

تدعيم الجوائز البيتونية المسلحة على القصّ بشرائح شاقولية من الفيروسمنت

م. محمد الدروبي¹ د.م. منيب العلاف²

المُلخَص

يعتبر الانهيار على القص للجوائز البيتونية المسلحة من أخطر أنواع الانهيارات نظراً لقصافته بحيث تتشكل الشقوق وينهار الجائز بشكل مفاجئ قبل التمكن من مراقبة هذه الشقوق ومعالجة أسبابها، من الأسباب التي تؤدي إلى ضعف في مقاومة الجوائز على القصّ زيادة حمولات الاستثمار وتغيير الوظيفة الاستثمارية للمنشأ، كما يمكن أن يسهم التطوير المستمر للكودات التصميمية من اشتراطاتها بحيث تصبح المنشآت الحالية غير محقّقة بحكمها. وبالتالي برزت الحاجة للبحث عن تقنية تدعيم فعّالة وغير مكلفة وسهلة التنفيذ فكان التدعيم بالفيروسمنت خياراً قوياً وتمّ استخدامه في العديد من الأبحاث الحديثة في موضوع التدعيم والتقوية.

وعليه يدرس هذا البحث سلوك الجوائز البيتونية المسلحة الضعيفة على القص

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

²أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث- حمص- سوريا

والمُدعّمة بشرائح شاقولية من الفيروسمنت عرضها 10 cm، حيث تم اختبار ثلاثة جوائز مرجعية غير مُدعّمة بغرض المقارنة معها، كما تمّ اختبار ثمانية جوائز أخرى مُدعّمة بشرائح الفيروسمنت، أربعة منها مُدعّمة حول محيطها والأخرى على الوجهين الجانبيين، وفي كل حالة تم اختبار تأثير تغير نمط الترابط بين طبقة الفيروسمنت وبيتون الجائز الأصلي من خلال استخدام نمطي ترابط هما روابط قص 6mm وبراعي جاهزة حرف L، أظهرت النتائج انهياراً مثالياً على القصّ لجميع الجوائز المُختبرة مع عدد شقوق أقل في حالة التدعيم على الوجهين الجانبيين بالمقارنة مع التدعيم حول المحيط، كما أظهرت النتائج فعالية كبيرة للتدعيم حول المحيط مع روابط القص 6mm بزيادته لوسطي كل من حمولة التشقق والانهيال بحدود (93% و 86%) على الترتيب مقارنةً بالجوائز المرجعية غير المُدعّمة، و بحدود (38% و 35%) على الترتيب مقارنةً بالجوائز المُدعّمة على الوجهين الجانبيين مع نفس الروابط. وأثبت التدعيم على الوجهين الجانبيين فعاليته الكبيرة في رفع قيمة وسطي عامل المطاوعة لا سيّما عند استخدام روابط القص 6mm بحدود (24%) مقارنةً مع الجوائز المرجعية.

الكلمات المفتاحية: شرائح، الفيروسمنت، القصّ، حمولة التشقق، حمولة الانهيال

Rehabilitation of reinforcement concrete beams on shear by Vertical Strips of Ferrocement

Eng. Mohammad AL–Droubi¹ Dr. Eng Muneeb AL–Allaf²

Abstract

The failure of reinforced concrete beams in shear is considered a critical issue due to its brittleness, resulting in sudden failure without warning. Various factors contribute to the weakening of beam resistance in shear, such as increased service loads and structural functionality changes. The continuous evolution of design codes also plays a role in imposing stricter requirements that older structures may not meet. Consequently, there is a need to explore cost-effective and efficient rehabilitation techniques. Ferrocement has emerged as a viable option and has been the focus of recent research in this area. This study investigates the performance of shear-deficient concrete beams rehabilitated using 10 cm wide vertical ferrocement strips. Three reference beams were tested for comparison, along with eight other beams rehabilitated with

¹ PhD Candidate, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, AL–Baa’th University, Homs, Syria

² Professor, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, AL–Baa’th University, Homs, Syria.

ferrocement strips – four around the perimeter and four on both sides. The study examined the impact of altering the bond pattern between the ferrocement layer and the original concrete beam using two different bond patterns: 6mm shear links and L-shaped bolts. The results indicated successful shear failure in all tested beams, with fewer cracks observed in beams rehabilitated on both sides compared to those around the perimeter. Perimeter rehabilitation with 6mm shear links demonstrated significant effectiveness, leading to a 93% and 86% increase in average cracking and failure loads, respectively, compared to reference beams, and a 38% and 35% increase compared to beams rehabilitated on both sides with the same links. Rehabilitation on both sides proved highly effective in enhancing the average ductility factor value, particularly when utilizing 6mm shear links, resulting in a 24% increase compared to reference beams.

Keywords: Strips, Ferrocement , Shear Cracking Load , Failure Load

1- مقدّمة:

إنّ الدراسة الإنشائية الدقيقة لأي منشأ هندسي يجب أن تقترن مع تنفيذ هندسي صحيح على أرض الواقع لتحقيق الغاية المنشودة، إذ أنه من الممكن أن تكون الدراسة محققة لكل الاشتراطات التي تنص عليها الكودات العالمية، ولكن التنفيذ السيء على أرض الواقع وعدم الالتزام الكامل بالمخططات الناتجة عن الدراسة قد يؤدي إلى حدوث ضعف في بعض العناصر الإنشائية، أو من الممكن أن يكون التنفيذ مطابقاً للدراسة الهندسية ولكن التصميم الإنشائي قد تمّ وفق متطلبات كودات قديمة تم تطويرها بحيث تصبح هذه المنشآت المنفذة وفق التصميم القديم غير محققة أو آمنة بحكم الاشتراطات الجديدة، ناهيك عن إمكانية تغير الوظيفة الاستثمارية للمنشأ خلال عمره الافتراضي ممّا يؤدي إلى زيادة في الأحمال الفعلية عن تلك المُصمّم عليها، وبالتالي تصبح بعض العناصر الإنشائية غير آمنة، وكل ماسبق قد يؤدي إلى حدوث تشققات إنشائية في العناصر الإنشائية الهامة مثل الجوائز، وبالتالي يجب التفكير في حلول مناسبة لإعادة تأهيلها وتدعيمها. وحيث يُعتبر الانهيار على القصّ من أخطر أنواع الانهيارات لآته يكون قصيفاً ومفاجئاً، وبالتالي لا يتاح لنا الوقت الكافي لمراقبة التشققات وتطورها ومعالجتها قبل أن تؤدي للانهيار، وعليه كان لا بدّ من البحث عن طرق فعالة في موضوع تدعيم وتقوية المشآت القائمة، بحيث تكون هذه الطرق غير مكلفة نسبياً، وسهلة التطبيق، ولا تحتاج إلى كوادر مدربة خصيصاً لها بحيث يمكن الاستفادة من العمالة المتوافرة محلياً في تنفيذها، وهنا كانت تقنية التدعيم بالفيروسمنت من الخيارات القوية في هذا السياق.

يُعرّف الفيروسمنت أو يمكن القول الإسمنت الحديدي بحسب ACI 549R-18 [2] بأنه شكل خاصّ من أشكال البيتون المسلّح والذي يختلف عن البيتون المسلّح التقليدي أو مسبق الإجهاد، بالمقام الأول من ناحية توزّع وترتيب التسليح داخله. وعليه فإن سلوك

الفيروسمنت أيضاً سيكون فريداً من نوعه من ناحية التشوهات والقوى الداخلية؛ وبالتالي يُصنف الفيروسمنت على أنه مادة منفصلة ومتميزة. حيث يمكن تشكيله على شكل صفائح لا تتعدى سماكتها 25 mm بطبقة طينة تغلفه على عكس البيتون المسلح التقليدي، كما يمكن تجميعه بأي شكل مرغوب به وتطبيق الطينة دون الحاجة إلى قوالب خاصة.

أستخدم مؤخراً الفيروسمنت كطريقة فعّالة في تقوية وتدعيم مختلف العناصر الإنشائية، حيث قام الباحثان (Taha A. El-Sayed and Abeer M. Erfan,) (2018) [3] باختبار تأثير الاستعانة بنوعين من الشبك (شبك ملحوم وشبك ممتد) بديلاً عن الأساور لمقاومة قوى القص لسبعة جوائز بيتونية مسلحة، كما اختبر الباحثان أيضاً تأثير اختلاف عدد طبقات الشبك على رفع قدرة تحمل الجوائز على القص، واستنتج الباحثان أنّ الشبك الملحوم يعطي نتائج أفضل من الشبك الممتد في كل نقاط المقارنة من حيث السهم والصلابة وقدرة تحمل الجوائز على القص، كما أوصى الباحثان باعتماد عدد الطبقات مساوياً لطبقتين كخيار أمثل وكلفة مقبولة اقتصادياً.

كما قام الباحثون (Maneek Kumar, Anshu Tomar and PremPal) (Bansal, 2006) [4] بدراسة فعالية التدعيم بصفائح من الفيروسمنت لجوائز بيتونية مسلحة لم تصمم لتحمل القص وذلك من خلال اعتماد زاويتين لميل الشبك الملحوم هما 0° و 45° ، وتحميل الجوائز بشكل مسبق إلى 60% و 75% و 90% من حمولة الانهيار، واعتماد طبقة واحدة من الشبك. استنتج الباحثون أنّ الزاوية 45° لميل الشبك أعطت أفضل النتائج لتقليل التباعد بين الشقوق وتوزيع أفضل للإجهادات تحت النسبة المختلفة للتحميل المسبق، كما أنّ الجوائز المدعمة بعد تحميلها بنسبة تحميل مسبقه 60% أظهرت أفضل النتائج من ناحية قدرة التحمل للجوائز بعد التدعيم مقارنةً بنسب التحميل الأخرى 75% و 90%.

وقام الباحثون (Rajinder Ghai, Prem Pal Bansal and Maneek Kumar, 2018) [5] بدراسة شملت ثمانية وأربعين جائزاً لتحديد تأثير التطويق بالفيروسمنت، مع استخدام مادة الـ SBR بنسبة مقدارها 15% في تقوية الجوائز البيتونية المسلحة المتضررة مسبقاً على القص، مع تغيير موقع تطبيق القوة المركزة كنسبة من الارتفاع الفعال للجائز، بالإضافة إلى تحميل هذه الجوائز بحسب ثلاث مجموعات إلى 45% و 75% و 95% من حمولة الانهيار التصميمية. استنتج الباحثون فعالية طريقة التدعيم المستخدمة ليس فقط في استعادة قدرة تحمل الجوائز الأصلية على القص فحسب، بل وتعزيزها أيضاً بنسب تتراوح بين 5.90% و 12.03%، حتى بعد تحميلها إلى 95% من حمولة الانهيار التصميمية. كما أظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً في مطاوعة الجوائز المدعمة، وتأخير انهيارها على القص من خلال مقاومة أعلى للحمولات المطبقة، وتوزيعها بشكل جيد بالمقارنة مع الجوائز المرجعية.

2- هدف البحث:

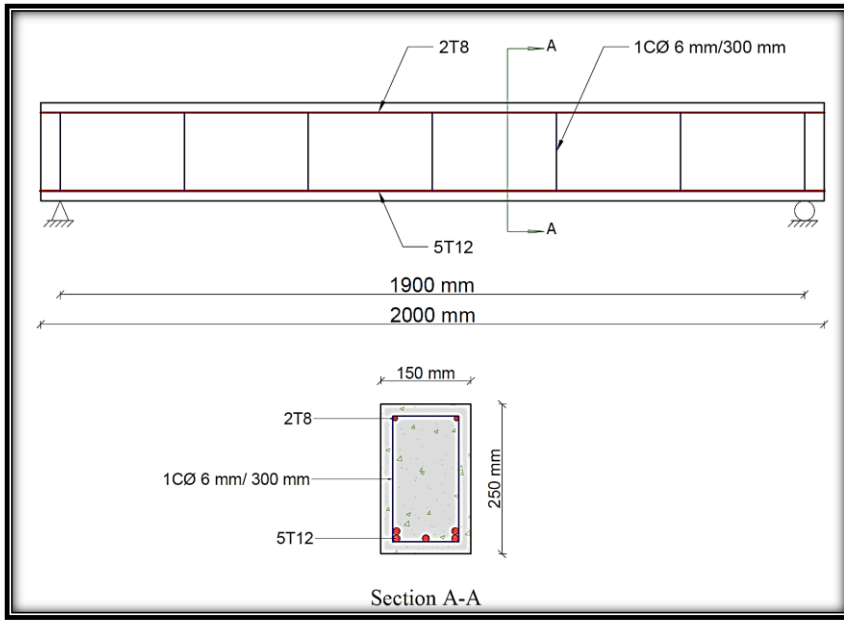
يهدف البحث إلى تحديد سلوك الجوائز البيتونية المسلحة الضعيفة على القص والمدعمة بشرائح شاقولية من الفيروسمنت، وتحديد منطقة التدعيم المثلى ونمط الترابط الأمثل بين طبقة الفيروسمنت وبيتون الجوائز الأصلية. وتأتي أهمية البحث من ناحية استخدامه لتقنية رخيصة الثمن، ويتم تنفيذها بواسطة ورشات خبرتها عادية، كما أن موادها متوفرة في السوق المحلية، وتحقيق وفر في كمية الشبك المستخدمة عن طريق تشكيلها بهيئة شرائح شاقولية، وبالتالي استغلال هذه التقنية لتناسب واقع بلادنا واستخدامها في مرحلة إعادة الإعمار.

3- موادّ و طرق البحث:

1-3 متغيرات البحث:

بالاستفادة من نتائج الدراسات المرجعية السابقة قمنا بتحديد المتغيرات اللازم أخذها بعين الاعتبار في بحثنا، إذ أنّ الدراسات المرجعية السابقة لم تتطرق إلى تشكيل الشبك على شكل شرائح متباعدة فيما بينها، كما أنّها لم تدرس تأثير تغير منطقة التدعيم، بالإضافة إلى أنّها لم تبحث في موضوع الترابط بين طبقة الفيروسمنت وبيتون الجائز الأصلي. وبالتالي تم الاستفادة من هذه الملاحظات وأخذها بعين الاعتبار في بحثنا.

يبين الشكل (1) مقطعاً طويلاً وعرضياً للجوائز المدروسة يبين أبعادها وتسليحها، حيث أنّه تمّ إجراء التجارب على 11 جائزاً بيتونياً مسلحاً بأبعاد $(150 \times 250 \times 2000)$ mm ويتسليح طولي سفلي 5T12mm وطولي علوي 2T8mm، ويتسليح عرضي أساور $1\Phi 6$ mm/300mm.



الشكل (1) مقطع طولي وعرضي للجوائز المدروسة يبين أبعادها وتسليحها

تمت الدراسة وفق عدد من المتغيرات كما يبيّن الشكل (2)، وبيّن الجدول (1) تقسيم الجوائز وفق المتغيرات السابقة.



الشكل (2) 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 | B12-PA1 | حول محيط الجائز | روابط قص 6 mm | الجوائز المدعمة بشرائح شاقولية حول محيط الجائز |
| 5 | B13-PA2 | حول محيط الجائز | روابط قص 6 mm | |
| 6 | B14-PB1 | حول محيط الجائز | براغي حرف L | |
| 7 | B15-PB2 | حول محيط الجائز | براغي حرف L | |
| 8 | B16-SA1 | الوجهين الجانبيين | روابط قص 6 mm | الجوائز المدعمة بشرائح شاقولية على الوجهين الجانبيين |
| 9 | B17-SA2 | الوجهين الجانبيين | روابط قص 6 mm | |
| 10 | B18-SB1 | الوجهين الجانبيين | براغي حرف L | |
| 11 | B19-SB2 | الوجهين الجانبيين | براغي حرف L | |

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

الجوائز المرجعية تم ترميزها وفق الرمز (BR-N)، حيث N هي رقم الجائز، وBR 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).

❖ الرمز Y: يشير إلى نمط التّرابط، ويأخذ قيمتين؛ القيمة الأولى هي الحرف A أي أنّ نمط التّرابط هو تشاريك من قضبان التسليح بقطر 6 mm (Anchor)، والقيمة الثانية هي الحرف B أي أنّ نمط التّرابط هو براغي على شكل حرف L (Bolt).

❖ الرمز n: يشير إلى رقم العينة حيث أنّه من أجل نفس المواصفات توجد عينتين وبالتالي هذا الرمز يأخذ قيمتين 1 و 2 .

❖ التّرقيم للجوائز المُدعّمة يبدأ من الرقم 12؛ لأنّ هذا البحث هو جزء من أطروحة الدكتوراه التي تتضمّن دراسة 23 جائزاً، والبحث يعرض نتائج الجزء المتعلّق بالشرائح الشاقولية فقط.

2-3 مواصفات الموادّ المُستخدمة في البحث:

الحصويّات المُستخدمة مصدرها مقالع حسياء بالقرب من مدينة حمص وتتميز بقوتها ونظافتها وخلوّها من الشوائب، كما أنّ الرّمّل المستخدم هو الرّمّل القروانيّ النظيف المار

من المنخل 4.75، ذو المكافئ الرملي الوسطي 75%. وبالنسبة لفولاذ التسليح فقد تم إجراء اختبار الشد لعينات من الأقطار المستخدمة في البحث في مخبر مواد البناء - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث، ونتائجه موضحة في الجدول (2). والخلطة البيتونية المعتمدة تم تصميمها بالطريقة التخطيطية بواسطة منحنى فولير-تومسون، باعتماد عيار للإسمنت 400 Kg/m^3 ونسبة الماء للإسمنت $W/C=0.5$ ، كما تم التأكد من قيمة الهبوط بإجراء تجربة مخروط أبرامز وكانت مساوية إلى 70 mm وهي قيمة مقبولة ومناسبة بحسب اشتراطات الكود العربي السوري [6]، والجدول (3) يبين التركيب الوزني لمكونات الخلطة البيتونية المعتمدة في صب جوائز البحث.

الجدول (2) المواصفات الميكانيكية لفولاذ التسليح المستخدم

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

الجدول (3) التركيب الوزني ونسب مكونات الخلطة البيتونية

| الماء | الرمل | الرمل المكسر | الزراة | البحص | الإسمنت | المادة |
|-------|-------|--------------|--------|-------|---------|---------------------------------|
| 200 | 176 | 335 | 536 | 751 | 400 | عيار المادة (Kg/m^3) |
| 0.5 | 0.44 | 0.84 | 1.34 | 1.88 | 1 | نسبة المادة إلى الإسمنت |

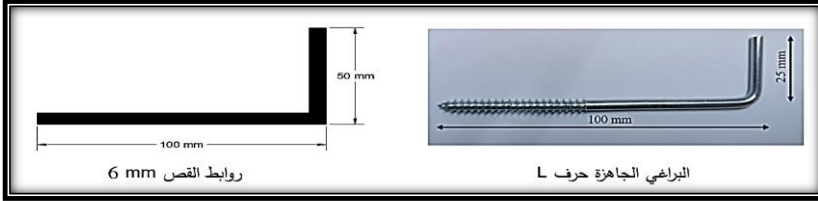
عند إجراء اختبار الضغط للعينات الأسطوانية التي تم أخذها بعد صبّ العينات على عمر 28 يوماً، وباستخدام جهاز كسر العينات الموجود في مخبر مواد البناء في كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث، كانت المقاومة المميزة الوسطية على الضغط والمُعتمدة في البحث: $f'_c = 20 \text{ MPa}$

والسبب في انخفاض المقاومة بالنسبة لعيار الإسمنت المستخدم هو نوعية الاسمنت ، إذ أن الإسمنت المتوفر في السوق المحلية يحتاج إلى زمن يتجاوز 56 يوماً حتى يأخذ مقاومته الكاملة.

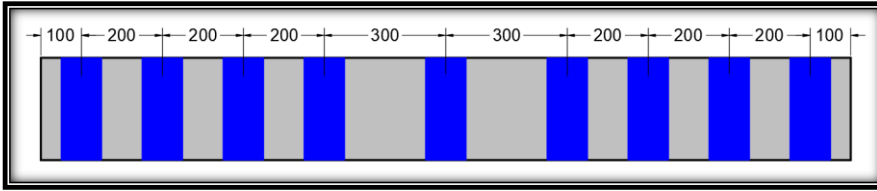
الشبّك الفولاذي المستخدم هو من النوع الملحوم (WWMS) ذي القطر 2.5 mm و فتحته مربعة الشكل أبعادها (25×25) mm، وتمّ إجراء تجارب الشدّ على ثلاث عينات من أسلاك الشبّك في مخبر موادّ البناء في كُليّة الهندسة المدنيّة في جامعة البعث، وكانت قيمة إجهاد الخضوع الوسطي للشبّك والمُعتمدة في هذا البحث هي: $f_{y,m} = 867 \text{ MPa}$

بالنسبة للمونة الإسمنتيّة فهي تتكوّن من الرّمْل والإسمنت بنسبة (1:2) للرّمْل 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 النّسب 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 للطبقة الجديدة على بيتون الجائز القديم. كما تمّ استخدام مادّة مالينات البوليستر والمعروفة تجارياً بإسم دبق الرّخام من أجل حقنها ضمن التّقوب الخاصّة بروابط القصّ لضمان التصاق الروابط مع الجائز بشكل كامل. تمّ أيضاً اعتماد نوعين من الروابط بين طبقة الفيروسمنت وبيتون الجوائز؛ النوع الأول 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 المحلية ذات منشأ بولندي على شكل حرف L بقطر 5 mm تقريباً وبأبعاد (100×25) mm. يبين الشكل (3) أشكال وأبعاد روابط القص المستخدمة، كما يبين الشكل (4) كيفية توزع الشرائح علماً أنّ عرض الشريحة هو 10 cm.



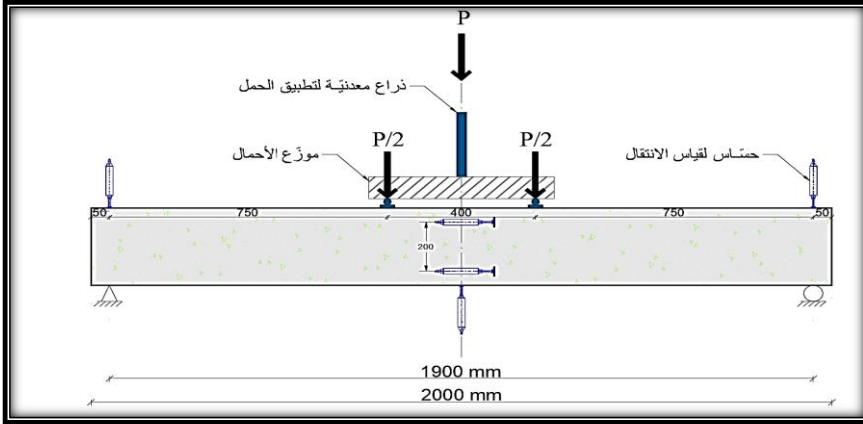
الشكل (3) أشكال وأبعاد روابط القص المستخدمة



الشكل (4) توزع الشرائح المستخدمة في البحث

3-3 مراحل العمل:

تمّ كسر الجوائز المرجعية في مخبر البيبتون المسلح-كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث، وذلك على جهاز كسر القساطل البيتونية والذي تبلغ طاقته القصوى 20 طناً، وذلك وفق نموذج التحميل المبين في الشكل (5).



الشكل (5) نموذج التّحميل وتوزّع الحساسات

بعد ذلك قمنا بإجراء عمليّات التّدعيم وفق الخطوات التالية:

- 1- تخشين السّطوح التي سيطبّق عليها التّدعيم، ثمّ تنظيفها من الغبار.
- 2- قصّ الشّبك المعدنيّ وتشكيله وفق المطلوب.
- 3- زرع روابط القصّ والبراغي الجاهزة في مكانها وفق الخطوات التالية والمبينة في الشكل رقم (6):

- حفر الثقوب: قطر الثقب الخاص بروابط القصّ 6 mm هو 8 mm، و الخاص بالبراغي الجاهزة 6 mm.
- نفخ الغبار من داخل الثقوب بواسطة ضاغط هوائي.
- حقن مادة مالينات البوليستر حتى تملأ الثقوب بشكل كامل، ثم غمس الروابط والبراغي داخل الثقوب وضمان تغليف مادة المالينات للروابط والبراغي بشكل كامل.
- بالنسبة لروابط القصّ فقد تم تشكيلها على هيئة قطع مستقيمة وثبيتها في مكانها، وبعد التأكد من جفاف المادة اللاصقة وثبات الروابط، تم تركيب الشبك المعدني، ثم تم تشكيل الروابط على شكل حرف L.

- بالنسبة للبراغي الجاهزة، فهي بالأصل على شكل حرف L، وتم تثبيتها في مكانها ثم تثبيت الشبك عليها مباشرة.
- 4- تركيب الشبك المعدني وتثبيته في مكانه ورشّ المادّة الزابطة وتطبيق الطّينة بحسب شكل التّدعيم بدون قوالب بسماكة 25 mm.
- 5- العناية بالجوائز، ومن ثمّ إجراء تجارب الكسر عليها، واستخراج النتائج.

والشكل رقم (7) يبين كيفية تدعيم الجوائز حول محيطها وعلى الوجهين الجانبيين.



الشكل (6) تجهيز وتركيب روابط القص والبراغي الجاهزة



الشكل (7) كيفية تدعيم الجوائز حول محيطها وعلى الوجهين الجانبيين

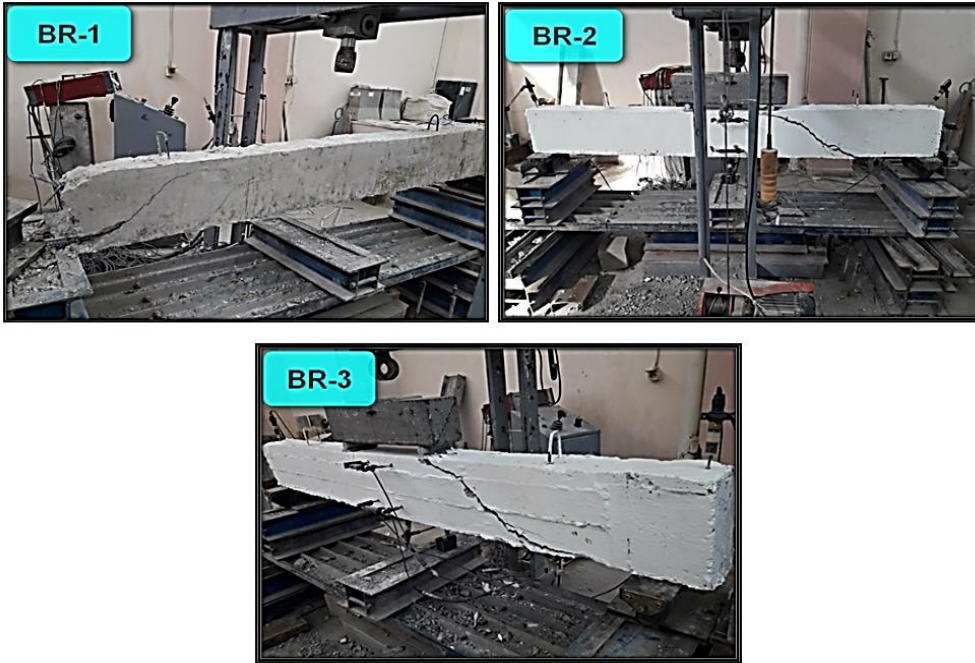
4- النتائج ومناقشتها:

4-1 نتائج التجارب على الجوائز المرجعية غير المدعمة:

❖ وصف طريقة انهيار:

لُوحظ 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 وتوقف تطوره لاحقاً، 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، وبدى 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° انطلاقاً من نقطة تطبيق الحمولة على الجائز، وقد توسّع

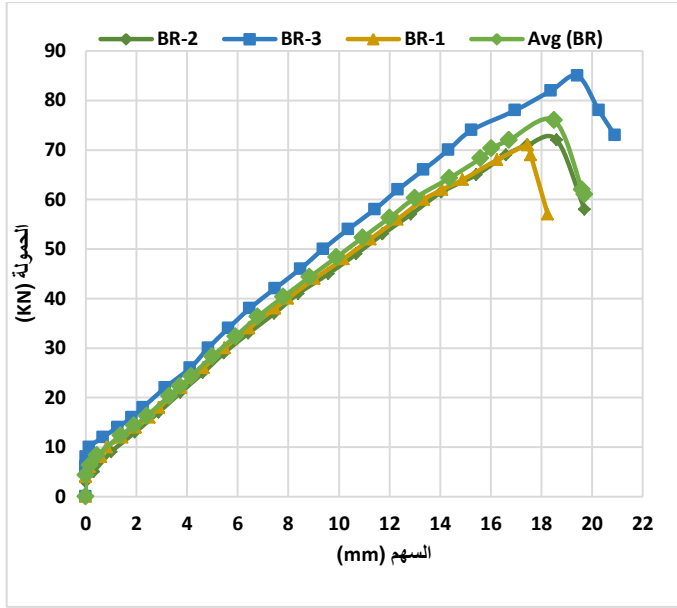
بشكل كبير وبوقت قصير للغاية ليكون الانهيار قصيفاً ومفاجئاً. وبلغت قيمة السهم وسط المجاز عند الانهيار (17.47 و 18.61 و 19.42) mm بالنسبة للجوائز BR-1 و BR-2 و BR-3 على الترتيب، وبلغت القيمة الوسطية للسهم وسط المجاز عند الانهيار للجوائز المرجعية غير المدعّمة (18.50 mm). إنّ الانهيار الحاصل للجوائز هو انهيار 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 أول انهيار للجوائز BR-3 أكبر من مثيلاتها للجائزين BR-1 و BR-2 بحوالي 16%، ويعود ذلك الفرق بتقديرنا لظروف التنفيذ أثناء صبّ الجوائز. ويبين الشكل (8) شكل انهيار الجوائز المرجعية غير المدعّمة.



الشكل (8) شكل انهيار الجوائز المرجعية غير المدعّمة

❖ رسم منحنيات (الحمولة - السهم وسط المجاز):

يبين الشكل (9) منحنى (الحمولة - السهم وسط المجاز) لكل جاز من الجوائز المرجعية مع المنحنى الوسطي الممثل لها.



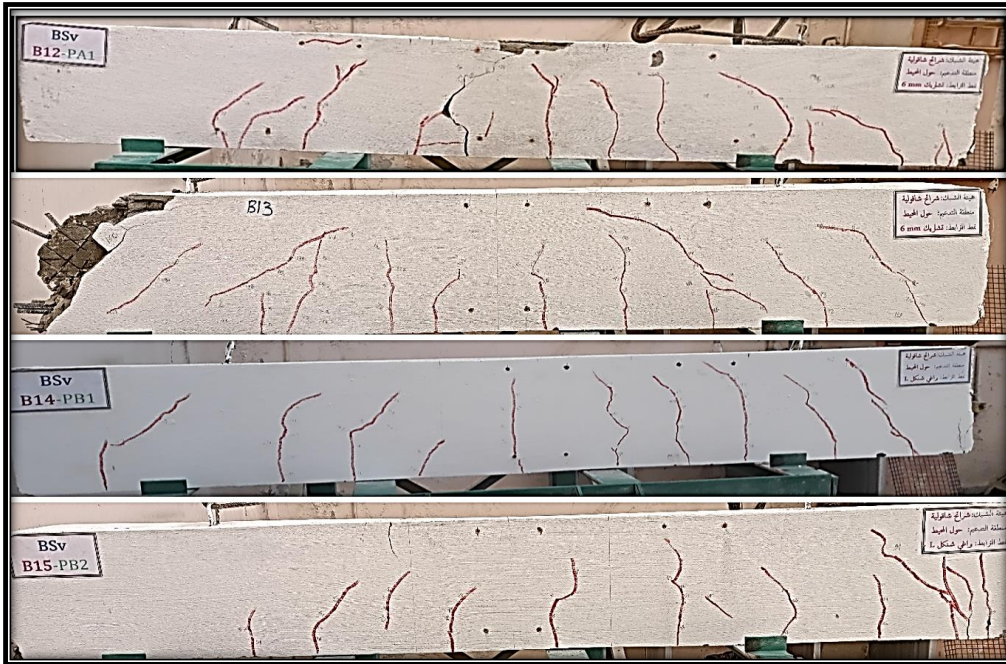
الشكل (9) منحنى (الحمولة - السهم وسط المجاز) للجوائز المرجعية مع الوسطي

2-4 نتائج التجارب على الجوائز المدعمة حول محيطها:

❖ وصف طريقة الانهيار:

لُوحيَ حدوث أول شقّ في منطقة وسط المجاز عند الحمولة (27 و 31 و 25 و 22) للجوائز (B12 و B13 و B14 و B15) على الترتيب، وبعدها حدوث شقين آخرين في منطقة وسط المجاز، هذه الشقوق الشاقولية لم تتوقف عن التمدد والانتشار باتجاه منطقة الضغط بزيادة الحمولة، بل استمرت بالانتشار بالتزامن مع بدء انتقال ظهور

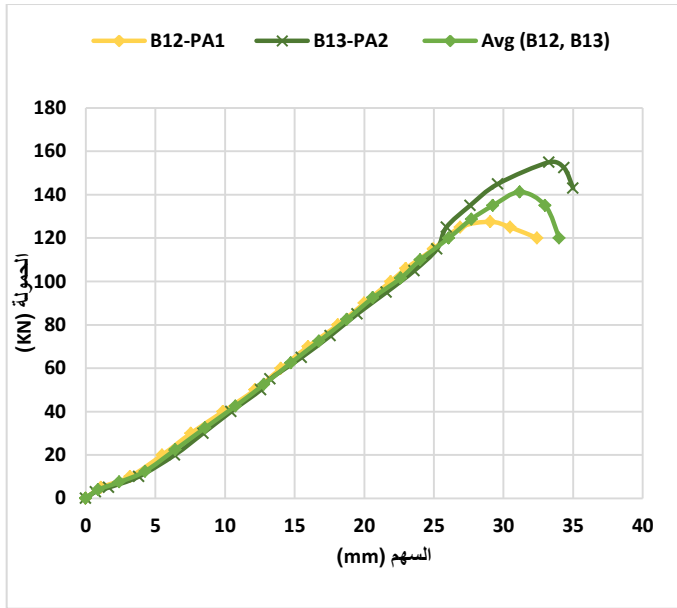
التشققات إلى منطقة القص على جهتي الجائز، والتي بدأت تتوسع تدريجياً في الجهتين معاً بالتزامن مع الشقوق الشاقولية حتى الانهيار الكامل على القص عند الحمولة KN (127.5 و 155 و 110 و 91) للجوائز (B12 و B13 و B14 و B15) على الترتيب، مع انفصال كامل لقسم من الجائز B13 المتوضع فوق المسند اليساري والسبب في ذلك ظهور شق القص المائل في هذه المنطقة بشكل مفاجئ ليتبعه الانهيار المفاجئ للجائز مباشرةً قبل التمكن من تحرير الحمولة المطبقة على الجائز، كما حصل تهشم فوق المسند اليميني للجائز B15 مع انفصال بسيط لطبقة الفيروسمنت، والشكل (10) يبين شكل انهيار الجوائز السابقة.



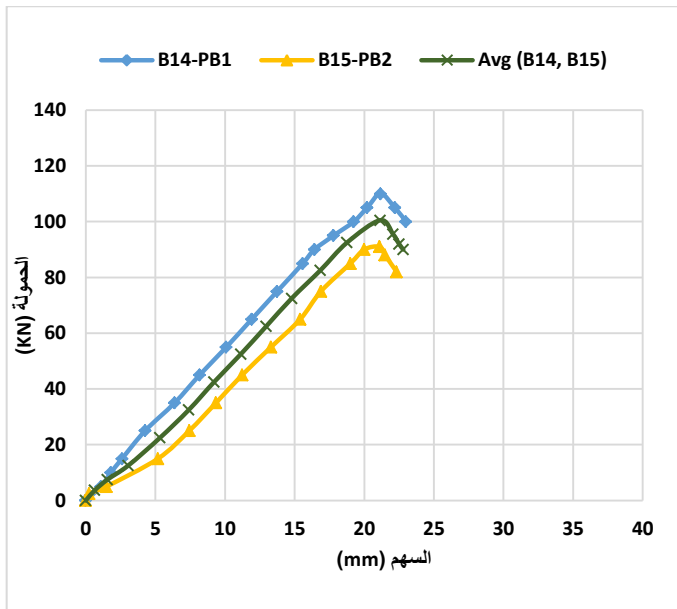
الشكل (10) شكل انهيار الجوائز المُدعمّة حول محيطها

❖ رسم منحنيات (الحمولة - السهم وسط المجاز):

يبين الشّكلان (11) و(12) منحنيات (الحمولة - السهم وسط المجاز) لكل جائزين متشابهين في أسلوب التدعيم، مع المنحني الوسطي الممثل لهما.



الشكل (11) منحنيات (الحمولة- السهم وسط المجاز) للجائزين B12 و B13 والوسطي



الشكل (12) منحنيات (الحمولة- السهم وسط المجاز) للجائزين B14 و B15 والوسطي

3-4 نتائج التجارب على الجوائز المدعمة على الوجهين الجانبيين:

❖ وصف طريقة انهيار:

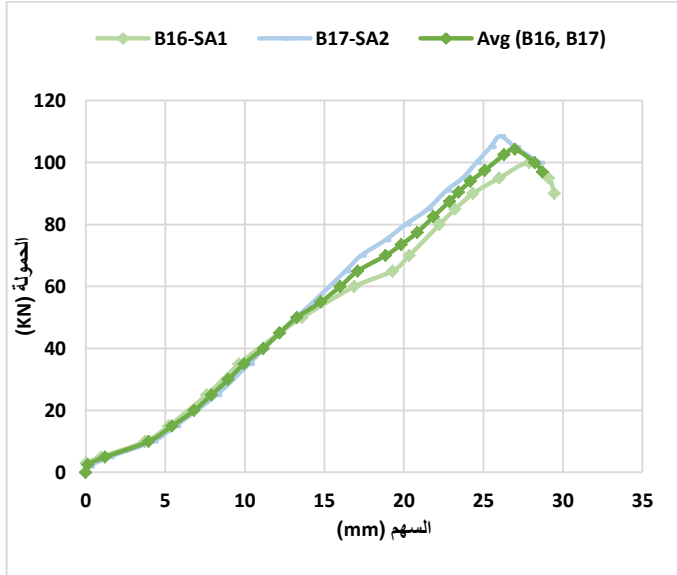
لُوحِظَ حدوث أول شق في منطقة وسط المجاز عند الحمولة KN(17 و 25 و 24 و 23) للجوائز (B16 و B17 و B18 و B19) على الترتيب، تبعه شق آخر في نفس المنطقة وكلاهما انتشرا باتجاه منطقة الضغط بزيادة الحمولة، وبالتزامن مع انتقال الشقوق إلى مناطق القص على الجهتين التي بدأت بالتوسع أكثر كلما زادت الحمولة وتوقف الشقين في منطقة وسط المجاز عن التمدد أكثر حتى الانهيار الكامل للجوائز على القص عند الحمولة KN(100 و 108.5 و 101 و 104) للجوائز (B16 و B17 و B18 و B19) على الترتيب، مع انسلاخ لطبقة الفيروسمنت فوق المسند اليميني للجوائز B16 وتهشم في طبقة الطينة الإسمنتية الواقعة فوق المسند اليميني للجوائز B19 عند طرف الجوائز تماماً حيث لا تتواجد أي شريحة من الشبك المعدني. ومن الواضح هنا أن عدد الشقوق الناتج في هذه الجوائز كان أقل من الحالات السابقة، كما أن الشقوق التي ظهرت في منطقة القص تبدو أقرب للشاقولية وتركز وجود بعضها في المناطق غير المغطاة بالشرائح الشاقولية، مما يعني أنها شقوق في طبقة الطينة الإسمنتية التي لا يتواجد تحتها شبك معدني، والشقوق التي تركزت في أماكن تواجد الشرائح تم الكشف عنها ليتبين لنا وجود الشق القصي المائل في بيتون الجوائز الأصلي، والسبب الذي أدى إلى ظهوره بشكل شاقولي على طبقة الفيروسمنت هو انفصال في بعض أسلاك الشبك نتيجة قص الشرائح بعرض معين. والشكل (13) يبين شكل الانهيار للجوائز السابقة.



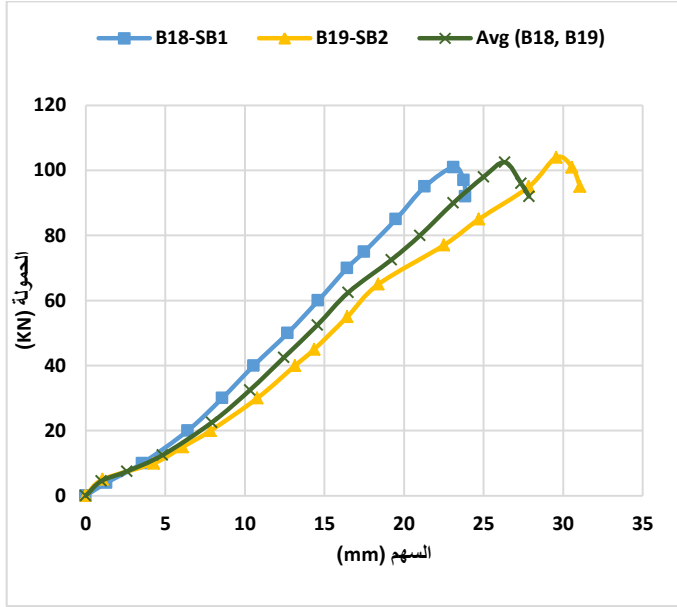
الشكل (13) شكل انهيار الجوائز المدعمة على الوجهين الجانبيين

❖ رسم منحنيات (الحمولة - السهم وسط المجاز):

يبين الشكلان (14) و(15) منحنيات (الحمولة - السهم وسط المجاز) لكل جائزين متشابهين في أسلوب التدعيم، مع المنحني الوسطي الممثل لهما.



الشكل (14) منحنيات (الحمولة - السهم وسط المجاز) للجائزين B16 و B17 والوسطي



الشكل (15) منحنيات (الحمولة- السهم وسط المجاز) للجائزين B18 و B19 والوسطي

4-4 تحديد عامل المطاوعة للجوائز المختبرة:

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

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

حيث أن δ_u : السهم الموافق لحمولة الانهيار، δ_y : السهم الموافق لبداية الخضوع عند نهاية مرحلة المرونة، أي عند النقطة التي يبدأ فيها منحنى 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 المُدعّمة والجوائز المرجعية غير المُدعّمة

| رمز الجائز | δ_y (mm) | δ_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 | |
| B12 | 24.97 | 29.05 | 1.16 | 1.24 |
| B13 | 25.25 | 33.28 | 1.32 | |
| B14 | 16.43 | 21.17 | 1.29 | 1.27 |
| B15 | 16.89 | 21.10 | 1.25 | |
| B16 | 16.89 | 27.89 | 1.65 | 1.58 |
| B17 | 17.31 | 26.06 | 1.51 | |
| B18 | 21.03 | 23.12 | 1.10 | 1.35 |
| B19 | 18.39 | 29.56 | 1.61 | |

4-5 تلخيص نتائج التجارب على الجوائز المُدعّمة ومقارنتها مع الجوائز المرجعية غير المُدعّمة ومناقشتها:

تم تنظيم الجدول (5) الذي يلخص نتائج التجارب على الجوائز السابقة، كما تم تنظيم الجدول (6) الذي يبيّن الفرق زيادةً بين النتائج الوسطية للجوائز المرجعية غير المُدعّمة وبين الجوائز المُدعّمة حول محيطها.

الجدول (5) نتائج التجارب على الجوائز المُدعّمة مع الجوائز المرجعية 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 |
| 1.24 | 1.16 | 31.17 | 29.05 | 141.25 | 127.5 | 29 | 27 | B12 |
| | 1.32 | | 33.28 | | 155 | | 31 | B13 |
| 1.27 | 1.29 | 21.14 | 21.17 | 100.5 | 110 | 23.5 | 25 | B14 |
| | 1.25 | | 21.1 | | 91 | | 22 | B15 |
| 1.58 | 1.65 | 26.98 | 27.89 | 104.25 | 100 | 21 | 17 | B16 |
| | 1.51 | | 26.06 | | 108.5 | | 25 | B17 |
| 1.35 | 1.10 | 26.34 | 23.12 | 102.5 | 101 | 23.5 | 24 | B18 |
| | 1.61 | | 29.56 | | 104 | | 23 | B19 |

الجدول (6) مقارنة النتائج الوسطية للجوائز المُدعّمة مع الجوائز المرجعية غير المُدعّمة

| الفرق وسطي عامل المطاوعة (%) (زيادة) في | الفرق السهم الوسطي (%) (زيادة) في | الفرق حمولة الانهيار الوسطية (%) (زيادة) في | الفرق حمولة التشقق الوسطية (%) (زيادة) في | رمز الجائز |
|---|-----------------------------------|---|---|------------------|
| - | %68 | %86 | %93 | وسطي (B12 و B13) |
| - | %14 | %32 | %57 | وسطي (B14 و B15) |
| %24 | %46 | %37 | %40 | وسطي (B16 و B17) |
| %6 | %42 | %35 | %57 | وسطي (B18 و B19) |

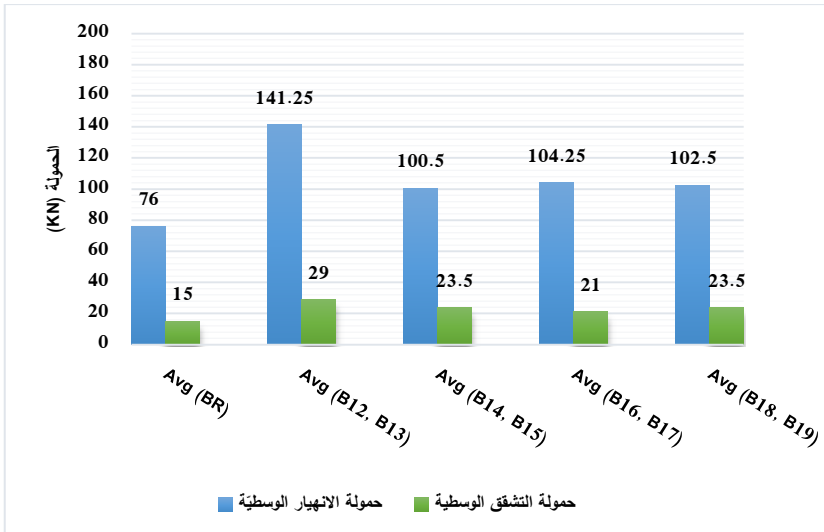
نستنتج ممّا سبق أنّ تقنيّة التدعيم السّابقة حققت تحسناً لافتاً في مقاومة الجوائز غير المدعّمة، لا سيّما عند استخدام روابط القص 6 mm كنمط ترابط، والذي أدى إلى زيادة وسطي كل من حمولة التشقق وحمولة الانهيار والسهم وسط المجاز عند الانهيار بحوالي (93% و86% و68%) على الترتيب بالمقارنة مع الجوائز المرجعية غير المدعّمة، وبحوالي (23% و41% و47%) على الترتيب بالمقارنة مع الجوائز المدعّمة بنمط ترابط براغي جاهزة حرف L، فيما يتعلق بعامل المطاوعة لم تبد أيّ من الجوائز السابقة نتائج هامة في هذا الخصوص. كان واضحاً أيضاً زيادة حمولة الانهيار للجائز B13 بحوالي (22%) بالمقارنة مع الجائز B12 المدعّم بنفس الأسلوب، وزيادة حمولة الانهيار للجائز B14 بحوالي (21%) بالمقارنة مع الجائز B15 المدعّم بنفس الأسلوب أيضاً؛ والسبب هو وجود تعشيش عند فك الكوفراج الخشبي للجائزين B12 و B15 بالقرب من المساند، الأمر الذي أدى إلى ضعف في هذه المنطقة أثر على سلوك الجائزين بشكل عام وخفض من قدرة تحملهما.

كما نستنتج أنّ استخدام الشرائح الشاقولية مع روابط قص 6 mm قد زاد من وسطي كل من حمولة التشقق وحمولة الانهيار والسهم وسط المجاز وعامل المطاوعة بحوالي (40% و37% و46% و24%) على الترتيب بالمقارنة مع الجوائز المرجعية غير المدعّمة، وبالمقارنة مع الجوائز المدعّمة بنمط ترابط براغي جاهزة حرف L، فإنّ نمط روابط القص زاد من وسطي حمولة الانهيار والسهم بحدود (2%) فقط مقارنةً مع نمط البراغي الجاهزة حرف L والذي بدوره زاد من وسطي حمولة التشقق وعامل المطاوعة بحدود (12% و17%) على الترتيب مقارنةً مع نمط روابط القص 6 mm. ويتقدّرنا

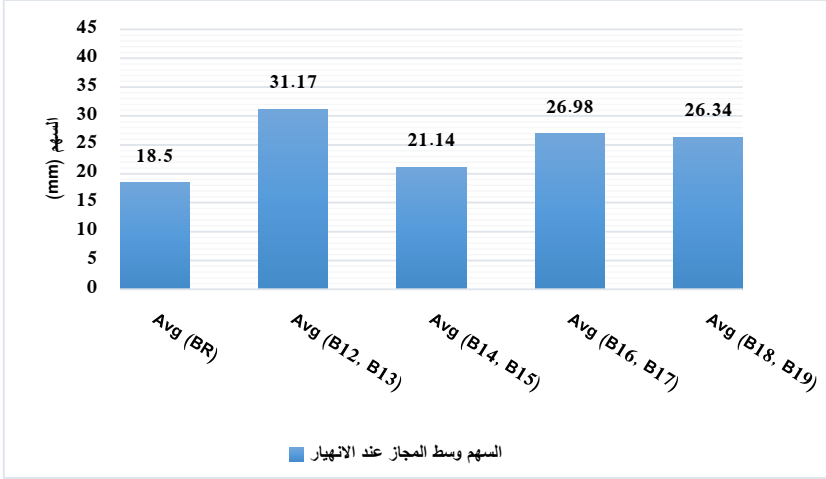
فإن عدم وجود شرائح فوق المساند مباشرةً والاعتماد على بيتون الجائز الأصلي فقط أدى إلى انخفاض قيم حمولة الانهيار لكل الجوائز نظراً لتركيز رد الفعل عند هذه المنطقة بقوة ضاغطة ويعرض استناد قليل مما أثر على سلوك الجوائز وانسلاخ طبقة الفيروسمنت وحدوث تهشم عند المسند لبعضها كما شرحنا سابقاً.

6-4 المقارنة بين نتائج الجوائز المدعّمة حول محيطها وعلى الوجهين الجانبيين:

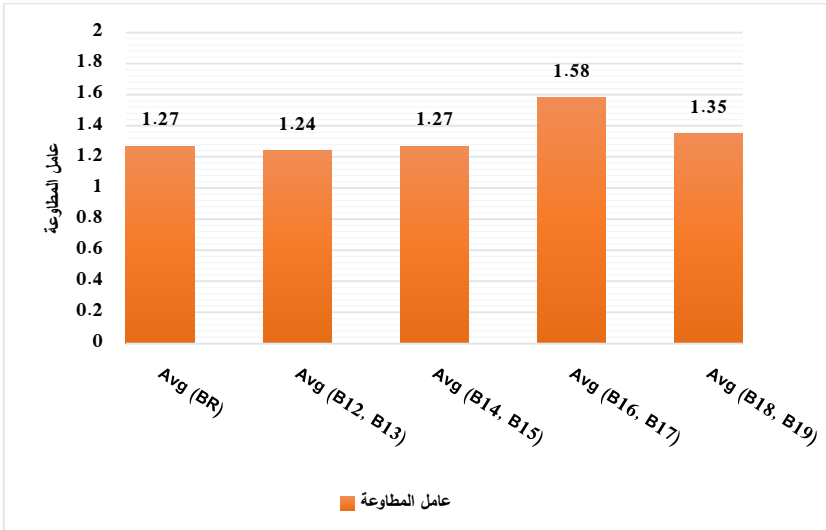
تبين الأشكال (16) و(17) و(18) المقارنة بين نتائج الجوائز المدعّمة حول محيطها وبين نتائج الجوائز المدعّمة على الوجهين الجانبيين.



الشكل (16) مقارنة حمولتي التشقق والانهيار للجوائز المُختبرة



الشكل (17) مقارنة السهم وسط المجاز عند الانهيار للجوائز المُختبرة



الشكل (18) مقارنة عامل المطاوعة للجوائز المُختبرة

نستنتج أنّ التدعيم حول محيط الجائز عند استخدام روابط القص 6 mm كان أكثر فعالية من حيث زيادة وسطي كل من حمولة التشقق وحمولة الانهيار بالمقارنة مع التدعيم على الوجهين؛ إذ أنه زاد من وسطي كل من حمولة التشقق وحمولة الانهيار بحدود (38% و35%) على الترتيب، في حين أنه عند استخدام البراغي الجاهزة حرف

L تقاربت النتائج بحدود (2%) زيادة لحمولة الانهيار عند التدعيم على الوجهين الجانبيين بالمقارنة مع التدعيم حول المحيط، مع تساوي حمولة التشقق في الحالتين. وبالنسبة للسهم وسط المجاز عند الانهيار فقد كان للتدعيم حول محيط الجائز عند استخدام روابط القص 6 mm الأثر الأكبر في زيادة قيمة وسطي السهم بالمقارنة مع التدعيم على الوجهين الجانبيين لنفس نمط الترابط بحدود (13%)، في حين زاد التدعيم على الوجهين الجانبيين بنمط ترابط البراغي الجاهزة حرف L من قيمة وسطي السهم بحدود (25%) بالمقارنة مع روابط القص 6 mm. كما كان التدعيم على الوجهين الجانبيين فعالاً أكثر في زيادة قيمة عامل المطاوعة بالمقارنة مع التدعيم حول محيط الجائز؛ إذ زادت قيمته بحدود (22%) لنمط روابط القص 6 mm و بحدود (6%) لنمط البراغي الجاهزة حرف L.

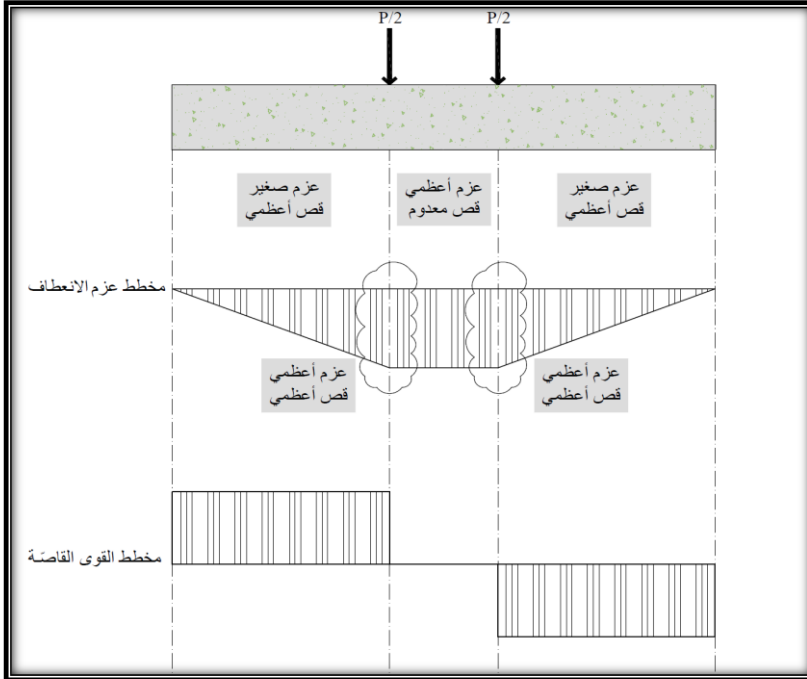
من المرجح أن التدعيم حول محيط الجائز لم يكن له أثر التطويق الكامل للجائز من الجوانب كلها بما فيها الجهة السفلية، بل تطويقاً جزئياً مما أدى إلى زيادة قيمة السهم في حالة روابط القص 6 mm أكثر من حالة التدعيم على الوجهين الجانبيين لنفس النمط، وعكس ذلك قد حصل في حالة استخدام البراغي الجاهزة حرف L إذ زاد التدعيم على الوجهين الجانبيين في هذه الحالة من قيمة السهم، ويبدو أن السبب وراء ذلك هو أن البراغي في حالة التدعيم حول محيط الجائز قد ثبتت الشبك في مكانه بفعالية أكبر من روابط القص 6 mm، والتي من الممكن أنها مع زيادة الحمولة قد حصل لها خضوع وأضعفت من الترابط بين طبقة الفيروسمنت وبيتون الجائز الأصلي.

7-4 مناقشة النتائج ومقارنتها مع نتائج أبحاث أخرى:

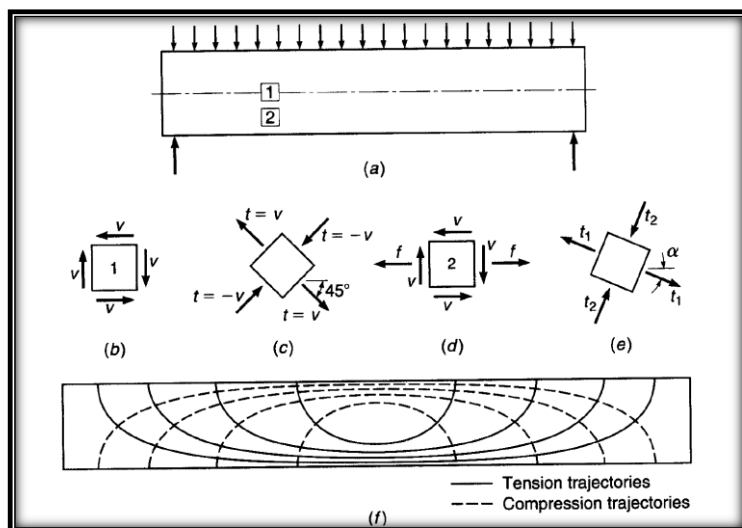
يبين كل من الشكلين (19) و (20) شكل مخطط عزم الانعطاف والقوى القاصة للجوائز المُختبرة، ومرتسمات الإجهادات الرئيسية الشادة والضاغطة على الترتيب، وسيتم مناقشة نتائج التجارب في ضوء هذه المخططات.

جميع الجوائز المُختبرة ظهرت فيها شقوق في منطقة وسط المجاز في المراحل الأولى للتحميل وهذا يوافق المنطقة التي فيها عزم أعظمي وقص معدوم، تتميز هذه الشقوق بسعتها القليلة، وتتوقف عن الاتساع والانتشار حالما تبدأ الشقوق في مناطق القص بالظهور وبسبب وجود التسليح الطولي الكافي [8].

في المناطق التي يكون فيها العزم أعظميةً والقص أعظميةً، يبدأ تشكل الشقوق على شكل شقوق انعطاف ثم عندما يصل إجهاد الشد القطري في نهاية أحد هذه الشقوق إلى الإجهاد المسموح تحمله للبيتون على الشد تتحول هذه الشقوق إلى شقوق قطرية، وهذه الشقوق القطرية حالما تتشكل تنتشر وتتسع بشكل متسارع لتصل حدود منطقة الضغط وينهار الجائز انهياراً مفاجئاً وقصيفاً [9].



الشكل (19) شكل مخططات العزم والقص للجوائز المُختبرة



الشكل (20) مرئسمات الإجهادات الرئيسية الشادة والضاغطة [8]

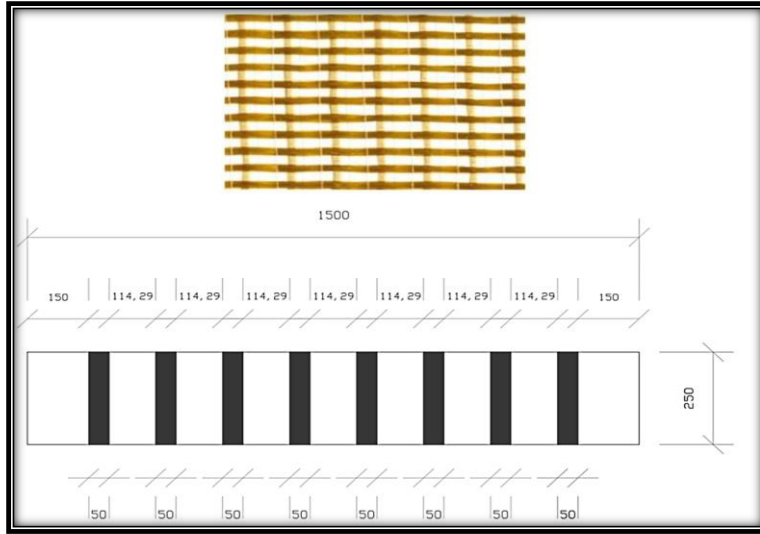
إن وجود الشبك المعدني المكون من فتحات مربعة من الأسلاك، يتقاطع مع العديد من مرئسمات الإجهادات الموضحة في الشكل (20) بعدد أكبر من النقاط، مما يساهم في تأخير هذه الشقوق من خلال رفعه لمقاومة الجائز وتوزيعه للإجهادات على مساحة الشبك. كما أنه قد تظهر الشقوق القطرية في بيتون الجائز الأصلي على شكل شقوق شاقولية على طبقة الفيروسمنت الخارجية بسبب أن بعض الأسلاك قد يكون حدث فيها انفصال بنقاط اللحام التي تجمعها بسبب ظروف التنفيذ أو نقل المواد.

تكون فعالية التطويق حول محيط الجائز أعلى من الوجهين الجانبيين في هذه الحالة، حيث أنه يمكننا تشبيه الشريحة هنا بالأسورة التي نسلح فيها الجائز على القص، وبالتالي كل ما زاد الطول الفعال لهذه الشريحة كانت مقاومتها للإجهادات أعلى، ففي حالة التدعيم على الوجهين الجانبيين يكون الطول الفعال للأسورة هو الطول المحصور بين روابط القص المثبتة بها على جسد الجائز الأصلي وهو ما يشكل بحدود 52% من

ارتفاع الجائز، في حين أنه عند التدعيم حول محيط الجائز فإن الأسورة يكون طولها الفعال هو كامل ارتفاع المقطع العرضي، وبالتالي فعاليتها أكبر في هذه الحالة. وعليه فإن حمولة التشقق والانهييار للجوائز المدعمة بشرائح شاقولية حول المحيط أكبر منها لحالة التدعيم على الوجهين الجانبيين.

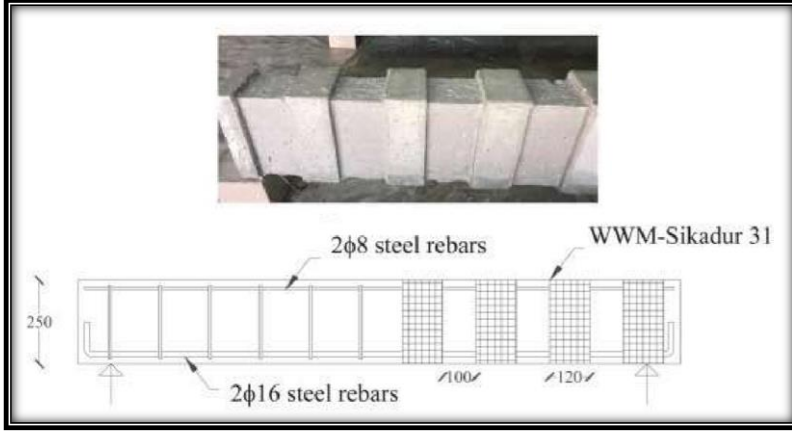
والفرق بين روابط القص 6mm والبراغي الجاهزة في النتائج هو أن طول عكفة الروابط أكبر من تلك الموجودة في البراغي الجاهزة، وبالتالي تساهم في زيادة الطول الفعال للشريحة وبالتالي نتائج أفضل.

تم أيضاً إجراء مقارنة بين الطريقة المقترحة للتدعيم في هذا البحث مع طرق مشابهة في أبحاث أخرى، إذ قام الباحثون (Murad et al. 2023) [10] بتشكيل الشبك من مادة (بولي بارافينيلين بنزويوكسازول) والمبين في الشكل (21)، على شكل شرائح شاقولية على الوجهين الجانبيين بعرض 5 cm وتباعداً مابين أيضاً في الشكل (21) أيضاً، وبحثوا في فعالية هذا الاقتراح لزيادة مقاومة الجوائز على القص، واستنتجوا أن الطريقة المقترحة قد زادت من حمولة الانهييار بحوالي 23% بالمقارنة مع الجوائز المرجعية، علماً أن نمط ترابط الشرائح مع الجائز الأصلي تم من خلال رابط اسمنتي خاص دون وجود أي روابط قص أو حتى براغي، وبالمقارنة مع بحثنا نجد أن الطريقة المقترحة في بحثنا قد زادت من حمولة الانهييار في أقل الحالات بمقدار 35% بالمقارنة مع الجوائز المرجعية.



الشكل (21) شكل الشبك المستخدم وتوزيع الشرائح [10]

كما قام الباحث (Abadel, 2021) [11] بتشكيل شبك معدني قطر أسلاكه 4 mm وفتحته مربعة الشكل (40*40 mm) على شكل شرائح شاقولية على الوجهين الجانبين كما يبين الشكل (22)، عرض الشرائح 10 cm والتباعد بينها 12 cm، وقام باعتماد مادة إيبوكسية خاصة كنمط ترابط دون وجود روابط قص أو براغي أيضاً، واستنتج الباحث أن الطريقة المعتمدة زادت من حمولة الانهيار بحوالي 24%، وهي قريبة من الدراسة السابقة، وتبقى الطريقة المقترحة في بحثنا تعطي نتائج أفضل من الدراسات السابقة. والاختلاف يعود للعديد من العوامل منها نوع الشبك وقطر أسلاكه ونمط الترابط.



الشكل (22) أبعاد الشرائح وتوزعها [11]

5- الاستنتاجات والتوصيات:

5-1 الاستنتاجات:

- حققت جميع الجوائز المدعمة انهياراً مثالياً على القصّ دون انفصال لطبقة الفيروسمنت، مع عدد شقوق أقل في حالة التدعيم على الوجهين الجانبيين بالمقارنة مع التدعيم حول المحيط.
- أثبت التدعيم حول المحيط مع روابط قص 6 mm كفاءةً عاليةً بتأخير حمولة التشقق؛ إذ زاد من قيمتها الوسطية بحدود (93%) مقارنةً مع الجوائز المرجعية، وبحدود (38%) مقارنةً بالجوائز المدعمة على الوجهين الجانبيين بنفس النمط.
- زاد التدعيم حول المحيط مع روابط قص 6 mm من وسطي حمولة الانهيار بحدود (86%) مقارنةً بالجوائز المرجعية، وبحدود (35%) مقارنةً بالتدعيم على الوجهين الجانبيين لنفس نمط الترابط.

- أثبتت روابط القص 6 mm فعاليتها في زيادة وسطي كل من حمولة التشقق وحمولة الانهيار مهما كانت منطقة التدعيم، وبلغت تلك الزيادة لحالة التدعيم حول المحيط بحدود (23% و 41%) على الترتيب بالمقارنة مع الجوائز المرجعية.
- أبدت الجوائز المُدعّمة مع براغي جاهزة L سهوياً أقل من تلك المُدعّمة مع روابط قص 6 mm بغض النظر عن منطقة التدعيم.
- أسهمت الجوائز المُدعّمة على الوجهين الجانبيين بأعلى زيادة لوسطي عامل المطاوعة من أجل كلا نمطي الترابط، وبلغت تلك الزيادة بحدود (22%) لحالة روابط القص 6 mm بالمقارنة مع الجوائز المُدعّمة حول محيطها بنفس النمط.
- لم تسهم الجوائز المُدعّمة حول محيطها مهما كان نمط الترابط بأي زيادة لقيمة وسطي عامل المطاوعة.

2-5 التّوصيات:

- تجريب زوايا ميل مختلفة للشّرائح.
- تجريب تباعدات ومقاسات مختلفة للشّرائح.
- تجريب أنماط ترابط أخرى بين طبقة الفيروسمنت وبيتون الجائز الأصلي.

6- المراجع:

- [1] CHALIORIS, C and KYTINOOU, 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] EL-SAYED, T and ERFAN, A, 2018- Improving shear strength of beams using ferrocement composite, Construction and Building Materials. Vol. 172. 608-617.
- [4] TOMAR, A, 2006- Retrofitting of Shear Deficient RC Beams Using Ferrocement Laminates, deemed university Patiala. Vol. 14. 70-104.
- [5] GHAI, R and BANSAL, P and KUMAR, M- Strengthening of RCC beams in shear by using SBR polymer-modified ferrocement jacketing technique, Advances in Civil Engineering. Vol. 2018. 1-6.
- [6] LAMANNA, A.J, BANK, L.C and SCOTT, D.W, 2001 - Flexural strengthening of rehabilitation concrete beams using fasteners and fiber-rehabilitation 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.
- [8] NILSON A, DARWIN D and DOLAN C, 2010- Design of Concrete Structures. Mc Graw Hill, 14th Edition, New York, 813p.
- [9] HASSOUN M and ALMANASSER A, 2015- Structural Concrete: Theory and Design. John Wiley & Sons, 6th Edition, New Jersey, 1069p.
- [10] MURAD Y, AL-MAHMOOD H and TARAWNEH A, 2023- Shear Strengthening of RC Beams Using Fabric-Reinforced Cementitious Matrix, Carbon Plates, and 3D-Printed Strips. Sustainability (Switzerland), 15(5).
- [11] ABADEL A, 2021- Experimental investigation for shear strengthening of reinforced self-compacting concrete beams using different strengthening schemes. Journal of Materials Research and Technology, 15, 1815–1829.