

تأثير التقوية الخارجية بشرائط من ألياف البوليمر (FRP) على مقاومة القص في العتبات الخرسانية المسلحة

بيار جعفر محمد*
بختيار عزيز محي الدين**
*كلية الهندسة - جامعة الموصل
**كلية الهندسة - جامعة كركوك

تاريخ الاستلام: ٢٢/١١/٢٠٠٧، تاريخ القبول: ٢٥/١/٢٠١٠

الخلاصة

يحتوي هذا البحث على نتائج لدراسة عملية تقصت عن موضوع التقوية الخارجية بشرائط ألياف البوليمر (FRP) لفضاء القص وتأثيرها في سلوكية العتبات الخرسانية المسلحة. تمت هذه الدراسة من خلال صب (١٨) عتبة خرسانية بطول 1000mm، وعرض 150mm، وارتفاع 200mm، مسلحة بقضبان حديد طولية بحيث يتجنب فيها فشل الانتشاء، اثنين من هذه العتبات عُدت نماذجاً للسيطرة إذ ترك فضاء القص فيها بدون تغليف خارجي بشرائط الألياف، أما العتبات المتبقية فقد قسمت إلى مجموعتين غلفت فيها فضاء القص من الأسفل والجوانب بشرائط من ألياف البوليمر (الكربونية (CFRP) أو الزجاجية (GFRP)) بزواوية (٩٠°) في المجموعة الأولى وزواوية (٤٥°) في المجموعة الثانية، بعد فحص هذه العتبات وفشلها نتيجة القص على جوانب العتبة أظهرت نتائجها إن التقوية الخارجية بشرائط ألياف البوليمر تساهم في زيادة مقاومة القص للعتبات المغلفة مقارنة بعتبات السيطرة غير المغلفة بنسب تعتمد على نوعية شرائط الألياف وزواوية ميلان الشرائط وسمكها، إذ بلغت هذه الزيادة (١٠% - ٢٨%) للعتبات المغلفة بزواوية (٩٠°) و (٢٠% - ٤٤%) للعتبات المغلفة بزواوية (٤٥°)، كما تعمل التقوية الخارجية على زيادة طاقة الامتصاص فضلاً عن النقصان في مطيلية العتبات المغلفة مقارنة بعتبات السيطرة غير المغلفة بنسب (١٢% - ٢٣%) للعتبات المغلفة بزواوية (٩٠°) و (١٤% - ٣٧%) للعتبات المغلفة بزواوية (٤٥°). بالإضافة إلى ذلك يزيد التقوية الخارجية من صلابة العتبات المغلفة وهذا ما ظهر واضحاً من خلال الفشل الذي حدث بشكل مفاجئ في النماذج المغلفة بينما حدث بشكل تدريجي في نماذج السيطرة غير مغلفة.

المقدمة ومراجعة المصادر

تتعرض المنشآت الخرسانية إلى أضرار، نتيجة حدوث بعض الكوارث الطبيعية كالزلازل الأرضية، أو حدوث خطأ ما أثناء التصميم، أو خلل في التنفيذ كأن يكون هناك نقص في تسليح بعض الأعضاء الخرسانية أو يكون غير كافٍ لتحمل الاجهادات التي تتعرض لها، أو حدوث نقصان في مساحة التسليح نتيجة التآكل والصدأ مع مرور الزمن، أو حدوث تغيير في وظيفة

المنشأ، مما يحمل أعضائها أحمالاً خدمية أكبر من الذي أخذت بنظر الاعتبار أثناء التصميم الأولي، كل هذه الأمور تجعل من المنشأ غير قادر على أداء وظيفته التي أنشئ من أجلها (In et al. , 2005; Ye et al., 2002) وان هدم هذه الأعضاء وإنشاؤها من جديد يعد عملية غير اقتصادية من حيث الكلفة العالية والوقت والجهد الكبيرين لإنجاز ذلك، ولهذا وجد المهندسون إن تصليح هذه الأعضاء وترميمها هي الفكرة الأنسب لإعادة تأهيلها ومعالجتها (Teng et al., 2000). في السابق كانت هناك طرائق متعددة يتم من خلالها تقوية المنشآت الخرسانية كإضافة عتبات أو أعضاء إنشائية جديدة إلى المنشأ، أو تقوية العتبات بوسائل ميكانيكية مثل ربطها خارجياً بحبال فولاذية تتحمل قوة شد عالية، ولكن في بداية الستينيات ظهرت تقنية جديدة في تقوية العتبات الخرسانية ألا وهي التغليف الخارجي باستخدام صفائح الحديد، وفعلاً حققت هذه التقنية انجازاً جيداً من حيث زيادة قوة التحمل وجساءة العتبات، إلا أن هناك العديد من المشكلات كانت ترافق هذه التقنية كتقل وزن الصفيحة، وكبر سمكها، وصعوبة الحمل والرفع والحاجة إلى مكائن ومعدات خاصة أثناء التنفيذ، فضلاً عن مشكلة الصدأ والتآكل التي يعاني منها معدن الحديد عند تعرضه للعوامل والظروف الجوية القاسية (Stallings et al. , 2000; Arnes et al., 1999). ولعل ما سبق يعلّل سبب النزوع الدائم الذي كان لدى المختصين في البحث عن مواد بديلة عن معدن الحديد واجتازوا باستخدامها كل المشكلات السابقة، فوجد الباحثون ان استعمال ألياف البوليمر (Fiber Reinforcement Polymer (FRP) هو الحل الأمثل في مجال التقوية الخارجية وإعادة التأهيل الأعضاء الخرسانية المتضررة (Arnes et al., 1999). حيث أن ألياف البوليمر (FRP) هي ألياف مصنوعة من مواد مقاومة للعوامل الكيميائية، وذات تحمل عالي للجهدات و لها معامل تمدد حراري قليل، ومقاومة للصدأ والتآكل الناتج من عوامل التعرية وذات معامل مرونة عالية خصوصاً الألياف الكربونية فضلاً عن سهولة الحمل والرفع والاستخدام ودون الحاجة إلى جهد كبير أثناء التنفيذ بسبب خفة الوزن. أي أن هذا البحث ليس الأول من يتطرق إلى هذا الموضوع بل سبقه العديد من الدراسات منها ما قام به الباحث Li et al. (2001) والتي كانت تهدف إلى معرفة تأثير تغليف جوانب العتبات بالكامل خارجياً بصفائح من ألياف الكربون وبارتفاعات مختلفة واستنتج من خلاله أن حمل الفشل وجساءة العتبات المغلفة يزداد مع زيادة مساحة الصفيحة الكربونية المغلفة للعتبة، أما الباحثان Deniaud & Cheng (2001) قدما دراسة حول تأثير التغليف الخارجي بصفائح الألياف الكربونية في العتبات الخرسانية ذات مقطع على شكل حرف (T)، بعض العتبات قام الباحثان بتغليفها من الأسفل فقط

والبعض الآخر تم تغليفها من الأسفل والجوانب (U-shape) بعد الفحص استنتج الباحثان أن التغليف بصفائح الألياف يزيد من مقاومة القص بغض النظر عن شكل التغليف إلا أن نسب الزيادة في مقاومة القص تكون اكبر عند التغليف من الأسفل والجوانب. كما قام الباحثون (Tsong et al. , 2005) باستعمال الألياف الزجاجية (GFRP) والألياف الزجاجية مسبقة الجهد (PGFRP) في تقوية الأعضاء الخرسانية خارجيا، حيث اجري الباحثون دراستهم هذه على ثمانية عتبات خرسانية على شكل حرف (T)، إحدى هذه العتبات تركت بدون تغليف بينما قسم من هذه العتبات غلفت خارجيا بألياف الزجاج (GFRP) وقسم الآخر تم تغليفها بألياف الزجاج مسبقة الجهد (PGFRP) إلى نصف ما يتحملة إلى قوة الشد ، بعد فحص العتبات لاحظ الباحثون أن حمل الفشل زادت بمقدار ٥٥% في العتبات المغلفة بـ(GFRP) وبمقدار ١٠٠% في العتبات المغلفة بـ(PGFRP) هذا مقارنة بالعتبة غير المغلفة بالإضافة إلى ذلك لاحظ الباحثون إن الأود (deflection) تزداد في العتبات المغلفة بـ(GFRP) بمقدار كبير عند الفشل.

أما البحث الحالي يهدف إلى معرفة تأثير تقوية فضاء القص خارجيا بشرائط من ألياف البوليمر (FRP) في سلوكية العتبات الخرسانية المسلحة، مع ملاحظة المتغيرات الآتية على نتائج الفحص والمقارنة بينها والوقوف على التحسينات التي تضيفها هذه الألياف على سلوكية العتبات المغلفة وأدائها:-

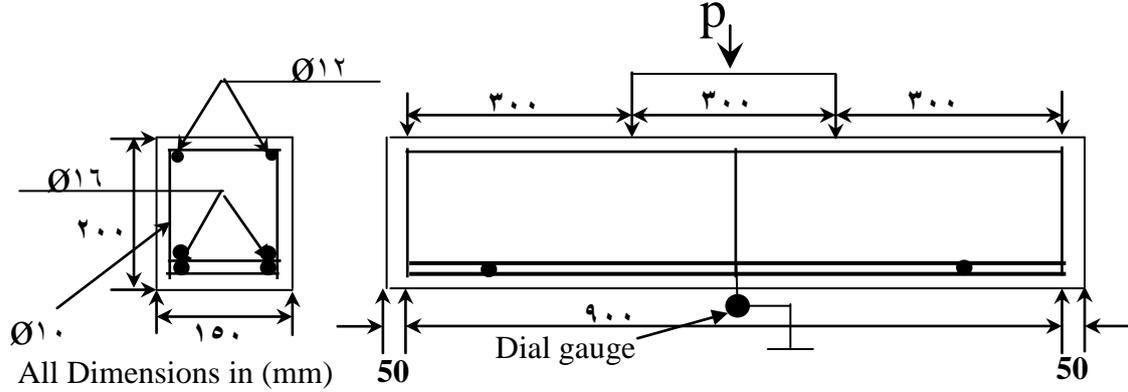
- ١- تغيير زاوية التغليف الشرائط حيث استخدمت زاويتي لميلان شرائط الألياف (٩٠°، ٤٥°) نسبة للمحور الطولي للعتبة.
- ٢- نوعية شرائط الألياف وسمكه حيث استخدمت شرائط الألياف الكربونية والزجاجية لتغليف العتبات وبسلك طبقة واحدة وطبقتين.

المواد وطريقة العمل

١- نماذج الفحص:

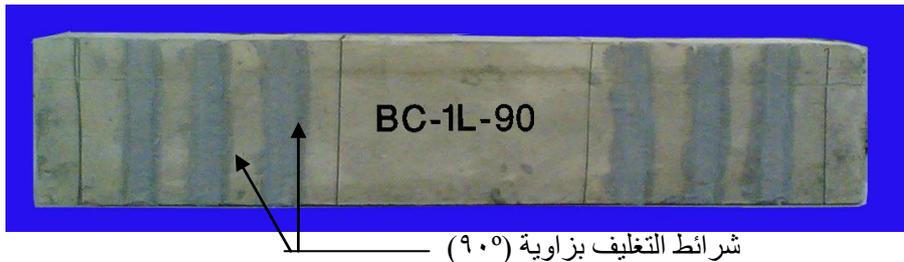
أجريت هذه الدراسة على (١٨) عتبة خرسانية بطول ١٠٠٠mm وبأبعاد مقطع ١٥٠mm عرض ، وارتفاع ٢٠٠mm، صممت العتبات بحيث يتجنب فيها فشل الانتشاء أي يحدث فقط فشل القص، حيث سلحت جميعها في منطقة الشد من الأسفل بأربعة قضبان حديدية ذات قطر ١٦ملم ومن الأعلى بقضيبين بقطر ١٢ mm مع وضع حلقة بقطر

١٠mm في نهايتي العتبة فوق المساند، وحلقة أخرى في منتصف العتبة بين نقطتي التحميل، كما هو موضح في الشكل (١).

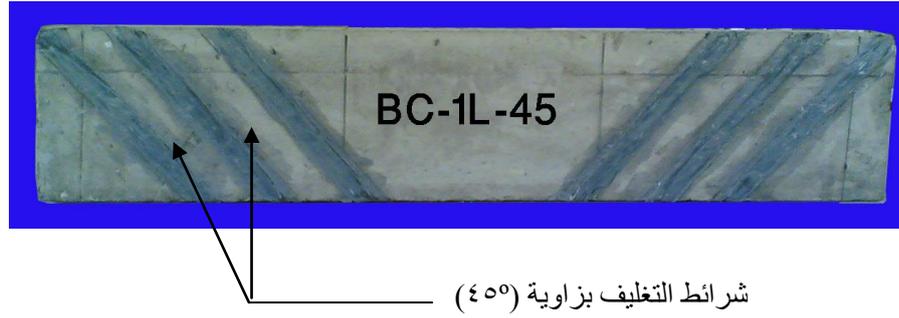


شكل (١): أبعاد وتفصيل التسليح الداخلي للعتبات.

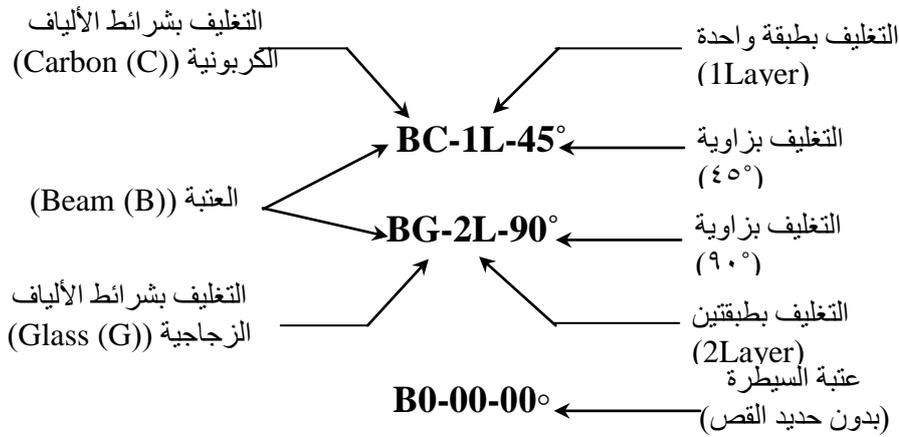
اثنين من هذه العتبات عُدَّت نماذجاً للسيطرة إذ ترك فضاء القص فيهما بدون تغليف خارجي بشرائط ألياف البوليمر، أما العتبات المتبقية البالغ عددها (16) عتبة، فقد قسمت إلى مجموعتين الأولى والثانية، كل مجموعة تتكون من ثمانية عتبات، تم فيها تقوية فضاء القص خارجياً من الأسفل والجوانب أي على شكل حرف (U) بشرائط من ألياف البوليمر (الكربونية أو الزجاجية) بعرض الشريط مقداره ٢٠ملم، تميل الشرائط مع المحور الطولي للعتبة بزواوية (٩٠°) في المجموعة الأولى وبزواوية (٤٥°) في المجموعة الثانية، كما هو في الشكلين (٢) و (٣) على التوالي، حيث أن المجموعة الأولى المكونة من ثمانية عتبات المغلفة بزواوية (٩٠°)، أربعة عتبات منها غلفت بشرائط الألياف الكربونية، اثنين منها غلفت بطبقة واحدة وعتبتين آخريين غلفت بطبقتين والأربعة العتبات المتبقية من المجموعة الأولى غلفت بشرائط الألياف الزجاجية اثنين منها بطبقة واحدة واثنين آخرين بطبقتين، وهكذا بالنسبة للنماذج الثمانية في المجموعة الثانية والمغلفة بزواوية (٤٥°). ولتسهيل التعرف على العتبات تم تسميتها كما في الشكل (٤).



شكل (٢): يبين العتبة المغلفة خارجياً بشرائط الألياف بزواوية (٩٠°)



شرائط التغليف بزواوية (٤٥°)
شكل (٣): يبين العتبة المغلفة خارجياً بشرائط الألياف بزواوية (٤٥°)



شكل (٤): يبين مخطط يوضح كيفية ترميز العتبات المغلفة.

٢- المادة الرابطة (الايبوكسي):

عملية تغليف الخارجي للأعضاء الخرسانية بألياف البوليمر لا يتم إلا بوجود مواد رابطة، تعمل هذه المواد على التصاق ألياف البوليمر على سطح الخرسانة بأحكام، إذ استخدم في هذه الدراسة الايبوكسي من نوع متوسط اللزوجة يدعى بـ (Sika dur 330 C) الذي يتكون بدوره من جزأين رئيسيين هما المادة الصمغية (Resin (A)) والمادة المصلدة (Hardener (B))، ولتكوين المزيج من الايبوكسي الذي يستخدم في عملية لصق الألياف على سطح الخرسانة تخلط المادة الصمغية (A) مع المادة المصلدة (B) بسبة وزن (1:4) كما توصي به توصيات الشركة المنتجة لهذه المادة والمدونة في الجدول (١).

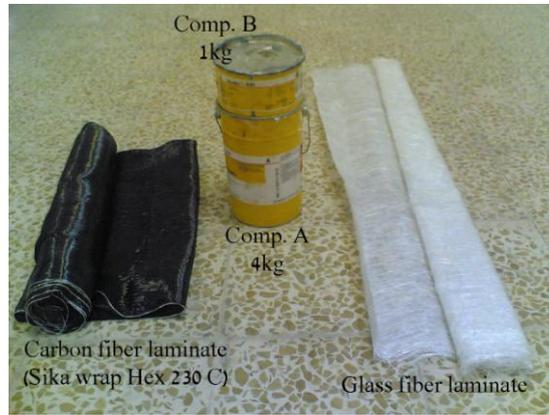
جدول (١): الخصائص الفيزيائية للايبوكسي (Sika dur 330 C) المستخدم .

Properties	Result of Testing *
Density (20 C)	1.31kg /l (comp. A+B)
Viscosity	Pasty, not flowable
Tensile strength	Curing 7day, +23C 30 N/mm ²
Flexural-E- Modulus	Curing 7day, +23C 3800 N/mm ²
Mix ratio	A:B=4:1 by weight.
Pot life	+10 C: 90min. +30 C: 35min.

*النتائج من شركة Sika المنتجة لهذه المادة

٣- شرائط ألياف البوليمر (FRP):

تم استخدام نوعين من شرائط ألياف البوليمر في التقوية الخارجية للعتبات، هما (الألياف الكربونية (CFRP) نوع (Sika wrap Hex230C) ذات سمك ٠,١٢ mm وعرض ٦٠٠mm والألياف الزجاجية (GFRP) ذات سمك ٠,٤ mm وعرض ١٣٠٠mm)، والشكل (٥) يوضح الألياف مع الايبوكسي المستخدم.



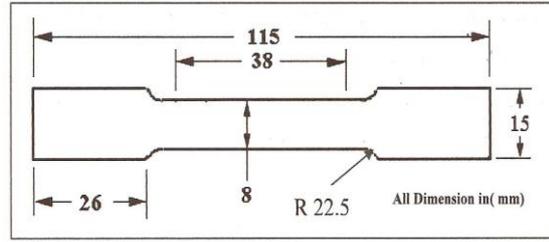
شكل (٥): يبين ألياف البوليمر مع الايبوكسي Sika dur 330 C .

للحصول على بعض الخصائص الفيزيائية لشرائط الألياف كأقصى إجهاد شد تتحمله، ومعامل المرونة لها، تم تجهيز مجموعة من نماذج المركبة بطبقة وطبقتين من ألياف الكربون أو الزجاج مع الايبوكسي (Sika dur 330 C) وفق المواصفة الألمانية DIN رقم (DIN:50155) الخاصة بفحص إجهاد الشد للمواد حيث تم إعداد قطعة من الألياف وتم طلاءها بطبقة من الايبوكسي من الجهتين وحسب توصيات الشركة المنتجة للايبوكسي، وبعد

مرور ٧ أيام والتي هي فترة معالجة الايبوكسي تم تقطيعها بالة خاصة (الكوسرة) إلى الشكل والأبعاد الموضحة في الشكل (٦)، وأجري لها فحص الشد أحادي المحور باستخدام جهاز TERCO 3037 كما مبين في الشكل (٧) وتبث نتائج الفحص في الجدول (٢).



شكل (٧): نموذج من شرائط ألياف تحت جهاز فحص الشد (TERCO 3037)



شكل (٦): يبين أبعاد وشكل نموذج الفحص لشرائط الألياف.

جدول (2): يبين الخصائص الفيزيائية لشرائط الألياف الكربونية والزجاجية المستخدم.

No. of layers	Carbon fiber strip			Glass fiber strip		
	Tensile strength (MPa)	Modulus of Elasticity (MPa)	Thickness (mm)*	Tensile strength (MPa)	Modulus of Elasticity (MPa)	Thickness (mm)*
1-layer	٦٨٦	١٩٥٧٠٠	١,٤	١٥٥	٥٩٠٠٠	١,٧
2-layer	٥٩٠	١٤٠١٢٥	٢,٠	١٠٠	٣٠٠٠٠	٢,٦

*سمك لشرائط الألياف بعد طلاءها بالايبيوكسي من الجهتين حسب توصيات الشركة المنتجة للايبوكسي.

٤- كيفية تغليف النماذج خارجياً بشرائط ألياف البوليمر (FRP):

مرحلة التغليف الخارجي تمر بعدد من الخطوات الضرورية لإكمال التغليف

(Hasan, 2007 ; Schiebel et al. , 2002 and Al-Sulaimani et al., 1994) وهي كما

يأتي:-

- الخطوة الأولى: بعد إكمال النموذج لفترة المعالجة يغسل السطح جيداً للتخلص من دقائق الغبار وإزالة آثار الزيت الناتجة من تدهين القالب قبل الصب، ثم يترك النموذج بجو المختبر ليجف، يلي بعد ذلك عملية تخشين السطح والغرض منه هو جعل السطح أكثر نفاذية لكي تستقر عليه المادة الرابطة بشكل جيد ولزيادة قوة التصاق بين شرائط الألياف وسطح الخرسانة، بعدها

ينظف سطح النموذج مرة أخرى بالفرشاة المعدنية وإزالة الغبار الناتج عن التخشين بواسطة الهواء المضغوط ومن ثم يكون السطح مهياً للتغليف.

• **الخطوة الثانية:** يتم فيها تجهيز شرائط الألياف الكربونية والزجاجية حسب الأبعاد والأعداد المطلوبة وتتم عملية القطع الألياف باستعمال آلة حادة كالمقص مثلاً.

• **الخطوة الثالثة:** يتم فيها تهيئة المزيج من المادة الرابطة وهي الايبوكسي (Sika dur 330C) حسب إرشادات استعمال المادة حيث يتم تحضير الكمية المطلوبة للعمل من المادة الصمغية ((Resin(B)) والمادة المصلدة ((Hardener(A)) وتمزج كل منها على حدا من ثم تمزج مع بعضهما بنسبة وزنية (١:٤) داخل وعاء وتخلط لمدة لا تقل عن ثلاث دقائق لكي يتم الحصول على خليط متجانس ذو لون رصاصي فاتح وفي هذه الخطوة يفضل أن تكون درجة الحرارة بين (١٠°C-٣٥°C).

• **الخطوة الرابعة:** يتم معاملة سطح النموذج في الأماكن المراد تغليفها بطبقة من الايبوكسي حسب توصيات الشركة المنتجة لها باستخدام المالج بنسبة 1.1kg/m^2 أي بسمك تقريباً 0.84mm، ثم توضع شرائط الألياف البوليمر على سطح النموذج فوق الايبوكسي ويضغط عليها باتجاه الألياف لضمان تشبعها بشكل جيد وللتخلص من الفراغات التي قد تحصل بين الألياف وسطح النموذج نتيجة لوجود بعض الفراغات الهوائية وكذلك للحصول على سمك ثابت لطبقة الايبوكسي ويطلق السطح الخارجي للألياف بطبقة أخرى من الايبوكسي بنسبة ٠,٥ كيلو غرام لكل متر مربع من الألياف أي بسمك تقريباً 0.38mm.

في حال التغليف بأكثر من طبقة ينتظر فترة (٦٠) دقيقة ثم توضع الطبقة التالية وتعاد الخطوة الثالثة مرة أخرى، تترك النماذج لمدة لا تقل عن سبعة أيام قبل الفحص لضمان تصلب الايبوكسي بشكل تام.

٥- **فحص النماذج :** فحصت جميع العتبات بإسناد بسيط تحت نقطتي تحميل وبمسافة 900mm بين المساند وباستخدام جهاز فحص هيدروليكي (Universal Testing Machine) ذو سعة (490kN)، تم تسليط الحمل على العتبات بشكل تزايدى لغاية الفشل بمعدل تحميل

480 N/Sec، وفي كل زيادة في الحمل تم اخذ قراءة الأود الناتج من التحميل في منتصف العتبة من خلال جهاز (Dial gauge) الذي وضعت في منتصف العتبة من الأسفل. والشكل (٨) يبين نموذج الفحص تحت جهاز الفحص.



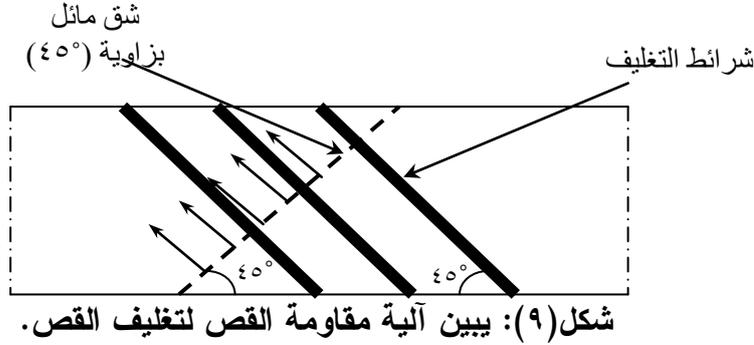
شكل (٨): يبين العتبة الخرسانية تحت جهاز الفحص.

النتائج والمناقشة

بعد فحص هذه العتبات تمت دراسة تأثير التقوية الخارجية في سلوكيتها واستنتاج ما يأتي:

١- تأثير التغليف الخارجي بشرائط ألياف البوليمر في مقاومة القص للعتبات الخرسانية: النتائج المبينة في الجدولين (٣) و (٤) يوضحان قيم أقصى حمل فشل سجلت للعتبات المغلفة خارجيا بشرائط الألياف بزوايا (90° ، 45°) على التوالي، وبملاحظة هذه النتائج يمكن القول أن التغليف الخارجي بشرائط الألياف بغض النظر عن نوعيتها وزاوية تغليفها وعدد طبقاتها يزيد من مقاومة القص (حمل الفشل) للعتبات، وينسب متفاوتة تتراوح بين (١٠% - ٢٨%) للعتبات المغلفة بزواوية (90°) و بين (٢٠% - ٤٤%) للعتبات المغلفة بزواوية (45°) هذا مقارنة بعتبات السيطرة (غير المغلفة)، كما يمكن رؤية نسب الزيادة في مقاومة القص تتغير اعتمادا على نوعية شرائط الألياف المستخدمة إذ وجد أن العتبات المغلفة بشرائط ألياف الكربون أعطت زيادة أكثر في مقاومة القص مقارنة بالعتبات المغلفة بشرائط ألياف الزجاج لأن خواص ألياف الكربون أفضل من ألياف الزجاج كما في الجدول (٢)، وبذلك يمكن الاستنتاج بان ألياف الكربون أفضل من ألياف الزجاج عند استخدامها في التغليف الخارجي بشكل شرائط لتقوية مقاومة القص، وبالرغم من أن تسليح القص بزواوية (90°) هو أكثر أنواع التسليح شيوعا من الناحية العملية وذلك لسهولة تطبيقه إلا أن نسب الزيادة الحاصلة في حمل الفشل للنماذج المغلفة بزواوية (45°) هي اكبر من نسب الزيادة لنماذج المغلفة بزواوية (90°) أي إن التغليف بزواوية (45°) هو الأكثر كفاءة من الناحية الإنشائية، لأن اتجاه شرائط التغليف يكون تقريبا بنفس اتجاه الجهود الشد الأساسية التي تتولد في وترة العتبة كما إنها تكون عمودية على اتجاه الشقوق،

ويمكن تصور ذلك من خلال رؤية الشكل (٩) الذي يبين شقا مائلاً بزواوية (٤٥°) إذ إن الشق يقطع عدداً من شرائط تسليح القص التي تميل بزواوية (٤٥°) مع المحور الطولي للعتبة فالمقاومة التي يتحملها تغليف القص يساوي المركبة العمودية لقوى الشد في الشرائط (الطعان، ١٩٩٣)



كما نجد من خلال النتائج في الجدولين (٣) و (٤) أدناه أن زيادة سمك التغليف (عدد الطبقات الشرائط) تزداد مقاومة القص بشكل ملحوظ، وهذا واضح في النماذج المغلفة بالألياف الزجاجية ولكلتا زاويتي التغليف، في حين بالنسبة للنماذج المغلفة بألياف الكربون فإن التغليف بطبقتين لم تعط تلك الزيادة الكبيرة مقارنة بما أعطاه التغليف بنفس الألياف وبطبقة واحدة، فقد بلغت ٣% أثناء التغليف بزواوية (٩٠°) و ٢% أثناء التغليف بزواوية (٤٥°) أي إن الزيادة في عدد طبقات التغليف بألياف الكربون لا تعطي زيادة تذكر في مقاومة القص طالما أن الفشل يحدث بانفصال شرائط الألياف عن سطح الخرسانة، ويرجع سبب ذلك إلى امتلاك الألياف الكربونية معامل مرونة عالية، الأمر الذي يجعلها لا تستجيب للانفعال الحاصل في الخرسانة. بينما زيادة عرض الشريط تزداد مساحة الألياف المغلفة بها العتبة وبذلك تزداد مساحة التلاصق بين الألياف وسطح الخرسانة مما يسبب زيادة في مقاومة العتبة (Grace et al. , 1998)

جدول (٣): يبين نتائج الفحص للعتبات المغلفة خارجياً بشرائط ألياف البوليمر بزواوية (٩٠°).

Specimen	Average Comp. Strength (MPa) (for cubes)	Average Splitting Tensile Str.(MPa) (for cylinders)	Failure Load (kN)	Average Failure Load (kN)	%Increase in failure Load with respect to B0-00-00°
B0-00-00°	٣٦,٢	٣,٧	١٢٦	١٢٩	-
B0-00-00°			١٣٢		
BG-1L-90°	٣٥,٧	٣,٦	١٤٤	١٤١,٥	١٠
BG-1L-90°			١٣٩		
BC-1L-90°	٣٤,٤	٣,٨	١٦٤	١٦١	٢٥
BC-1L-90°			١٥٨		
BG-2L-90°	٣٧,٣	٣,٩	١٥٧	١٥٩,٥	٢٤
BG-2L-90°			١٦٢		

BC-2L-90°			١٦٣		
Specimen	Average Comp. Strength (MPa) (for cubes)	Average Splitting Tensile Str.(MPa) (for cylinders)	Failure Load (kN)	Average Failure Load (kN)	%Increase in failure Load with respect to B0-00-00°
B0-00-00°	٣٦,٢	٣,٧	١٢٦	١٢٩	—
B0-00-00°			١٣٢		
BG-1L-45°	٣٦,٠ ٣٥,٩	٣,٧ ٣,٧	١٥٧	١٦٥ ١٥٥	٢٨ ٢٠
BG-1L-45°			١٥٣		
BC-1L-45°	٣٥,٣	٣,٩	١٨٥	١٨٣,٥	٤٢
BC-1L-45°			١٨٢		
BG-2L-45°	٣٦,٢	٣,٨	١٧٣	١٧٠,٥	٣٢
BG-2L-45°			١٦٨		

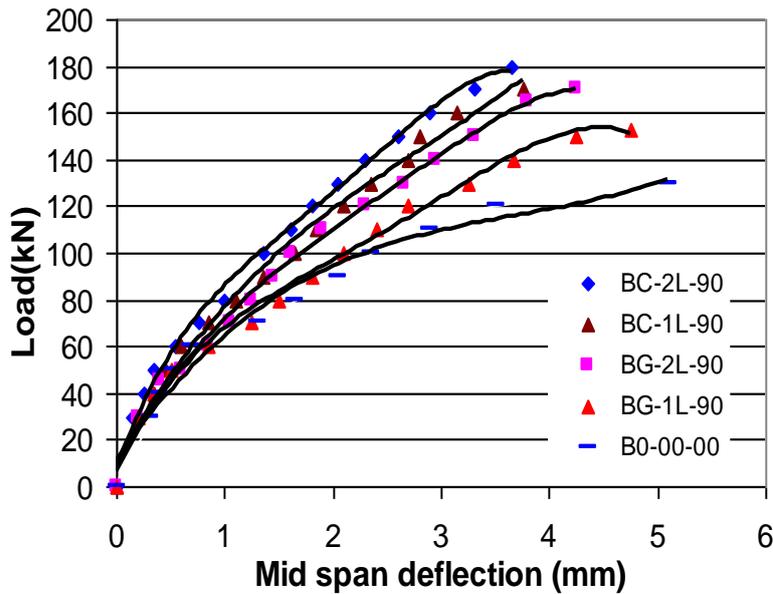
BC-2L-90°			١٦٧		
-----------	--	--	-----	--	--

جدول (4): يبين نتائج الفحص للعتبات المغلفة خارجياً بشرائط ألياف البوليمر بزواوية (٤٥°).

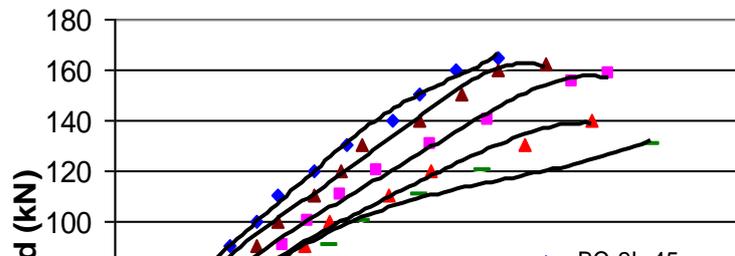
BC-2L-45°	٣٨	٤,٠	١٨٣	١٨٥,٥	٤٤
BC-2L-45°			١٨٥,٥		

٢- علاقة (الحمل-الأود) للعتبات المغلفة خارجياً بشرائط ألياف البوليمر: الشكلان (10) و(11) توضحان منحنيات علاقة (الحمل - الأود) للعتبات المغلفة خارجياً بشرائط الألياف الكربونية أو الزجاجية وبزاويا (٩٠°، ٤٥°) على التوالي، حيث يلحظ من خلال هذه الأشكال إن المنحنيات تكون متقاربة وتبدأ بعلاقة خطية تقريباً في المراحل الأولى من التحميل ومع زيادة الحمل المسلط تتباعد المنحنيات تدريجياً وتأخذ ألياف البوليمر دورها في السيطرة على التشققات والأود، فعند قيمة حمل ثابتة يلحظ إن الأود في العتبات المغلفة اقل من الأود في العتبات غير المغلفة أي أن التغليف الخارجي يعمل على زيادة طاقة الامتصاص للعتبات المغلفة بنسب تعتمد على نوعية شرائط الألياف وتزداد مع سمك التغليف.

فضلاً عن ذلك يلحظ من المنحنيات إن هناك تأثيراً واضحة للتغليف الخارجي في مطيلية العتبات والتي تعرف على أنها قابلية العتبة لامتصاص الطاقة ضمن مرحلة تشوه اللدن، والتي يمكن التعبير عن المطيلية بنسبة التشوه الأقصى إلى التشوه في نقطة الخضوع، وهذا ينطبق على علاقة (الإجهاد-الانفعال)، (الحمل-الأود)، (العزم-التقوس) (Therault & Benmokrab, ٢٠٠٦ ; Aiello & Ombres, ٢٠٠٢)



شكل (١٠): يبين منحنى علاقة (الحمل - الأود) للعتبات المغلفة خارجياً بشرائط بزواوية (٩٠°).



Beam	Average Failure Load (kN)	Ductility Ratio($\Delta u/\Delta y$)	Ductility Ratio Reduction (%)
B0-00-00°	129	٤,٣	/

شكل (١١): يبين منحنى علاقة (الحمل - الأود) للعتبات المغلفة خارجياً بشرائط بزوايا الجدول (5) يوضح قيم المطيلية للعتبات التي تم إيجادها من خلال قسمة قيمة الأود الأقصى المسجلة في منتصف العتبة على قيم الأود الحاصل أثناء خضوع الحديد، المبينة في الشكل (12)، أي باستخدام المعادلة (١) .

$$\mu_{\Delta} = \Delta_u / \Delta_y \quad \dots(1)$$

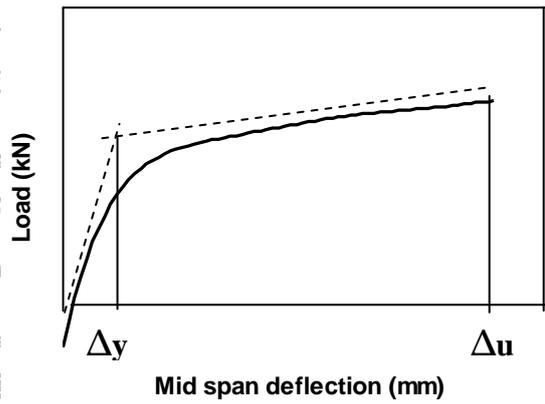
حيث أن: μ_{Δ} : نسبة مطيلية الأود. $\Delta_u \equiv \Delta_{ultimate}$ الأود الأقصى أثناء الفشل.
 $\Delta_y \equiv \Delta_{yiel}$ الأود أثناء نقطة الخضوع.

BG-1L-90°	141.5	٣,٨	١٢
BG-2L-90°	159.5	٣,٥	١٩
BC-1L-90°	161	٣,٤	٢٠
BC-2L-90°	165	٣,٣	٢٣
BG-1L-45°	155	٣,٧	١٤
BG-2L-45°	170.5	٣,٤	٢١
BC-1L-45°	183.5	٢,٨	٣٥
BC-2L-45°	185.5	٢,٧	٣٧

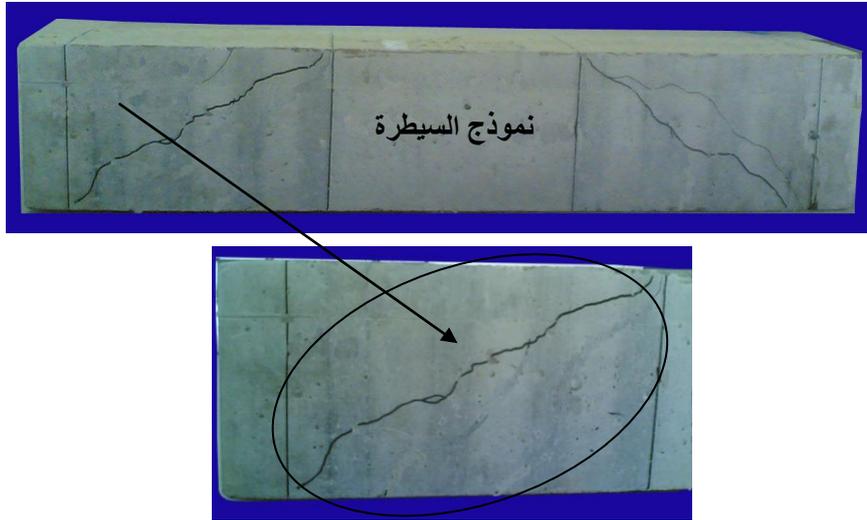
جدول (5): يبين النقصان في نسب المطيلية للعتبات المغلفة خارجيا بزوايا (٩٠°، ٤٥°).

من خلال النتائج الموضحة في الجدول (5) تبين أن التغليف الخارجي بشرائط ألياف البوليمر لم ينحصر تأثيره في زيادة حمل الفشل وطاقة الامتصاص للعتبات المغلفة فقط، بل يعمل أيضا على فقدان الطبقات التغليفية للنوعين (٤٥°) تكون فيها نسب الذر المغلفة بزواوية (٩٠°) تتر السيطرة (غير المغلفة) وبأكبر من التغليف بزواوية المغلفة بألياف الكربون شكا الطبيعية القصفة (Brittle) -٤ تأثير التغليف الخا

مك التغليف (عدد
ج المغلفة بزواوية
ي حين في النماذج
مقارنة بنموذج
فقد المطيلية بنسب
ي المطيلية لنماذج
تتسبب التغليف بسبب

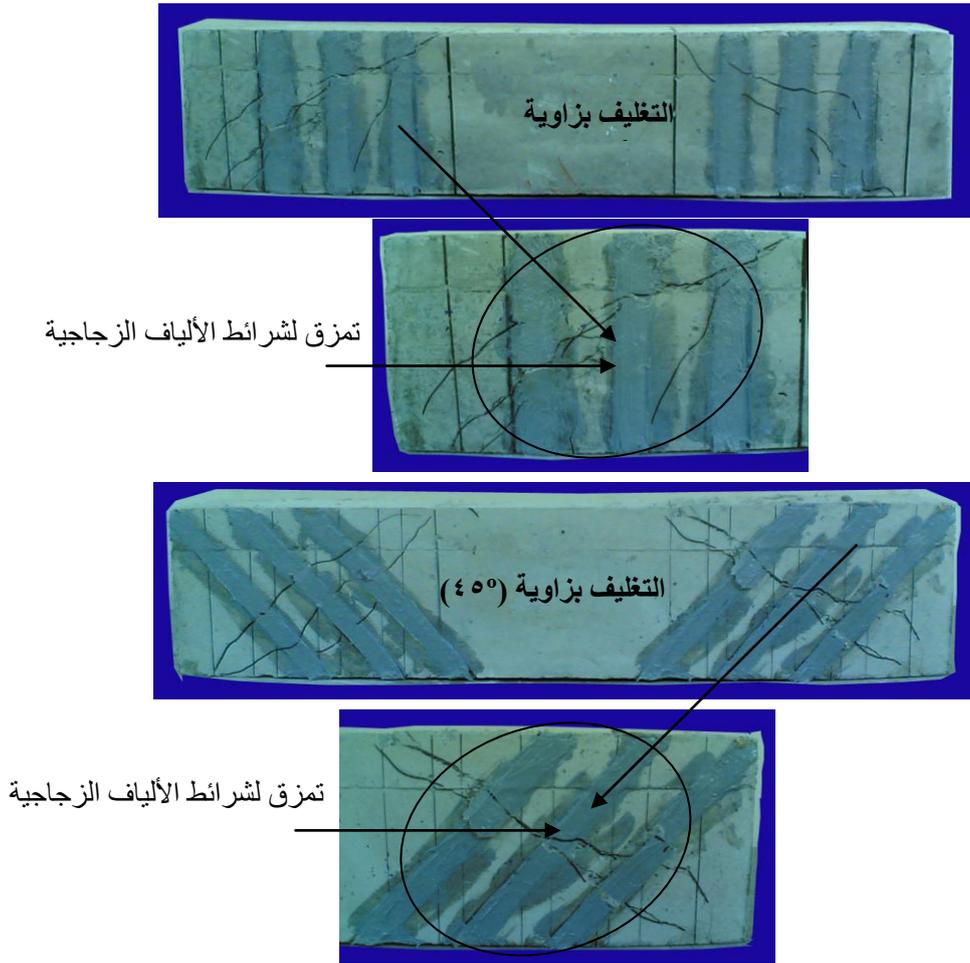


إن فشل القص هو المسيطر على العتبات المغلفة خارجياً بسبب التسليح الجيد في العتبات باستخدام قضبان حديد التسليح لمقاومة فشل الانثناء وعلى نماذج السيطرة (غير المغلفة) وبقيم متغيرة تعتمد على نوعية شرائط ألياف البوليمر (الكربونية، أو الزجاجية)، وزاوية التغليف ($45^\circ, 90^\circ$) وأخيراً سمك الشرائط (عدد طبقات التغليف)، فبالنسبة لنماذج السيطرة (غير المغلفة) حدث فيها الفشل بشكل تدريجي، إذ عند وصول الحمل إلى ٧٠% من حمل الفشل بدأ ظهور شق قص قطري (Shear Diagonal Crack) من الجهة الداخلية القريبة من المسند، ازداد عرض هذا الشق مع زيادة الحمل مع توجهه إلى الأعلى نحو موقع التحميل القريب ليضم بذلك فضاء القص بالكامل، وكما هو موضح في الشكل (١٣).



شكل (١٣): يبين عتبة السيطرة (غير المغلفة) بعد الفشل.

أما الفشل في العتبات المغلفة خارجياً فقد حدث بشكل مفاجئ، ولاسيما في النماذج المغلفة بألياف الكربون، وهذا يدل على صلابتها مما يسبب فقدان قى مطيليتها وهذه من أهم المساوئ التي تمتاز بها التقوية بألياف الكربون، فقد لوحظ عند وصول الحمل المسلط إلى ٨٠% من حمل الفشل في العتبات المغلفة (لكلا النوعين المغلفة بالألياف الكربونية والزجاجية) يظهر شق قص قطري (Shear Diagonal Crack) بين شرائط الألياف، ومحاطا بشقوق بيضاء شعيرية قصيرة من الأعلى والأسفل وبزيادة الحمل المسلط يزداد عرض هذه الشقوق ببطء بسبب سيطرة شرائط التغليف عليها ولاسيما حينما يكون التغليف بأكثر من طبقة، ثم يحدث الفشل بشكل مفاجئ مع تمزق شرائط الألياف الزجاجية في شق القص في العتبات المغلفة بألياف الزجاج وكما هو موضح في الشكل (١٤).



شكل (١٤): يبين شكل الفشل في العتبات المغلفة بشرائط الألياف الزجاجية.

أما بالنسبة للعتبات المغلفة بألياف الكربون فينتهي الفشل فيها بانفصال شرائط الألياف بصورة متتالية واحدة تلو الأخرى كما هو موضح في الشكل (١٥) ويتمزق بعض شرائط الألياف الكربونية فقط حينما كانت العتبات مغلفة بطبقة واحدة وبزاوية (٤٥°) ، بصورة عامة يمكن القول أن كمية الشقوق وعرضها في النماذج المغلفة بزواوية (٤٥°) هو اقل مقارنة بالنماذج المغلفة بزواوية (٩٠°)



شكل (١٥): يبين شكل الفشل في العتبات المغلفة بشرائط الألياف الكربونية.

الاستنتاجات

- ١- ازدادت مقاومة القص للعتبات الخرسانية بعد تقوية فضاء القص فيها بشرائط الألياف الكربونية أو الزجاجية خارجياً على شكل حرف (U)، بنسب (١٠%-٢٨%) للعتبات المغلفة بزواوية (٩٠°) و (٢٠%-٤٤%) للعتبات المغلفة بزواوية (45°).
- ٢- إن نسب الزيادة في مقاومة القص والتقصان في المطيلية للعتبات الخرسانية تعتمد أساساً على نوعية شرائط الألياف، إذ يستدل من خلال النتائج على أن الألياف الكربونية أكثر كفاءة بسبب مقاومة الشد العالية التي تفوق مقاومة الشد للألياف الزجاجية.
- ٣- لنفس النوع من شرائط الألياف تتغير نسب الزيادة في مقاومة القص وطاقة الامتصاص للعتبات المغلفة اعتماداً على الزواوية ميلان الشرائط، حيث لوحظ أن شرائط التغليف بزواوية (٤٥°) تعطي نسب زيادة أكثر في مقاومة القص من شرائط التغليف بزواوية (٩٠°) لكلا النوعين من شرائط الألياف.
- ٤- تزداد مقاومة القص للعتبات الخرسانية المغلفة بزيادة عدد طبقات الشرائط (سمك الشرائط) ولاسيما في الألياف الزجاجية، بينما في الألياف الكربونية بسبب عدم تثبيت الشرائط على سطح الخرسانة وانفصالها عند الفشل استنتج أن الطبقات الإضافية أي التغليف بأكثر من طبقة واحدة (طبقتين أو أكثر) يعطي زيادة ضئيلة في مقاومة القص عما أعطته في حال التغليف بطبقة واحدة.

References

- Aiello, M.A. and Ombres, L., (2002): Structural Performance of Concrete Beams with Hybrid (Fiber-Reinforced Polymer Steel)

- Reinforcements. Journal of Composites for Construction, Vol.6, pp. 133-140.
- Al-Sulaimani, G.J., Sharif, A.M., and Basunbul, I.A., (1994): Shear Repair for Reinforced Concrete by Fiber Glass Bonding. ACI Structural Journal, Vol. 91, pp.458-464.
 - Arnes, R.A., Mays,G.C., (1999): Fatigue Performance of Concrete Beams Strengthening With Cfrp Plates . Journal of composite For construction , Vol.3, No.2.
 - Abdel-Sayed, G Grace, N.F., Soliman, A.K., and Saleh, K.R., (1998): Behavior and Ductility of Simple and Continuous Frp Reinforced Beams, Journal of composites for construction, Vol. 2, pp. 186-194.
 - Deniaud, C. and Cheng, J.J.R., (2001): Shear Behavior of Reinforced Concrete T-Beams with Externally Bonded Fiber-Reinforced Polymer Sheets. ACI Structural Journal, Vol. 98, pp.386-494.
 - Hasan, Q. F., (2007): Behavior of Cfrp Strengthened Reinforcement Concrete Beams under Cyclic Loading. Doctoral Thesis, Department of Civil Engineering, Nahrain University, Baghdad, Iraq, 180p.
 - In, H., Hsing, H., Tsong, Y., Hwei, W., and Yiching, L.,(2005) : Strengthening Reinforced Concrete Beams Using Prestress Glass Fiber-Reinforced Polymer –Part Ii: Experimental study. Journal of Zhejian University SCIENCE, pp.844-852.
 - Li, A., Assih, J. and Delmas, Y.,(2001): Shear Strengthening Of Rc Beams With Externally Bonded Cfrp Sheets. Journal of structural engineering, Vol. 127, pp. 374- 380.
 - Schiebel, S., Parretti, R., Nanni, A. and Huck, M., (2002): Strengthening and Load Testing of Three Bridge in Boone County, Missouri. Journal of Structural design and construction, Vol. 15.
 - Stallings, J.M., Tedesco, J.W., El-Mihilmy, M., and McCauley, M., (2000): Field Performance Of Frp Bridge Repairs. Journal of bridge engineering, Vol. 5, pp.107-113.
 - Teng, J.G., Lam, L., Chan, W., and Wang, J.,(2000) :Retrofitting of Deficient Rc Cantilever Slab Using Gfrp Strips. Journal of composite for construction, Vol. 4, pp.75-84.

- Theriault, M. and Benmokrane, B., (2006): Effects of Frp Reinforcement Ratio and Concrete Strength on Flexural Behavior of Concrete Beams. Journal of Composites for Construction, Vol.2, pp. 7-16
- Ye, L., Yue, Q., Zhao, S., and Li, Q., (2002): Shear Strength of Reinforced Concrete Columns Strengthened with Carbon-Fiber-Reinforced Plastic Sheet. Journal of structural engineering, Vol. 128, pp. 127-134.

المصادر

- الطعان، سعد علي (١٩٩٣): أساسيات الخرسانة المسلحة. مطبعة جامعة الموصل، الموصل، ص ٤٦٦.

Effect of Externally Bonded Strips of Polymer Fiber (frp) on the Shear Strength of R.C Beam

Bayar J. Mohammed*

Bakhtiar A. Muhaidin**

***College of Engineering - University of Mosul**

****College of Engineering - University of Kirkuk**

Received: ٢٢ / ١١ / 200٧, Accepted: 25/1/2010

Abstract

This research includes the findings of a workable study investigation for topic of externally strengthening by polymer fiber strips (FRP) of shear span and its impact on the behavior of reinforced concrete beams. The study was carried out by casting (18) concrete beams (1000mm) in length, (150mm) in width and (200mm) in height reinforced by longitudinal steel bars to avoid flexure failure. Two of these beams were considered as controlling beams where its shear span was left without external wrapping by fiber strips. The remaining beams were divided into two groups where its shear span was wrapped from the bottom and the sides by glass fiber (GFRP) or carbon fiber (CFRP) at (90°) angle for the first group and (45°) angle for the second. After these beams were tested the result showed that externally strengthening by polymer fiber strips increases shear strength of the wrapped beams compared to the controlling beams (unwrapped) at ratios based on type of fibers strips, strips thickness and declination. The increase has reached (10% - 28%) for wrapped beams at an angle of (90°) and (20% - 44%) for wrapped beams at an angle of (45°). Externally strengthening also increases the absorption energy as well as reducing wrapped beams, ductility compared to controlling beams (unwrapped) with (12% - 23%) for the wrapped beams at an angle of (90°) and (14% - 37%) for the wrapped beams at an angle of (45°).