مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (5) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (5) 2017

Development of Strengthening methods Of R.C. Beams to resist flexural by the use of FRP composites

Ramia Badee Ghalia*

(Received 13 / 7 / 2017. Accepted 25 / 10 / 2017)

□ ABSTRACT □

beams are subjected to effect of flexural and shear strength, and as the reinforced concrete beams are one of the most important structural elements, so care must be taken to treat any cracks that appear, whether vertical cracks resulting from the flexural or inclined cracks resulting from the shear.

Recently many researches have been done to strengthen concrete beams to avoid flexural or shear strength by using FRP fiber reinforced polymer sheets and laminates: Carbon fiber reinforced polymer CFRP, Glass fiber reinforced polymer GFRP, Or Aramid fiber reinforced polymer AFRP.

Current research present a proposition of conventional methods to strengthen concrete beams for flexural, and using materials of fiber reinforced polymer by using Different methods such as NSM method or EBR method, and the best method to provide the best contribution to improve resistance, which helps to develop the use of FRP in the reinforcement field.

Keywords: Flexural strengthening – Fiber reinforced polymer – FRP Laminate - FRP Sheets - Flexural failure.

* **Work Supervisor – Department of Structural Engineering – Faculty Of Civil Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria.**

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (5) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (5) 2017

تطور طرق تقوية الجوائز البيتونية المسلحة لمقاومة الانعطاف باستخدام مركبات FRP

رامية بديع غالية*

(تاريخ الإيداع 13 / 7 / 2017. قُبِل للنشر في 25/ 10 / 2017)

□ ملخّص □

تتعرض الجوائز لتأثير عزوم انعطاف مترافقة مع قوى قص، وباعتبار الجوائز البيتونية المسلحة من أهم العناصر الإنشائية، لذلك يجب الاهتمام بمعالجة أي تشققات تظهر بها سواء كانت تشققات عمودية ناتجة عن الانعطاف أو مائلة ناتجة عن القص.

أجريت في الآونة الأخيرة دراسات متعددة لتقوية الجوائز البيتونية على الانعطاف أو القص باستخدام شرائح أو صفائح بوليميرية مسلحة بالألياف (Fiber reinforced polymer FRP): الكربونية CFRP، الزجاجية GFRP، الأراميدية AFRP .

يقدم بحثنا الحالي عرضاً لبعض الطرق التقليدية لتقوية الجوائز على الانعطاف، واستخدام المواد البوليميرية المسلحة بألياف، باستخدام تقنيات مختلفة، هي تقنية NSM وتقنية EBR والطريقة الأفضل التي تقدم أفضل مساهمة في تحسين المقاومة، مما يساعد في تطوير استخدام FRP في مجال التقوية.

الكلمات المفتاحية: مقاومة الانعطاف –بوليميرات مدعمة بألياف – شرائح FRP – صفائح FRP – انهيار انعطاف.

*مشرفة على الأعمال – قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مقدمة:

تتعرض العناصر البيتونية المسلحة لدرجات متفاوتة من التضرر خلال مراحل استثمارها لأسباب متعددة، فقد تحتاج الكثير من الأبنية إلى تغيير نظام خدمتها أثناء استثمارها، مما يؤدي لزيادة الحمولات المطبقة عليها بحيث تتجاوز القيم التصميمية، أو قد توجد أخطاء تصميمية خطيرة أو عيوب إنشائية ناتجة عن سوء التنفيذ، أو بسبب تضرر مواد البناء مع الزمن نتيجة الحرائق أو الزلازل مما يفرض ضرورة الصيانة وإعادة التأهيل، لذلك ونتيجة كون الجوائز من أهم العناصر الإنشائية من الضروري معالجة التشققات التي تظهر عليها لتفادي خروجها من الاستثمار أو انهيارها. تعددت طرق التقوية للجوائز البيتونية المسلحة، يركز البحث الحالي على تقوية الجوائز لمقاومة الانعطاف وطرق التدعيم المختلفة في هذا المجال بما فيها الطرق الحديثة في تقوية الجوائز باستخدام مواد مركبة من البوليميرات المدعمة بالألياف FRP والمؤهلة نظراً لخصائصها الإيجابية من مقاومة الصدأ وخفة الوزن واللامغنطة وعدم ناقليتها للكهرباء بالإضافة للمقاومة العالية على الشد ومقاومة التعب لأن تكون بديلاً للقضبان الفولاذية خاصةً في الأوساط الضارة بالفولاذ.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تقييم طرق تدعيم الجوائز البيتونية لمقاومة الانعطاف سواء التقليدية أو طرق التدعيم الحديثة باستخدام مواد البوليميرات المدعمة بالألياف، وإظهار فعاليتها في التدعيم على الانعطاف.

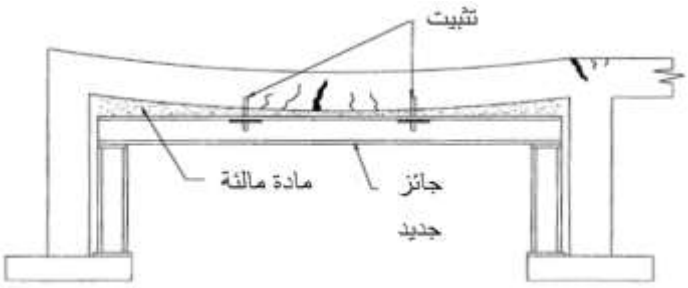
أما أهمية البحث فتبرز من خلال تسليط الضوء على طرق التدعيم الحديثة للتوصل للطريقة الأفضل في التدعيم، والإشارة إلى نواقص الدراسات في هذا المجال ليكون محوراً في الأبحاث المستقبلية.

طرائق البحث ومواده:

تم اتباع تقنيات تدعيم مختلفة للجوائز البيتونية بهدف تحسين قدرة تحملها ورفع مستوى أداءها وبالتالي زيادة فترة استثمارها، يعتمد البحث عرض الطرق التقليدية والحديثة المتبعة في التقوية، ثم مقارنة العلاقات المقترحة من بعض الكودات لمساهمة CFRP في مقاومة الانعطاف مع النتائج التجريبية لبعض الدراسات، لتحديد مدى توافقها معها وإمكانية الحاجة لدراسات معمقة لاقتراح علاقات أكثر دقة.

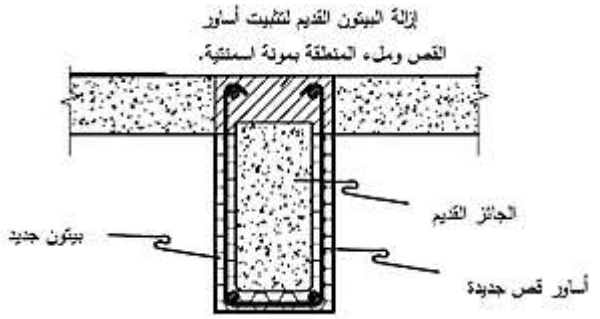
الطرق المتبعة في التقوية لمقاومة الانعطاف [5][4][3][2][1]:

1- **تقنية تغيير الجملة الإنشائية بإضافة عناصر جديدة:** تعتمد هذه التقنية تقصير المجال الفعال من خلال إضافة دعامات خارجية فولاذية. أو إضافة دعامات بيتونية أو معدنية فقط لتخفيض المجاز وبالتالي العزم المؤثر على الجائز، وإضافة جائز فولاذي خارجي كما في الشكل (1).



الشكل (1). تقوية جائز على القص والانعطاف، بإضافة دعامة وجائز فولاذي خارجي.

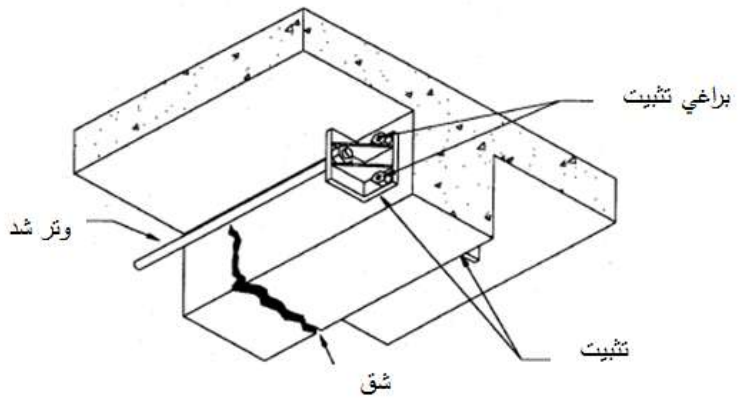
2- تقنية زيادة أبعاد المقطع: تتم زيادة مساحة المقاطع العرضية وبالتالي صلابتها باستخدام (البيتون المقذوف أو البيتون العادي) أي إضافة مواد جديدة كالمونة الاسمنتية مع ألياف فولاذية أو بولمرية تكسبها مواصفات جديدة كقابلية التمدد، والتحكم بالشقوق، وزيادة مقاومة الشد. كما تتم إضافة قضبان تسليح طولية أو أساور عرضية على السطح الخارجي ويغطى التسليح الجديد بالبيتون، لكن من مساوئ هذه الطريقة عدم ضمان تماسك البيتون القديم مع الجديد ويوضح الشكل(2) مثل هذه التقنية.



الشكل (2).تدعيم المقطع العرضي بزيادة أبعاد المقطع العرضي لجائز، (مع إضافة فولاذ تسليح طولي وعرضي).

تعد هذه الطريقة غير مكلفة إذا استخدمت بمساحات أفقية واسعة، وهي يتطلب وقتاً طويلاً لتنفيذها كما أن تغيير المقطع العرضي للعنصر قد يؤثر على المظهر الجمالي للمنشأة، وتزداد الحمولات الناتجة عن أوزان العناصر المقواة بشكل كبير لا يمكن إهماله.

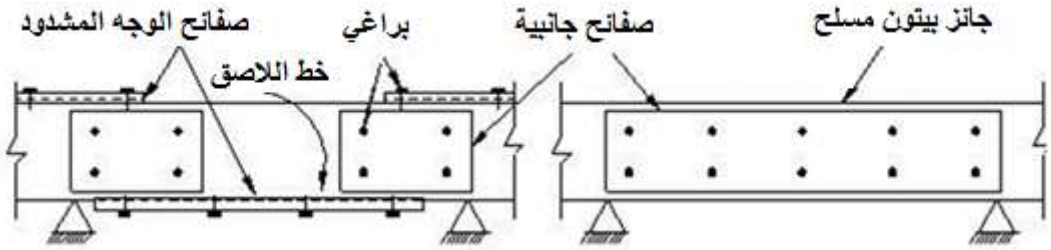
3-تقنية الشد اللاحق: قد يتعرض تسليح الشد للصدأ وتظهر التشققات في البيتون نتيجة وجود أوساط ضارة فيكون من المجدي في هذه الحالة تطبيق قوى ضاغطة على بعض العناصر بطريقة الشد اللاحق تسمح بزيادة مقاومتها على الشد وتعتبر إحدى وسائل التقوية المناسبة لزيادة مقاومة الجوائز على الانعطاف والقص وتنفذ باستخدام أوتار أو أسلاك أو كابلات فولاذية. و تعتبر طريقة تدعيم تقليدية معروفة ومجربة جيداً، كما تتوفر النماذج الرياضية لحساب هذا النوع من التقوية، يؤخذ عليها احتمال صدأ أوتار الشد الفولاذية والحاجة إلى تثبيتها جيداً عند النهايات، بالإضافة إلى حساسيتها للصدم عندما تكون خارجية، والحاجة لمعدات وإجراءات خاصة للقيام بعملية سبق الإجهاد. ويبين الشكل (3) الشد اللاحق لجائز بيتوني متشقق.



الشكل (3) الشد اللاحق لجائز بيتوني متشقق.

4- تقنية الربط بصفيحة خارجية: يتم استخدام تقنية الربط بصفيحة صلابتها ومقاومتها على الشد عالية توضع على السطح المشدود للعنصر لتقويته على الانعطاف، ويمكن أن نميز نوعين من تقنيات التقوية بالصفائح:

أ- **التقوية بالصفائح الفولاذية:** تعتبر تقنية قديمة نسبياً، وتعتمد على تثبيت صفائح فولاذية على سطح العنصر المعرض لإجهادات شد ناتجة عن عزوم الانعطاف أو القص، وذلك بواسطة براغي تثبيت، ويبين الشكل (4) التقوية على الوجه الجانبي والسفلي باستخدام الصفائح الفولاذية حيث تغطي شقوق الانعطاف والقص معاً.



الشكل (4) التقوية بالصفائح الفولاذية.

لكم رغم كون هذه الطريقة فعالة إلا أن صدأ الصفيحة وصعوبة تطبيقها على السطوح المنحنية والحاجة لضغط الصفيحة أثناء جفاف اللاصق عند استخدام تقنية لصق الصفائح، دفع إلى استخدام تقنيات أخرى مثل التقوية باستخدام صفائح أو شرائح (FRP).

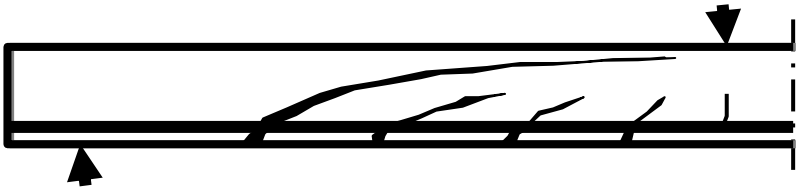
ب- التقوية بالصفائح البوليميرية المسلحة بالألياف (الكربونية – الزجاجية- الأراميدية): تتميز البوليميرات المسلحة بالألياف بمقاومة شد عالية وصلابة عالية ووزن خفيف، حيث تلصق على السطح الخارجي للجائز باستخدام الإيبوكسي وغيره. دون تغيير أبعاد المقطع العرضي، إلا أنها تتأثر بالحريق وانتشارها مايزال محدود والخبرة في تنفيذها لا تزال محدودة. ونبين بالشكل (5) استخدام صفائح ألياف الكربون لتقوية الجوائز على القص والانعطاف.

الشكل (5). تقوية جسر على القص والعزم بصفائح وشرائح ألياف الكربون.

أنماط الانهيار في الجوائز البيتونية Failure modes in RC beams [4][3][2][1]:

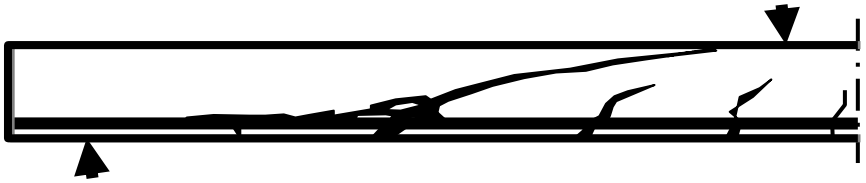
1- **الانهيار القطري Diagonal Failure:** إن أساس الانهيار القطري هو تراكب قوة القص و العزم ونميز ثلاثة أنواع هي:

أ- **انهيار الشد القطري Diagonal tension Failure:** يحدث من تأثير قوى القص الكبيرة بشكل مفاجئ وبدون إنذار مسبق، حيث يمتد شق القص القطري بشكل مفاجئ حتى الانهيار.



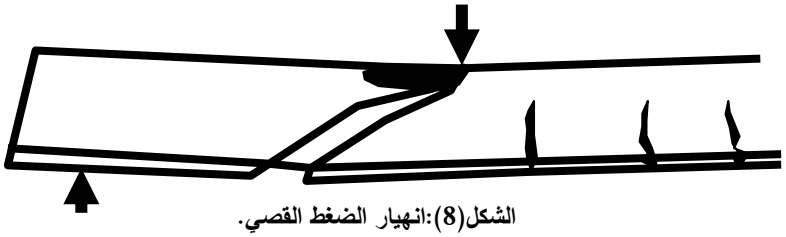
الشكل(6):انهيار الشد القطري.

ب- انهيار الشد القصي Shear tension Failure: يحدث في الجوائز القصيرة، إذ تظهر تشققات ثانوية في البيتون على طول قضبان التسليح الطولي فتسبب فقدان التماسك بين التسليح الطولي والبيتون، وبالتالي انقلاع قضبان التسليح الطولي من البيتون وانهيار منطقة الإرساء.



الشكل(7):انهيار الشد القصي.

جـ - **انهيار الضغط القصي Shear Compression Failure:** يحدث هذا الانهيار في الجوائز القصيرة، إذا امتد الشق القصي القطري عبر الجائز وأدى إلى الانهيار عند وصوله إلى منطقة الضغط.

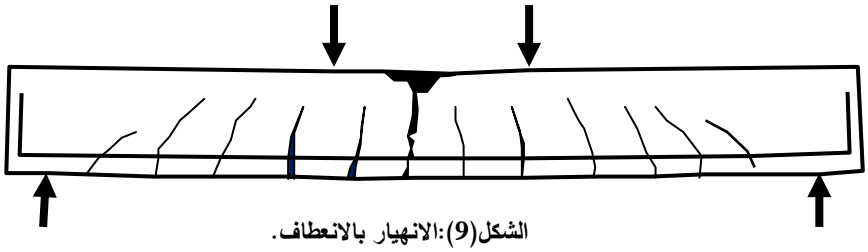


الشكل(8):انهيار الضغط القصي.

2 – الانهيار بالانعطاف Flexural Failure : يحدث هذا الانهيار في الجوائز الطويلة بظهور التشققات الناتجة عن الانعطاف عندما يتجاوز إجهاد الشد في البيتون حد مقاومته على الشد، وتكون غالباً شاقولية وتسبب انهيار الجائز (يتعلق شكل الانهيار بنسبة التسليح) بإحدى حالتين هما:

أ – عندما يكون الجائز أحادي التسليح (نسبة التسليح أقل من الأعظمية) يكون الانهيار بطيئاً بعد ظهور تشوهات كبيرة.

ب – عندما يكون الجائز ثنائي التسليح (نسبة التسليح أكبر من الأعظمية) قد يحدث انهيار سريع ومفاجئ وبدون سابق إنذار.



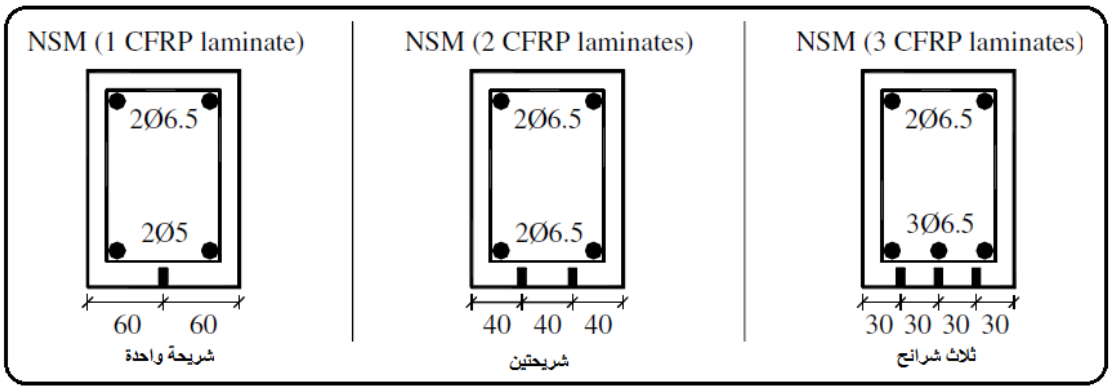
الشكل(9):الانهيار بالانعطاف.

نلاحظ أن كل اشكال الانهيارات بدأت بتشققات انعطاف وامتدت لينهار الجائز إما بالانعطاف أو الانعطاف والقص معا، لذلك يتطرق البحث هنا لطرق تدعيم الجوائز البيتونية لمقاومة الانعطاف.

تقنيات التدعيم على الانعطاف باستخدام مركبات FRP [12][11][10][9][8][7][6]:

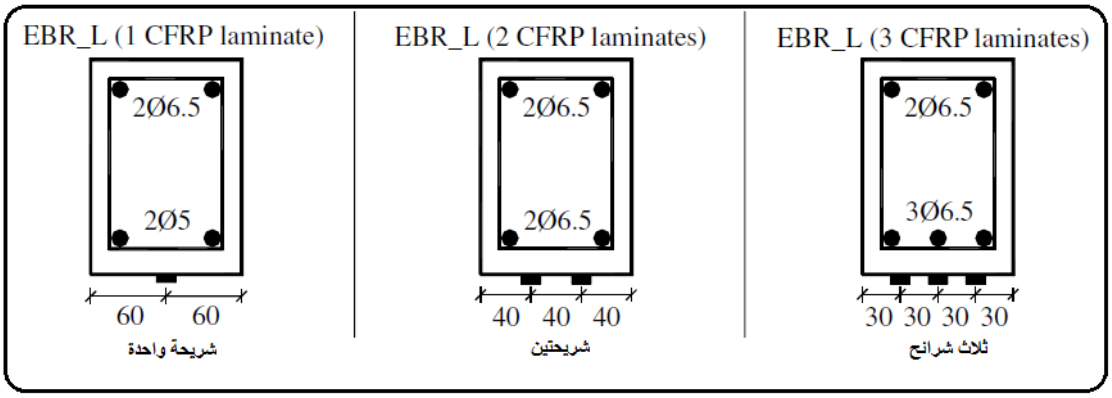
تستخدم تقنيات متعددة لتقوية الجوائز على الانعطاف نذكر منها:

1 – **التقوية على الانعطاف باستخدام شرائح من FRP موضوعة قرب السطح السفلي بتقنية NSM:** تعتمد هذه الطريقة على استخدام قضبان مستطيلة أو دائرية المقطع من البوليميرات المدعمة بألياف زجاجية أو كربونية، والتي توضع ضمن شقوق طولية مفتوحة مسبقاً في الغطاء البيتوني للعنصر، **حيث:** يتم فتح الشقوق بعرض 4–5mm وعمق 12–15mmعلى سطح البيتون، وتنظف بالهواء المضغوط، كما تنظف شرائح CFRP بالأسيتون، ثم تملأ الشقوق بلاصق الإيبوكسي ويوضع على سطح الشرائح، التي توضع في الشقوق ويزال اللاصق الزائد. توضع على الوجه السفلي للجائز شريحة واحدة أو أكثر كما في الشكل(10).



الشكل(10) التقوية على الانعطاف باستخدام شرائح CFRP بتقنية NSM.

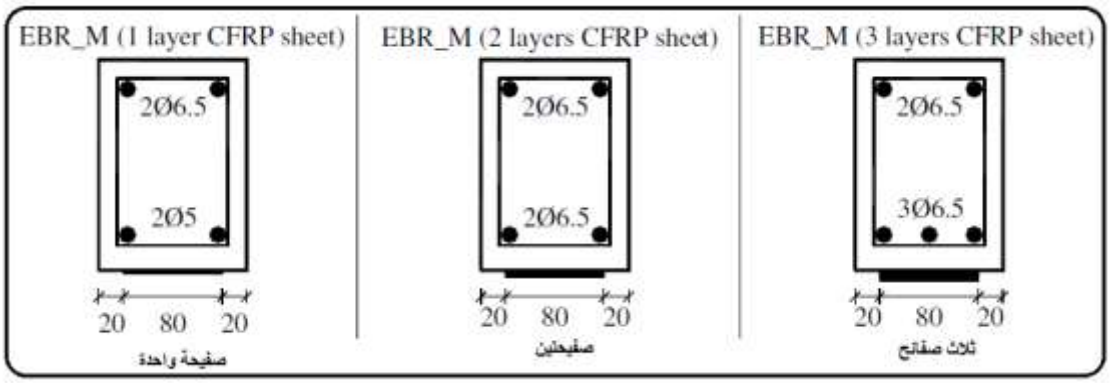
2 – **التقوية على الانعطاف باستخدام شرائح من FRP موضوعة على السطح السفلي بتقنية EBR–L:** تعتمد على وضع التقوية خارجياً: **حيث** يتم تنعيم وتنظيف السطوح التي ستلصق بها الشرائح، وتدور حواف الجوائز، ثمّ تزال البقايا بالهواء المضغوط، وتوضع طبقة أولية لتسوية سطح البيتون وزيادة امكانية الارتكاز على البيتون، ثم تلصق الشرائح على وجوه الجائز باستخدام لاصق الإيبوكسي. يبين الشكل (11) التقوية على الانعطاف باستخدام شرائح CFRP بتقنية EBR–L.



الشكل (11) التقوية على الانعطاف باستخدام شرائح CFRP بتقنية (EBR–L).

3 – **التقوية على الانعطاف باستخدام صفائح من FRP موضوعة على السطح السفلي بتقنية EBR–M:**

تعتمد هذه الطريقة على وضع التقوية خارجيا أيضاً بالخطوات السابقة ذاتها لكن تلصق الصفائح فوق بعضها كما في الشكل(12).



الشكل (12) التقوية على الانعطاف باستخدام صفائح CFRP بتقنية (EBR–M).

يبين الشكل(13) تحضير السطح البيتوني ووضع صفائح CFRP فوق اللاصق الرطب، أما الشكل (14) فيعرض لبعض أشكال الانهيار لجوائز اختبرت على الانعطاف بعد تقويتها بالتقنيات الآنفة الذكر، حيث:

– انهارت الجوائز المقواة بشرائح CFRP بتقنية NSM جميعها بخضوع التسليح الطولي وانهيار الغطاء البيتوني.

– انهارت الجوائز المقواة بشريحة أو شريحتين CFRP بتقنية EBR بفك ارتباط الشرائح عند السطح البيني بين البيتون والشريحة،

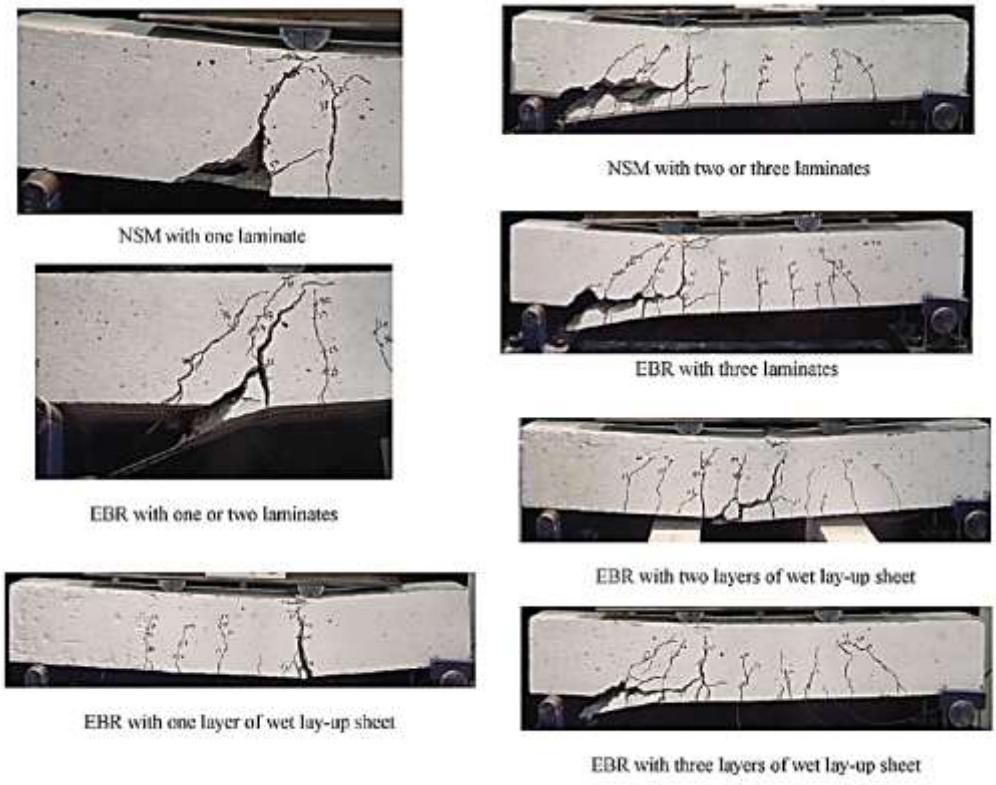
– انهارت الجوائز المقواة بثلاث شرائح CFRP بتقنية EBR بحالتين الأولى بخضوع التسليح الطولي وفك ارتباط الشرائح عند السطح البيني بين البيتون والشريحة، الثانية بخضوع التسليح الطولي وانهيار الغطاء البيتوني.

– الجوائز المقواة بصفائح CFRP بتقنية EBR فقد انهارت بالأشكال التالية:

- حالة طبقة واحدة من الصفائح: بانقطاع الصفيحة في منطقة انهيار المقطع العرضي للجائز.
- حالة طبقتين من الصفائح: بخضوع التسليح الطولي وانقطاع الصفيحة في منطقة انهيار المقطع العرضي للجائز.

- حالة ثلاث طبقات: بخضوع التسليح الطولي وانهيار الغطاء البيتوني.

الشكل(13) تحضير السطح البيتوني ووضع صفائح CFRP فوق اللاصق الرطب.



الشكل (14) بعض أشكال الانهيار لجوائز اختبرت على الانعطاف بعد تقويتها بتقنيات NSM وEBR .

كما يمكن أن تلصق الصفائح على جانبي الجائز وأسفله لمقاومة الانعطاف والقص، حيث تساهم الصفائح على الجانبين في مقاومة تشققات القص والانعطاف معاً، لكن لا يتطرق البحث الحالي لهذه الطريقة.

النتائج والمناقشة:

العلاقات المقترحة في ACI وfib لمساهمة التقوية باستخدام CFRP في مقاومة الانعطاف[4] [3]:

أ- **قدم ACI [5]** علاقة لمساهمة التقوية باستخدام CFRP باعتماد تقنية EBR بالشكل التالي:

$$M_{Rd} = A_{sl} f_{syd}(d_s - 0.4x) + \gamma_f A_f f_{fe}(h - 0.4x) \quad \text{ACI}$$

ب - **أما Fib** فاقترح علاقة لمساهمة التقوية باستخدام CFRP باعتماد تقنية EBR بالشكل التالي:

$$M_{Rd} = A_{sl} f_{syd}(d_s - 0.4x) + A_f f_{fe}(h - 0.4x) \quad fib$$

حيث: h – ارتفاع المقطع العرضي للجائز، x – موقع المحور المحايد، f_{fe} – اجهاد الشد الفعال في مركبات FRP والموافق للشروط الحدية $(f_{fe} = E_f.\varepsilon_{fe})$، γ_f – عامل أمان = 0.85، ε_{fe} – التشوه الفعال في مواد FRP، d_s – الارتفاع الفعال لفولاذ التسليح الطولي، A_{sl} – مساحة فولاذ التسليح الطولي، f_{syd} – مقاومة الشد لفولاذ التسليح الطولي، A_f – مساحة مواد FRP. نجد أن ال ACI أعطى علاقة fib ذاتها وبعامل أمان = 0.85 للحد المتعلق بالتقوية كما تختلف علاقة حساب ε_{fe} بين الكودين إذ تعطى في ACI بالشكل التالي:

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu}\left(\frac{h-x}{x}\right) - \varepsilon_{ci}$$

حيث: ε_{cu} التشوه الضغط الأعظمي في البيتون = 0.003. ε_{ci} التشوه الأولي في البيتون.

أما fib أعطى علاقة مختلفة لحساب ε_{fe} بالشكل التالي:

$$\varepsilon_{fe} = \alpha c_1 k_c k_b \sqrt{\frac{f_{ctm}}{nE_f t_f}}$$

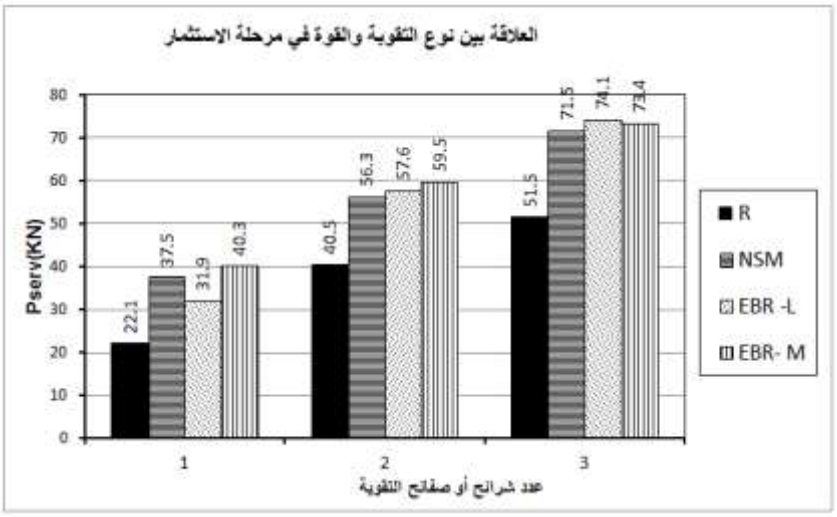
حيث: α عامل تخفيض = 0.9 يأخذ بالاعتبار تأثير التشققات المائلة على مقاومة التلاحم. C_1 عامل تجريبي يعطى القيمة 0.64 من أجل CFRP، t_f سماكة مواد FRP، k_c عامل ارتباط CFRP مع السطح البيتوني ويؤخذ مساوياً 0.67 أما k_b فهو عامل الشكل الهندسي ويعطى بالعلاقة:

$$k_b = 1.06\sqrt{\left(2 - \frac{b_f}{b}\right) \Big/ \left(1 + \frac{b_f}{400}\right)} \geq 1.0$$

حيث: b_f عرض نموذج FRP و b عرض الجائز البيتوني.

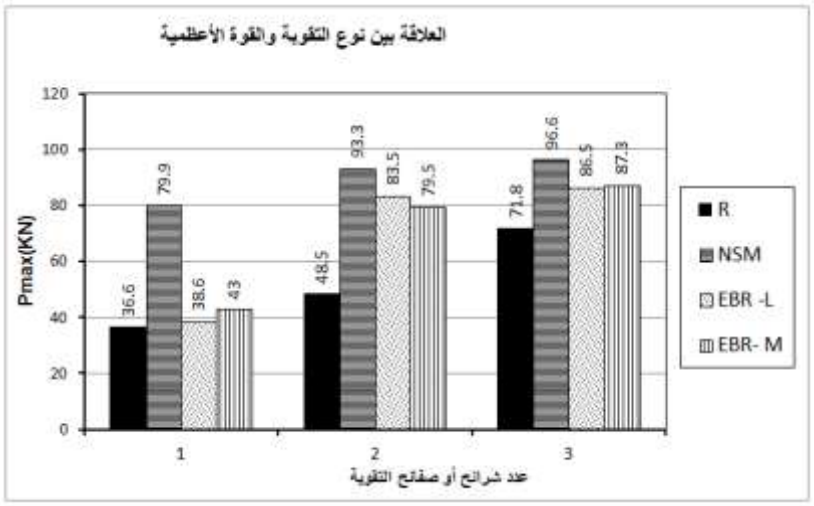
أما التقوية باعتماد تقنية NSM فلم يتم وضع علاقة خاصة لها، لذلك من الضروري إجراء دراسات أكثر لوصف مساهمة التقوية في هذه الحالة واقتراح العلاقة المناسبة.

يوضح الشكل(15) العلاقة بين نوع التقوية والقوة في مرحلة الاستثمار التي يتحملها الجائز بالمقطع العرضي والأبعاد ذاتها لكن بتسليح طولي مختلف حسب السلسلة المدروسة، لإظهار مقدار التحسين الحاصل نتيجة التقوية باستخدام شرائح أو صفائح من CFRP، مقارنة مع نفس الجائز بدون تقوية (R)



الشكل(15) مقارنة القوة في مرحلة الاستثمار بين الجوائز المقواة وجائز المقارنة (R).

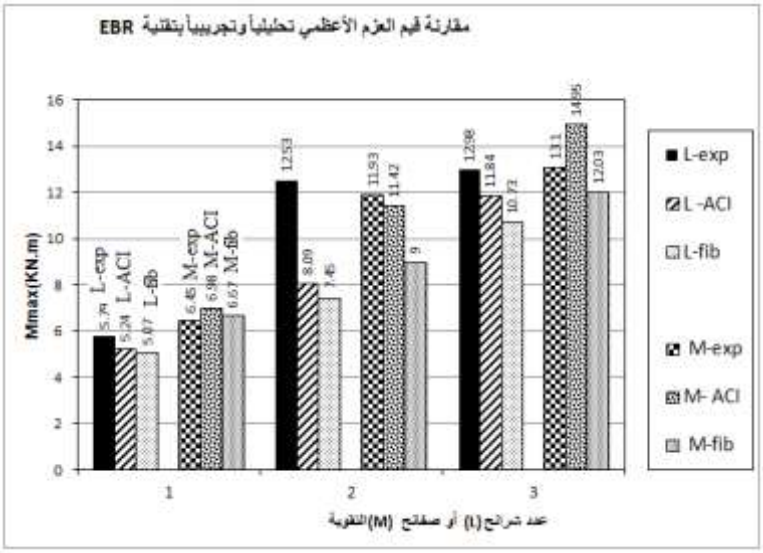
يظهر الشكل أن التقوية تعمل على زيادة القوة في مرحلة الاستثمار بنسب متفاوتة حسب عدد شرائح التقوية ويلاحظ أن الزيادة محدودة بزيادة عدد الشرائح، وهذا الفارق في الزيادة يكون أوضح في حالة دراسة العلاقة بين نوع التقوية والقوة الأعظمية التي يتحملها الجائز كما في الشكل(16)، حيث يلاحظ أن الزيادة تكون أعظمية عند استخدام التقوية بشرائح بتقنية NSM أكثر منها بتقنية EBR.



الشكل(16) العلاقة بين القوة الأعظمية ونوع التقوية.

نلاحظ من الشكل أن استخدام التقوية بشرائح بتقنية NSM تعطي زيادة في القوة الأعظمية التي يتحملها الجائز تصل إلى ضعفي الحمولة التي يتحملها بدون التقوية في حال استخدام شريحة واحدة أو اثنتين، وتقل الزيادة إلى 1.35 مرة من حمولة الجائز غير المقوى في حال استخدام ثلاث شرائح، في حين تكون الزيادة في الحمولة طفيفة في حال استخدام شريحة أو صفيحة تقوية واحدة بتقنية EBR، وتزداد في حال استخدام اثنتين أو ثلاث لتصل إلى 1.7 مرة من حمولة الجائز غير المقوى.

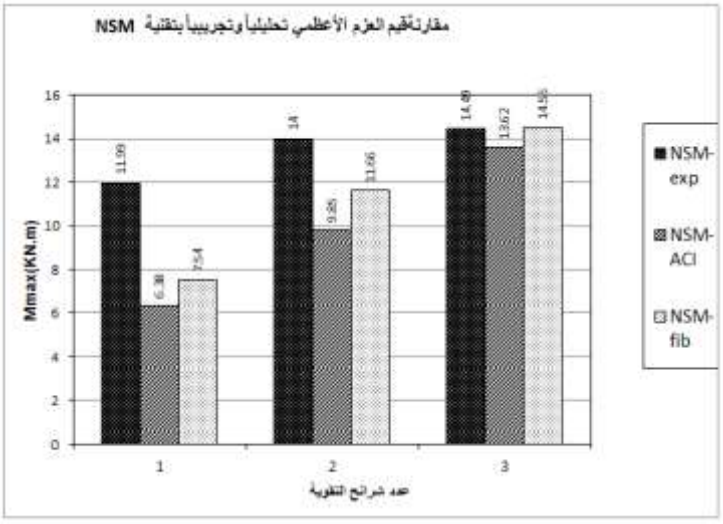
يبين الشكل(17) مقارنة بين العزم الأعظمي الذي يتحمله الجائز المقوى بتقنية EBR تجريبياً وتحليلياً وفق علاقتي ACI وَ fib المذكورتين أعلاه.



الشكل(17) مقارنة العزم الأعظمي تجريبياً وتحليلياً وفق ACI وfib عند التقوية بشرائح أو صفائح بتقنية EBR.

يبين الشكل أن العلاقات تعطي قيم عزوم قريبة من القيم التجريبية في حال استخدام شريحة أو صفيحة واحدة بتقنية EBR، أما في حال استخدام أكثر يزداد الفارق بين القيم التجريبية والتحليلية وتصبح قيم العزوم من العلاقات بعيدة عن قيمها التجريبية، لذلك يجب إجراء دراسات أكثر لتعديل العلاقات بحيث نحصل على قيم تحليلية منسجمة مع القيم التجريبية لكل حالات التقوية ومع جميع المتحولات التي تؤثر عليها من أبعاد عناصر التقوية وسماكتها ومواصفات اللاصق والتسليح الطولي المستخدم ونسبته وغير ذلك.

أما في حال استخدام تقنية NSM في التقوية والتي تعطي تحسين أفضل في المقاومة على الانعطاف فإن الكودان لم يقدما أي علاقة، لذلك وعند حساب العزم في حالة NSM باستخدام العلاقات السابقة المقدمة لحالة EBR يتم التوصل إلى الشكل(18) الذي يقدم مقارنة بين القيم التجريبية للعزوم الأعظمية في حالة التقوية بتقنية NSM والقيم التحليلية من العلاقات الخاصة بتقنية EBR.



الشكل(18) مقارنة قيم العزم بتقنية NSM تجريبياً وتحليلياً وفق علاقات ACI و fib لمقترحة لتقنية EBR.

نجد من الشكل أن قيم العزوم التجريبية تبتعد عن التحليلية في حال استخدام شريحة واحدة أو شريحتين في حين تقترب منها في حال استخدام ثلاث شرائح للتقوية، وبالتالي العلاقات لا يمكن أن تصف حالة NSM هذه لأقل من ثلاث شرائح وبالتالي يجب إجراء دراسات موسعة لإيجاد العلاقات الخاصة بهذه الحالة مع الأخذ بعين الاعتبار جميع المتحولات المؤثرة على التقوية أيضاً.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- أظهرت التقوية بشرائح CFRP بتقنية NSM أنها الأفضل من استخدام شرائح أو صفائح بتقنية EBR.
- زادت القوة القصوى التي يتحملها المقطع بنسبة ضعفين في حال التقوية باستخدام شرائح CFRP بتقنية NSM.
- كانت تقنية التقوية لمقاومة الانعطاف بطريقة NSM أكثر فاعلية من حيث الزيادة في الحمولة القصوى وعزم الانعطاف الأقصى من تقنية EBR.
- العلاقات التحليلية تعطي قيم عزوم انعطاف قريبة من التجريبية بتقنية EBR في حال استخدام شريحة أو صفيحة واحدة فقط.
- تعطي علاقات ACI و fib المقدمة لتقنية EBR قيم عزوم قريبة من التجريبية في حال تطبيقها على تقنية NSM في حال ثلاث شرائح فقط.

التوصيات:

- يوصى باستخدام التقوية بشرائح CFRP بتقنية NSM في حال التقوية لمقاومة عزم الانعطاف كونها تعطي نتائج أفضل في تحسين المقاومة على الانعطاف.
- ضرورة إجراء أبحاث ودراسات أكثر للتوصل إلى علاقات أكثر دقة لتحديد مساهمة التقوية باستخدام CFRP لمقاومة عزم الانعطاف بتقنية NSM،
- ضرورة إجراء أبحاث للتوصل إلى علاقات لتحديد مساهمة التقوية باستخدام CFRP لمقاومة عزم الانعطاف بتقنية EBR. مع ادخال كافة المتحولات المؤثرة.
- ضرورة إجراء أبحاث ودراسات على التقوية باستخدام GFRP لإيجاد نموذج معقول لوصف مقاومة عزوم الانعطاف لجوائز البيتون المسلح بـGFRP باعتبارها أرخص من CFRP.

المراجع:

1 – 2012 الكود العربي السوري " لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة " دمشق

2 - **ACI 318M-02**,*"BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL CONCRETE (ACI 318M-02),AND COMMENTARY (ACI 318RM-02)"*,2003

3 - ACI 440.1R-01, *Emerging Technology Series, "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars"*, 2003

4 - FIB – BULLETIN 14*." Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. Technical report by Task Group 9.3 FRP (fiber reinforced polymer) reinforcement for concrete structures"*. Fe´deration Internationale du Be´ton – fib, July 2001. 130 pp.

5 - PROF.DR.E. GHANDI JAHJAH, DR.E.AKRAM SAKKOUR , C.E.WAAD ALKHATIB*,"A Contribution to Study the Efficiency of Shear Strengthening of R.C. Beams with Inclined (GFRP) Strips"*. A Thesis Prepared to Acquire Master Degree In Structural Engineering- faculty of civil engineering- Tishreen University- Lattakia-2008.

6- J.A.O. BARROS , S.J.E. DIAS , *" Near surface mounted CFRP laminates for shear strengthening of concrete beams"* , Cement and Concrete Composites Volume 28, Issue 3, March 2006, Pages 276 -292.

7- RIYADH AL-AMERY, RIADH AL-MAHAIDI,*"Coupled flexural–shear retrofitting of RC beams using CFRP straps"* Composite Structures Volume 75 (2006),pages 457–464.

8- A.F. ASHOUR **,** , *" Flexural and shear capacities of concrete beams reinforced with GFRP bars"* , Construction and Building Materials Volume 20, Issue 10, December 2006, Pages 1005-1015 .

9- J.A.O. BARROS *, A.S. FORTES, *"Flexural strengthening of concrete beams with CFRP laminates bonded into slits"* Cement & Concrete Composites Volume 27, 2005, Pages 471-480.

10- BARROS, J; BONALDO,E *"Concrete Slabs Strips Reinforced with Epoxy-bonded Carbon Laminates into Slits"*. Cement and Concrete Composites. Vol.21, No.4, 2006, pages 405–420.

11 - DAVID ,A; BUYLE, F . *"Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened by CFRP Sheets"*. Structural Engineering U.S.A. Vol.4, No.3, 2006, pages 110-125.

12 - SENA, T; CRUZ, M. *" Near Surface Mounted CFRP -Based Technique for the Strengthening of Concrete Structures"*. Composite Structures U.S.A. Vol. 5, No.2, 2004, pages 205-217.