

# دراسة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة الضعيفة على القصّ والمُدعمة بالفبروسمنت

م. محمد الدروبي<sup>1</sup> د. منيب العلاف<sup>2</sup>

## المُلخَص

تتعرض الجوائز البيتونية المسلحة مع مرور الزمن إلى العديد من العوامل التي تضعف من قدرة تحملها و أدائها لوظيفتها، مثل تغيير الوظيفة الاستثمارية للمنشأ وزيادة الحمولات الاستثمارية أو نتيجة تطوير الكودات التصميمية بحيث تصبح هذه الجوائز غير آمنة بحكم الاشتراطات الجديدة، وبالتالي برزت الحاجة للبحث عن تقنية تدعيم فعّالة وغير مكلفة وموادها متوفرة في نفس الوقت، فكانت تقنية التدعيم بالفبروسمنت إحدى الخيارات المهمة في هذا المجال.

وعليه يقدّم هذا البحث دراسةً تجريبيةً لتحديد مدى فعالية التدعيم بتقنية الفبروسمنت لجوائز بيتونية مسلحة ضعيفة على القصّ، إذ تم اختبار ثلاثة جوائز مرجعية غير مُدعمة للمقارنة معها، كما تم اختبار ثمانية جوائز أخرى مُدعمة بالفبروسمنت، أربعة منها مُدعمة حول محيط الجوائز والأربعة الأخرى مُدعمة على الوجهين الجانبيين، مع

<sup>1</sup> طالب دراسات عليا (دكتوراه) في قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث- حمص- سوريا

<sup>2</sup> أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث- حمص- سوريا

الأخذ بعين الاعتبار تغير نمط الترابط بين طبقة الفيروسمنت وبيتون الجائز الأصلي من خلال استخدام إما روابط قص 6 mm أو براغي جاهزة حرف L بقطر 5 mm، أظهرت نتائج الدراسة بأن جميع الجوائز المُدعمة انهارت على القصّ، كما أنّ تقنيّة التدعيم المُقترحة قد زادت من وسطي كل من حمولة التشقق وحمولة الانهيار والسهم وسط المجاز عند الانهيار بنسب تراوحت بين (70%-287%) و(55%-126%) و(10%-62%) على الترتيب بالمقارنة مع الجوائز المرجعية غير المُدعمة، و أبدت الجوائز المُدعمة حول محيطها عوامل مطاوعة أكبر من الجوائز المرجعية غير المُدعمة بحدود (20%-46%)، في الوقت الذي لم يغير فيه التدعيم على الوجهين الجانبيين من عوامل المطاوعة للجوائز المُختبرة.

الكلمات المفتاحية: القصّ، الفيروسمنت، حمولة التشقق، حمولة الانهيار، السهم، المطاوعة.

# Study of the performance of shear deficient reinforcement beams rehabilitated with ferrocement

Eng. Mohammad AL-Droubi<sup>3</sup> Dr. Eng Muneeb AL-Allaf<sup>4</sup>

## Abstract

Over time, reinforced concrete beams are exposed to many factors that weaken their bearing capacity and performance of their function, such as changing the service function of the structure, increasing the service loads, or as a result of developing design codes, such that these beams become unsafe due to the new requirements, and thus the need has arisen to search for a rehabilitation technique which is effective, inexpensive, and its materials are available at the same time. The ferrocement technique was one of the important options in this field. Accordingly, this research presents an experimental study to determine the efficiency of rehabilitation of Shear Deficient reinforced concrete beams by ferrocement technique. Three reference beams were tested to compare with them, and eight other beams rehabilitated with ferrocement were also tested, four of which were rehabilitated around the perimeter of the beam and the other four were rehabilitated on both sides, taking into account

<sup>3</sup> PhD Candidate, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, AL-Baa'th University, Homs, Syria

<sup>4</sup> Professor, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, AL-Baa'th University, Homs, Syria.

the change in the bond pattern between the ferrocement layer and the concrete of the original beam through the use of either 6 mm shear links or L-ready bolts with a diameter of 5 mm, the results of the study showed that all the rehabilitated beams failed in shear, and the proposed rehabilitation technique increased the average of each of the crack load, failure load, and the deflection in the middle of the beam at failure, in percentages ranging between (70%–287%), (55%–126%), and (10%–62%), respectively, compared to the reference beams. Also, the results showed that the Beams rehabilitated around their perimeter had greater ductility factors than the reference beams with about (20%–46%), while the rehabilitated beams on both lateral sides did not change the ductility factors of the tested beams.

**Keywords:** Shear, Ferrocement, Cracking Load, Failure Load, Deflection, Ductility Factor.

## 1- مقدمة:

إنّ العديد من الأبنية البيتونية المسلحة القائمة حالياً تحتاج لإجراءات ترفع من كفاءتها أو زيادة قدرة تحملها أو منعها من الانهيار، بسبب تدهورها مع مرور الزمن ويُعزى ذلك التدهور لعدة أسباب وأبرزها زيادة الحمولات الاستثمارية على المنشآت، وتنفيذ هذه المنشآت دون دراسة هندسية دقيقة أو إشراف هندسيّ مُحكم، بالإضافة إلى تطوير الكودات التصميمية باشتراطات جديدة تجعل هذه الجوائز غير آمنة بحكمها.

الأمر الذي دفع بالباحثين حول العالم للبحث عن أفضل الطرق والوسائل لتقوية وتدعيم المنشآت، وظهرت العديد من تقنيات التدعيم المناسبة لكلّ عنصر إنشائي بحسب نوعه و الحالة الإجهادية التي يتعرّض لها. وفي الوقت الذي تُركّز فيه العديد من الأبحاث على تقوية الجوائز أو تدعيمها على الانعطاف، تبقى الأبحاث التي تتعلّق بتقوية الجوائز على القصّ قليلة نسبياً مقارنةً بحالة الانعطاف. ولا شك أنّ انهيار الجوائز على القصّ هو من أخطر أنواع الانهيارات بسبب أنّ الانهيار لا يكون مسبقاً بشقوق عديدة مثل حالة الانعطاف تنبئ بإمكانية حدوث انهيار وتتيح الوقت الكافي لاتخاذ الإجراءات المناسبة، كما أنّ مطاوعة الجوائز على القصّ تكون ضعيفة للغاية حيث أنّه بمجرد ظهور شقّ في منطقة القصّ وازيادة الحمولة نجد أنّ هذا الشقّ يتّسع بشكل كبير وفجائي وبالتالي يحدث انهيار قصيف ومفاجئ دون سابق إنذار أو إمكانية اتّخاذ إجراءات لتفادي حدوث الانهيار. ومع الأخذ بعين الاعتبار واقع إعادة الإعمار في بلادنا بعد التخريب والدمار الذي لحق بالعديد من الأبنية والمنشآت وتغيير العديد من المنشآت لوظيفتها الاستثمارية لتتناسب الظروف الحالية، برزت الحاجة إلى البحث عن أفضل الطرق لتدعيم وتقوية هذه الجوائز على القصّ وتأخير الانهيار ما أمكن ذلك ورفع مطاوعة الجوائز الحالية بحيث نتمكن من ملاحظة الشقوق ومراقبتها واتّخاذ الإجراءات

المناسبة. وهنا يظهر دور مادة الفيروسمنت (Ferrocement) كخيار قوي ومناسب للمتطلبات السابقة.

يُعرّف الفيروسمنت أو يمكن القول الإسمنت الحديدي بحسب ACI 549R-18 [2] بأنّه شكل خاصّ من أشكال البيتون المسلّح والذي يختلف عن البيتون المسلّح التقليدي أو مسبق الإجهاد، بالمقام الأول من ناحية توزّع وترتيب التّسليح داخله. وعليه فإن سلوك الفيروسمنت أيضاً سيكون فريداً من نوعه من ناحية التشوهات والقوى الداخلية.

أستخدم مؤخراً الفيروسمنت كطريقة فعّالة في تقوية وتدعيم مختلف العناصر الإنشائية، حيث قام الباحثون ( Rajinder Ghai, Prem Pal Bansal and ManeeK ) (Kumar, 2018) [3] بدراسة تأثير التطويق بالفيروسمنت مع استخدام مادة الـ SBR بنسبة مقدارها 15% في تقوية الجوائز البيتونية المسلحة المتضررة مسبقاً على القص، و استنتج الباحثون أنّ الطريقة المتّبعة أظهرت تحسّناً ملحوظاً في مطاوعة الجوائز المدعمة وتأخير انهيارها على القص من خلال مقاومة أعلى للحمولات المطبقة وتوزيعها بشكل جيّد بالمقارنة مع الجوائز المرجعية، واستعادة قدرة تحمل الجوائز الأصلية على القص وتعزيزها أيضاً بنسب تتراوح بين 5.90% و 12.03%، حتى بعد تحميلها إلى 95% من حمولة الانهيار التصميمية.

كما قام الباحثون ( Imrose Bin Muhit, Nur-E-Tanjina Jitu and Md. ) (Rabiul Alam, 2020) [4] باختبار تأثير عدد طبقات التدعيم بالفيروسمنت على عشرين جائزاً بيتونياً مسلحاً بتسليح غير كافٍ لمقاومة القوى القاصة، ووجد الباحثون أنّ عدد الطبقات المثالي للشبّك هو طبقتان، وأنّ إضافة طبقة ثالثة لا يحسّن من النتائج بشكل ملحوظ، كما أنّ الجوائز المدعمة بثلاث طبقات من الشبّك زادت قدرة تحملها على القص بنسبة (46%) مقارنةً مع الجوائز المرجعية.

وبين الباحثان (Y V Ladi and P M Mohite, 2013) [5] في دراستهم التجريبية التي شملت خمسة وعشرين جائزاً بيتونياً مسلحاً لتقييم فعالية التدعيم بالفيروسمنت، أنّ قدرة تحمل الجوائز على القص قد زادت بنسبة وصلت إلى حوالي 66 % من أجل طبقتين للشبك وزاوية ميل للشبك  $45^\circ$ ، ووصلت إلى حوالي 30% من أجل طبقتين للشبك وزاوية ميل للشبك  $0^\circ$ ، في حين انخفضت هذه النسبة إلى حوالي 20% من أجل طبقة واحدة للشبك بزواوية  $45^\circ$ .

## 2- هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة والمُدعمة بالفيروسمنت، وتحديد طريقة التدعيم التي تحقق أعلى فعالية في تأخير حمولة ظهور أول شقّ وحمولة الانهيار وتحقيق نمط انهيار قصي مطاوع. وتأتي أهمية البحث من ناحية استخدامه لمواد متوفرة في السوق المحليّة وثنمها في تناول اليد، وتنفيذ تقنية التدعيم بواسطة ورشات محليّة ذات خبرة عادية، وبالتالي استغلال هذه التقنية لتناسب واقع بلادنا واستخدامها في مرحلة إعادة الإعمار.

## 3- موادّ و طرق البحث:

### 3-1 متغيرات البحث:

بالاستفادة من نتائج الدراسات المرجعية السابقة قمنا بتحديد المتغيرات اللازم أخذها بعين الاعتبار في بحثنا، إذ أنّ الدراسات المرجعية السابقة لم تسلط الضوء على موضوع الترابط بين طبقة الفيروسمنت وبيتون الجائز الأصلي، كما أنّها لم تأخذ بعين الاعتبار اختلاف السطوح التي يتم التدعيم عليها، حيث أنّ بعضها ركز على تدعيم منطقة القص فقط دون تدعيم كامل الجائز. وبالتالي تم الاستفادة من هذه الملاحظات وأخذها بعين الاعتبار في بحثنا، والشكل (1) يبين المتغيرات المدروسة في البحث، كما يبين الجدول (1) تقسيم الجوائز وفق المتغيرات السابقة.

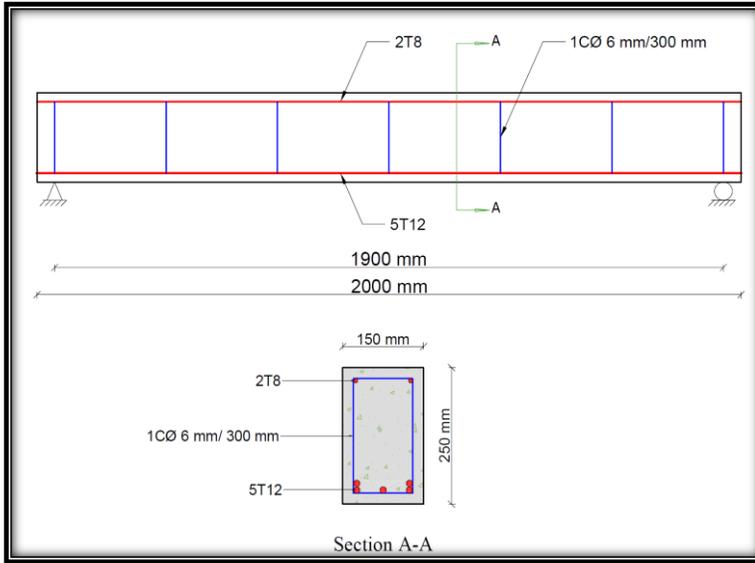


الشكل (1) متغيرات البحث المدروسة

الجدول (1) نماذج الجوائز المدروسة

رقم الجائز	رمز الجائز	منطقة التدعيم	نمط الترابط	ملاحظات
1	BR-1	-	-	الجوائز المرجعية دون تدعيم
2	BR-2	-	-	
3	BR-3	-	-	
4	B4-PA1	حول محيط الجائز	روابط قص 6 mm	الجوائز المدعّمة بشبك كامل (الوح كامل) حول محيط الجائز وعلى الوجهين الجانبيين، باستخدام نمطي ترابط عبارة عن روابط قص 6 mm و براغي حرف L
5	B5-PA2	حول محيط الجائز	روابط قص 6 mm	
6	B6-PB1	حول محيط الجائز	براغي حرف L	
7	B7-PB2	حول محيط الجائز	براغي حرف L	
8	B8-SA1	الوجهين الجانبيين	روابط قص 6 mm	
9	B9-SA2	الوجهين الجانبيين	روابط قص 6 mm	
10	B10-SB1	الوجهين الجانبيين	براغي حرف L	
11	B11-SB2	الوجهين الجانبيين	براغي حرف L	

تضمّن البحث إجراء دراسة تجريبية على أحد عشر جائزاً بيتونياً مسلحاً بأبعاد (150×250×2000)mm وبتسليح سفلي 5T12mm وتسليح علوي 2T8mm وتسليح عرضي على القصّ أساور 1Φ6mm/300mm، كما يبين الشكل (2) مقطعاً طولياً وعرضياً للجوائز المدروسة يبين أبعادها وتسليحها.



الشكل (2) مقطع طولي وعرضي للجوائز المدروسة يبين أبعادها وتسليحها

تمّ اعتماد ترميز الجوائز في الجدول (1) وفق ما يلي:

الجوائز المرجعية تم ترميزها وفق الرمز (BR-N)، حيث N هي رقم الجائز، و BR هي Beam Reference، في حين أنّ باقي الجوائز تمّ ترميزها وفق الرمز (BN-XYn) حيث تشير الرموز السابقة إلى ما يلي:

❖ الرمز N: يشير إلى رقم الجائز.

❖ الرمز X: يشير إلى منطقة التدعيم في الجائز، ويأخذ قيمتين؛ القيمة الأولى هي الحرف P أي أنّ التدعيم تمّ على كامل محيط الجائز (Perimeter)، والقيمة الثانية هي الحرف S أي أنّ التدعيم تمّ على الوجهين الجانبيين للجائز (Sides).

❖ الرّمز  $\gamma$ : يشير إلى نمط التّرابط، وبأخذ قيمتين؛ القيمة الأولى هي الحرف A أي أن نمط التّرابط هو تشاريك من قضبان التسليح بقطر 6 mm (Anchor)، والقيمة الثّانية هي الحرف B أي أن نمط التّرابط هو براغي على شكل حرف L (Bolt).

❖ الرّمز n: يشير إلى رقم العيّنة حيث أنّه من أجل نفس المواصفات توجد عيّنتين وبالتالي هذا الرّمز يأخذ قيمتين 1 و 2 .

### 2-3 مواصفات الموادّ المستخدمة في البحث:

أُستخدمت الحصىّات (بحص فولي وبحص عدسي ورمل مكسر) والتي مصدرها مقالع حسياء بالقرب من مدينة حمص، والتي تتميز بقوتها ونظافتها وخلوها من المواد الضارة والشوائب والمواد العضوية، كما أُستخدم الرمل القرواني النظيف المارّ من المنخل 4.75 والذي أُجريت عليه تجربة المكافئ الرملي للتأكد من نظافته وصلاحيته للاستخدام في الخلطة البيتونية، وكانت قيمة المكافئ الرملي الوسطي 75%. ثمّ تمّ إجراء تجربة الشدّ لفولاذ التسليح على عيّنات من الأقطار المستخدمة في البحث للحصول على المواصفات الميكانيكية لفولاذ التسليح المستخدم، وكانت النّائج كما هو مبين في الجدول (2).

الجدول (2) المواصفات الميكانيكية لفولاذ التّسليح المُستخدم

الاستطالة النسبية الوسطية عند الانقطاع	إجهاد الانقطاع الوسطي	إجهاد الخضوع الوسطي	القطر
%	MPa	MPa	mm
42.2%	663.7	431.5	6
33.3%	580.9	527.9	8
29.7%	551.7	441.5	12

كما تم تصميم الخلطة البيتونية بطريقة منحني فولير - تومسون، باعتماد عيار للإسمنت  $400 \text{ Kg/m}^3$  ونسبة الماء للإسمنت  $W/C=0.5$ ، كما تمّ قياس هبوط مخروط أبرامز أثناء الخلط وكانت قيمته مساويةً إلى  $70 \text{ mm}$  وهي قيمة مناسبة للجوائز المدروسة في البحث وفق توصيات الكود العربي السوري [7]، وتحقق قابلية تشغيل مقبولة. ويبين الجدول (3) الكميات الناتجة عن الدراسة لمكونات الخلطة البيتونية كعيار وزني من أجل كل متر مكعب من البيتون، وكنسب تشمل وزن كل مادة من هذه المواد منسوبةً إلى وزن الإسمنت:

الجدول (3) التركيب الوزني ونسب مكونات الخلطة البيتونية

المادّة	إسمنت	بحص	زرادة	رمل مكسّر	رمل	ماء
القطر الأعظمي للحصىات (mm)	-	19	13.5	9.5	4.75	-
عيار المادّة (Kg/m3)	400	751	536	335	176	200
نسبة المادّة إلى الاسمنت	1	1.88	1.34	0.84	0.44	0.5

عند إجراء اختبار الضغط للعينات الأسطوانية التي تمّ أخذها بعد صبّ العينات على عمر 28 يوماً وباستخدام جهاز كسر العينات الموجود في مخبر مواد البناء في كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث، كانت المقاومة المميّزة الوسطية على الضّغط والمُعتمدة في

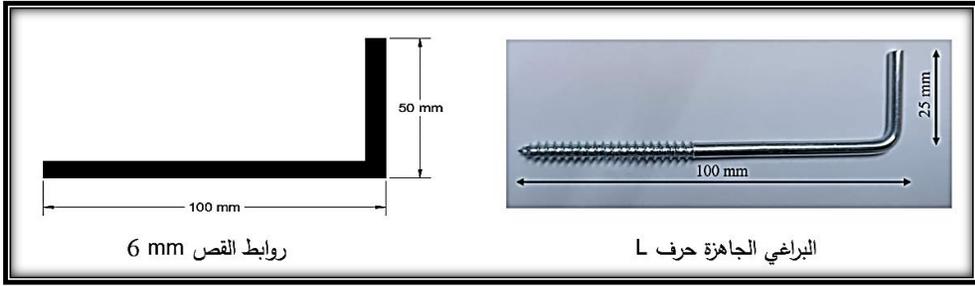
$$f'_c = 20 \text{ MPa}$$

الشّبك الفولاذي المستخدم هو من النوع الملحوم (WWMs) ذي القطر  $2.5 \text{ mm}$  وفتحته مربعة الشكل أبعادها  $(25 \times 25) \text{ mm}$ ، وتمّ إجراء تجارب الشدّ على ثلاث عينات

من أسلاك الشبّك في مخبر موادّ البناء في كليّة الهندسة المدنيّة في جامعة البعث، وكانت قيمة إجهاد الخضوع الوسطي للشبّك والمُعتمدة في هذا البحث هي:

$$f_{y,m} = 867 \text{ MPa}$$

بالنسبة للمونة الإسمنتيّة فهي تتكوّن من الرّمّل والإسمنت بنسبة (1:2) للرّمّل إلى الإسمنت وبنسبة الماء للإسمنت بلغت (W/C=0.5)، كما تمّ استخدام مادّة رابطة من خلطة غنيّة بالإسمنت مع الماء وبإضافة مادّة Styrene Butadiene Rubber والتي تُعرف اختصاراً بمادّة SBR لها، وذلك وفق النسب التّالية (إسمنت، مياه، SBR) = (1:1:2)؛ من أجل تشكيل روية إسمنتيّة غنيّة يتمّ رشّها على الجائز قبل تطبيق الشبّك والمونة عليه لضمان التصاق كامل للطبينة الجديدة على بيتون الجائز القديم. كما تمّ استخدام مادّة مالينات البوليستر والمعروفة تجارياً بإسم دبق الرّخام من أجل حقنها ضمن الثّقوب الخاصّة بروابط القصّ لضمان التصاق الروابط مع الجائز بشكل كامل، وتتكوّن المادّة من مجموعة من الموادّ الرّاتنجيّة حيث يتمّ خلطها مع مصلّب مرفق مع العبوة وذلك لكلّ 100 غرام من المادّة اللاصقة. تمّ أيضاً اعتماد نوعين من الروابط بين طبقة الفيروسمنت وبيتون الجوائز؛ النوع الأوّل عبارة عن روابط قصّ من قضبان تسليح قطر 6 mm ذاتها المستخدمة في التسليح العرضي للجوائز ومعكوفة بشكل حرف L بأبعاد (100×50)mm، والنوع الثاني هو عبارة عن براغي جاهزة من السوق المحليّة ذات منشأ بولندي على شكل حرف L بقطر 5 mm تقريباً وبأبعاد (100×25)mm، و يبين الشّكل (3) أشكال وأبعاد روابط القصّ المُستخدمة.



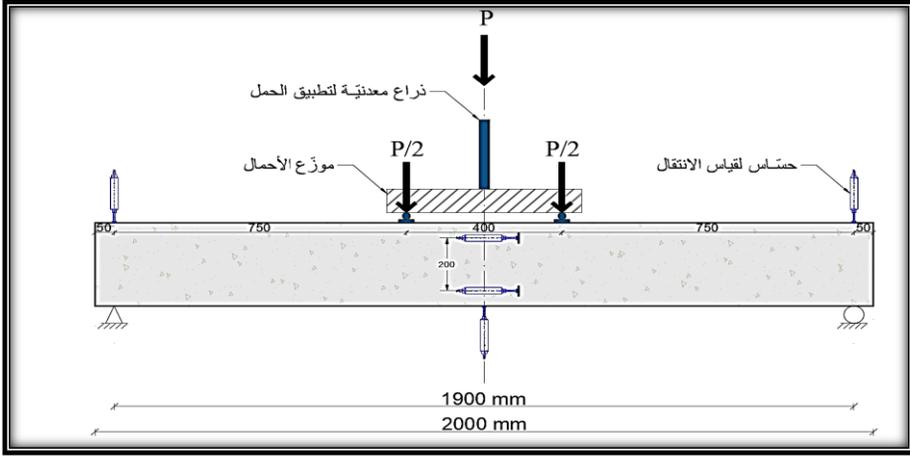
الشكل (3) أشكال وأبعاد روابط القص المستخدمة

### 3-3 مراحل العمل:

بعد صبّ جميع الجوائز والعناية بها، قمنا بدهان الجوائز المرجعية بالكلس الأبيض لسهولة تمييز الشقوق فيها بحسب الشكل (4)، وبعدها تمّ كسر الجوائز المرجعية وفق نموذج التّحميل المبين في الشكل (5)، تمّت جميع التجارب في مخبر البيتون المسلّح في كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث، وذلك على جهاز كسر القساطل البيتونية والذي تبلغ طاقته القصوى 20 طناً.



الشكل (4) صبّ الجوائز ودهان الجوائز المرجعية بالكلس الأبيض



الشكل (5) نموذج التّحميل وتوزّع الحساسات

بعد ذلك قمنا بإجراء عمليّات التّدعيم كما يبين الشكل (6) وفق الخطوات التّالية:

1- تخشين السّطوح الّتي سيطبّق عليها التّدعيم من خلال إجراء شبكة من أثلام بعرض حوالي 5 mm وعمق حوالي 10 mm بزاوية 45°، والتباعد بين الأثلام بحدود 50 mm، ثمّ تنظيفها من الغبار بضغط هوائي وغسلها بالمياه.

2- قصّ وتجهيز الشّبك المعدنيّ وتشكيله وفق الشّكل المطلوب، مع ملاحظة أنّ الغاية من إحاطة كامل الجائز هو محاكاة لما يتمّ على أرض الواقع حيث يتمّ التّدعيم عملياً على شكل حرف U وتثبيت الشّبك مع السّقف، فقمنا بالاستعاضة عن التّثبيت بالسّقف بالواقع العملي بإحاطة كامل محيط الجائز مخبرياً.

3- إجراء النّقوب الخاصّة بزرع روابط القصّ، حيث أنّ قطر النّقوب من أجل روابط القصّ 6 mm هو 8 mm، ومن أجل البراغيّ الجاهزة هو 6 mm، في حين أنّ عمق النّقوب بالنسبة لروابط القصّ 6 mm والبراغيّ الجاهزة هو ذاته وهو 8.5 mm.

4- تثبيت الشبّك في مكانه ورشّ المادّة الرّابطة وتطبيق الطّينة بحسب شكل التّدعيم بدون قوالب بسماكة 25 mm.

5- العناية بالجوائز، ومن ثمّ إجراء تجارب الكسر عليها بعد دهنها، واستخراج النتائج.



الشكل (6) كيفية تدعيم الجوائز حول كامل محيطها وعلى الوجهين الجانبيين

#### 4- النتائج ومناقشتها:

##### 1-4 وصف طريقة انهيار الجوائز المرجعية غير المدعمة:

لوحظ ظهور أول شق شاقولي في منطقة وسط المجاز عند الحمولة KN (14 و 15 و 16) بالنسبة للجوائز BR-1 و BR-2 و BR-3 على الترتيب، تميّز هذا الشق بسعته الصغيرة وتوقّف تطوره لاحقا، لتبدأ بعدها الشقوق المائلة في الظهور في منطقة

القصّ للجهتين بسعة صغيرة عند الحمولة KN (62 و 64 و 67) بالنسبة للجوائز BR-1 و BR-2 و BR-3 على الترتيب. بعد ذلك توقف توسع وانتشار الشقوق المائلة في إحدى جهتي الجائز وازداد في الجهة الأخرى، وبدا واضحاً ظهور تفرعات للشق الرئيسي بما يشبه المخروط وتوسّعه بشكل كبير ومتسارع ليحدث الانهيار عند الحمولة KN (71 و 72 و 85) بالنسبة للجوائز BR-1 و BR-2 و BR-3 على الترتيب، مع ملاحظة حدوث انفصال كامل لجزء الجائز القريب من المسند اليساري بالنسبة للجائز BR-1 فقط. ونلاحظ أنّ الانهيار للجوائز المرجعية هو انهيار قصّي بشق رئيسي واحد مائل بزاوية قدرها تقريباً  $40^\circ$  انطلاقاً من نقطة تطبيق الحمولة على الجائز، وقد توسّع بشكل كبير وبوقت قصير للغاية ليكون الانهيار قصيفاً ومفاجئاً. وبلغت قيمة السهم وسط المجاز عند الانهيار mm (17.47 و 18.61 و 19.42) بالنسبة للجوائز BR-1 و BR-2 و BR-3 على الترتيب، وبلغت القيمة الوسطية للسهم وسط المجاز عند الانهيار للجوائز المرجعية غير المدعّمة (18.50 mm). إنّ الانهيار الحاصل للجوائز هو انهيار مثالي على القصّ من ناحية شكل الشقوق وزاوية ميلها وقصافة الانهيار، وبالتالي تتحقّق للغاية التي صُمّمت عليها هذه الجوائز بأن تكون ضعيفة بحيث تنهار على القصّ. مع ملاحظة أنّ حمولة الانهيار للجائز BR-3 أكبر من مثيلاتها للجائزين BR-1 و BR-2 بحوالي 16%، ويعود ذلك الفرق بتقديرنا لظروف التنفيذ أثناء صبّ الجوائز. ويبين الشكل (7) شكل انهيار الجوائز المرجعية غير المدعّمة.

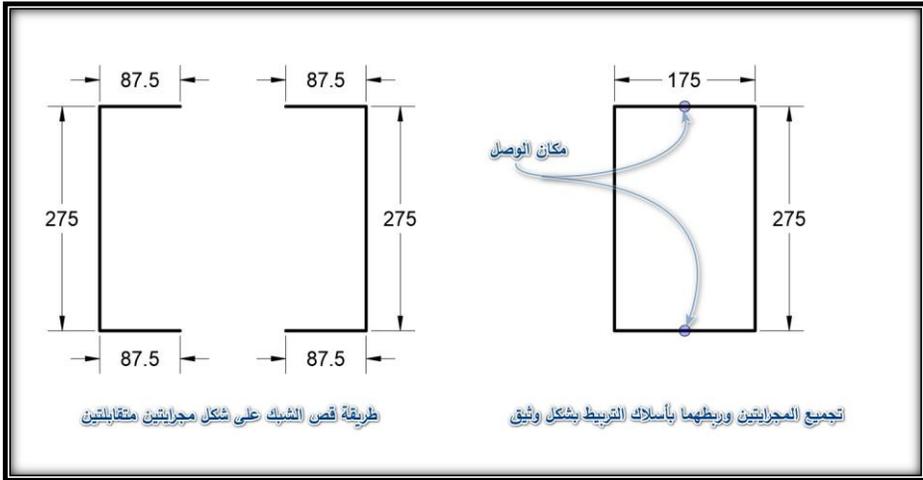


الشكل (7) شكل انهيار الجوائز المرجعية غير المُدعّمة

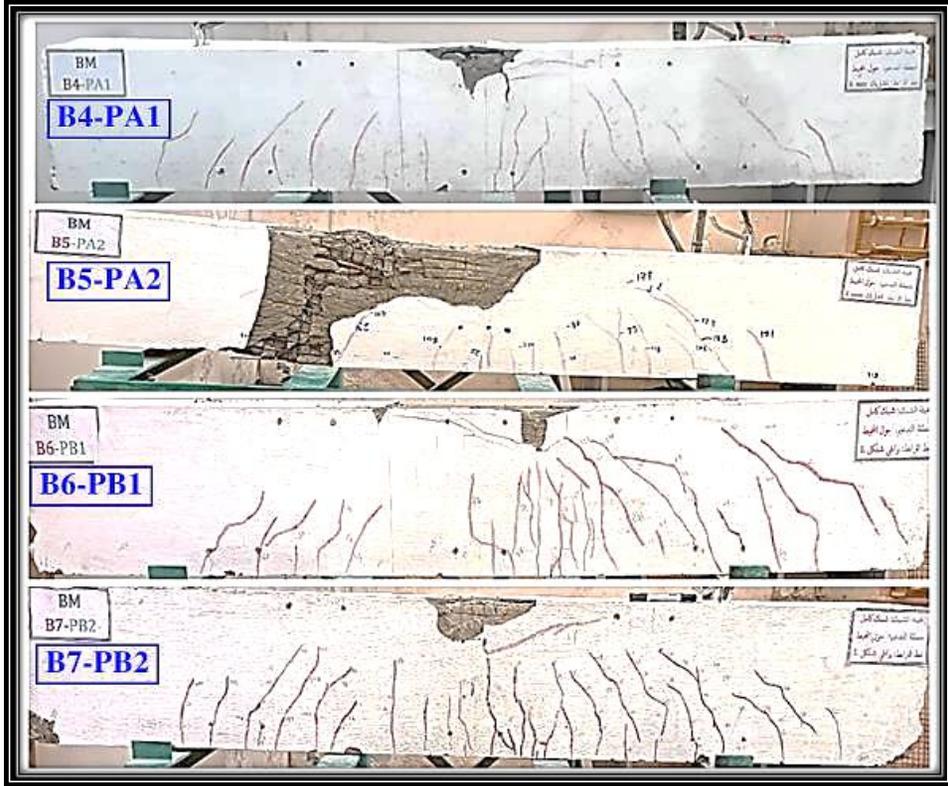
#### 1-4 وصف طريقة انهيار الجوائز المُدعّمة حول محيطها:

لُوحيَ حدوث أول شقّ في منطقة وسط المجاز عند الحمولة KN (64 و 52 و 46 و 49) للجوائز (B4 و B5 و B6 و B7) على الترتيب، ومن ثم حدوث عدّة شقوق في منطقة وسط المجاز سعتها صغيرة بالتزامن مع ظهور الشقوق المائلة في منطقة القصّ والتي تتوسّع بشكل كبير بازدياد الحمولة حتى الانهيار الكامل الذي يحدث عند الحمولة KN (158 و 186 و 155 و 159) للجوائز (B4 و B5 و B6 و B7) على الترتيب، والانهيار الناتج لجميع الجوائز هو انهيار قصّي مترافق مع انهيار منطقة الضغط وحصول انفصال لطبقة الفيروسمنت عندها، كما بلغت قيمة السهم وسط المجاز عند الانهيار (31.16 و 9.40 و 14.72 و 39.46) mm للجوائز (B4 و B5 و B6 و B7) على

التّرتيب. إنّ حمولة الانهيار للجائز B5 تزيد عن مثيلتها للجائز B4 بحوالي 15%، كما أنّ السّهم وسط المجاز عند الانهيار للجائز B4 قد بلغ حوالي ثلاثة أمثاله للجائز B5 المُدعم بنفس الطّريقة؛ والسّبب في اعتقادنا هو أنّ الجائز B5 هو الوحيد الذي تمّ اختباره على جهاز كسر الجوائز البيتونية المسلحة في مخبر البيتون المسلح في كلية الهندسة المدنية بخلاف باقي جوائز البحث التي أُختبرت على جهاز كسر القساطل البيتونية في نفس المخبر، بالإضافة إلى طريقة تشكيل الشبك على شكل مجريبتين متقابلتين تمّ الرّبط بينهما بأسلاك التّربيط كما هو موضح بالشكل رقم (8) والأبعاد الموضحة في الشكل مفاضةً بالـ mm، والتي من المحتمل حدوث خلل في بعض أجزائها في أحد الجائزين ممّا أدّى إلى اختلاف سلوك الجائزين عن بعضهما البعض. نفس السّبب في طريقة تشكيل الشبك من المُرجّح أن تكون وراء بلوغ السّهم وسط المجاز عند الانهيار للجائز B7 حوالي ثلاثة أمثاله للجائز B6 المُدعم بنفس الطّريقة رغم تقارب حملتي الانهيار للجائزين، وذلك لأنّ الذي حكم الانهيار بالتّزامن مع القصّ هنا هو انهيار منطقة الضغط وانفصال طبقة الفيروسمنت عندها. يبيّن الشّكل (9) شكل انهيار الجوائز السّابقة.



الشكل (8) طريقة قص الشبك للجوائز المُدعمة حول محيطها

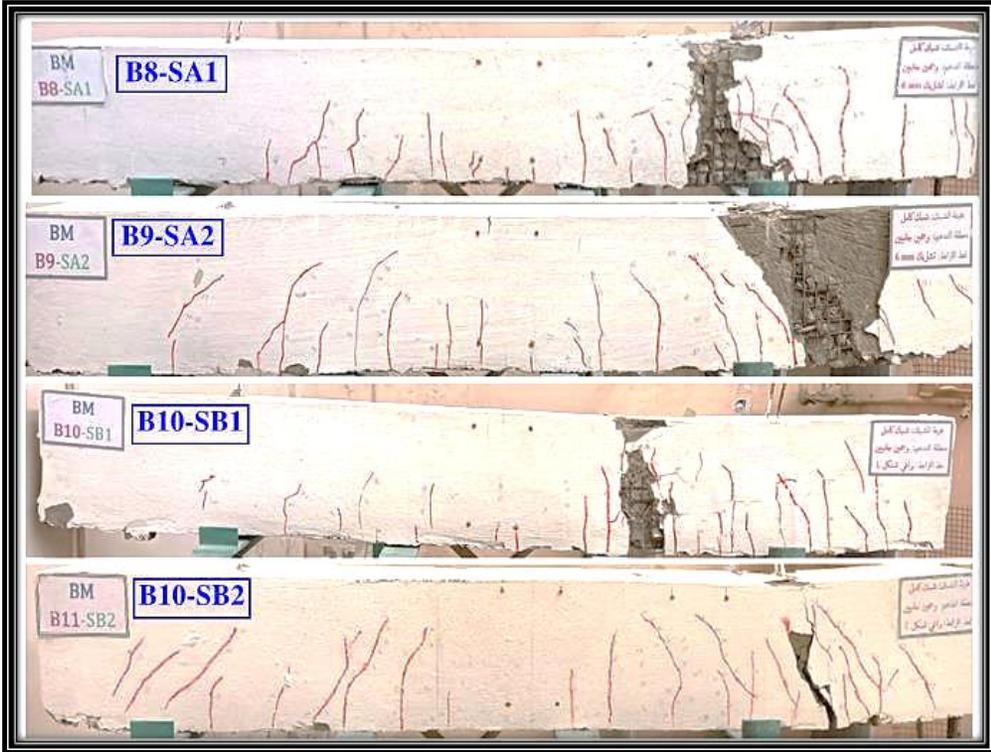


الشكل (9) شكل انهيار الجوائز المُدعّمة حول محيطها

#### 2-4 وصف طريقة انهيار الجوائز المُدعّمة على الوجهين الجانبيين:

لوحظ حدوث أول شقّ في منطقة وسط المجاز عند الحمولة KN (25 و 26 و 36 و 37) للجوائز (B8 و B9 و B10 و B11) على الترتيب، ومن ثم حدوث شقوق قليلة العدد في منطقة وسط المجاز سعتها صغيرة وتوقفت عن الاتساع بزيادة الحمولة، وبدأت بعدها الشقوق بالانتشار إلى مناطق القصّ في الجوائز والتوسّع تدريجياً بشكل متزامن على جهتي الجوائز، ومن ثم توقفت عن الاتساع على الجهة اليسرى على حساب اتساع الشقّ الرئيسي المسبب للانهيار في الجهة اليمنى والذي ظهرت له عدّة فروع حتى الانهيار الكامل الذي يحدث عند الحمولة KN (117 و 124 و 115 و 120) للجوائز (B8 و B9 و B10 و B11) على الترتيب. إنّ الانهيار الناتج لجميع الجوائز هو انهيار قصّي بشقّ

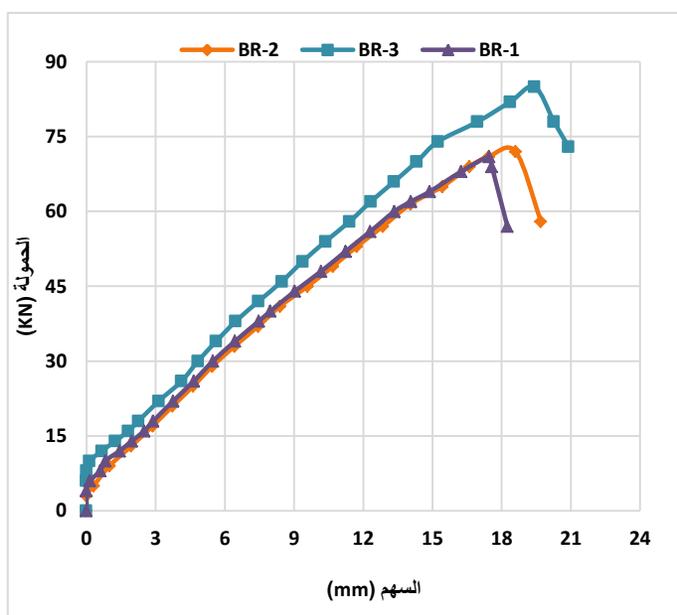
رئيسي مائل يظهر بشكل شاقولي على طبقة الفيروسمنت الخارجية ممّا اضطرنا لتكسير طبقة الطينة الإسمنتية والتأكد من وجود الشق المائل القصي في بيتون الجائر الأصلي؛ والسبب في تقديرنا وراء ظهور شق شاقولي على طبقة الطينة الإسمنتية هو انفصال بعض أسلاك الشبك عن بعضها مكان الشق بسبب عيب في التصنيع أو حدوث خلل عند نقل ألواح الشبك و العمل على تشكيلها، كما بلغت قيمة السهم وسط المجاز عند الانهيار (27 و 29.23 و 27.57 و 32.49) للجوائز (B8 و B9 و B10 و B11) على الترتيب. ويمكن ملاحظة أن عدد الشقوق الناتج في الجوائز المُدعّمة حول محيط الجائر أكبر بشكل ملحوظ من تلك المُدعّمة على الوجهين الجانبيين. يبيّن الشّكل (10) شكل انهيار الجوائز السابقة.



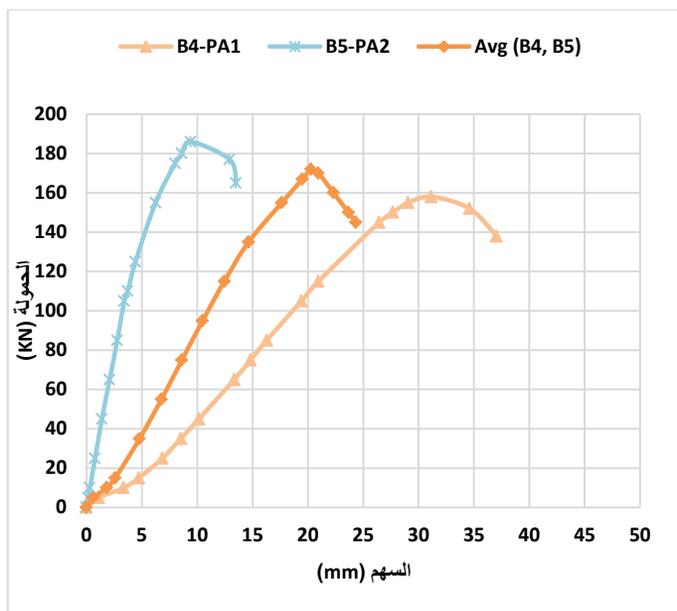
الشّكل (10) شكل انهيار الجوائز المُدعّمة على الوجهين الجانبيين

#### 1-4 رسم منحنيات (الحمولة - السهم وسط المجاز):

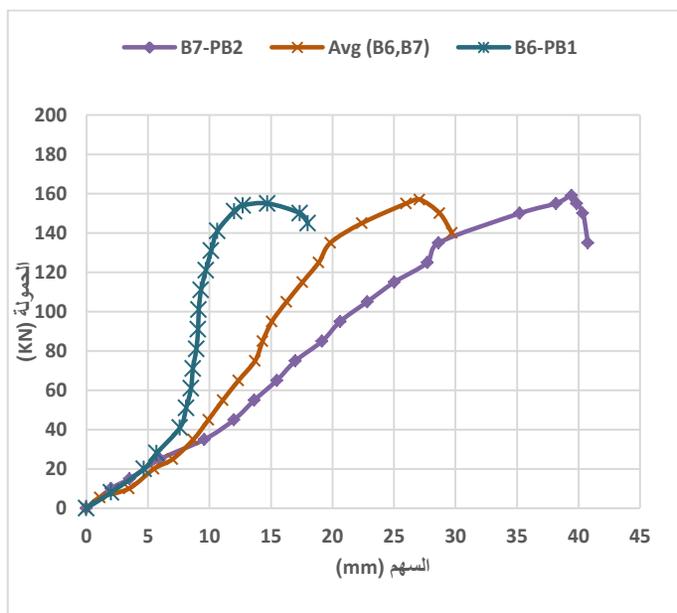
تمّ رسم منحنى (الحمولة - السهم وسط المجاز) لكل جائزين متشابهين في أسلوب التدعيم مع رسم المنحنى الوسطي لهما وذلك لكل الجوائز المُدعّمة، مع رسمه أيضاً للجوائز المرجعية غير المُدعّمة مع الوسطي لهما، مثلما تبين الأشكال من (11) إلى (15).



الشكل (11) منحنى (الحمولة - السهم وسط المجاز) للجوائز المرجعية مع الوسطي



الشكل (12) منحنى (الحمولة- السهم وسط المجاز) للجائزين B4 و B5 والوسطي لهما



الشكل (13) منحنى (الحمولة- السهم وسط المجاز) للجائزين B6 و B7 والوسطي لهما

#### 2-4 حساب عامل المطاوعة:

يُحسب عامل المطاوعة بحسب [6] من العلاقة رقم (1):

$$DR = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (1)$$

حيث أن  $\delta_u$ : السهم الموافق لحمولة الانهيار،  $\delta_y$ : السهم الموافق لبداية الخضوع عند نهاية مرحلة المرونة، أي عند النقطة التي يبدأ فيها منحني الحمولة - السهم بتغيير ميله. وبالتالي تمّ تنظيم الجدول (4) الذي يبين قيم عامل المطاوعة للجوائز المرجعية غير المدعّمة والجوائز المدعّمة مع القيم الوسطية لعامل المطاوعة.

الجدول (4) عامل المطاوعة للجوائز المدعّمة والجوائز المرجعية غير المدعّمة

رمز الجائز	$\delta_y$ (mm)	$\delta_u$ (mm)	عامل المطاوعة	وسطي عامل المطاوعة
BR-1	14.08	17.47	1.24	1.27
BR-2	14.00	18.61	1.33	
BR-3	15.71	19.42	1.24	
B4	26.45	31.16	1.18	1.85
B5	3.72	9.40	2.53	
B6	9.05	14.72	1.63	1.52
B7	27.73	39.46	1.42	
B8	20.26	27.00	1.33	1.31
B9	22.86	29.23	1.28	
B10	25.59	27.57	1.08	1.24
B11	23.27	32.49	1.40	

#### 3-4 نتائج الحمولة للجوائز المُختبرة عند السهم المسموح:

تمّ حساب الحمولة الموافقة للسهم المسموح حسب اشتراطات الكود العربي السوري [7] للجوائز المُختبرة ومقارنتها مع الحمولة الموافقة لنفس السهم للجوائز المرجعية غير المدعّمة، وتمّ تنظيم النتائج في الجدول رقم (5)، والعلاقة رقم (2) توضح كيفية حساب السهم المسموح:

$$\delta_{all} = \frac{L}{360} = \frac{2000}{360} = 5.55 \text{ mm} \quad (2)$$

الجدول (5) مقارنة الحمولة الموافقة للسهم المسموح للجوائز المُختبرة

الفرق (%) زيادةً عن الجوائز المرجعية غير المدعمة	وسطي الحمولة الموافقة للسهم المسموح (KN)	الحمولة الموافقة للسهم المسموح (KN)	رمز الجائز
-	18.42	19.28	BR-1
		15.40	BR-2
		20.58	BR-3
%341	81.22	18.88	B4-PA1
		143.56	B5-PA2
%36	25.00	26.79	B6-PB1
		23.20	B7-PB2
%24	22.90	23.33	B8-SA1
		22.46	B9-SA2
%19	21.91	22.06	B10-SB1
		21.77	B11-SB2

نستنتج أن التدعيم حول محيط الجائز بروابط قص 6mm قد زاد من الحمولة الموافقة للسهم المسموح بأكثر من ثلاثة أضعاف بالمقارنة مع الجوائز المرجعية، وباقي الجوائز المدعمة حققت أيضاً حمولات أعلى عند السهم المسموح بالمقارنة مع الجوائز المرجعية بنسب تتراوح بين (19%-36%).

#### 4-4 تلخيص نتائج التجارب على الجوائز المدعّمة ومقارنتها مع الجوائز

##### المرجعية غير المدعّمة:

تمّ تنظيم الجدول رقم (6) الذي يلخص طريقة الانهيار للجوائز المُختبرة، كما تمّ تنظيم الجدول رقم (7) الذي يلخص نتائج التجارب على الجوائز السابقة، والجدول رقم (8) الذي يبيّن الفرق زيادةً بين النتائج الوسطية للجوائز المرجعية غير المدعّمة وبين الجوائز المدعّمة حول محيطها.

##### الجدول (6) توصيف طريقة الانهيار للجوائز المُختبرة

رمز الجائز	توصيف طريقة الانهيار
BR-1	انهيار على القصّ بشقّ رئيسي مائل بزواوية قدرها حوالي 40° على الجهة اليسرى للجائز، وذلك انطلاقاً من نقطة تطبيق الحمولة، مع انفصال كامل لجزء من الجائز المتوضع فوق المسند اليساري.
BR-2	انهيار على القصّ بشقّ رئيسي مائل بزواوية قدرها حوالي 40° على الجهة اليمنى للجائز، وذلك انطلاقاً من نقطة تطبيق الحمولة.
BR-3	انهيار على القصّ بشقّ رئيسي مائل بزواوية قدرها حوالي 40° على الجهة اليمنى للجائز، وذلك انطلاقاً من نقطة تطبيق الحمولة.
B4	انهيار على القصّ مترافقاً مع انهيار منطقة الضغط، وانفصال لطبقة الفيروسمنت عندها.
B5	انهيار على القصّ مترافقاً مع انهيار منطقة الضغط، وانفصال لطبقة الفيروسمنت عندها.
B6	انهيار على القصّ مترافقاً مع انهيار منطقة الضغط، وانفصال لطبقة الفيروسمنت عندها.
B7	انهيار على القصّ مترافقاً مع انهيار منطقة الضغط، وانفصال لطبقة الفيروسمنت عندها.
B8	انهيار على القصّ بشقّ مائل في بيتون الجائز الأصلي ويظهر بشكل شاقولي على طبقة الفيروسمنت، وذلك على الجهة اليمنى للجائز.
B9	انهيار على القصّ بشقّ مائل في بيتون الجائز الأصلي ويظهر بشكل شاقولي على طبقة الفيروسمنت، وذلك على الجهة اليمنى للجائز.
B10	انهيار على القصّ بشقّ مائل في بيتون الجائز الأصلي ويظهر بشكل شاقولي على طبقة الفيروسمنت، وذلك على الجهة اليمنى للجائز.
B11	انهيار على القصّ بشقّ مائل في بيتون الجائز الأصلي ويظهر بشكل شاقولي على طبقة الفيروسمنت، وذلك على الجهة اليمنى للجائز.

الجدول (7) نتائج التجارب على الجوائز المُدعّمة مع الجوائز المرجعيّة غير المُدعّمة

وسطي عامل المطاوعة	عامل المطاوعة	القيمة الوسطية للسهم وسط المجاز عند الانهيار (mm)	السهم وسط المجاز عند الانهيار (mm)	حمولة الانهيار الوسطية (KN)	حمولة الانهيار (KN)	حمولة التشقق الوسطية (KN)	حمولة التشقق (KN)	رمز الجائز
1.27	1.24	18.50	17.47	76	71	15	14	BR-1
	1.33		18.61		72		15	BR-2
	1.24		19.42		85		16	BR-3
1.85	1.18	20.28	31.16	172	158	58	64	B4
	2.53		9.40		186		52	B5
1.52	1.63	27.09	14.72	157	155	47.5	46	B6
	1.42		39.46		159		49	B7
1.31	1.33	28.12	27	120.5	117	25.5	25	B8
	1.28		29.23		124		26	B9
1.24	1.08	30.03	27.57	117.5	115	36.5	36	B10
	1.40		32.49		120		37	B11

الجدول (8) مقارنة النتائج الوسطية للجوائز المُدعّمة مع الجوائز المرجعيّة غير المُدعّمة

الفرق في وسطي المطاوعة (%)	الفرق في السهم الوسطي (%)	الفرق في حمولة الانهيار الوسطية (%)	الفرق في حمولة التشقق الوسطية (%)	رمز الجائز
46%	10%	126%	287%	وسطي (B4 و B5)
20%	46%	107%	217%	وسطي (B6 و B7)
3%	52%	59%	70%	وسطي (B8 و B9)
-	62%	55%	143%	وسطي (B10 و B11)

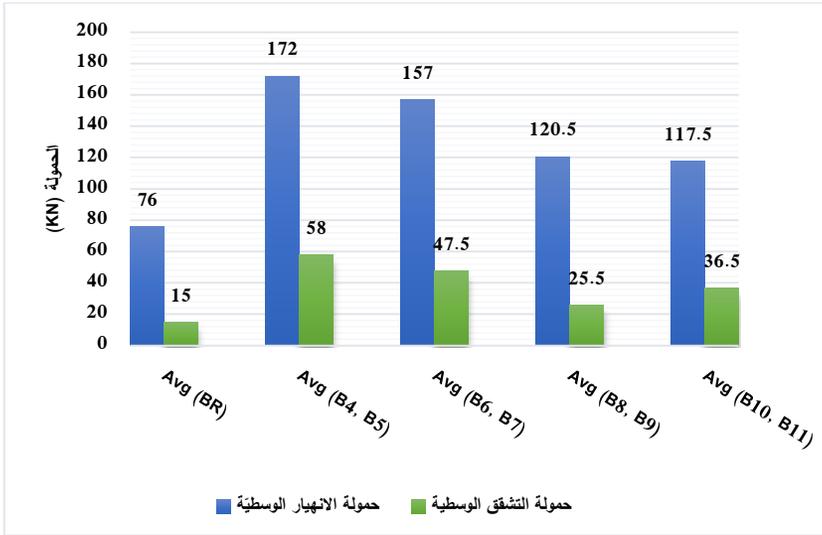
نستنتج مما سبق أنّ تَقْنِيَةَ التَّدْعِيمِ حول محيط الجائز قد زادت من مقاومة الجوائز غير المُدْعَمَة بشكل كبير، ولا سيّما الجوائز التي أُسْتُخْدِمَتْ فيها روابط القَصّ 6 mm؛ إذ أنّها زادت كلاً من وسطي حمولة التشقق ووسطي حمولة الانهيار ووسطي عامل المطاوعة بحوالي (287% و 126% و 46%) على الترتيب مقارنةً بالجوائز المرجعية غير المُدْعَمَة، وبحوالي (22% و 10% و 22%) على الترتيب مقارنةً مع الجوائز التي أُسْتُخْدِمَتْ فيها البراغي الجاهزة حرف L، ولكنّها في نفس الوقت خَفَضَتْ من وسطي السّهم بحوالي (34%) بالمقارنة بالجوائز التي أُسْتُخْدِمَتْ فيها البراغي الجاهزة حرف L؛ والسبب في تقديرنا هو أنّ روابط القَصّ 6 mm كانت أكثر كفاءةً في تثبيت الشبك في مكانه من البراغي الجاهزة حرف L على اعتبار أن طول ضلعها المعكوف أكبر مرتين من مثيلها في البراغي الجاهزة، ولاسيّما في المنطقة السفلية من الجائز مكان الوصلة بين جزئي الشبك المعدني، والذي أدّى بدوره إلى تأخير حمولة التشقق والانهيار بشكل أكبر من البراغي الجاهزة وتقليل السّهم في وسط المجاز عند الانهيار في هذه الحالة وزيادة عامل المطاوعة.

كما نستنتج أنّ تَقْنِيَةَ التَّدْعِيمِ على الوجهين الجانبيين قد زادت من مقاومة الجوائز غير المُدْعَمَة بشكل ملحوظ من أجل كلا نمطي التّرابط، حيث زادت من حمولة التشقق الوسطية للجوائز ذات نمط ترابط براغي جاهزة حرف L بحوالي (143%) مقارنةً بالجوائز المرجعية غير المُدْعَمَة وبحوالي (43%) مقارنةً بالجوائز ذات نمط ترابط روابط قص 6 mm؛ والسبب في رأينا هو أنّ البراغي كانت أكثر كفاءةً في تثبيت الشبك في مكانه من روابط القَصّ 6 mm مما أحرّ ظهور التشققات. فيما يتعلق بحمولة الانهيار الوسطية فقد أدّى استخدام نمط روابط القَصّ 6 mm لزيادتها بحوالي (59%) مقارنةً بالجوائز المرجعية غير المُدْعَمَة وبفارق بسيط حوالي (3%) عند استخدام البراغي الجاهزة حرف L كنمط ترابط، وأبدت الجوائز المُدْعَمَة بنمط ترابط براغي جاهزة حرف L سهوماً أكبر من الجوائز المرجعية غير المدعمة بحوالي (62%) ومن الجوائز المُدْعَمَة

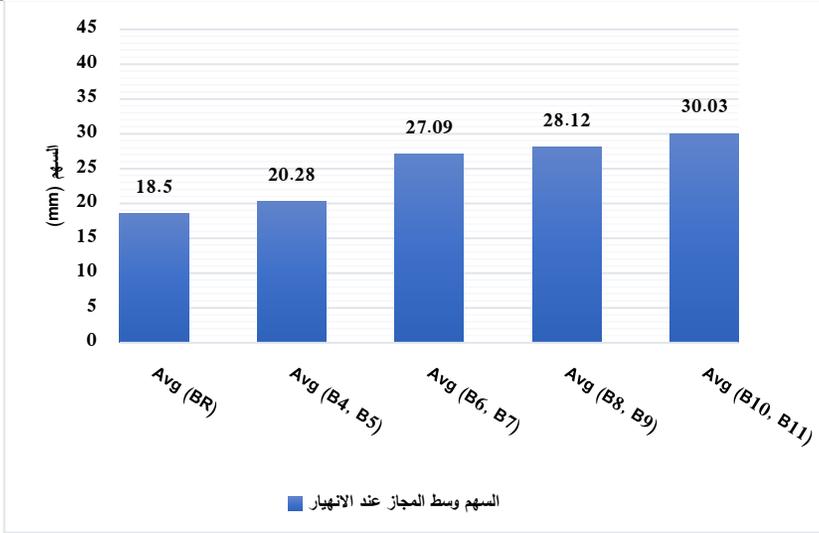
بنمط ترابط روابط قص 6mm بحوالي (7%)، في حين أنه بالنسبة لعامل المطاوعة فإنّ كلا التّمطين لم يقدّما أي مساهمة فعّالة فيما يخصّ رفع قيمة عامل المطاوعة.

#### 5-4 المقارنة بين نتائج الجوائز المُدعمة حول محيطها وعلى الوجهين الجانبيين:

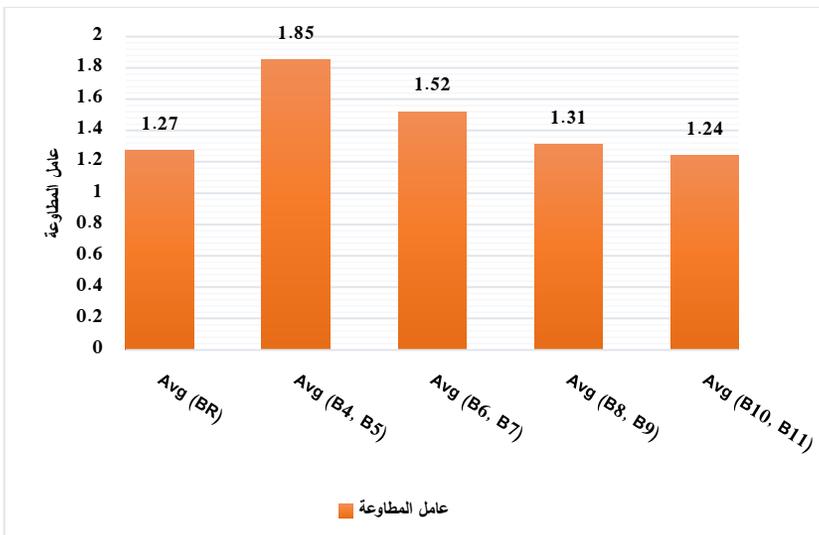
تبين الأشكال (15) و(16) و(17) و(18) المقارنة بين نتائج الجوائز المُدعمة حول محيطها وبين نتائج الجوائز المُدعمة على الوجهين الجانبيين، من حيث كل من وسطي حملتي التشقق والانهييار، ووسطي السهم وسط المجاز عند الانهييار، ووسطي عامل المطاوعة، والحمولة الموافقة للسهم المسموح على الترتيب.



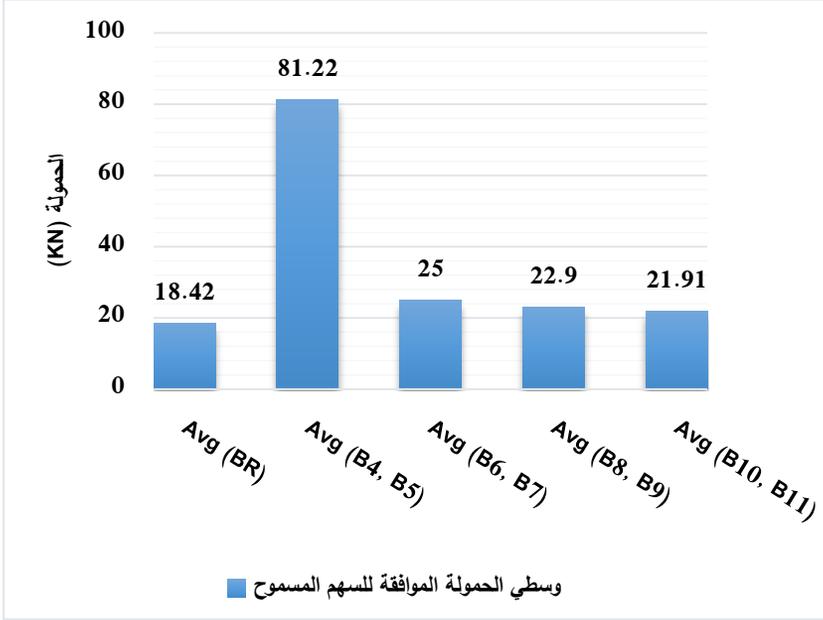
الشكل (15) مقارنة وسطي حملتي التشقق والانهييار للجوائز المُختبرة



الشكل (16) مقارنة وسطي السهم وسط المجاز عند الانهيار للجوائز المُختبرة



الشكل (17) مقارنة وسطي عامل المطاوعة للجوائز المُختبرة



الشكل (18) مقارنة وسطي الحمولة الموافقة للسهم المسموح

نستنتج أنّ التدعيم حول محيط الجائز كان أكثر فعالية من حيث زيادة وسطي كل من حمولة التشقق وحمولة الانهيار وعامل المطاوعة بالمقارنة مع التدعيم على الوجهين؛ إذ أنه زاد من وسطي كل من حمولة التشقق وحمولة الانهيار وعامل المطاوعة بحدود (127% و 43% و 41%) على الترتيب عند استخدام روابط القص 6 mm، وبحدود (30% و 34% و 23%) على الترتيب عند استخدام البراغي الجاهزة حرف L. وبالنسبة للسهم وسط المجاز عند الانهيار فقد كان للتدعيم على الوجهين الجانبيين الأثر الأكبر لزيادة قيمة وسطي السهم بالمقارنة مع التدعيم حول محيط الجائز بحدود (39%) بالنسبة لنمط الترابط روابط قص 6 mm، وبحدود (11%) بالنسبة لنمط الترابط براغي جاهزة حرف L؛ والسبب أنّ التدعيم حول محيط الجائز كان له أثر التطويق الكامل للجائز من الجوانب كلها بما فيها الجهة السفلية، ممّا أدى إلى زيادة مقاومته وانخفاض قيمة سهمه بالمقارنة مع التدعيم على الوجهين الجانبيين الذي لا يلحظ التدعيم على الوجه السفلي مما أدى لزيادة قيمة السهم. وفيما يتعلق بالحمولة الموافقة للسهم المسموح؛

فقد حققت تقنية التدعيم حول المحيط بروابط القص 6mm قيمةً للحمولات أعلى بحدود (255%) من تلك المُدعمة على الوجهين الجانبيين ولنفس نمط الترابط، وعند استخدام البراغي الجاهزة كنمط ترابط حققت الجوائز المُدعمة حول محيطها حمولات أعلى عند السهم المسموح بحدود (14%) بالمقارنة مع الجوائز المُدعمة على الوجهين الجانبيين ولنفس نمط الترابط.

## 5- الاستنتاجات والتوصيات:

### 1-5 الاستنتاجات:

- إن نمط الانهيار للجوائز المدعمة حول محيطها هو انهيار على القص، مترافق مع انهيار منطقة الضغط، وانفصال لطبقة الفيروسمنت عندها.
- حققت الجوائز المُدعمة على الوجهين الجانبيين انهياراً مثالياً على القص دون انفصال لطبقة الفيروسمنت، مع عدد شقوق أقل مقارنةً بالتدعيم حول المحيط.
- حققت تقنية التدعيم حول محيط الجائز مع روابط قص 6 mm أكبر زيادة في وسطي حمولة التشقق والانهيار وعامل المطاوعة بنسب حوالي (287% و126% و46%) على الترتيب، بالمقارنة مع الجوائز المرجعية غير المُدعمة، وبنسب حوالي (127% و43% و41%) على الترتيب، بالمقارنة مع الجوائز المُدعمة على الوجهين الجانبيين ذات نفس الروابط.
- زادت الجوائز المُدعمة على الوجهين الجانبيين مع براغي جاهزة حرف L من وسطي السهم وسط المجاز عند الانهيار بحدود (62% و39%) بالمقارنة مع الجوائز المرجعية غير المُدعمة والجوائز المُدعمة حول محيطها مع نفس البراغي على الترتيب.
- أدى استخدام البراغي الجاهزة حرف L باختلاف منطقة التدعيم إلى زيادة السهوم وتخفيض قيمة عامل المطاوعة، بالمقارنة مع روابط القص 6 mm.
- جميع الجوائز المُدعمة زادت من الحمولة الموافقة للسهم المسموح بالمقارنة مع الجوائز المرجعية غير المُدعمة.

## 2-5 التّوصيات:

- تجريب عدد طبقات مختلفة للشبّك المعدنيّ.
- تجريب أقطار مختلفة لأسلاك الشبّك المعدنيّ.
- تجريب أبعاد مختلفة لفتحة الشبّك المعدنيّ.

المراجع:

- [1] CHALIORIS, C and KYTINOI, V and VOUTETAKI, M and PAPADOPOULOS, N, 2019– Repair of heavily damaged RC beams failing in shear using U-shaped mortar jackets, Buildings Vol .9(6)–146.
- [2] ACI Committee 549, 2018– Report on Ferrocement. American Concrete Institute, First Printing, American United States, 30p.
- [3] GHAI, R and BANSAL, P and KUMAR, M, 2018– Strengthening of RCC beams in shear by using SBR polymer-modified ferrocement jacketing technique, Advances in Civil Engineering. Vol. 2018. 1–16.
- [4] MUHIT, I and JITU, N and ALAM, M, 2021– Structural shear retrofitting of reinforced concrete beam: multilayer ferrocement technique, Asian Journal of Civil Engineering. Vol. 22. 191–203.
- [5] LADI, Y and MOHITE P, 2013– Experimental evaluation of reinforced concrete beam retrofitted with ferrocement. International journal of research in engineering and technology. Vol. 2(3).
- Flexural –D.W, 2001 L.C and SCOTT, [6] LAMANNA, A.J, BANK, strengthening of reinforced concrete beams using fasteners and

fiber-reinforced polymer strips. ACI Structural Journal. Vol. 98(3),  
8p.

[7] نقابة المهندسين السوريين، 2022- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت  
بالخرسانة المسلحة. الطبعة الخامسة مطورة، سوريا، 406 ص.