

تأثير التغليف الخارجي بصفائح الألياف الزجاجية على مقاومة انتقال القص المباشر للخرسانة

بيار جعفر محمد السليفاني عشتار صالح أحمد اللهيبي

جامعة الموصل/كلية الهندسة/قسم الهندسة المدنية

الخلاصة

يحتوي هذا البحث على نتائج عملية لدراسة تقصّت عن موضوع التقوية الحاصلة في مقاومة انتقال القص المباشر للخرسانة باستخدام التغليف الأحادي الاتجاه بوساطة صفائح الألياف الزجاجية. أجريت هذه الدراسة من خلال صب ثمان نماذج من نماذج نوع الدفع (Push-off Specimens) قسمت هذه النماذج إلى أربع مجاميع، المجموعة الأولى لم تغلف على اعتبار أنها نماذج مرجعية أما باقي المجاميع فتتألف من نموذجين المتغير الوحيد في هذه المجاميع هو درجة التقوية أو بالأحرى عدد طبقات التغليف، إذ تم تغليف المجموعة الثانية والثالثة والرابعة بطبقة وطبقتين وثلاث طبقات على التوالي، فحست هذه النماذج من خلال تسليط قوة عمودية على النموذج ولغاية الفشل، بعد إجراء الفحص أظهرت النتائج أن هناك زيادة واضحة في مقدار مقاومة انتقال القص للنماذج المغلفة بثلاث طبقات وصلت إلى حوالي (33%) نسبة إلى النماذج غير المغلفة، كما أن هناك زيادة واضحة في طاقة الامتصاص للنماذج تبعاً بزيادة طبقات التغليف.

Effect Of Externally Bonded Gfrp Sheets On The Shear Transfer Capacity Of Concrete

Bayar J. Al-Sulayfani

Professor

University of Mosul/College of Engineering/Civil Engg. Dept.

Ashtar S. Al-Luhybi

Assistant Lecturer

Abstract

The current research includes practical results of study and investigated the subject of strengthening the shear strength through uniaxial confinement (one direction) using GFRP Sheets. This study was carried out by casting eight specimens (the push-off specimens group) which was divided in to four groups, the first non confined, being the reference group, the remaining groups consisted of two specimens each with only one variable being the degree of strengthening that is the numbers of confinement layers. The second, third, and fourth group were confined with one, tow, and three layers respectively. All specimens were tested through the application of a vertical load up to failure. The result indicated that there is a clear indication of shear strength increase amounting to 33% relative to the reference specimens (non confined), also there was a noticeable increase in the absorption capacity as a function of the number of confinement layers.

Key words: Strengthening, Shear Transfer on concrete, GFRP Sheets, Push-off specimens.

المقدمة

إن اكتشاف مواد البوليمر ومادة الايبوكسي بالتحديد كمادة رابطة ساهم بشكل كبير في استحداث تقنية جديدة لتقوية وإعادة تأهيل الأعضاء الخرسانية المسلحة، تمثلت هذه التقنية باستخدام الصفائح المعدنية كتسليح خارجي، حيث استخدمت هذه التقنية في أواخر الستينيات وشاع استخدامها كثيراً في تلك المدة نتيجة النجاح الذي حققته في مجال إعادة التأهيل، حيث ثبت أنها وسيلة فعالة في زيادة مقاومة الانثناء للعتبات [1]، ورغم كل محاسن معدن الحديد والفوائد العائدة من استخدامه، إلا أنه لم يخلو من المشاكل، فقد عانى المهندسون من مصاعب كثيرة نتيجة استخدامه تسليحاً خارجياً وذلك لصعوبة التعامل معه بسبب حجمه وثقل وزنه وصعوبة تثبيته الذي يؤدي إلى تكوين مناطق اتصال غير مرغوب بوجودها في المنشآت الخرسانية [2]، إضافة إلى مشكلة الصدأ ولعل ما سبق يعطل سبب النزوع الدائم الذي كان لدى المختصين في البحث عن مواد بديلة تغني عن استخدام معدن الحديد ويتلاءم استعمالها مع جميع المنشآت التي تعذر على معدن الحديد تقويتها، فالياف البوليمر بمقاومتها للرطوبة والتآكل والحرارة والظروف الجوية القاسية والعامل الكيميائي إضافة إلى ذلك أن مقاومتها عالية نسبة إلى وزنها كما أنها مواد غير موصلة فهي مواد عازلة للحرارة والكهرباء، وكثافتها واطئة ولا تحتاج إلى صيانة مستمرة ومن الممكن ربطها على الأعضاء الخرسانية [3].

أهمية البحث

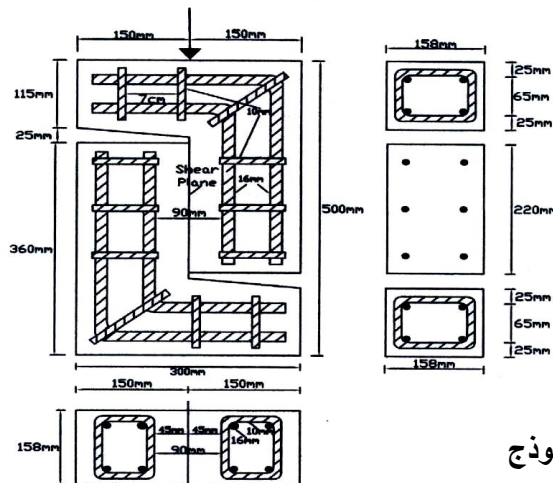
ترجع أهمية البحث الحالي إلى أن مقاومة القص هي من الخصائص المهمة والمعقدة التي تتصف بها الخرسانة [4].

تتعرض المنشآت الخرسانية لأضرار كبيرة نتيجة حدوث بعض الكوارث الطبيعية كالزلازل والأعاصير أو نتيجة تعرضها لأحمال صدمية كالانفجارات ولقد وجد أن أغلب الأعضاء الخرسانية الموجودة في هذه المنشآت المتضررة تعرضت لفشل قص، يحدث هذا النوع من الفشل نتيجة عدة أسباب كأن يكون تسليح القص ناقص غير كافي، أو نتيجة حدوث نقصان في مساحة التسليح لأصابتها بالصدأ، أو نتيجة حدوث زيادة في الأحمال الخدمية [5]. ولقلة البحوث التي تدرس التقوية الحاصلة في مقاومة القص للخرسانة بوساطة التغليف الخارجي باستخدام ألياف البوليمر مقارنة بالبحوث التي تدرس تأثير التغليف على مقاومة الانثناء تم القيام بدراسة تتحرى عن تأثير التقوية الخارجية بصفائح الألياف الزجاجية على مقاومة القص المباشر للخرسانة والتي ستكون بمثابة دليل وقاعدة بيانات ومعلومات للبحوث والدراسات المستقبلية التي ستجرى في هذا المجال.

البرنامج العملي:

نموذج الفحص

تم استخدام نموذج فحص الدفع (Push-off Specimen) كنموذج تجري عليه الدراسة الحالية، عرض وطول وعمق النموذج موحد لجميع النماذج التي تم صبها وهي (300×158×500mm)، أبعاد وتفصيل التسليح الداخلي للنموذج موضحة في الشكل (1)، إن الفشل الناتج عن هذا الفحص هو فشل قص صرف (Pure Shear Failure) وللحصول على هذا الفشل يتطلب أن يكون الحمل المسلط على النموذج حملاً مركزاً يُسلط على مستوي الفشل تماماً لأن إزاحة الحمل المسلط ولو بمسافة صغيرة يمين أو يسار مستوي الفشل يؤدي إلى حدوث فشل قص مصحوب بعزم. تسليط الحمل على سطح هذا النموذج لم يكن بشكل مباشر، إذ يسلمط الحمل عن طريق مدحرجات (Rollers) على قطعة معدنية (Steel Plate) بعرض (130mm)، الهدف من ذلك هو لتلافي حدوث الحصر الخارجي الجانبي الحاصل من أجزاء جهاز الفحص [6].



الشكل (1): أبعاد وتفصيل التسليح الداخلي للنموذج

خواص المواد المستخدمة في الدراسة

الخرسانة: جميع النماذج والبالغ عددها (8) تم صبها من خلطة خرسانية واحدة النسب الوزنية للأسمنت/الرمل/الحصى/الماء هو 0.45/3/1.5/1 على التوالي، تم استخدام الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي، الرمل من نوع متوسط النعومة ومعامل النعومة له يساوي (2.725)، أما الحصى فهو حصى نهري ذو مقاس أقصى يساوي (20mm)، مقاومة الانضغاط للأسطوانة الخرسانية كانت بمقدار (36MPa).

حديد التسليح: من متطلبات تصميم هذه النماذج أن يتوفر فيها قضبان حديدية لتقوية أجزائها العلوية والسفلية والجوانب لتركيز الفشل في المنطقة الوسطية على طول مستوي الفشل (220mm) وكما موضح في الشكل (2)، حيث أحتوى النموذج على نوعين من القضبان الحديدية، النوع الأول هو بقطر (16mm) مقاومة الخضوع ومقاومة الشد له تساوي (462MPa) و (650MPa) على التوالي، والنوع الثاني هو بقطر (10mm) مقاومة الخضوع ومقاومة الشد له تساوي (627MPa) و (752MPa) على التوالي.



الشكل (2): التسليح الداخلي للنماذج

المادة الرابطة: إن عملية تغليف الأعضاء الخرسانية بصفائح الألياف الزجاجية لا يتم إلا بوجود مادة رابطة، تعمل هذه المادة على ربط صفائح الألياف الزجاجية على سطح الخرسانة بإحكام. حيث تم استخدام الأيبوكسي واطئ اللزوجة (Epoxy EP10) وتتكون هذه المادة من جزأين رئيسيين هما الماد الصمغية (Resin) والمادة المصلدة (Hardener)، نسبة المزج بينهما هي (1:3)، خصائص ومواصفات هذه المادة مبينة في الجدول (1).

الجدول (1): خواص الأيبوكسي نوع (Epoxy EP10)

Propertise	Result of Testing
Pot. Life	90 min. @ 20°C 40 min. @ 35°C
Density	1060 Kg/m ³
Tensile Strength	29 N/mm ² @ 7days
Flexural Strength	91 N/mm ² @ 7days
Compressive Strength	57 N/mm ² @ 1days 66 N/mm ² @ 3 days 83 N/mm ² @ 7 days

صفائح الألياف الزجاجية: تمتاز صفائح الألياف الزجاجية بأن لها قابلية تحمل جيدة وتمتلك قابلية على الاستطالة تفوق قابلية ألياف الكربون والارميد [7]، فضلاً عن كلفتها الواطئة مقارنة بألياف الكربون. من الفحوصات المهمة التي تم إجراؤها هو فحص الشد أحادي المحور لصفائح الألياف الزجاجية وذلك بغية تثبيت خصائصها ذات العلاقة بهذه الدراسة كأقصى إجهاد شد تتحمله الألياف، معامل المرونة، وأقصى انفعال يمكن أن تبديته الألياف عند الفشل، الجدول (2) يوضح مواصفات الألياف الزجاجية.

الجدول (2): خصائص صفائح الألياف الزجاجية

Properties	Tensile Strength (MPa)	Modulus of Elasticity (MPa)	Thickness(mm)
GFRP Sheet coated with Epoxy (Epoxy EP10)	108	30×10^3	1.07

تغليف النماذج

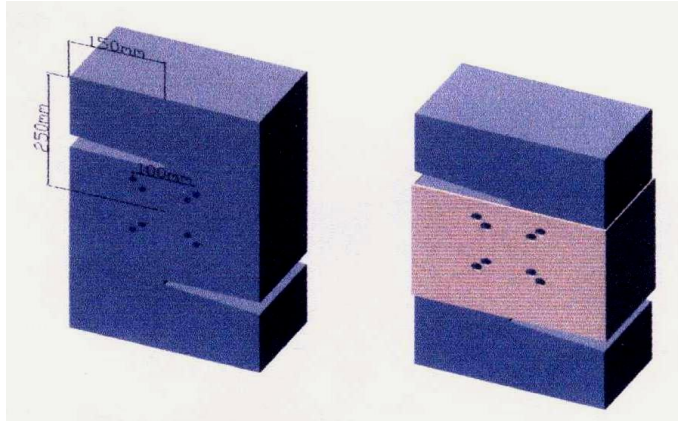
- بعد تصلب الخرسانة تبدأ مرحلة التغليف، حيث تتكون هذه المرحلة من عدة خطوات تتمثل:
- تنظيف سطح النموذج، فبعد استخراج النماذج من أحواض المعالجة تنظف جيداً بالماء ثم تترك لتجف، يلي ذلك عملية تخشين السطح بواسطة فرشاة معدنية، الغرض من ذلك هو جعل السطح أكثر نفاذية تستقر عليه المادة الرابطة بشكل جيد، ثم يُنظف السطح بعد ذلك من الغبار ونتائج التخشين بواسطة الهواء المضغوط، مع التأكيد على خلو السطح لأي مظهر من مظاهر الرطوبة لأنها تؤثر على عملية التغليف، هذه الخطوة هي التي تقرر نوعية التغليف، تُغطى النماذج بعد هذه الخطوة لحين المباشرة بلصق صفائح الألياف الزجاجية على سطحها.
 - تجهيز صفائح الألياف الزجاجية بالأبعاد والأعداد المطلوبة لكل نموذج، وهنا يجب التنويه أنه عند التغليف يجب إضافة طول مقداره (50mm) (كطول تداخل ملائم يضمن عدم الفشل في منطقة الربط) على طول الصفائح المُعدّة لهذه النماذج الغرض منه هو الحصول على ربط متداخل كامل.
 - ويتم فيها تهيئة المادة الرابطة وهي الأيبوكسي، إذ يتم مزج المادة الصمغية (Resin) والمادة المصلدة (Hardener) بنسبة (1:3)، تُخلط المادتان بإستعمال مزاجة ميكانيكية ولمدة لا تقل عن دقيقة لكي يتم الحصول على مزيج متجانس (وحسب المواصفات المشار إليها للمادة).
 - معاملة صفائح الألياف الزجاجية بالمادة الرابطة لضمان تشبعها بشكل جيد، ثم معاملة سطح النموذج بطبقة من الأيبوكسي بإستخدام فرشاة صبيغ، حيث يتم وضع الصفائح عند أحد الأطراف ثم تُلف الصفائح وصولاً إلى نقطة البداية، يُرافق عملية لف ولصق الصفائح على سطح النماذج ضغط مستمر، فائدة هذا الضغط هي:
 1. التخلص من الفراغات التي قد تحصل بين الصفائح والسطح نتيجة وجود بعض الجيوب الهوائية.
 2. الحصول على سمك ثابت لطبقة الأيبوكسي بإخراج الزائد من المادة ثم ازالته.
 وفي حال التغليف بأكثر من طبقة فإنه يتم وضع طبقة من مادة الأيبوكسي على السطح الخارجي لصفائح الألياف الزجاجية وقبل تصلبها وتُعاد نفس الخطوة السابقة مرة أخرى.
 - يتم تثبيت صفائح الألياف الزجاجية على سطح الخرسانة بشكل محكم لحين تصلب الأيبوكسي بشكل ابتدائي، ولعمل ذلك تم تهيئة ألواح خشبية بنفس أبعاد النماذج الخرسانية، إذ يتم وضع الألواح على سطح النموذج ومن ثم تثبيتها بواسطة أدوات ومعدات ميكانيكية على طول النموذج ومن الأربعة جهات، وكما موضح في الشكل (3).



الشكل(3): نماذج فحص القص أثناء فترة التثبيت

فحص النماذج

بعد إكمال مرحلة التغليف وانتهاء مدة المعالجة تم تثبيت أقرص قياس الأنفعال على السطح الأمامي للنموذج وذلك لغرض قياس الأنفعال للخرسانة بالاتجاه الأفقي والعمودي وبالاتجاه المائل بزاوية (45°) على مستوي الفشل، ولقياس هذا الأنفعال للنماذج المغلفة تم تنقيب صفائح الألياف الزجاجية بوسيلة ميكانيكية في الأماكن المؤشرة ومن ثم تنظيف سطح الخرسانة الظاهر من الثقوب بورق الصقل ليتم لصق أقرص قياس الأنفعال على سطح النماذج وعلى نفس الأبعاد المثبتة بها الأقرص في النماذج غير المغلفة وكما موضح في الشكل(4).



الشكل(4): تثبيت أقرص قياس الأنفعال بالنسبة للنماذج المغلفة

فُحصت النماذج باستخدام جهاز هيدروليكي (Universal Testing Machine) ذو سعة (490kN) ، الشكل(5) يوضح النموذج (S1-0) وهو داخل جهاز الفحص، سُلط الحمل بشكل تزايدى لغاية حدوث الفشل، ولكل زيادة في الحمل تم قياس الأنفعال بالاتجاه الأفقي والعمودي وبالاتجاه المائل بزاوية (45°) على مستوي الفشل، من الجدير إنه لم يتم تغيير زاوية مستوي الفشل (Shear Plane) وعليه فإن طول مستوي القص سيكون ثابتاً لجميع النماذج والذي يساوي (220mm) .



الشكل(5): نموذج فحص القص (S1-0) داخل جهاز الفحص

النتائج

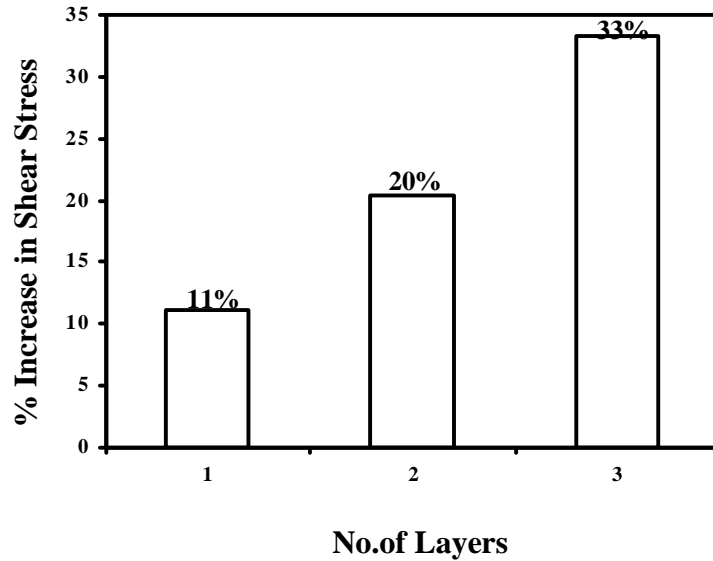
إجهاد القص: الجدول(3) يوضح قيم أقصى حمل قص تحملته النماذج إضافة إلى قيم أقصى إجهاد قص أبدتها النماذج التي يُمكن الحصول عليها بقسمة قوة القص على مساحة مستوي الفشل و المساوية (158×220mm).

الجدول(3): نتائج نماذج فحص القص

Specimen	No. of layout	Average Comp. Strength (MPa)	Shear force V_u (kN)	Average Shear force V_u (kN)	Shear Stress (MPa) τ	Average Shear Stress (MPa) τ
S1-0	0	35.5	177.5	186	5.1	5.4
S2-0			195.2		5.6	
S3-1	1	36.2	213.8	208	6.2	6
S4-1			202		5.8	
S5-2	2	36.8	225.6	223.6	6.5	6.45
S6-2			221.6		6.4	
S7-3	3	36.5	250.1	251.8	7.2	7.25
S8-3			253.5		7.3	

*قيم مقاومة الأنضغاط تم الحصول عليها بعد فحص أسطوانات قياسية بإبعاد (150×300mm)

من خلال ملاحظة النتائج المبينة في الجدول (3)، يلاحظ إن مقاومة القص للنماذج المركبة تزداد بشكل واضح تبعاً للزيادة الحاصلة في عدد طبقات التغليف، حيث تصل نسبة هذه الزيادة إلى قيمة (33.3%) عند تغليف النماذج بثلاث طبقات، وبإمعان النظر في النتائج يمكن أستنتاج أن هناك علاقة بين عدد طبقات التغليف وبين نسب الزيادة في قيم مقاومة القص فقد لُوحظ أن نسبة الزيادة الحاصلة في قيم مقاومة القص لم تكن نسب زيادة عشوائية والدليل على ذلك هو رؤية نتائج حاصل قسمة نسب الزيادة لكل نموذج مُغلف على عدد طبقات تغليفه، فالزيادة الحاصلة في مقاومة القص لكل طبقة هي (11%) و(10%) و(11%) للنماذج المغلفة بطبقة وطبقتين وثلاث طبقات على التوالي، الأمر الذي يؤكد وجود علاقة طردية خطية بين عدد طبقات التغليف وبين نسب الزيادة، الشكل (6) يوضح نسب الزيادة الحاصلة في قيم مقاومة القص نتيجة التغليف بصفائح الألياف الزجاجية.



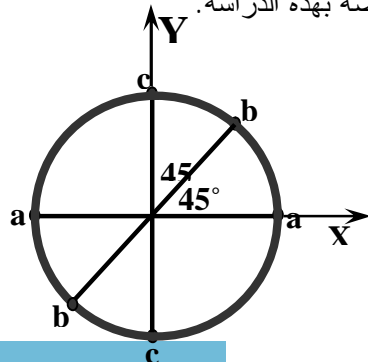
الشكل (6): نسب الزيادة الحاصلة في قيم مقاومة القص المباشر

تبعاً للزيادة الحاصلة في عدد طبقات التغليف

الانفعال: لكل زيادة في الحمل أخذت قراءات الأنفعال بالاتجاهين الأفقي والعمودي وبالاتجاه المائل بزواوية (45°) على مستوي الفشل، فبالنسبة لقراءات الأنفعال بالاتجاه الأفقي فقد كانت هذه القراءات تزداد لكل حمل مُسلط مُشيرة بذلك إلى حدوث اتساع عرضي للخرسانة بهذا الإتجاه، على عكس ما كان يحدث لقراءات الأنفعال بالاتجاه العمودي التي كانت في نقصان مستمر لغاية الفشل نتيجة الضغط المستمر على النموذج بهذا الإتجاه، نسب الزيادة والنقصان في قراءات الأنفعال بالاتجاهين الأفقي والعمودي اختلفت تماماً بعد تغليف النماذج بصفائح الألياف الزجاجية، تعذر قياس الانفعال للنماذج لغاية الفشل بسبب:

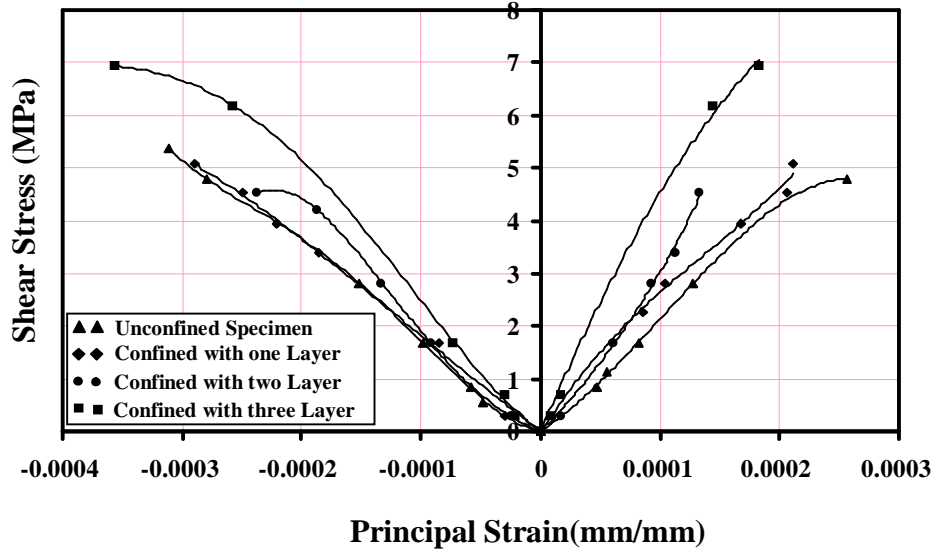
- صعوبة السيطرة على الحمل المسلط لغاية الفشل.
- انفصال أقراص قياس الانفعال أحياناً أثناء الفحص.

قياس الانفعال عند مركز النموذج بالاتجاه الأفقي وبالاتجاه العمودي وبالاتجاه المائل بزواوية (45°) على مستوي الفشل هي تركيبية مشابهة لإحدى حالتها وردة الانفعال (Strain Rosette) [8]، حيث يمكن حساب اتجاه الاجهادين الرئيسيين (Principal Stresses) إضافة إلى مقداريهما وذلك بعد معرفة قيم الانفعالات الرئيسية (Principal Strains)، الشكل (7) والموضح في أدناه يبين وردة الانفعال الخاصة بهذه الدراسة.



الشكل (7): وردة الانفعال ذات (45°) أو المتعامدة [8]

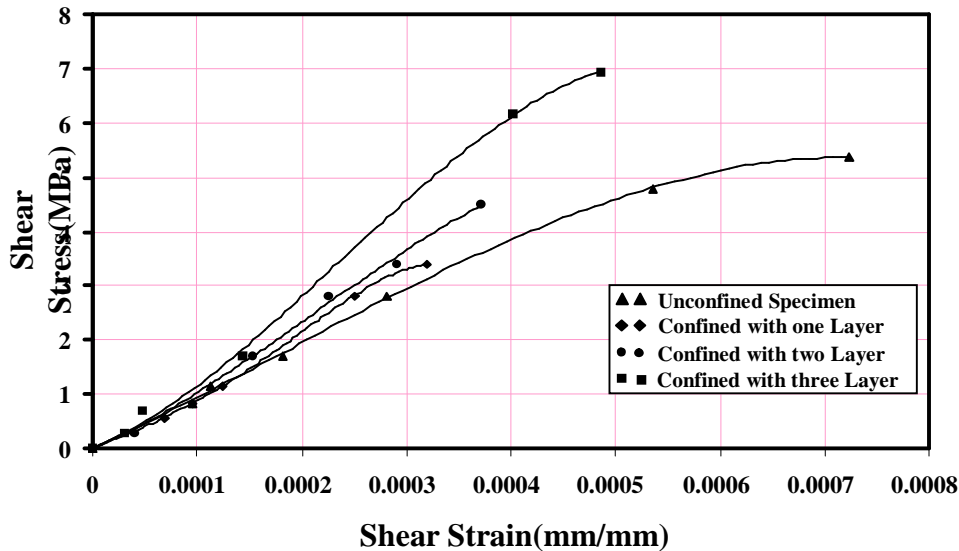
وباستخدام زوايا الانفعالات الثلاثة الخطية والاستفادة من المعادلات الخاصة بهذه الحالة يمكن إنشاء دائرة الانفعال، التي من خلالها يمكن حساب قيم الانفعالات الرئيسية وقيم أقصى انفعال قصص (Ultimate Shear Strain)، ومن ثم رسم منحنيات تمثل العلاقة بين إجهاد القص مع القيم المستخرجة من هذه الدائرة وبالتالي استنتاج تأثير التغليف بصفائح الألياف الزجاجية على هذه النتائج، فالشكل (8) يوضح منحنى العلاقة (إجهاد القص - الانفعالات الرئيسية).



الشكل (8): منحنى علاقة (إجهاد القص - الانفعالات الرئيسية) للنماذج غير المغلفة والنماذج المغلفة

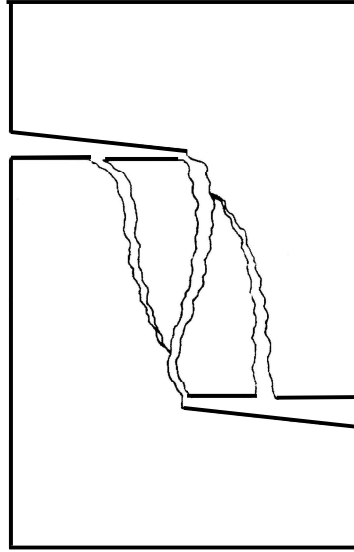
من الأمور التي يُمكن ملاحظتها في هذا الشكل هو أن طاقة الامتصاص للنماذج المغلفة أعلى من النماذج غير المغلفة، كما يُمكن ملاحظة ظهور منطقة اللدونة (Plastic Zone) في بعض منحنيات هذا الشكل إذ تبدأ قيم الانفعال بالزيادة السريعة عند أحمال قريبة من حمل الفشل وهي أحمال متقاربة والزيادات بينها قليلة التي كان يصعب تسجيلها لعدم السيطرة على الحمل في المراحل الأخيرة من الفحص.

أما الشكل (9) فيوضح منحنى العلاقة بين إجهاد القص وانفعال القص (Shear Stress- Strain)، حيث يُلاحظ أن ميلان المنحنيات في بداياتها أو في المراحل المبكرة من الفحص متقاربة جداً لا تظهر عليها تأثيرات التقوية الخارجية تستمر المنحنيات على هذا الحال لغاية إجهاد معين ثم تبدأ بعدها مرحلة أخرى تشهد المنحنيات فيها زيادة واضحة في ميلانها وهنا يُمكن القول أن التغليف الخارجي بدأ يأخذ دوره في تقوية النماذج، ميلان المنحنيات أو بصيغة أخرى جساءة النماذج تزيد مع زيادة عدد طبقات التغليف، من الممكن القول أن المرحلة التي سبقت ظهور تأثير التغليف كانت مرحلة قبل التشقق والمرحلة التي تلتها هي المرحلة التي تعرض فيها النموذج لأحمال أدت إلى ظهور الشقوق فيه.



الشكل (9): منحنى علاقة (إجهاد القص - انفعال القص)

فشل النمادج: من المعروف أن فشل نموذج القص للخرسانة المسلحة هو فشل فجائي و يكون بشكل انكسار قصيف (Brittle Fracture)، وكلما كانت مقاومة أنضغاط الخرسانة عالية كان الفشل عنيفاً وقصيفاً أكثر (Further Brittleness) [9]. فشل النمادج غير المغلف كان مطابقاً للفشل النموذجي الموصوف من قبل Khaloo and Kim [9]، إذ يبدأ بحدوث شقوق رقيقة (Fine Cracks) على جانبي الفشل الرئيس في الثلث الأخير من الفحص وعلى مسافات صغيرة من مستوي الفشل من الأعلى والأسفل وبزيادة الحمل تبدأ هذه الشقوق بالامتداد -طولاً وعمقاً- إلى أن تنفصل هذا إضافة عن حدوث الفشل الرئيس الذي يتمثل بانفصال النمادج عند مستوي الفشل، ولهذا نرى أنه عند فشل النمادج تنفصل عنه عدة قطع، الشكل (10) يوضح شكل الفشل النموذجي لنموذج فحص القص، والشكل (11) يوضح شكل الفشل للنموذج (S1-0) غير المغلف الخاص بالدراسة الحالية.



الشكل (10): شكل الفشل النموذجي لنماذج فحص القص [9]



الشكل (11): نموذج فحص القص (S1-0) بعد الفشل

أما ما يتعلق بفشل النموذج المغلف فقد كان مختلفاً تماماً عن النموذج غير المغلف، إذ يحدث الفشل على طول مستوي القص تماماً دون انفصال لأي أجزاء أخرى، إضافة إلى تمزق صفائح الألياف الزجاجية من الأمام، الشكل (12) يوضح فشل النموذج المغلف إذ يمكن رؤية كيفية انفصال النموذج عند مستوي القص وكيفية تمزق صفائح الألياف الزجاجية، أي انفصال للتغليف عند منطقة تداخل صفائح الألياف الزجاجية لأي نموذج لم يحدث أثناء الفحص. تجدر الإشارة هنا إلى أن هناك بعض التحذيرات التي كانت تسبق فشل النموذج المغلف بقليل، نذكر منها:

- سماع صوت انفصال صفائح الألياف الزجاجية عن الخرسانة نتيجة حدوث الشقوق .
- ظهور خطوط بيضاء في صفائح الألياف الزجاجية - دليل على تلدن الصفائح - تأخذ شكل الشقوق الحادثة في الخرسانة التي تحتها وبتجاهات مختلفة.
- حدوث زيادات سريعة جداً في قيم الانفعال وبجميع الاتجاهات - الأفقي والعمودي والمائل بزواوية (45°) على مستوي الفشل -.



الشكل(12): شكل الفشل للنماذج المغلفة

الاستنتاجات

أدى التسليح الخارجي إلى تعزيز مقاومة القص المباشر وهذا واضح من الزيادة الحاصلة في قيمها قياساً بالنماذج غير المغلفة، كما تعتمد نسب التقوية الحاصلة في قيم مقاومة القص للنماذج بالشكل الرئيس على درجة التقوية أو بمعنى آخر على سمك التقوية، حيث يلاحظ انه كلما ازداد سمك التقوية زادت تبعاً لذلك قيم مقاومة القص.

هناك زيادة واضحة في طاقة الامتصاص للنماذج، تزداد هذه الطاقة تبعاً للزيادة الحاصلة في عدد طبقات التغليف. بروز دور الألياف بعد ظهور الشقوق في الخرسانة يُستنتج منها أن استخدام هذه الألياف لا يظهر بصورة واضحة في المرحلة التي تسبقها، ولكن يُمكن الحصول على المنفعة الكبيرة من ألياف البوليمر في مجال التقوية حينما يكون المنشأ معرضاً لأحمال أكثر من المتحسب لها (Over Loading).

يفضل أن تجرى دراسات حول تأثير التغليف بصفائح الألياف الكربونية على مقاومة القص المباشر للخرسانة ومقارنتها مع ما تم الحصول عليه عند التغليف بصفائح الألياف الزجاجية، وهناك حاجة أيضاً لأجراء دراسات حول تأثير تغيير زوايا التغليف بصفائح ألياف البوليمر على مقاومة القص المباشر للخرسانة.

المصادر

1. Lamanna, A.J., “*Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Mechanically Fastened Fiber Reinforced Polymer Strips*”, Ph.D. Thesis, University of Wisconsin-Madison, 2002, 287pp.
2. GangaRao, H.V. and Vijay, P.V., “Bending Behavior of Concrete Beams Wrapping with Carbon Fabric”, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 124, No. 1, January, 1998, pp. 3-10.
3. Mouldsdale, M., “*Behaviour of Externally Confined High Strength Concrete Columns under Eccentric Loading*”, Project Bachelor of Engineering, University of Wollongong Faculty of Engineering, November, 2002.
4. Alagusundaramoorthy, P., Harik, I.E. and Choo, C.C., “Shear Strength of R/C Beams Wrapped with CFRP Fabric”, *Research Report KTC-02-14/SPR 200-99-2F*, University of Kentucky, College of Engineering, August, 2002, pp. 1-24.
5. Khalifa, A. and Nanni, A., “Improving Shear Capacity of Existing R/C T-Section Beams Using CFRP Composites”, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 22, No. 2, July, 2000, pp. 165-174.
6. Mattock, A.H., “Shear Transfer in Concrete Having Reinforcement at an Angle to the Shear Plane”, *ACI Special Publication SP-42*, Vol. 1, 1974, pp.17-42.
7. Wabo Mbrace Company, “Composite Strengthening System”, 3th Edition, Watson Bowman Acme Corp., May, 2002, 103pp.
8. Pytel, A. and Singer, F.L., “Strength of Materials”, 4th Edition, Harper and Row, Publishers, New York, 1987, 594pp.
9. Khaloo, A.R. and Kim, N., “Influence of Concrete and Fiber Characteristics on Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete under Direct Shear”, *ACI Materials Journal*, Vol. 94, No. 6, November-December., 1997, pp. 592-601.