

مساهمة لدراسة فعالية تقوية الجيزان البيتونية المسلحة على الانحناء بأطوال مختلفة من شرائح ألياف البوليمر الكربونية باستخدام تقنية التقوية (NSM)

لما سيد أحمد*

(تاريخ الإيداع 12 / 12 / 2013. قُبِلَ للنشر في 16 / 3 / 2014)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة فعالية تقوية الجيزان البيتونية المسلحة على الانحناء بأطوال مختلفة من شرائح ألياف البوليمر الكربونية باستخدام تقنية التقوية بالرصع (NSM). لتحقيق هذا الهدف أجريت الدراسة تجريبياً على (14) جائزاً بيتونياً مسلحاً. المتغيرات التي أخذت بعين الاعتبار هي: طول ألياف الكربون ، عدد طبقات ألياف الكربون .

قسمت الدراسة إلى محورين : يضم المحور الأول ست جوائز قويت بأطوال مختلفة من شرائح ألياف الكربون وبطبقة واحدة ، أما المحور الثاني فيضم ست جوائز قويت بطبقتين وبأطوال مختلفة من ألياف الكربون مماثلة للأطوال المعتمدة في المحور الأول ، بالإضافة الى جائزين معياريين . فحصت الجوائز بوساطته حملين مركزين في نقطتين متناظرتين على الجائز .

أظهرت النتائج تأثير ألياف الكربون في زيادة تحمل الجوائز على الانحناء ، كما بينت النتائج أن تقنية تقوية الجوائز البيتونية ب شرائح ألياف الكربون على جزء من الطول الكلي للجائز وبطبقة واحدة لا يساهم في زيادة قابلية التحمل للجوائز . أما عند زيادة عدد الطبقات (طبقتين) لنفس طول شرائح الألياف لوحظ زيادة في تحمل الجوائز وينسب تتراوح بين (40% - 72%).

الكلمات المفتاحية: تقنية التقوية بالرصع القريب من الوجه، ألياف البوليمر الكربونية ، الإيبوكسي ، الانحناء ، الجوائز البيتونية المسلحة .

* قائمة بالأعمال - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

A Contribution to Studying the Efficiency of Flexural Strengthening of RC Beams with Different Lengths of CFRP Strips by Using NSM Technique

Lama Sayed Ahmad*

(Received 12 / 12 / 2013. Accepted 16 / 3 / 2014)

□ ABSTRACT □

This research aims to study the efficiency of flexural strengthening of RC beams with different lengths of CFRP strips by using (NSM) technique. The study is carried out experimentally on (14) concrete beams; the variables considered are (the length and number of CFRP strips). This is established by dividing the work into two groups: the first one includes (6) beams strengthened by variable carbon fiber strip lengths and one strip, The second group includes (6) beams strengthened by variable carbon fiber strip lengths and two strips, as well as two control beams. The results indicate that carbon fibers have a noticeable effect on increasing the bearing capacity of (NSM) strengthened beams. The results also show that strengthening the beams by CFRP and not along the length of the beam and in one layer does not contribute to increasing beam strength, but when the number of layers increases, an increase in beam strength is noticed at a rate range (40%-72%).

Keywords: Near Surface Mounting (NSM), Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), Epoxy, Flexural, Reinforced Concrete Beams.

*Academic Assistant, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

رغم محاسن استخدام حديد التسليح وفوائده في تقوية العناصر الإنشائية، إلا أنه لا يخلو من مشاكل عدة منها: ثقل وزنه ، ومشكلة الصدأ في حال تعرض معدن الحديد للرطوبة... الخ، وفي حال استخدام تقنية التقوية عن طريق زيادة أبعاد مقاطع العناصر الإنشائية التي تعتبر وسيلة جيدة، ولكنها في نفس الوقت تؤثر على أبعاد الفراغ ، وخاصة في حال الجسور العميقة، لذا اتجه المختصون إلى البحث عن مواد بديلة يتلاءم استعمالها مع جميع المنشآت ومع جميع الظروف الجوية [1].

إن ظهور ألياف البوليمير في العقدين الأخيرين كمادة بديلة ومتطورة لتقوية وتأهيل المنشآت البيتونية المسلحة، وتتمتع هذه الألياف بخصائص فيزيائية وكيميائية إيجابية مثل عدم الصدأ وخفة الوزن وانعدام المغنطة وعدم ناقلية الكهرباء بالإضافة للمقاومة العالية على الشد، ومقاومتها للرطوبة، والتآكل، والحرارة، وسهولة استخدامها، إضافة لقابليتها الجيدة على الاستطالة، قد أدى إلى استخدام هذه الألياف بشكل خاص في تقوية المنشآت البيتونية المعرضة للعوامل الجوية والكيميائية وزيادة قدرة تحملها على القص والانحناء [2,3].

أهمية البحث وأهدافه :

يهدف هذا البحث إلى دراسة فعالية تقوية الجيزان البيتونية المسلحة على الانحناء بأطوال مختلفة من شرائح ألياف البوليمر الكربونية باستخدام التقوية بالرصع القريب من الوجه (NSM)، وتقويم الجودة الإنشائية للعناصر المقواة من حيث الزيادة في قدرة تحملها، وتخفيض قيمة السهم فيها.

طرائق البحث ومواده:

تم في البداية عرض أنواع تقنيات التقوية باستخدام شرائح ألياف الكربون، وذكر أنواع ألياف FRP والمواد اللاصقة للألياف (Resins)، بالإضافة الى بعض الدراسات المرجعية حول التقوية بتقنية التسليح المرصع القريب من الوجه (NSM) ، وأخيراً عرض الدراسة التجريبية لهذا البحث.

1- أنواع تقنيات التقوية باستخدام شرائح ألياف الكربون :**أ- التقوية بتسليح الربط الخارجي (EBR) :**

إن التغليف الخارجي بشرائح ألياف البوليمر المسلحة بالألياف (FRP) بات في العقود الأخيرة في مقدمة التقنيات المستخدمة في تقوية العناصر البيتونية، وذلك نظراً لما تمتاز به هذه الألياف كما ذكرنا من خفة الوزن والمقاومة العالية للصدأ والتآكل إضافة إلى سهولة تحضير هذه الألياف بالأحجام المطلوبة في موقع العمل، حيث تلصق شرائح (FRP) على أسطح العناصر المطلوب تقويتها خارجياً باستخدام مواد لصق مناسبة [4].

لقد تبين لاحقاً أن التقوية بتسليح الربط الخارجي (EBR) تتأثر سلباً عند التعرض لدرجات الحرارة العالية والمنخفضة، وأيضاً بفعل دورات التجميد/ الذوبان، بالإضافة الى أنها عرضة لأعمال التخريب وقوى الصدم . لذلك تم الاتجاه نحو طرق جديدة أكثر فعالية [5].

ب- التقوية بتقنية التسليح المرصع القريب من الوجه (NSM):

ظهرت مؤخراً التقوية بتقنية التسليح المرصع القريب من الوجه (NSM) وذلك لزيادة مقاومة القص والانحناء للعناصر البيتونية المسلحة. تتخلص هذه الطريقة بصنع أخدود أسفل العنصر البيتوني المراد تقويته، ثم يطلى سطح

الأخدود بالمادة الرابطة (الإيبوكسي)، وتلصق شرائط أو قضبان ألياف البوليمير داخل الأخدود. تكون الشرائط بسماكة 1.4mm وعرض 10mm أما عرض وعمق الأخدود يتراوح بين 3-5mm و 12-15mm على التوالي [6].

2- أنواع ألياف FRP والمواد اللاصقة للألياف (Resins):

❖ تتوافر ثلاثة أنواع من ألياف FRP :

الألياف الكربونية (Carbon Fibers):

تملك أعلى عامل مرونة بين الألياف المستخدمة ، وتتراوح قيمته بين (200-800) Gpa.

ألياف الأراميد (Aramid Fibers):

لا تستخدم بشكل واسع في تطبيقات الهندسة المدنية، لأنها حساسة لدرجات الحرارة والرطوبة والأشعة فوق البنفسجية [7].

الألياف الزجاجية (Glass Fibers):

تتمتع الألياف الزجاجية بمقاومة وصلابة جيدة بالإضافة إلى تكلفتها المنخفضة مقارنةً بأنواع الألياف الأخرى.

❖ المواد اللاصقة للألياف (Resins):

يقوم اللاصق بتأمين الترابط بين الألياف نفسها، وبين الألياف والسطح الذي ستطبق عليه، وتتوافر ثلاثة أنواع رئيسية:

لواصق الإيبوكسي (Epoxy Resins):

هي الأكثر انتشاراً بسبب مقاومتها المركبات الكيماوية، والتصاقها الجيد مع أنواع الألياف المختلفة، لكنها مرتفعة التكلفة [8].

لواصق البوليستر (Polyester Resins):

تعد هذه اللواصق الأكثر اقتصادية.

لواصق فنيل إستر (Vinyl Ester Resins):

تملك خصائص التصاق متوسطة مقارنةً مع لواصق الإيبوكسي، وهي أكثر تكلفةً من لواصق البوليستر .

3- دراسات مرجعية حول التدعيم:

الحالة الأولى:

قام Barros and Bonaldo بدراسة التقوية بشرائح ألياف الكربون بطريقة (NSM) للبلاطات البيتونية المسلحة ودراسة مدى فعالية هذه التقنية في زيادة مقاومة الانعطاف والقصر للعناصر المقواة [6].

لقد تم اختبار خمس بلاطات مسلحة بالاتجاهين ب (2Ø6mm/300mm)، اثنتان منها معيارية غير مقواة، وثلاث بلاطات مقواة بطريقة (NSM). تعتمد الطريقة كما أسلفنا على إدخال شرائح ألياف الكربون إلى أخاديد مجهزة مسبقاً في العناصر البيتونية المراد تقويتها حيث يُطلى وجهها الشرائح بلاصق الإيبوكسي وتوضع داخل الأخدود.

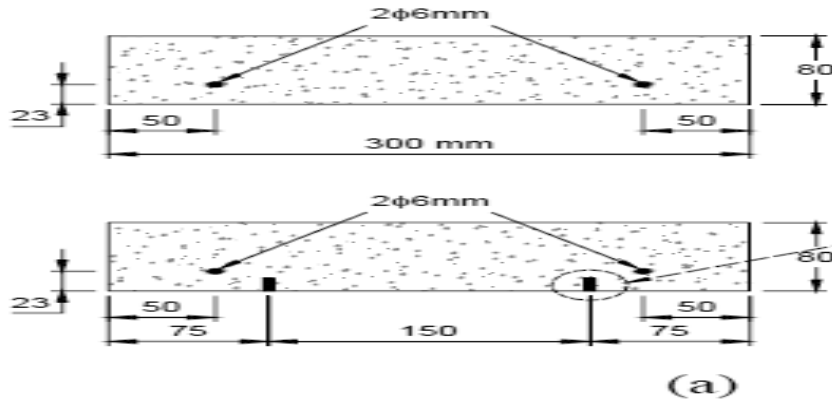
تتضمن تقنية NSM الخطوات التالية : فتح الشقوق بعرض 5mm وعمق 15mm في الغطاء الخرساني باستخدام آلة القطع الخاصة ، ويتم تنظيف الشقوق بوساطته ضاغط الهواء الكهربائي. أما شرائح ألياف البوليمير الكربونية المسلحة (CFRP) فهي بعرض 10mm وسماكة 1.4mm يتم طلاء شرائح CFRP بوساطته الأسيتون، تملأ الشقوق بالمادة اللاصقة الإيبوكسي، ويتم لصق شرائح CFRP داخل الشقوق، يبين الشكل (1) مراحل التقوية.



(a) فتح الشقوق (b) تطبيق اللاصق (c) وضع شرائح CFRP ضمن الشقوق

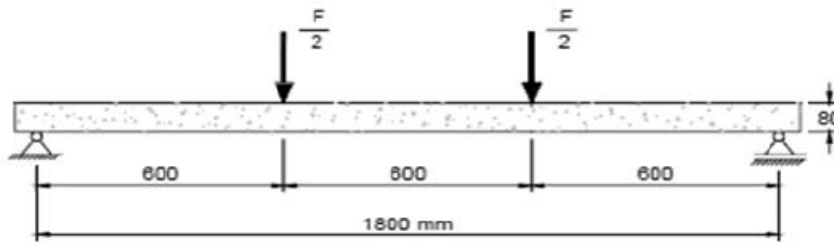
الشكل (1): مراحل التقوية

يظهر الشكل ترتيب التسليح التقليدي حيث لا وجود لتسليح القص بالإضافة الى توضع شرائح CFRP .



الشكل (2): تفاصيل النماذج المدروسة

اختبرت البلاطات باعتبارها بسيطة الاستناد بالاتجاهين (على كامل عرض الشريحة) بوساطته حمل موزع على عرض الشريحة محصلته $F/2$ حيث مجاز البلاطة 1800mm وسماكة البلاطة 80mm وعرض البلاطة 300mm، يظهر الشكل (3) شروط الاستناد والتحميل .



الشكل (3): شروط الاستناد والتحميل

أما المقاومة المميزة للبيتون (عالي المقاومة) بالإضافة الى معامل المرونة للنماذج المقواة والمعيارية فكانت كما يبينها الجدول (1):

الجدول (1): خصائص الخرسانة

Property	Control Slabs		Strengthened Slabs		
	SL01	SL06	SL03S	SL04S	SL08S
fc (MPa)	45.65	49.39	43.13	42.41	49.35
Ec(MPa)	36.526*10 ²	37.488*10 ²	35.840*10 ²	34.583*10 ²	37.478*10 ²

حيث: SL01-SLO6 : العينات المعيارية.

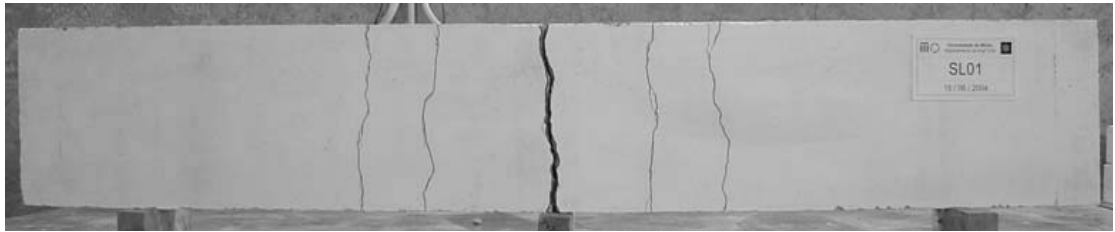
SL08S SL04S SL03S : البلاطات المقواة بطريقة NSM .

اختبرت هذه العينات تحت تأثير القوى المذكورة أعلاه المتزايدة تدريجياً من الصفر حتى قيمتها النهائية المسببة لانهييار البلاطة، سرعة تطبيق الحمولة 0.15N/mm².Sec . يظهر الجدول (2) الحمل الأقصى للبلاطات المدروسة ، متوسط الحمولة القصوى ، تشوه بيتون الضغط ، بالإضافة الى أنماط الانهييار للنماذج المدروسة.

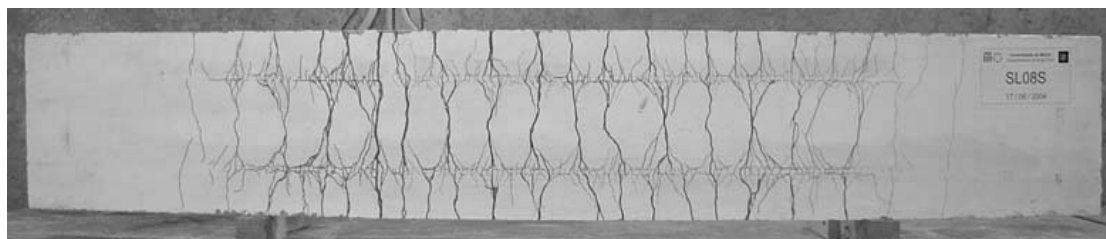
الجدول (2): ملخص نتائج الاختبار للبلاطات المدروسة

Slab	Maximum Load (Kn)	Average of the Maximum Load (Kn)	Concrete Compression Strain (%)	Mode of Failure
SL01	5.35	5.03	3.32	Flexure
SL06	4.71		2.27	Flexure
SL03S	24.38	24.48	3.40	Flexure
SL04S	24.91		3.01	Flexure
SL08S	24.15		2.90	Flexure

نلاحظ نسبة الزيادة الكبيرة في الحمولة بنتيجة تقوية البلاطات بطريقة (NSM) وهذا ماثبتت فعالية هذه الطريقة في رفع الجودة الإنشائية للعناصر المختبرة وذلك من خلال زيادة قدرة التحمل للعناصر المقواة بمقدار خمسة أضعاف . انهارت جميع العينات بالانحناء (الإنعطاف) أما أشكال الانهييار للنماذج المدروسة SL01، SL08S بحسب ما توصل له الباحثون فهي مبينة بالشكلين (4,5) ، ونلاحظ أن هناك اختلافاً في أشكال الانهييار للعناصر المدروسة (المعيارية والمقواة) حيث إنه في النماذج المقواة الشكل (5) ساعدت شرائح ألياف الكربون على الاستفادة من كامل منطقة العزم الموجب .



شكل (4): انهيار البلاطة SL01



شكل (5): انهيار البلاطة SL08S

الحالة الثانية:

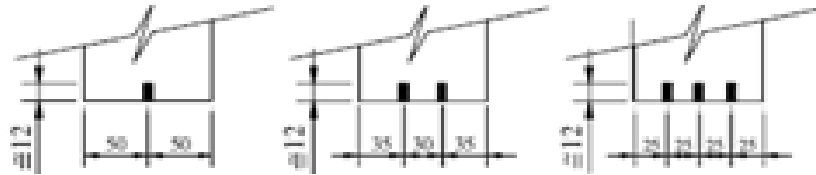
قام Barros and Fortes بدراسة التقوية بشرائح ألياف الكربون بطريقة (NSM) للجوائز البيتونية المسلحة ودراسة مدى فعالية هذه التقنية في زيادة مقاومة الانعطاف للعناصر المقواة بطريقة (NSM) [5]. حيث تم اختبار أربع مجموعات من الجيزان تضم كل مجموعة عينة معيارية بالإضافة لعينتين مقواة بطريقة (NSM)، تم تقوية الجوائز في المجموعة الأولى بطبقة واحدة من شرائح ألياف البوليمير الكربونية، أما المجموعتان الثانية والثالثة فقد تم تقوية الجوائز بطبقتين من شرائح ألياف البوليمير الكربونية، وتمت التقوية في المجموعة الأخيرة بثلاث طبقات من الشرائح كما هو مبين في الشكل (6). تفاصيل النماذج المدروسة لكل مجموعة مبينة في الجدول (3) والشكل (6).

الجدول (3): تفاصيل النماذج المدروسة

الجوائز المقواة			الجائز المعياري		رمز المجموعة
عدد طبقات التقوية (CFRP)	التسليح (mm)	الأبعاد (mm)	التسليح (mm)	الأبعاد (mm)	
طبقة واحدة	2Ø6 2Ø8	170*100	2Ø6 2Ø8	178*100	S1
طبقتين	3Ø6 2Ø8	177*100	3Ø6 2Ø8	173*100	S2
طبقتين	1Ø8- 2Ø6 2Ø8	175*100	1Ø8- 2Ø6 2Ø8	175*100	S3
ثلاث طبقات	3Ø8 2Ø8	180*100	3Ø8 2Ø8	175*100	S4

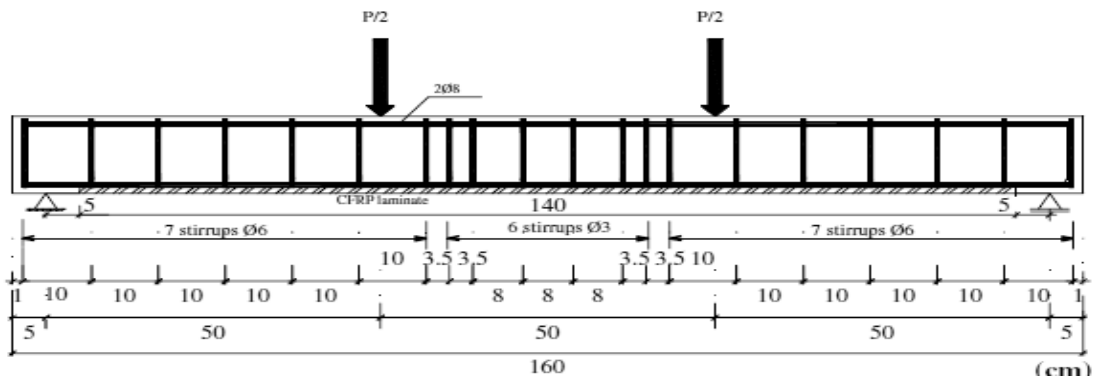
SERIES S1	SERIES S2	SERIES S3	SERIES S4
<p>$A_f/A_s = 25.2\%$</p>	<p>$A_f/A_s = 33.6\%$</p>	<p>$A_f/A_s = 26.7\%$</p>	<p>$A_f/A_s = 28.3\%$</p>

CFRP laminates



الشكل (6): تفاصيل النماذج المدروسة

تعتمد الطريقة كما ورد سابقاً على تطبيق شرائح ألياف الكربون إلى أخاديد مجهزة مسبقاً في العناصر البيتونية المراد تقويتها، حيث تفتح الشقوق (الأخاديد) بعرض 4mm وعمق 12mm في الغطاء الخرساني للجزء المشدود من الجائز باستخدام آلة القطع الخاصة، وتنظف الشقوق بوساطته ضاغط الهواء الكهربائي. أما شرائح CFRP فهي بعرض 10mm وسماكة 1.4mm ويطلّى وجهها الشرائح بلاصق الإيبوكسي وتلصق داخل الأخدود. اختبرت النماذج باعتبارها بسيطة الاستناد بوساطته حمل مركز في نقطتين، معدل سرعة تطبيق الحمولة $0.15N/mm^2.Sec$. يظهر الشكل (7) شروط الاستناد والتحميل.



الشكل (7) شروط الاستناد والتحميل

البيتون المستخدم في الدراسة بيتون عالي المقاومة أما المقاومة المميزة فهي 50Mpa. يظهر الجدول (4) الحمولة الأعظمية الوسطية للجوائز المدروسة بالإضافة للحمولة الأعظمية للجوائز المعيارية نتيجة تطبيق الحملات المتزايدة تدريجياً من الصفر حتى الإنهيار.

الجدول (4): حمولة الإنهيار للنماذج المدروسة

S4		S3		S2		S1		Series
V4R3	V4	V3R2	V3	V2R2	V2	V1R1	V1	Beam
94.9	48.5	81.9	41.3	78.5	41.0	50.3	28.2	Pu (Kn)

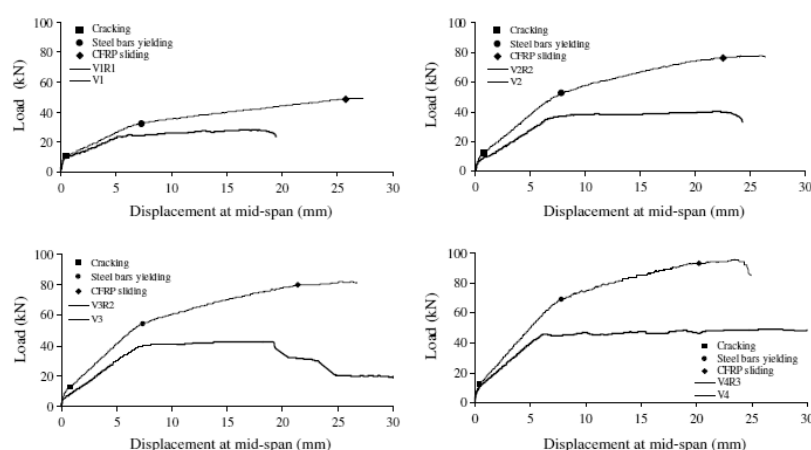
حيث Pu:حمولة الإنهيار الكلية .

نلاحظ الزيادة الكبيرة في قدرة تحمل الجوائز المدعمة، حيث بنتيجة تقوية الجوائز في المجموعة الأولى ارتفعت قدرة التحمل بمقدار 78.36%، وبنسبة 91.46% في المجموعة الثانية، وفي المجموعة الثالثة بمقدار 98.3%، وأخيراً 95.67% للمجموعة الأخيرة. وهذا ما يؤكد فعالية هذه الطريقة في رفع الكفاءة الانشائية للنماذج المدعمة. وقد تم تسجيل القيم الوسطية للتشوه الأعظمي لشرائح CFRP للعينات المقواة الذي يظهره الجدول (5).

الجدول (5): التشوه الأعظمي لشرائح CFRP

Series	Beam	€ %
S1	V1R1	15.5
S2	V2R2	12.8
S3	V3R2	12.8
S4	V4R3	10.6

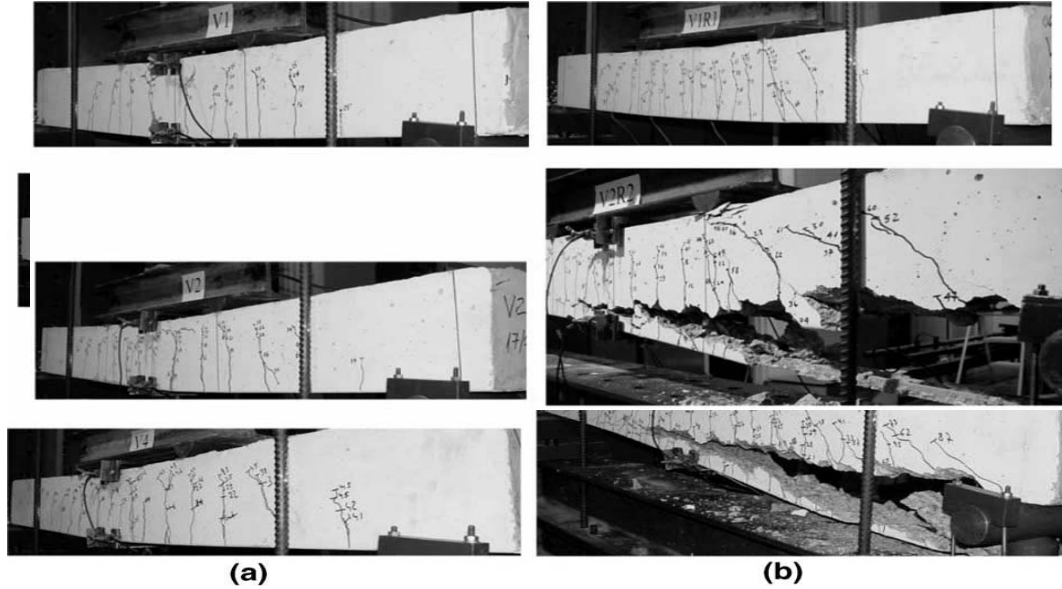
تم تمثيل منحنيات الحمولة – السهم (للقيم الوسطية) لكل مجموعة على حدى وفقاً لما يظهره الشكل (8).



الشكل (8): علاقة (الحمولة-السهم) للجوائز المختبرة

أما أشكال الانهيار بالإضافة للتشققات للنماذج المدروسة بحسب ما توصل له الدارسون فكانت بالشكل (9)

الآتي:



الشكل (9): نماذج التشققات وأنماط الانهيار للنماذج المرجعية (a) والمقواة (b) بعد الانهيار

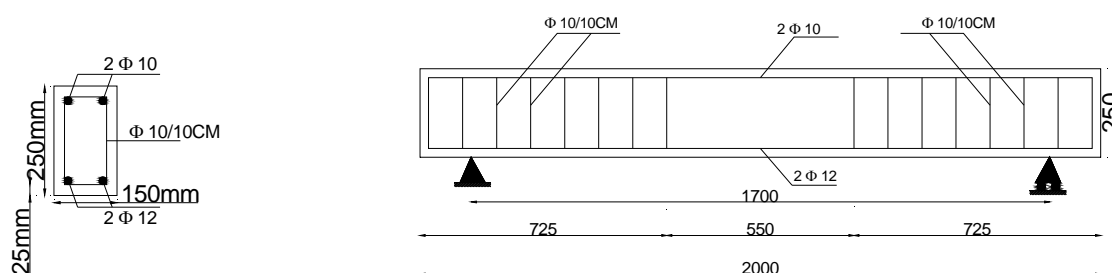
الحالة الثالثة:

لقد قام Barros and Dias بمقارنة أداء تقنيات EBR و NSM بالنسبة للقص للبلاطات البيتونية. وتم الوصول الى أن تقنية NSM هي الأكثر فعالية وتعتمد على الترابط بين شرائح CFRP والشقوق (الأخاديد) ، حيث كانت الحمولة الأعظمية أعلى والسهم المقابل لها أقل بحوالي 15 % و 26 % على التوالي باستخدام تقنية NSM مقارنة مع تقنية الربط الخارجي EBR . فضلاً عن كونها أسرع وأسهل في التطبيق ، اما التشوه الأعظمي في شرائح CFRP للعناصر المقواة بطريقة NSM أعلى من التشوه الأعظمي في شرائح CFRP في حال استخدام تقنية التقوية بالربط الخارجي EBR[9].

4-الدراسة التجريبية:

من أجل دراسة تأثير التقوية بألياف البوليمير الكربونية على مقاومة الانحناء للجوائز البيتونية المسلحة (بيتون عادي وليس عالي المقاومة كما هو الحال في الدراسات المرجعية السابقة وذلك لعدم امكانية التوصل للبيتون عالي المقاومة في مخابرننا) وذلك باستخدام تقنية الرصع القريب من الوجه (NSM)، أجرينا دراسة على (14) جائزاً بيتونياً مسلحاً والمتغيرات التي أخذت بعين الاعتبار هي :عدد طبقات شرائح ألياف الكربون، طول شرائح ألياف الكربون. وذلك من أجل معرفة تأثير المتغيرات على مقاومة الانحناء للعناصر المقواة (هل التقوية بطبقتين تعطي نتائج أفضل من التقوية بطبقة واحدة أو بالعكس أم أن النتائج متقاربة ، أيضاً تم استخدام ثلاثة أطوال للشرائح الكربونية وذلك من أجل الاقتصاد في مادة الشرائح حيث اذا أعطت الأطوال الصغيرة أو المتوسطة تحسناً ملحوظاً في السلوك الإنشائي للعناصر المقواة ونتائج مقارنة لنتائج التقوية بأطوال كبيرة عندها لاداعي لاستخدام الشرائح بأطوال كبيرة أو على كامل طول الجائز). وتم الحصول على العلاقة بين (الحمولة - السهم) للجوائز البيتونية المقواة بالإضافة الى النماذج المعيارية .

أظهرت النتائج تأثير شرائح ألياف الكربون في زيادة تحمل الجوائز البيتونية المسلحة على الانحناء (الانعطاف) بالإضافة الى انخفاض قيمة السهم في الجوائز المقواة.
الجوائز البيتونية المستخدمة في الدراسة كانت بأبعاد : الطول (2000mm) ، الارتفاع (250mm) والعرض (150mm) سلحت كافة الجوائز على القص وذلك لكي يكون الانهيار الحاصل فيها ناتجاً عن الانحناء ، والشكل (10) يبين أبعاد الجوائز المستخدمة في الدراسة بالإضافة الى تفاصيل التسليح.



الشكل (10) : تفاصيل التسليح للجوائز المستخدمة في الدراسة

ملاحظة : يمكن التحقق من صحة النتائج التجريبية وذلك بتحليل سلوك هذه الجيزان من خلال نمذجتها باستخدام طريقة العناصر المنتهية FEM (برنامج ANSYS مثلاً) ولكن لا يمكن الاعتماد على نتائجها بمفردها.
قسم البرنامج التجريبي للدراسة إلى محورين:
1- تقوية الجوائز البيتونية المسلحة بطول (500-1000-1500mm) وبطبقة واحدة من شرائح ألياف الكربون ، وقد تم اختبار جائزين لكل طول من الشرائح بالتالي يبلغ عدد الجوائز المختبرة في هذا المحور ستة جوائز.
2- تقوية الجوائز البيتونية المسلحة بطول (500-1000-1500mm) وبطبقتين من شرائح ألياف الكربون، أيضاً تم اختبار جائزين لكل طول من الشرائح والعدد الكلي للجوائز المختبرة ستة جوائز في هذا المحور. نرّمز للجوائز كمايلي:

B-1: الجائز المعياري حيث ا: رقم الجائز المعياري.

B-R-1: الجائز المقوى حيث R : طول شرائح ألياف الكربون ، ا: عدد طبقات شرائح التقوية.

خصائص المواد المستخدمة في الدراسة:

1-الخلطة البيتونية : تم صب جميع الجوائز البيتونية والبالغ عددها أربعة عشر جائزاً من خلطة بيتونية

واحدة وينسب وزنية موضحة في الجدول التالي:

الجدول (6): النسب الوزنية للخلطة البيتونية

الماء	الحصى	الرمل	الإسمنت
0.48	2.1	1.68	1

أما المقاومة الأسطوانية على الضغط فهي 25Mpa

تم تجهيز وصب هذه الجيزان وعددها 14 جائزاً، باستخدام القوالب المعدنية المتوفرة في مخبر تجريب المواد في جامعة البعث.



الشكل (11): صب الجيزان في القوالب المعدنية

2- ألياف البوليمير الكاربونية (CFRP):

تم استخدام ألياف الكربون من نوع (Sika Wrap Hex-230C) في تقوية الجوائز البيتونية المسلحة المستخدمة في الدراسة. وهذا النوع من الألياف له القابلية الجيدة على تقوية المنشآت البيتونية المسلحة على القص والانحناء.

يوضح الجدول التالي الخصائص الميكانيكية لألياف الكربون.

الجدول (7): الخصائص الميكانيكية لألياف الكربون

1	Fiber type	high strength carbon fibers
2	Construction	Warp: Carbon fibers(99% of total a real weight) Weft: Thermoplastic heat-set fiber (1% of total a real weight)
3	Fabric design thickness	0.12mm (Based on total carbon content)
4	Tensile strength of fiber	5.6 x 10 ⁵ psi (nominal)
5	Tensile E- modulus of fibers	33.7 x 10 ⁶ psi (nominal)
6	Strain at break of fiber	1.7%(nominal)
7	Shelf life	2 years from Date of production
8	Package	1 roll in card board box

3- المادة الرابطة (الإيبوكسي):

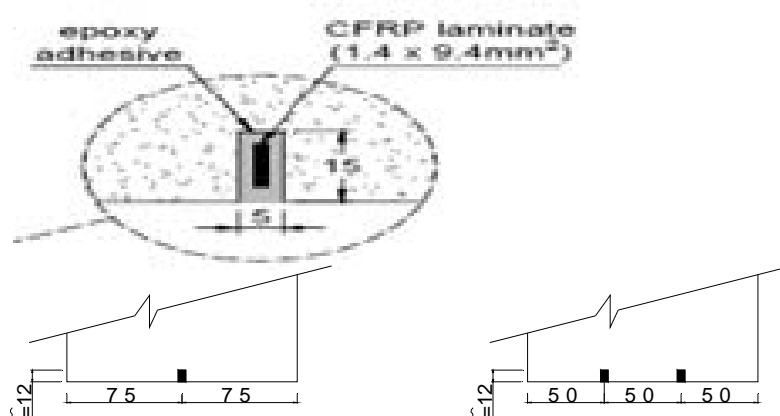
في الدراسة الحالية تم استخدام المادة الرابطة من جزأين : المادة الصمغية وتكون بلون أبيض والمادة المصلدة وتكون بلون رصاصي غامق.

تغليف النماذج :

بعد اكمال فترة المعالجة للجوائز البيتونية المسلحة المراد تقويتها تترك لتجف ثم يتم:

- 1- تنظيف منطقة التقوية (الأخدود) للجائز وإزالة الغبار (قبل فتح الشق).
- 2- تخشين سطح التقوية للخرسانة (منطقة التقوية) باستخدام الضاغط الكهربائي وإزالة الغبار والمواد الناتجة من عملية التخشين وذلك باستخدام ضاغط الهواء الكهربائي .
- 3- فتح الشقوق في الغطاء الخرساني للجزء المشدود من الجائز بعرض 5mm وعمق 15mm باستخدام آلة القطع الخاصة ، ويتم تنظيف الشقوق بوساطته ضاغط الهواء الكهربائي.
- 4- تقطيع ألياف الكربون بالأبعاد المطلوبة للتقوية حسب أبعاد الأخاديد، كانت شرائح CFRP بعرض 9.4mm وسماكة 1.4mm.
- 5- تهيأ المادة الرابطة (الإيبوكسي) وفق الكمية المطلوبة وحسب مساحة ألياف الكربون ، وحددت كمية الإيبوكسي kg (1.2) لكل متر من الألياف [10].

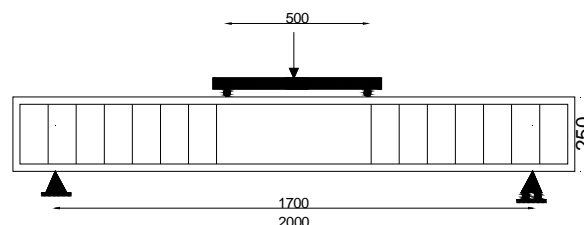
6- تظلى الشقوق في الجائز المراد تقويته بالألياف بالمادة الرابطة ويتم تسويتها للحصول على سطح مستو، ثم توضع الألياف داخل الأخدود فوق المادة الرابطة ويضغط عليها وذلك للتخلص من الفراغات الهوائية بين الألياف والمادة الرابطة، ثم يغطى السطح الخارجي للألياف بالمادة الرابطة وبنسبة (0.5 kg لكل متر مربع من الألياف) ويعدل السطح بالمالج وتترك النماذج المقواة بالألياف لمدة لا تقل عن (7) أيام للمعالجة ثم تفحص وتتبع نفس الطريقة في حالة التغليف بطبقتين من الألياف.



الشكل (12) : تفاصيل الشق

فحص الجوائز المستخدمة :

فحصت النماذج باعتبارها بسيطة الاستناد بوساطته حمل مركز في نقطتين حيث مجاز الجائز 1700mm ، والشكل (13) يبين الجائز المدروس تحت تأثير الأحمال.



الشكل (13): الجائز المدروس تحت تأثير الأحمال

منهج اختبار الجيزان:

تم اختبار جميع الجيزان المعيارية والمقواة في مخبر البيتون المسلح في جامعة البعث باستخدام جهاز اختبار الجيزان. حيث اختبرت باعتبارها جيزان بسيطة الاستناد، معرضة لقوة مركزة في نقطتين، متزايدة تدريجياً من الصفر حتى انهيار الجائز. معدل سرعة تطبيق الحمولة $0.15 \text{N/mm}^2 \cdot \text{Sec}$.

النتائج والمناقشة:

❖ تم حساب المقاومة الأعظمية و منحنى (الحمولة - السهم) والصلابة للنماذج المختبرة .

1- المقاومة القصوى الوسطية للجيزان المختبرة:

تم حساب المقاومة القصوى الوسطية (قيمة القوة الأعظمية المطبقة من الجهاز على الجائز) لكل جائزين لهما نفس طول شرائح ألياف الكربون وعدد الطبقات ذاته بالإضافة للجوائز المعيارية. يوضح الجدول (8) النتائج التي تم الحصول عليها نتيجة فحص الجوائز البيتونية المسلحة محور الدراسة .

الجدول(8): نتائج فحص الجوائز المدروسة

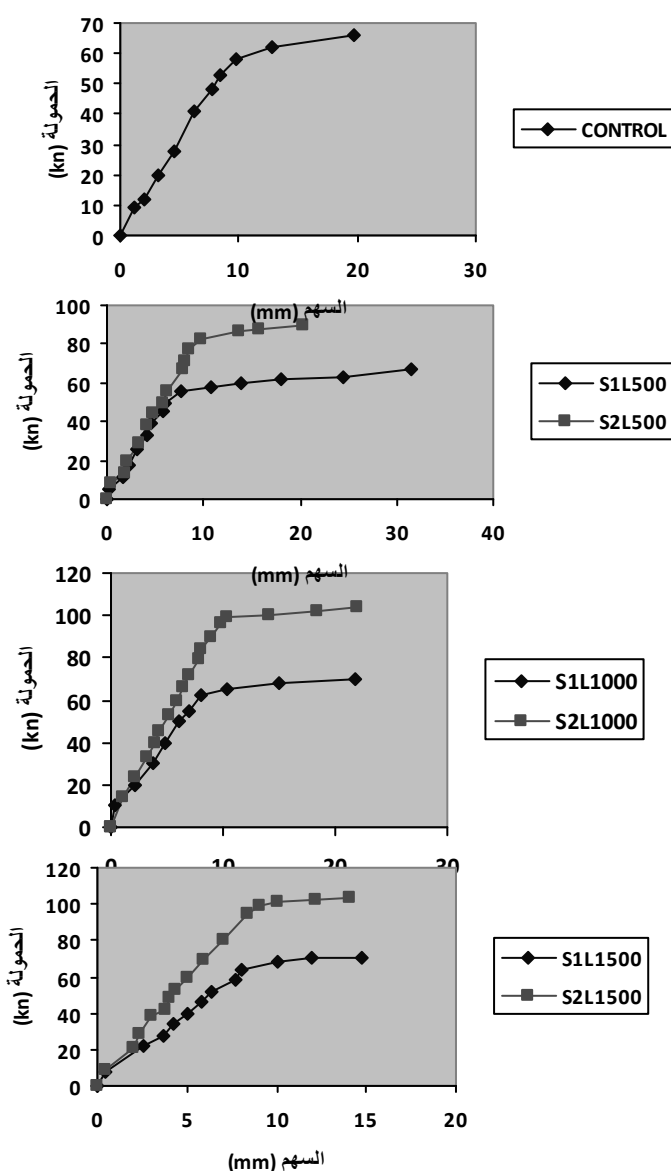
Beams	المقاومة القصوى الكلية الوسطية (Kn)	نسبة زيادة المقاومة %	شكل الانهيار	النقصان في قيمة السهم الأعظمي
الجوائز المعيارية	67	-	-	-
B-500-1	68	1.49	Flexural Failure	-
B-1000-1	71	5.97	Flexural Failure	-
B-1500-1	73	8.95	Rupture in CFRP	27.2
B-500-2	94	40.29	Flexural Failure	-
B-1000-2	110	64.18	Rupture in CFRP	-
B-1500-2	115	71.64	Rupture in CFRP	29.7

2 - منحنى (الحمولة - السهم):

تم قياس سهوم الجيزان بوساطته مقياس مدرج بدقة (0.01 mm) وضع عند وسط المجاز ، ورسمت منحنيات (حمولة - سهم) لكل جائز ومن ثم منحنى (حمولة - سهم) للقيم الوسطية لكل مجموعة.

**الشكل (14):جهاز قياس السهوم**

يبين الشكل (15) العلاقة بين (الحمولة- السهم) للقيم الوسطية لكل مجموعة من الجوائز المقواة بطول (500-1000-1500mm) لطبقة واحدة ولطبقتين من الألياف .



الشكل (15): منحنيات (حمولة - سهم) للجيزان المدروسة

3-الصلابة :

لألياف الكربون دور كبير في زيادة الصلابة للجوائز البيتونية ويتم حساب الصلابة للعناصر الانشائية بالاعتماد على الحمولة الوسطية الأعظمية للجوائز المدروسة وذلك بأخذ نسبة (45%) من الحمولة الوسطية الأعظمية واستخراج قيمة السهم المقابل لها. يبين الجدول (9) الزيادة الحاصلة في صلابة الجوائز المقواة .

الجدول (9) الزيادة الحاصلة في صلابة الجوائز

الجوائز	B1 (control)	B2 (control)	B-500-1	B-500-2	B-1000-1	B-1000-2	B-1500-1	B-1500-2
الزيادة في الصلابة	-	-	33.9	51.6	33.9	75.8	33.9	93.5

❖ تأثير تغير طول شرائح ألياف الكربون على حمولة الانهيار و السهم الأعظمي للجوائز المدروسة:

1- تأثير تغير طول شرائح ألياف الكربون على حمولة الانهيار للجوائز المدروسة:

أ- التقوية بطبقة واحدة من شرائح ألياف الكربون CFRP :

لوحظ زيادة بسيطة في حمولة الانهيار نتيجة للتقوية الحاصلة وفق المحور الأول، يظهر من الجدول (8) بأن التقوية بألياف الكربون وبطول (500mm) لم تساهم في زيادة حمولة الانهيار للعنصر المدروس ، أما الجوائز المقواة بشرائط ألياف الكربون بطول (1000-1500mm) ساهمت في زيادة حمولة الانهيار بنسبة تتراوح بين (9%-2%) وهي نسب قليلة، ونلاحظ اختلاف النتائج عما ورد في الدراسة المرجعية (الحالة الثانية) وذلك نتيجة استخدام البيتون عالي المقاومة في الدراسة المرجعية.

ب- التقوية بطبقتين من شرائح ألياف الكربون CFRP :

في حال التقوية بطبقتين من ألياف الكربون وبطول (500-1000-1500mm) فقد كانت نسب الزيادة تتراوح بين (72%-64%-40%) على التوالي وهي نسب جيدة ، ونلاحظ زيادة قدرة تحمل العناصر المدروسة كلما زاد طول الشرائح .

2- تأثير تغير طول شرائح ألياف الكربون على قيمة السهم الأعظمي للجوائز المدروسة:

يظهر الجدول (8) أن النقصان في قيمة السهم الأعظمي في الجوائز المقواة بطول (500-1000) كانت معدومة ويعزى السبب في ذلك إلى كون التقوية بألياف الكربون لم تكن على طول الجوائز بحيث تساهم ألياف الكربون في نقصان قيمة السهم ، أما في حال الجوائز المقواة بألياف الكربون بطول (1500mm) وبطبقة وبطبقتين لوحظ حصول نقصان في قيمة السهم بنسب (29.7%-27.2%) في وسط الجوائز .

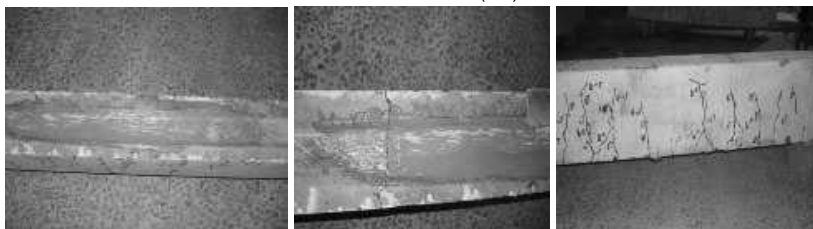
❖ أشكال الانهيار في الجوائز المدروسة:

تمت مراقبة ظهور التشققات وآلية انتشارها مع تزايد الحمولة حتى انهيار الجوائز .

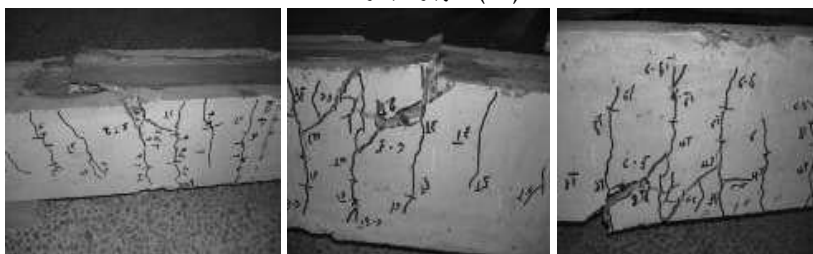
إن الانهيار في الجوائز (B-500-1, B-500-2, B-1000-2) كان في المنطقة التي انتهت فيها شرائح ألياف الكربون (منطقة الشد في البيتون) وذلك لعدم قدرة البيتون على تحمل الاجهادات الناتجة من استمرار الزيادة في الحمولة المطبقة ولعدم وصول تحمل ألياف الكربون الى قيمته العظمى ولذلك لم يحصل انقطاع بشرائح ألياف الكربون ،أما الجوائز (B-1500-1, B-1500-2, B-1000-1) فقد كان الانهيار فيها ناتجاً عن انقطاع ألياف الكربون. الأشكال التالية تظهر انهيار الجوائز.



الشكل(16): انهيار الجائز B-500-1



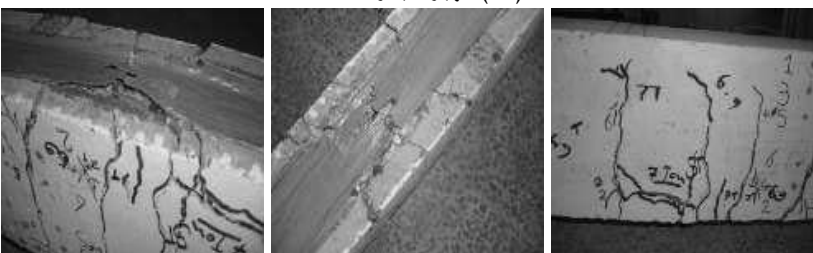
الشكل(17): انهيار الجائز B-500-2



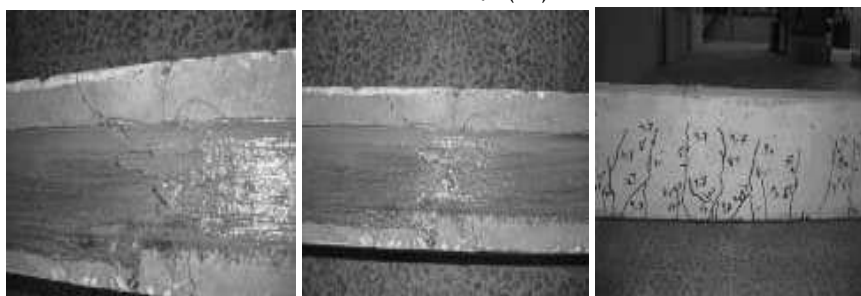
الشكل(18): انهيار الجائز B-1000-1



الشكل(19): انهيار الجائز B-1000-2



الشكل(20): انهيار الجائز B-1500-1



الشكل(21): انهيار الجائز B-1500-2

الاستنتاجات والتوصيات:

1. أظهرت نتائج الاختبارات فعالية تقنية (NSM) في تقوية الجيزان البيتونية المسلحة على الانحناء وتحسين سلوكها الإنشائي.
2. بينت النتائج أن تقنية تقوية الجوائز البيتونية بألياف الكربون وليس على كامل الطول الكلي للجائز وبطبقة واحدة تساهم في زيادة المقاومة القصوى للجيزان بنسب تتراوح بين (9%-2%) .
3. أسهمت تقنية تقوية الجوائز البيتونية بألياف الكربون وليس على كامل الطول الكلي للجائز وبطبقتين في زيادة المقاومة القصوى للجيزان المقواة بنسب تتراوح بين (40%-72%) وهي نسب جيدة جداً ولوحظ زيادة قدرة تحمل العناصر المدروسة كلما زاد طول شرائح ألياف الكربون .
4. لوحظ حصول نقصان قيمة السهم في حال الجوائز المقواة بألياف الكربون بطول (1500mm) وبطبقة وبطبقتين بنسب (27.2%-29.7%) في وسط الجائز وهي نسب جيدة.
5. تزيد تقنية (NSM) من قوى الارتباط بين البيتون وألياف الكربون إذ أن الانهيار الحاصل لنصف الجوائز البيتونية المسلحة المقواة بألياف الكربون وبتقنية (NSM) كان بانقطاع ألياف الكربون وعدم حصول الانهيار بسبب انفصال ألياف الكربون عن البيتون .
6. ضرورة دراسة سلوك القص للجوائز البيتونية المسلحة والمقواة بشرائط ألياف البوليمر الكربونية باستخدام تقنية التقوية (NSM).
7. تناول البحث الحالي سلوك الجيزان المقواة تحت تأثير حملات قصيرة الأمد، لذلك نرى من الضروري دراسة سلوك المادة والعناصر الإنشائية بالأخذ في الاعتبار مؤثرات أخرى مهمة، مثل تأثيرات درجات الحرارة المرتفعة، التحميل طويل الأمد أو المتكرر، في الأبحاث اللاحقة.
8. يمكن استخدام تقنية (NSM) في تقوية الجيزان البيتونية المسلحة نظراً لفعاليتها بيئياً واقتصادياً، مقارنة مع طرق التدعيم المختلفة.

المراجع:

- [1] - BUELL, T; SAADATMANESH, H. *Strengthening Timber Bridge Beams Using Carbon Fiber*. Structural Engineering U.S.A. Vol.131, N°.1, 2005, 173-187.
- [2] - TENG, J; CHEN , F . *Strengthening of Steel-Concrete Composite Girder Using Carbon Fiber Reinforced Polymers Sheets*. Structural Engineering U.S.A. Vol.129, N°.1, 2003, 30-40.
- [3] - SPACONE,E; TAWI,S. *Nonlinear Analysis of Steel-Concrete Composite*. Structural Engineering U.S.A. Vol.130, N°.2, 2004, 159-168.
- [4] -TOM, N; HAMID, S. *Shear and Flexural Strengthening of R/ C Beams with Carbon Fiber Sheets*. Structural Engineering U.S.A. Vol.123, N°.7, 1997, 99-105.
- [5]- BARROS, J; FORTES, A. *Flexural Strengthening of Concrete Beams with CFRP Laminates Bonded into Slits*. Cement and Concrete Composites. Vol.27, N°.5, 2005, 471–480.
- [6]- BARROS, J; BONALDO,E. *Concrete Slabs Strips Reinforced with Epoxy-bonded Carbon Laminates into Slits*. Cement and Concrete Composites. Vol.21, N°.4, 2006, 405–420.
- [7]- DAVID ,A; BUYLE, F . *Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened by CFRP Sheets*. Structural Engineering U.S.A. Vol.4, N°.3, 2006, 110-125.
- [8]- DAVID,E; MINH, N . *Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Beams using Composite Material*. Composite Structures U.S.A. Vol.10, N°.1, 2005, 75-100.
- [9]- BARROS, A; DIAS, J. *Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Laminate Strips of CFRP*. Composite Structures U.S.A. Vol.4, N°.5, 2003, 289-294.
- [10]- SENA, T; CRUZ, M. *Near Surface Mounted CFRP -Based Technique for the Strengthening of Concrete Structures*. Composite Structures U.S.A. Vol. 5, N°.2, 2004, 205-217.