح لنظام التدعيم تطبيق معايير أكثر صرامة لقبول العيوب أو التلف بناء على مراجعته

للتصميم الأصلي أو تقارير المتابعة أثناء التنفيذ, أو تقديره لحالة المنشأ وظروف استخدامه وتعرضه لعوامل التلف.

٤-٤-٤-٥ يدون هذا التقييم للتلف في تقرير مقدم من الاستشاري يشمل كذلك اقتراحات الإصلاح للنظام واقتراحات بإجراءات الحماية لنظام التدعيم لمنع حدوث مزيد من التدهور أو التلف مستقبلا.

٤-٤-٤-٥ ترميم وإصلاح طبقات الحماية للسطح

٤-٤-٤-٥-١ يجري طلاء انظمه البوليمرات المسلحة بالألياف المطبقة خارجيا بطبقة سطحية حامية من مواد خاصة متوافقة مع النظام المطبق بهدف حمايته من الاحتكاك والعوامل الخارجية والبيئية المتلفة, وقد تتآكل هذه الطبقة نتيجة الاحتكاك أو التلف فتظهر الألياف على السطح مما يقلل من مقاومة النظام للتآكل ويقلل تدريجيا من الخواص الميكانيكية له ويشكل بالتالي خطورة على وحدته وسلامته.

٤-٤-٤-٥-٢ في هذه الحالة يجب استكمال الأجزاء الناقصة من الطبقة السطحية الحامية, أو تعزيزها أو استبدالها كلية, تبعا لمستوى التدهور ونوع ومكونات الطبقة الحامية. ويتم ذلك بالمواد والكميات والكيفية الواردة بإرشادات المورد / المصنع والمعتمدة من الاستشاري.

٤-٤-٤-٥-٣ يفضل دائما استخدام مواد راتنجية أو طبقات حامية للإصلاح من نفس النوع والمصدر الأصلي الذي تم تنفيذه سابقا, وذلك لتحقيق التجانس, إلا إذا وافق الاستشاري على غير ذلك.

٤-٤-٤-٥-٤ في حالة إزالة الطبقات الحامية واستبدالها كلية يجب فحص حالة الألياف أو الرقائق تحتها للتأكد من عدم وجود أية عيوب بها وإصلاحها إذا احتاج الأمر.

٤-٤-٤-٦ أعمال الإصلاح أثناء التنفيذ

قد يتعرض البوليمر المسلح بالألياف إلى القطع أثناء التنفيذ نتيجة الخطأ أو سوء المداولة. وفي هذه الحالة فانه يجب أن يتم الإصلاح للأنظمة بعد تمام تصلدها تبعا لإرشادات المصنع للنظام بعد اعتمادها من المصمم. وسترد بعض أساليب الإصلاح والتقييم للأنظمة في الفقرة التالية.

٤-٤-٤-٧ أعمال الإصلاح لأنظمة البوليمر المسلح بالألياف

٤-٤-٤-٧-١ تجرى عمليات إصلاح لأنظمة البوليمر المسلح بالألياف التي تتعرض للقطع أو التلف بهدف استعادة النظام لخواصه وكفاءته في مقاومته للأحمال وعوامل التدهور.

٤-٤-٤-٧-٢ تتفاوت طريقة الإصلاح تبعا لنوع النظام وكذلك نوع ، مدى التلف الحادث له.

٤-٤-٤-٧-٣ يفضل استخدام ألياف ومواد راتنجية للإصلاح من نفس النوع والمصدر الأصلي الذي تم تنفيذه سابقا, وذلك لتحقيق التجانس, إلا إذا وافق الاستشاري على غير ذلك.

٤-٤-٤-٧-٤ إصلاح العيوب المركزة في مساحات صغيرة يتم عن طريق لصق طبقة أو أكثر من الألياف والبوليمر فوق المنطقة المصابة تكون لها نفس السمك ونسبة الألياف ونوعيتها واتجاهاتها كالنظام الأصلي. وتكون بمساحة تكفي لنقل الأحمال إلى المنطقة السليمة. وتتم خطوات تنفيذ الإصلاح طبقا لإرشادات المصنع المعتمدة من الاستشاري.

٤-٤-٤-٧-٥ الانفصال الطبقي في مناطق صغيرة يمكن إصلاحه عن طريق الحقن بالايبوكسي أو المادة الراتنجية لاستعادة استمرارية وتكامل ووحدة الطبقات.

٤-٤-٤-٧-٦ إصلاح المناطق الكبيرة المساحة التي يوجد بها عيوب أو تقشير أو انفصال للرقائق يتم عن طريق إزالة الجزء المصاب كلية وتجهيز السطح الخرساني أسفله وتهيئته لتقبل اللصق ثم متابعة خطوات تطبيق الرقائق تبعا لأسلوب التنفيذ المتبع طبقا لإرشادات المورد / المصنع للنظام والمعتمد من الاستشاري.

الباب الخامس

الخرسانة المسلحة بقضبان البوليمرات المسلحة بالألياف

٥-١ الاعتبارات العامة

يتناول هذا الباب كيفية تحقيق البنود الأساسية في تصميم العناصر الخرسانية المسلحة بقضبان التسليح من ال FRP بطريقة حالات الحدود وهى الحالات التي تضمن أماناً كافياً ضد الانهيار نتيجة لوصول القطاع إلى حد المقاومة القصوى طبقاً لما سيرد فى البند (٥-٣) مع استيفاء كافة متطلبات التشغيل طبقاً للشروط الواردة في البند (٥-٤) ومتطلبات المتانة والتحمل مع الزمن وفقا لما جاء في الباب الثالث من الكود. وتنطبق اشتراطات هذا الباب فقط على نوعيات القضبان الواردة في الباب الثاني من الكود. ويقتصر هذا الباب على تصميم العناصر الخرسانية المسلحة من البلاطات والكمرات والبلاطات المرتكزة على التربة باستخدام قضبان من FRP

٥-٢ مجالات استخدام قضبان FRP كتسليح للعناصر الخرسانية

تتحكم في تحديد المجالات التي يسمح فيها باستخدام قضبان FRP كتسليح للعناصر الخرسانية طبيعة الانهيار القصفي لكل من قضبان ال FRP والخرسانة والخواص الميكانيكية والطبيعية لمواد القضبان كما يلى :

٥-٢-١ حالات يسمح فيها باستخدام قضبان التسليح من FRP

١ - كتسليح لمقاومة إجهادات الشد للبلاطات والكمرات الخرسانية . وفى هذه الحالات يمكن السماح بتعرض تلك القضبان إلى اجهادات ضغط نتيجة التغيرات في الأحمال الناتجة عن بعض حالات التحميل على أن تهمل مقاومة القضبان في هذه الحالات .

٢ - كتسليح بديل للصلب للبلاطات والكمرات الخرسانية المسلحة المعرضة أسطح الشد بها لعوامل بيئية ذات تأثيرات مؤكسدة تسبب صدأ صلب التسليح.

٣ - كتسليح للبلاطات والكمرات الخرسانية المسلحة المعرضة للمجالات الإلكترومغناطيسية.

٤ - كتسليح مقاوم للإجهادات الناتجة عن الحرارة والانكماش بالعناصر الخرسانية المسلحة.

٥ - كتسليح للبلاطات المرتكزة على التربة .

٥-٢-٢ حالات لا يسمح فيها باستخدام قضبان التسليح من FRP

١ - كتسليح مقاوم لاجهادات الضغط في العناصر الخرسانية المسلحة. وبالتالي لايسمح باستخدام قضبان FRP فى تسليح الأعمدة وكتسليح مقاوم لاجهادات الضغط في العناصر المعرضة للعزوم مثل الكمرات والبلاطات .

٢ - كتسليح للإطارات الخرسانية المسلحة . وذلك نظرا لطبيعة الانهيار القصف للعناصر الخرسانية المسلحة بقضبان FRP.

٣ - كتسليح للعناصر الخرسانية التي يحدث فيها إعادة توزيع المعزوم . ولذا لايسمح باستخدام قضبان FRP لتسليح العناصر المعرضة لأحمال الزلازل.

٤ - كتسليح للعناصر التى تتعرض فيها القضبان لقوى القص المباشر DIRECT SHEAR & DOWELS

٥ - كتسليح فى المناطق المعرضة لاجهادات القص الثاقب.

٥- ٣ حالة حد المقاومة القصوى Ultimate Strength Limit State

يتناول هذا البند حساب المقاومة القصوى لقطاعات معرضة لعزوم انحناء (بند ٥- ٣-٣) ولقطاعات معرضة لقوى قص (بند ٥- ٣-٤) والتحقق من مقاومة التماسك (بند٥-٣- ٦).

٥-٣-١ الأحمال القصوى

يتم حساب الأحمال القصوى وفقا لما جاء فى الباب الثالث من الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشات الخرسانية المسلحة.

٥- ٣- ٢ الاجهادات والانفعالات التصميمية لقضبان FRP

٥-٣- ٢-١ يتم تحديد قيم الاجهادات والانفعالات التصميمية القصوى للقضبان بعد استيفاء متطلبات المتانة والتحمل مع الزمن وفقا لما جاء في الباب الثالث (بند ٣-٥-٩) ويتم تحديد قيم الاجهادات والانفعالات التصميمية فى حالة أحمال التشغيل (بدون أخذ معاملات زيادة الأحمال)

٥- ٣- ٢- ٢ يؤخذ إجهاد الشد الأقصى التصميمى لقضبان FRP عند مناطق الدوران وفقا للمعادلة رقم (٥-١)

$$f^*_{fb} = (0.05\, r_b / d_b + 0.3)\, f^*_{fu} \le f^*_{fu} \qquad (5\text{-}1)$$

حيث :

f^*_{fb} – إجهاد الشدالاقصى لقضبان FRP عند الدوران (نيوتن/مم^2)

r_b – نصف قطر الدوران (مم)

d_b – قطر قضيب التسليح (مم)

f^*_{fu} – مقاومة الشد التصميمية لقضبان FRP بعد الاخذ فى الاعتبار معامل أمان يتوقف على ظروف البيئة المحيطة وفقا للباب الثالث

٥- ٣- ٣ القطاعات المعرضة لعزوم الانحناء

يختص هذا البند بتصميم القطاعات المستطيلة المعرضة لعزوم انحناء و المسلحة بصف واحد من قضبان FRP. وبصفة عامة يمكن استخدام المفاهيم الواردة فى هذا الجزء فى تحليل وتصميم القطاعات غير المستطيلة المعرضة لعزوم انحناء أو المسلحة بأكثر من صف من قضبان FRP .

٥- ٣- ٣-١ فلسفة التصميم

يترتب على طبيعة الانهيار القصف لكل من الخرسانة وقضبان FRP إن يكون انهيار القطاعات المعرضة لعزوم انحناء و المسلحة بقضبان FRP انهيارا قصيفا حيث أن الانهيار سوف يكون محكوما إما بانهيار الخرسانة في الضغط أو بانهيار الشد لقضبان الFRP (FRP Rupture) وذلك خلافا لتوصيات الكود المصري للقطاعات المسلحة بصلب التسليح حيث يشترط أن يكون الانهيار انهيارا مطيلاً نتيجة لوصول صلب التسليح إلى مرحلة الخضوع قبل انهيار الخرسانة في الضغط. فى حالة انهيار الشد لقضبان FRP فإن انهيار العنصر يكون مفاجئاً ولن يكون هناك سوى انذار محدود عند الانهيار على شكل ترخيم ظاهر أو تشرخات محسوسة نتيجة للاستطالة الملحوظة لقضبان FRP قبل الانهيار ولن يكون للقطاع ممطولية كافية. وعند تصميم القطاعات المسلحة بقضبان ال FRP يسمح بان يكون الانهيار ناتجاً إما عن انهيار الخرسانة في الضغط أو بانهيار الشد لقضبان FRP وذلك وفقا لشكل قطاع

العنصر. على انه يعتبر انهيار الخرسانة في الضغط أكثر ملائمة للقطاعات المسلحة بقضبان FRP لان العنصر يحدث له بعض السلوك اللدن عند الانهيار. ويتطلب طبيعة الانهيار القصف للقطاعات الخرسانية المسلحة بقضبان FRP استخدام قيم لمعاملات خفض المقاومة القصوى اكبر من مثيلاتها المستخدمة في القطاعات المسلحة بصلب التسليح وفقا للبند ٥-٣-٣- ٥ .

٥- ٣- ٣- ٢ الفروض الأساسية

يجب إن يفي حد المقاومة للقطاعات المعرضة لعزوم انحناء بشروط الاتزان (Equilibrium Conditions) وشروط توافق الانفعالات(Compatibility of Strains) بالإضافة إلي الفروض الأساسية التالية:

١ - تّوزع الانفعالات علي القطاع توزيعاً خطياً و بالتالي تعتبر الانفعالات في FRP والخرسانة متناسبة مع بعدها عن محور الخمول .

٢ - يؤخذ الانفعال الاقصي للانضغاط في القطاعات الخرسانية مساويا 0.003 = ε_{cu} للعناصر المعرضة لعزوم انحناء .

٣ - تهمل مقاومة الخرسانة فى الشد ويقاوم قضبان FRP كافة اجهادات الشد عند حساب حد المقاومة القصوى.

٤ - العلاقة بين الإجهاد و الانفعال لقضبان FRP علاقة خطية مرنة حتى الانهيار.

٥ - يفترض وجود تماسك تام بين قضبان FRP والخرسانة.

٦ - تؤخذ العلاقة بين الإجهاد والانفعال للخرسانة حسب منحنى الإجهاد والانفعال المبنى على تجارب معملية قياسية ، ويمكن أن يؤخذ المنحنى المذكور مطابقاً للمنحنى الاعتباري (Idealized curve) المعطى فى البند ٤-٢-١-١-٦ من الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية.

٥-٣- ٣- ٣ حالة حد المقاومة القصوى لعزوم انحناء

يتم تحديد قيمة العزم الحدي الاقصي لقطاع خرساني مسلح بقضبان FRP على أساس ما إذا كان الإنهيار محكوما بإنهيار الخرسانة في الضغط أو بإنهيار الشد لقضبان FRP. ويمكن

تحديد نوع الإنهيار بمقارنة نسبة التسليح الفعلية للقطاع بنسبة التسليح التوازني والتي تحدد قيمتها في البند ٥-٣-٣-٤

٥- ٣- ٣- ٤ التسليح التوازني للقطاع

نسبة التسليح التوازني للقطاع هي النسبة التي يبلغ فيها انفعال قضبان FRP لأقصي انفعال شد تصميمي $\frac{f^*_{fu}}{E_f}$ في نفس اللحظة التي يبلغ فيها انفعال الخرسانة التصميمي قيمته القصوى $\varepsilon_{cu} = 0.003$ شكل (٥-٢-b) . ويمكن حساب نسبة تسليح FRP من المعادلة رقم (٥- ٢) ونسبة التسليح التوازني من المعادلة رقم (٥- ٣)

$$\mu_f = \frac{A_f}{bd} \qquad (5\text{-}2)$$

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

٥- ٣- ٣- ٥ معاملات خفض المقاومة القصوى

تؤخذ معاملات خفض المقاومة القصوى للخرسانة ولتسليح FRP وفقاً للآتي (شكل٥-١):

إنهيار الشد القصف للبولمرات المسلحة بالالياف — Tensile Brittle Failure of FRP

$$\mu_f \leq \mu_{fb}$$

$$\gamma_c = 2.0 \qquad \gamma_f = 2.0 \qquad (5\text{-}4)$$

إنهيار الضغط القصف للخرسانة : منطقة إنتقالية بين إنهيار الضغط و انهيار الشد

Compression Brittle Failure of Concrete: Transition zone Between Tensile and compression failures

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

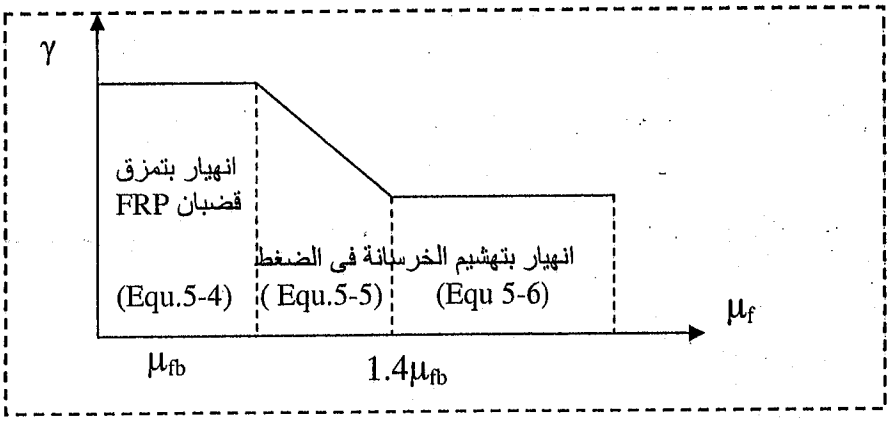
$$\gamma_c = 2.75 - 0.75\ \frac{\mu_f}{\mu_{fb}} \qquad (5\text{-}5a)$$

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

إنهيار الضغط القصف للخرسانة Compression Brittle Failure of Concrete

$$\mu_f \geq 1.4\ \mu_{fb}$$

$$\gamma_c = 1.7 \qquad \gamma_f = 1.7 \qquad (5\text{-}6)$$



شكل ٥-١ التغير في قيم معاملات خفض المقاومة مع تغير نسبة تسليح FRP

٥-٣-٣- ٦ حالة نسبة تسليح القطاع اكبر من نسبة التسليح التوازني

إذا كان $\mu_f > \mu_{f\,b}$ يكون انهيار الضغط للخرسانة هو المتحكم . وفي هذه الحالة يمكن استخدام المستطيل المكافئ لاجهادات الضغط للخرسانة وفقا للكود المصري لتصميم وتنفيذ

المنشآت الخرسانية (Equivalent Rectangular Stress Block) (شكل ٥-٢) ويتم حساب العزم الحدي الاقصي لمقاومة القطاع M_u من المعادلة (٥- ٧)

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

ويتم حساب عمق المستطيل المكافئ a من العلاقة

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

ويتم حساب الاجهاد التصميمي للقضبان بعد اخذ تأثير العوامل البيئية وفقا للباب الثالث f^*_{fe} من العلاقة

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

بالتعويض من المعادلة (5-8) في المعادلة (5-9) ينتج العلاقة التالية في f^*_{fe}

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

٥-٣-٣-٧ حالة نسبة تسليح القطاع اقل من نسبة التسليح التوازني

وفى حالة ما إذا كان $\mu_f < \mu_{fb}$ يكون انهيار الشد لقضبان FRP هو المتحكم ويحدث هذا قبل وصول انفعال الخرسانة للقيمة القصوي 0.003 وبالتالي لا يمكن استخدام المستطيل المكافئ لاجهادات الضغط للخرسانة (Equivalent Rectangular Stress Block) لعدم معرفة مقدار انفعال

الضغط في الخرسانة لحظة الانهيار و عمق محور الخمول C هذا بالإضافة للمعاملات α_1 & β_1 حيث α_1 هي النسبة بين إجهاد الخرسانة المتوسط و الإجهاد الأقصى و β_1 هي النسبة بين عمق المستطيل المكافئ للاجهادات إلى عمق محور الخمول.

ويتم حساب العزم الحدى الأقصى لمقاومة القطاع M_u من المعادلة الآتية:

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

وتتغير قيمة β_1 C بناء علي خواص المواد المستخدمة و نسبة تسليح FRP و تكون أقصى قيمة لهذا المقدار هى β_1 C_b وهذا يحدث عندما يصل انفعال الخرسانة إلى 0.003

يمكن استخدام المعادلة التقريبية التالية لحساب M_u :

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

حيث :

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

٥-٣-٣- ٨ القطاعات المستطيلة المعرضة لعزوم انحناء

للقطاعات المستطيلة المعرضة لعزوم الانحناء يجب أن يكون الانهيار محكوما بانهيار الخرسانة في الضغط . ولضمان عدم حدوث انهيار شد لقضبان FRP نتيجة لزيادة قيمة المقاومة المميزة للخرسانة المستخدمة في التنفيذ عن رتبة الخرسانة التصميمية يجب أن يكون نسبة تسليح القطاع اكبر من 1.4 نسبة التسليح التوازني $\mu_f > 1.4\ \mu_{fb}$ ويتم تصميم تلك القطاعات وفقا للبند ٥-٣-٣-٦ مع اخذ معاملات خفض المقاومة وفقا للمعادلة ٥-٦.

٥-٣-٣-٩ القطاعات على شكل T و L والشفة ناحية الضغط

للقطاعات على شكل T و L والشفة ناحية الضغط والمعرضة لعزوم الانحناء يكون الانهيار في اغلب الحالات محكوما بانهيار الشد لقضبان FRP . ويمكن تصميم تلك القطاعات وفقا لما هو مبين في البند ٥-٣-٣-٧ مع اخذ معاملات خفض المقاومة وفقا للمعادلة ٥-٤. ومن الممكن أن يكون الانهيار محكوما بانهيار في الضغط وفى هذه الحالات تؤخذ معاملات خفض المقاومة لحالة الانهيار الحاكمة وفقا للبند ٥-٣-٣-٥ .

٥-٣-٣-١٠ الحد الأدنى للتسليح

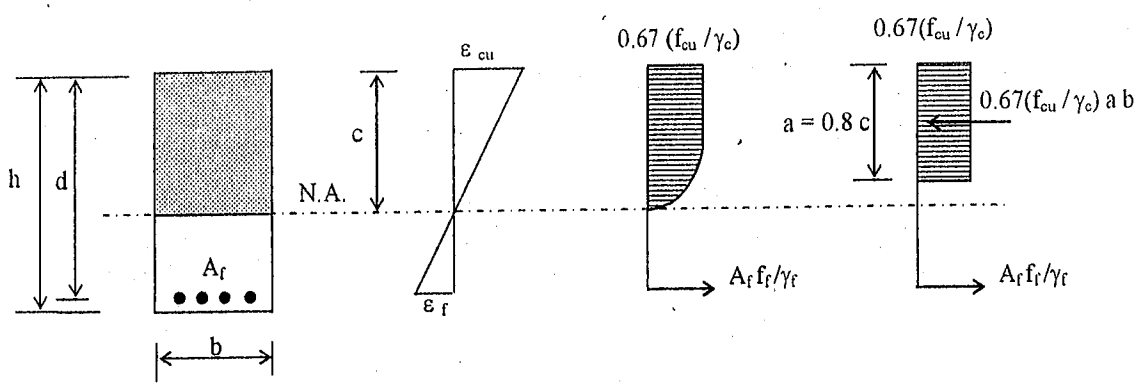
في حالة ما إذا كان الانهيار محكوما بانهيار الشد لقضبان FRP ولضمان عدم حدوث انهيار في منطقة الشد عند بداية حدوث التشرخ في العناصر الإنشائية يجب ألا تقل نسبة التسليح عن النسبة المعطاة في المعادلة:

$$\mu_{min} = \frac{A_{f\,min}}{b \cdot d} = \frac{2.5}{f^{*}_{fu}} \qquad (5\text{-}14)$$

أما في حالة ما إذا كان الانهيار محكوما بانهيار الخرسانة في الضغط فسوف يكون قيمة الحد الأدنى للتسليح تساوى $1.4\mu_{fb}$

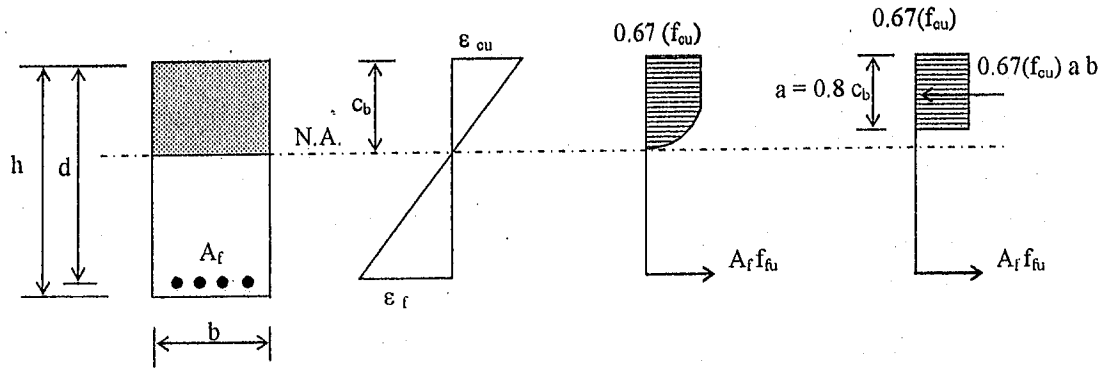
٥-٣-٣-١١ رص قضبان FRP في صفوف أو استخدام أنواع مختلفة من FRP في القطاع

يتم تحديد المقاومة القصوى للقطاعات المسلحة بقضبان FRP موضوعة فى صفوف على أساس قيمة الإجهاد في كل صف على حدة طبقا لبعده عن محور الخمول. و في حالة استخدام أنواع مختلفة من FRP لتسليح نفس القطاع يجب اعتبار اختلاف مستوي الإجهاد لكل نوع من FRP. وفى هذه الحالات يكون التحليل على أساس نظرية توافق الانفعالات مع اعتبار أن المقاومة القصوى يتم تحديدها على أساس حدوث أول انهيار في أي من القضبان.



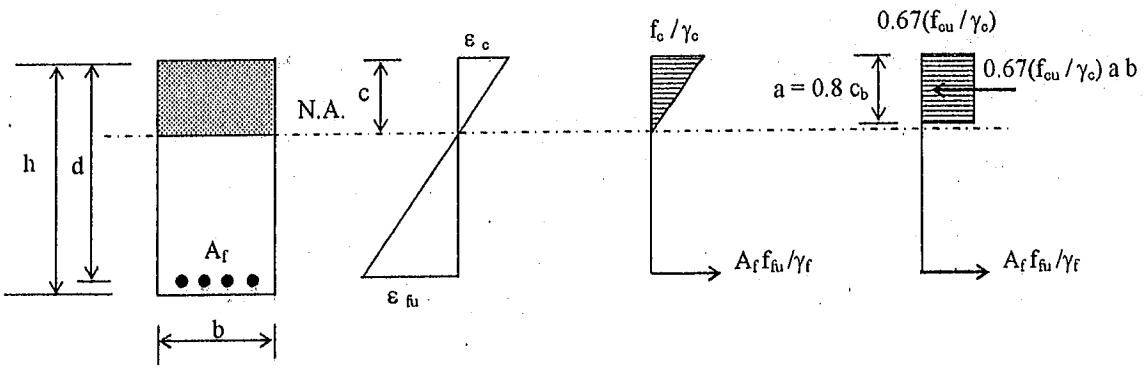
(a) Failure governed by concrete crushing

انهيار محكوم بتهشم الخرسانة



(b) Balanced failure condition

حالة الانهيار التوازنى



(c) Failure governed by FRP rupture (concrete stress may be nonlinear)

انهيار بتمزق قضبان FRP

شكل رقم (٥-٢) توزيع الاجهادات و الانفعالات القصوى

٥-٣-٣-١٢ إعادة توزيع العزوم

لا يسمح بإعادة توزيع العزوم للعناصر الإنشائية المسلحة باستخدام FRP مثل الكمرات المستمرة أو العناصر الإنشائية غير المحددة استاتيكيا.

٥-٣-٣-١٣ التسليح في جانب الضغط

لا يسمح باستخدام قضبان FRP كتسليح في مناطق الضغط للعناصر المعرضة لعزم انحناء.وفي الحالات التي لا يمكن فيها تفادى وجود FRP في جانب الضغط مثل مناطق الركائز في الكمرات المستمرة أو المناطق المستخدم فيها القضبان لتعليق الكانات يجب التأكد من إحاطة القضبان بالكانات جيدا (Confinement) لمنع انبعاجها و لتقليل تأثير التمدد العرضي لبعض أنواع قضبان FRP

٥-٣-٤ حالة حد المقاومة القصوى في القص
Ultimate Shear Strength Limit State

٥-٣-٤-١ الكمرات المسلحة بقضبان FRP

يتناول هذا البند حالات الكمرات المسلحة بتسليح جذعى في مقاومة قوى القص وبتسليح طولي مقاوم للعزوم من قضبان FRP . و يتم تحديد المقاومة القصوى في القص على أساس مجموع مقاومتي الخرسانة والتسليح الجذعى لاجهادات القص. ويكون ذلك متوافقا مع ما هو متبع في الكود المصري للخرسانة المسلحة . ولكن يوجد اختلافات بين متطلبات استيفاء حد المقاومة القصوى للقص لكلاهما وذلك نظرا لاختلاف الخواص الميكانيكية للبوليمرات المسلحة بالألياف عن نظيرتها بالنسبة للصلب والمتمثلة فيما يلي :

١ - الانخفاض النسبي لمعاير المرونة لقضبان FRP

٢ - ارتفاع المقاومة القصوى للشد بالإضافة إلى العلاقة الخطية بين الإجهاد وانفعال قضبان FRP حتى الانهيار و تلاشى خاصية الخضوع لقضبان FRP.

٣ - انخفاض مقاومة الشد للأجزاء المنحنية (الأركان) عن نظيرتها للأجزاء المستقيمة

٤ - انخفاض مقاومة القص المباشر لقضبان FRP والمعروفة بخاصية Dowel Action

وسوف يترتب على ما سبق ما يلى :

١ - أن يكون عمق الجزء المنضغط في القطاع المسلح بتسليح طولي بقضبان FRP اقل من نظيرة المسلح بالصلب .

٢ - اتساع عرض الشروخ في منطقة التشرخات مما يترتب علية التقليل من التداخلات بين أجزاء الخرسانة عند الشروخ Aggregate Interlock

ويترتب على المؤثرين السابقين بالإضافة إلى ضعف مقاومة القص المباشر لقضبان FRP ضعف المقاومة القصوى للخرسانة في حالة استخدام تسليح طولي من قضبان FRP في القص عن حالات التسليح بالصلب كما هو معطى في البند ٥-٣-٤- ٥ .

٥-٣-٤-٢ قوة القص القصوى الاعتبارية في الكمرات
Nominal Ultimate Shear Force in Beams

لحساب إجهادات القص يؤخذ في الاعتبار عامة أن اكبر قوة قص هي تلك المحسوبة عند اوجه الركائز. أما في حالات الركائز المباشرة تحت الكمرات حيث يتولد نتيجة هذا الارتكاز انضغاط عمودي علي الحافة السفلي للكمرة موضوع التحليل فيسمح أن يكون حساب إجهاد القص وتصميم التسليح الجذعي اللازم مبنيا علي قيمة القص المؤثرة علي مسافة من وجه الركيزة الداخلي تساوي نصف الارتفاع الفعال للكمرة ويتم الرجوع إلى الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية لتحديد القطاع التصميمى.

٥-٣-٤-٣ مقاومة القص القصوى الاعتبارية
Nominal Ultimate Shear Strength

أ - فى حالة الكمرات أو البلاطات ذات العمق الثابت يحسب الإجهاد الأقصى للقص q_u عند أى قطاع من العلاقة:

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

حيث Q_u ـ القوة القصوى للقص عند القطاع

ب - يجب تجنب حدوث انهيار نتيجة لاجهادات القص وذلك نظرا للطبيعة القصفة لهذه النوعية من الانهيارات. و تنقسم نوعية الانهيار في القص إلى النوعيتين التاليتين :

١ - انهيار الشد في التسليح الجزعى

٢ - انهيار الضغط والناتج عن انهيار الخرسانة في منطقة جذع القطاع ويكون انهيار الشد مفاجئا وذات طبيعة اكثر قصفيا عن انهيار الضغط الذي من طبيعته أن

يصاحبه ترخيم كبير في الكمرة . ولضمان عدم حدوث انهيار نتيجة القص يجب أن لا يزيد قيمة الإجهاد الأقصى في القص عن القيمة المعطاة في المعادلة(٥- ١٧).

جـ- يجب أن لا تزيد قيمة q_u للعناصر المعرضة لقوي قص غير مصحوبة لعزوم لـي عـن القيمة التالية :

$$q_{umax}=0.70\sqrt{\frac{f_{cu}}{\gamma_c}} \qquad N/mm^2 \qquad (5\text{-}16)$$

وبحد اقصى ٣ ن / مم٢

٥-٣-٤-٤ معامل خفض المقاومة القصوى

يؤخذ معامل خفض المقاومة للخرسانة ولقضبان FRP كما يلي :

$$\gamma_c = 1.5 \qquad \gamma_f = 1.5 \qquad (5\text{-}17)$$

٥-٣-٤-٥ القيمة الاعتبارية لمقاومة الخرسانة لاجهاد القص

Nominal Ultimate Concrete Shear Resistance

أ - تتوقف القيمة الاعتبارية لمقاومة الخرسانة لإجهاد القص على جساءة التـسليح الطـولي المقاوم للعزوم الممثلة في $A_f E_f$ و تحسب مقاومة الخرسانة تبعا للمعادلة الآتية :

$$q_{cuf} = 0.24\sqrt{\frac{f_{cu}}{\gamma_c}} \cdot \left(\mu_f E_f / (\mu_s E s) \right) \quad N/mm^2 \qquad (5\text{-}18)$$

حيث :

μ_f = نسبة التسليح الطولي بقضبان FRP

E_f = معاير المرونة لقضبان FRP

μ_s = نسبة التسليح الطولي القصوى وتؤخذ $5x10^{-4} f_{cu}$

E s = معاير مرونة الصلب

ب - تؤخذ قيمة (q_{cuf}) تساوى صفرا في حالة وجود قوة شد (P_u) لحين توافر قدر كافي من التجارب المعملية في هذا المجال.

٥-٣-٤-٦ مقاومة التسليح الجذعي القصوى الاعتبارية للقص في الكمرات
Nominal Ultimate Shear Resistance of web Reinforcement in Beams

أ - لحساب اجهادات القص يؤخذ في الاعتبار عامة ان اكبر قوة قص هي تلك المحسوبة عند اوجة الركائز شكل (٥-٣) اما في حالات الركائز المباشرة تحت الكمرات حيث يتولد نتيجة هذا الارتكاز انضغاط عمودي علي الحافة السفلي للكمرة موضوع التحليل (شكل (٥-٣)) فيسمح ان يكون حساب اجهاد القص وتصميم التسليح الجذعى اللازم مبنيا علي قيمة القص المؤثرة علي مسافة من وجة الركيزة الداخلي تساوي نصف الارتفاع الفعال للكمرة.

ب - عند وجود حمل مركز P_U في المسافة a من وجة الركيزة تساوي او تقل عن ضعف الارتفاع الفعال a<2d فيسمح في حساب اجهاد القص الناتج عن هذا الحمل باخذ قوة قص تساوي قوة القص الحسابية مضروبة في a/2d

جـ- يمكن اعتبار قيم القص المؤثرة في المسافة بين وجة الركيزة في الحالات التي يكون فيها القطاع الحرج علي بعد d/2 من وجة الركيزة ذات قيمة ثابتة وتساوي اكبر قوة محسوبة طبقا للبندين (أ ، ب).

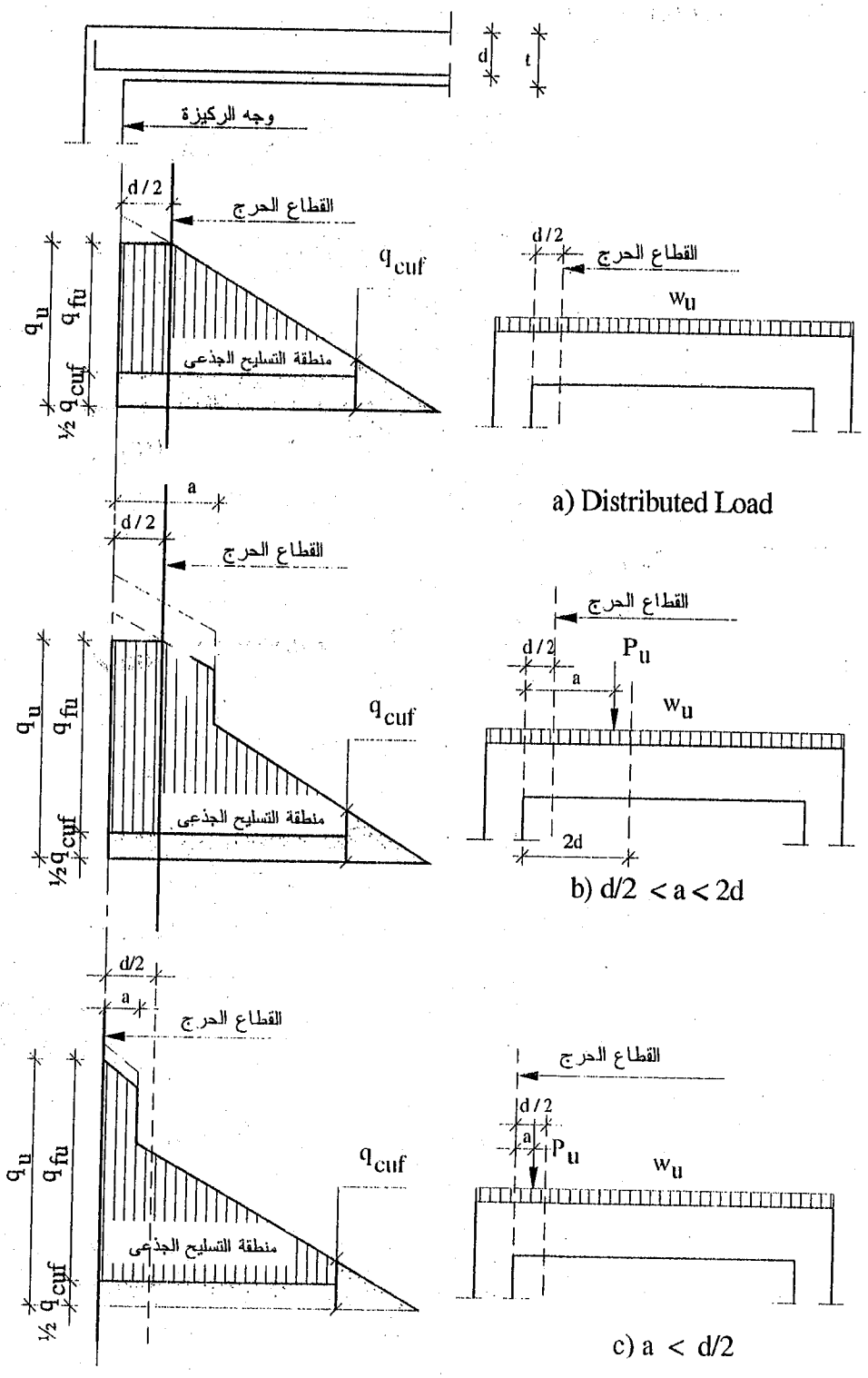
إذا زادت القيمة q_u عن مقاومة الخرسانة q_{cuf} فإنه من الضروري استخدام تسليح جذعي من قضبان FRP من نوع أو أكثر من الأنواع التالية:

١ - كانات عمودية على محور العنصر.

٢ - كانات مائلة بزاوية لا تقل عن ٣٠° مع المحور مع كانات عمودية على مستوى المحور.

ويُحسب مقدار مشاركة التسليح الجذعي طبقاً لما يلي:

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



شكل (٥-٣) توزيع إجهادات القص والقطاعات الحرجة فى الكمرات

٥-٣-٤-٧ التسليح الجذعي في الكمرات Web Reinforcement in Beams

لضمان عدم حدوث انهيار للتسليح الجذعي عند مناطق الدوران في حالة استخدام كانات من ال FRP وكذلك للحد من اتساع الشروخ الناتجة عن القص وفى ذلك ضمان لفاعلية الخرسانة في مقاومة قوى القص يجب أن لا يتعدى إجهاد الشد الأقصى المسموح به بالنسبة للتسليح الجزعي في قضبان FRP (f_{fq}) القيمة التالية :

$$f_{fq} = 0.002\ E_f < f^*_{fb} \qquad (5\text{-}20)$$

حيث f^*_{fb} هو الإجهاد الأقصى المسموح به عند أركان التسليح الجذعي طبقا للمعادلة (٥-١).

أ - في حالة استخدام كانات عمودية علي محور العنصر بدون قضبان مكسحة يحسب التسليح الجذعي طبقا للمعادلة

$$\mu_{fq} = \frac{A_{fq}}{b.s} = \frac{q_{fu}}{\left(\frac{f_{fq}}{\gamma_f}\right)} \qquad (5\text{-}21)$$

ب - في حالة استخدام كانات مائلة أو قضبان طولية مكسحة بزاوية α علي محور العنصر يحسب التسليح الجذعي طبقا للعلاقة :

$$\frac{A_{fqb}}{b.s} = \frac{q_{fub}}{\left[\left(\frac{f_{fq}}{\gamma_f}\right)(\sin\alpha + \cos\alpha)\right]} \qquad (5\text{-}22)$$

حيث :

$$q_{fub} = q_{fu} - q_{fus} \qquad (5\text{-}23)$$

q_{fub} = مقاومة القص القصوى الاعتبارية للقضبان المكسحة

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

٥-٣-٤-٨ متطلبات عامة في اختيار و ترتيب التسليح الجذعي
General Detailing Requirements for Web Reinforcement

أ - لضمان عدم حدوث انهيار قصي مفاجئ يجب ألا يقل الحد الأدنى لنسبة التسليح الجذعي في الكمرات عن :

$$\mu_{fq\ min} = 0.4 \ / f_{fq} \qquad (5\text{-}24)$$

حيث f_{fq} بوحدات ن/مم^2.

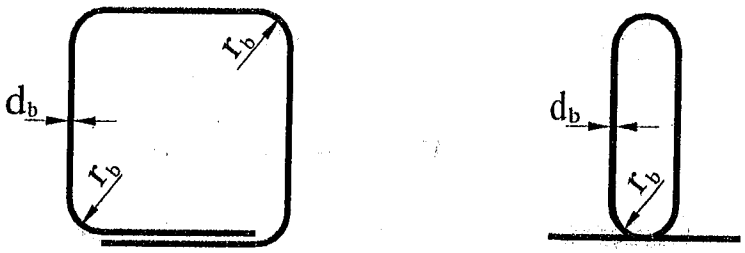
ب - يجب ألا تزيد المسافة الأفقية بين الكانات الرأسية علي d/2 أو ٢٠٠ مم أيهما اقل في اتجاه محور العنصر وبالنسبة للقضبان المكسحة يجب أن لا تزيد هذه المسافة علي قيمة الارتفاع الفعال d

جـ- يمكن زيادة المسافة الأفقية بين القضبان الطولية المكسحة إلى مسافة 1.5 d بشرط ألا يزيد إجهاد القص على مرة ونصف مقاومة الخرسانة للقص، كما يمكن زيادة هذه المسافة الأفقية إلى 2 d إذا كان إجهاد القص لا يتعدى مقاومة الخرسانة للقص.

يعتبر التسليح الجذعي فعالاً في حالة أن كل خط يميل بزاوية مقدارها ٤٥° ممتد من منتصف عمق الكمرة إلى وجه الركيزة يقطع أحد قضبان تسليح القص في جذعه الفعال

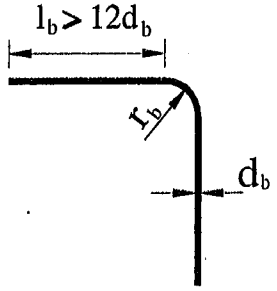
هـ يراعى عدم عمل وصلات التنفيذ عند المناطق ذات إجهادات القص العالية.

و - يجب ألا تقل نسبة نصف قطر انحناء إلى قطر التسليح الجزعى المستخدم عن ٣ ($r_b/d_b \geq 3.0$) ، مع ضرورة إقفال الكانات بزاوية قائمة (٩٠°) كما هو مبين بشكل (٥-٤) .



شكل (٥-٤) : تفاصيل الكانات المصنعة من FRP

ز - يجب ألا يقل طول الجزء المستقيم من الكانة عند منطقة الإقفال عن ١٢ مرة قطر الكانة ($l_b \geq 12d_b$)، و ذلك لضمان طول تماسك كافي بين الكانة و الخرسانة كما هو مبين بشكل (٥-٥).



شكل (٥-٥) : شكل طرف الكانة المصنعة من FRP

ح - يجب أن تصمم البلاطات والكمرات التي لا يزيد ارتفاعها علي ٢٥٠ مم أو ٢,٥ سمك الشفة T أو نصف سمك الجذع أيهم أكبر والعناصر الإنشائية التالية وتحدد ارتفاع قطاعاتها علي أساس أن مقاومة القص تكون بواسطة الخرسانة فقط وطبقا للعلاقة (٥-٢٦) وتطبق هذه الحالة علي الكمرات المدفونة والبلاطات المفرغة

$$q_{cuf} = 0.16\sqrt{\frac{f_{cu}}{\gamma_c}} \cdot \cdot \left(\mu_f E_f / (\mu_s \, E s \,) \right) \qquad N/mm^2 \tag{5-25}$$

٥-٣-٥ القطاعات المعرضة لأحمال شد محورية أو لعزوم انحناء مصحوبة بأحمال شد محورية

أ - تصمم القطاعات المعرضة لشد محوري أو لقوي شد تؤثر داخل القطاع في المسافة (d-d`) على أساس أن المقاومة تتم بواسطة FRP فقط .

ب - تصمم القطاعات الخرسانية الأخرى خلافاً لما ذكر في البند (أ) والمعرضة لأحمال شد محورية مصحوبة بعزم انحناء باستخدام طريقة توافق الانفعالات.

٥- ٣- ٦ طول التماسك وطول الرباط لقضبان FRP

يجب ان تمتد قضبان التسليح من FRP علي جانبي أي مقطع بطول تماسك يتناسب مع قوة الشد في القضيب عند هذا المقطع . يحسب طول التماسك L_d اللازم لمنع انفصال الخرسانة عن قضبان التسليح المعرضة لاجهاد شد من المعادلة التالية:

$$L_d = \frac{\phi . \zeta . \eta . f^*_{fu}}{18.5} \qquad (5\text{-}26)$$

وذلك مقاساً من المقاطع الحرجة التى يحدث عندها أقصى إجهاد شد فى القضبان وكـذلك التى تنتهى أو تكسح عندها القضبان ،

حيث :

ϕ = القطر الإسمى للقضيب

η = ١,٣٠ لقضبان التسليح العلوية FRP التى يزيد سمك الخرسـانة المـصبوبة أسفلها على ٣٠٠ مم

η = ١,٠٠ لجميع الحالات الأخرى

ζ = معامل يعتمد علي سمك الغطاء الخرساني او المسافة بين القضبان الطولية من ال FRP كما يلي

ζ = ١ عندما تكون المسافة = ٢ $\varnothing$

ζ = ١,٥ عندما تكون المسافة = $\varnothing$

٥-٤ حالات حدود التشغيل

العناصر الخرسانية المسلحة بقضبان FRP لها جساءه صغيرة نـسبيا بعـد التـشرخ وبالتالي فان الترخيم المسموح به تحت تأثير أحمال التشغيل يكون من الأرجح هو المتحكم فـي التصميم. ولكن في حالة ما إذا كان التصميم محكوما بانهيار الخرسانة في الضغط فسوف ينتج عن ذلك وعلى وجه العموم استيفاء اشتراطات حالات حدود الترخيم والتشرخ

٥- ٤-١ حالات حدود التشكل و الترخيم

لا يجوز ان تزيد قيم الترخيم فى العناصر المعرضة أساسا لعزوم انحناء للمنشأت العادية عن الحدود المذكورة فى الكود المصرى للمنشآت الخرسانية.

٥-٤-١-١ نسبة البحر الفعال إلى العمق الكلى

لا يجوز استخدام نسبة البحر الفعال إلى العمق الكلى المذكورة في الكود المصري لتـصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية فى حالة العناصر الخرسانية المسلحة بقضبان FRP . ويجب في جميع الحالات حساب الترخيم و التحقق من عدم تجاوزه للقيم المسموح بها وفقا للبند ٥-٤-١.

٥-٤-١-٢ حساب التشكل و الترخيم (سهم الانحناء)

يمكن حساب التشكل و الترخيم (سهم الانحناء) علي أساس الطرق المعروفة في نظريات المرونة مع اعتبار معايير المرونة طبقا لما جاء في الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية.

٥-٤-١-٣ عزم القصور الذاتي الفعال للقطاع I_e

يؤخذ عزم القصور الذاتي الفعال للقطاع I_e لحساب سهم الانحناء للعناصر غير المستمرة من المعادلة:

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \beta_d I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \qquad (5\text{-}27)$$

$$\beta_d = 0.5\left[\frac{E_f}{E_s} + 1\right] \qquad (5\text{-}28)$$

حيث :

I_{cr} = عزم القصور الذاتي للقطاع الفعال بعد التشريخ علي ألا يزيد علي I_g

I_g = عزم القصور الذاتي الكامل للقطاع الخرساني حول محور الخمول وبدون اعتبار تأثير الشروخ ومع إهمال صلب التسليح

E_s = معايير مرونة صلب التسليح

E_f = معايير مرونة قضبان FRP

M_a = قيمة اكبر عزم انحناء المعرض له العنصر عند حساب الترخيم

M_{cr} = اقل عزم انحناء يسبب التشرخ في الخرسانة و يؤخذ من المعادلة:

$$M_{cr} = \frac{f_{ctr} I_g}{y_t} \qquad (5\text{-}29)$$

حيث :

y_t = المسافة من محور التعادل حتى الطرف الأقصى للألياف المشدودة في القطاع مع عدم اعتبار تأثير الشروخ و التسليح

f_{ctr} = إجهاد حد التشرخ للخرسانة المعرضة للشد و تؤخذ من المعادلة:

$$f_{ctr} = 0.6\sqrt{f_{cu}} \quad N/mm^2 \qquad (5\text{-}30)$$

حيث : f_{cu} و f_{ctr} بوحدات ن/م^2

٥-٤-١-٤ في العناصر المستمرة يمكن اعتبار عزم القصور الذاتي الفعال في حساب التشكل متوسط قيمتي هذا العزم في مقطعي العنصر المعرضين لاقصي عزمي الانحناء السالب والموجب

٥-٤-١-٥ يسبب الزحف نتيجة للأحمال الدائمة ترخيما إضافيا يزداد مع الزمن ، ويمكن أخذ الترخيم الإضافي المتولد عن تأثير الزحف في الاعتبار بضرب قيمة الترخيم اللحظي نتيجة للأحمال الدائمة و المحسوبة طبقا للقواعد السابقة في المعامل α الذي يؤخذ بقيمة ١,٢

٥-٤-٢ حالات حدود التشرخ

من المنتظر أن يكون اتساع الشروخ في العناصر المسلحة بقضبان FRP اكبر من نظائرها المسلحة بصلب التسليح ولكن نظرا لان قضبان FRP لا تصدأ فان اشتراطات حد التشرخ المعطاة في الكود المصري للخرسانة المسلحة تكون اشتراطات متحفظة . ويشترط أن لا يزيد عرض الشروخ الناتجة في الخرسانية المسلحة بقضبان ال FRP عن ٠,٥ مم حتى لا تؤثر تلك الشروخ سلبيا على متانة الخرسانة وعلي شكل العنصر.

٥-٥ البلاطات المرتكزة على التربة

يمكن التحكم في تشرخات البلاطات الخرسانية المرتكزة على التربة عن طريق استخدام تسليح من قضبان FRP . وتستخدم هذه القضبان كتسليح لمقاومة الانكماش والحرارة و عادة توضع في النصف العلوي من قطاع البلاطة . وتعمل تلك القضبان على التحكم في عرض

الشروخ وتوزيعها والمسافات فيما بينها مما يترتب علية أيضا إمكانية زيادة المسافات بين فواصل الانكماش في تلك البلاطات . وتحسب مساحة التسليح من العلاقة التالية :

$$A_{f,sh} = \frac{5000\mu.L.\gamma_{RC}.t}{0.0012E_f} \qquad (5\text{-}31)$$

حيث :

$A_{f,sh}$ = مساحة التسليح للقضبان لوحدة الأمتار بوحدات (مم^2 / م)

μ = معامل احتكاك التربة. ويمكن اخذ قيمته = ١,٥

L = المسافة بين فواصل الانكماش بوحدات (مم)

E_f = معاير المرونة لقضبان FRP بوحدات (ن/ مم^2)

γ_{RC} = الوزن الحجمى لخرسانة البلاطة بوحدات (ن/مم^3)

t = سمك البلاطة بوحدات (مم)

الملاحق

ملحق (١) التعريفات والرموز

ملحق (٢) اختبارات البوليمرات المسلحة بالألياف

ملحق (٣) لجان الكود المصري لأسس التصميم و اشتراطات تنفيذ البوليمرات المسلحة بالألياف

ملحق (١)
التعريفات والرموز

التعريفات

AFRP

Aramid fiber reinforced polymer البوليمر المسلح بألياف الأراميد

Anisotropic laminate **شريحة متباينة الخواص اتجاهياً**

A laminate in which the properties depend on direction within the laminate. Typical of fiber reinforced laminates

شريحة تعتمد خواصها على إتجاه الألياف داخلها بالنسبة لإتجاه القوى المؤثرة عليها مثل حالة الشرائح النمطية من البوليمرات المسلحة بالألياف.

Aramid Fibers **الأراميد ألياف**

Highly oriented organic fibers ألياف عضوية موجهة بكثافة عالية

Barcol hardness **صلادة باركول**

A hardness value obtained by measuring the resistance to penetration of a sharp steel point under a spring load. The instrument, called the Barcol impressor, gives a direct reading on a scale. The hardness value is often used as a measure of the degree of cure of a polymer. See ASTM D 2583.

مقدار للصلادة يتم الحصول عليه بقياس المقاومة للاختراق بطرف فولاذى مدبب تحت تأثير حمل زنبركى ويطلق على الجهاز المستخدم طابع باركول Barcol impressor يعطى قراءة مباشرة على التدريج. يستخدم مقياس الصلادة لتعيين درجة نضج وتصلد البوليمر (يرجع إلى المواصفات القياسية الأمريكية).

Batch **كمية / تشغيلة**

Quantity of material mixed at one time or in one continuous process. See Lot.

كمية من المادة المخلوطة والمصنعة فى وقت واحد لعملية تشغيل مستمرة.

Bias fabric **نسيج مائل أو مزاوى**

Warp and fill fibers at an angle to the length of the fabric

فتل الألياف وملئها بزاوية على الإتجاه الطولى للنسيج

Bidirectional laminate **الشرائح ثنائية الإتجاه**

Reinforced polymer laminate with the fibers oriented in two directions in its plane; a cross laminate.

شرائح البوليمرات المسلحة بالألياف والتى تكون الألياف بها مصطفة فى إتجاهين فى نفس المستوى والشريحة يطلق عليها شريحة متعامدة الألياف Cross laminate

Binder **رابط**

Chemical treatment applied to the random arrangement of fibers to give integrity to mats, roving and fabric. Specific binders are utilized to promote chemical compatibility with the various laminating resins used

المعالجة الكيميائية المطبقة على الألياف ذات النسق العشوائى لتكون نسيجا مستقيما منتظما. كما أن الرابط المحدد المستخدم يجب أن يعزز ويقوى من التوافق الكيميائى مع مختلف راتنجات التصفيح المستخدمة للصق.

Bond-critical applications **التطبيقات المعتمدة على التماسك**

Applications of FRP systems for strengthening structures that rely on bond to the concrete substrate; flexural and shear strengthening of beams and slabs are examples of bond-critical applications.

تطبيقات أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف لتدعيم وتقوية المنشآت التى تعتمد على التماسك والألتصاق مع السطح الخرسانى مثال لذلك حالات تدعيم الكمرات والبلاطات لعزوم الأنحناء والقص.

Braiding **تضفير**

See Fabric. نظرا " نسيج الألياف "

Briding **عدم تمام الموازاة والمحاذاة**

Condition in which fibers do not move into or conform to radii, corners, and other discontinuities in the substrate concrete during installation, resulting in separations between layers and potential structural problems.

حالة الألياف التى لا تملأ أو لاتأخذ النسق نصف القطرى للأركان أو الفجوات بسطح الخرسانة أثناء تركيبها وينشأ عن ذلك انفصال بين الطبقات ومشاكل إنشائية محتملة.

Carbon fibers **ألياف الكربون**

Fiber produced by the thermal treatment of organic precursor fibers, such as polyacrylonitrile (PAN) and pitch, in an inert environment

ألياف تنتج بالمعالجة الحرارية لألياف عضوية تمهيدية مثل البولى اكريلونيتريل (PAN) مع القار وذلك فى بيئة خاملة.

Catalyst **محفز**

A substance that accelerates a chemical reaction and enables it to proceed under conditions more mild than othervise required and which is not, itself, permanently changed by the reaction. See Initiator or Hardener.

مادة تعمل على تعجيل تفاعل كيميائى ليتم تحت ظروف هادئة أكثر مما هو مطلوب للتفاعل ولا تتغير هذه المادة من جراء التفاعل (يرجع إلى المصلد والبادئ).

CFRP **بوليمرات مسلحة بألياف الكربون**

Carbon fiber reinforce l polymers (includes graphite fiber reinforced polymer)

بوليمرات مسلحة بألياف الكربون وتشمل بوليمرات مسلحة بألياف الجرافيت.

Composite **مواد مركبة**

A combination of two or more materials differing in form or composition on a macroscale; the constituents retain their identities, they do not dissolve or merge completely into one another, although they act in concert; normally, the components can be physically identified and exhibit an interface between one another.

Composite FRP

هو تركيبة من مادتين أو أكثر مختلفين فى الشكل أوالتركيب والتكوين مع احتفاظ كل من المكونات بخواصه الذاتية. كذلك لايحدث ذوبان أو إندماج كلى فيما بينهما بالرغم من عملهم متوافقين فى إنسجام. وعادة يمكن التعرف على المكونات وتحديدها فيزيقيا وتحديد سطح التلاقى بينهما (يرجع إلى البوليمرات المسلحة بالألياف المركبة)

Composite action **التصرف كمركب**

A condition where two load-carrying structural elements are integrally connected and deflect as a single unit. For example, a concrete slab connected to a steel beam with shear studs.

هى الحالة التى يتصرف بها عنصران إنشائيان مرتبطين معا ولها ترخيم كوحدة واحدة. مثـال لذلك بلاطة خرسانية مرتبطة بكمرة حديدية عن طريق جوايط ناقلة لقوى القص.

مركب البوليمرات المسلحة بالألياف **Composite FRP**

A polymer matrix, either thermoseting or thermoplastic, reinforced with a fiber or other material with a sufficient aspect ratio (length to thickness) to provide a discernible reinforcing function in one or more directions. See Composite

منظومة بوليمرية سواء كان البوليمر من الأنواع التـى تلـين بـالحرارة (حـرارى التلـدن) Thermoplastic أو المتصلد بالتسخين Thermosetting والمسلحة بألياف أو مادة أخـرى ذات نسبة باعية aspect ratio (الطول إلى السمك) كافية لكى تعطى تسليح بقيمة محسوسة فى إتجاه واحد أو أكثر برجاء الرجوع إلى المواد المركبة.

خرسانة تحتية **Concrete substrate**

The original concrete and any cementitous repair materials used to repair materials used to repair or replace the original concrete, the substrate can consist entirely of original concrete, entirely of repair materials or of a combination of original concrete and repair materials, the substrate includes the surface to which the FRP system is installed.

الخرسانة الأصلية أو مونة الترميم الأسمنتيه المستخدمة لإصلاح أو استبدال الخرسانة الأصلية. والطبقة التحتية يمكن أن تتكون من الخرسانة الأصلية بالكامل أو مونـة التـرميم بالكامـل أو تركيب مكون من الخرسانة الأصلية مع مونة الترميم. وتشمل الطبقة التحتية الـسطح المزمـع تطبيق نظام البوليمرات المسلحة بالألياف عليه.

التطبيقات المعتمدة على التلامس **Contact – critical applications**

Applications of FRP systems that rely on continuous intimate contact between the concrete substrate and the FRP system. Confinement of columns for seismic retrofit is an example of a contract-critical application.

هى تطبيقات أنظمة البوليمرات المسلحة بالألياف لتدعيم وتقوية المنشآت والتى تعتمد أساسا على التلامس التام والتحزيم أو اللف مع السطح الخرسانى ومثال لذلك حالات تحزيم ولف الأعمـدة لمقاومة أحمال الزلازل.

الأنهيار بالزحف **Creep rupture**

The gardual time-dependent reduction of tensile capacity due to continuous loading that leads to failure of the section.

النقص التدريجى مع مرور الزمن فى مقاومة الشد وذلك تحت تأثير التحميل المستمر للأحمـــال والذى يؤدى لأنهيار القطاع.

ارتباط عرضى / ترابط متقاطع **Cross-linking**

The chemical bonding of molecules during polymerization that occurs during curing as the resin transitions from liquid to a solid.

الترابط الكيميائى بين الجزيئات أثناء عملية البلمرة التى تحدث أنثاء التصلد والتحول للبـــوليمر من الحالة السائلة إلى الجامدة.

المعالجه **Cure**

The process of causing the irreversible change in the properties of thermosetting resin by chemical reaction, Cure is typically accomplished by addition of curing (cross-linking) agents or initiators, with or without heat and pressure. Full cure is the point at which a resin reaches the specified properties. Undercure is a condition where specified properties have not been reached

العملية التى تؤدى إلى التحول الدائم فى خواص الراتنج الثرموست (الذى يتصلد بـــالحرارة) ، نتيجة التفاعل الكيميائى والتصلد يتم نمطيا بإضافة الحافز المصلد أو البادئ فى وجود أو عـــدم وجود الحرارة والضغط. والمعالجة الكامله هى وصول البوليمر للخواص المحددة وعدم تمـــام المعالجة يعنى أن الخواص المطلوبة لم يتم الوصول إليها.

زمن المعالجة **Cure time**

The time necessary to cure a thermosettting resin system or prepreg at a given temperature.

الزمن اللازم لنضج منظومة البوليمر / الراتنج الذى يتصلد بالحرارة (Thermoset) عند درجة حرارة معينة

عامل المعالجة / العامل المصلد **Curing Agent**

A catalytic or reactive agent that, when added to a resin, cause polymerization. Also called hardener or initiator.

عامل محفز أو منشط يسبب عملية البلمرة عند أضافته للراتنج. كما يمكن تسميته أيضا بالمصلد أو البادئ.

انفصال التماسك / الانفصال السطحى **Debonding**

A separation at the interface between the substrate and the reinforcing layer.

الانفصال عند سطح التماس بين طبقة التسليح وبين سطح الطبقة التحتية (السطح).

انفصال الشرائح **Delamination**

A separation along a plane parallel to the surface, as in the separation of the layers of the FRP laminate from each other.

الانفصال فى مستوى مواز للسطح أو الطبقة التحتية كما فى حالة إنفصال طبقات شرائح البوليمرات المسلحة بالألياف بعضها عن البعض.

طول التماسك **Development Length**

The bonded distance required for transfer of stresses from the concrete to the FRP so that the capacity of the FRP can be used. The development length is a function of the strength of the substrate and the rigidity of the bonded FRP and the bonding material and thickness.

مسافة الربط المطلوبة لنقل الإجهادات من الخرسانة إلى البوليمرات المسلحة بالألياف لكى يتم استغلال قدرة البوليمرات المسلحة بالألياف. ويعتمد طول التماسك (طول الرباط)على مقاومة طبقة الأساس وجساءة البوليمرات المسلحة بالألياف التى تمّ لصقها ونوع وسمك مادة اللصق.

التحمل مع الزمن (الديمومة) **Durability**

The ability of a material to resist weathering action, chemical attack, abrasion, and other conditions of service.

قابلية المادة لمقاومة العوامل الجوية ومهاجمة الكيماويات ومقاومة البرى والأحتكاك وكل الظروف الأخرى التى تتعرض لها أثناء الاستخدام.

E- Glass

A family of calcium-alumina-silica glasses with electrical properties, strength, and durability appropriate for many applications; a general-purpose fiber that is most often used in reinforced polymers.

نوع من عائلة الزجاجيات من سيلكات ألومنيات الكالسيوم ذات خواص كهربية و مقاومة للإجهادات وتحمل مع الزمن مناسبة لتطبيقات عديدة ومنها تلك الألياف المستخدمة لتسليح البوليمرات.

Epoxy **الأيبوكسى**

A thermsetting polymer that is the reaction product of epoxy resin and an amino hardener (See Also epoxy resin)

بوليمر من فصيلة اللدائن التى تتصلد بالحرارة ينتج من تفاعل راتنج الأيبوكسى مع المصلد الأمينى. (أنظر راتنج الأيبوكسى)

Epoxy resin **راتنج الأيبوكسى**

A class of organic chemical-bonding systems used in the preparation of special coatings or adhesives for concrete as binders in epoxy-resin mortars and concretes.

فصيلة من أنظمة الربط الكيميائى العضوى والمستخدم فى تحضير دهانات أو مواد لاصقة خاصة للخرسانة وكرابط في المون الأيبوكسية الراتنجية.

Fabric **نسيج الألياف**

Arrangement of fibers held together in two dimensions. A fabric can be woven, nonwoven, knitted or stitched. Multiple layers of fabric may be stitched together. Fabric architecture is the specific description of fibers, directions, and construction of the fabric.

تنظيم مجموعة من الألياف وتجميعهم فى مستوى ثنائى الأبعاد. نسيج الألياف قد يكون منسوجا أو غير منسوج. معقود أو محبوك أو مثبت بالخياطة. والطبقات المتعددة من النسيج يمكن تثبيت بعضها مع البعض بالخياطة. وبناء النسيج يوصف نوع الألياف واتجاهاتها والتركيب البنائى للنسيج.

Fibers **ألياف**

A general term used to refer to filamentary materials, the smallest unit of a fibrous material. Often, fiber is used synonymously with filament.

مصطلح عام يستعمل للإشارة إلى المواد الفتيلية وكلمة ألياف (Fiber) تستعمل عادة كمرادف لكلمة فتيل.

Fiber content **محتوى الألياف**

The amount of fiber present in a composite, usually expressed as a precentage volume fraction or mass fraction of the composite.

كمية الألياف الموجودة فى المادة المركبة وعادة مايعبر عنها كنسبة حجمية أو كتلية من المادة المركبة.

Fiber fly **غبار أو بقايا الألياف**

Short filaments that break off dry fiber tows or yarns during handling and become air borne; usually classified as a nuisance dust.

قطع صغيرة جدا من غزل أو فتائل الألياف المنفصلة أثناء مناولتها وتداولها وتصبح معلقة فى الهواء وعادة مايصنف على أنه غبار مؤذى.

Fiberglass (GRP) **الألياف الزجاجية**

A composite material consisting of glass fibers in polyester resin.

مادة مؤلفة من ألياف الزجاج مع راتنج البوليستر

Fiber reinforced polymer(FRP) **البوليمرات المسلحة بالألياف**

A general term for a composite material that consists of a polymer matrix reinforced with cloth, mat, strands, or any other fiber form. See Composite.

مصطلح عام لمادة مركبة مكونة من منظومة البوليمر المسلح بنسيج أو حصيرة أو جدائل أو أى من أشكال الألياف (يرجع إلى المواد المركبة).

Filament **فتيل / خيط**

See Fibers يرجع إلى الألياف

Filler **مادة مالئة**

A relatively inert substance added to a resin to alter its properties or to lower cost or density. Sometimes the term is used specifically to mean particulate additives. Also called extenders.

مادة خاملة تضاف إلى البوليمر أو الراتنج لتغيير خواصه أو لتقليل التكلفة أو الكثافة. وأحيانا يستخدم المصطلح ليعنى إضافات خاصة جزيئية.

Fire retardant **مؤخر لتأثير الحريق**

Chemicals that are used to reduce the tendency of a resin to burn, these can be added to the resin or coated on the surface of the FRP.

مواد كيماوية تستعمل لتقليل ميل البوليمرات / الراتنجات للاحتراق والأشتعال وقد تضاف للبوليمر أو تدهن على سطح البوليمرات المسلحة بالألياف.

Flow **التدفق / السريان**

The movement of uncured resin under pressure or gravity loads.

حركة الراتنجات / البوليمرات غير المتصلدة تحت تأثير قوى الجاذبية أو الضغط

FRP **البوليمرات المسلحة بالألياف**

Fiber reinfoced polymers, formerly, fiber reinforced plastics.

البوليمرات المسلحة بالألياف كان يطلق عليها سابقا البلاستيك المسلح بالألياف

GFRP **البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج**

Glass fiber reinforced polymers.

البوليمرات المسلحة بألياف الزجاج

Glass Fibers **ألياف الزجاج**

Filaments made by drawing or spining molten glass through a fine orifice A continuous filament is a single glass fiber of great or indefinite length. A staple fiber is a glass fiber or relatively short length, generally less than 17 in. (0.43 m), the length related to the forming or spinning process used.

فتائل تصنع بالسحب أو الغزل للزجاج المنصهر من خلال فوهة ثقب رفيع جدا والخيط المستمر لوحدة الألياف من الزجاج ذو طول كبير جدا أما تيل الألياف فعبارة عن ألياف قصيرة الطـــول نسبيا وعادة أقل من ٤٣ سم ويتوقف طول الألياف الزجاجية على طريقة التصنيع.

Glass fiber types **أنواع ألياف الزجاج**

Alkali resistant (AR-glass), general purpose (E-glass), high strength (S-glass).

الزجاج المقاوم للقلويات من النوع (زجاج -AR) والنوع ذو الأستعمال العام (زجاج -E) والنوع عالى المقاومة للإجهادات (زجاج -S)

Glass transition temperature(T_g) **درجة حرارة تحول الزجاج**

The midpoint of the temperature range over which an amphorous material (such as glass or a high polymer) changes from (or to) brittle, vitreous state to (or from) a plastic state

درجة الحرارة المتوسطة التى فوقها تتغير خواص البوليمر من حالته غير البلورية (مثل الزجاج أو البوليمرات الفائقة) من الحالة القصفة المتزججة إلى الحالة اللدنة أى من حالة التـــزجج إلـــى حالة البلاستيك.

Grid شبكة

A factory-cured composite laminate, made from continuous fiber rovings or tows, that contains a repeatable and consistent pattern of openings in the laminate.

شرائح مركبة متصلدة جاهزة الصنع من بكرات وخيوط الألياف المستمرة والتى تحتوى على فتحات بشكل منتظم بالشريحة على شكل شبكة جاهزة.

Hardener مصلد

(1) A chemical (including certain fluosilicates or sodium silicate) applied to concrete floors to reduce wear and dusting; or (2) in a two-component adhesive or coating, the chemical component that causes the resin component to cure.

(١) مادة كيميائية تدهن بها أسطح الأرضيات الخرسانية لزيادة مقاومة البرى والأحتكاك ومقاومة تكون الغبار(التترب). (٢) وفى الدهانات واللواصق ذات المركبين فإن المصلد هو المركب الكيميائى الذى يسبب تصلد وجفاف الراتنج / البوليمر

Heat-deflection temperature درجة حرارة التشكل / درجة حرارة الإنعطاف الحرارى

The temperature at which a plastic material has an arbitrary deflection when subjected to an arbitrary load and test condition, this is an indication of the glass-transition temperature. (This general use indicator is only relevant for unreinforced thermoplastic polymer materials and is not normally used for fiber reinforced polymers)

درجة حرارة المادة البولمرية التى يحدث عندها ترخيم غير معين عند تعرضها لحمل غير معين فى ظروف اختبار غير معينة وهى تشير إلى درجة تحول الزجاج (وهى مؤشر عام للمواد البولمرية من فصيلة اللدائن غير المسلحة التى تلين بالحرارة ولاتستخدم مع البوليمرات المسلحة بالألياف.

Impregnation التشريب

The process of saturating the interspaces of a reinforcement or substrate with a resin.

عملية التشريب والتشبع بالراتنج / البوليمر لفراغات التسليح بالألياف أو للسطح (الطبقة التحتية)

Inhibitor مثبط

A substance that retards a chemical reaction; for instance, retarding ultraviolet degradation. Also used in certain types of monomers and resins to prolong storage life.

مادة مثبطة ومؤخرة لتفاعل كيميائى مثل تأخير مضار تأثير الأشعة فوق البنفسجية ويستعمل أيضا فى بعض الراتنجات المونمرات لزيادة مدة صلاحية التخزين.

Intiator **البادئ**

A source of free radicals, which are groups of atoms that have at least one unpaired electron used to start the curing process for unsaturated polyster and vinylester resins. Peroxides are the most common source of free radicals. See Catalyst.

مصدر للعوامل الحرة ، عبارة عن مجموعات من الذرات التى بها إلكترونيات فردية أو مزدوجة والتى تستخدم لبدء النضج والتصلد ، والجفاف لراتنجات – البوليستر والفينيل أستر غير المشبعة والبيروكسيد هو المصدر الشائع أساسا فى هذا الصدد (أنظر المحفز).

Interface **السطح البينى / سطح التماس / منطقة سطح التلاقى**

The boundary or surface between two different, physically distinguishable media, On fibers, the contract area between fibers and coating/sizing.

حدود أو السطح الفاصل بين وسطين مختلفين متميزين فيزيقيا وبالنسبة للألياف هى مساحة الألتصاق بين الألياف والدهان.

Interlaminar Shear **قص التماس / القص البينى (الصفائحى)**

Shearing force tending to produce a relative displacement between two laminae in a laminate along the plane of their interface.

قوى القص التى تتسبب فى حدوث إزاحة نسبية بين سطحى رقيقتين متلاصقتين من نسيج الألياف فى الشريحة (المكونة من صفائح / عدة طبقات من النسيج) وتؤثر هذه القوة عبر مستوى سطح التماس بينهما.

Laminate **رقيقة**

One or more layers of fiber, bound together in a cured resin matrix..

رقيقة الألياف المتصلدة المكونة من طبقة أو أكثر من الألياف المتربطة بعضها مع بعض برباط البوليمر.

Lay-up **عملية فرش الطبقات أو رص الأسياخ**

The process of placing the FRP reinforcing material in position for molding

عملية وضع الألياف المستخدمة لتسليح البوليمرات فى وضع التشكل.

Lot **دفعة**

A quantity of material manufactured during the same production process where in production variables essentially remain constant. See Batch.

كمية من المادة المصنعة فى أثناء عملية الإنتاج والتشغيل حيث تظل عوامل ومتغيرات الإنتاج الأساسية ثابتة. (يرجع إلى تشغيلة).

Mat **حصيرة الألياف**

A fibrous material for reinforced polymer, consisting of randomly oriented chopped filaments, short fibers (with or without a carrier fabric), or long random filaments loosely held together with a binder.

مادة من الألياف لتسليح البوليمرات والمكونة من فتائل عشوائية الاتجاه متقاطعة وألياف قصيرة (مع أو بدون نسيج حامل) وخيوط عشوائية طويلة سائبة ويتم تجميعهم ببعضهم مع بعض بواسطة رابط.

Matrix **مادة لاحمة / مادة رابطة (الوسط المحيط اللاصق)**

The essentially homogeneous resin or polymer material in which the fiber system of a compostie is embedded.

مادة الراتنج الرئيسى المتجانس أو المادة البوليمرية التى تستخدم كأساس يوضع داخلها نظام الألياف للمادة المركبة.

Microcracking **شروخ دقيقة**

Cracks formed in composites when stresses locally exceed the strength of the matrix.

شروخ متكونة فى المواد المركبة (المركبات) عندما تزيد الاجهادات موضعيا عن مقاومة الوسط المحيط.

Monomer **جزئى/ وحيد/ مونمر**

An organic molecule of relatively low molecular weight that creates a solid polymer by reacting with itself or other compounds of low molecular or both.

الجزئ العضوى لمادة ذات وزن جزيئى منخفض والتى تنتج (تخلق) بوليمر صلب بالتفاعل مع نفسه أو مع مركب أخر له وزن جزيئي منخفض أومع كليهما.

MSDS (Material Safety Data Sheet) **النشرة الفنية لاحتياطات الأمان للمادة**

NOL ring - NOL **حلقة**

A parallel filament or tape-wound, hoop-test specimen developed by the Naval Ordnance Laboratory (NOL) for measuring various mechaincal strength properties of the material, such as tension or overlap bond, by testing the entire ring by equivalent radial pressure.

عينة اختبار على شكل حلقة مصنعة بلف فتائل متوازية أو شريط من الفتائل تم تطويرها بواسطة معمل NOL لقياس خواص ميكانيكية مختلفة للمادة مثل مقاومة الشد أو مقاومة تماسك التراكب عن طريق اختبار الحلقة كلها بواسطة الضغط القطرى المكافئ.

PAN **بولى أكريلو نيتريل**

Polyacrylonitrile, a precursor fiber used to make carbon fiber.

هى الأساس الكيميائى لوحدة الألياف الكربونية من بولى أكلريلو نيتريل PAN.

Phenolic **فينولى**

A thermosetting resin produced by the condensation of an aromatic alcohol with an aldehyde, particularly of phenol with formaldehyde.

راتنج من فصيلة اللدائن التى تتصلد بالحرارة ينتج من تكثيف الكحول الاراماتيك مع الالدهايد وخاصة الفينول مع الفورمالدهايد.

Pinholes **تسويس / ثقوب صغيرة**

A small cavity, typically less than 0.06 in (1.5 mm)in diameter, that penetrates the surface of a cured composite part.

فجوات صغيرة عادة ذات قطر أقل من ١,٥ مم تخترق سطح المادة المركبة المتصلدة.

Pitch **القار / الزفت**

Petroleum or coal tar precursor base used to make carbon fiber.

ناتج من البترول أو قطران الفحم يعتبر الأساس لعمل ألياف الكربون.

Ply **طبقة واحدة من نسيج الألياف**

A single layer of fabric or mat, multiple plies, when molded together, make up the laminate.

طبقة واحدة من نسيج الألياف أو حصيرة الألياف وتكون الطبقات المتعددة المستخدمة فى انتاج المادة المركبة.

البوليستر **Polyester**

One of a large group of synthetic resins, mainly produced by rection of dibasic acids with dihydroxy alcohols; commonly prepared for application by mixing with a vinyl-group monomer and free-radical catalysts at ambient temperatures and used as binders for resin mortars and concretes, fiber laminates (mainly glass), adhesives and the like. Commonly referred to as "unsaturated polyester".

واحد من مجموعة الراتنجات المخلقة ينتج من تفاعل حمض ثنائى القاعدة مع الكحولات ثنائيـــة الهيدروكسيد عادة يتم تحضيره للاستخدام بخلطه مع مجموعة مونمرات الفينيل ومحفز فى درجة الحرارة السائدة ويستخدم كرابط للمون البوليمرية والخرسانة وشرائح الألياف (أساساً الألياف الزجاجية) واللواصق وماشابه. وعادة يعرف ببوليستر غير مشبع.

بوليمر **Polymer**

The product of polymerization; more commonly, a rubber or resin consisting of large molecules formed by polymerization.

ناتج عملية البلمرة وأكثرها شيوعاً المطاط المبلمر أو الراتنج بتكوين عدد كبير من الجزئيات.

البلمرة **Polymerization**

The reaction in which two or more molecules of the same substance combine to form a compound containing the same elements and in the same proportions but of higher molecular weight.

تفاعل جزيئين أو أكثر من نفس المادة ليتحدوا مكونين مركب من نفس العناصر وبنفس النـــسب ولكن بوزن جزيئي أعلى.

البولييوريثان **Polyurethane**

Reaction product of an isocyanate with any of a wide variety of other compounds containing an active hydrogen group, used to formulate tough, abrasion-resistant coatings.

ناتج تفاعل ايزوسيانيد مع أى من مجموعة متنوعة من مركبات أخرى متنوعة تحتـــوى علـــى مجموعة هيدروجين نشط والمادة تستعمل لتكوين الدهانات المتينة المقاومة للبرى والاحتكاك.

Postcuring **معالجة لاحقة / انضاج لاحق**

Additional elevated-temperature curing that increases the level of polymer cross-linking; final properties of the laminate or polymer are enhanced.

معالجة متصلدة برفع درجة الحرارة يزيد مستوى الترابط البولمرى وينتج عن ذلك تحسن فى خواص الشرائح أو البوليمرات.

Pot life **زمن التشغيلية**

Time interval after preparation during which a liquid or plastic mixture is to be used.

هى الفترة الزمنية منذ تحضير وتقليب الخليط السائل أو اللدن حتى استعماله.

Prepreg **الألياف سابقة التشبع / الألياف المشبعة قبل التصلد**

A fiber or fiber sheet material containing resin that is advanced to a tacky consistency, multiple plies of prepreg are typically cured with applied heat and pressure, also preimpregnated fiber or sheet.

مادة الألياف أو نسيج الألياف مشبعة على الراتنج / البوليمر وهو فى حالة سابقة قبل التصلد (قوام لزج) والطبقات المتعددة من الألياف المشبعة غير المتصلدة يتم تصلدها وجفافها نمطياً بتطبيق الحرارة والضغط وكذلك النسيج أو الألياف المشبعة مسبقاً.

Pultrusion **عملية تصنيع القطاعات بالسحب**

A continuous process that combines pulling and extrusion for manufacturing composite sections that typically have a constant cross-sectional shape, the process consists of pulling a fiber material through a resin bath and then through a heated shaping die where the resin is cured.

عملية تصنيع مستمرة تجمع البثق مع السحب لتصنيع القطاعات المؤلفة والتى لها أشكال نمطية ذات مساحة مقطع ثابت. وتتكون العملية من سحب أو شد مادة الألياف خلال المرور فى حوض من الراتنج / البوليمر ثم التسخين فى قالب بالشكل المحدد حيث تتم عملية النضج والتصلد.

Resin **راتنج**

A natural or synthetic, soild or semisolid, organic material of indefinite and often high molecular weight having a tendency to flow under stress, usually has a softening or melting range, and usually fractures conchoidally. Resin often refers to the mixed polymer component or matrix of the FRP.

مادة عضوية طبيعية أو مصنعة فى حالة جامدة أو شبه جامدة وتكون غالباً ذات وزن جزيئي كبير وهى قابلة للسريان تحت تأثير الاجهادات. وتكون عادة لها مدى لدرجات حرارة الانصهار والتلدن كما تتشرخ عادة على شكل صدفى والراتنج هنا ينسب إلى خليط مكونات البوليمر أو منظومة رابط البوليمرات المسلحة بالألياف.

محتوى الراتنج **Resin content**

The amount of resin in a laminate, expressed as either a percentage of total mass or total volume.

كمية الراتنج فى الشريحة ويعبر عنها كنسبة مئوية حجمية أو كتلية.

الجدائل / الغزل **Roving**

A number of yarns, strands, tows, or ends of fibers collected into a parallel bundle with little or no twist.

عدد من خيوط الألياف أو الجدائل أو الغزل أو نهايات ألياف مجمعة فى حزم متوازية بدون التواء (أو بالتواء بسيط).

زجاج من النوع – S **S-glass**

A family of magnesium-alumina-silicate glasses with a certified chemical composition that is designed to provide high tensile strength.

عائلة الزجاجيات من سيليكات ألومنيات الماغنسيوم وتتميز بتركيب كيميائى مصمم ليعطى مقاومة شد عالية.

التماسك الثانوى **Secondary bonding**

The joining together, by the process of adhesive bonding, of two or more already-cured parts.

عملية الوصل باللصق والتماسك لجزءين أو أكثر من الشرائح المتصلدة مسبقاً.

فترة صلاحية التخزين **Shelf life / Storage life**

The length of time packaged materials can be stored under specified conditions and remain usable.

مدة التخزين التى تكون المادة خلالها صالحة للاستخدام.

Short beam shear (SBS) **القص للكمرات القصيرة**

A flexural test of a specimen having a low span-to-depth ratio (for example 4:1), such that failure is primarily in horizontal shear between center plies of the laminate; the resulting strength is called the interlaminar shear strength (ILSS).

وهو اختبار الثنى لعينة ذات نسبة طول بحر إلى العمق قليلة (مثلاً ١:٤) ومثل هذا الانهيار يكون أساساً فى القص أفقياً بين الطبقات المركزية فى الشريحة ومقاومة القص الناتج تسمى مقاومة القص بين الطبقات / الشرائح (ILSS).

Sizing **تغرية خيوط ألياف النسيج**

Surface treatment or coating applied to filaments to improve the filament-to-resin bond and to impart processing and durability attributes.

المعالجة السطحية أو الدهان المطبق على خيوط الألياف لتحسين التماسك والترابط بين خيوط الألياف والراتنج مما يحسن من كفاءة التشغيل والتحمل مع الزمن.

Strand **جديلة / حزمة ألياف**

Normally, an untwisted bundle or assembly of continuous filaments used as a unit, including slivers, tows, ends, and yarns.

حزمة من خيوط الألياف المستمرة والمتجمعة وغير الملوية وتستخدم كوحدة واحدة شاملة الخصلات والغزل والنهايات.

Structural adhesive **اللاصق الإنشائي**

A bonding agent used for transferring required loads between adherents exposed to service environments typical for the structure involved.

مادة ربط تستعمل لنقل الأحمال بين الأجزاء الملصوقة والمعرضة لظروف التشغيل النمطية للمنشأ المستخدم.

Thermoplastic **ثرموبلاستيك / لدائن تتلدن بالحرارة**

Becoming soft when heated and hard when cooled. Examples are, nylon, polypropylene, and polystyrene.

مادة تصبح لدنة (لينة) بالتسخين بالحرارة وعندما تبرد تتصلد مثال البولى ستايرين والبولى بروبلين والنايلون.

ثرموستنج / تصلد بالتسخين **Thermosetting**

Becoming rigid by chemical reaction and not remeltable. Examples are epoxy, phenolic, vinylester, and polyester.

مادة تصبح صلبة بالتفاعل الكيميائي ولكن لا تلين عند تسخينها (تعود لخواصها الأصلية بالتسخين) مثال لذلك الايبوكسى والفينول وايسترات الفينيل والبوليستر.

جديلة **Tow**

An untwisted bundle of continuous filaments.

حزمة من الألياف المستمرة غير الملتوية.

وحدة ألياف التمييز **Tracer**

A colored fiber, tow, or yarn added to a fabric or sheet for verifying fiber alignment and, in the case of woven materials, for identifying warp fibers from fill fibers.

إحدى الألياف أو الجدائل أو الغزل الملونة المضافة للنسيج لتحديد اتجاه الألياف وتستخدم فى حالة النسيج المضفر لتمييز الألياف الطولية من العرضية.

الرقائق أحادية الاتجاه **Unidirectional laminates**

A reinforced polymer laminate in which substantially all of the fibers are oriented in the same direction

شريحة البوليمرات المسلحة التى تكون فيها كل الألياف موجهة فى نفس الاتجاه.

المركبات العضوية المتطايرة **VOC**

Volatile organic compounds, any compound of carbon, excluding carbon monoxide, carbon dioxide, carbonic acid, metallic carbides, or carbonates, and ammonium carbonate, that participates in atmospheric photochemical reactions, such as ozone depletion.

المركبات العضوية المتطايرة هى أى من مركبات الكربون فيما عدا أول أكسيد الكربون وثانى أكسيد الكربون وحمض الكربونيك أو الكربيدات المعدنية والكربونات وكربونات الامونيوم التى تشارك فى التفاعلات الكيميائية الضوئية بالغلاف الجوى مثل تآكل الأوزون.

أسترات الفينيل **Vinyl ester**

A thermosetting resin containing both vinyl and ester components, and cured by additional polymerization initiated by free-radical generation. Vinyl esters are used as binders for fiber laminates and adhesives.

راتنج من اللدائن التى تتصلد بالحرارة المحتوية على كل من مركبات الفينيل والاستر والتى تتصلد بالبلمرة وتستعمل استرات الفينيل كرابط لشرائح الألياف واللواصق.

اللزوجة **Viscosity**

The property of a material that resists change in the shape or arrangement of its elements durig flow and the measure thereof.

خاصية للمادة التى تقاوم التغير فى شكل وترتيب عناصرها أثناء سريانها وما يتبع ذلك من نتائج.

المذيبات المتطايرة **Volatiles**

Materials, such as water and solvents, in a resin formulation that are capable of being driven off as vapor.

مواد مثل الماء والمذيبات فى تركيبة الراتنج والتى تخرج أو تتطاير كبخار.

نسبة الحجم **Volume fraction**

The proportion from 0.0 to 1.0 of a component within the composite, measured on a volume basis, such as fiber-volume fraction.

نسبة أو كسر من صفر إلى واحد لمكون من المادة المركبة وتقاس على أساس الحجم مثل نسبة حجم الألياف.

نسج (انظر نسيج) **Weaving - See Fabric**

الأنظمة المبللة (الرطبة)/ أسلوب التطبيق المبلل **Wet lay-up**

A method of making a laminate product by applyig the resin system as a liquid when the fabric or mat is put in place.

اسلوب لتطبيق الشرائح ينتج بإضافة الراتنج كسائل أثناء وضع نسيج الألياف أو حصيرتها قبل وضعه فى المكان المحدد (أى يتم تطبيق النسيج وهو فى حالة مشبعة بالراتنج قبل وضعه على السطح الخرسانى).

التتشبيع أو الترطيب **Wet-out**

The process of coating or impregnating roving, yarn, or fabric in which all voids between the strands and filaments are filled with resin, it is also the condition at which this state is achieved.

عملية التشبيع بالتغلغل وتغطية نسيج الألياف بحيث تملأ كل الفراغات بين خيوط النسيج بالراتنج.

عامل الترطيب **Wetting agent**

A substance capable of lowering the surface tension of liquids, facilitating the wetting of solid surfaces, and permitting the penetration of liquids, into the capillarise.

مادة لها القدرة على تقليل التوتر السطحى للسوائل وذلك لتسهيل عملية الترطيب (التشريب) للأسطح الجامدة وتسمح بتغلغل السائل داخل المسام الدقيقة والشعرية.

عينات تأكيدية / لوح الاختبار التأكيدى **Witness panel**

A small field sample of FRP panel, manufactured on site in a noncritical area at conditions similar to the actual construction The panel, can be later tested to determine mechanical and physical properties to confirm expected properties of the installed FRP laminate

لوح صغير من البوليمرات المسلحة بالألياف يتم عمله فى الموقع فى منطقة غير حرجة وفى نفس ظروف التنفيذ الواقعية بحيث يمكن اختبار هذا اللوح فيما بعد لإيجاد الخواص الميكانيكية والفيزيائية. وذلك لمقارنتها بالخواص المتوقعة للمنشأ الكامل من البوليمرات المسلحة بالألياف.

غَزْل **Yarn**

An assemblage of twisted filaments, fibers, or strands, formed into a continuous length that is suitable for use in weaving textile materials.

مجموعة من الخيوط أو الألياف أو الجدائل الملتوية والتى تتشكل فى طول مستمر يكون مناسبا للاستخدام فى غزل وحياكة المادة النسيجية.

الرموز

a	=	عمق المستطيل المكافئ للضغط للخرسانة المضغوطة
A_f	=	مساحة مقطع البوليمرات المسلحة بالالياف
A_c	=	مساحة قطاع الخرسانة
A_{sc}	=	مساحة اسياخ التسليح الطولية فى الأعمدة
$A_{f,sh}$	=	مساحة تسليح القضبان لوحدة الأمتار
b_w	=	عرض قطاع العضو الخرسانى المعرض للشد
b_{FRP}	=	العرض الفعال للبوليمرات المسلحة بالألياف
b_f	=	عرض شريحة البوليمرات المسلحة بالألياف
b	=	البعد الاصغر للعمود
b_w	=	عرض القطاع الخرسانى
C_E	=	معامل خفض الاجهاد الاقصى المميزة والانفعال الافصى نتيجة تأثير العوامل الجوية للانظمة المختلفة
C1	=	حد الزحف
d	=	العمق الفعال للقطاع الخرسانى
d_f	=	عمق الالياف
d_b	=	قطر قضيب التسليح
D	=	قطر العمود الدائرى
DL	=	الأحمال الدائمة
E_f	=	معاير مرونة البوليمرات المسلحة بالالياف
E_m	=	معاير المرونة للمادة الراتنجة
I_{cr}	=	عزم القصور الذاتى للقطاع الفعال بعد التشرخ على الا يزيد على I_g
I_g	=	عزم القصور الذاتى الكامل للقطاع الخرسانى حول محور الخمول وبدون اعتبار تأثير الشروخ ومع اهمال صلب التسليح
LL	=	الاحمال الحية
k1	=	معامل يتوقف قيمتة على مقاومة الخرسانة
k2	=	معامل يتوقف على نوعية اللف الجزئى

N = عدد طبقات البوليمرات المسلحة بالالياف

t = البعد الاكبر للعمود

t_f = سمك الطبقة الواحدة من البوليمرات المسلحة بالالياف

f_{fb} = الإجهاد التصميمى الاقصى لقضبان FRP عند الدوران

f_{fe} = قيمة الاجهاد الفعال للتسليح الخارجى للبوليمرات المسلحة بالالياف

f_{fq} = اجهاد الشد الاقصى المسموح به بالنسبة للتسليح الجذعى فى القضبان

f_{ss} = حساب الاجهادات فى صلب التسليح عند مستوى احمال التشغيل

f_{fu} = المقاومة المميزة القصوى للشد للبوليمرات المسلحة بالالياف

f_f = مقاومة الالياف

f_{cu} = مقاومة الضغط المميزة للخرسانة

f_{cuc} = مقاومة الضغط المميزة للخرسانة المقيدة جانبياً

f_{ctr} = اجهاد حد التشرخ للخرسانة المعرضة للشد

f_m = مقاومة المادة الرابطة المالئة

f_y = اجهاد خضوع صلب التسليح

f_l = اجهاد الاحاطة الجانبى للعمود

$f_{f,s}$ = الاجهادات تحت تأثير احمال التشغيل فى البوليمرات المسلحة بالالياف

L = المسافة بين فواصل الانكماش

L_{ed} = طول الرباط التصميمى

L_{df} = طول التماسك التصميمى

L_e = طول الرباط الفعال

K_v = معامل خفض المقاومة لاجهادات التماسك

K_e = معامل فاعلية الاحاطة فى حالة اللف الجزئى للاعمدة الدائرية

M_a = قيمة اكبر عزم انحناء معرض له العضو عند حساب الترخيم

M_{cr} = اقل عزم انحناء يسبب التشرخ فى الخرسانة

M_u = عزوم الانحناء الأقصى

P_u = مقاومة القطاعات الخرسانية القصوى المعرضة لقوة ضغط محورية

P_m = اجمالى عرض الشرائح المستخدمة لزيادة مقاومة الشد

q_u = اجهاد القص الاعتبارى الأقصى

q_{su} = مقاومة القص الاعتبارية القصوى لصلب تسليح القص

q_{cu} = مقاومة القص الاعتبارية القصوى للخرسانة

q_{fu} = مقاومة القص الاعتبارية للبويمرات المسلحة بالالياف

r_b = نصف قطر الدوران

S_f = المسافة بين محاور شرائح الالياف

T_f = مقاومة الشد الاضافية نتيجة استخدام البوليمرات المسلحة بالالياف

U = الحمل الاقصى

V_f = نسبة الالياف بالحجم الى الحجم اللى للمركب

V_m = نسبة المادة ارانتجة بالحجم الى الحجم الكلى للمركب

w_f = عرض شريحة البوليمرات المسلحة بالالياف

y_t = المسافة من محور التعادل حتى الطرف الاقصى للالياف المشدودة فى القطاع مع عدم اعتبار تأثير الشروخ والتسليح

Z = عمق محور الخمول للقطاع تحت تأثير احمال التشغيل

α = زاوية ميل الالياف مع محور العنصر

γ_f = معامل خفض المقاومة القصوى للبوليمرات المسلحة بالالياف

γ_c = معامل خفض المقاومة القصوى للخرسانة

γ_s = معامل خفض المقاومة القصوى لصلب التسليح

ε_{bi} = الانفعال الابتدائى فى الخرسانة عند مستوى الـ FRP تحت تأثير احمال التشغيل عند اجراء اعمال التدعيم الخرسانى

ε_{cu} = انفعال الخرسانة الاقصى

ε^*_{fu} = الانفعال الاقصى فى FRP أخذاً فى الاعتبار التأثيرات البيئية

ε_{fe} = قيمة الانفعال المسموح به فى رقائق FRP

ε_{fu} = الانفعال الاقصى للبوليمرات المسلحة بالالياف

k_m = معامل يعتمد على قوة التماسك بين الخرسانة وFRP

ε_s = الانفعال فى صلب التسليح

ε_{sy} = انفعال الخضوع لصلب التسليح

ε_{ef} = الانفعال الفعال فى البوليمرات المسلحة بالالياف

μ_f = نسبة حجم تسليح البوليمرات المسلحة بالالياف فى حالة اللف الجزئى

μ_s = نسبة الحديد الطولى بقطاع العمود

μ_{fb} = نسبة التسليح التوازنى

μ = معامل احتكاك التربة

ملحق (٢)

اختبارات البوليمرات المسلحة بالألياف

١ – طرق اختبار أسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف المستخدمة في أعمال تسليح وتدعيم الخرسانة والمباني :

١ – أ اختبار تحديد خواص القطاع العرضي لأسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف :

١ – المجال :

١-١ تستخدم هذه الطريقة في تحديد مساحة المقطع، القطر المكافئ والمحيط المكافئ لأسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف.

١-٢ بالنسبة للشبكات، تحدد هذه الطريقة مساحة المقطع لجزء واحد من الشبكة

٢ – المراجع :

٢-١ المواصفات القياسية الأمريكية ASTM D618 الطريقة القياسية لإعداد المواد البلاستيكية للاختبار

٣ – الأهمية والاستخدام :

٣-١ يتم تصنيع أسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف في عدة أشكال متمثلة في: أسياخ مشكلة، أسياخ مغطاة بالرمل، أسياخ ذات النتوءات، كابلات متعددة الجدائل وأسياخ على هيئة ضفائر. لذلك تم إعداد هذه المواصفة للتمكن من تحديد الخواص المختلفة للشكل الهندسي لأسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف.

٣-٢ تستخدم هذه الطريقة في تحديد متوسط مساحة المقطع الفعلية، القطر المكافئ والمحيط المكافئ لأسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف وذلك لاستخدامها في توصيف المواد، ضبط الجودة وأعمال التصميم والتحليل الإنشائي.

٣-٣ تعتبر خواص القطاع لأسياخ المواد المركبة المدعمة بالألياف من العوامل المهمة التي يجب أخذها في الاعتبار عند استخدام الأسياخ في تسليح العناصر الخرسانية. يتم في هذه المواصفة تحديد خواص القطاع على هذا الأساس من الاستخدام.

٣-٤ حيث أن هذه الطريقة تعتمد على غمر العينة في سائل بمخبار مدرج فهي لا تصلح لتعيين خواص القطاع للأسياخ ذات الشكل الهندسي الذي يؤدي إلي احتباس هواء عند غمرها بالمخبار المدرج.

٤ - الأجهزة :

٤-١ مخبار مدرج ذو تدريج بحد أقصي ١٠ مل وبقطر وارتفاع مناسبين لاحتواء العينة وتعيين حجمها.

٤-٢ يستخدم الماء أو الكحول الأيثيلي (في حلة تكون فقاقيع هواء على العينة) لملأ المخبار.

٤-٣ تستخدم أداة قياس مناسبة بدقة ٠,٠٢٥ مم لقياس أبعاد العينة.

٥ - تجهيز العينة :

٥-١ يجب أن تكون العينات معبرة عن دفعة الإنتاج، كما يجب أن تكون العينات غير معرضة لأى نوع من أنواع التشغيل أو التشكيل.

٥-٢ في 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.

٥-٣ يتم تجهيز العينات من ٥ أسياخ بطول ٢٠٠ مم تقريبا. وفي حالة أن الأسياخ لها شكل خارجي متغير(Deformed bars)، يجب أن يحتوي طول العينات المختبرة – على الأقل – على طول واحد من تكرار التغير في الشكل (Characteristic length). بالنسبة لشبكات البوليمرات المدعمة بالألياف، يكون طول العينة هو طول الفتحة، عند تقطيع العينات، يجب مراعاة تعامد اتجاه القطع مع الاتجاه الطولي للعينة ويجب إزالة أية زوائد في سطح القطع.

٥-٤ يمكن تغطية سطح القطع للعينات باستخدام شمع البرافين في حالة الشك في إمكانية دخول الماء داخل العينة أثناء إجراء الاختبار.

٦ - ظروف الاختبار :

٦-١ يتم إعداد العينات طبقا لما هو وارد بالبند (أ) من المواصفة القياسية الأمريكية ASTM D618 ويتم العمل في ظروف المعمل القياسية في درجة حرارة ٢٣ ± ٣ و رطوبة نسبية ٥٠ % ± ١٠ .

٧ - إجراء الاختبار:

٧-١ يجب حفظ العينات في ظروف الاختبار الموضحة لمدة لا تقل عن ٢٤ ساعة قبل اختبارها.

٧-٢ يملأ مخبار مدرج جاف بالماء أو الكحول الأثيلي لارتفاع مناسب مع المحافظة على ألا يفيض الماء أو الكحول عند غمر العينة به.

٧-٣ يقاس طول كل عينة ثلاث مرات بتدوير العينة ١٢٠ درجة حول محورها في كل مرة قياس. ويتم حساب متوسط الثلاث قراءات لأقرب ٠,١ مم واعتباره طول العينة.

٧-٤ يسجل حجم السائل بالمخبار قبل غمر العينة، ثم تغمر العينة بالكامل داخل السائل مع مراعاة عدم تكون فقاقيع هواء محبوسة حول العينة وتسجل الزيادة الحجمية للسائل (حجم السائل المزاح).

٨ - الحسابات :

٨-١ عند تحديد طول وحجم كل عينة من العينات الخمسة تحسب مساحة المقطع A وتقرب لأقرب ١مم^2 حيث يقسم 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 المخبار عند غمر العينة في السائل، مل

V_0 = حجم السائل بالمخبار قبل غمر العينة، مل

V_1 = حجم السائل بالمخبار بعد غمر العينة، مل

L = طول العينة، مم

٨-٢ يحسب القطر المكافئ d_b لكل عينة باعتبار أن العينة دائرية المقطع

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

٨-٣ يحسب المحيط المكافئ C_b لكل عينة باعتبار أن العينة دائرية المقطع

$$C_b = 2\sqrt{A \cdot \pi} \text{ (mm)}$$

٩ - التقرير :

يجب أن يحتوي التقرير على البيانات الآتية:

١ - الاسم التجاري للأسياخ، تاريخ تصنيعها و أبعادها.

٢ - نوع الألياف و المادة الرابطة و نسبة الألياف Vf .

٣ - وصف لعينات الاختبار وأرقامها.

٤ - التشكلات الموجودة بالعينة.

٥ - نوع السائل المستخدم (ماء أو كحول إثيلي).

٦ - الطول، الحجم، مساحة المقطع المتوسطة، القطر المكافئ والمحيط المكافئ لكل عينة.

٧ - المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لكل خاصية من الخواص.

٨ - درجة الحرارة و الرطوبة و تاريخ الاختبار و اسم القائم بالاختبار.

٩ - طريقة تجهيز العينة للاختبار.

١ – ب اختبار تعيين خواص الشد المحورية لأسياخ البوليمرات المسلحة بالالياف

١ – المجال :

١-١ تحدد هذه الطريقة متطلبات الاختبار لتحديد مقاومة الشد ومعامل المرونة والاستطالة القصوى لأسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف المستخدمة كأسياخ تسليح أو الأوتار سابقة الإجهاد في الخرسانة .

٢ – المراجع :

١-٢ المواصفات القياسية الأمريكية ASTM :

D618 الطريقة القياسية لإعداد المواد البلاستيكية للاختبار

D3916 الاختبار القياسي لتعيين خصائص الشد لأسياخ الألياف الزجاجية المركبة .

E4 المواصفات القياسية لمعايرة قوة ماكينات الاختبار

٣ – الأهمية والاستخدام :

١-٣ تجرى هذه الطريقة للاختبار للحصول على مقاومة الشد ومعاير المرونة والانفعال الأقصى في معمل الاختبار والتي فيها يكون المتغير الرئيسي هو حجم أو نوع أسياخ الـ FRP

٢-٣ تركز طريقة الاختبار على أسياخ الـ FRP دون الاهتمام بكفاءة التماسك لذلك يتم إهمال أي انهيار يحدث في منطقة التثبيت (Anchorage) وتعتمد نتائج الاختبار على الانهيار الحادث داخل طول الاختبار فقط.

٤ – المصطلحات :

١-٤ القطاع المختبر : هو الجزء المحصور للعينة بين أجزاء تثبيت العينة بالماكينة .

٢-٤ نهايات التثبيت : هما طرفي العينة المجهزين لتثبيت العينة بماكينة الاختبار لضمان نقل الأحمال من الماكينة للعينة .

٤-٣ طول القياس : هي المسافة بين نقطتي القياس على القطاع المختبر، والذي على أساسه يتم حساب النسبة المئوية للاستطالة .

٤-٤ أداة التثبيت : هي أداة تستخدم على نهايات التثبيت للعينة لنقل الحمل من الماكينة إلى القطاع المختبر

٤-٥ قدرة الشد القصوى : هي أقصى حمل شد تتحمله العينة قبل الانهيار مباشرة.

٤-٦ قدرة الشد المضمونة : هي متوسط قدرة الشد القصوى مطروح منها ثلاثة انحرافات معيارية. وهي قدرة الشد التي يضمن المصنع أن الأسياخ ستتحملها دون انهيار.

٤-٧ الانفعال الأقصى : هو التغير في الطول لكل وحدة طول مقابلة لقدرة الشد .

٥ - الأجهزة :

٥-١ ماكينة الاختبار :

يجب أن يكون الحمل الأقصى للماكينة أكبر من مقاومة الشد للعينة – كما يجب أن يتم معايرتها طبقاً للمواصفات القياسية الأمريكية ASTM E4 . يمكن التحكم في طريقة التحميل إما طبقاً لمعدل التحميل أو معدل الإزاحة.

٥-٢ قياس الانفعال :

تستخدم مقاييس انفعال مثل أجهزة LVDT أو Extensometers بشرط قدرتها على تسجيل التغير في طول العينة أثناء الاختبار بدقة لا تقل عن ٠,٠٠٢% من طول القياس.

٥-٣ طول القياس :

لتحديد معاير المرونة وأقصى انفعال للعينة، يجب تثبيت أجهزة قياس الانفعال في منتصف العينة على بعد لا يقل عن ٨ مرات قطر السيخ من نهايات التثبيت، كما يجب مراعاة محورية الأجهزة مع العينة. بالنسبة لطول القياس فيجب ألا يقل عن ٨ مرات قطر السيخ أو الطول المميز.

٤-٥ نظام تسجيل المعلومات :

يجب أن يكون نظام تسجيل المعلومات قادر على تسجيل الحمل ، الإزاحة و الانفعال بصورة مستمرة بمعدل لا يقل عن قراءتين في الثانية. يجب أن تكون أقل وحدة حمل ١٠٠ نيوتن ، أقل وحدة انفعال ١×١٠^{-٥} و أقل وحدة إزاحة ٠,٠٠١ مم.

٦ - تجهيز العينة :

٦-١ يجب أن تكون العينات ممثله للكمية أو الدفعة المراد اختبارها . بالنسبة لعينات FRP الشبكية، من الممكن تحضير عينات طولية للاختبار عن طريق قطع الأجزاء الزائدة بحيث لا يتأثر الجزء التي سيتم استخدامه كما يجب ترك ٢ ملليمتر بارزة من الأسياخ العرضية في الطول المقاس للعينة ، غير مسموح بأي عمليات تشغيل مثل الكشط وخلافه ولكن من الممكن عمل تشغيل في نهايات التثبيت لزيادة التماسك.

٦-٢ في أثناء إعداد و تجهيز 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.

٦-٣ يجب أن يكون طول عينة الاختبار مساوي لطول الجزء المختبر بالإضافة إلى نهايات التثبيت مع مراعاة ألا يقل طول الجزء المختبرة عن ١٠٠ مليمتر أو عن ٤٠ مرة قطر السيخ. و بالنسبة للأسياخ المجدولة يجب أن يكون طول الجزء المختبر أكبر من ضعفي خطوة الجديلة (Strand Pitch).

٦-٤ يجب ألا يقل عدد عينات الاختبار عن خمسة عينات، وفي حالة حدوث انهيار للعينة أو انزلاق في نهايات التثبيت، يجب إجراء اختبار إضافي على عينة أخرى مأخوذة من نفس الدفعة المختبرة.

٧ - ظروف الاختبار :

٧-١ يتم إعداد العينات طبقا لما هو وارد بالبند (أ) من المواصفة القياسية الأمريكية ASTM D618 ويتم العمل في ظروف المعمل القياسية في درجة حرارة ٢٣ $\pm$ ٣ و رطوبة نسبية ٥٠ % $\pm$ ١٠ .

٨ - طريقة الاختبار :

٨-١ تثبت العينة في ماكينة الاختبار مع مراعاة محورية العينة مع محور فكي الماكينة.

٨-٢ يجب أن يبدأ نظام تسجيل المعلومات بثواني قليلة قبل بدأ التحميل. يجب أن يكون معدل التحميل (معدل الإزاحة) ثابت طوال فترة الاختبار بحيث يحدث الانهيار في فترة من ١ إلى ١٠ دقائق.

٨-٣ يزاد الحمل حتى انهيار العينة ويسجل الانفعال للعينة حتي يصل الحمل إلى ٥٠ % على الأقل من قدرة الشد أو قدرة الشد المضمونة، أيهما أكبر.

٩ - الحسابات :

٩-١ يتم رسم منحنى الحمل (الاجهاد) - الانفعال من القراءات التي تم تسجيلها من مقاييس الانفعال.

٩-٢ مقاومة الشد للعينة تعين من المعادلة الأتية لأقرب ثلاثة أرقام عشرية

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

حيث أن :

f_u = مقاومة الشد، ميجا باسكال

F_u = قوة الشد، نيوتن

A = مساحة القطاع الفعلية، مم^2

مع مراعاة أن مساحة القطاع الفعلية (A) محددة طبقا لما هو وارد بطريقة الاختبار ١-أ. وفي حالة التصميم يمكن قسمة الحمل المحدد من الاختبار على مساحة المقطع القياسية لأسياخ حديد التسليح ذات نفس القطر الاسمي. ويجب ذكر ما إذا كانت مساحة المقطع المستخدمة هي المساحة الفعلية أو المساحة القياسية.

٩-٣ يعين معاير المرونة - لأقرب ثلاث أرقام عشرية - من منحنى الإجهاد - الانفعال فيما بين النقطتين عند الأحمال ٢٠% و ٥٠% من الحمل الأقصى باعتبار أن العلاقة

في هذه المنطقة علاقة خطية، وفي حالة معرفة قدرة الشد المضمونة، تحسب النسب ٢٠% و ٥٠% من قدرة الشد المضمونة . وذالك باستخدام المعادلة التالية:

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

حيث أن :

E_L = معاير المرونة المحوري (الطولي) ، ميجا باسكال

A = مساحة المقطع، مم^2

F_1 & ε_1 = الحمل و الانفعال المناظر له عند ٥٠% من قدرة الشد القصوى أو قدرة الشد المضمونة، نيوتن و مم/مم

F_2 & ε_2 = الحمل و الانفعال المناظر له عند ٢٠% من قدرة الشد القصوى أو قدرة الشد المضمونة، نيوتن و مم/مم

٩-٥ يعين الانفعال الأقصى وهو الانفعال المقابل لقدرة الشد القصوى وذلك في حالة استمرار تسجيل الانفعال حتى حمل الانهيار وفي حالة عدم توافر قراءات الانفعال حتى الانهيار فيعين الانفعال الأقصي من قيمتي الحمل الأقصى ومعاير المرونة طبقا للمعادلة الأتية:

$$\varepsilon_u = \frac{F_u}{E_L A}$$

حيث أن :

ε_u = الانفعال الأقصى للأسياخ، مم/مم

١٠ - التقرير :

يجب أن يحتوي التقرير على البيانات الآتية:

١ - الاسم التجاري للأسياخ، تاريخ تصنيعها و أبعادها.

٢ - نوع الألياف و المادة الرابطة و نسبة الألياف Vf .

٣ - وصف لعينات الاختبار وأرقامها.

٤ - التشكلات الموجودة بالعينة.

٥ - مساحة المقطع و القطر المكافئ لكل عينة طبقا لطريقة الاختبار ١-أ.

٦ - وصف مختصر لأداة التثبيت ورسم أو صور توضح أبعادها .

٧ - طريقة تجهيز العينة للاختبار.

٨ - قدرة الشد القصوى لكل عينة ومتوسط النتائج والانحراف المعياري.

٩ - معاير المرونة لكل عينة و متوسط النتائج والانحراف المعياري.

١٠ - الانفعال الأقصى لكل عينة و متوسط النتائج والانحراف المعياري.

١١ - منحنى الإجهاد - الانفعال لكل عينة.

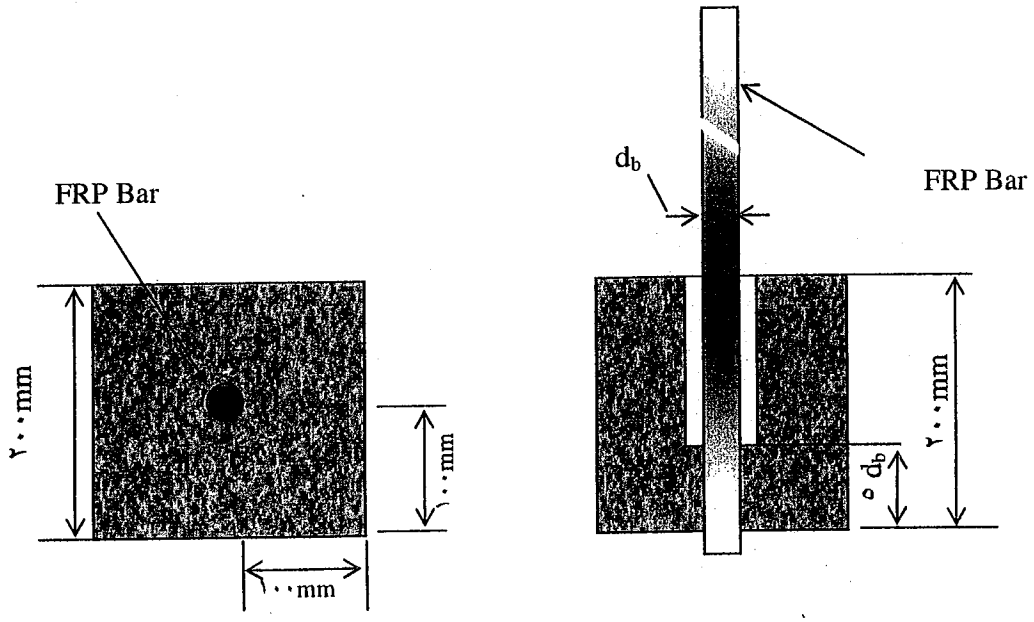
١٢ - درجة الحرارة و الرطوبة و تاريخ الاختبار واسم القائم بالاختبار.

١- جـ اختبار تحديد مقاومة التماسك لأسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف

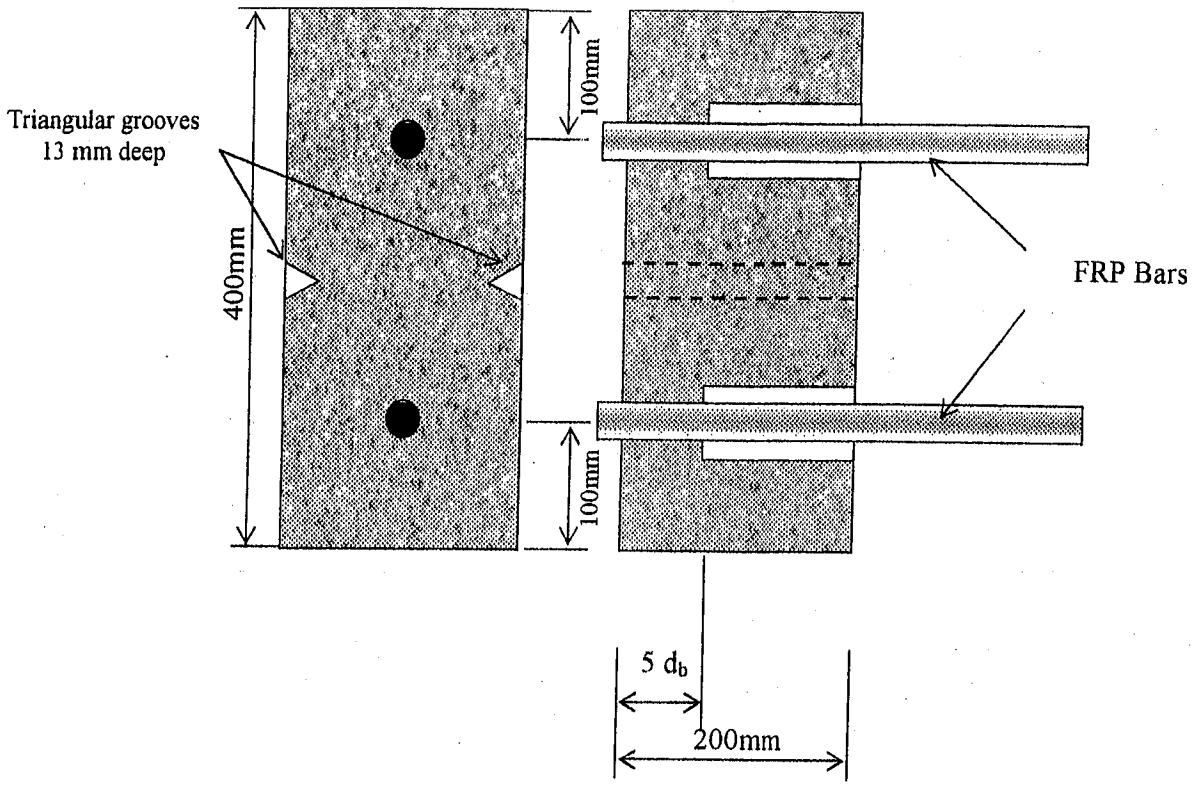
١ - المجال :

١-١ تستخدم هذه الطريقة في تعيين مقاومة التماسك لأسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف المستخدمة كتسليح أو كابلات سابقة الإجهاد في الخرسانة وذلك باستخدام عينات الاقتلاع لتعيين مقاومة التماسك.

١-٢ يمكن إعداد العينات للاختبار بطريقتين . الطريقة الأولى: توضع الأسياخ في نفس اتجاه صب الخرسانة بطريقة مشابهه للأسياخ الطولية في الأعمدة الخرسانية المسلحة (شكل رقم ١) . الطريقة الثانية: توضع الأسياخ عموديه على إتجاه صب الخرسانة بطريقة مشابهه للأسياخ الطولية في البلاطات أو الكمرات الخرسانية المسلحة (شكل رقم ٢).



شكل رقم (١) طريقة تجهيز العينة رأسيا



شكل رقم (٢) طريقة تجهيز العينة أفقيا

٢ - المراجع :

٢-١ المواصفات القياسية الأمريكية ASTM :

- ASTM A994 طريقة الاختبار القياسية لمقارنة مقاومة التماسك لأسياخ حديد التسليح للخرسانة.
- ASTM C39 طريقة الاختبار القياسية لمقاومة الضغط للأسطوانات الخرسانية.
- ASTM C143 طريقة الاختبار القياسية لتعيين الهبوط للخرسانة الأسمنتية.
- ASTM C192 الطريقة القياسية لإعداد ومعالجة الخرسانة معمليا.
- ASTM C293 طريقة الاختبار القياسية لتعيين مقاومة الانحناء للخرسانة.
- ASTM C511 المواصفات القياسية لحجرات الرطوبة،وخزانات الماء المستخدمة في اختبارات الخرسانة والأسمنت.
- ASTM C617 الطريقة القياسية لتغطية نهايات عينات الخرسانة الاسطوانية.
- ASTM D618 الطريقة القياسية لإعداد المواد البلاستيكية للاختبار.

- ASTM E4 المواصفات القياسية لمعايرة ماكينات الاختبار .

٣ - الأهمية والاستعمال :

٣-١ تستعمل هذه الطريقة لتحديد مقاومة التماسك لأسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف عن طريق اختبار الاقتلاع معمليا والتي تكون فيها المتغيرات الرئيسية هي حجم ونوع أسياخ الألياف الصناعية المركبة . ولا تستعمل هذه الطريقة للاختبار في تعيين قيم التماسك أو طول التماسك بالنسبة للأسياخ في المستخدمة في تصميم القطاعات الخرسانية.

٣-٢ تستخدم هذه الطريقة في تعيين سلوك التماسك للأسياخ بغرض تحديد مواصفات المواد المستخدمة، في أعمال الأبحاث والتطوير وأعمال مراقبة الجودة. حيث أن نتائج الاختبار تعتمد على طريقة تجهيز العينة واختبارها، لذلك فهذا يؤثر على كل من التحليل والتصميم الإنشائي. الناتج الأساسي من هذا الاختبار هو مقاومة التماسك و التي تعتبر من العوامل الهامة الواجب أخذها في الاعتبار عند استخدام الأسياخ كتسليح للخرسانة

٣-٣ من الممكن استخدام هذه الطريقة للاختبار للتحقق من تطابق المنتج أو دراسة تأثير نوع معين من المعالجة للأسياخ بهدف تحسين تماسكها مع الخرسانة. نتائج الاختبار من هذه الطريقة تستخدم فقط للمقارنة بين العوامل المختلفة المؤثرة على قوة التماسك. كما يمكن استخدام هذه النتائج لدراسة العوامل البيئية التي يمكن أن تؤثر على مقاومة التماسك بين الأسياخ والخرسانة مع الزمن.

٤ - المصطلحات :

٤-١ طول التماسك :هو طول الجزء الملامس للخرسانة من السيخ المختبر.

٥ - الأجهزة :

٥-١ ماكينة الاختبار :

يجب أن يكون الحمل الأقصى للماكينة أكبر من مقاومة الشد للعينة – كما يجب أن يتم معايرتها طبقاً للمواصفات القياسية الأمريكية ASTM E4 . يمكن التحكم في طريقة التحميل إما طبقاً لمعدل التحميل أو معدل الإزاحة. يجب تحميل السيخ بمعدل لا يزيد على ٢٠ كن/دقيقة أو ١,٣ مم/دقيقة طبقا لطبيعة ماكينة الاختبار وطريقة التحكم بها.

٥-٢ لوح التحميل :

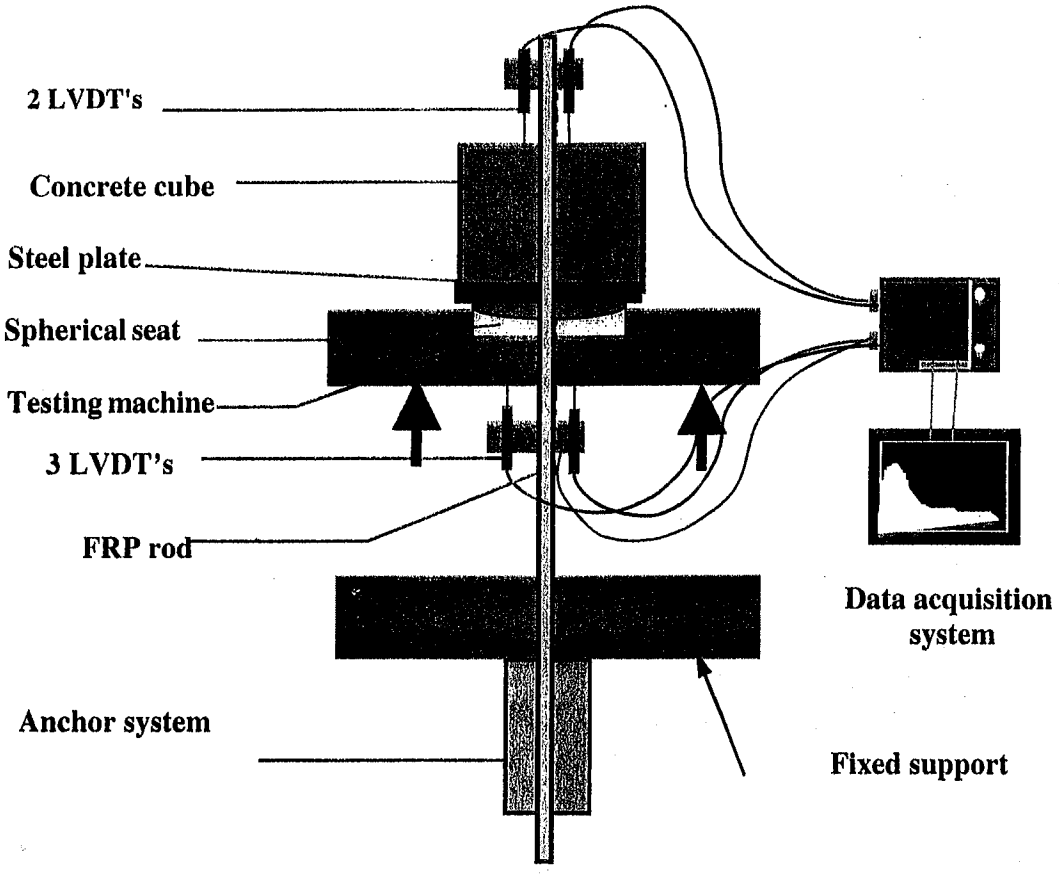
يجب أن يكون لوح التحميل مربع مصنوع من الحديد بطول ضلع لا يقل عن ٢٠٠ مم وسمك ٢٠مم ، ويحتوى على فتحة فى المركز بقطر مناسب تسمح بمرور الأسياخ (شكل رقم ٣) .

٥-٣ يجب أن تثبت النهاية المحملة من السيخ بوسيلة تسمح بنقل الأحمال للسيخ حتى يتم انتزاع السيخ من الخرسانة نتيجة انهيار التماسك. يجب نقل الحمل للعينة محوريا دون حدوث عزوم أو التواءات بالأسياخ.

٥-٤ يتم تركيب أجهزة قياس الإزاحة (LVDT) – أو أي جهاز مماثل – على كل من النهاية الحرة والنهاية المحملة لعينة الاختبار المراد قياسه ويجب ألا تقل دقة الأجهزة عن ٠,٠١ مم .

ومن الأفضل استخدام ثلاث أجهزة قياس LVDT موضوعة على زوايا بينية مقدارها ١٢٠ ° عند النهاية المحملة ومقياس واحد أو مقياسين خطيين بزوايا بينية مقدارها ١٨٠ ° عند النهاية الحرة للسيخ .

٥-٥ في هذا الاختبار، يستخدم نوعين من القوالب لصب العينات: الأول لعينات خرسانية على شكل مكعب بطول ضلع داخلي ٢٠٠مم تحتوي على سيخ مدفون رأسيا في كل منها، والأخر مناشير بأبعاد داخلية ٢٠٠×٢٠٠×٤٠٠ مم تحتوي على سيخين أفقيين في كل منهم. ويفضل أن تكون القوالب مصنوعة من المعدن بسمك لا يقل عن ٦مم. كما يجب أن تكون غير منفذة للماء وتسمح بإخراج العينة بسهولة.



شكل رقم (٣) تجهيزات الاختبار

٦ - تجهيز العينة :

٦-١ يجب أن تكون عينات الأسياخ ممثلة للكمية أو الدفعة المراد اختبارها. تقطع كل عينة من الأسياخ بطول ١٢٠٠مم وتجهز أحدى نهايتها بوسيلة تثبيت مناسبة. بعد صب العينات، يجب أن تحتوى العينة على سيخ واحد مدفون رأسيا في اتجاه صب الخرسانة (شكل رقم١) أو سيخين مدفونين أفقيا عموديا على اتجاه الصب (شكل رقم ٢). يتم إعداد عمل خمس عينات من كل نوع لتمثيل مجموعة اختبار واحدة. في حالة حدوث انهيار أو انزلاق للعينة في منطقة التثبيت، يجب إعادة الاختبارات على عينة أخرى مأخوذة من نفس الدفعة المختبرة.

٦-١-١ العينات للأسياخ المدفونة رأسيا :

تتكون من مكعبات من الخرسانة طول ضلعها ٢٠٠ مم بها سيخ واحد من الـ FRP مدفون رأسيا (شكل رقم ١) في منتصف العينة. يجب أن يكون السيخ بارز من سطح العينة العلوي بمسافة تكفى لتركيب بلوكات التحميل وأداة التثبيت العينة، كما يجب أن يكون الطول البارز للسيخ بطول يسمح بنقل الحمل من خلال كلابات الماكينة . في حالة حدوث انهيار بالمكعبات الخرسانية أثناء الاختبار، يعاد الاختبار بمكعبات أكبر بطول ضلع ٣٠٠مم.

٦-١-٢ العينات ذات الاسياخ المدفونة أفقيا:

تتكون من مناشير بأبعاد ٢٠٠×٢٠×٤٠٠ مم (شكل رقم ٢) بحيث يكون البعد الطويل في الاتجاه الرأسي. يستخدم سيخين لكل عينة ويتم دفنهما في العينة في الاتجاه الأفقي عموديا على محور المنشور الأطول على مسافات متساوية من جوانب المنشور، أما بالنسبة للاتجاه الرأسي فيكون السيخ الأول على بعد١٠٠ مم من السطح السفلى للمنشور ومقاسه من محور السيخ والثاني على بعد ٣٠٠مم من السطح السفلي للمنشور. يجب أن يكون السيخين بارزين من المنشور لمسافات مماثلة للبروز بالعينة الرأسية بحيث يكفى الطول لتركيب بلوكات التحميل وأداة التثبيت العينة، كما يجب أن يكون الطول البارز للسيخ بطول يسمح بنقل الحمل من خلال كلابات الماكينة . يتم عمل تجويف مثلث الشكل على كل من السطحين المتوازيين للعينة وموازيين للأسياخ عند منتصف العينة وبعمق ١٣ مم مقاسه من سطح الخرسانة وذلك بهدف تسهيل كسر العينة إلى عينتين متماثلتين عند هذا الجزء قبل إجراء اختبار الانتزاع.

يجب أن يكون طول التماسك للسيخ خمس أمثال قطر السيخ، وفي حالة عدم كفاية هذا الطول فإنه يمكن زيادته إلى طول مناسب. يجب عزل السيخ خارج منطقة التماسك بتغليفه بمادة PVC أو أي مادة أخرى مناسبة تمنع التماسك بين السيخ والخرسانة خارج منطقة التماسك. كما أن الطرف الحر للسيخ يجب أن يبرز لمسافة مناسبة تسمح بتركيب جهاز لقياس الإزاحة الخطية LVDT عليه (شكل رقم ٣) .

٦-٢ يتم وضع أسياخ التسليح في قوالب الصب كالآتي :

٦-٢-١ تملأ الفتحة التي يمر منها السيخ لداخل العينة بأي مادة تمنع تسرب الماء (مثل الشحم أو الزيت).

٦-٢-٢ يجب عدم تحريك العينة حتى فكها من القوالب .

٦-٣ يتم دهان الجوانب الداخلية للقوالب باستخدام زيت معدني أو شحم، ما لم يذكر خلاف ذلك، يتم إتباع الخطوات التالية لصب الخرسانة في القوالب:

٦-٣-١ يتم صب العينات المنشورية ذات الإبعاد ٢٠٠×٢٠٠×٤٠٠ مم على أربع طبقات متساوية ويتم دمك كل طبقة باستخدام قضيب دمك ذو قطر ١٦مم ٢٥ طرقة

٦-٣-٢ يتم صب العينات المكعبة بطول ضلع ٢٠٠ مم على أربع طبقات متساوية ويتم دمك كل طبقة باستخدام قضيب دمك ذو قطر ١٦مم ٢٥ طرقة.

٦-٣-٣ يسوى سطح العينة بأداة تسوية مناسبة ويتم حماية السطح من تبخر الماء بأحد الطرق المذكورة في المواصفة القياسية الأمريكية ASTM C192 مع مراعاة عدم حدوث أي تبخر للماء في المنطقة المحيطة بالأسياخ في حالة صب العينات الرأسية.

٦-٤ يتم إعداد خلطة خرسانية قياسية بركام كبير ذو مقاس من ٢٠مم إلى ٢٥مم و بهبوط ١٠٠+ ٢٠مم طبقا للمواصفة القياسية الأمريكية ASTM C143 وذات مقاومة ضغط عند عمر ٢٨ يوم ٣٠+ ٣ ميجا باسكال طبقا للمواصفات القياسية الأمريكية ASTM C39. يتم تحديد مقاومة الضغط لكل صبة من الخرسانة باختبار -على الأقل- عدد ٥ عينات أسطوانية قياسية بأبعاد ١٥٠×٣٠٠ مم أو ١٠٠×٢٠٠ مم.

٦-٥ لا يجب فك العينات من القوالب قبل ٢٠ ساعة من الصب. ويجب توخي الحذر لعدم تحريك أو هز الأسياخ. يجب البدء في المعالجة مباشرة بعد فك القوالب طبقا للمواصفات القياسية الأمريكية ASTM C192 حتى وقت اختبارها (عند عمر ٢٨ يوم).

٦-٦ عند عمر بين ٧ و ١٤ يوم، يتم كسر العينات المنشورية ذات الإبعاد ٢٠٠×٢٠٠×٤٠٠ مم إلى نصفين بحيث يمثل كل جزء عينة مكعبة ذات طول ضلع

٢٠٠ مم و ذلك عن طريق التحميل علي هيئة كمرة بسيطة بحمل مركزي في منتصف بحر التحميل طبقا للمواصفات القياسية الأمريكية ASTM C293 مع مراعاة أن التجويفان المثلثان الموجودان عند السطح العلوي والسفلى للعينة يكونان عند منتصف بحر التحميل (للتحميل يتم استخدام قضيب بقطر ١٩ مم). ويجب توخي الحذر لعدم تحريك أو هز الأسياخ أثناء الكسر.

٦-٧ يتم عمل تغطية (capping) على سطح المكعبات ذات الضلع ٢٠٠مم والمحتوية على أسياخ مدفونة رأسيا وذلك بهدف استخدامها كركيزة للتحميل أثناء الاختبار. يتم إعداد هذه التغطية طبقا للمواصفة القياسية الأمريكية ASTM. C617 .

٧ - ظروف الاختبار :

١-٧ يتم إعداد العينات في ظروف المعمل القياسية في درجة حرارة ٢٣ ± ٣ درجة و رطوبة نسبية ٥٠ % ± ١٠.

٢-٧ من الممكن إعداد الأسياخ قبل عملية الصب مع ذكر طريقة الإعداد المستخدمة.

٨ - طريقة الاختبار :

٨-١ توضع العينة في ماكينة الاختبار بإحدى الطريقتين الآتيتين:

٨-١-١ يكون سطح العينة الذي تم عمل تغطية له (Capping)- والذي يبرز منه السيخ المزروع داخل العينة- مواجه للوح التحميل ذو الارتكاز الكروي، ويوضع لوح التحميل على ركيزة تعمل على نقل الحمل من الماكينة، يجب أن يمتد السيخ من خلال لوح التحميل والركيزة ، يتم تثبيت نهاية السيخ المجهزة بين فكي الماكينة.

٨-١-٢ يتم تثبيت المكعب الخرساني علي الفك الثابت لماكينة الاختبار توضع أجهزة قياس لإزاحة (LVDT) علي كل من النهاية المحملة و النهاية الحرة للسيخ لقياس انزلاق السيخ كما هو موضح بالشكل (٢)، ثم يتم تثبيت نهاية السيخ في فك الماكينة المتحرك.

٨-٢ تركب جميع التجهيزات وأجهزة القياس على العينة . تقاس - لأقرب ٠,٥مم- المسافة بين السطح السفلي للمكعب الخرساني (نهاية طول التماسك) ومكان تركيب أجهزة قياس الإزاحة على السيخ (Lc). ويتم حساب قيمة الاستطالة لهذا الجزء وتطرح من القيمة المسجلة بواسطة الأجهزة (الانزلاق+الاستطالة) وذلك لتحديد قيمة الانزلاق فقط. كما يقاس الانزلاق عند الطرف الحر من السيخ بواسطة أجهزة قياس الاستطالة لأقرب ٠,٥مم.

٨-٣ يتم التأثير بالحمل على السيخ بمعدل لا يزيد عن ٢٠ كن/دقيقة أو بسرعة حركة لرأس الماكينة لا تتجاوز ١,٣ مم/ دقيقة .

٨-٤ يتم قراءة وتسجيل قيمة الحمل المؤثر وقراءة أجهزة قياس الإزاحة على فترات طوال فترة الاختبار بحيث يتم الحصول على ١٥ قراءة على الأقل عند الوصول لانزلاق قيمته ٠,٢٥ مم عند الطرف المحمل من السيخ. يجب تسجيل الانزلاق عند الطرف الحر والحمل المناظر له بدقة ٠,٠١ مم .

٨-٥ يستمر التحميل والقراءة على فترات ثابتة حتى حدوث إحدى حالات الانهيار الأتية :

١ - انهيار سيخ الـ FRP.

٢ - حدوث انفلاق أو كسر في الخرسانة.

٣ - حدوث انزلاق بالسيخ يساوي على الأقل ٢,٥ مم عند الطرف المحمل.

٨-٦ في حالة حدوث انهيار شد للسيخ عند منطقة التثبيت أو حدوث انزلاق للسيخ في منطقة التثبيت قبل الانزلاق من العينة الخرسانية أو حدوث انخفاض ملحوظ في الحمل نتيجة تشرخ أو انفلاق الخرسانة فيتم إهمال نتيجة هذا الاختبار ويلزم إجراء اختبارات إضافية بحيث يكون عدد الاختبارات الصحيحة لا يقل عن خمسة .

٩ - الحسابات :

٩-١ يحسب متوسط إجهاد التماسك وتسجل القيمة لأقرب ٣ أرقام عشرية وترسم العلاقة بين إجهاد التماسك والانزلاق عند كل من الطرف الحر والطرف المحمل من السيخ.

$$\tau = \frac{F}{C_b \cdot l}$$

حيث :

τ = متوسط إجهاد التماسك، ميجا باسكال

F = حمل الشد، نيوتن

C_b = المحيط الاعتباري الخارجي للسيخ، مم

L = طول التماسك، مم

٩-٢ يحسب متوسط إجهاد التماسك لكل من الطرف الحر والطرف المحمل من السيخ عندما تكون قيم الانزلاق مساوية لـ ٠,٠٥ ، ٠,١٠ ، ٠,٢٥ مم وعند الانهيار (أقصى مقاومة للتماسك) .

٩-٣ يحسب مقدار الانزلاق عند الطرف المحمل بحساب متوسط القراءات لمقاييس الإزاحة مطروح منها مقدار الاستطالة S_c الحادث بالسيخ للطول L_C المقاس بين نهاية طول التماسك والنقطة المركب عليها مقياس الإزاحة على سيخ الـFRP .

$$S_C = \frac{F \cdot L_c}{E_L \cdot A}$$

حيث أن :

S_c = الاستطالة المرنة، مم

F = حمل الشد، نيوتن

L_C = الطول بين نهاية طول التماسك والنقطة المركب عليها مقياس الإزاحة على السيخ، مم

E_L = معاير المرونة الطولي للسيخ، ميجا باسكال

A = المساحة القطاع للسيخ، مم^2

١٠ - **التقرير:**

يجب أن يحتوي التقرير على :

١ - خصائص الخرسانة

١-١ نسب الخلط (الأسمنت - الركام الصغير- الركام الكبير- الإضافات (إن وجـــدت) - نسبة الماء للأسمنت).

١-٢ مقدار الهبوط للخرسانة .

١-٣ مقاومة الخرسانة عند عمر ٢٨ يوم لعينات التحكم الاسطوانية.

١-٤ أي تغيير في طرق الخلط أو المعالجة أو تاريخ الفك من القوالب أو تاريخ الاختبـــار وأي اختلاف عن الطرق القياسية المعروفة.

٢ - خصائص أسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف

٢-١ الاسم التجاري وتاريخ الإنتاج وشكل السيخ.

٢-٢ نوع الألياف والمادة اللاحمة بينهم كما هو مذكور من المصنع ونسبة الألياف فى العينة ونوع المعالجة لسطح السيخ.

٢-٣ القطر الاعتباري ومساحة المقطع الاعتبارية للسيخ .

٢-٤ معايير المرونة ومقاومة الشد القصوى.

٢-٥ صورة فوتوغرافية للسيخ تبين تعرج وتشكل وخصائص السطح .

١ - الأعداد والعلامات المميزة للعينات .

٢ - تاريخ الاختبار ودرجة الحرارة ومعدل التحميل.

٣ - أبعاد العينة وطول التماسك لسيخ الـــFRP .

٤ - وصف مختصر لأداة وطريقة الربط للعينة.

٥ - متوسط إجهاد التماسك للعينة المسبب لانزلاق عند الطرف الحر عند قيم ٠,٠٥ مم و ٠,١٠ مم و ٠,٣٥ مم لكل عينة .

٦ - متوسط إجهاد التماسك المسبب لانزلاق عند الطرف المحمل على فترات تحميل من صفر مم إلى ٠,٢٥مم لكل عينة .

٧ - أقصى إجهاد تماسك والإجهاد عند الانهيار والمتوسطات لكل عينة.

٨ - منحنى العلاقة بين إجهاد التماسك والانزلاق (عند الطرف الحر والطرف المحمل) لكل عينة.

١ – د الطريقة المعجلة لاختبار مقاومة أسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف للقلويات

١ – المجال :

١– ١ توضح هذه المواصفة متطلبات الاختبار لتقييم مقاومة أسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف – المستخدمة كأسياخ تسليح للخرسانة – للقلويات عن طريق الغمر في محلول مائي قلوي . تقاس مقاومة أسياخ البوليمرات للقلويات من خلال تعريض الأسياخ لبيئة قلوية ، مع أو بدون إجهاد ، وبعد ذلك يتم إجراء اختبار الشد للأسياخ طبقا لطريقة اختبار ١– ب .

١–٢ تقدم هذه المواصفة ثلاثة أساليب للاختبار تتم جميعها عند درجة حرارة ٦٠ درجة مئوية وبطرق تحميل مختلفة.

١–٢–١ الطريقة (أ) :

في هذه الطريقة يتم غمر عينات الأسياخ في المحلول القلوي بدون التأثير بحمل شد . والمتغيرات المتحكمة في الاختبار هو قيمة الأس الهيدروجيني ودرجة حرارة المحلول القلوي وفترة الغمر.

١–٢–٢ الطريقة (ب) :

في هذه الطريقة يتم غمر عينات الأسياخ في المحلول القلوي مع التأثير المستمر بحمل شد دائم. ومتغيرات الاختبار في هذه الطريقة هي قيم حمل الشد الدائم المؤثر وقيمة الأس الهيدروجيني ودرجة حرارة المحلول القلوي وفترة الغمر.

١–٢–٣ الطريقة (ج):

في هذه الطريقة يتم وضع العينات داخل خرسانة رطبة تحت تأثير حمل شد دائم، ومتغيرات الاختبار في هذه الطريقة هي قيمة الحمل الدائم وقيمة الأس الهيدروجيني ودرجة حرارة الخرسانة ومدة البقاء داخل الخرسانة.

٢ - المراجع :

٢-١ المواصفات القياسية الأمريكية ASTM:

- ASTM C192 المواصفات القياسية لصب ومعالجة العينات الخرسانية في المعمل.
- ASTM C511 المواصفات القياسية لحجرات الرطوبة،وخزانات الماء المستخدمة في اختبارات الخرسانة والأسمنت.
- ASTM D618 الطريقة القياسية لإعداد المواد البلاستيكية للاختبار.
- ASTM D5229M المواصفات القياسية لخواص امتصاص الرطوبة للمواد البولمرية المركبة

٣ - الأهمية والاستخدام :

٣-١ تستخدم هذه الطريقة لاختبار مقاومة أسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف للقلويات معمليا حيث أن المتغيرات الأساسية في الاختبار هي درجة حرارة وتركيز المحلول القلوي ونوع الأسياخ وقيمة الحمل الدائم .

٣-٢ هذه الطريقة للاختبار تقيس التغير في وزن ومقاومة الشد للأسياخ بعد غمرها في محلول قلوي بدون إجهاد (طريقة أ) وقدرة الشد للأسياخ بعد غمرها في محلول قلوي تحت حمل دائم أو المدفونة في الخرسانة (الطرق ب،ج)

٣-٣ تستخدم هذه الطريقة لتحديد مقاومة أسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف للقلويات لاستخدام النتائج في توصيف المواد والأبحاث والتطوير وتأكيد الجودة والتصميم والتحليل الإنشائي. و تعتبر نتائج الاختبار الأساسية هي التغير في الكتلة والنقص في مقاومة الشد لعينات الاختبار وهى من أهم العوامل التي يجب أخذها في الاعتبار عند استخدام اسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف.

٣-٤ بالنسبة للطرق (ب) و(ج) لم يتم تحديد قيمة الحمل الدائم المؤثر على العينات كجزء من الاختبارات في هذه المواصفة ، حيث أن قيمة هذا الحمل تساوي قيمة الأحمال الميتة الدائمة و أي جزء من الأحمال الحية الدائمة، التي يتعرض لها السيخ عند الاستخدام في الطبيعة. وفي حاله عدم معرفة قيمة هذه الأحمال، يجب ضبط إجهاد

الشد الدائم في الأسياخ المختبرة لانفعال يساوي ٢×١٠$^{-٣}$. كما يمكن زيادة الإجهاد الدائم عن هذه القيم كعامل معجل.

٤ - الأجهزة :

٤-١ ميزان : مطلوب ميزان بدقة مطابقة لما هو وارد في المواصفات القياسية الأمريكية ASTM D618 (Procedure A).

٤-٢ ماكينة الاختبار للشد والأدوات الأخرى وتستخدم كما هو وارد في المواصفة ١- ب

٥ - تجهيز العينة :

٥-١ يجب أن تكون العينات ممثله للكمية أو الدفعة المراد اختبارها . بالنسبة لعينات FRP الشبكية، من الممكن تحضير عينات طولية للاختبار عن طريق قطع الأجزاء الزائدة بحيث لا يتأثر الجزء الذي سيتم استخدامه ، غير مسموح بأي عمليات تشغيل مثل الكشط وخلافه.

٥-٢ في أثناء إعداد و تجهيز 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.

٥-٣ يجب أن يكون طول عينة الاختبار مساوي لطول الجزء المختبر بالإضافة إلى نهايات التثبيت مع مراعاة ألا يقل طول الجزء المختبرة عن ٤٠ مرة قطر السيخ. و بالنسبة للأسياخ المجدولة يجب أن يكون طول الجزء المختبر أكبر من ضعفي خطوة الجديلة (Strand Pitch).

٥-٤ يجب ألا يقل عدد عينات الاختبار عن خمسة عينات لكل من عينات ما قبل الغمر وعينات ما بعد الغمر.

٥-٥ يتم تغطية نهايات الأسياخ ونهايات الأجزاء العرضية في الشبكات باستخدام راتنج مناسب لمنع تغلغل المحلول القلوي داخل العينات. ويجب معالجة الراتنج معالجة كاملة قبل البدء في الاختبار.

٦-٥ المحلول القلوي الخاص بطرق اختبار أ و ب يجب أن يكون ذو تركيب مماثل للمـــاء المتواجد بالفراغات الداخلية للخرسانة. ويفضل أن يتكون التركيب من ١١٨,٥ جرام هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$) ، ٠,٩ جرام من هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) و ٤,٢ جرام من هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) في لتر من المياه غير ايوني. وتكون قيمة الأس الهيدروجيني للمحلول PH فيما بين ١٢,٦إلى ١٣ وهي القيمة الممثلة للماء المتواجد بالفراغات الداخلية للخرسانة المتصلدة. يجب تغطية المحلـــول قبـــل وأثنـــاء الاختبار لتجنب تفاعله مع ثاني أكسيد الكربون CO_2 المتواجد في الهواء ومن تبخـــر الماء أثناء الاختبار.

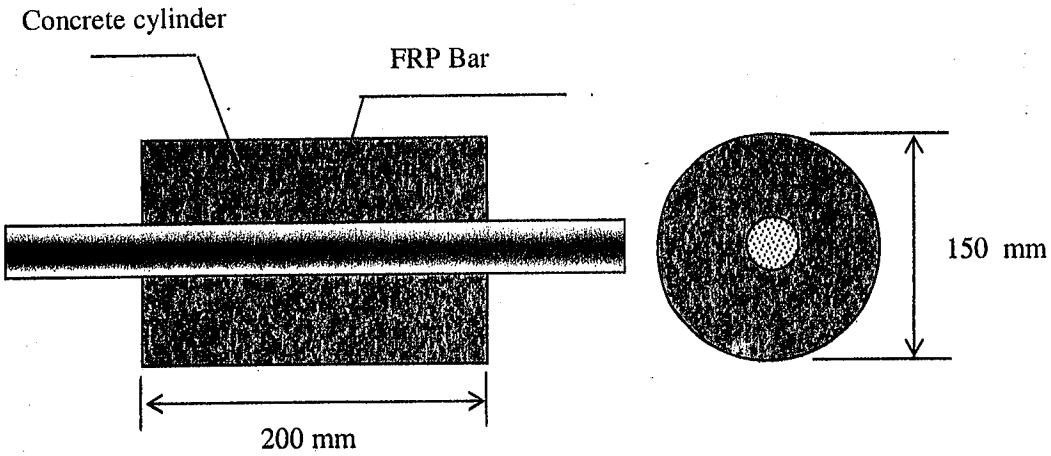
٦ - ظروف الاختبار :

٦-١ بالنسبة لطريقة الاختبار (أ)، يتم غمر العينات في المحلول القلوي في درجة حـــرارة ٦٠+ ٣ درجة مئوية وذلك لفترات تعرض لمدة ١، ٢، ٣، ٤، و٦ أشهر إلا إذا كـــان مطلوب مدد أطول للاختبار. بعد نهاية الفترة، ترفع العينات من المحلول وتغسل بالماء ثم تجفف و توزن ويجرى عليها اختبار الشد.

٦-٢ بالنسبة لطريقة الاختبار (ب)،يتم إعداد نهايات تثبيت للعينات ثم يتم وضع العينات في وعاء محتوي على المحلول القلوي في درجة حرارة ٦٠+ ٣ درجة مئوية مع مراعاة وضع العينة في تجهيزه تسمح بتعريض العينة لحمل الشد الدائم المطلوب وذلك لفترات تعرض لمدة ١، ٢، ٣، ٤، و٦ أشهر إلا إذا كان مطلوب مدد أطول للاختبار.

٦-٣ بالنسبة لطريقة الاختبار (ج)، يتم دفن العينة المختبرة في خرسانة رطبـــة. ويوضـــح الشكل رقم (٤) أبعاد العينة الخرسانية المستخدمة. ويمكن زيادة قطـــر العينـــة إذا زاد قطر السيخ. وتكون الخلطة الخرسانية المستخدمه خلطة قياسية طبا لما هو وارد فـــي المواصفة ١- جـــ ويتم الخلط طبقا للمواصفة القياســـية الأمريكيـــة ASTM C192 والمعالجة طبقا للمواصفة القياسية ASTM C511 . بعد ٢٨ يوما من المعالجة فـــي الماء يتم عمل نهايات التثبيت عند أطراف السيخ ثم توضع العينة في تجهيزه مناســـبة لضمان التأثير بالحمل الدائم المطلوب طوال فترة الاختبار. تحفظ الاسطوانة الخرسانية

رطبة وداخل غرفة تحكم عند درجة حرارة ثابتة تساوى ٦٠ ± ٣ درجة مئوية وعند عمر الاختبار يختبر السيخ وهو مدفون بالخرسانة.



شكل رقم (٤) أبعاد العينة الخرسانية

٧ - طريقة الاختبار :

٧-١ تقاس قيمة الأس الهيدروجيني للمحلول القلوي عند بداية الاختبار وبعد انتهاؤه. و خلال الاختبار، يتم متابعة قيمة الأس الهيدروجيني للمحلول القلوي كل خمسة أيام على الأكثر ويتم التعديل إن لزم للإبقاء على نفس المكونات وقيمة الأس الهيدروجيني كما كانت عند بداية الاختبار.

٧-٢ الشكل الخارجي لعينات الاختبار يتم معاينته قبل وبعد اختبار مقاومة القلويات لمقارنة اللون و حالة السطح والتغير في الشكل. وإذا لزم الأمر يمكن قطع العينات وتلميعها ويتم معاينة حالة المقطع العرضي تحت الميكروسكوب.

٧-٣ اختبار تغير الوزن للعينات الخاصة بالطريقة (أ)

قبل الغمر، تجفف عينة الاختبار حتى تثبت كتلتها ويتم وزنها (الوزن الأصلي W_o) طبقا للمواصفة القياسية الأمريكية ASTM D5229M. عند كل عمر من أعمار الاختبار، يتم إخراج العينة من المحلول القلوي وتغسل سريعا بالماء وتجفف بمناديل

ورقية ثم توزن ويكون هذا الوزن هو وزن العينة عند العمر الأول(W_1).بعدها يتم إعداد نهايات تثبيت للسيخ لاختباره في الشد.

٧-٤ اختبار النقص في مقاومة الشد:

لكل طرق الاختبار (أ، ب، ج)، يتم اختبار العينات في الشد حتى الكسر خلال ٢٤ ساعة بعد إزالتها من بيئة التأثير عند الأعمار المختلفة. يتم إتباع الخطوات المذكورة في المواصفة ١- ب عند اجراء الاختبار وتعيين مقاومة الشد.

٨ - **الحسابات :**

٨-١ يحسب تغير الكتلة لأسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف كما يلي:

$$Mass\ gain\ (\%) = \frac{W_1 - W_O}{W_O} \times 100$$

$$Mass\ loss\ (\%) = \frac{W_1 - W_O}{W_O} \times 100$$

حيث أن :

W_1 = كتلة العينة بعد الغمر للعمر (١)، جرام

W_o = الكتلة الأصلية للعينة قبل الغمر ، جرام

٨-٢ يتم تعيين خواص المادة في الشد للأسياخ المختبرة والتي حدث لها انهيار داخل طول الاختبار، وفي حالة انهيار العينة عند مناطق التثبيت، تهمل نتائج هذه العينة ويعاد الاختبار على عينة أخرى.

يتم حساب الفقد في قدرة الشد للعينات كما يلي:

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

حيث :

R_{et} = النسبة المئوية للفقد في مقاومة الشد

F_{u1} = قدرة الشد قبل الغمر، نيوتن

F_{u2} = قدرة الشد بعد الغمر، نيوتن

٩ - **التقرير :**

يجب أن يحتوى التقرير على العناصر التالية :

١ - الاسم التجاري للأسياخ، تاريخ تصنيعها و أبعادها.

٢ - نوع الألياف و المادة الرابطة و نسبة الألياف Vf .

٣ - وصف لعينات الاختبار وأرقامها.

٤ - التشكلات الموجودة بالعينة.

٥ - مساحة المقطع و القطر المكافئ لكل عينة طبقا لطريقة الاختبار.

٦ - تاريخ الغمر بالمحلول وتاريخ الاختبار .

٧ - مكونات المحلول القلوي، الأس الهيدروجيني، حرارة المحلول وفترة الغمر.

٨ - قيمة حمل الشد الدائم ومدته وطريقة الحفاظ عليه.

٩ - التغيرات في الشكل الخارجي للعينات.

١٠ - منحني يوضح العلاقة بين الفقد أو الزيادة في الوزن مع الزمن.

١١ - تاريخ اختبار الشد للعينات وطريقة الاختبار.

١٢ - درجة الحرارة عند اختبار الشد.

١٣ - قدرة الشد للعينات ومقاومة الشد عند الأعمار المختلفة و متوسط النتائج و الانحراف المعياري للنتائج.

١٤ - معاير المرونة لكل من العينات المغمورة وغير المغمورة و المتوسط لكل منهما.

١٥ - الانفعال الأقصى للعينات المغمورة وغير المغمورة والمتوسط لكل منهما.

١٦ - الفقد في قدرة الشد عند الأعمار المختلفة.

١٧ - منحنى الإجهاد الانفعال لكل العينات المغمورة وغير المغمورة.

١٨ - منحنى يوضح نقص قدرة الشد مع الزمن لكل عينة.

١٩ - اسم القائم بالاختبار.

٢- طرق اختبار شرائح المواد المركبة لأعمال الخرسانة و المباني

٢- أ اختبار الشد المباشر بطريقة الاقتلاع:

١ - المجال :

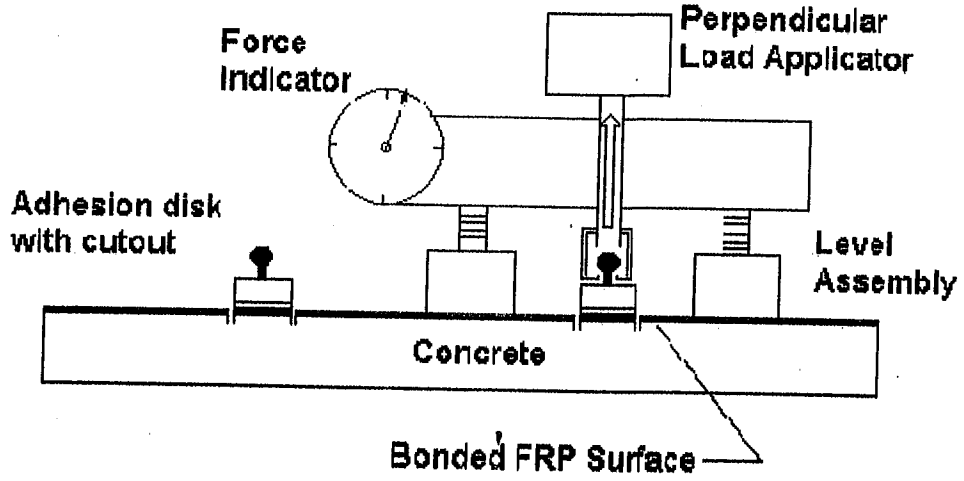
١-١ توضح هذه الطريقة متطلبات الاختبار التي يجب توافرها لتحضير و اختبار قوة التماسك لشرائح المواد المركبة الملصوقة علي سطح عنصر خرساني و/ أو مقاومة الشد لطبقة الخرسانة الملصوق عليها.

٢ - المراجع :

٢-١ المواصفات القياسية الأمريكية ASTM D 4541 الطريقة القياسية لاختبار مقاومة الانتزاع للطلاء باستخدام جهاز الالتصاق المحمول.

٣ - الأهمية و الاستخدام :

٣-١ يتم إجراء اختبار الانتزاع عن طريق لصق قطعة معدنية مربعة أو مستديرة ذات أبعاد ٢٥مم إلى ٤٠مم - باستخدام مادة لصق مناسبة- على سطح المادة المركبة أو الخرسانة. بعد معالجة المادة اللاصقة، يثبت جهاز الاختبار على القاعدة وضبطه لضمان تعامد اتجاه الشد على سطح الخرسانة. يتم حساب مقاومة الانتزاع بناء على أقصى حمل مسجل ، بعد معايرة الجهاز و الاجهادات المتواجدة بالسطح المختبر. انفصال اللوح المثبت عن السطح المختبر يدل على عدم التحضير الجيد لسطح الاختبار أو عدم صلاحية اللاصق المستخدم للاختبار. يوضح شكل رقم (١) جهاز الانتزاع المحمول.



شكل رقم (١) جهاز الانتزاع المحمول

٣-٢ يمكن استخدام هذه الطريقة للاختبار في الموقع أو المعمل. كما تستخدم هذه الطريقة لتقييم استخدام شرائح المواد المركبة الملصوقة على سطح الخرسانة.

٣-٣ يمكن استخدام نتائج هذا الاختبار في ضبط جودة المواد اللاصقة وفي المعادلات التصميمية لتدعيم المنشات باستخدام شرائح المواد المركبة.

٤ - الأجهزة :

٤-١ يجب أن يتوافق جهاز الانتزاع المستخدم مع المواصفة ASTM D 4541 .

٤-١-١ تستخدم قطعة معدنية دائرية أو مربعة بأبعاد من ٢٥ مم إلى ٤٠ مم (قطعة الانتزاع المعدنية) للصقها على السطح المختبر.

٤-١-٢ تستخدم وحدة يدوية أو ميكانيكية لضمان معدل تحميل ثابت

٤-١-٣ يجب أن يكون الجهاز قابل للضبط بحيث يمكن ضبط تعامد اتجاه التحميل على السطح المختبر و عدم حدوث عزوم أثناء التحميل.

٤-٢ يبين شكل (١) الأجزاء المختلفة من جهاز الانتزاع المستخدم.

٤-٢-١ قطعة الانتزاع المعدنية: قطعة معدنية مربعة أو مستديرة بأبعاد من ٢٥ مم إلى ٤٠ مم ذات سطح مستو من جهة و مزودة بنتوء مفصلي (حر الحركة) من الجهة الأخرى

٤-٢-٢ قاعدة التثبيت: يجب أن تكون قاعدة التثبيت ذات أرجل تسمح بضبط استواءها و ضمان تمركزها مع قطعة الانتزاع المعدنية كما يجب أن تضمن قوة التثبيت و تعامده على اتجاه التحميل.

٤-٢-٣ جهاز التحميل: يمكن استخدام جهاز يدوي أو ميكانيكي مع ضمان القدرة على التحميل بمعدل ثابت حتى حدوث الانهيار بحيث أن يصل إلى أقصى إجهاد في اقل من ١٠٠ ثانية.

٤-٢-٤ مؤشر القراءات: يجب أن يكون مؤشر القراءات معلوم المعايرة و أن لا يقل أقصى تدريج له عن ٤٤٥٠ نيوتن.

٤-٢-٥ المادة اللاصقة: يجب أن لا يقل إجهاد الشد للمادة اللاصقة عن ٥,٥ ميجا باسكال. ويتم استخدامها طبقا لبيانات الجهة المصنعة.

٥ - تجهيز العينة :

٥-١ يتم لصق شرائح المواد المركبة على سطح الخرسانة طبقا للخطوات المحددة من المصنع. يجب إتباع شروط المصنع في الفترة الزمنية فيما بين لصق الشرائح و إجراء الاختبار

٦ - ظروف الاختبار :

يتم العمل في ظروف المعمل القياسية في درجة حرارة ٢٣ ± ٣ و رطوبة نسبية ٥٠% ± ١٠ و ذلك في حالة عدم ذكر شروط أخرى للاختبار (حرارة، رطوبة، وسط قلوي، .....).

٧ - **إجراء الاختبار :**

٧-١ يتم اختيار سطح مستوي لإجراء الاختبار طبقا للجدول الزمني للعينات

٧-٢ يتم تجهيز سطح الشرائح للصق قطعة الانتزاع المعدنية و ذلك عن طريق تنظيفه بمذيب مناسب ثم صنفرته باستخدام صنفره متوسطه ثم ينظف ثانية بالمذيب و يترك ليجف.

٧-٣ يتم عمل قطع دائري أو مربع (طبقا لشكل و أبعاد قطعة الانتزاع المعدنية) بحيث يخترق الخرسانة بعمق من ٦ إلي ١٢ مم.

٧-٤ يتم لصق قطعة الانتزاع المعدنية بواسطة المادة اللاصقة المعتمدة و تترك للمعالجة طبقا لمتطلبات الجهة المنتجة للمادة اللاصقة.

٧-٥ توضع قاعدة التثبيت فوق قطعة الانتزاع المعدنية و تثبت بها. يتم ضبط جهاز التحميل عن طريق أرجل القاعدة لضمان تعامد اتجاه التحميل مع سطح الاختبار.

٧-٦ يتم ضبط أي خلوص زائد بالجهاز.

٧-٧ يتم ضبط وضع مؤشر الجهاز على الصفر.

٧-٨ يتم التحميل يدويا أو ميكانيكيا بتحميل مستمر بمعدل لا يقل عن ١ ميجا باسكال في الثانية حتى حدوث الانهيار. يجب الوصول لأقصى حمل في مدة لا تزيد علي ١٠٠ ثانية و يتم تسجيل الحمل الذي حدث عنده الاقتلاع.

٨ - **الحسابات :**

يتم حساب إما مقاومة الانتزاع أو مقاومة الخرسانة طبقا لطبيعة الانهيار

$$\sigma_p = \frac{F_P}{A_a}$$

حيث :

σ_p = مقاومة الانتزاع ، ميجا باسكال

F_p = حمل الانتزاع ، نيوتن

A_a = مساحة قطعة الانتزاع المعدنية ، مم^2

٩ - تحليل النتائج :

يعتبر التصاق شرائح المواد المركبة بسطح الخرسانة ضروريا لنقل الحمل من العنصر إلى شرائح المواد المركبة ولذلك فإن جودة السطح البيني و جودة الخرسانة السطحية هي العوامل الأساسية لشكل الانهيار والذي من الممكن أن يأخذ أحد الصور الآتية:

١ - انهيار الالتصاق عند السطح البيني بين الخرسانة و الشرائح.

٢ - انهيار في شريحة المواد المركبة نفسها.

٣ - انهيار في الخرسانة.

٤ - انهيار بأكثر من شكل من الأشكال السابقة.

١٠ - التقرير :

يجب أن يحتوي التقرير على البيانات الآتية:

١ - الاسم التجاري للشرائح، تاريخ تصنيعها و أبعادها.

٢ - نوع الألياف و المادة الرابطة و نسبة الألياف V_f .

٣ - وصف للنظام المختبر.

٤ - أبعاد قطعة الانتزاع المعدنية.

٥ - التعريف التجاري لجهاز الاختبار.

٦ - بيان عينة الاختبار .

٧ - جهد الانتزاع و شكل الانهيار.

٨ - متوسط جهد الانتزاع للعينات المختلفة.

٩ - درجة الحرارة والرطوبة وتاريخ الاختبار واسم القائم بالاختبار.

٢ – ب اختبار الشد لعينات المواد المركبة المستوية :

١ – المجال :

توضح هذه الطريقة متطلبات تحضير عينة الاختبار و طريقة اختبار المواد المركبة أحادية الاتجاه و ثنائية الاتجاه المستخدمة في تدعيم المنشات الخرسانية. يمكن استخدام هذه الطريقة في تحديد مقاومة الشد لأنظمة المواد المركبة
(Precured FRP flat laminates) ، (Prepreg) ، (Wet Lay – up system)
و هذه الطريقة تغطى فقط تعيين خواص الشد للألياف المستمرة المشبعة بالراتنج .

٢ – المراجع :

٢–١ المواصفات القياسية الأمريكية :

ASTM D618 الطريقة القياسية لإعداد البلاستيك.

ASTM D3039/M الطريقة القياسية لتعيين خواص الشد للمواد المركبة البوليمارية.

ASTM E4 الطريقة القياسية لمعايرة ماكينات الاختبار.

٣ – الأهمية والاستخدام :

٣–١ تستخدم هذه الطريقة في تعيين مقاومة الشد ، معاير المرونة و أقصى استطالة في المعمل و الموقع. و يعتبر العامل الاساسى المؤثر هو نوع و أبعاد شرائح المواد المركبة. و يمكن استخدام النتائج في تحديد مواصفات المواد ، الأبحاث ، ضبط الجودة و تأكيدها و في تصميم المنشات و تحليلها.

٣–٢ هذه الطريقة تركز على شرائح المواد المركبة نفسها و غير مرتبطة بحدوث أي انهيار أو انقلاع عند نقاط التثبيت.

٣–٣ تعتبر خواص الشد لشرائح المواد المركبة من العوامل الهامة التي يجب أخذها في الاعتبار عند استخدامها في التسليح الخارجي للخرسانة. ويتم تحديد سلوك الشد للشرائح كما هو موضح فيَ هذه المواصفة.

٤ - المصطلحات :

طول القياس : هو طول العينة فيما بين كلابتي تثبيت ماكينة الاختبار.

٥ - الأجهزة :

٥-١ ماكينة الاختبار :

يجب أن يكون الحمل الأقصى للماكينة أكبر من مقاومة الشد للعينة – كما يجب أن يتم معايرتها طبقاً للمواصفات القياسية الأمريكية ASTM E4 . يمكن التحكم في طريقة التحميل إما طبقاً لمعدل التحميل أو معدل الإزاحة.

٥-٢ ميكروميتر:

يجب أن يكون الميكروميتر قادر على القراءة لأقرب ٠,٠٢٥ مم من سمك و عرض العينة.

٥-٣ قياس الانفعال :

يمكن قياس الانفعال باستخدام مقياس إزاحة أو مقياس انفعال متصلة ميكانيكياً أو ملصوقة مباشرة على العينة. لا يمكن الاستعانة بمقدار حركة الفك المتحرك للماكينة كمقدار للإزاحة. في حالة قياس نسبة بواسون يجب قياس الانفعال في الاتجاهين الطولي والعرضي.

٥-٤ نظام تسجيل المعلومات :

يجب أن يكون نظام تسجيل المعلومات قادر على تسجيل الحمل ، الإزاحة و الانفعال بصورة مستمرة بمعدل لا يقل عن قراءتين في الثانية. يجب أن تكون أقل وحدة حمل ١٠٠ نيوتن ، أقل وحدة انفعال ١ مايكرو وأقل وحدة إزاحة ٠,٠١ مم.

٦ - تحضير العينات:

٦-١ الإعداد الموقعي لعينات (wet lay – up methods):

- يتم إعداد العينات بطريقة مماثلة لأسلوب الاستخدام بالموقع.

- يتم و ضع شريحة بلاستكية على سطح أفقي مستو أملس. يتم وضع طبقات الألياف فوق الشريحة البلاستيكية مع مراعاة زاوية كل طبقة و تشبيعها بالراتنج بنفس النسبة المستخدمة بالموقع.
- يمكن استخدام (Grooved roller) للتخلص من الهواء المحبوس بين الشرائح.
- توضع شريحة بلاستيكية أخرى فوق طبقات الألياف ثم يتم وضع لوح مسطح جسئ و أملس حتى انتهاء المعالجة.

٦-٢ الإعداد المعملي لعينات (wet lay – up materials) :

- يتم وضع شريحة بلاستيكية على سطح أفقي أملس .
- توضع طبقة من الراتنج فوق الشريحة البلاستيكية يليها شريحة الألياف. و يغطى بعدها الألياف بطبقة أخرى من الراتنج و يتم تكرار هذه العملية لكل طبقة من الألياف.
- يستخدم (Grooved roller) للتخلص من الهواء المحبوس بين الشرائح
- توضع شريحة بلاستيكية أخرى فوق العينة.و باستخدام أي أداة مستوية (مثل المسطرين) يضغط على العينة في اتجاه الألياف للتخلص من الراتنج الزائد.
- تتم المعالجة بدون إزالة الشرائح البلاستيكية.
- يتم بعدها تقطيع العينة و تجهيزها للشد. كما يمكن تقطيع العينة باستخدام مسطرة معدنية و أي وسيلة تقطيع بعد تصلد الراتنج و لكن قبل المعالجة.
- في حالة احتياج نظام الشرائح لمعالجة حرارية أو بالضغط أو أي نظام أخر للمعالجة. يتفق القائم علي الاختبار و المصنع على طريقة تجهيز العينة بالصورة الصحيحة.

٦-٣ طريقة تحضير عينات (Precured FRP laminates) :

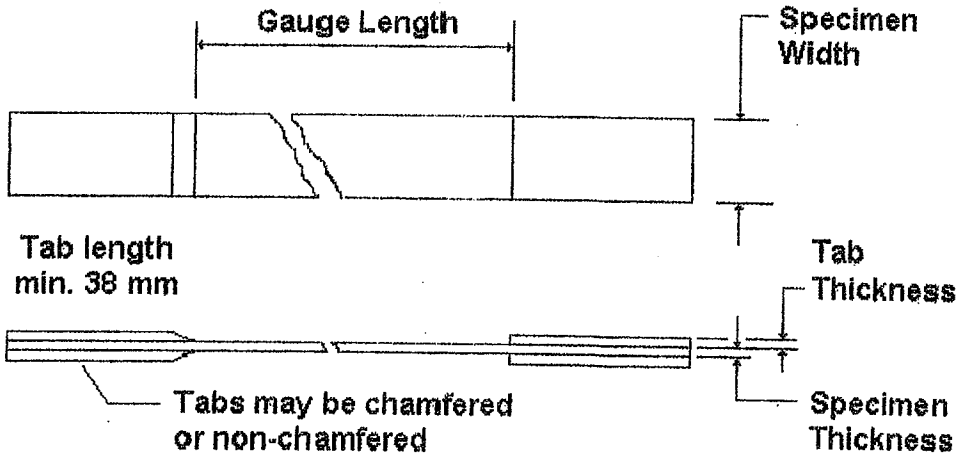
- يتم تقطيع العينة باستخدام منشار مناسب. و تحدد أبعاد العينة (الطول و العرض) طبقا للاتفاق بين القائم بالاختبار و المصنع.
- يجب التأكد من أن تكون العينات المختبرة مسطحة تماما حيث أن وجود أي انبعاج يؤدي إلى انخفاض النتائج نتيجة للعزوم المتولدة.

٦-٤ شكل العينات :

- يتم إعداد العينة كما هو موضح بالشكل رقم (٢) و بالأبعاد الموضحة بالجدول رقم(١).
- يجب أن تكون العينة ذات مقطع ثابت مع إعداد كلابات في أطراف العينة. يجب أن لا يزيد التغير في عرض العينة عن ± ١% كما يجب أن لا يزيد التغير في سمك العينات المعدة معمليا عن ± ٢% و العينات المعدة في الموقع عن ± ١٠%.

٦-٥ الكلابات :

- يجب استخدام كلابات من الألياف الزجاجية أو الالومنيوم .
- يجنب أن تكون الكلابات ذات انفعال مقارب لانفعال العينة المختبرة.
- يتم لصق الكلابات باستخدام مادة ربط قوية ذات قدرة استطالة عالية وقادرة على تحمل درجة حرارة الاختبار.
- تكون الكلابات بنفس عرض العينة و يتم تحديد طولها طبقا لمقاومة القص لمادة اللصق أو العينة أو الكلابات أيهم اقل على أن لا يقل الطول عن ٣٨ مم.
- في حالة حدوث انهيار للعينة في الكلابات أثناء إجراء الاختبار يجب إعادة اختبار مادة الكلابات و أبعادها و طريقة لصقها لضمان حدوث الانهيار داخل طول القياس من العينة.



شكل (٢) شكل عينة الاختبار

جدول (١) مقاسات عينات الاختبار

اتجاه الألياف	أقل عرض للعينة (مم)	أقل طول قياس (مم)
صفر الدرجة	١٢,٧	١٢٧
صفر/ ٩٠ درجة	٢٥,٤	١٢٧

٧ - **ظروف الاختبار :**

٧-١ الظروف القياسية للاختبار:

في حالة عدم ذكر أي شروط خاصة للاختبار :

تكون ظروف الاختبار طبقا للجزء A في المواصفات الأمريكية ASTM D618 و يكون التخزين و الاختبار في درجة حرارة ٢٣ ± ٣ °م و رطوبة نسبية ٥٠ ±١٠%.

٨ - **طريقة الاختبار :**

٨-١ يجب اختبار ٥ عينات لكل اختبار.

٨-٢ يتم قياس متوسط عرض و سمك العينة طبقا للمواصفات الأمريكية ASTM D 3039 و من ثم تحديد متوسط مساحة مقطع العينة.

٨-٣ تثبت العينة في كلابات الماكينة مع مراعاة محورية العينة مع الماكينة.تحدد سرعة الماكينة لتعطي معدل الانفعال المطلوب. معدل الانفعال القياسي في هذا الاختبار يجب أن يكون فيما بين ١٠x٠,١٧$^{-٣}$ ثانية $^{-١}$ و ١٠x٠,٣٣$^{-٣}$ ثانية $^{-١}$. وفي حالة الرغبة في تسجيل الانفعال يتم تثبيت مقياس انفعال مناسب على العينة.

٨-٤ يسجل الحمل والانفعال (أو التشكل) المناظر بطريقة مستمرة - إن أمكن - أو على فترات متساوية من الانفعال. كما يسجل الحمل الأقصى الذي تتحمله العينة وأقصى انفعال أو تشكل قبل الانهيار.

٩ - الحسابات :

تحسب مقاومة الشد ومعايير المرونة طبقا لأحدي الطريقتين الآتيتين:

الطريقة الأولي :

تحسب مقاومة الشد القصوى و معايير المرونة من المعادلتين الآتيتين

$$f_u = \frac{P}{bd}$$

$$E = \frac{dP}{dl}\frac{l}{bd}$$

حيث :

f_u = مقاومة الشد القصوى، ميجا بسكال

P = الحمل الأقصى، نيوتن

b, d = العرض، السمك، مم

l = طول القياس، مم

E = معايير المرونة، ميجا بسكال

$\frac{dP}{dl}$ = ميل الجزء المستقيم من منحني الحمل- التشكل

الطريقة الثانية :

تعتمد هذه الطريقة على حساب المساحة المكافئة للألياف وذلك باستخدام المعادلات التالية:

$$f_u' = \frac{P}{bd'}$$

$$E' = \frac{dP}{dl}\frac{l}{bd'}$$

حيث :

f_u' = مقاومة الشد القصوى المكافئة للألياف بدون الراتنج، ميجا بسكال

P = الحمل الأقصى، نيوتن

b = العرض، مم

d' = السمك المكافئ للألياف بدون راتنج، مم

l = طول القياس، مم

E' = معاير المرونة المكافئ للألياف بدون راتنج ، ميجا باسكال

$\frac{dP}{dl}$ = ميل الجزء المستقيم من منحني الحمل- التشكل

١٠ - **التقرير :**

يجب أن يحتوي التقرير على الأتي:

١ - تعريف العينة المختبرة (الاسم التجاري- تاريخ الإنتاج- رقم التشغيلة - نوع الألياف - المادة الرابطة - النسبة الحجمية للألياف).

٢ - طريقة تجهيز العينة و Stacking Sequence.

٣ - أبعاد العينة.

٤ - ظروف الاختبار.

٥ - عدد العينات المختبرة.

٦ - معدل التحميل خلال الاختبار إذا كان مختلف عما هو محدد بالمواصفة.

٧ - حمل الانهيار، الانفعال الأقصى، معاير المرونة، و مقاومة الشد مع توضيح الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف.

٨ - طريقة حساب معاير المرونة و مقاومة الشد القصوى.

٩ - تاريخ الاختبار.

١٠ - القائم بالاختبار.

٢- جـ اختبار الشد لوصلات التراكب لعينات المواد المركبة المستوية :

١ - المجال :

توضح هذه الطريقة متطلبات تحضير عينة الاختبار و طريقة اختبار الشد لوصلات التراكب المواد المركبة أحادية الاتجاه و ثنائية الاتجاه المستخدمة في تدعيم المنشات الخرسانية. يمكن استخدام هذه الطريقة في تحديد مقاومة الوصلات التراكبية للمواد المركبة المحتوية على ألياف مستمرة مشبعة بالراتنج.

٢ - المراجع :

٢-١ المواصفات القياسية الأمريكية :

ASTM D618 الطريقة القياسية لإعداد البلاستيك.

ASTM D3039/M الطريقة القياسية لتعيين خواص الشد للمواد المركبة البوليمارية.

ASTM D3165 الطريقة القياسية لتعيين خواص القص لمواد اللصق باستخدام الشد لعينات التراكب الفردي

ASTM D3528 الطريقة القياسية لتعيين خواص القص لمواد اللصق باستخدام الشد لعينات التراكب الزوجي

ASTM E4 الطريقة القياسية لمعايرة ماكينات الاختبار.

٣ - الأهمية و الاستخدام :

٣-١ نظرا للحاجة المتزايدة لاستخدام الوصلات في أنظمة التدعيم بواسطة المواد المركبة، تستخدم هذه الطريقة في تعيين مقاومة الشد لوصلات التراكب لعينات المواد المركبة بالمعمل والموقع. وذلك لمعرفة السلوك المختلف للمواد المركبة ومواد اللصق

٣-٢ يمكن استخدام الخصائص المحددة عن طريق هذا الاختبار في : التحكم في جودة مواد اللصق، تقييم أنواع مواد اللصق الجديدة و إعداد المعادلات المستخدمة في تصميم المواد المركبة لتدعيم المنشئات الخرسانية.

٤ - الأجهزة :

٤-١ ماكينة الاختبار: يجب أن يكون الحمل الأقصى للماكينة أكبر من مقاومة الشد للعينة – كما يجب أن يتم معايرتها طبقاً للمواصفات القياسية الأمريكية ASTM E4 . يمكن التحكم في طريقة التحميل إما طبقاً لمعدل التحميل أو معدل الإزاحة.

٥ - تحضير العينات :

٥-١ الإعداد الموقعى لعينات (wet lay – up methods):

- يتم إعداد العينات بطريقة مماثلة لأسلوب الاستخدام بالموقع.
- توضع شريحة بلاستكية على سطح أفقي مستو أملس. توضع بعدها توضع طبقات الألياف فوق الشريحة البلاستيكية مع مراعاة زاوية كل طبقة و تشبيعها بالراتنج بنفس النسبة المستخدمة بالموقع.
- يتم أعداد الوصلة التراكبية مع الأخذ في الاعتبار دقة قياس طول التراكب. تستخدم (Grooved roller) للتخلص من الهواء المحبوس بين الشرائح مع مراعاة عدم التأثير على طول التراكب.
- توضع شريحة بلاستيكية أخرى فوق طبقات الألياف ثم يوضع فوقها ثقل مناسب لضمان الحصول على سطح مستوي للعينة بعد المعالجة.
- بعد المعالجة تقطع العينة بالأبعاد المطلوبة في حالة احتياج نظام الشرائح لمعالجة حرارية أو بالضغط أو أي نظام أخر للمعالجة. يتفق القائم علي الاختبار و المصنع على طريقة تجهيز العينة بالصورة الصحيحة.

٥-٢ الإعداد المعملي لعينات (wet lay – up materials):

- توضع شريحة بلاستيكية على سطح أفقي أملس .
- توضع طبقة من الراتنج فوق الشريحة البلاستيكية يليها شريحة الألياف.
- يغطى بعدها الألياف بطبقة أخرى من الراتنج و يتم تكرار هذه العملية لكل طبقة من الألياف.
- تعد وصلة التراكب بالطول المطلوب و يستخدم (Grooved roller) للتخلص من الهواء المحبوس بين الشرائح.

- توضع بعدها شريحة بلاستيكية أخرى فوق العينة.و باستخدام أي أداة مستوية (مثل المسطرين) يضغط على العينة في اتجاه الألياف للتخلص من الراتنج الزائد.
- تتم المعالجة بدون إزالة الشرائح البلاستيكية.
- تقطع العينة و تجهز للاختبار. كما يمكن تقطيع العينة باستخدام مسطرة معدنية و أي وسيلة تقطيع أخرى بعد تصلد الراتنج و قبل المعالجة.
- في حالة احتياج نظام الشرائح لمعالجة حرارية أو بالضغط أو أي نظام أخر للمعالجة. يتفق القائم علي الاختبار و المصنع على طريقة تجهيز العينة بالصورة الصحيحة.

٥-٣ طريقة تحضير عينات (Precured FRP laminates) :

- يتم تقطيع العينة باستخدام منشار مناسب. و تحدد أبعاد العينة (الطول و العرض) طبقا للاتفاق بين القائم بالاختبار و المصنع. بعدها يتم إعداد الوصلة ولصقها بالمادة اللاصقة مع مراعاة طول الوصلة ومن ثم معالجتها.
- يجب التأكد من أن تكون العينات المختبرة مسطحة تماما حيث يؤدي وجود أي انبعاج إلى انخفاض النتائج نتيجة للعزوم المتولدة.

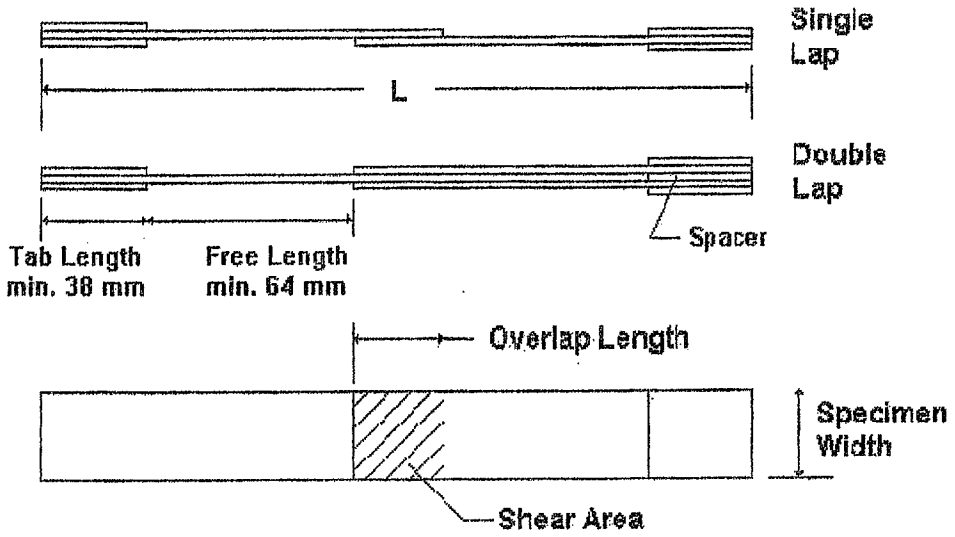
٥-٤ شكل العينات :

- يتم إعداد العينة كما هو موضح بالشكل رقم (٣) و بالإبعاد الموضحة بالجدول رقم(٢)
- يجب أن تكون العينة ذات مقطع ثابت مع إعداد كلابات في أطراف العينة. يجب أن لا يزيد التغير في عرض العينة عن $\pm$ ١%

٥-٥ الكلابات :

- يجب استخدام كلابات من الألياف الزجاجية أو الالومنيوم .
- يجب أن تكون الكلابات ذات انفعال مقارب لانفعال العينة المختبرة.
- يتم لصق الكلابات باستخدام مادة ربط قوية ذات قدرة استطالة عالية وقادرة على تحمل درجة حرارة الاختبار.
- تكون الكلابات بنفس عرض العينة و يتم تحديد طولها طبقا لمقاومة القص لمادة اللصق أو العينة أو الكلابات أيهم اقل على أن لا يقل الطول عن ٣٨ مم.

- في حالة حدوث انهيار للعينة في الكلابات أثناء إجراء الاختبار يجب إعادة اختبار مادة الكلابات و أبعادها و طريقة لصقها لضمان حدوث الانهيار داخل طول القياس للعينة.



شكل (٣) شكل عينة الاختبار

جدول (٢) مقاسات عينات الاختبار

طول التراكب (مم)	طول العينة (مم)	عرض العينة (مم)
٢٥	٢٣٠<	٢٥
٥٠	٢٥٤<	٢٥
٧٦	٢٧٩<	٢٥
١٠٢	٣٠٥<	٢٥
١٥٢	٣٥٦<	٢٥
٢٠٣	٤٠٦<	٢٥

٦ - ظروف الاختبار :

٦-١ الظروف القياسية للاختبار :

في حالة عدم ذكر أي شروط خاصة للاختبار :

تكون ظروف الاختبار طبقا للجزء A في المواصفات الأمريكيـــة ASTM D618 و يكون التخزين و الاختبار في درجة حرارة ٢٣ ± ٣ °م و رطوبة نسبية ٥٠ ± ١٠%.

٧ - طريقة الاختبار :

٧-١ يجب اختبار ٥ عينات لكل اختبار.

٧-٢ يتم قياس متوسط عرض و سمك وصلة التراكب طبقا للمواصفات الأمريكية ASTM D 3039

٧-٣ توضع العينة في كلابات الماكينة مع مراعاة محورية العينة مع الماكينة تحدد ســـرعة الماكينة لتعطي معدل الانفعال المطلوب. يجب أن يكون معدل الانفعال القياسي في هذا الاختبار بين ١٠x٠,١٧$^{-٣}$ ثانية$^{-١}$ و ١٠x٠,٣٣$^{-٣}$ ثانية$^{-١}$. وفي حالة الرغبة فـــي تسجيل الانفعال يتم تثبيت مقياس انفعال مناسب على العينة.

٧-٤ يسجل الحمل الأقصى وشكل انهيار العينة طبقا لأنواع الانهيار الآتية:

٧-٤-١ انفصال التماسك/الانفصال السطحي: وهو بحدوث انفصال واضح عند سطح وصـــلة التراكب

٧-٤-٢ الانفلاق: وهو بحدوث انفلاق للعينة بكامل الطول مع وجود جزء من وصلة التراكب مترابط

٧-٤-٣ انهيار الشد: وهو بحدوث انهيار شد للعينة خارج وصلة التراكب

٧-٤-٤ انهيار الكلابات: وفي هذه الحالة يجب إعادة النظر في مادة الكلابات أو المادة اللاصقة لها.

٧-٤-٥ حدوث أكثر من شكل انهيار من الانهيارات السابقة

٨ - **الحسابات :**

تحسب مقاومة القص المتوسطة باستخدام المعادلات الآتية:

لوصلات التراكب الأحادية $$\nu_{su} = \frac{F_{\max}}{bl}$$

لوصلات التراكب الثنائية $$\nu_{su} = \frac{F_{\max}}{2bl}$$

حيث :

ν_{su} = مقاومة الشد القصوى، ميجا باسكال

$F_{\max}$ = الحمل الأقصى، نيوتن

b = العرض، مم

l = طول التراكب، مم

٩ - **التقرير :**

يجب أن يحتوي التقرير على الأتي:

١ - تعريف العينة المختبرة (الاسم التجاري- تاريخ الإنتاج- رقم التشغيلة – نوع الألياف – المادة الرابطة – النسبة الحجمية للألياف).

٢ - طريقة تجهيز العينة و Stacking Sequence.

٣ - أبعاد العينة وطول التراكب.

٤ - ظروف الاختبار.

٥ - عدد العينات المختبرة.

٦ - سرعة الاختبار إذا كانت غير المحددة بالمواصفة.

٧ - مقاومة القص لكل عينة و مقاومة القص المتوسطة توضيح الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف.

٨ - نوع الانهيار.

٩ - تاريخ الاختبار.

١٠ - القائم بالاختبار .

ملحق (٣)

لجان الكود المصري لأسس التصميم و اشتراطات تنفيذ البوليمرات المسلحة بالألياف

ملحق رقم (٣) لجان الكود المصري لأسس تصميم و اشتراطات تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف في مجالات التشييد ٢٠٠٥

اللجنة الدائمة لإعداد الكود المصري لأسس التصميم و اشتراطات تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف في مجالات التشييد	
المستشارون من الخارج	الأعضاء
أ.د/ جورج عبد السيد (كندا)	أ.د/ عبد الهادي حسين حسنى (رئيسا)
أ.د/ سامي رزق الله (الولايات المتحدة الأمريكية)	أ.د/ إبراهيم محفوظ محمد إبراهيم (مقررا)
أ.د/ نبيل جريس (الولايات المتحدة الأمريكية)	أ.د/ أحمد كمال عبد الخالق
أ.د/ هشام مرزوق (كندا)	أ.د/ أحمد محمد محمد دياب
د.م/ محمد عطا الله (كندا)	أ.د/ أميمة أحمد صلاح الدين
	أ.د/ حمدى حامد شاهين
	أ.د/ فاطمة الزهراء الـ عيد الرفاعي
	أ.د/ محمد أحمد محمدين
	أ.د/ محمد ناصر درويش
	أ.د/ مدحت أحمد هارون
	أ.د/ منير محمد كمال
	أ.د/ هبة حامد بهنساوى
	ا.د/ مشهور غنيم أحمد غنيم
	أ.د/عمرو على عبد الرحمن
	د.م/ عزيز شنودة
	م/ جوزيف نبيه
	م/ عبد العزيز دويدار
أ.م.د/ عمرو أمين الحفناوى (أمانة فنية)	د.م/ محمد عبد العظيم أبو النور (أمانة فنية)
د.م/ تامر حسن كمال الأفندى (أمانة فنية)	

ملحق رقم (٣) لجان الكود المصري لأسس تصميم و اشتراطات تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف في مجالات التشييد ٢٠٠٥

اللجان التخصصية	
لجنة الصياغة و المراجعة	لجنة تدعيم و إصلاح المنشآت الخرسانية
لجنة الأسس العامة و التعريفات	لجنة تحمل البوليمرات المسلحة بالألياف مع الزمن
لجنة خواص المواد و اختباراتها للبوليمرات المسلحة بالألياف	لجنة العناصر الخرسانية المسلحة بأسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف

لجنة الصياغة و المراجعة

أ.د/ عبد الهادي حسين حسنى	(رئيسا)
أ.د/ إبراهيم محفوظ محمد إبراهيم	(مقررا)
أ.د/ أحمد محمد محمد دياب	
أ.د/ أميمة أحمد صلاح الدين	
أ.د/ محمد ناصر درويش	
أ.د/ مدحت أحمد هارون	
ا.د/ مشهور غنيم أحمد غنيم	
أ.د/ منير محمد كمال	
أ.د/ عمرو على عبد الرحمن	
أ.م.د/ عمرو أمين الحفناوى	(أمانة فنية)

لجنة الأسس العامة والتعريفات

أ.د/ عبد الهادي حسين حسنى	(رئيسا)
أ.د/ أميمة أحمد صلاح الدين	(مقررا)
أ.د/ إبراهيم محفوظ محمد إبراهيم	
أ.د/ أحمد محمد محمد دياب	
أ.د/ مدحت أحمد هارون	
أ.د/ منير محمد كمال	
د/ تامر محمود الركيب	(أمانة فنية)

لجنة خواص المواد و اختباراتها للبوليمرات المسلحة بالألياف

أ.د/ أميمة أحمد صلاح الدين	(رئيسا)
أ.د/ هبة حامد بهنساوى	(مقررا)
أ.د/ إبراهيم محفوظ محمد إبراهيم	
أ.د/ احمد محمد محمد دياب	
أ.د/ عمرو عزت سلامة	
أ.د/ فاطمة الزهراء السعيد الرفاعي	
أ.د/ فؤاد حلمى فؤاد	
أ.د/ منير محمد كمال	
د.م/ جيهان عبد الرحمن حمدى	
د.م/ رفيق عباس محمود عوض	
أ.د/ سيد محمد أحمد عبد الباقي	
د.م/ طارق محمود عطية	
أ.م.د/ عمرو أمين الحفناوى	
أ.د/ عمرو صلاح الديب	
أ.م.د/ نادية محمود نوفل	
م/ تامر برى عبد الغنى	(أمانة فنية)
م/ مصطفى عبد الغفار الغريب	(أمانة فنية)

ملحق رقم (٣) لجان الكود المصري لأسس تصميم و اشتراطات تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف في مجالات التشييد ٢٠٠٥

لجنة تدعيم و إصلاح المنشآت الخرسانية

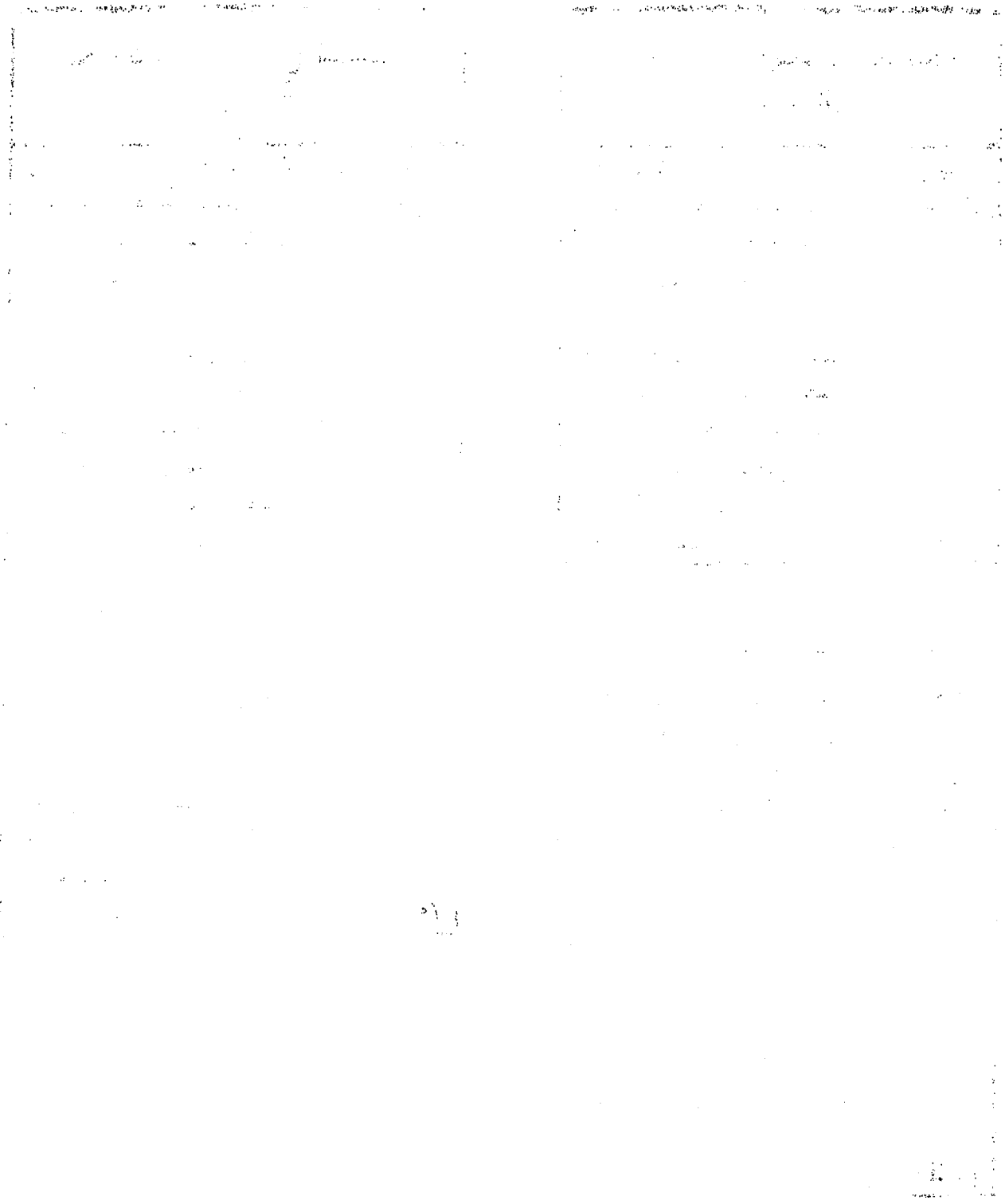
أ.د/ إبراهيم محفوظ محمد إبراهيم (رئيسا)
أ.د/ حمدى حامد شاهين (مقررا)
أ.د/ أحمد كمال عبد الخالق
أ.د/ مدحت أحمد هارون
أ.د/ محمد أحمد محمدين
أ.د/ محمد ناصر درويش
أ.د/ منير محمد كمال
ا.د/ مشهور غنيم أحمد غنيم
أ.د/ عمرو على عبد الرحمن
أ.م.د/ محمود ثروت المهيلمى
د.م/ عزيز شنودة جرجس
م/ جوزيف نبيه خله
م/عبد العزيز حسن صبحى دويدار
د.م/ أحمد فهمى فرج
د.م/ جيهان عبد الرحمن حمدى
د.م/ خالد رفعت صالح
د.م/ طارق كمال حسان
د.م/ نهلة كمال حسان
أ.م.د/ يحيى محمد عبد المجيد
د.م/ حسام زكريا القرموطى (أمانة فنية)
د.م/ تامر حسن كمال الأفندى (أمانة فنية)

لجنة تحمل البوليمرات المسلحة بالالياف مع الزمن

أ.د/ مدحت أحمد هارون (رئيسا)
أ.د/ أحمد محمد محمد دياب (مقررا)
أ.د/ إبراهيم محفوظ محمد إبراهيم
أ.د/ شريف أحمد مراد
أ.د/ كمال جاد شاروبيم
أ.د/ مصطفى أدهم الدمرداش
أ.د/ عمرو على عبد الرحمن
أ.م.د/ محمد نجيب أبو زيد
د.م/ حافظ السيد اليمنى
د.م/ هشام أحمد حجاج
م/ وائل محمد حسن (أمانة فنية)

لجنة العناصر الخرسانية المسلحة بأسياخ البوليمرات المسلحة بالألياف

أ.د/ حمدي حامد شاهين (رئيسا)
أ.د/ محمد ناصر درويش (مقررا)
أ.د/ إبراهيم محفوظ محمد إبراهيم
أ.د/ أحمد كمال عبد الخالق
أ.د/ مدحت أحمد هارون
أ.د/ مشهور غنيم أحمد غنيم
أ.د/ عمرو على عبد الرحمن
د.م/ أحمد محمود خليفة
د.م/ عبد الوهاب أحمد الغندور
د.م/ طارق محمد بهاء الدين
د.م/ حسام زكريا القرموطى (أمانة فنية)



وزارة الإسكان والمرافق والتنميه العمرانيه

المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء

إدارة المخازن

قائمة الكودات إعتباراً من ٢٠١٦/١/١٠ (١)

م	كود رقم	الكـــود المصـــــــرى	الرقم الكودي	قرار وزارى	المجموعة
١	٠١١٠٠٨٩٠٠٠	تصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانيه المسلحه	٢٠٣	٤٤السنة٢٠٠٧	الخرسانة
	٠١١٠٠٨٩٠٠١	مساعدات التصميم مع أمثله طبقا للكود المصرى ج١	٢٠٠٧/٢٠٣	ـــــ	
	٠١١٠٠٨٩٠٧١	مساعدات التصميم طبقا للكود المصرى ج٢	٢٠٠٧/٢٠٣	ـــــ	
	٠١١٠٠٨٩٠٠٢	دليل التفاصيل الإنشائيه وإعداد الرسومات	٢/٢٠٣	٩٨السنة٢٠٠١	
	٠١١٠٠٨٩٠٠٣	دليل الإختبارات المعمليه لمواد الخرسانه	٣/٢٠٣	٩٨السنة٢٠٠١	
٢	٠١١٠٠٨٩٠٠٤	ميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات ج ١ (دراسة المواقع)	٢٠٢	١٣٩السنة٢٠٠١	الأساسات
	٠١١٠٠٨٩٠٠٥	ميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات ج ٢ (الإختبارات المعملية)	١/٢٠٢	١٣٩السنة٢٠٠١	
	٠١١٠٠٨٩٠٠٦	ميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات ج ٣ (الأساسات الضحلة)	٢/٢٠٢	١٣٩السنة٢٠٠١	
	٠١١٠٠٨٩٠٠٧	ميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات ج ٤ (الأساسات العميقة)	٣/٢٠٢	١٣٩السنة٢٠٠١	
	٠١١٠٠٨٩٠٠٨	ميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات ج٥ (الأساسات علي التربة ذات المشاكل)	٤/٢٠٢	١٣٩السنة٢٠٠١	
	٠١١٠٠٨٩٠٠٩	ميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات ج٦ (الأساسات المعرضة للإهتزازات الأحمال الديناميكية)	٥/٢٠٢	١٣٩السنة٢٠٠١	
	٠١١٠٠٨٩٠١٠	ميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات ج ٧ (المنشآت الساندة)	٦/٢٠٢	١٣٩السنة٢٠٠١	
	٠١١٠٠٨٩٠١١	ميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات ج ٨ (ثبات الميول)	٧/٢٠٢	١٣٩السنة٢٠٠١	
	٠١١٠٠٨٩٠١٢	ميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات ج ٩ (لأعمال الترابية ونزح المياه)	٨/٢٠٢	١٣٩السنة٢٠٠١	
	٠١١٠٠٨٩٠١٣	ميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات ج ١٠ (التأسيس علي الصخر)	٩/٢٠٢	٣٥٣السنة٢٠٠٤	
	٠١١٠٠٨٩٠١٤	ميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات ج ٢٠ (المصطلحات الفنية)	١٠/٢٠٢	٣٥٣السنة٢٠٠٤	
٣	٠١١٠٠٨٩٠١٥	الدليل الإسترشادى للكود المصرى للأساسات	١١/٢٠٢	ـــــ	دلائل الأساسات
	٠١١٠٠٨٩٠١٦	معجم ميكانيكا التربةوتصميم وتنفيذ الأساسات (إنجليزي - فرنسي - عربي)	١٢/٢٠٢	ـــــ	
٤	٠١١٠٠٨٩٠١٧	أعمال الطرق الحضريه والخلوية ج١ (الدراسات الأولية للطرق)	١/١٠٤	٣٦٩السنة٢٠٠٨	الطرق
	٠١١٠٠٨٩٠١٨	أعمال الطرق الحضريه والخلوية ج٢ (هندسة المرور)	٢/١٠٤	٣٦٩السنة٢٠٠٨	
	٠١١٠٠٨٩٠١٩	أعمال الطرق الحضريه والخلوية ج٣ (التصميم الهندسي)	٣/١٠٤	٣٦٩السنة٢٠٠٨	
	٠١١٠٠٨٩٠٢٠	أعمال الطرق الحضريه والخلوية ج٤ (مواد الطرق وإختباراتها)	٤/١٠٤	٣٦٩السنة٢٠٠٨	
	٠١١٠٠٨٩٠٢١	أعمال الطرق الحضريه والخلوية ج٥ (تصميم وإنشاء الجسور)	٥/١٠٤	٣٦٩السنة٢٠٠٨	
	٠١١٠٠٨٩٠٢٢	أعمال الطرق الحضريه والخلوية ج٦ (التصميم الإنشائى للطرق)	٦/١٠٤	٣٦٩السنة٢٠٠٨	
	٠١١٠٠٨٩٠٢٣	أعمال الطرق الحضريه والخلوية ج٧ (حماية الطرق من أخطار السيول والرمال المتحركة)	٧/١٠٤	٣٦٩السنة٢٠٠٨	
	٠١١٠٠٨٩٠٢٤	أعمال الطرق الحضريه والخلوية ج٨ (معدات تنفيذ الطرق)	٨/١٠٤	٣٦٩السنة٢٠٠٨	
	٠١١٠٠٨٩٠٢٥	أعمال الطرق الحضريه والخلوية ج٩ (إشتراطات تنفيذ أعمال الطرق داخل وخارج المدن)	٩/١٠٤	٣٦٩السنة٢٠٠٨	
	٠١١٠٠٨٩٠٢٦	أعمال الطرق الحضريه والخلوية ج١٠ (أعمال صيانة الطرق)	١٠/١٠٤	٣٦٩السنة٢٠٠٨	
٥	٠١١٠٠٨٩٠٧٢	الدليل الإسترشادى لكود الطرق الحضرية والخلوية	ـــــ	٣٦٩السنة٢٠٠٨	دليل الطرق
٦	٠١١٠٠٨٩٠٩٠	كود الكباري الجزء الأول (المجال والأهداف وأسس التصميم والمحتويات)	١/٢٠٧	٢٣٣السنة٢٠١٥	الكباري
	٠١١٠٠٨٩٠٩١	كود الكباري الجزء الثاني (تخطيط الكباري والتقاطعات العلوية)	٢/٢٠٧	٢٣٣السنة٢٠١٥	
	٠١١٠٠٨٩٠٩٢	كود الكباري الجزء الثالث (مواد وخلط الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد المستخدمة في الكبار	٣/٢٠٧	٢٣٣السنة٢٠١٥	
	٠١١٠٠٨٩٠٩٣	كود الكباري الجزء الرابع (الأحمال والقوي علي الكباري والتقاطعات العلوية)	٤/٢٠٧	٢٣٣السنة٢٠١٥	
	٠١١٠٠٨٩٠٩٤	كود الكباري الجزء الخامس (تحليل وتصميم الكباري الخرسانية)	٥/٢٠٧	٢٣٣السنة٢٠١٥	

وزارة الإسكان والمرافق والتنميه العمرانيه

المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء

إدارة المخازن

قائمة الكودات إعتباراً من ٢٠١٦/١/١٠ (٢)

م	كود رقم	الكـــود المصـــــــرى	الرقم الكودي	قرار وزارى	المجموعة
٦	٠١١٠٠٨٩٠٩٥	كود الكباري الجزء السادس(تحليل وتصميم الكباري المعدنية) (Analyisis&Design Of Steel Bridges)	٦/٢٠٧	٢٣٣لسنة٢٠١٥	الكباري
	٠١١٠٠٨٩٠٩٦	كود الكباري الجزء السابع (الركائز وفواصل التمدد والأسوار والحواجز)	٧/٢٠٧	٢٣٣لسنة٢٠١٥	
	٠١١٠٠٨٩٠٩٧	كود الكباري الجزء الثامن (الأساسات والأكتاف والحوائط الساندة)	٨/٢٠٧	٢٣٣لسنة٢٠١٥	
	٠١١٠٠٨٩٠٩٨	كود الكباري الجزء التاسع (تنفيذ الكباري الخرسانية المسلحة وسابقة الإجهاد والصلب)	٩/٢٠٧	٢٣٣لسنة٢٠١٥	
	٠١١٠٠٨٩٠٩٩	كود الكباري الجزء العاشر (صيانة ومراقبة الكباري والتقاطعات العلوية)	١٠/٢٠٧	٢٣٣لسنة٢٠١٥	
	٠١١٠٠٨٩١٠٠	ملحق عام لكود الكباري (إشتراطات إضافية للكباري الخرسانية سابقة الإجهاد) (الجزاء المجمعة)	٢٠٧	٢٣٣لسنة٢٠١٥	
٧	٠١١٠٠٨٩٠٢٧	التوصيلات الكهربائيه فى المبانى المجلد الأول (أسس التصميم)	٣٠٢	٥٩لسنة٢٠١٣	الكهرباء
	٠١١٠٠٨٩٠٢٨	التوصيلات الكهربائيه فى المبانى المجلد الثاني (شروط التنفيذ)	١/٣٠٢	٥٢٠لسنة٢٠١٢	
	٠١١٠٠٨٩٠٢٩	التوصيلات الكهربائيه فى المبانى المجلد الثالث (الإختبارات وإستلام الأعمال)	٢/٣٠٢	٥٣١لسنة٢٠١٣	
	٠١١٠٠٨٩٠٣٠	التوصيلات الكهربائيه فى المبانى المجلد الرابع (التأريض)	٣/٣٠٢	١٦لسنة ٢٠٠٤	
	٠١١٠٠٨٩٠٣١	التوصيلات الكهربائيه فى المبانى المجلد الخامس (الوقاية من الصواعق)	٤/٣٠٢	١٦لسنة ٢٠٠٤	
	٠١١٠٠٨٩٠٣٢	التوصيلات الكهربائيه فى المبانى المجلد السادس (تحسين معامل القدرة)	٥/٣٠٢	٨٢٩لسنة ٢٠١٤	
	٠١١٠٠٨٩٠٣٣	التوصيلات الكهربائيه فى المبانى المجلد السابع (التوافقيات)	٦/٣٠٢	١٦لسنة ٢٠٠٤	
	٠١١٠٠٨٩٠٣٤	التوصيلات الكهربائيه فى المبانى المجلد الثامن (الملامسات والبادئات المستعملة في التحكم للمحركات التأثيرية ثلاثية ا	٧/٣٠٢	١٦لسنة ٢٠٠٤	
	٠١١٠٠٨٩٠٣٥	تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات الكهربائيه فى المبانى المجلد التاسع (التحكم في الإضاءة)	٨/٣٠٢	١٦لسنة ٢٠٠٤	
	٠١١٠٠٨٩٠٣٦	تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات الكهربائيه فى المبانى المجلد العاشر (مولدات الطوارئ)	٩/٣٠٢	١٦لسنة ٢٠٠٤	
٨	٠١١٠٠٨٩٠٣٧	الدليل الإسترشادى لكود الكهرباء الجزء الأول (أعمال التصميم)	١٠/٣٠٢	———	دلائل الكهرباء
	٠١١٠٠٨٩٠٣٨	الدليل الإسترشادى لكود الكهرباء الجزء الثاني (تنفيذ الأعمال)	١١/٣٠٢	———	
	٠١١٠٠٨٩٠٣٩	الدليل الإسترشادى لكود الكهرباء الجزء الثالث (إستلام الأعمال)	١٢/٣٠٢	———	
٩	٠١١٠٠٨٩٠٦٦	الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ أعمال الإنارة (الإنـــارة ج ١)	٣٠٨	٣٦٨لسنة٢٠٠٨	الإنارة
	٠١١٠٨٩٠٧٣	الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ أعمال إنارة الطرق والأنفاق (الإنـــارة ج ٢)	٢/٣٠٨	٣٣٤لسنة٢٠١٠	
١٠	٠١١٠٠٨٩٠٤٠	الكود المصرى لتكييف الهواء والتبريد الجزء الأول (تكييف الهواء)	٣٠٤	١٣٩لسنة٢٠٠٤	التكييف
	٠١١٠٠٨٩٠٤١	الكود المصرى لتكييف الهواء والتبريد لجزء الثاني (التبريد)	١/٣٠٤	١٣٩لسنة٢٠٠٤	
	٠١١٠٠٨٩٠٤٢	الكود المصرى لتكييف الهواء والتبريد الجزء الثالث (أعمال التحكم والكهرباء)	٢/٣٠٤	١٣٩لسنة٢٠٠٤	
١١	٠١١٠٠٨٩٠٤٣	المنشآت والكبارى المعدنيه (A.S.D (Steel Construction	٢٠٥	٢٧٩لسنة٢٠٠١	STEEL
	٠١١٠٠٨٩٠٤٤	الكود المصرى لتنفيذ المنشآت المعدنية علي أساس الأحمال والمقاومة المعيارية L.R.F.D	١/٢٠٥	٣٥٩لسنة٢٠٠٧	
١٢	٠١١٠٠٨٩٠٤٥	أسس تصميم وإشتراطات تنفيذ أعمال المبانى ١٩٩٤	٢٠٤	٣٥١لسنة٢٠٠٤	المباني
١٣	٠١١٠٠٨٩٠٤٦	أسس تصميم وإشتراطات تنفيذ إستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف في مجال التشييد		٤٩٢لسنة٢٠٠٥	بوليمرات
١٤	٠١١٠٠٨٩٠٤٧	تحسين كفاءة إستخدام الطاقة في المباني الجزء الأول (المباني السكنية)	١/٣٠٦	٤٨٢لسنة ٢٠٠٥	تحسين
	٠١١٠٠٨٩٠٦٨	تحسين كفاءة إستخدام الطاقة في المباني الجزء الثاني (المباني التجارية)	٢/٣٠٦	١٩٠لسنة ٢٠٠٩	
			———	———	إستخدام الطاقة
١٥	٠١١٠٠٨٩٠٤٨	حساب الأحمال والقوى الإنشائيه وأعمال المبانى	٢٠١	٤٣١لسنة ٢٠١١	الأحمال

مخازن المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء

أحمد يوسف

وزارة الإسكان والمرافق والتنميه العمرانيه

المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء

إدارة المخازن

قائمة الكودات إعتباراً من ٢٠١٦/١/١٠ (٣)

م	كود رقم	الكـــود المصـــــرى	الرقم الكودي	قرار وزارى	المجموعة
١٦	٠١١٠٠٨٩٠٤٩	تصميم الفراغات الخارجيه والمبانى لإستخدام المعاقين	٦٠١	٣٠٣لسنة٢٠٠٣	المعاقين
١٧	٠١١٠٠٨٩٠٥٠	تصميم وإختيار أسس البياض الخارجى - الداخلى - الخاص	٤٠١	٤٥٤لسنة١٩٩١	البياض
١٨	٠١١٠٠٨٩٠٥١	الكود المصرى للحريق الجزء الأول (أسس التصميم وإشتراطات التنفيذ لحماية المنشآت من الحر	٣٠٥	١٥٢لسنة١٩٩٨	الحريق
	٠١١٠٠٨٩٠٥٢	الكود المصرى للحريق الجزء الثانى (متطلبات أنظمة خدمات المبنى للحد من أخطار الحريق)	١/٣٠٥	١٥٤لسنة٢٠٠٠	
	٠١١٠٠٨٩٠٥٣	الكود المصرى للحريق الجزء الثالث (أنظمة الكشف والإنذارعن الحريق)	٢/٣٠٥	٢٦٠لسنة١٩٩٩	
	٠١١٠٠٨٩٠٥٤	الكود المصرى للحريق الجزء الرابع (أنظمة الإطفاء بالمياه)	٣/٣٠٥	٣٤٤لسنة٢٠٠٧	
١٩	٠١١٠٠٨٩٠٥٥	إشتراطات الأمان للمنشآت متعددة الأغراض الجزء الأول (الجراجات)	ـــــ	٣٧٩لسنة٢٠٠٧	الجراجات
٢٠	٠١١٠٠٨٩٠٥٦	كود التركيبات الصحية في المباني الجزء الأول (أسس تصميم وشروط التنفيذ)	٣٠١	٥٣٢لسنة٢٠١٣	التركيبات الصحية
	٠١١٠٠٨٩٠٧٨	كود التركيبات الصحية في المباني الجزء الثانى (أعمال التغذيه بالمياه ومعالجة المياه فى التجمعات السكنيه الص	١/٣٠١	١٠لسنة٢٠١٢	
	٠١١٠٠٨٩٠٧٩	كود التركيبات الصحية في المباني الجزء الثالث (أعمال التغذيه بالمياه الساخنه وحمامات السباحه)	٢/٣٠١	٤٩لسنة١٩٩٩	
	٠١١٠٠٨٩٠٨٠	كود التركيبات الصحية في المباني الجزء الرابع (تجهيز المطابخ - المستشفيات - التخلص من القمامه)	٣/٣٠١	٤٠لسنة٢٠٠١	
٢١	٠١١٠٠٨٩٠٥٧	كود المحطات المجلد الأول أسس تصميم وشروط تنفيذ محطات الرفع (صرف صحى)	١٠١	١٦٨لسنة١٩٩٧	المحطات
	٠١١٠٠٨٩٠٥٨	كود المحطات المجلد الثانى أسس تصميم وشروط تنفيذ أعمال المعالجه (صرف صحى)	١/١٠١	١٦٩لسنة١٩٩٧	
	٠١١٠٠٨٩٠٥٩	كود المحطات المجلد الثالث أسس تصميم وشروط تنفيذ محطات التنقيه (مياه الشرب)	٢/١٠١	٥٢لسنة ١٩٩٨	
	٠١١٠٠٨٩٠٦٠	كود المحطات المجلد الرابع أسس تصميم وشروط تنفيذ الروافع (مياه الشرب)	٣/١٠١	٥٣لسنة ١٩٩٨	
٢٢	٠١١٠٠٨٩٠٦١	تصميم وتنفيذ خطوط المواسير لشبكات مياه الشرب والصرف الصحى	١٠٢	٩٧لسنة٢٠١٠	المواسير
٢٣	٠١١٠٠٨٩٠٦٢	كود الريوز (إستخدام مياه الصرف الصحى المعالجه فى مجال الزراعه)	٥٠١	٣٨٣لسنة٢٠١٥	الريوز
	٠١١٠٠٨٩٠٨١	الملحق الأول لكود الريوز (الدليل الإرشادى لإستغلال مياه الصرف الصحى المعالجه فى مجال الزراعه)	١/٥٠١	٣٨٣لسنة٢٠١٥	
٢٤	٠١١٠٠٨٩٠٨٣	أسس تصميم وشروط تنفيذ المصاعد في المباني الجزء الأول (المصاعد الكهربائية)	١/٣٠٣	١٣٦لسنة٢٠٠٧	المصاعد
	٠١١٠٠٨٩٠٨٤	أسس تصميم وشروط تنفيذ المصاعد في المباني الجزء الثانى (المصاعد الهيدروليكية)	٢/٣٠٣	١٣٦لسنة٢٠٠٧	
	٠١١٠٠٨٩٠٨٥	أسس تصميم وشروط تنفيذ المصاعد في المباني الجزء الثالث (السلالم والمشايات الكهربائية)	٣/٣٠٣	٣٣١لسنة٢٠١٠	
	٠١١٠٠٨٩٠٦٣	أسس تصميم وشروط تنفيذ المصاعد في المباني الجزء الرابع (مصاعد البضائع فقط)	٤/٣٠٣	٤٤٠لسنة٢٠١٥	
٢٥	٠١١٠٠٨٩٠٦٤	تشغيل وصيانة محطات تنقية مياه الشرب وروافعها وشبكاتها الجزء الأول (محطات تنقية مياه الشرب)	١/١٠٣	٣٣١لسنة٢٠٠٧	تشغيل وصيانة
	٠١١٠٠٨٩٠٦٥	تشغيل وصيانة محطات تنقية مياه الشرب وروافعها وشبكاتها الجزء الثاني (صيانة شبكات المياه)	٢/١٠٣	٣٣١لسنة٢٠٠٧	مياه الشرب
٢٦	٠١١٠٠٨٩٠٦٧	الكود المصري لإدارة مشروعات التشييد	٣١١	٣٦٤لسنة٢٠٠٩	التشييد
٢٧	٠١١٠٠٨٩٠٦٩	الكود المصري لمعايير تصميم المسكن والمجموعة السكنية	٦٠٢	٨٠لسنة٢٠٠٩	المسكن والسكنية
٢٨	٠١١٠٠٨٩٠٧٠	المعايير التصميمية والمنشآت الصحية كود المستشفيات ج١(مكونات عامة - مركزية - خاصة ومتطلباتها)	١/٦٠٣	٢٢٢لسنة٢٠١٠	المستشفيات
	٠١١٠٠٨٩٠٧٧	المعايير التصميمية والمنشآت الصحية كود المستشفيات ج٢(متطلباتهاوالشبكات الخدميةومعايير الحفاظ علي بيئة نظيفة	٢/٦٠٣	٣٧٥لسنة٢٠١١	
	٠١١٠٠٨٩٠٨٦	المعايير التصميمية والمنشآت الصحية كود المستشفيات ج٣ (تطوير المباني القائمة)	ـــــ	٨٢٨لسنة٢٠١٤	
٢٩	٠١١٠٠٨٩٠٧٦	الكود المصري للتهوية في المباني	ـــــ	١٦٠لسنة٢٠١٣	التهوية
٣٠	٠١١٠٠٨٩٠٨٩	أسس تصميم وإشتراطات تنفيذ عزل الرطوبة والمياه في المباني	ـــــ	٥٥٩لسنة٢٠١٢	عزل رطوبة
٣١	٠١١٠٠٨٩٠٨٧	الكود المصري لأخلاقيات وقواعد سلوكيات ممارسة مهنة الهندسة (المسودة النهائية)	ـــــ	٢٢٣لسنة٢٠١٣	أخلاقيات الهندسة

وزارة الإسكان والمرافق والتنميه العمرانيه

المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء

إدارة المخازن

قائمة الكودات إعتباراً من ٢٠١٦/١/١٠ (٤)

م	كود رقم	الكـــود المصـــــرى	الرقم الكودي	قرار وزارى	المجموعة
٣٢	٠١١٠٠٨٩٠٨٨	الكود المصري لتنفيذ أعمال الصوتيات والتحكم في الضوضاء للمباني	ـــــ	٥٧٨لسنة٢٠١٣	الصوتيات والضوضاء
١	٠١١٠٠٨٩٢٠٠	دليل معايير تنسيق عناصر الطرق	ـــــ	ـــــ	معايير وكتب
٢	٠١١٠٠٨٩٢٠١	الأسس والمعايير التخطيطية للمجتمعات العمرانية في جنوب الوادي	ـــــ	ـــــ	
٣	٠١١٠٠٨٩٢٠٣	الكتاب المصرى لندوة المسكن الملائم	ـــــ	ـــــ	

قائمة مواصفات بنود الأعمال الصادرة من المركز

م	كود رقم	مواصفات بنود الأعمال	الرقم الكودي	قرار وزارى	المجموعة
١	٠١١٠٠٨٩٤٠٠	مواصفات بنود أعمال النجاره	٣/٩٠٢	٢٠٧لسنة٩٤	مواصفات
٢	٠١١٠٠٨٩٤٠١	مواصفات بنود أعمال الألومنيوم	٤/٩٠٢	٢٢٠لسنة٩٤	
٣	٠١١٠٠٨٩٤٠٢	مواصفات بنود أعمال الصحيه	١/٩٠٢	٢٠٥لسنة٩٤	
٤	٠١١٠٠٨٩٤٠٣	مواصفات بنود أعمال الأرضيات والتكسيات وأعمال الرخام	٢/٩٠٢	٢٠٦لسنة٩٤	
٥	٠١١٠٠٨٩٤٠٤	مواصفات بنود أعمال عزل الرطوبه والمياه	٦/٩٠٢	٢٠٥لسنة٩٥	
٦	٠١١٠٠٨٩٤٠٥	مواصفات بنود أعمال الدهانات	٨/٩٠٢	٢٠٧لسنة٩٥	
٧	٠١١٠٠٨٩٤٠٦	مواصفات بنود أعمال الخرسانه والخرسانه المسلحه	٧/٩٠٢	٢٠٦لسنة٩٥	
٨	٠١١٠٠٨٩٤٠٧	مواصفات بنود الأعمال الترابيه (الحفر والردم)	٥/٩٠٢	٢٠٤لسنة٩٥	
٩	٠١١٠٠٨٩٤٠٨	مواصفات بنود أعمال المصروفات العموميه والإلتزامات الماليه	٩/٩٠٢	٢٥٦لسنة٩٥	
١٠	٠١١٠٠٨٩٤٠٩	مواصفات بنود أعمال الحداده المعماريه	١١/٩٠٢	١٦٦لسنة٩٧	بنود
١١	٠١١٠٠٨٩٤١٠	مواصفات بنود أعمال البياض	١٠/٩٠٢	١٦٤لسنة٩٧	
١٢	٠١١٠٠٨٩٤١١	مواصفات بنود أعمال العزل الحرارى	١٣/٩٠٢	١٧٦لسنة٩٨	
١٣	٠١١٠٠٨٩٤١٢	مواصفات بنود أعمال الكهرباء (جزء أول)	١٢/٩٠٢	١٧٣لسنة٩٨	
١٤	٠١١٠٠٨٩٤٢٢	مواصفات بنود أعمال الكهرباء (جزء ثانى)	١٢/٩٠٣	١٧٣لسنة٩٩	
١٥	٠١١٠٠٨٩٤١٣	عقد خدمات إستشاريه هندسيه للدراسات والتصميمات (نموذج إسترشادى)	١/٩٠١	٢٢١لسنة٩٤	الأعمال
١٦	٠١١٠٠٨٩٤١٤	عقد خدمات إستشاريه هندسيه للإشراف على التنفيذ (إدارة التشييد)	٣/٩٠١	٢٢٣لسنة٩٤	
١٧	٠١١٠٠٨٩٤١٥	الشروط العامه لعقد أعمال المقاولات (نموزج إسترشادى)	٢/٩٠١	٢٢٢لسنة٩٤	
١٨	٠١١٠٠٨٩٤١٦	عقد تصميم وتنفيذ (بتمويل من المالك)	٥/٩٠١	٢٤٦لسنة٩٩	
١٩	٠١١٠٠٨٩٤١٧	عقد مشترك خدمات إستشاريه هندسيه للدراسات والتصميمات والإشراف المستمر على التنفيذ	٤/٩٠١	١٦٥لسنة٩٧	
٢٠	٠١١٠٠٨٩٤١٨	مواصفات بنود أعمال الخرسانه ذاتية الدمك	ـــــ	٣٦٠لسنة٢٠٠٧	
٢١	٠١١٠٠٨٩٤١٩	المواصفات الفنية للقطاعات المصنعة من UPVC	ـــــ	٣٦٠لسنة٢٠٠٧	
٢٢	٠١١٠٠٨٩٤٢٠	المواصفات الفنية لصناعة الخرسانه في الأجواء الحارة	ـــــ	٣٦٠لسنة٢٠٠٧	
٢٣	٠١١٠٠٨٩٤٢١	المواصفات الفنية للخرسانه الجاهزة عادية الوزن والإشتراطات الفنية والبيئية لمحطات الخلط	ـــــ	٣٦٠لسنة٢٠٠٧	

مخازن المركز القومى لبحوث الإسكان والبناء

أحمد يوسف