

# مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 46 . العدد 5

1445 هـ - 2024 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير	أ. د. محمود حديد
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

مدير مكتب مجلة جامعة البعث

د. إبراهيم عبد الرحمن

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرقي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

. موقع الإنترنت : [www.albaath-univ.edu.sy](http://www.albaath-univ.edu.sy)

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

**ISSN: 1022-467X**

## شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
  - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
  - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:  
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
  - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:  
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
  - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :  
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
  - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :  
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
  - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):  
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي ( كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
  - 2- هدف البحث
  - 3- مواد وطرق البحث
  - 4- النتائج ومناقشتها .
  - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
  - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات ( الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي ( كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
  - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
  - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
  - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
  - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:  
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة ( - ) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة ( ثانية . ثالثة ) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .  
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد ( كتابية مختزلة ) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.  
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News ,  
Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و  
التقيد

بالبنود ( أ و ب ) ويكتب في نهاية المراجع العربية: ( المراجع In Arabic )

## رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (40000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (100000) ل.س مئة الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (6000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

## المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
32-11	م. مريم الابراهيم د. سليمان العامودي	تأثير تغير التخماد مع تسارع الإستجابة على التحليل الزلزالي لإطار من البيتون المسلح
68-33	م. محمد الدروبي د. منيب العلاف	تدعيم الجوائز البيتونية المسّحة على القصّ بشرايح شاقولية من الفيروسمنت
120-69	م. لجين الحلواني د. تراث غريب	دراسة تحليلية لمقارنة سلوك العقد البيتونية المدعمة بال FRP مع العقد البيتونية المدعمة بالفيروسيمنت
154-121	م. محمد الدروبي د. منيب العلاف	دراسة سلوك الجوائز البيتونية المسّحة الضعيفة على القصّ والمدّعمة بالفيروسمنت





## تأثير تغير التخماد مع تسارع الإستجابة على التحليل الزلزالي لإطار من البيتون المسلح

إعداد: م. مريم الابراهيم

إشراف : د.م سليمان العامودي

جامعة البعث - كلية الهندسة المدنية

### ملخص :

إنَّ أغلب الطرق الشائعة في التحليل والتصميم الزلزالي تدخل تأثير التخماد من خلال نسبة ثابتة تختلف حسب مادة الإنشاء (مثلاً للبيتون المسلح 5% ) . أثبتت المعطيات التجريبية والحقلية أن القيم الفعلية للتخماد مختلفة حتماً عن القيم التصميمية ومرتبطة بسعة الاستجابة للمنشآت تحت تأثير الحمولات الزلزالية وبالأخص عند شدات زلزالية صغيرة نسبياً ، وبالتالي لا بدّ من البحث في أسلوب ما لإدخال قيم أكثر دقة للتخماد في التحليل والتصميم الزلزالي . يهدف هذا البحث إلى إدخال تأثير التخماد المتغير والمرتبط بتسارع الاستجابة للنقطة المادية على التحليل الزلزالي لإطار من البيتون المسلح مؤلف من ثلاثة طوابق وفتحتين تم تعريضه مخبرياً لحركة أرضية زلزالية عبر طاولة اهتزاز . تم تحليل الإطار السابق باستخدام طريقة التحليل الخطي بالسجل الزمني وطريقة طيف الاستجابة المرن ، مرة بإدخال تأثير التخماد كنسبة ثابتة ومرة بإدخال التخماد كتابع لتسارع الإستجابة . أظهرت نتائج التحليل عند إدخال التخماد المتغير تقارب أكبر مع النتائج التجريبية مقارنة مع نتائج التحليل بإدخال نسبة تخامد ثابتة 5% .

كلمات مفتاحية : تخامد متغير- تحليل- الإطارات البيتونية المسلحة

# The Effect of the Variable Damping Associated with the Response Acceleration on the Seismic Analysis of RC Frame

Preparation : Maryam AL-ibraheem

Supervision : Dr.Eng Soleman Alamoudi

University of Al-Baath - Faculty of Civil Engineering

## Abstract:

Most of the common methods in seismic analysis and design insert the damping effect through a constant ratio that varies according to the construction material .

Experimental and field data proved that the actual damping values are inevitably different from their designated values and are related to the response amplitude of the structures under seismic loads , especially at relatively small excitations. Therefore , it is necessary to search for a method to insert more accurate values of damping into the seismic analysis and design .

The main purpose of this study is to insert the effect of the variable damping associated with the response acceleration of physical point,

on the seismic analysis of a reinforced concrete frame (3 stories-2 bays) that was subjected in the laboratory to seismic ground movement using a shaking table .

The previous frame was analyzed using the Modal Linear Time History analysis method and the Elastic Response Spectrum method, once by entering the damping effect as a fixed ratio and once by entering the damping as a function of the response acceleration.

The results of the analysis by using variable damping showed greater convergence with the experimental results compared to the results of the analysis when using a fixed damping ratio of 5%.

Key words : Variable Damping – Analysis – Reinforced Concrete Frames

**[1] مقدمة:**

تؤثر الخصائص الديناميكية مثل التردد الطبيعي ونسبة التخميد بشكل كبير على السلوك الديناميكي للمنشآت البيتونية المسلحة ، وقد أثبتت المعطيات الحقلية والتجريبية ارتباط هذه الخصائص بسعة الاستجابة للمنشآت تحت تأثير الأحمال الزلزالية [2] .

وبالتالي تختلف الخصائص الديناميكية الفعلية حتماً عن قيمها التصميمية ولذلك عند إجراء التحليل الديناميكي لا بدّ من أخذ الخصائص الديناميكية الدقيقة قدر الإمكان .

درس العديد من الباحثين ارتباط الخصائص الديناميكية بسعات الاستجابة حيث بين البحث

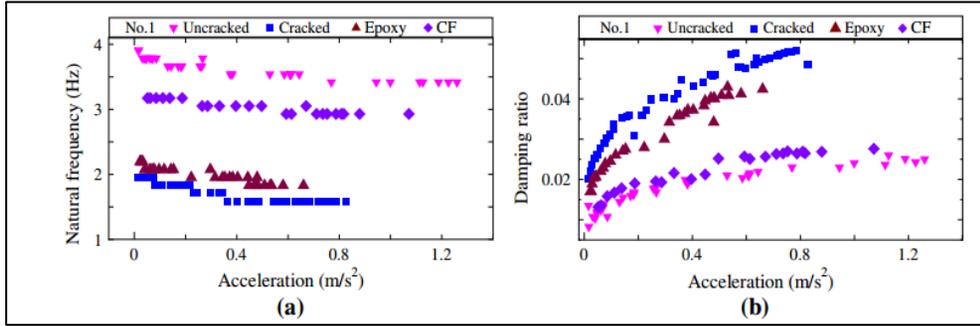
[1] اعتماد الخصائص الديناميكية على سعة استجابة نموذج ركيزة جسر للاهتزازات الحرة خلال مراحل مختلفة من عمل النموذج (المرحلة المرنة - تشكل الشقوق - اصلاح العينات بعد الضرر) .

يهدف الوصول الى المرحلة اللدنة وتشكيل الضرر في النماذج المختبرة تم تعريض النموذج حتى الانهيار الى سجل زلزالي موافق لزلزال كوشيرو (اليابان 1994) بلغ تسارعه الأرضي الأعظمي  $PGA=0.7g$  مع زيادة تدريجية بالشدة من 10% حتى 160% من التسارع الأرضي الأعظمي للزلزال الفعلي .

تم إجراء تجارب الاهتزاز الحر قبل تطبيق السجل الزلزالي وبعده بهدف التحقق من تغير الخصائص الديناميكية أثناء تطور الضرر ثم مقارنة العلاقة بين الخصائص الديناميكية وشدة الاستجابة .

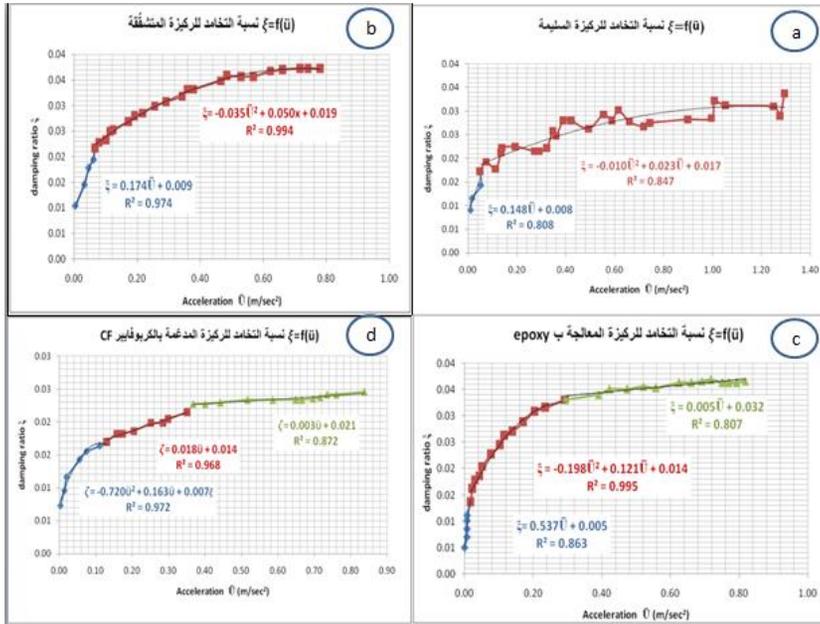
العينات المتضررة بعد التحميل الزلزالي تم إصلاحها بطريقتين الأولى عن طريق حقن وإملاء الشقوق بالإيبوكسي والثانية من خلال التطويق باستخدام شرائح ألياف الكربون ثم إعادة تعريضها للحركة الزلزالية والاهتزاز الحر بهدف بحث تغير الخصائص الديناميكية مع شدة الاستجابة بعد الإصلاح .

يبين الشكل 1 التغيرات في نسب التخماد والتردد الطبيعي مع زيادة تسارع الاستجابة الأعظمي الناتج عن الاهتزاز الحر للعينات المختبرة حيث بينت النتائج زيادة ملحوظة في نسبة التخماد مع زيادة التسارع بينما تنخفض قليلا قيم التردد الطبيعي .



الشكل 1 : تغيرات قيم التردد الطبيعي (a) ونسبة التخماد (b) مع تسارع الاستجابة الأعظمي الناتج عن الاهتزاز الحر للنموذج المختبر في الدراسة المرجعية [1] .

ركزت الدراسة [4] على معالجة النتائج التجريبية للبحث [1] بهدف الحصول على علاقات تربط بين الخصائص الديناميكية (التردد الطبيعي ونسبة التخماد) مع تسارع الاستجابة الأعظمي الناتج عن تجربة الاهتزاز الحر وذلك خلال مراحل عمل النموذج (العينة سليمة ، العينة متشققة ، عينة تم إصلاحها عن طريق الحقن بالإيبوكسي ، عينة تم إصلاحها باستخدام شرائح ألياف الكربون ) وتوضح الأشكال التالية العلاقات المقترحة لكل حالة من الحالات المدروسة :



الشكل 2: العلاقات المقترحة لربط نسبة التخماد مع تسارع الاستجابة للعينات السليمة (a) ، العينات المتشققة (b) ، العينات بعد إصلاحها بالايوكسي (c) ، العينات بعد إصلاحها بألياف الكربون (d) في الدراسة المرجعية [3] .

## [2] نموذج الاطار المدروس :

تم في هذا البحث تحليل نموذج إطار مجرب مخبرياً على طاولة الاهتزاز في البحث المرجعي [3] .

الإطار لمدروس هو عبارة عن اطار مستوي من البيتون المسلح مؤلف من فتحتين وثلاثة طوابق ((ارتفاع الطوابق 3.5m والمجازات 5m ) ، تم تصغير الإطار السابق بمقياس 1/3.33 للحصول على نموذج مخبري يتناسب مع قدرة طاولة الاهتزاز المتوفرة ويظهر الشكل 2-1 الأبعاد الهندسية للنموذج المخبري.

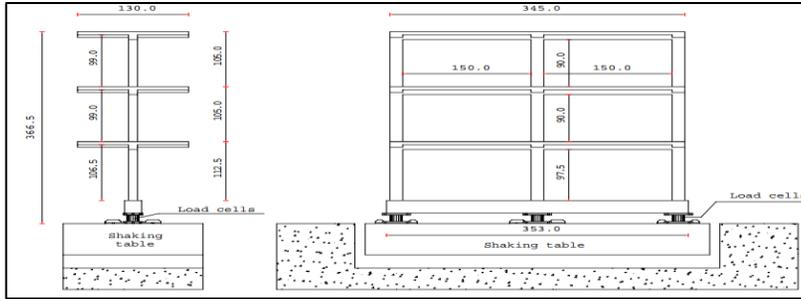
مقاطع الأعمدة كانت ( الارتفاع 150 mm والعرض 105 mm ) ومسلحة بتسليح طولي (3+3) قطر 4mm وتسليح عرضي قطر 4mm بتباعدات 50mm .

مقاطع كافة الجوائز كانت بشكل Tee أبعادها (90+60) ارتفاع، و (50+105+50) عرض.

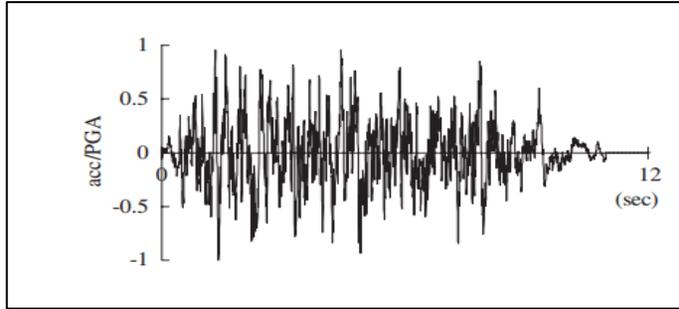
تسليح الجوائز بمنطقة العقد كان (7Top+5Bottom) بقطر 4mm كتسليح طولي ، بينما التسليح العرضي فكان بقطر 4mm وتباعدات 50mm .

صمم الإطار وفق الكود الأوربي Ec8 مع الأخذ بعين الاعتبار تصنيف الاطارات منخفضة المطاوعة والتي تبدي آلية انهيار عمود ضعيف-جائز قوي .

تم تعريض النموذج الى سجل زلزالي متوافق مع طيف الاستجابة الخاص بالكود الأوربي مع تغيير نسبة الشدة الزلزالية بشكل تدريجي حتى الانهيار ( 0.07g ، 0.14g ، 0.19g ، 0.28g ) حيث انهار النموذج عند شدة 0.28g .

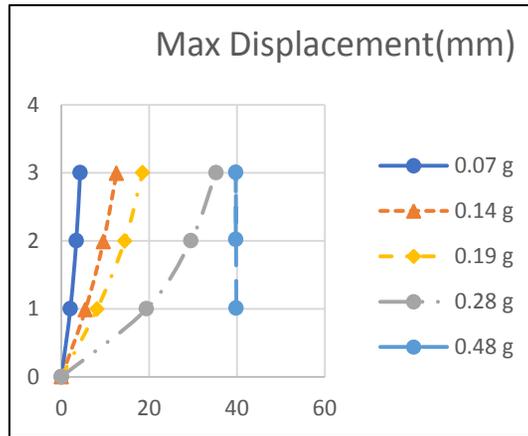


الشكل 3 : الأبعاد الهندسية للإطار المختبر في الدراسة المرجعية [3] .

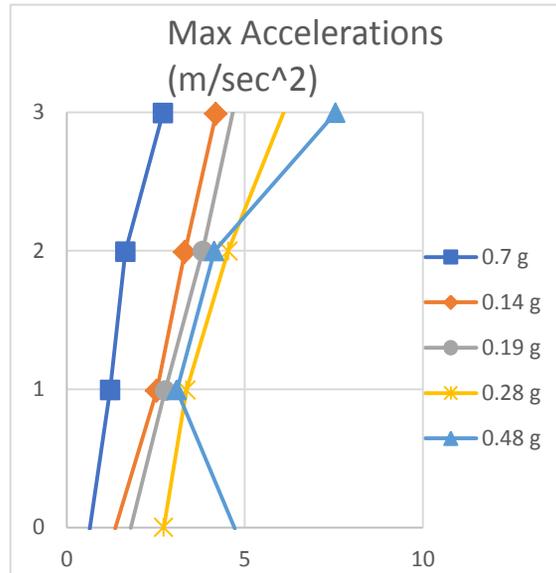


الشكل 4 : سجل الحركة لطاولة الاهتزاز في الدراسة المرجعية [3] .

تبين الأشكال التالية قيم الانتقالات والتمسارعات الاعظمية في كل سوية طابقية تحت تأثير الشدات الزلزالية المختلفة :



الشكل 5 : الانتقالات الأعظمية في كل سوية طابقية للإطار المختبر في الدراسة المرجعية [3] .



الشكل 6 : التسارعات الأعظمية في كل سوية طابقية للإطار المختبر في الدراسة المرجعية [3] .

### 3 - تحليل الاطار المدروس باستخدام طريقة السجل الزمني الخطي النمطي Linear

#### :Modal Time History

يهدف هذا الفصل إلى تحليل الاطار المدروس باستخدام طريقة السجل الزمني الخطي النمطي مع إدخال تأثير التخماد كتابع لتسارع الاستجابة للنقطة المادية عن طريق العلاقات التي تم الحصول عليها في الدراسة المرجعية [4].

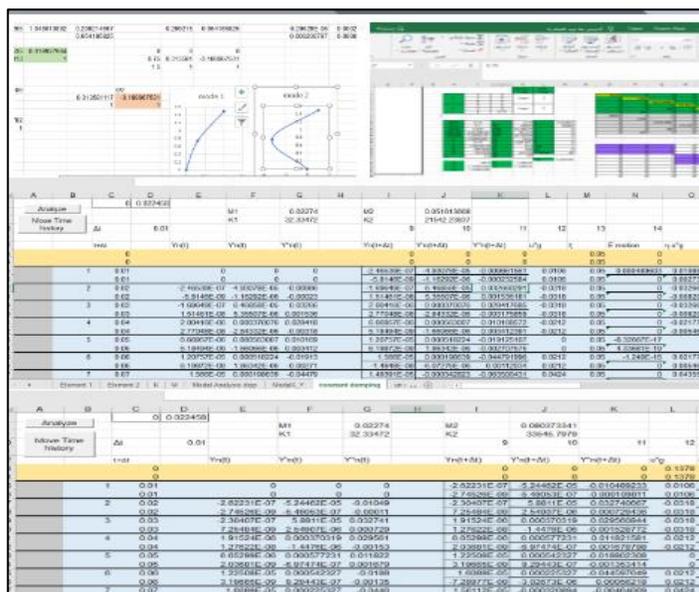
تتيح برامج التحليل والتصميم المتوفرة مثل برنامج ETABS إمكانية إجراء التحليل الخطي النمطي بالسجل الزمني مع إدخال تأثير التخماد بأحد الأشكال التالية :

1- إدخال التخماد كنسبة ثابتة حيث تؤخذ هذه النسبة 5% عند تحليل منشآت البيتون المسلح .

2- ربط نسبة التخماد بدور الاهتزاز (تردد الاهتزاز) لكل نمط ، بحيث يمكن إدخال قيمة ثابتة لنسبة التخماد خاصة بكل نمط اهتزاز .

3- إدخال التخماد من خلال تخامد ريلي حيث يتم التعبير عن مصفوفة التخماد كمصفوفة مكافئة لمصفوفتي الكتل والصلابة .

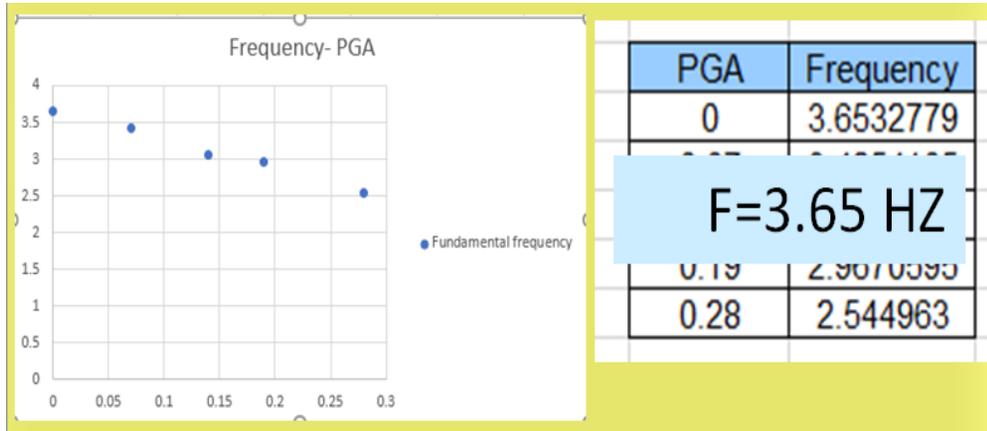
إن الطرق السابقة لا تتيح إمكانية إدخال التخماد كتابع لتسارع الاستجابة كما تم توصيفها بالعلاقات المذكورة سابقاً وبالتالي لتحقيق الهدف تم تصميم برنامج في بيئة VBA Excel لتحليل الإطار المدروس مرة بإدخال نسبة ثابتة للتخماد ومرة بإدخال نسبة تخامد متغيرة ومرتبطة بتسارع الاستجابة ويوضح الشكل 7 واجهة البرنامج المذكور .



الشكل 7: واجهة البرنامج المقترح لإجراء تحليل Linear Modal Time History.

تم تحليل الإطار المدروس باستخدام برنامج ETABS باعتماد طريقة Linear Modal Time History Analysis مع إدخال نسبة ثابتة للتخماد وهي 5% .

بعد نمذجة الإطار كانت قيمة دور الاهتزاز الأول Sec 0.273 وقيمة التردد  $F=3.65\text{HZ}$  وهي مطابقة لقيمة التردد المشار إليه في التجربة.



الشكل 8 : قيم الترددات المحسوبة للإطار المدروس عند كل شدة زلزالية

أيضاً تم إعادة تحليل الإطار المدروس باستخدام البرنامج المقترح مرة باعتماد نسبة ثابتة للتخماد 5% ومرة بإدخال تأثير التخماد كتابع لتسارع الاستجابة .

يبين الجدول التالي قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام الطرق المذكورة سابقاً ومقارنتها مع القيم التجريبية .

الجدول 1: قيم الانتقالات التحليلية ونسبتها من القيم التجريبية (mm)

story	Exp	FNA 5% (ETABS)		Program 5%		Program Variable Damping		Var/5%
	$u_{Exp}$	$u$	$u/u_{Exp}$	$u$	$u/u_{Exp}$	$u$	$u/u_{Exp}$	
1st	2.3	1.507	0.655	1.517	0.659	1.771	0.769	1.167
2nd	3.706	3.104	0.837	3.12	0.841	3.664	0.988	1.174
3rd	4.728	4.065	0.859	4.085	0.863	4.812	1.017	1.177

Exp : قيم الانتقالات التجريبية.

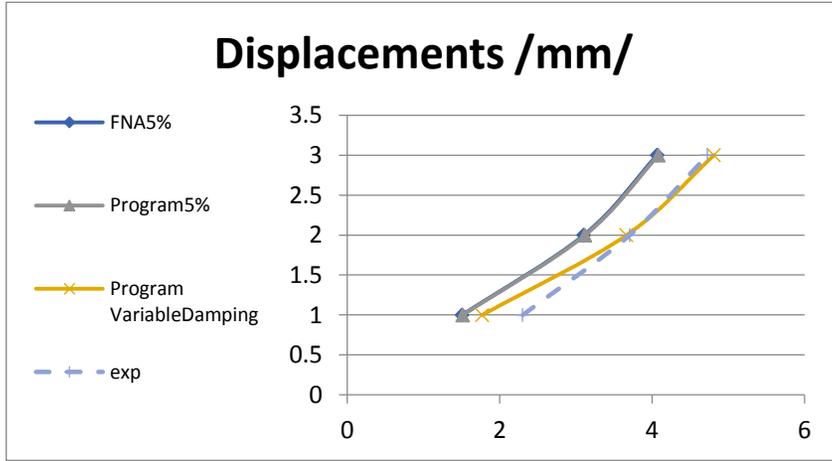
FNA 5% (ETABS): قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام برنامج الايتابس مع ادخال نسبة ثابتة للتخامد .

Program 5% : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام البرنامج المقترح مع ادخال نسبة ثابتة للتخامد.

Program Variable Damping : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام البرنامج المقترح مع ادخال نسبة التخامد كتابع لتسارع الاستجابة.

Var/5% : نسبة الانتقالات التحليلية الناتجة عن ادخال التخامد المتغير الى نسبة الانتقالات التحليلية الناتجة عن ادخال نسبة التخامد الثابتة.

بينت نتائج تحليل الإطار عند الشدة الزلزالية  $0.07g$  مع إدخال نسبة تخامد متغيرة مرتبطة بتسارع الاستجابة زيادة في الانتقالات الأعظمية بكل طابق عن النتائج مع إدخال نسبة تخامد ثابت وهي 5% حيث وصلت نسبة الزيادة حتى 17.79% ، وقد كانت قيم الانتقالات الأعظمية في كل سوية طابقية بإدخال نسبة تخامد متغيرة أقرب الى النتائج التجريبية من التحليل باعتماد نسبة تخامد ثابتة حيث وصلت نسبة الانتقالات التحليلية بإدخال نسبة التخامد المتغيرة إلى الانتقالات التجريبية حتى 101% مقارنة مع نسبة التخامد الثابتة حيث كانت النسبة 86.39% في الطابق الثالث.



الشكل 9 : مقارنة الانتقالات التحليلية في كل سوية طابقية مع الانتقالات التجريبية

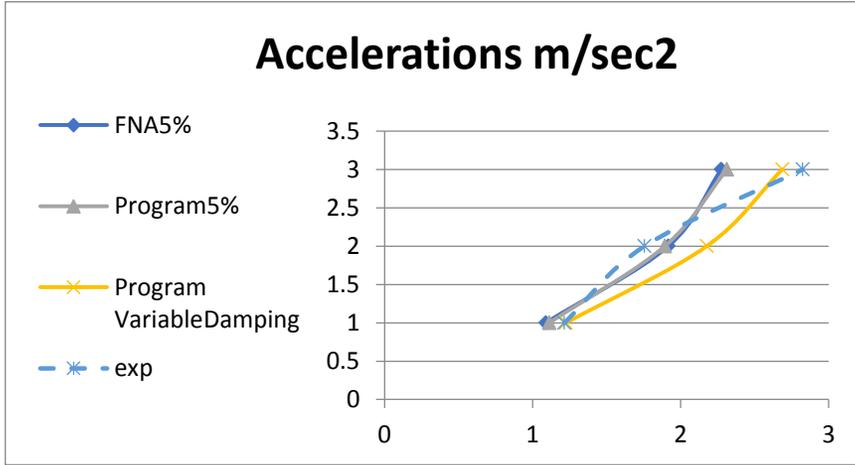
من خلال أساليب التحليل السابقة تم الحصول على قيم التسارعات الأعظمية في كل طابق ومقارنتها مع التسارعات الأعظمية التجريبية ، ويبين الجدول مقارنة بين قيم التسارعات التجريبية والتحليلية :

الجدول 2 : مقارنة قيم التسارعات الأعظمية التحليلية مع التجريبية (  $m/sec^2$  )

story	exp	FNA5%		Program5%		Program Variable Damping		var/5%
	$u''_{Exp}$	$u''$	$u''/u''_{Exp}$	$u''$	$u''/u''_{Exp}$	$u''$	$u''/u''_{Exp}$	
1st	1.215	1.089	0.89	1.113	0.916	1.226	1.00	1.101
2nd	1.757	1.917	1.09	1.894	1.077	2.177	1.239	1.149
3rd	2.823	2.275	0.805	2.313	0.819	2.686	0.951	1.161

Exp : قيم التسارعات التجريبية .  
 FNA 5% (ETABS) : قيم التسارعات الناتجة عن التحليل باستخدام برنامج الايتابس مع ادخال نسبة ثابتة للتخماد .  
 Program 5% : قيم التسارعات الناتجة عن التحليل باستخدام البرنامج المقترح مع ادخال نسبة ثابتة للتخماد .  
 Program Variable Damping : قيم التسارعات الناتجة عن التحليل باستخدام البرنامج المقترح مع ادخال نسبة التخماد كتابع لتسارع الاستجابة .  
 Var/5% : نسبة التسارعات التحليلية الناتجة عن ادخال التخماد المتغير الى نسبة الانتقالات التحليلية الناتجة عن ادخال نسبة التخماد الثابتة .

من خلال الجدول السابق نلاحظ أن التحليل بإدخال نسبة تخامد متغيرة متعلقة بتسارع الاستجابة أعطى تقارب بقيمة التسارع الأعظمي في الطابق الأخير بنسبة 95.1% من التسارع التجريبي.



الشكل 10: مقارنة التسارعات الأعظمية التحليلية مع التسارعات الأعظمية التجريبية

#### 4- تحليل الاطار المدروس باستخدام طريقة طيف الاستجابة Response Spectrum Analysis :

كما ذكرنا سابقاً فإن إمكانية إدخال تأثير التخماد بوصفه تابعاً لتسارع الاستجابة هو أمر غير ممكن ضمن برامج التحليل والتصميم الإنشائي المتوفرة مثل برنامج ETABS ، ومن هنا كان التفكير بإدخال هذا الأثر من خلال استنتاج طيف استجابة مرن بالاعتماد على التخماد المتغير كبديل عن طيف الاستجابة الذي يتم الحصول عليه عند نسبة ثابتة للتخماد وهي عادة 5% ، ثم الاستفادة من هذا الطيف بإجراء تحليل طيف الاستجابة بالاعتماد على برنامج ETABS ومقارنة نتائج التحليل بهذا الأسلوب مع النتائج التجريبية ومع نتائج التحليل باعتماد طيف الاستجابة عند نسبة تخامد 5% .

### خطوات الحصول على طيف الاستجابة المرن لسجل حركة زلزالية ما:

يعرف طيف الاستجابة بأنه عبارة عن منحنى يمثل القيم الأعظمية للتسارع ، الانتقال ، أو السرعة للأنظمة وحيدة درجة الحرية SDOF ذات أذوار اهتزاز مختلفة عندما تتعرض لحركة زلزالية ما .

يمكن الحصول على طيف الاستجابة المرن لحركة زلزالية ما وفق الخطوات التالية :

1-نختار مجموعة من القيم المختلفة لدور الاهتزاز الطبيعي T حيث عادة تتراوح قيم الأذوار (0.015sec-5sec) .

2- من أجل قيمة معينة لنسبة التخماد ومن أجل القيم التي تم اختيارها لدور الاهتزاز يتم استخدام أحد الطرق العددية لحل معادلة الحركة (معادلة الحركة لنظام SDOF متخامد خاضع لتسارع زلزالي ) والتي يمكن وصفها بالمعادلة التالية :

$$u_t'' + 2. \xi . W_n . u_t' + W_n^2 u_t = -u_g''$$

3-من خلال حل معادلة الحركة نحصل على القيم الأعظمية للانتقال  $S_d$  ( الانتقال الطيفي ) والذي يعبر عن تشوه النظام تحت تأثير الحركة الزلزالية .

4- يتم حساب كل من السرعة والتسارع الزائف وفق المعادلات التالية :

- السرعة الزائفة Pseudo-Velocity وتمثل القيمة الأعظمية للطاقة التشوهية المختزنة في النظام أثناء حدوث الزلزال :

$$S_v = W_n . S_d$$

- التسارع الزائف Pseudo-Acceleration ويمثل القيمة الأعظمية لقوة القصد القاعدي (القيمة الأعظمية للقوة الستاتيكية المكافئة) :

$$S_a = W_n^2 \cdot S_d$$

حيث  $W_n = \frac{2\pi}{T}$  (Rad/sec) التردد الدائري للنظام وحيد درجة الحرية .

5-نرسم العلاقة بين القيم السابقة ودور الاهتزاز للحصول على الأطياف المطلوبة ، وسوف نتعامل مع طيف استجابة التسارع لأنه المتاح إدخاله ضمن البرامج

بهدف الحصول على طيف الاستجابة مع ادخال التخماد المتغير نتبع نفس الخطوات السابقة ، مع فارق بالخطوة الثانية حيث نحل معادلة الحركة للحصول على الانتقال الطيفي بإدخال التخماد كنسبة تابعة لتسارع الاستجابة عن طريق برنامج تم تصميمه في بيئة *VBA Excel* لهذا الغرض حيث يمكن وصف معادلة الحركة بالشكل التالي :

$$u_t'' + 2 \cdot \xi(u_t'') \cdot W_n \cdot u_t' + W_n^2 u_t = -u_g''$$

حيث تم توصيف العلاقة بين نسبة التخماد وتسارع الإستجابة بالاعتماد على العلاقة المقترحة بالبحث [4] للعينات السليمة .

بالإعتماد على الخطوات السابقة تم الحصول على طيف الاستجابة للسجل الزلزالي المعتمد بالتجربة عند الشدة  $0.07g$  مرة بافتراض نسبة تخامد ثابتة ومرة بتوصيف نسبة التخماد كمتغير مع تسارع الاستجابة والشكل التالي يوضح أطياف الإستجابة المستنتجة بكلا الحالتين:

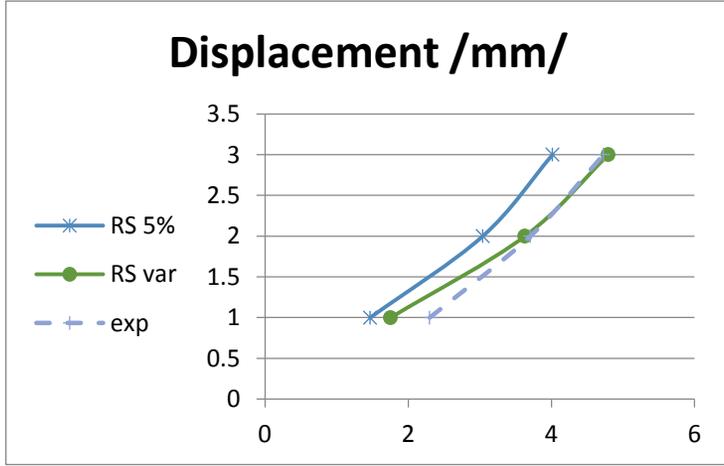


الجدول 3 : قيم الانتقالات الطابقية الناتجة عن تحليل طيف الإستجابة المرن للإطار  
المدرّوس ومارنتها مع القيم التجريبية (mm)

Story	exp	RS 5%		RS var		var/5%
	$u_{Exp}$	$u$	$u/u_{Exp}$	$u$	$u/u_{Exp}$	
1st	2.3	1.471	0.639	1.756	0.763	1.193
2nd	3.706	3.042	0.82	3.632	0.98	1.194
3rd	4.728	4.016	0.849	4.795	1.014	1.194

Exp : قيم الانتقالات التجريبية .  
RS 5% : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام طيف الاستجابة الناتج عن ادخال نسبة ثابتة للتخامد .  
RS var : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام طيف الاستجابة الناتج عن ادخال نسبة تخامد متغيرة .  
var/5% : نسبة الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام طيف التخامد المتغير الى الانتقالات الناتجة عن التحليل باعتماد نسبة ثابتة للتخامد .

من خلال الجدول السابق نلاحظ أن نسبة الانتقالات الطابقية في الطابق الأخير بلغت 84.9% من الانتقال التجريبي بحالة التحليل باستخدام طيف الاستجابة المستنتج عند نسبة تخامد 5% بينما كانت الانتقالات في الطابق الأخير متطابقة مع القيمة التجريبية في حال تم اعتماد الطيف المستنتج عند نسبة تخامد متغيرة ومتعلقة بتسارع الإستجابة .



الشكل 13 : مقارنة الانتقالات الناتجة عن تحليل طيف الاستجابة مع الانتقالات التجريبية

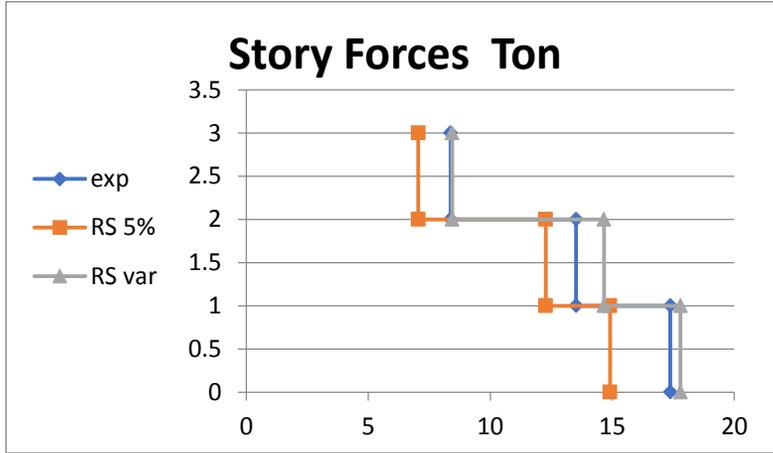
يبين الجدول التالي مقارنة قيم قوى القص الطائفي الناتجة عن التحليل باستخدام طيف الإستجابة وقوى القص التجريبية :

الجدول 4 : مقارنة قوى القص الطائفي التحليلية مع التجريبية (Ton)

story	Exp	RS 5%		RS var		var/5%
	$V_{Exp}$	$V$	$V/V_{Exp}$	$V$	$V/V_{Exp}$	
3rd	8.37	7.048	0.842	8.439	1.008	1.197
2nd	13.52	12.275	0.907	14.661	1.084	1.194
1st	17.38	14.907	0.857	17.797	1.024	1.193

Exp : قيم قوى القص التجريبية .  
 RS 5% : قيم قوى القص الناتجة عن التحليل باستخدام طيف الاستجابة الناتج عن ادخال نسبة ثابتة للتخماد .  
 RS var : قيم قوى القص الناتجة عن التحليل باستخدام طيف الاستجابة الناتج عن ادخال نسبة تخامد متغيرة .  
 var/5% : نسبة قوى القص الناتجة عن التحليل باستخدام طيف التخماد المتغير الى قوى القص الناتجة عن التحليل باعتماد نسبة ثابتة للتخماد .

نلاحظ من خلال الجدول السابق تطابق بقيم قوى القص الناتجة عن التحليل بإعتماد الطيف المتغير مع القيم التجريبية حيث كانت النسبة في الطابق الأرضي %102 بينما وصلت نسبة القوى من طيف التخامد الثابت الى %85.77 من القوى التجريبية .



الشكل 14 : مقارنة قوى القص الطابقي مع قوى القص التجريبية

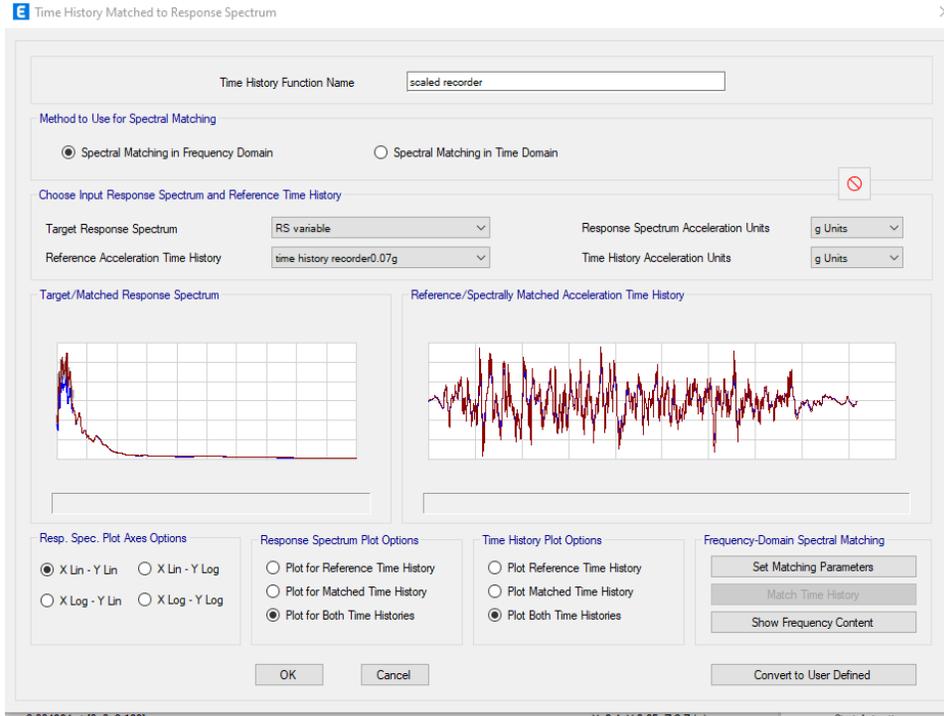
#### 5- تحليل الإطار المدروس باستخدام طريقة السجل الزمني النمطي بعد تقيسه

#### بطيف الإستجابة الناتج عن إدخال التخامد المتغير .

تم تحليل الإطار المدروس باستخدام برنامج ETABS باعتماد طريقة السجل الزمني النمطي الخطي Linear Modal Time History Analysis بعد تقيس السجل الزمني باستخدام طيف الإستجابة الناتج عن إدخال تأثير التخامد المتغير .

يوضح الشكل السجل الزمني للتجربة عند الشدة 0.07g بعد تقيسه باعتماد الطيف

المتغير :



الشكل 15 : السجل الزمني بعد تقييسه في برنامج ETABS

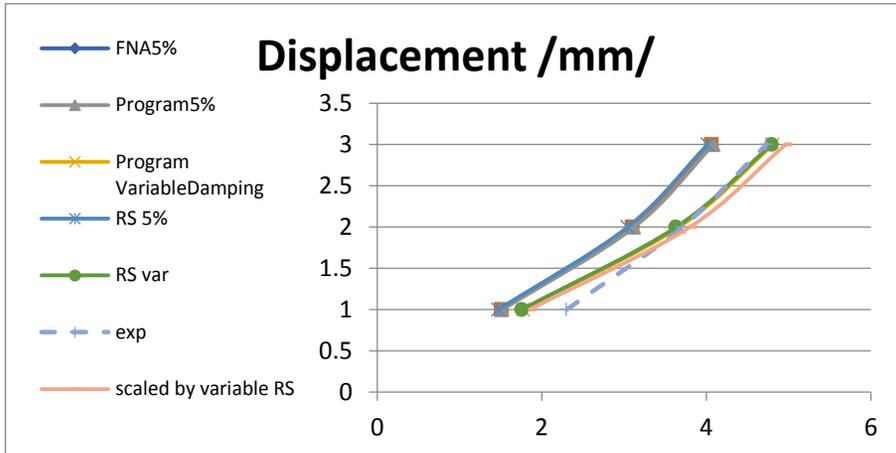
إن التحليل بالطريقة السابقة باعتماد برنامج ETABS أعطى نتائج مقارنة لقيم الانتقالات الناتجة عن التحليل بإدخال نسبة تخامد متغيرة متعلقة بتسارع الاستجابة في البرنامج المصمم وبالتالي قد يكون من الممكن الاعتماد على برنامج ETABS في التحليل بعد تقييس السجل الزمني بطيف الاستجابة المستنتج بإدخال تأثير التخماد المتغير .

الجدول 5 : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام برنامج ETABS بعد تقييس السجل بالاعتماد على الطيف المستنتج من التخامد المتغير (mm)

story	Exp	FNA5% (ETABS)		Program Variable Damping		scaled by variable Rs (ETABS)	
	$u_{Exp}$	$u$	$u/u_{Exp}$	$u$	$u/u_{Exp}$	$u$	$u/u_{Exp}$
1st	2.3	1.507	0.655	1.771	0.769	1.851	0.804
2nd	3.706	3.104	0.837	3.664	0.988	3.798	1.024
3rd	4.728	4.065	0.859	4.812	1.017	4.963	1.049

Exp : قيم الانتقالات التجريبية .  
FNA5% (ETABS) : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام برنامج اليتابس بعد تقييس السجل بطيف الاستجابة المستنتج عند نسبة تخامد ثابتة .  
Program Variable Damping : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام البرنامج المقترح مع ادخال تأثير التخامد المتغير .  
scaled by variable Rs ( ETABS) : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام برنامج اليتابس بعد تقييس السجل بطيف الاستجابة المستنتج عند نسبة التخامد المتغيرة .

يوضح الشكل 16 مقارنة بين الانتقالات التجريبية والانتقالات التحليلية الناتجة عن أساليب التحليل المختلفة المقترحة ضمن البحث ، حيث يظهر من خلال المقارنة تقارب في قيم الانتقالات الطابقية بين النتائج التجريبية ونتائج طرق التحليل التي أدخلت أثر التخامد كنسبة متغيرة متعلقة بتسارع الاستجابة مقارنة مع طرق التحليل التي اعتمدت على إدخال نسبة تخامد ثابتة وهي 5% .



الشكل 16 : مقارنة قيم الانتقالات الناتجة عن طرق التحليل المعتمدة في البحث مع القيم التجريبية

**[6] المراجع :**

[1] Al Sehnawi, R., Nakajima, A., Takeshima, R., & Al Sadeq, H. (2014). Experimental investigation of amplitude dependency of dynamic characteristics in elastic and inelastic stages of reinforced concrete pier model. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 4(4), 289–301.

[2] Chandler, A. M. (1997). *Dynamics of structures: theory and applications to earthquake engineering*: Anil K. Chopra Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ (1995) ISBN 0–13–855214–2 .

[3] Dolce, Mauro, et al. "Shaking table tests on reinforced concrete frames without and with passive control systems." *Earthquake engineering & structural dynamics* 34.14 (2005): 1687–1717 .

[4] م.ميس غصون 2020 . دراسة تحليلية لتأثير تغير ساعات الاهتزاز في الخصائص الديناميكية للجسور الببتونية المسلحة . رسالة دكتوراه . جامعة البعث .

## تدعيم الجوائز البيتونية المسلحة على القصّ بشرائح شاقولية من الفيروسمنت

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

### 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

<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

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 وبراغي 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 والانهيار 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 الانهيار

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

Eng. Mohammad AL–Droubi<sup>1</sup> Dr. Eng Muneeb AL–Allaf<sup>2</sup>

## 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

---

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

<sup>2</sup> 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- مقدمة:

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.

أُستخدم 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  $0^\circ$  و  $45^\circ$ ، وتحميل الجوائز بشكل مسبق إلى 60% و 75% و 90% من حمولة الانهيار، واعتماد طبقة واحدة من الشبك. استنتج الباحثون أنّ الزاوية  $45^\circ$  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 مسبقة 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:

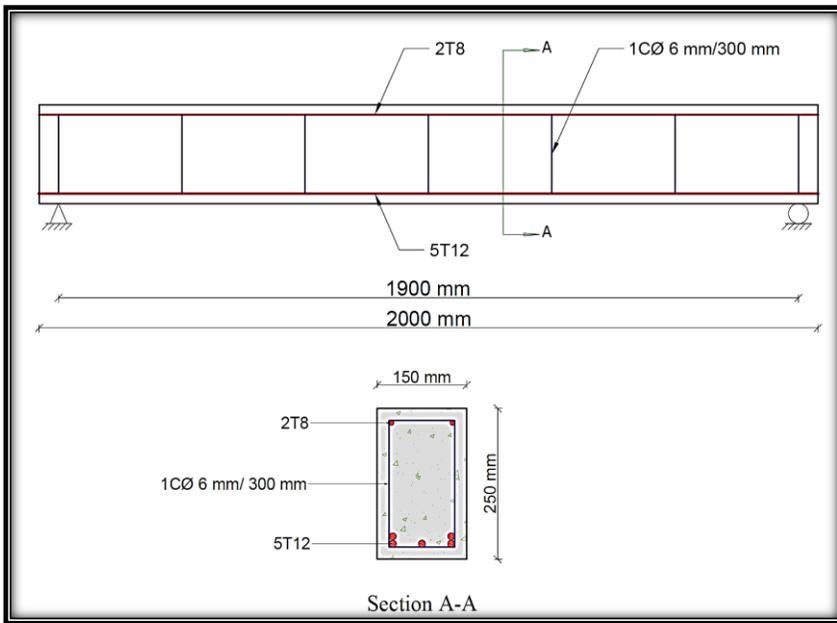
يهدف البحث إلى تحديد سلوك الجوائز البيتونية المسلحة الضعيفة على القص والمدعمة بشرائح شاقولية من الفيروسمنت، وتحديد منطقة التدعيم المثلى ونمط الترابط الأمثل بين طبقة الفيروسمنت وبيتون الجوائز الأصلية. وتأتي أهمية البحث من ناحية استخدامه لتقنية رخيصة الثمن، ويتم تنفيذها بواسطة ورشات خبرتها عادية، كما أن موادها متوافرة 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 طولياً وعرضياً للجوائز المدروسة يبين أبعادها وتسليحها، حيث أنّه تمّ إجراء التجارب على 11 جائزاً بيتونياً مسلحاً بأبعاد  $(150 \times 250 \times 2000)$  mm وبتسليح طولي سفلي 5T12mm وطولي علوي 2T8mm، وبتسليح عرضي أساور  $1\Phi 6$ mm/300mm.



الشكل (1) مقطع طولى 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  $400 \text{ Kg/m}^3$  ونسبة الماء للإسمنت  $W/C=0.5$ ، كما تم التأكد من قيمة الهبوط بإجراء تجربة مخروط أبرامز وكانت مساوية إلى  $70 \text{ mm}$  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	الزمل	الزمل المكسر	الزراة	البحص	الإسمنت	المادة
200	176	335	536	751	400	عيار المادة ( $\text{Kg/m}^3$ )
0.5	0.44	0.84	1.34	1.88	1	نسبة المادة إلى الإسمنت

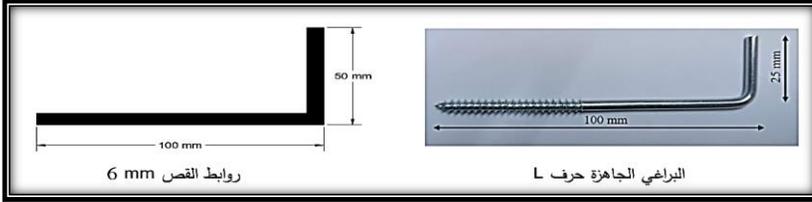
عند إجراء اختبار الضغط للعينات الأسطوانية التي تم أخذها بعد صبّ العينات على عمر 28 يوماً، وباستخدام جهاز كسر العينات الموجود في مخبر مواد البناء في كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث، كانت المقاومة المميزة الوسطية على الضغط والمُعتمدة في البحث:  $f'_c = 20 \text{ MPa}$

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.

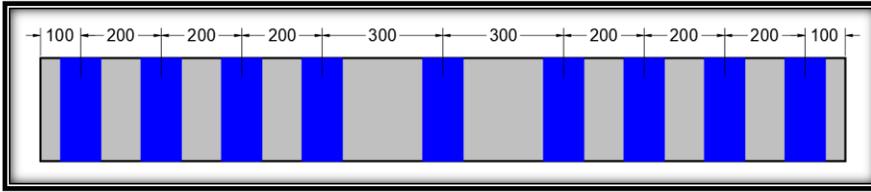
الشبّك الفولاذي المستخدم هو من النوع الملحوم (WWMS) ذي القطر 2.5 mm و فتحته مربعة الشكل أبعادها (25×25) mm، وتمّ إجراء تجارب الشدّ على ثلاث عينات من أسلاك الشبّك في مخبر موادّ البناء في كُليّة الهندسة المدنيّة في جامعة البعث، وكانت قيمة إجهاد الخضوع الوسطي للشبّك والمُعتمدة في هذا البحث هي:  $f_{y,m}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

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 الجائر قبل تطبيق الشبّك والمونة عليه لضمان التصاق كامل للطبقة الجديدة على بيتون الجائر القديم. كما تمّ استخدام مادّة مالينات البوليستر والمعروفة تجارياً بإسم دبق الرّخام من أجل حقنها ضمن الثّقوب الخاصّة بروابط القصّ لضمان التصاق الروابط مع الجائر 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  $(100 \times 50)$  mm، والنوع الثاني هو عبارة عن براغي جاهزة من السوق المحلية ذات منشأ بولندي على شكل حرف L بقطر 5 mm تقريباً وبأبعاد  $(100 \times 25)$  mm. يبين الشكل (3) أشكال وأبعاد روابط القص المستخدمة، كما يبين الشكل (4) كيفية توزع الشرائح علماً أنّ عرض الشريحة هو 10 cm.



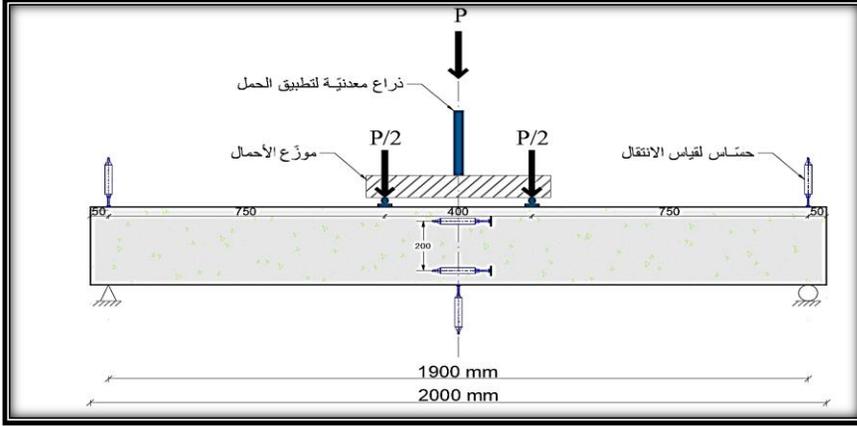
الشكل (3) أشكال وأبعاد روابط القص المستخدمة



الشكل (4) توزع الشرائح المستخدمة في البحث

### 3-3 مراحل العمل:

تمّ كسر الجوائز المرجعية في مخبر البيتون 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 ورش المادة الزابطة وتطبيق الطينة بحسب شكل التدعيم بدون قوالب بسماكة 25 mm.
- 5- العناية بالجوائز، ومن ثم 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:

#### 1-4 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  $40^\circ$  انطلاقاً من نقطة تطبيق الحمولة على الجائز، وقد توسّع

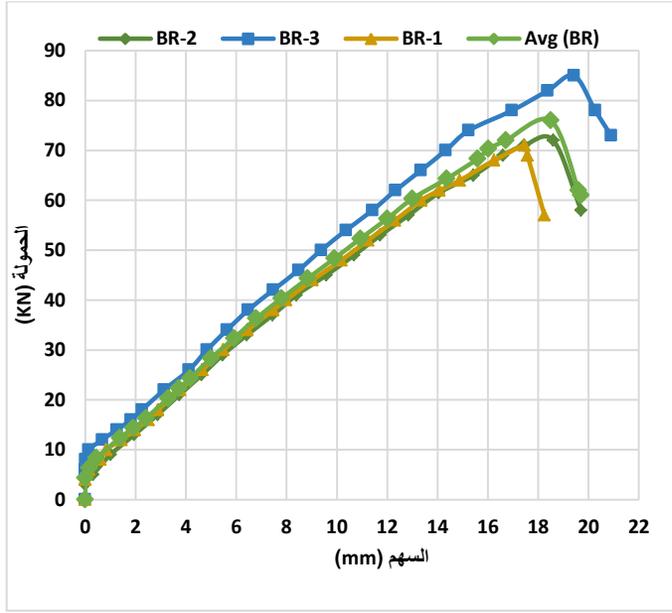
بشكل كبير وبوقت قصير للغاية ليكون الانهيار قصيفاً ومفاجئاً. وبلغت قيمة السهم وسط المجاز عند الانهيار (17.47 و 18.61 و 19.42) mm بالنسبة للجوائز BR-1 و BR-2 و BR-3 على الترتيب، وبلغت القيمة الوسطية للسهم وسط المجاز عند الانهيار للجوائز المرجعية غير المدعّمة (18.50 mm). إنّ الانهيار الحاصل للجوائز هو انهيار 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 للجوائز 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.



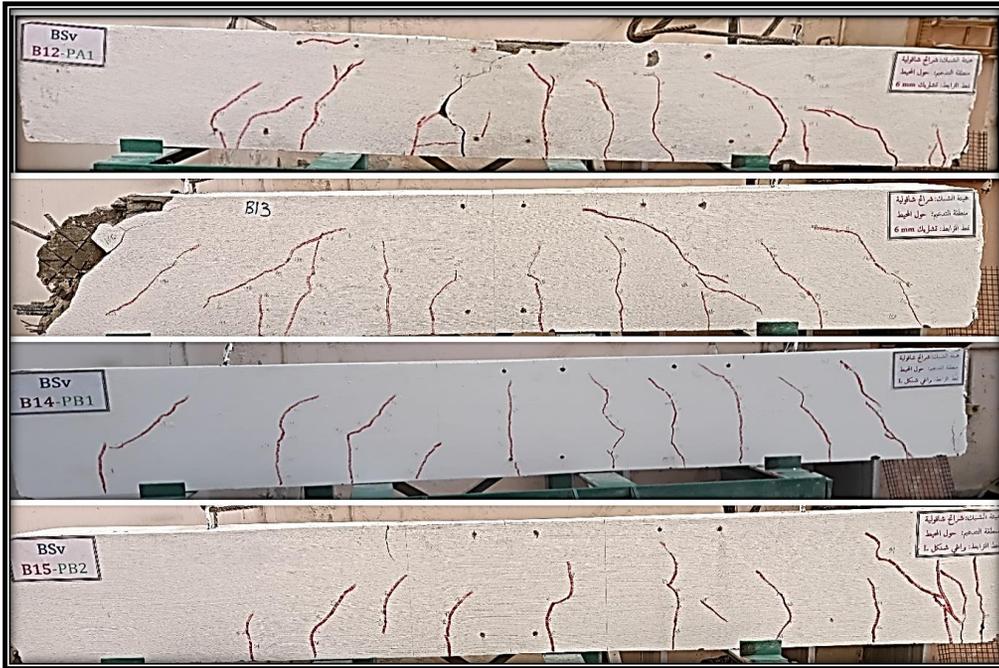
الشكل (9) منحنى (الحمولة - السهم وسط المجاز) للجوائز المرجعية مع الوسطي

2-4 نتائج التجارب على الجوائز المدعمة حول محيطها:

❖ وصف طريقة الانهيار:

لُوِحِظَ 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

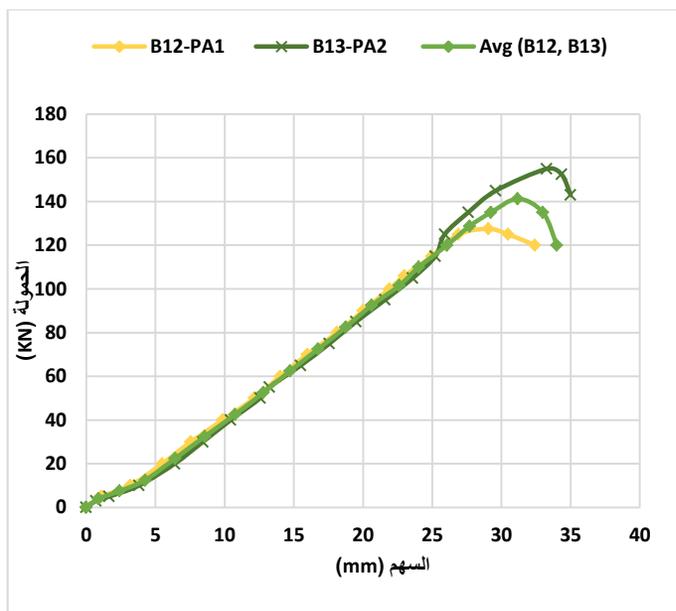
التشققات إلى منطقة القص على جهتي الجائز، والتي بدأت تتوسع تدريجياً في الجهتين معاً بالتزامن مع الشقوق الشاقولية حتى الانهيار الكامل على القص عند الحمولة KN (127.5 و 155 و 110 و 91) للجوائز (B12 و B13 و B14 و B15) على الترتيب، مع انفصال كامل لقسم من الجائز B13 المتوضع فوق المسند اليساري والسبب في ذلك 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.



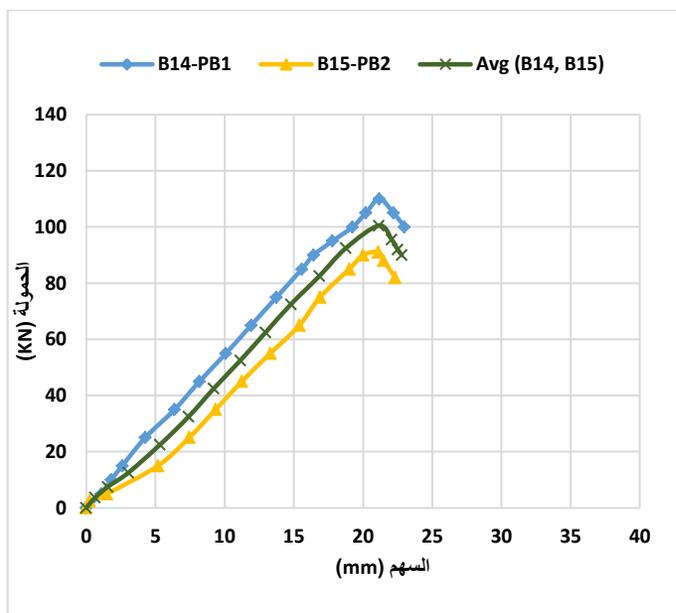
الشكل (10) شكل انهيار الجوائز المُدعّمة حول محيطها

❖ 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:

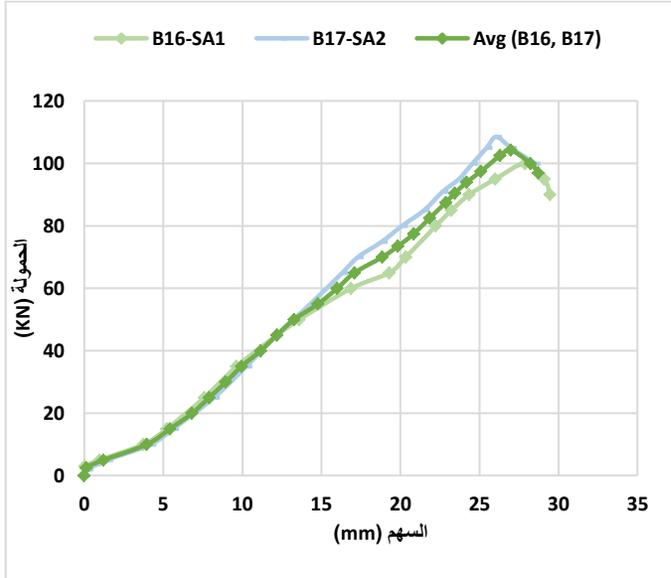
لُوِحِظَ حدوث أول شق في منطقة وسط المجاز عند الحمولة KN(17 و 25 و 24 و 23) للجوائز (B16 و B17 و B18 و B19) على الترتيب، تبعه شق آخر في نفس المنطقة وكلاهما انتشرا باتجاه منطقة الضغط بزيادة الحمولة، وبالتزامن مع انتقال الشقوق إلى مناطق القص على الجهتين التي بدأت بالتوسع أكثر كلما زادت الحمولة وتوقف الشقين 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.



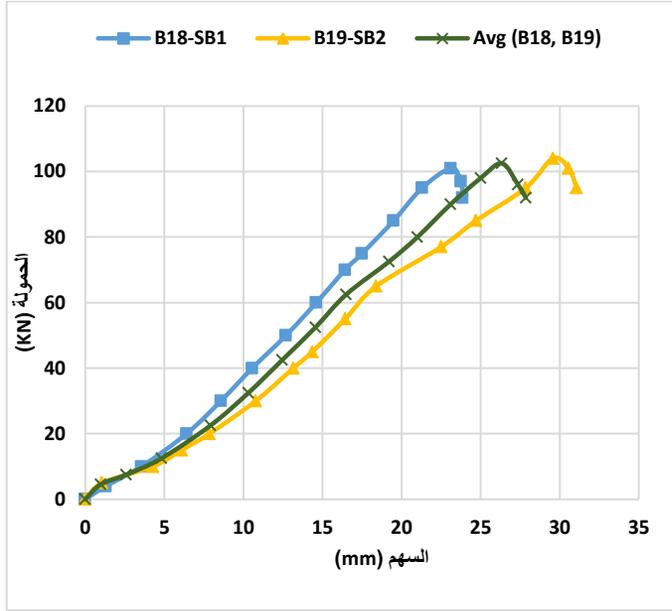
الشكل (13) شكل انهيار الجوائز المدعمة على الوجهين الجانبيين

❖ 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  $\delta_u$ : السهم الموافق لحمولة الانهيار،  $\delta_y$ : 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 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	
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 المدعّمة ومقارنتها مع الجوائز المرجعية غير المدعّمة 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 المدعّمة وبين الجوائز المدعّمة 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)

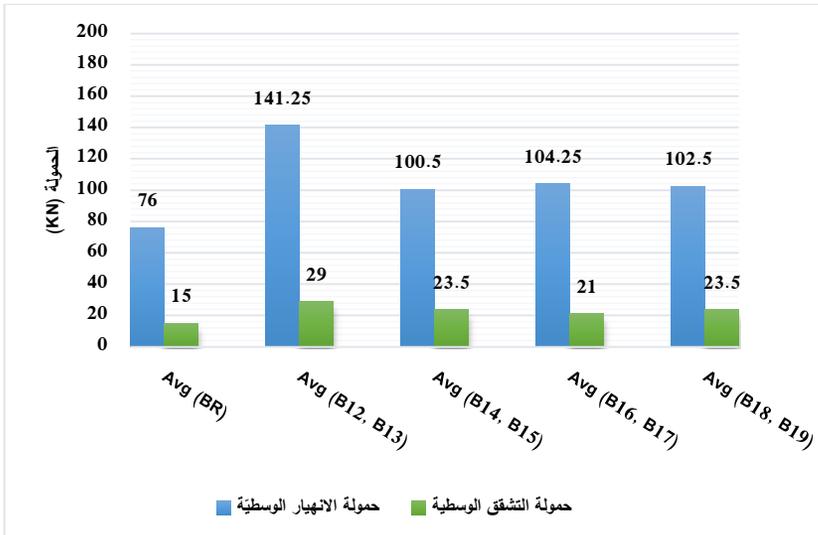
نستنتج ممّا سبق أنّ تَقْنِيَةَ التَّدْعِيمِ السَّابِقَةَ حَقَّقَتْ تَحْسَنًا لَافْتِنًا فِي مَقَاوِمَةِ الْجَوَائِزِ غَيْرِ الْمُدْعَمَةِ، لَا سِيَّمَا عِنْدَ اسْتِخْدَامِ رَوَابِطِ الْقَصِّ 6 mm كَنَمَطِ تَرَابِطٍ، وَالَّذِي أَدَّى إِلَى زِيَادَةِ وَسْطِي كُلِّ مِنْ حَمُولَةِ التَّشَقُّقِ وَحَمُولَةِ الْإِنْهِيَارِ وَالسَّهْمِ وَسَطِ الْمَجَازِ عِنْدَ الْإِنْهِيَارِ بِحَوَالِي (93% و 86% و 68%) عَلَى التَّرْتِيبِ بِالمَقَارَنَةِ مَعَ الْجَوَائِزِ الْمَرْجِعِيَّةِ غَيْرِ الْمُدْعَمَةِ، وَبِحَوَالِي (23% و 41% و 47%) عَلَى التَّرْتِيبِ بِالمَقَارَنَةِ مَعَ الْجَوَائِزِ الْمُدْعَمَةِ بِنَمَطِ تَرَابِطِ بَرَاغِي جَاهِزَةِ حَرْفِ L، فِيمَا يَتَعَلَّقُ بِعَامِلِ الْمَطَاوَعَةِ لَمْ تَبْدُ أَيُّ مِنْ الْجَوَائِزِ السَّابِقَةِ نَتَائِجَ هَامَةٍ فِي هَذَا الْخِصُوصِ. كَانَ وَاضِحًا أَيْضًا زِيَادَةَ حَمُولَةِ الْإِنْهِيَارِ لِلجَائِزِ B13 بِحَوَالِي (22%) بِالمَقَارَنَةِ مَعَ الجَائِزِ B12 الْمُدْعَمِ بِنَفْسِ الْأَسْلُوبِ، وَزِيَادَةَ حَمُولَةِ الْإِنْهِيَارِ لِلجَائِزِ B14 بِحَوَالِي (21%) بِالمَقَارَنَةِ مَعَ الجَائِزِ B15 الْمُدْعَمِ بِنَفْسِ الْأَسْلُوبِ أَيْضًا؛ وَالسَّبَبُ هُوَ وَجُودُ تَعْشِيشٍ عِنْدَ فَكِّ الْكُوفْرَاجِ الْخَشْبِيِّ لِلجَائِزِينَ B12 و B15 بِالقَرَبِ مِنَ الْمَسَانِدِ، الْأَمْرُ الَّذِي أَدَّى إِلَى ضَعْفٍ فِي هَذِهِ الْمَنْطِقَةِ أَثَّرَ عَلَى سُلُوكِ الْجَائِزِينَ بِشَكْلِ عَامٍ وَخَفِضَ مِنْ قُدْرَةِ تَحْمِلِهِمَا.

كَمَا نَسْتَنْتِجُ أَنَّ اسْتِخْدَامَ الشَّرَائِحِ الشَّاقُولِيَّةِ مَعَ رَوَابِطِ قَصِّ 6 mm قَدْ زَادَ مِنْ وَسْطِي كُلِّ مِنْ حَمُولَةِ التَّشَقُّقِ وَحَمُولَةِ الْإِنْهِيَارِ وَالسَّهْمِ وَسَطِ الْمَجَازِ وَعَامِلِ الْمَطَاوَعَةِ بِحَوَالِي (40% و 37% و 46% و 24%) عَلَى التَّرْتِيبِ بِالمَقَارَنَةِ مَعَ الْجَوَائِزِ الْمَرْجِعِيَّةِ غَيْرِ الْمُدْعَمَةِ، وَبِالمَقَارَنَةِ مَعَ الْجَوَائِزِ الْمُدْعَمَةِ بِنَمَطِ تَرَابِطِ بَرَاغِي جَاهِزَةِ حَرْفِ L، فَإِنَّ نَمَطَ رَوَابِطِ الْقَصِّ زَادَ مِنْ وَسْطِي حَمُولَةِ الْإِنْهِيَارِ وَالسَّهْمِ بِحُدُودِ (2%) فَقَطْ مَقَارَنَةً مَعَ نَمَطِ الْبَرَاغِي الْجَاهِزَةِ حَرْفِ L وَالَّذِي بَدَوْرُهُ زَادَ مِنْ وَسْطِي حَمُولَةِ التَّشَقُّقِ وَعَامِلِ الْمَطَاوَعَةِ بِحُدُودِ (12% و 17%) عَلَى التَّرْتِيبِ مَقَارَنَةً مَعَ نَمَطِ رَوَابِطِ الْقَصِّ 6 mm. وَبِتَقْدِيرِنَا

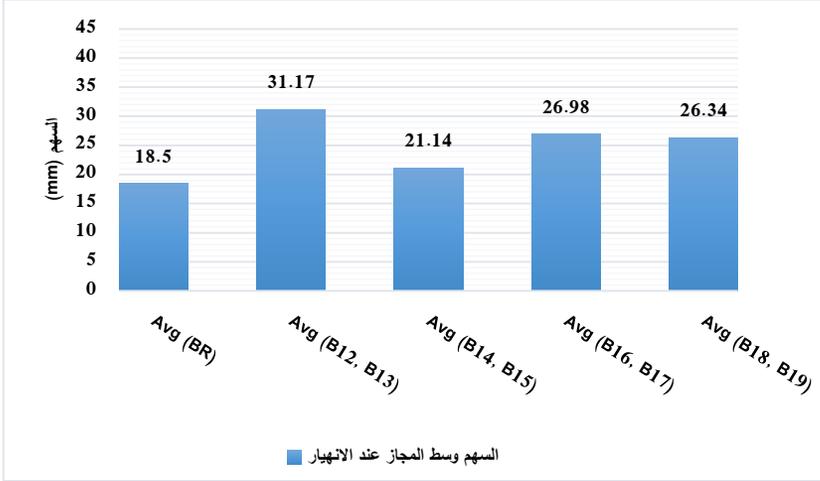
فإن عدم وجود شرائح فوق المساند مباشرةً والاعتماد على بيتون الجائز الأصلي فقط أدى إلى انخفاض قيم حمولة الانهيار لكل الجوائز نظراً لتركيز رد الفعل عند هذه المنطقة بقوة ضاغطة ويعرض استناد قليل مما أثر على سلوك الجوائز وانسلاخ طبقة الفيروسمنت وحدوث تهشم عند المسند لبعضها كما شرحنا سابقاً.

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

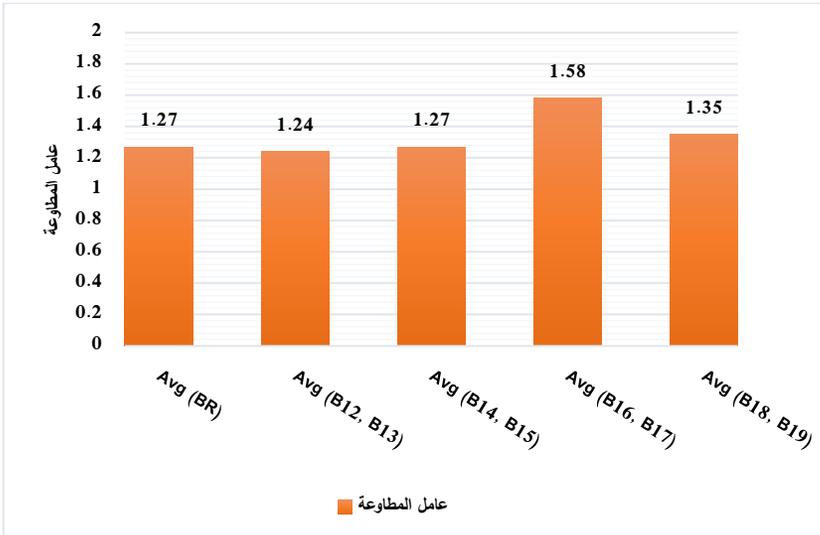
تبين الأشكال (16) و(17) و(18) المقارنة بين نتائج الجوائز المدعّمة حول محيطها وبين نتائج الجوائز المدعّمة على الوجهين الجانبيين.



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.

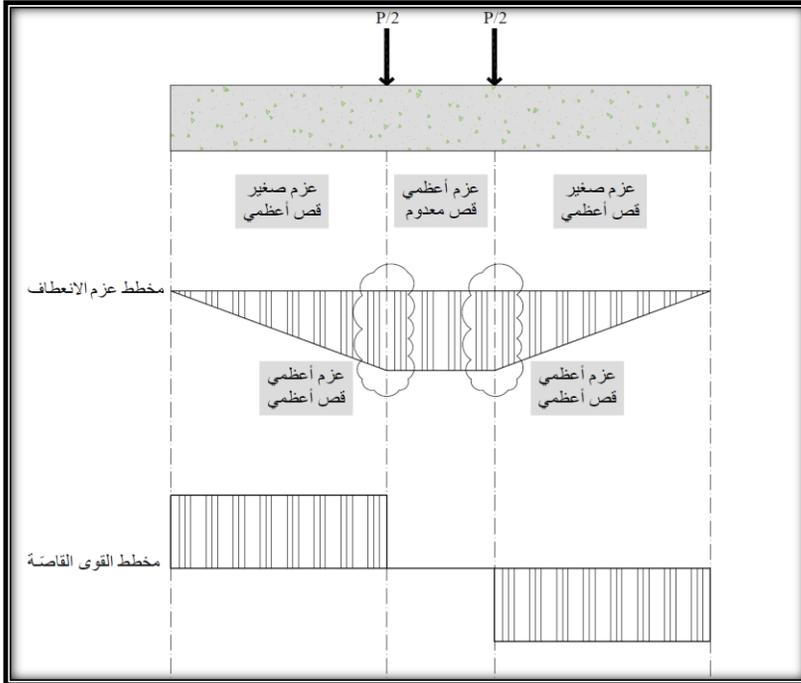
من المرجح أن التدعيم حول محيط الجائز لم يكن له أثر التطويق الكامل للجائز من الجوانب كلها بما فيها الجهة السفلية، بل تطويقاً جزئياً مما أدى إلى زيادة قيمة السهم في حالة روابط القص 6 mm أكثر من حالة التدعيم على الوجهين الجانبيين لنفس النمط، وعكس ذلك قد حصل في حالة استخدام البراغي الجاهزة حرف L إذ زاد التدعيم 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:

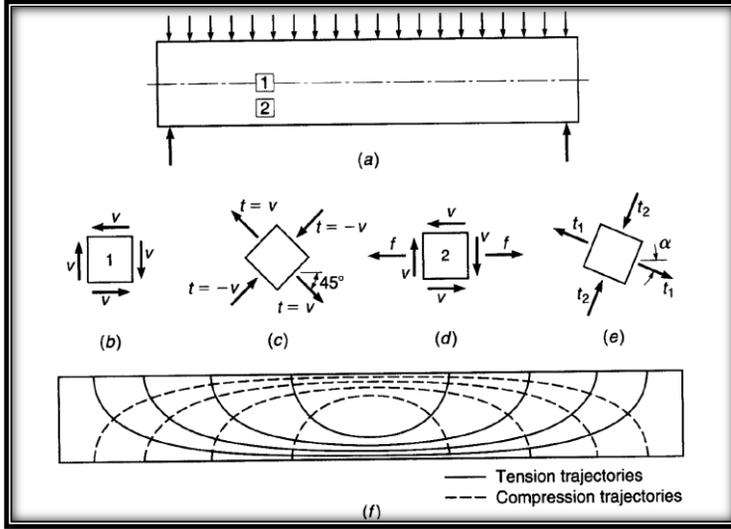
يبين كل من الشكلين (19) و (20) شكل مخطط عزم الانعطاف والقوى القاصة للجوائز المُختبرة، ومرتسمات الإجهادات الرئيسية الشادة والضاغطة على الترتيب، وسيتم مناقشة نتائج التجارب في ضوء هذه المخططات.

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 أعظماً والقص أعظماً، 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 الجائر انهياراً مفاجئاً وقصيفاً [9].



الشكل (19) شكل مخططات العزم والقص للجوائز المُختبرة



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

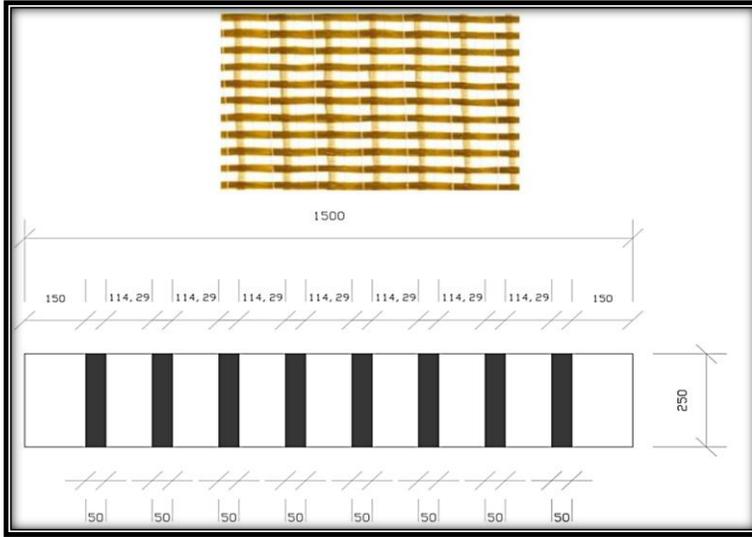
إن وجود الشبك المعدني المكون من فتحات مربعة من الأسلاك، يتقاطع مع العديد من مرئسمات الإجهادات الموضحة في الشكل (20) بعدد أكبر من النقاط، مما يساهم في تأخير هذه الشقوق من خلال رفعه لمقاومة الجائز وتوزيعه للإجهادات على مساحة الشبك. كما أنه قد تظهر الشقوق القطرية في بيتون الجائز الأصلي على شكل شقوق شاقولية 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.

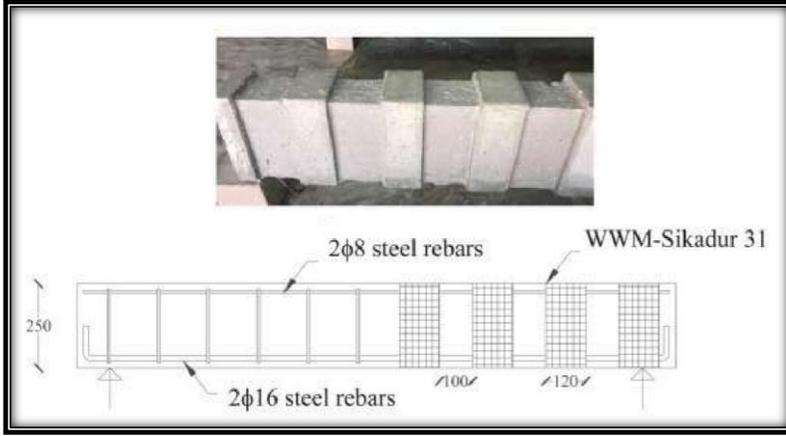
والفرق بين روابط القص 6mm والبراغي الجاهزة في النتائج هو أن طول عكفة الروابط أكبر من تلك الموجودة في البراغي الجاهزة، وبالتالي تساهم في زيادة الطول الفعال للشريحة وبالتالي نتائج أفضل.

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 الجانبيين 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، وبتأخير حمولة التشقق بحدود (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، وبتأخير حمولة التشقق بحدود (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, 14<sup>th</sup> Edition, New York, 813p.
- [9] HASSOUN M and ALMANASSER A, 2015- Structural Concrete: Theory and Design. John Wiley & Sons, 6<sup>th</sup> 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.

# دراسة تحليلية لمقارنة سلوك العقد البيتونية المدعمة بال FRP مع العقد البيتونية المدعمة بالفيروسيمنت

طالبة الدراسات العليا: م. لجين الحلواني اشراف الدكتورة: تراث غريب

كلية الهندسة المدنية جامعة البعث

## ملخص البحث:

يهدف هذا البحث إلى دراسة فعالية ألياف الكربون البوليميرية CFRP في تدعيم عقدة جوائز - عمود بيتونية طرفية وزيادة قدرة تحمل تلك العقدة وتحسين سلوكها ومقارنتها مع التدعيم بالفيروسيمنت من أجل الوصول إلى أفضل تقنية لتقوية العقد البيتونية والتي تحقق سهولة التنفيذ وأداء فعال وكلفة اقتصادية مجدية. في هذا البحث تم إجراء دراسة تحليلية باستخدام برنامج ABAQUS الذي يعتمد طريقة العناصر المحدودة، وأظهرت النتائج التحليلية أن التدعيم باستخدام ال CFRP حقق زيادة في قدرة تحمل العقدة البيتونية للنموذج الغير حاوي على تسليح قص في منطقة العقدة أكثر من التدعيم باستخدام الفيروسيمنت، وكذلك أبدت العقدة المدعمة بال CFRP مطاوعة أكبر من العقدة المدعمة بالفيروسيمنت.

الكلمات المفتاحية: إطار، جوائز، عمود، عقدة، بيتون، فيروسيمنت، CFRP، تقوية.

# Comparison of the behavior of concrete joints strengthened by FRP with joints strengthened by Ferrocement

Eng.LOJAIN AL HELWANI

Dr.Eng.TURATH GHAREEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## Abstract

This research aims to study the effectiveness of polymeric carbon fibers (CFRP) in strengthening external beam- column joint, increasing the bearing capacity of that joint, improving its behavior, and comparing it with reinforcement with ferrocement in order to reach the best technology for strengthening concrete joints, which achieves ease of implementation, effective performance, and an economically feasible cost. In this research, an analytical study was conducted using the ABAQUS program, which adopts the finite element method. The analytical results showed that the reinforcement using CFRP achieved an increase in the bearing capacity of the concrete joint for the model that did not contain shear reinforcement in the joint area more than the reinforcement using ferrocement. The CFRP- reinforced joints also showed greater ductility than a ferrocement-reinforced joints.

**Key words:** frame, beam, column, joint, concrete, ferrocement, CFRP, strengthening.

## مقدمة:

قد تتطلب بعض المنشآت البيتونية المسلحة الموجودة حالياً إلى تقوية للعديد من الأسباب، على سبيل المثال زيادة الحمولة التي يتعرض لها المنشأ، أو عند استخدام المبنى لأغراض جديدة تختلف عن التي صمم من أجلها، أو من أجل تحقيق متطلبات الكودات الجديدة، أو لتقوية المنشآت نتيجة الأضرار التي تسببها العوامل الطبيعية من زلازل وغيرها.

في إطار المشكلة العامة لتقوية المنشآت البيتونية المسلحة هناك مشكلة تدعيم عقد الإطارات، لأن أحد الأسباب الرئيسية للانهدام للإطارات البيتونية المسلحة المقاومة للعزم التي لوحظت في الزلازل الماضية، هو عدم وجود عقد صلابة بما فيه الكفاية في الإطارات البيتونية مما أدى إلى إضعاف الرابط بين العمود والجائز وانهدام الهيكل بأكمله، لذا تم تكريس العديد من الجهود البحثية لتقوية عقد هذه الإطارات حيث في معظم الحالات يكون استبدال الإطار يشكل عبئاً مالياً والأفضل البحث عن طرق لإصلاح وتقوية عقد هذا الإطار.

### 1. الهدف من البحث وطريقته:

الهدف من هذا البحث الوصول إلى نموذج تحليلي يحاكي السلوك الواقعي للعقد المدعمة بألياف الكربون ومقارنتها مع العقد المدعمة بالفيروسيمينت واختبار وتطوير هذا النموذج من أجل معرفة أفضل تقنية لتقوية العقد البيتونية والتي تحقق سهولة التنفيذ وأداء فعالاً، وكلفة اقتصادية مجدية، بالإضافة لضمان العمل المشترك وعدم انفصال التدعيم عن البيتون في مراحل مبكرة من التحميل.

تم تقسيم مراحل البحث إلى المراحل التالية:

### 1. الدراسات المرجعية.

2. المعايير: حيث تم في هذه المرحلة معايرة مجموعة من النماذج التجريبية للعقد بهدف

الوصول إلى نموذج تحليلي ذو معايير مقبولة.

3. تصميم نماذج الدراسة وتحليلها: حيث تم تصميم مجموعة من النماذج غير

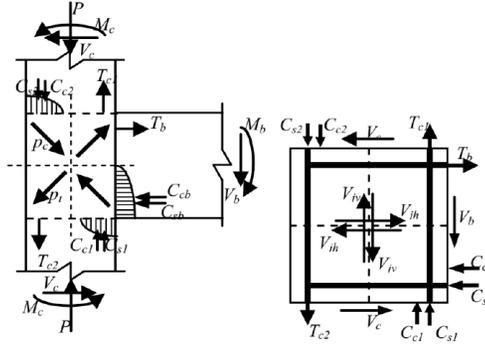
المدعمة والمدعمة بال CFRP والفيروسيمنت تحليلياً والمقارنة بينها.

### 4. مناقشة النتائج.

#### القوى المؤثرة على عقد الإطارات:

تنشأ في عناصر الإطارات البيتونية المسلحة (جيزان وأعمدة) عند تعرضها حمولات شاقولية وحمولات زلزالية قوى ناظرية وقوى قص وعزوم انعطاف، وتنتقل هذه القوى إلى العقدة البيتونية. وتدخل الجيزان في مرحلة اللدونة عند حدوث الزلزال، وبالتالي إمكانية تشكل العزوم على أطراف العقد تساوي العزوم المقاومة للجيزان، ويتولد في العقد اجهادات قص أفقية وشاقولية منعكسة الاتجاه وفقاً لأنماط اهتزاز المبنى. هذه الاجهادات ناجمة عن قوى القص الخارجية في الجيزان والأعمدة، إضافة للقوى الداخلية الناجمة عن حزمة الضغط وقوى الشد القطرية. تسبب هذه القوى شقوق ناجمة عن قوى القص وتعمل على تفتيت بيتون العقدة وغياب ظاهرة التلاحم بين التسليح والبيتون، وفقدان هذا الجزء من العمود وظيفته في تحمل ونقل الحمولات الشاقولية وبالتالي الإنهيار، ويوضح الشكل

(1) القوى المطبقة على العقدة من الجيزان والأعمدة واجهادات القص الأفقية والشاقولية المتشكلة ضمنها [1] .



الشكل (1) القوى المطبقة على العقدة من الأعمدة والجيزان وقوى القص الأفقية والشاقولية في العقدة.

### لمحة نظرية عن FRP:

إن وجود عدد كبير من المحاسن في البوليميرات المدعمة بالألياف FRP جعل منه أفضل خيار أمام هندسة البناء لتدعيم إطارات المنشأ، فالبوليميرات المدعمة بالألياف FRP هي عبارة عن ألياف عالية المتانة Fibers ممزوجة بمادة رابطة هي البوليمير Matrix. تعد FRP مادة متطورة وحديثة الاستخدام في البنى التحتية الإنشائية، حيث أن التقدم التكنولوجي في السنوات القليلة الماضية جعل من مادة ال FRP مادة عملية لاستخدامها في البناء ولهذا السبب تم إجراء دراسات واسعة حول هذه المواد للتغلب على العقبات التقنية المرتبطة باستخدامها.

تختلف خصائص مركبات ال FRP باختلاف نوع الألياف المستخدمة (كربونية - زجاجية-قرميدية)، وكمية الألياف ضمن المادة الرابطة وبمعامل أخرى عديدة.

سيتم في هذا البحث التركيز على ألياف الكربون CFRP ، التي تتميز بمعامل عالي على المرونة كما أنها تتصف بالديمومة فهي لا تمتص الماء وتقاوم التآكل وغيرها من الظروف البيئية التي تؤثر بالفولاذ بالإضافة لذلك فإنها تمتلك مقاومة شد عالية فأى زيادة مهما كانت قليلة في قطر خيوط الكربون ستُغني عن أي زيادة في أبعاد المقطع العرضي للعنصر الإنشائي. إن نسيج ألياف الكربون يمكن تطبيقه على العناصر بأي شكل هندسي ويستخدم في تدعيم الأعمدة والجوائز والبلاطات في المنشآت. تتميز المواد المدعمة بألياف الكربون بالخفة فألواح ألياف الكربون أقل ثقلاً من الفولاذ إلا أن تكلفته أكثر 15 مرة من تكلفة الفولاذ.

#### مميزات وسلبيات التطويق بالبوليميرات المسلحة بالألياف عن التقوية بالفولاذ:

تعني كلمة بوليمر (Polymer) حرفياً: "متعدّد"؛ أي متعدّد الجزيئات. والبوليميرات مواد بلاستيكية ذات جزيء كبير، يُشكّل من اتحاد جزيئات عديدة صغيرة بتوضّع هندسي معين، من خلال عملية تصنيع مدروسة ومختبرة. أما التسليح المستعمل للبوليميرات، فهو على شكل ألياف (fibers)، يمكن أن تكون من الكربون (carbon)، فتسمّى أليافا كربونية؛ أو من مادة الزجاج (glass)، فتسمّى أليافا زجاجية؛ أو من مادة الأرميد (aramid)، فتسمّى أليافا أراميدية [8].

تقدمت البوليميرات المسلحة بالألياف بسرعة كبيرة في مجال استعمالها كمادة تقوية جديدة لعناصر الخرسانة المسلحة بأنواعها المختلفة في جميع أنحاء العالم بالمقارنة مع حالات التقوية الاعتيادية التي كانت غير فعالة أو عملية، حيث أعطت البوليميرات المسلحة بالألياف حلاً مناسباً لهذه الحالات [3].

حيث يمكن أن نلخص ميزات التقوية بالبوليميرات المسلحة بالألياف عن التقوية بالفولاذ كالتالي:

1. البوليميرات المسلحة بالألياف FRP غير قابلة للتآكل، على الرغم من أنها قد تكون عرضة لأشكال أخرى من الضرر البيئي بسبب ارتفاع درجة الحرارة أو الرطوبة.
2. البوليميرات المسلحة بالألياف FRP مقاومتها عالية نسبة إلى وزنها، حيث أن مقاومتها أكبر من الفولاذ بحوالي 10 - 15 مرة.
3. خصائص التعب ممتازة وخاصة ال FRP من النوع الكربوني.
4. المقاومة الكهرومغناطيسية والتي يمكن أن تكون مفيدة للغاية في بعض الهياكل الخاصة.
5. مقاومة الشد العالية بالمقارنة مع الفولاذ.

أما السلبيات فيمكن تلخيصها كالتالي:

- 1) ارتفاع تكلفة المواد على الرغم من زيادة الاستخدام في السنوات الأخيرة.
- 2) انخفاض قدرة التحمل الجانبية بسبب ضعف الخصائص الميكانيكية بالنسبة ل FRP من نوع الأراميد.
- 3) التمدد بسبب امتصاص الرطوبة وخاصة بالنسبة ل FRP من نوع الأراميد.
- 4) فقدان سريع وشديد للترابط والمقاومة والصلابة عند درجات حرارة مرتفعة.

## لمحة نظرية عن الفيروسمنت:

اكتشف الفيروسمنت من قبل جوزيف لامبوت Joseph Lambot في عام 1848 حيث استخدمه لصناعة المراكب باعتباره شكلاً أولاً من أشكال البيتون المسلح حيث حصل على براءة الاختراع الفرنسية والبلجيكية لهذه المادة عام 1856 وبقيت إحدى مراكبه المصنوعة من الفيروسمنت معروضة في متحف (Brignoles) في فرنسا [4].

لم يجد الفيروسمنت قبولاً واسعاً حتى أوائل الستينات من القرن الماضي حيث أبحر أحد اليخوت التي صنعت من الفيروسمنت في نيوزيمندا عام 1965 حول العالم بدون أي أضرار جدية، بالرغم من أنو صدم من قبل قارب ذي هيكل فولاذي، ومنذ ذلك الحين بدأ حول العالم نشاطاً متزايداً للبناء باستخدام مادة الفيروسمنت بما فيها البلدان المتقدمة والنامية على حد سواء، حيث تعددت طرق الاستفادة من مواصفات هذه المادة لتتعدى بناء القوارب، فاستخدمت في بناء السقوف والأنابيب وخزانات المياه وغيرها الكثير [4].

قامت الأكاديمية الوطنية للعلوم في الولايات المتحدة الأمريكية (USNAS) خلال مؤتمرها حول العلوم والتقنيات الدولية المتطورة عام 1972 بتأسيس لجنة خاصة حول استخدام تقنية الفيروسمنت في الدول النامية، وفي العام 1975 شكل معهد البيتون الأمريكي اللجنة رقم (549) لوضع التوصيات الأساسية لتطوير تقنية الفيروسمنت، وفي العام 1976 تأسس المركز الدولي لمعلومات الفيروسمنت (IFIC) في معهد التكنولوجيا الآسيوي في بانكوك - تايلاند والممول من قبل الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية وحكومة نيوزيلاند ومركز بحوث التنمية الدولية في كندا باعتباره مركزاً لتبادل المعلومات حول تقنيات الفيروسمنت ونشرها في مجلة خاصة حملت اسم (Ferrocement).

وفي عام 1979 أسس الاتحاد الدولي لمخابر بحث وتجريب المواد والمنشآت والذي يرمز له اختصاراً بالاسم (RILEM) اللجنة التأسيسية لتقييم طرق اختبار الفيروسمنت رقم (FC-48).

أصدرت لجنة معهد البيتون الأمريكي (ACI) تقريرها الإرشادي عام 1997 بالرقم-ACI (549R,97) حول التطبيقات العملية لمونة الفيروسمنت وصدر تقرير آخر عام 2001 بالرقم (ACI-549R,2001).

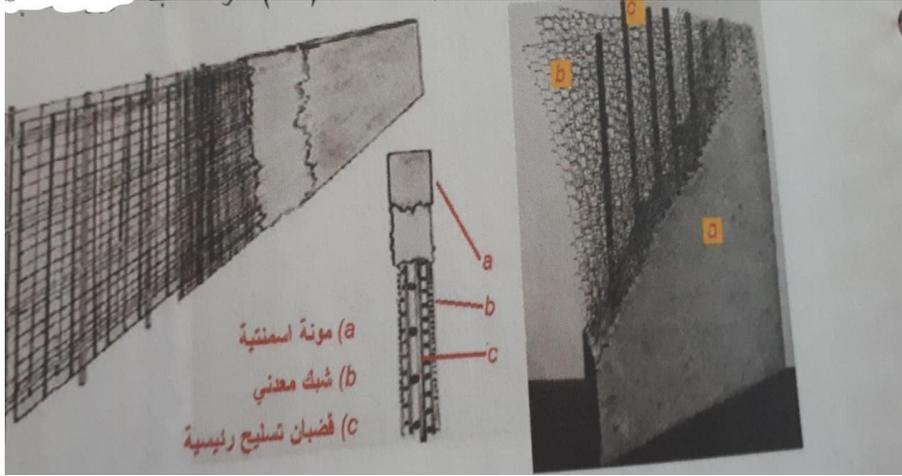
#### تعريف الفيروسمنت:

ينسب تطوير وتعريف المادة المسماة بالفيروسمنت للباحث بيير لويجي نيرفي وذلك في السنوات 1942 - 1943. حيث عرف الفيروسمنت بأنه "نوع من أنواع البنية البيتونية المسلحة الرقيقة والتي يستخدم فيها كميات كبيرة من الشبكات ذات الأقطار الصغيرة والموزعة بشكل موحد في كافة أنحاء المقطع العرضي لتحمل الشد كبديل عن استخدام التسليح الفولاذي ذي القطر الكبير، كما تستعمل المونة الإسمنتية المصنوعة من الرمل والاسمنت البورتلاندي كمادة رابطة تعمل على الضغط بدلاً من البيتون" [4].

يعرف تقرير لجنة معهد البيتون الأمريكي (ACI) المنشور عام 1980 الفيروسمنت بأنه نوع رقيق من صفائح البيتون المسلح، ويتكون بشكل عام من مونة إسمنتية مائية مسلحة بطبقات متقاربة ومستمرة من شبك سلبي ذي أسلاك صغيرة المقطع نسبياً، وهي تقنية غير تقليدية لتسليح البيتون، وتصنع هذه الشبكات إما من مادة معدنية أو أي مادة أخرى مناسبة.

يعرف تقرير لجنة معهد البيتون الأمريكي (ACI) المنشور عام 1993 الفيروسمنت بأنه "شكل من أشكال الاستعمال للبيتون المسلح باستخدام طبقات متعددة ومتقاربة من الشبك و/أو قضبان ذات أقطار صغيرة والمغلطة بشكل كامل بالمونة الإسمنتية، والشبك الفولاذي

هو النوع الأكثر شيوعاً لتسليحها بالإضافة لإمكانية دمج المواد الأخرى مثل الألياف الصناعية أو الطبيعية أو العضوية المختارة مع الشبكة المعدنية" [3] . وهو التعريف الرسمي للفيروسمنت حتى هذا اليوم. يبين الشكل (2) مكونات طبقة الفيروسمنت بشكل عام.



الشكل (2) مقطع نموذجي لمكونات طبقة الفيروسمنت.

### مكونات الفيروسمنت:

يتألف الفيروسمنت من أربع مواد أساسية هي:

**الرمل:** يمكن استخدام الرمل الطبيعي المغسول والنظيف المجيز والذي يمر من المنخل رقم 8 أو بقياس ( 2.36 mm ) وفقاً لاشتراطات ASTM ، و يبين الجدول (1) التدرج الحبي القياسي للرمل المستخدم في الفيروسمنت وفقاً لتوصيات لجنة معهد البيتون الأمريكي [2].

قياس فتحة المنخل	النسبة الوزنية المئوية المارة تكاملياً %
No . 8 (2.36 mm)	80-100
No . 16 (1.18 mm)	50-85
No . 30 (0.60 mm)	25-60
No . 50 (0.30 mm)	10-30
No . 100 (0.15 mm)	2-10

الجدول (1) التدرج الحبي القياسي للرمل المستخدم في

### الفيروسمنت [2]

**الماء:** يستخدم الماء النظيف والخالي من الكبريتات والكلوريدات والمواد العضوية حتى لا يؤثر على جودة المونة باعتبارها تشكل أكثر من 95% من حجم الفيروسمنت ويجب أن يكون  $PH \geq 7$  كي يعدل PH المونة.

**الإسمنت:** يستخدم عادة الإسمنت البورتلاندي العادي، ويجب أن يكون جديداً وخالي من الكتل، وأن يخزن في ظروف جافة لأقصر مدة ممكنة.

**الشبك المعدني:** الشبك المعدني هو تسليح الفيروسمنت ويتكون عادة من طبقة أو عدة طبقات من الشبك السلبي المصنع من أسلاك مفردة متقاربة ومغلقة بالزنك لمنع تأكلها، ويجب أن يكون الشبك نظيفاً وخالياً من المواد المؤذية مثل (الغبار، الصدأ، الدهانات، المواد والمشتقات النفطية)، والشبك المعدني قد يكون من النوع الملحوم أو المحاك أو الموسع [9].

## 1. الدراسات المرجعية:

(1) دراسة تجريبية لعقدة جائر-عمود بيتونية طرفية مدعمة بالفيروسيمنت [9]:

### “Experimental study of external beam column joint strengthened with ferrocemnt“

قام الباحث Hayder AL Kadour عام 2023 بدراسة لفعالية الفيروسيمنت في تدعيم عقدة جائر-عمود بيتونية طرفية وزيادة قدرة تحمل تلك العقدة وتحسين سلوكها.

تم تحضير اثني عشر عينة لعقدة جائر عمود بيتونية طرفية، حيث تم صب عينتين لكل نموذج مدروس.

ترك النموذج الأول والنموذج الثاني كعينات مرجعية للمقارنة أحدهما بدون تسليح قص في منطقة العقدة (النموذج R1) والثاني مع تسليح قص في منطقة العقدة (النموذج R2) وباقي العينات دعمت بالفيروسيمنت.

جميع العينات كان لها ابعاد المقطع نفسها من جوائز واعمدة بعرض 250mm وعمق 250mm وجميع الاعمدة تم تسليحها ب6T12 و الجوائز تم تسليحها ب 4T14.

وتسليح عرضي قطر 6mm كل 80mm في الجائر والعمود و طبقة تغطية 25mm.

وقد توصل إلى مايلي: حققت تقنية التدعيم بالفيروسيمنت زيادة في قدرة تحمل العقد البيتونية فقد وصلت الزيادة إلى 55.2% في العقد المدعمة بالفيروسيمنت من كل الجهات بينما وصلت الزيادة إلى 40.5% في العقد المدعمة بالفيروسيمنت على الزاويتين والوجه الخلفي للعمود بالنسبة للنموذج غير المدعم بالفيروسيمنت [9].

(2) السلوك الإنشائي للعقد البيتونية المدعمة بصفائح الفيروسيمنت[5]:

“Structural behaviour of beam column joint retrofitted with  
ferrocement laminates “

قام الباحثان B.Venkatesana, R.Ilangovan عام 2016 بدراسة السلوك الإنشائي لعقدة عمود جوائز المدعمة بصفائح الفيروسيمنت.

تم تحضير أربع عينات، فقد تم استخدام اثنتين كعينتين مرجعيتين واثنين آخرين مدعمتين بالفيروسيمنت.

جميع العينات كان لها ابعاد المقطع نفسها من جوائز واعدة بعرض 230 mm وعمق 230 mm وجميع الاعمدة والجوائز تم تسليحه 4T12 .

وتسليح عرضي قطر 8 mm كل 150mm في الجوائز والعمود والعقدة بين الجوائز والعمود .

وكانت النتائج التي توصلوا لها:

1- يحسن التدعيم بالفيروسيمنت من قدرة العقدة غير المسلحة على القص في منطقة العقدة على تبديد الطاقة.

2- يمكن استخدام الفيروسيمنت بكفاءة من أجل التدعيم الزلزالي لعقدة عمود جوائز بيتونية مسلحة فقد انتقلت الشقوق من العقدة إلى الجوائز، وحدث الانهيار في الجوائز وبقاء منطقة العقدة سليمة بدون حصول أي تخريب أو شقوق.

3- قدرة التحمل في العينة المدعمة تزيد بنسبة تتراوح 66% عن تلك الموجودة في العينة المرجعية غير المدعمة.

(3) التعديل الزلزالي للعقد البيتونية المسلحة الخارجية مع تدعيم بألياف CFRP [6] :

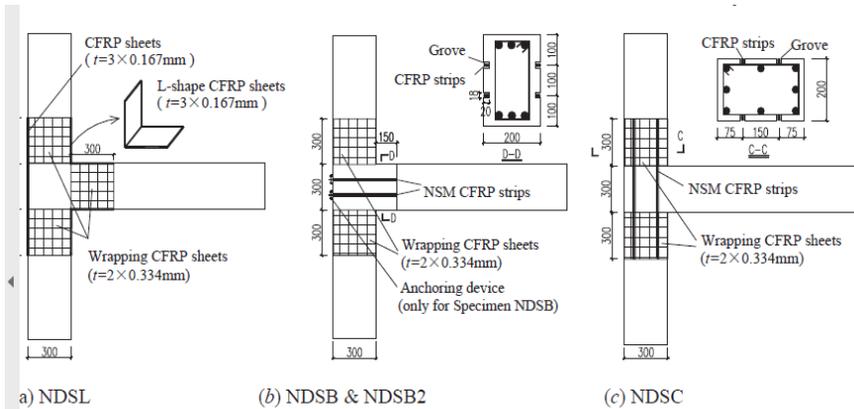
“Seismic retrofit of exterior RC beam-column joints with bonded CFRP “

قام الباحثين، Guo-Lin Wang Jian-Guo Dai, Yu-Lei Bai عام 2019 بدراسة السلوك الإنشائي لعقدة عمود جوائز المدعمة ب CFRP.

تم تحضير ست عينات، لم يتم تدعيم عينتين منهم اما باقي العينات دعت بصفائح CFRP الملصقة خارجياً وشرائط مثبتة بالقرب من السطح NSM CFRP.

جميع العينات كان لها ابعاد المقطع نفسها من جوائز واعمدة بعرض 300mm وعمق 200mm وجميع الاعمدة والجوائز تم تسليحها ب 3T16 في الأعلى والاسفل وتسلح افقي قطر 10mm كل 150mm في العمود والجوائز (فقط العينة D يوضع التسليح الاقوي في منطقة العقدة قطر 10mm كل 60mm).

طبقة التغطية الاعمدة والجوائز 30mm ماعدا التغطية الجانبية في الجوائز كانت 46mm.



الشكل (3) طريقة تدعيم عينات الإختبار.

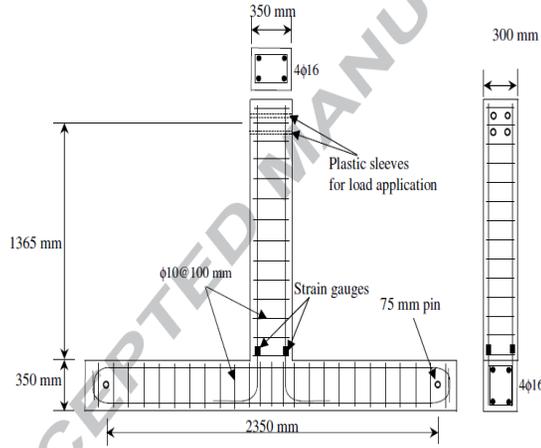
وكانت النتائج كما يلي:

1. حبس منطقة نهاية الجائز في العينة NDSL تسبب في تحول موقع الإنهيار من الجائز إلى داخل العقدة.
2. لوحظ أن شرائط ال NSM على طول الجائز في العينة NDSB عززت من مقاومة القص في العقدة ونقلت المفصل اللدن بعيداً عن وجه العمود على عكس شرائط ال NSM على طول العمود في العينة NDSC.
3. وضع جهاز الإرساء لتثبيت الشرائط ليس مهماً حيث تمتاز شرائط NSM بالترابط الممتاز مع الخرسانة المحيطة.

(4) تقييم الأداء الزلزالي لقوة الإطارات الخرسانية المسلحة مع نسيج CFRP وقضبان NSM [7]:

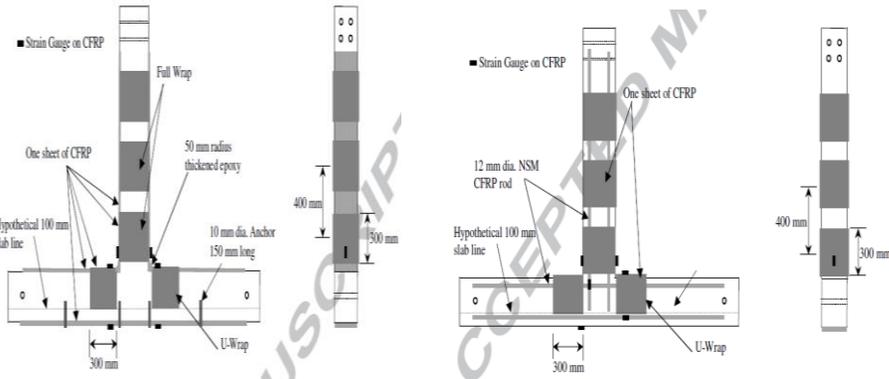
#### **Evaluation of the seismic performance of reinforced concrete frames strength-ened with CFRP fabric and NSM bars**

قام كل من الباحث Elias I.saqan, Hayder A. Rasheed, Tarek Alkhrdaji عام 2017 بتحضير ثلاث عينات متطابقة في الحجم والتسليح و عملت عينة واحدة كعينة مرجعية بينما تم تدعيم العينتين الأخرتين باستخدام نسيج CFRP وقضبان NSM.



الشكل (4) الأبعاد الكلية وأماكن وضع الحساسات لقياس التشوهات لجميع العينات الثلاث.

وفقاً لتقنية التدعيم باستخدام CFRP، فإن تفاصيل إجراء التدعيم هي كما يلي:



الشكل (5) تفاصيل التدعيم وأماكن وضع الحساسات لقياس التشوهات للعينتين المدعمتين.

وكانت النتائج التي توصلوا لها:

1. من حيث القوة: وجد ان سلوك العينات المدعمة تحسن بالمقارنة مع العينة المرجعية حيث ان الحمل النهائي والحمل الموافق لأول شق وحمل الخضوع زاد بإضافة (NSM bars+CFRP sheet) وبالمقارنة بين العينتين المدعمتين وجد ان العينة مع (NSM bars) تفوقت على نظيرتها في قوة الخضوع والقوة النهائية.

2. من حيث الصلابة: وجد أن العينة المدعمة بدون قضبان NSM كانت الأفضل تليها العينة مع قضبان NSM ثم المرجعية.

## 2. النماذج المدروسة في البحث:

### 2-1 مقدمة:

البرنامج المعتمد في الدراسة هو برنامج ABAQUS الذي يعتمد طريقة العناصر المحدودة، النماذج التي تمت دراستها في هذا البحث هي نماذج ثلاثية الأبعاد 3D وذلك للحصول على أكبر دقة ممكنة من خلال مراقبة سلوك كافة عناصر النموذج.

### 2-2 معايرة النماذج التجريبية:

تم في هذا البحث معايرة ثلاث نماذج تجريبية من أبحاث مختلفة تشمل الحالات التالية:

(1) نموذج لعقدة بيتونية مسلحة غير مدعمة (بدون تسليح قص في منطقة العقدة)

./R1/

(2) نموذج لعقدة بيتونية مسلحة غير مدعمة (مع تسليح قص في منطقة العقدة)/R2/ .

(3) نموذج لعقدة بيتونية مسلحة مدعمة بالفيروسيمنت/F1/.

(4) نموذج لعقدة بيتونية مسلحة مدعمة بال CFRP/F2/.

تم الاعتماد في هذا البحث على ما يلي:

- العنصر المكعبي (Solid Element): من النوع Hex، الرتبة الهندسية (geometric order)، من النوع (Linear)، والتكامل الجزئي من أجل نمذجة العقدة البيتونية.
- العنصر المكعبي (Solid Element): من النوع Hex، الرتبة الهندسية (geometric order)، من النوع (Linear)، والتكامل الجزئي من أجل نمذجة طبقة المونة الاسمنتية للفيروسمنت.
- العنصر الشبكي (Truss)T3D2، الرتبة الهندسية (geometric order)، من النوع (Linear)، والمؤلف من عقدتين في فضاء ثلاثي البعد من أجل نمذجة قضبان التسليح الطولية والعرضية وشبك الفيروسيمنت.
- عنصر مساحي رقيق S4R:A4 (Shell Element)، الرتبة الهندسية (geometric order) من النوع (Linear)، والمؤلف من أربع عقد مع تكامل مخفض من أجل نمذجة ال CFRP.

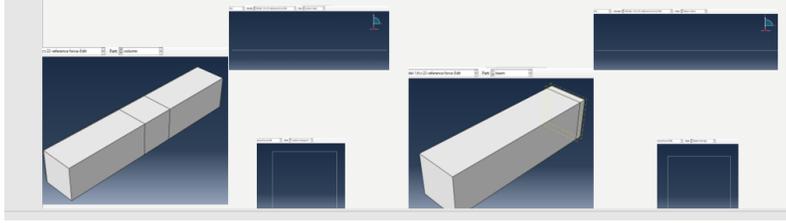
## 2-2-1 تفاصيل ونتائج المعايرة رقم (R2+R1):

نموذج عقدة جوائز عمود بيتونية طرفية غير مدعمة:

تم الاعتماد على برنامج V6.14-3, ABAQUS، الذي يستخدم طريقة العناصر المحدودة (FEM)، ومرت مرحلة معايرة النموذج بالمراحل التالية على برنامج ABAQUS:

### Part (a)

يتم في هذه المرحلة رسم أجزاء النموذج المكون من (عمود، تسليح طولي للعمود، تسليح عرضي للعمود، جوائز، تسليح طولي للجوائز، تسليح عرضي للجوائز).

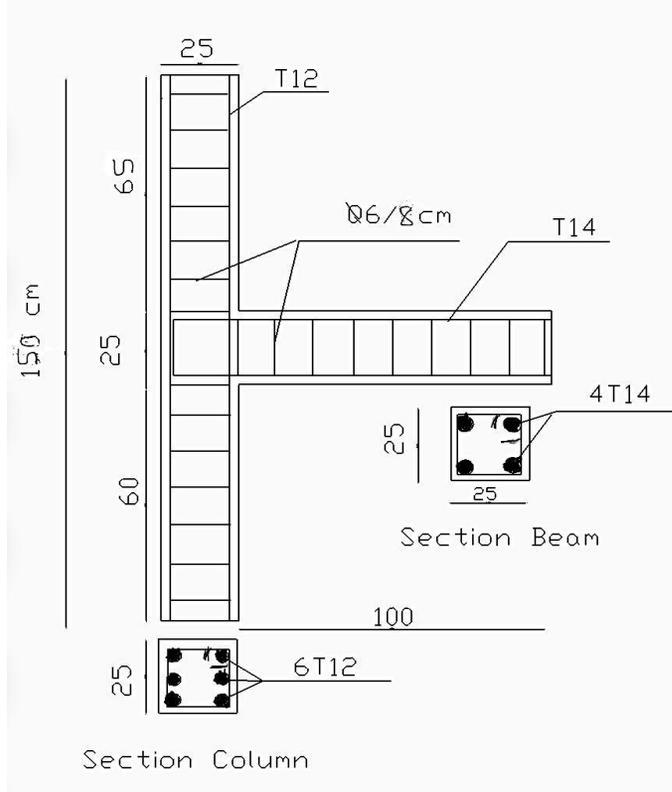


الشكل (6) رسم أجزاء العقدة على برنامج ABAQUS.

### • الأبعاد والتسليح:

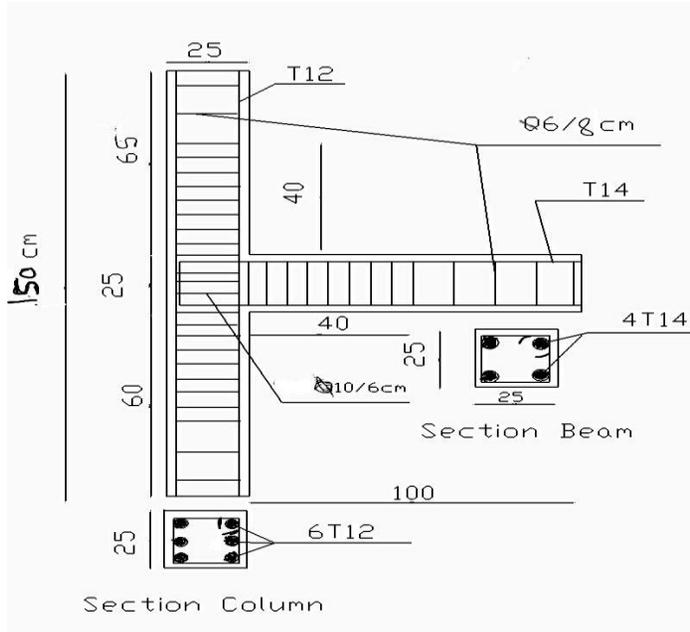
مقطع العمود والجوائز (250\*250mm) طول الجوائز (1000mm)، وارتفاع العمود (1500mm)، كما هو موضح في الشكل (7).

التسليح الطولي للجائز 4T14 والعمود 6T14 والتسليح العرضي لكل من الجائز والعمود  $\varnothing 6/8$  cm وسماكة الطبقة التغطية 25mm.

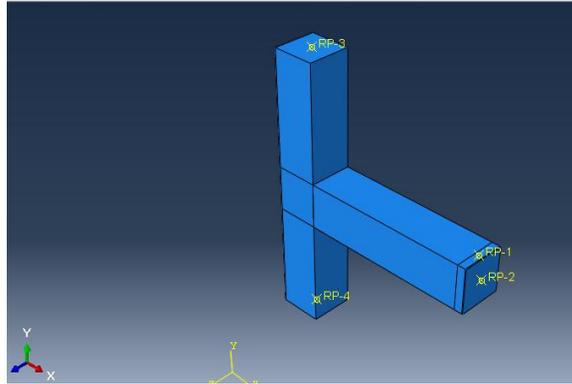


الشكل (7) نموذج العقدة البيتونية المسلحة غير المدعمة R1.

تم تكثيف التسليح العرضي للعينة R2 (مع تسليح قص في منطقة العقدة) بحيث وضع التسليح العرضي في منطقة العقدة ب قطر 10mm كل 60mm كما هو موضح في الشكل(8).



الشكل (8) نموذج العقدة البيتونية المسلحة غير المدعمة R2.



الشكل (9) يبين نمذجة العقدة ضمن برنامج ABAQUS.

## (b) Property

يتم في هذه المرحلة تعريف مادة الأجزاء السابقة وإسناد المقاطع إليها (ببتون، تسليح رئيسي، تسليح ثانوي).

### • خواص المواد المستخدمة للببتون:

المقاومة الأسطوانية للببتون على الضغط بعمر 28 يوم  $F_c = 22.21 \text{ MPa}$ .

تم إدخال قيمة الكثافة ومعامل يونغ ومعامل بواسون وبقية الثوابت:

Data					
	Dilation Angle	Eccentricity	$f_b/f_c$	K	Viscosity Parameter
1	30	0.1	1.16	0.667	0.0005

الشكل (10) إدخال الثوابت على برنامج ABAQUS.

والتابع المستخدم لتعريف مادة البيتون هو المنحني النظري الذي يحدده الكود الأوروبي (EN1992-1-1):

في مرحلة الضغط:

$$\sigma_c = f_{cm} \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}$$

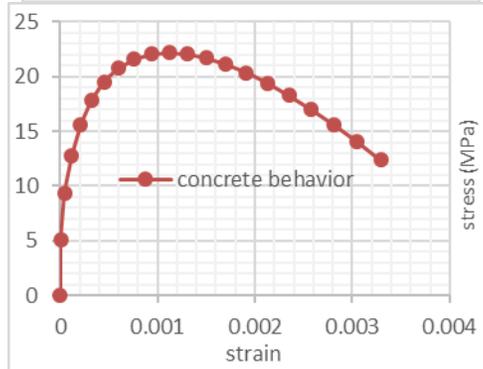
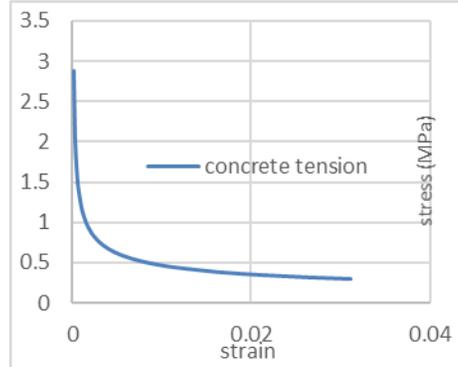
$$k = 1.05 E_{cm} \frac{\varepsilon_{c1}}{f_{cm}} \cdot \eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}$$

في مرحلة الشد:

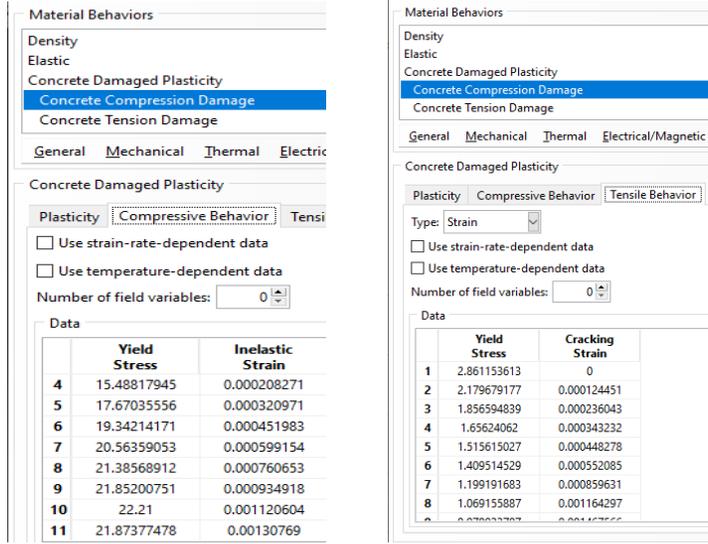
$$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)}$$

$$\sigma_t = E_c \varepsilon_t \text{ if } \varepsilon_t \leq \varepsilon_{cr}$$

$$\sigma_t = f_{ct} \left( \frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_t} \right)^{0.4} \text{ if } \varepsilon_t > \varepsilon_{cr}$$



الشكل (11) منحني سلوك البيتون على الضغط والشد.

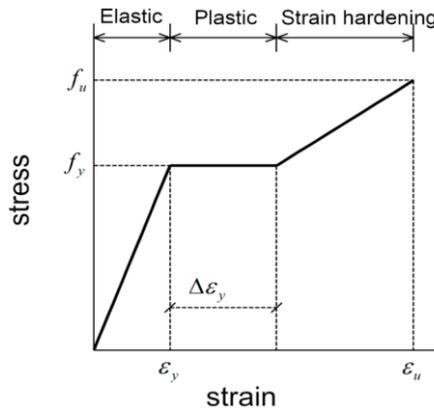


الشكل (12) تعريف سلوك مادة البيتون على الضغط والشد على برنامج ABAQUS.

• خواص المواد المستخدمة للفلوآذ:

إجهاد الخضوع لحديد التسليح: الطولي: ( $F_y=480 \text{ MPa}$ ,  $F_u=630 \text{ Mpa}$ ),

العرضي: ( $F_c= 326 \text{ MPa}$ ,  $F_{cu}=375 \text{ MPa}$ ) ، ومعامل مرونتهما  $E=210 \text{ GPa}$ .



الشكل (13) المنحني المكافئ لوصف السلوك الميكانيكي للفلوآذ.

$$F_s = E_s \cdot \varepsilon_i$$

$$0 < \varepsilon_i < \varepsilon_y$$

$$F_s = F_y$$

$$\varepsilon_y < \varepsilon_i < 5\varepsilon_y$$

$$F_s = F_y + 0.01 E_s (\varepsilon_i - 5\varepsilon_y) \quad 5\varepsilon_y < \varepsilon_i < \varepsilon_u$$

ABAQUS Edit Material dialog for MAIN STEEL, Elastic behavior tab. The dialog shows the material name as MAIN STEEL and the description as empty. Under Material Behaviors, Elastic is selected. The Elastic tab is active, showing Type: Isotropic, Use temperature-dependent data: unchecked, Number of field variables: 0, Moduli time scale: Long-term, No compression: unchecked, and No tension: unchecked. The Data table is as follows:

	Young's Modulus	Poisson's Ratio
1	210000	0.3

ABAQUS Edit Material dialog for MAIN STEEL, Plastic behavior tab. The dialog shows the material name as MAIN STEEL and the description as empty. Under Material Behaviors, Plastic is selected. The Plastic tab is active, showing Hardening: Isotropic, Use strain-rate-dependent data: unchecked, Use temperature-dependent data: unchecked, and Number of field variables: 0. The Data table is as follows:

	Yield Stress	Plastic Strain
1	480	0
2	490.5	0.015
3	630	0.0815

الشكل (14) تعريف سلوك مادة فولاذ التسليح الطولي على برنامج ABAQUS.

ABAQUS Edit Material dialog for SEC STEEL, Elastic behavior tab. The dialog shows the material name as SEC STEEL and the description as empty. Under Material Behaviors, Elastic is selected. The Elastic tab is active, showing Type: Isotropic, Use temperature-dependent data: unchecked, Number of field variables: 0, Moduli time scale: Long-term, No compression: unchecked, and No tension: unchecked. The Data table is as follows:

	Young's Modulus	Poisson's Ratio
1	210000	0.3

ABAQUS Edit Material dialog for SEC STEEL, Plastic behavior tab. The dialog shows the material name as SEC STEEL and the description as empty. Under Material Behaviors, Plastic is selected. The Plastic tab is active, showing Hardening: Isotropic, Use strain-rate-dependent data: unchecked, Use temperature-dependent data: unchecked, and Number of field variables: 0. The Data table is as follows:

	Yield Stress	Plastic Strain
1	326	0
2	327.05	0.0085
3	375	0.03

الشكل (15) تعريف سلوك مادة فولاذ التسليح العرضي على برنامج ABAQUS.

### **:Assembly (c)**

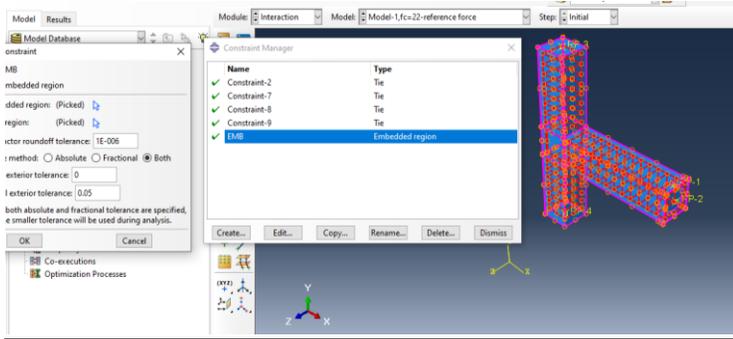
يتم في هذه المرحلة تجميع كافة أجزاء النموذج.

### **:step (d)**

يتم في هذه المرحلة تحديد خطوات التحليل.

### **:Interaction (e)**

يتم في هذه المرحلة وضع قيود Constrains، ونوع الوصل والارتباط بين أجزاء النموذج حيث تم اعتماد الارتباط بين الفولاذ والبيتون على أنه Embedded region.



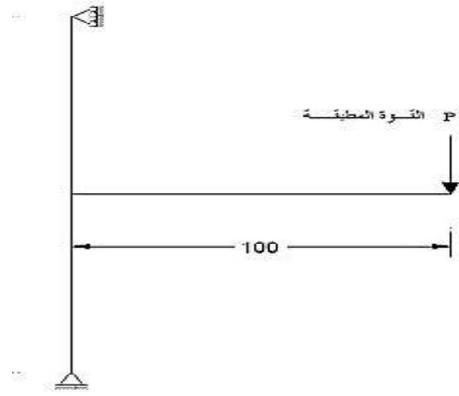
الشكل (16) تعريف الارتباط بين أجزاء العقدة على برنامج ABAQUS.

### **: load (f)**

يتم في هذه المرحلة تعريف الحمولات.

### **• طريقة التحميل:**

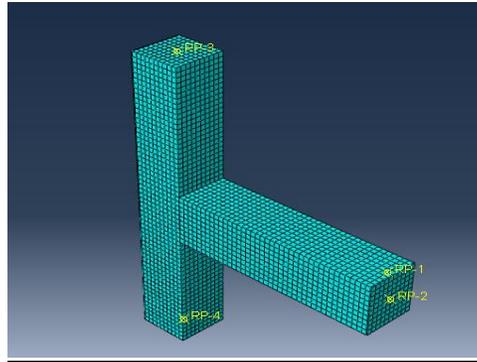
تم تطبيق حمولة شبه استاتيكية (حمولة تفريغية) متزايدة بشكل تدريجي.



الشكل (17) طريقة تحميل العقدة.

### **:Mesh (g)**

يتم في هذه المرحلة تقسيم النموذج إلى عناصر محدودة بطول طلع 25mm حيث أن هذا التقسيم يعطي دقة مقبولة ويتناسب مع القدرات الحاسوبية المتاحة.



الشكل (18) مرحلة ال Mesh على برنامج على برنامج ABAQUS

### **:Job (h)**

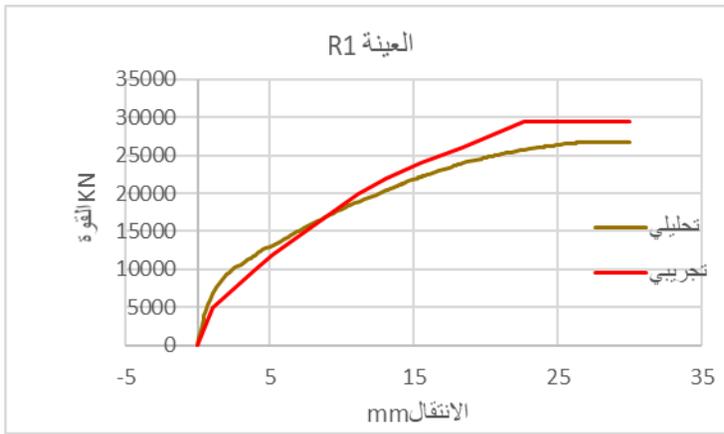
يتم في هذه المرحلة تحليل النموذج.

## Visualization (i)

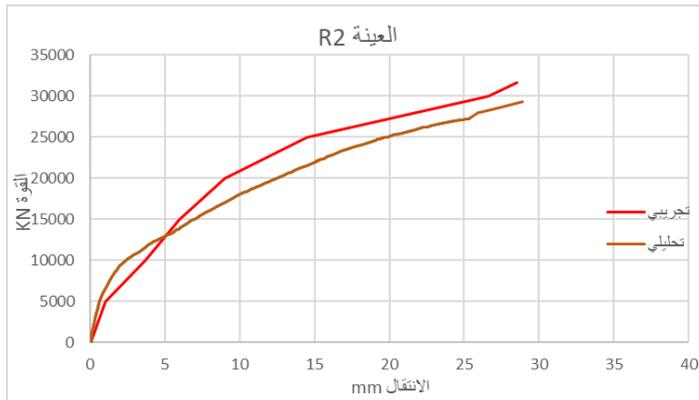
يتم في هذه المرحلة إظهار النتائج.

- نسبة مطابقة المعايير مع النماذج التجريبية:

قمنا برسم مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال للنماذج التجريبية ومقارنتها مع النماذج التحليلية ويظهر واضحاً وصول النموذج التحليلي إلى سلوك يشبه سلوك النموذج التجريبي وبالتالي أصبح جاهز لإجراء تغيير البارامترات عليه.



الشكل (19) مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال للعينة R1.



الشكل (20) مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال للعينة R2.

## 2-2-3 تفاصيل ونتائج المعايرة رقم (F1):

نموذج لعقدة بيتونية مسلحة مدعمة بالفيروسيمينت:

### • وصف النموذج:

تم أخذ العينة R1 ذات المقطع للعمود والجائز (250\*250mm) طول الجائز (1000mm)، وارتفاع العمود (1500mm).

التسليح الطولي للجائز 4T14 والعمود 6T14 والتسليح العرضي لكل من الجائز والعمود Ø6/8 cm وسماكة طبقة التغطية 25mm.

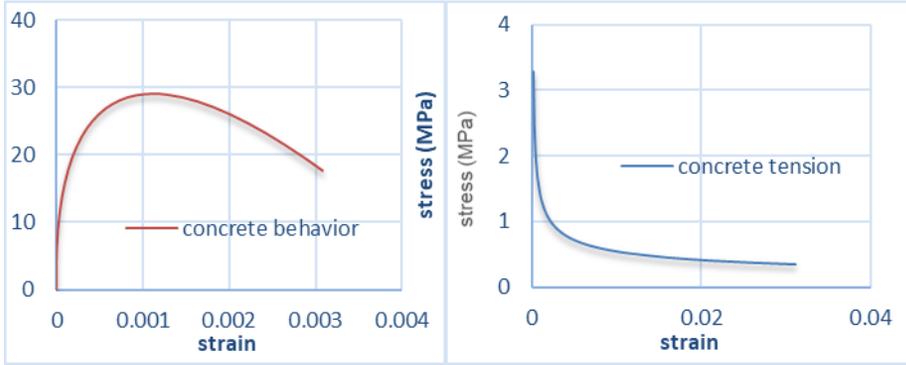
استخدمت طبقة واحدة من الشبك الفولاذي، قطر سلكه 2.5 mm وبفتحة مربعة أبعادها (25 \* 25 mm).

### • خواص المواد المستخدمة للتدعيم:

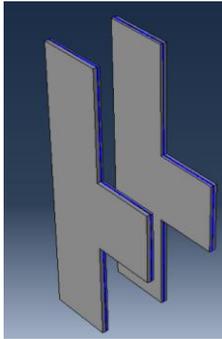
استخدمت نفس خواص مواد العينة R1 للبيتون وفولاذ التسليح أما الشبك الفولاذي إجهاد الخضوع له  $F_y=800\text{MPa}$ .

تم نمذجة السطح البيني بين البيتون وشبك الفيروسيمينت على البرنامج بمادة المونة الإسمنية بسماكة 2.5سم والمقاومة المستخدمة للمونة الإسمنتية على الضغط بعمر 28 يوم  $F_c = 29.1 \text{ MPa}$ .

☆ تم اعتماد الارتباط بين الشبك الفولاذي والمونة الإسمنتية على أنه Embedded region وارتباطهم مع العقدة Tie.



الشكل (21) منحنى سلوك المونة الإسمنتية.



Edit Material

Name: CONCRETE29

Description:

Material Behaviors

Density

Elastic

Concrete Damaged Plasticity

Concrete Compression Damage

Concrete Tension Damage

General Mechanical Thermal Electrical/M

Concrete Damaged Plasticity

Plasticity Compressive Behavior Tensile B

Use strain-rate-dependent data

Use temperature-dependent data

Number of field variables: 0

	Yield Stress	Inelastic Strain
7	26.90335771	0.000568301
8	28.14569981	0.000735299
9	28.86667918	0.000919498
10	29.1	0.001119786
11	28.96960602	0.001282559
12	28.58671546	0.001453663
13	27.96318156	0.001632707
14	27.11012705	0.001819322

Edit Material

Name: CONCRETE29

Description:

Material Behaviors

Density

Elastic

Concrete Damaged Plasticity

Concrete Compression Damage

Concrete Tension Damage

General Mechanical Thermal Electrical/M

Concrete Damaged Plasticity

Plasticity Compressive Behavior Tensile B

Type: Strain

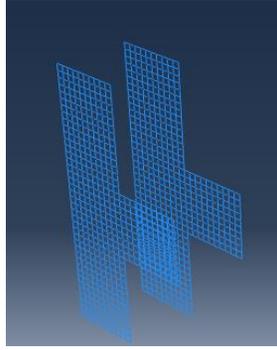
Use strain-rate-dependent data

Use temperature-dependent data

Number of field variables: 0

	Yield Stress	Cracking Strain
1	3.290609366	0
2	2.534281824	0.000124953
3	2.166768633	0.000237078
4	1.936629757	0.000344671
5	1.774240105	0.000450028
6	1.651308184	0.000554084
7	1.406722469	0.000862153

الشكل (22) تعريف سلوك المونة الإسمنتية على الضغط والشد على برنامج ABAQUS.



Name: FC  
Description:

Material Behaviors

Density  
Elastic  
Plastic

General Mechanical Thermal Electrical/Mag

Plastic

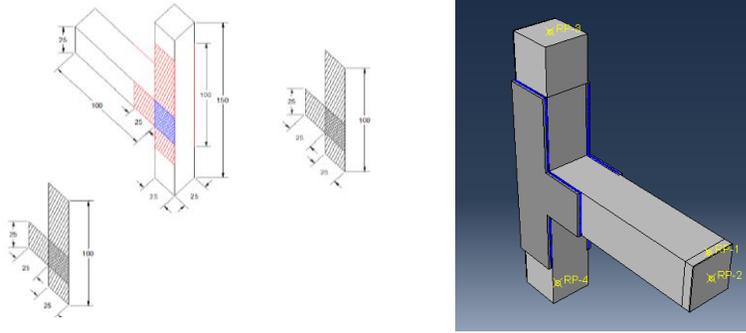
Hardening: Isotropic

Use strain-rate-dependent data  
 Use temperature-dependent data

Number of field variables: 0

	Yield Stress	Plastic Strain
1	800	0

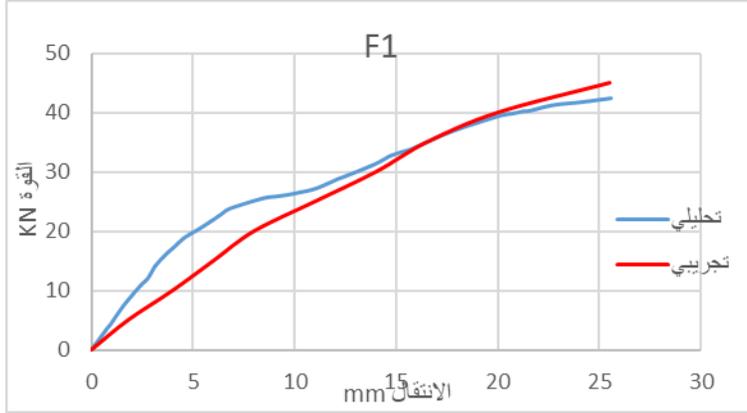
الشكل (23) تعريف سلوك مادة فولاذ الشبكة على برنامج ABAQUS.



الشكل (24) أسلوب تدعيم ونمذجة العقدة F1 ضمن برنامج ABAQUS.

• نسبة مطابقة المعايير مع النموذج التجريبي:

قمنا برسم مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال للنماذج التجريبية ومقارنتها مع النماذج التحليلية ويظهر تطابق بين النموذج التحليلي والنموذج التجريبي.



الشكل (25) مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال للعينة F1 .

## 2-2-4 تفاصيل ونتائج المعايرة رقم (F2):

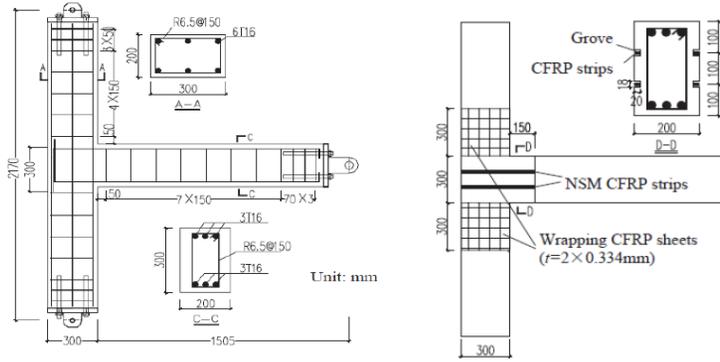
نموذج لعقدة بيتونية مسلحة مدعمة بال CFRP:

### • وصف النموذج:

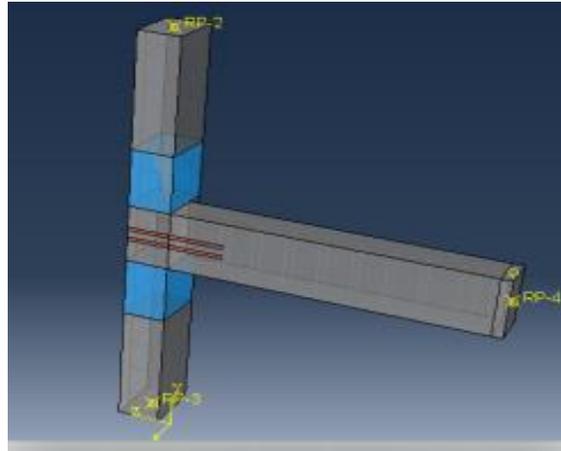
يتألف النموذج من عقدة (عمود جائز)، مقطع العمود والجائز mm (300\*200) طول الجائز mm (1500) ، وارتفاع العمود mm (2100) ، الشكل (26).

التسليح الطولي لكل من الجائز والعمود نفسه وهو: 6T16 والتسليح العرضي نفسه أيضا R6.5/150mm وسماكة طبقة التغطية t=30mm ماعدا التغطية الجانبية للجائز t=46mm لتجنب اصطدام تسليح الجائز بتسليح العمود.

تم تطويق طرفي العمود في منطقة اتصاله مع الجائز بلفتين من ألياف الكربون، كما تم حفر 4 خنادق (أثلام) بعمق 20mm وعرض 18mm على وجهي العقدة بشكل موازي للجائز وتستمر حتى مسافة 150mm بعيداً عن وجوه العمود.



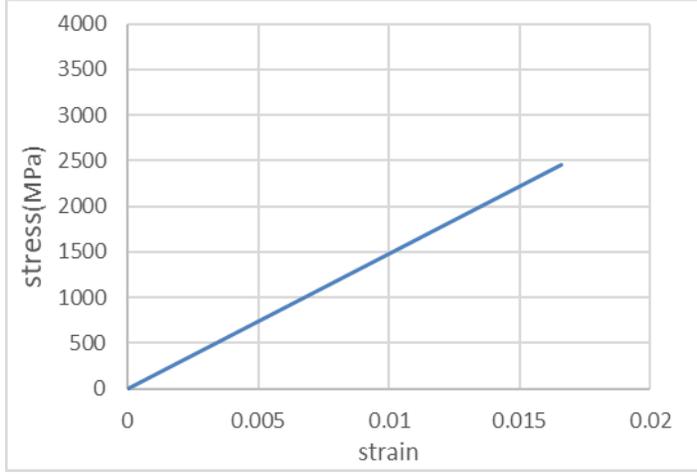
الشكل (26) أبعاد وتفاصيل تسليح وتدعيم العينة F2.



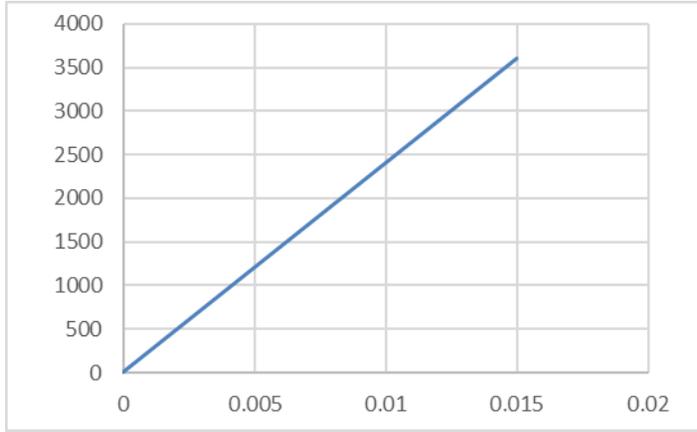
الشكل (27) يبين نمذجة العقدة F2 ضمن برنامج ABAQUS.

#### • خواص المواد المستخدمة:

إن سلوك البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية CFRP هو سلوك من خطي حتى الوصول إلى الانهيار، إذ إنها لا تدخل ضمن مرحلة اللدونة كما يوضح الشكل:



الشكل (28) تعريف سلوك الشدّ لشرائح الكربون.



الشكل (29) تعريف سلوك شدّ ألياف الكربون.

سماكة ألياف الكربون المستخدمة لتطويق العمود  $t=0.334$  mm ، واجهاد الشدّ الأعظمي الذي تتحمله  $\sigma_t=3600$  Mpa ، ومعامل المرونة  $E=240$  Gpa والتشوه عند الإنقطاع  $\epsilon_t = 1.5\%$  .

$E_{11} = 240 \text{ GPa}$	$E_{22} = 0.9 \text{ GPa}$	$E_{33} = 0.9 \text{ GPa}$
$G_{12} = 4800 \text{ MPa}$	$G_{13} = 4800 \text{ MPa}$	$G_{23} = 4500 \text{ MPa}$
$N_{12} = 0.34$	$N_{13} = 0.34$	$N_{23} = 0.34$

الجدول (2) الخصائص الميكانيكية لألياف الكربون.

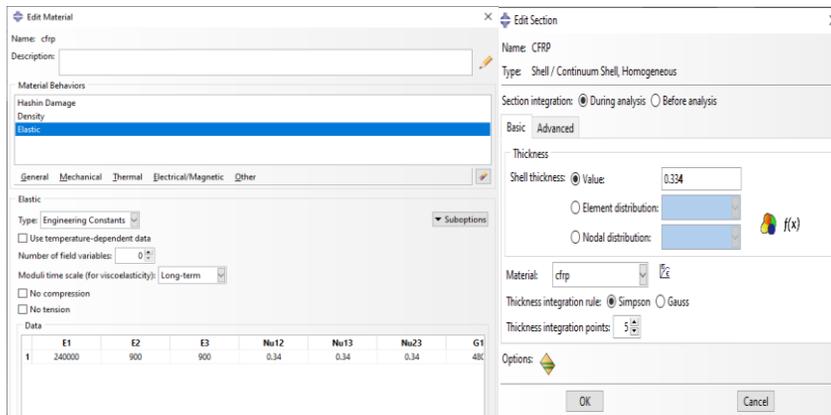
حيث:

$E_{11}$ : معامل المرونة باتجاه الألياف.

$E_{22}$   $E_{33}$ : معامل المرونة بالاتجاه العمودي على الألياف.

$G_{12}$   $G_{13}$   $G_{23}$ : معاملات المرونة على القص.

$N_{12}$   $N_{13}$   $N_{23}$ : معاملات بواسون.



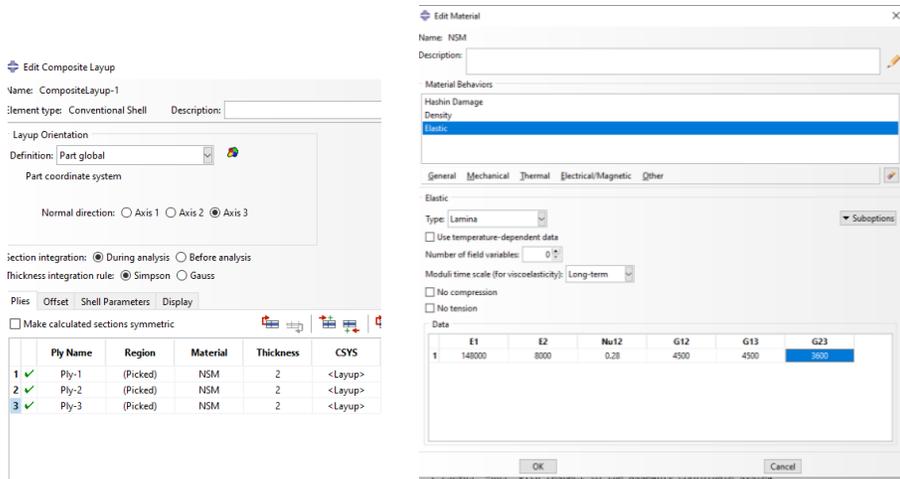
الشكل (30) تعريف سلوك ألياف الكربون على برنامج ABAQUS.

أما شرائح الكربون المستخدمة ذات سماكة 2mm وعرض 16mm، حيث يتوضع في كل خندق ثلاث شرائح مكونة قضيب كربون بسماكة 6mm (عرض شرائح الكربون 6mm + سماكة الغراء المحيط بها 2mm).

أجهاد الشد الأعظمي لشرائح الكربون المتموضعة قريباً من السطح (ضمن الخندق):

$\sigma_t = 2461 \text{ Mpa}$  ، ومعامل المرونة لها:  $E=148 \text{ Gpa}$  والتشوه عند الإنقطاع

$\epsilon_t = 1.66\%$



الشكل (31) تعريف سلوك شرائح الكربون على برنامج ABAQUS.

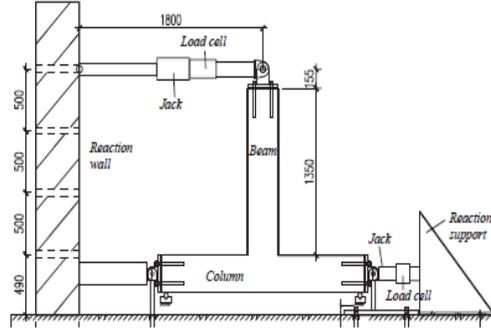
مقاومة الضغط لعينات البيتون الأسطوانية بعد 28 يوم:  $F_c=35.31 \text{ Mpa}$

أجهاد الخضوع لحديد التسليح: الطولي  $F_y=518 \text{ Mpa}$  ، العرضي  $F_y=400 \text{ Mpa}$

☆ تم اعتماد الارتباط بين البيتون وشرائح ال CFRP على أنه Tie ليحل محل مادة الايبوكسي في التجارب، أي ارتباط تام وذلك لعدم حصول انفصال بين البيتون والتدعيم.

• القوى المطبقة:

تم تدوير جميع العينات بزاوية 90 لسهولة الاختبار.

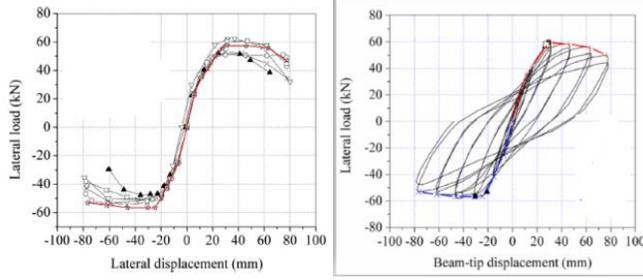


الشكل (32) طريقة إجراء التجربة.

تم تطبيق حمولة محورية على العمود قدرها 200 KN وهي مانتساوي 0.1Agf<sub>cu</sub> حيث Ag هي المساحة الاجمالية لمقطع العمود وتم الحفاظ على هذه الحمولة المحورية بواسطة رافعة هيدروليكية في أحد طرفي العمود. أما التحميل الجانبي الدوري تم تطبيقه على طرف الجائز باستخدام مشغل هيدروليكي افقي استطاعته 500KN وتم نقل القوة من المشغل الهيدروليكي للجائز بواسطة غطاء معدني الذي ثبت الى الطرف الحر للجائز من خلال اربع قضبان فولاذية قطرها 24mm.

تم إخضاع عينة الاختبار إلى دورتين من التحميل في كل مستوي من الإزاحات.

تم أخذ الحمل الجانبي Py من الدراسة المرجعية للعينة المدروسة ومن مخطط المغلفات أخذت الإزاحات المقابلة ومن ثم حساب  $\delta_y$  الوسطي لإزاحتي الخضوع.

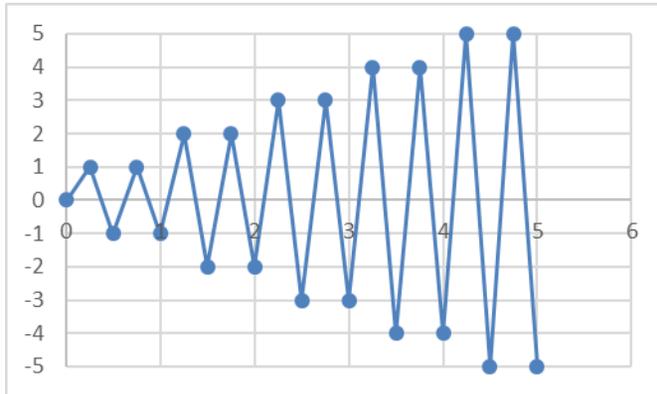


الشكل (33) مخطط (قوة-انزياح) الدوري والمغلف للعيينة المدروسة.

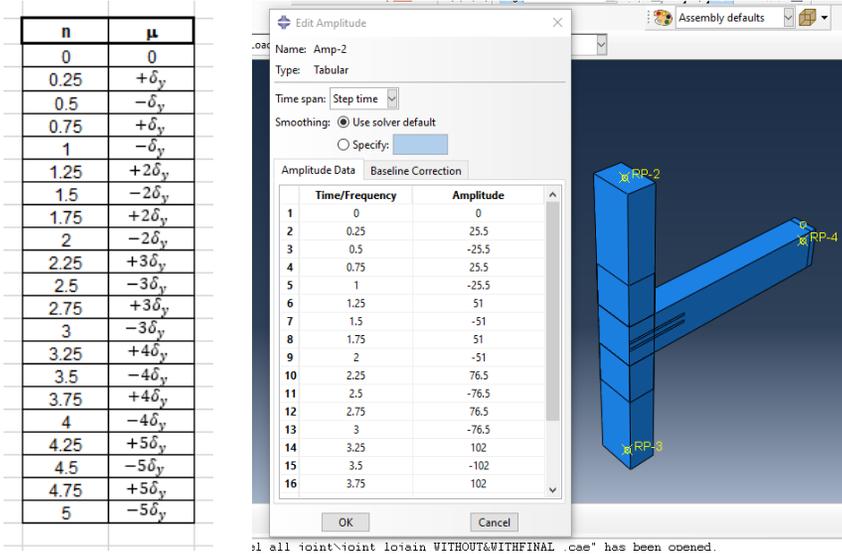
$$P_{y1} = +56.7 \text{ (KN)} \quad P_{y2} = -53 \text{ (KN)}$$

$$\delta_1 = +29 \text{ (mm)} \quad \delta_2 = -22 \text{ (mm)}$$

$$\delta_y = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} = \frac{29 + 22}{2} = 25.5 \text{ (mm)}$$



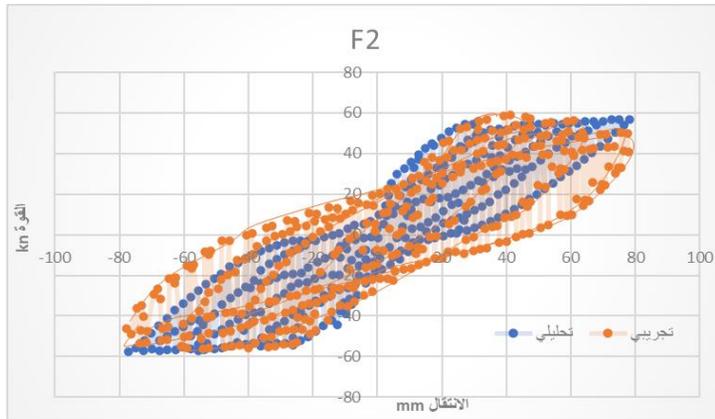
الشكل (34) نظام الحمولة الدورية الجانبية المطبقة على العينة.



الشكل (35) آلية تطبيق الحمولة الدورية على برنامج ال ABAQUS.

■ نسبة مطابقة المعايير مع النموذج التجريبي:

يبين الشكل التالي معايرة مخطط (قوة-انزياح) الدّوري للنموذج F2 ونلاحظ أن النتائج التحليلية أبدت تقارباً مع نتائج العمل المخبري كما هو مبين في الشكل (36).



الشكل (36) معايرة مخطط (قوة\_انزياح) الدوري للنموذج F2.

### 3. تصميم نماذج الدراسة وتحليلها:

تم دراسة نموذجين من العقد باختلاف مادة التدعيم وبنفس طريقة التدعيم:

النموذج الأول (Jf): وهي عقد مدعمة بالفيروسيمنت من جميع الجهات (بدون تسليح القص في منطقة العقدة).

النموذج الثاني (Jc): وهي عقد مدعمة بال CFRP من جميع الجهات (بدون تسليح القص في منطقة العقدة).

#### الفرضيات التصميمية للنماذج:

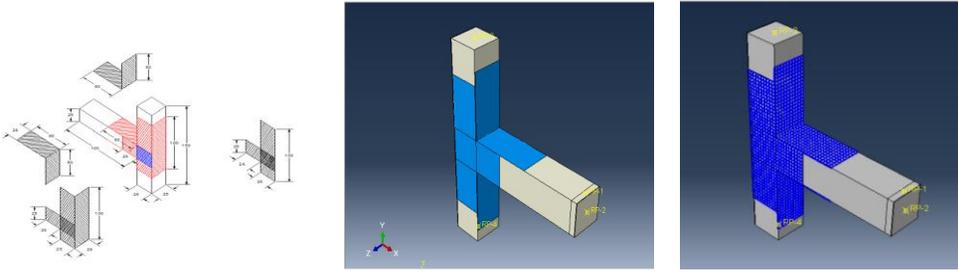
بعد أن تم إثبات قدرة النماذج التحليلية السابقة المذكورة في الفقرة (2-2) على توصيف سلوك النماذج التجريبية بشكل مقبول، تم اعتمادها لتوصيف نماذج الدراسة حيث تم اعتماد: (سلوك البيتون على الشد والضغط، سلوك فولاذ التسليح، سلوك الشبك الفولاذي للفيروسيمنت، سلوك المونة الإسمنتية) نفسه للنموذج F1 و R1 ، (سلوك ألياف الكربون على الشد) نفسه للنموذج F2 إلا أنه تم اعتماد الألياف على أنها متوضعة باتجاهين بشكل متعامد لتشابه توضع اسلاك شبك الفيروسمنت ومعامل المرونة بالإتجاهين  $E_1=E_2=240 \text{ GPa}$ .

- المقاومة الأسطوانية للبيتون على الضغط بعمر 28 يوم  $F_c = 22.21 \text{ MPa}$ .
- إجهاد الخضوع لحديد التسليح: الطولي:  $F_y=480 \text{ MPa}$ ، العرضي:  $=326 \text{ MPa}$ .
- $F_c$ ، ومعامل مرونتهما  $E=210 \text{ GPa}$ .

■ استخدمت طبقة واحدة من الشبك الفولاذي، قطر سلكه 2.5 mm وبفتحة مربعة أبعادها (25 \* 25 mm)، إجهاد الخضوع له  $F_y=800\text{MPa}$ .

■ المقاومة المستخدمة للمونة الإسمنتية على الضغط بعمر 28 يوم  $F_c = 29.1 \text{ MPa}$  وسماكتها 2,5cm.

■ سماكة ألياف الكربون المستخدمة  $t=0.334 \text{ mm}$ ، وإجهاد الشد الأعظمي الذي تتحمله  $\sigma_t=3600 \text{ MPa}$ ، ومعامل المرونة  $E_1 = E_2=240 \text{ GPa}$ .

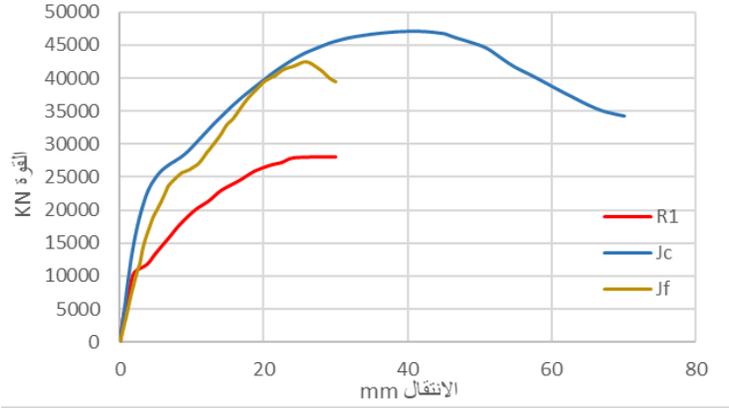


الشكل (37) طريقة التدعيم لكل من الفيروسيمنت و CFRP في النماذج المدروسة.

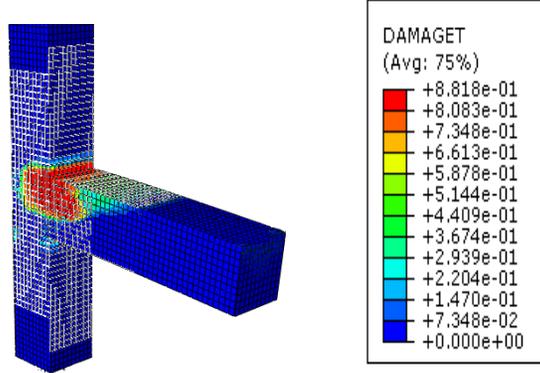
بالمقارنة مع R1		الانتقال الموافق تحليلياً	الحمولة الأعظمية تحليلياً	النموذج
$\Delta\delta$	$\Delta\rho$	(mm) $\delta$	(KN) $P_{max}$	
		30	27.9	R1
17.2%	52%	25.6	42.5	Jf
36.7%	68.5%	41	47	Jc

الجدول (3)

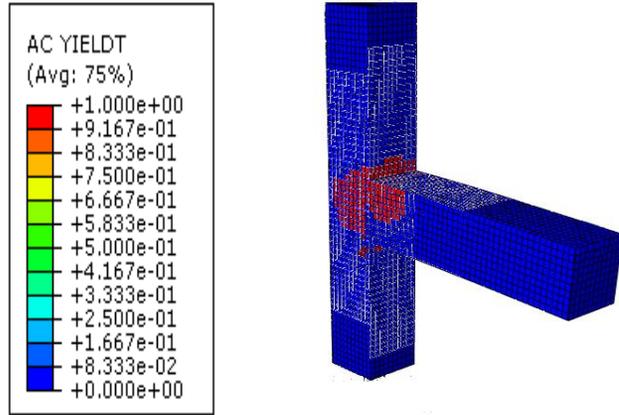
نلاحظ من الجدول (3) أن التدعيم بال CFRP زاد من صلابة العقدة أكثر من التدعيم بالفيروسيمنت، ويظهر في الشكل (38) أن المساحة المحصورة بمنحني انتقال-حمولة للعقدة المدعمة بال CFRP أكبر من المساحة المحصورة في منحنى انتقال-حمولة للعقدة المدعمة بالفيروسيمنت.



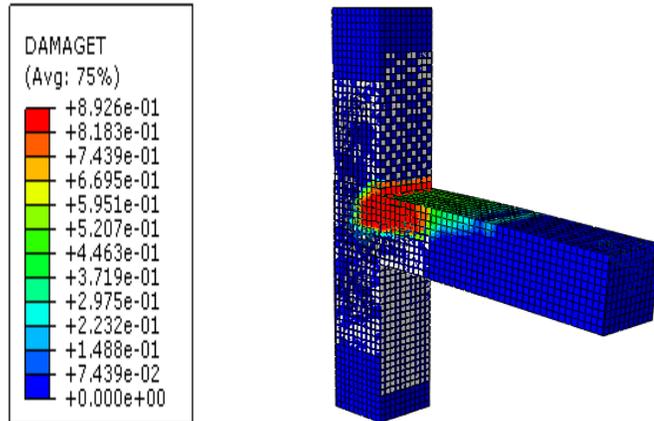
الشكل (38) مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال لذات العينة مع اختلاف مادة التدعيم والمقارنة مع العينة المرجعية.



الشكل (39) الضرر (التشقق في منطقة الشد) في نموذج العقدة المدعمة بالفيروسيمنت من جميع الجوانب (Jf).

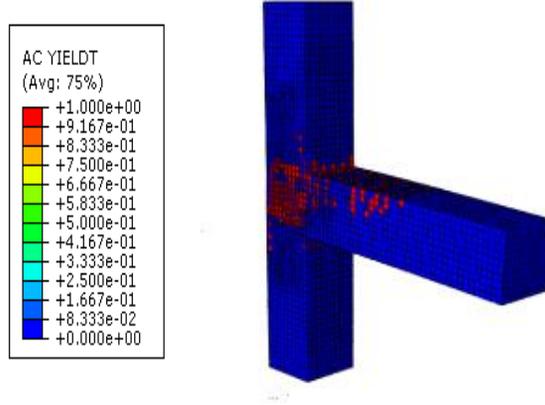


الشكل (40) شكل وتوزع الشقوق في العقدة المدعمة بالفيروسيمنت من جميع الجوانب (Jf).



الشكل (41) الضرر (التشقق في منطقة الشد) في نموذج العقدة المدعمة بال CFRP

من جميع الجوانب (Jc).



الشكل (42) شكل وتوزع الشقوق في العقدة المدعمة بال CFRP من جميع الجوانب (Jc).

مقارنة الاقتصادية بين طريقة التدعيم بال CFRP والتدعيم بالفيروسيمنت:

لابد من أخذ عامل التكلفة بعين الاعتبار للحكم على أفضل مادة لتدعيم العقد، الجدول (4) يوضح سعر كل مادة بالمتري وتكلفة تدعيم العقدة بمادتي التدعيم:

النموذج	مساحة التدعيم (m2)	سعر المتر المربع (\$)	التكلفة (\$)
Jf	15	7	105
Jc	15	18	270

الجدول (4)

← ملخص المقارنة: نلاحظ أن مادة ال CFRP أعلى من الفيروسيمنت بنسبة تصل إلى 61%، وبالتالي فإن مادة الفيروسيمنت هي الأكثر اقتصادية في تدعيم العقد.

### مقارنة بين تقنيات التنفيذ لكل من ال CFRP والفيروسيمنت:

#### ▪ تقنية تنفيذ التدعيم بال CFRP:

1. تنظيف الطبقة السطحية من العقدة بالماء أو الهواء المضغوط ويتم ذلك لإزالة الطبقات الضعيفة من سطح العقدة حتى الوصول إلى سطح بيتوني قوي ويتم ذلك باستخدام الصواريخ أو السفاح الرملي، في حال تم الكشف عن وجود تعشيش في أوجه العقدة يتم إملاته بالمونة الإسمنتية وتسويتها.



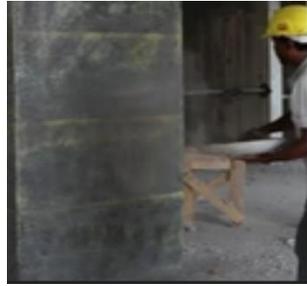
الشكل (43) تنظيف الطبقة السطحية للعقدة.

2. يتم فرد المادة الإيبوكسية اللاصقة على السطح البيتوني في الأماكن التي سيتم تركيب الألياف وتثبيتها بالضغط عليها برفق.



الشكل (44) تركيب الألياف البيتونية وتثبيتها على العقدة.

3. يمكن إعادة تنفيذ طبقة من المادة الإيبوكسية فوق الألياف مباشرة بعد الانتهاء من تثبيت الألياف الكربونية ومن ثم رشها برمل الكوارتز.



الشكل (45) رش رمل الكوارتز.

#### ■ تقنية تنفيذ التدعيم بالفيروسيمنت:

1. بعد الإنتهاء من صب العقد البيتونية المسلحة وفك القالب الخشبي تبدأ مرحلة تجهيز سطوح العقد حيث يتم تخشين سطوح العقد تحضيراً لعملية التدعيم وذلك باستخدام الجلخ الكهربائي وتشكيل أثلام بعمق حوالي (10mm) وعرضها حوالي (4mm)، أما بالنسبة لشكل التخشين فيكون على شكل معينات وتباعدات الشقوق فيما بينها حوالي (50mm) وبشكل متعامد مع بعضها البعض.



الشكل (46) تخشين سطوح العقد البيتونية المسلحة

2. قص الشبك المعدني بأشكال مناسبة لنماذج التدعيم المقررة في البرنامج التجريبي، ويبين الشكل (47) الشبك المعدني المستخدم في زوايا العقد.



الشكل (47) الشبك المعدني المستخدم في زوايا العقد

3. غسل السطوح المخشنة مسبقاً بالماء جيداً للتخلص من الغبار، وتحضير المونة الإسمنتية اللازمة للفيروسمنت وتجهيز الشبك المناسب للوجه المراد تدعيمه.

تحضير الروبة الإسمنتية مع مادة ال (SBR) كمادة رابطة وتطبيقها على السطوح الجافة والمخشنة مسبقاً باستخدام الرش والدهان بفرشاة مناسبة مع مراعاة التغطية الكاملة للسطوح المراد تدعيمها .

4. يتم وضع رابطتين قص (قضبان فولاذية قطر 6mm بشكل حرف L) عند كل طرف للشبك وذلك بعد تنظيف الثقوب باستخدام الهواء المضغوط، ومن ثم حقن الإيبوكسي ضمن الثقوب مع تغليف كامل محيط رابط القص بالإيبوكسي .

5. وضع الشبك المعدني ومن ثم دهان الشبك وروابط القص بالروبة الإسمنتية لزيادة فعالية التماسك مع المونة .

6. تطبيق المونة الإسمنتية باستخدام معدات التليس مع الضغط والرج البسيط للشبك لضمان تخللها عبر فتحاته وملئها لفراغات الشقوق، ومن المهم أن يجري ذلك قبل جفاف الروبة أي باستخدام تقنية (رطب على رطب) .

7. إنهاء التدعيم عبر تسوية سطح المونة المطبقة، ومن ثم ترطيب العقد وسقايتها بالماء لمدة 28 يوماً .



الشكل (48) مراحل تنفيذ التدعيم

#### ← ملخص المقارنة:

- نلاحظ أن التدعيم باستخدام ال CFRP يحتاج إلى لمهارة ودقة في التركيب وذلك لكونها رقيقة فهو بحاجة لأيدي خبيرة، بخلاف الفيروسيمنت فهو سهل وسريع التركيب.

#### 4. النتائج:

- 1) حققت تقنية التدعيم بالفيروسمنت زيادة في قدرة تحمل العقدة البيتونية بنسبة 52% للنموذج الغير حاوي على تسليح قص في منطقة العقدة.
- 2) حسنت تقنية التدعيم بال CFRP من قدرة تحمل العقدة البيتونية بنسبة 68.5% للنموذج الغير حاوي على تسليح قص في منطقة العقدة.
- 3) تفوق تدعيم ال CFRP على التدعيم بالفيروسمنت بزيادة قدرة تحمل العقدة غير الحاوية على تسليح قص في منطقة العقدة بنسبة 10.6%.
- 4) حسن التدعيم بال CFRP من ممتولية العقدة مقارنة مع العقدة المدعمة بالفيروسيمنت والعقدة غير المدعمة، وهذه الخاصية لها انعكاس إيجابي كبير على كفاءة العقدة لمقاومة القوى المطبقة، تبين ذلك من خلال انهيار العينة المقواة بال CFRP بشكل انهيار مطواع ( Ductile Failure ) وهذا واضح من خلال المساحة الكبيرة المحصورة بمنحني انتقال-حمولة عند نهاية الإختبار بالمقارنة مع شكل انهيار للعينة المدعمة بالفيروسيمنت والعقدة غير المدعمة.

5) حققت طريقة التدعيم المدروسة في جميع أنماط التدعيم المستخدمة، تحسن في سلوك العقد المدعمة بالفيروسمنت وال CFRP مقارنةً بالعقد غير المدعمة. فقد انتقلت الشقوق من العقدة إلى الجائز، وحدث الانهيار في الجائز وبقاء منطقة العقدة سليمة بدون حصول أي تخريب أو شقوق وهذا يؤكد فعالية التدعيم في حماية العقدة وتأمين نموذج انهيار أكثر أماناً في المنشآت البيتونية.

6) حقق كل من طريقتي التدعيم نتيجةً متقاربة في زيادة المقاومة للعقدة وكان الفاصل في الحكم هو المطاوعة والتكلفة وسهولة التنفيذ، حيث تفوق ال CFRP بالمطاوعة على الفيروسمنت بينما الفيروسيمنت تفوق على نظيره بالإقتصادية وسهولة التنفيذ.

## المراجع العلمية:

### المراجع الأجنبية:

**1-** SHARMA.A; GENESIO.G; REDDY.G. R; ELIGEHAUSEN.R; PAMPANIN.S,2007- "EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON SEISMIC RETROFITTING OF REINFORCED CONCRETE BEAM COLUMN JOINTS ", Department of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand ,10P.

**2-** C.Ershad "BEHAVIOUR OF FIBRE REINFORCED POLYMER CONFINED REINFORCED CONCRETE COLUMNS UNDER FIRE CONDITION" ،Kingston, Ontario, Canada,2009.

**3-** ACI Committee 440. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures; ACI 440.2R-08 American Concrete Institute: Farmington Hills, MI, USA, 2008.

**4-** Mile Bezbradica, "Analysis Of Ferrocement And Textile Reinforced Concrete For Shell Structures ", Department Of Construction Sciences Division Of Structural Mechanics Isrn Lutvdg/Tvsm-15/5207-Se (1-65) Issn 0281-9766.

**5-** Venkatesan, B., and R. Ilangovan. "Structural behaviour of beam column joint retrofitted with Ferrocement laminates." Int J Adv Engg Tech/Vol. VII/Issue II/April-June 1272 (2016): 1280.

**6-** Wang G.L, Dai J.G, Bai Y.L, 2019 – "Seismic retrofit of exterior RC beam column joints with bonded CFRP reinforcement: An experimental study", Compos. Struct, Vol. 224, No. 111018.

**7-** Saqan, E.I., Rasheed, H.A., Alkhrdaji, T." Evaluation of the seismic performance of reinforced concrete frames strengthened with CFRP fabric and NSM bars", Composite Structures (2017), doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.10.069>.

## المراجع العربية:

8- الملحق (4) للكود العربي السوري لتصميم المنشآت وتنفيذها بالخرسانة المسلحة، دمشق 2016، نقابة المهندسين، الطبعة الأولى.

9- الخضور، حيدر، 2023، "دراسة تجريبية لعقدة جأز-عمود بيتونية طرفية مدعمة بالفيروسمنت". كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث، سوريا.

# دراسة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة الضعيفة على القصّ والمُدعمة بالفيروسمنت

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 بالفيروسمنت إحدى الخيارات المهمة في هذا المجال.

وعليه يقدّم هذا البحث دراسةً تجريبيةً لتحديد مدى فعالية التدعيم بتقنية الفيروسمنت لجوائز بيتونية مسلحة ضعيفة على القصّ، إذ تم اختبار ثلاثة جوائز مرجعية غير مُدعمة للمقارنة معها، كما تم اختبار ثمانية جوائز أخرى مُدعمة بالفيروسمنت، 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 هندسي 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 الطّريقة المُتبّعة أظهرت تحسّناً ملحوظاً في مطاوعة الجوائز المُدعمة وتأخير انهيارها على القص من خلال مقاومة أعلى للحمولات المطبقة وتوزيعها بشكل جيّد بالمقارنة مع الجوائز المرجعية، واستعادة قدرة تحمّل 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 النّتائج بشكل ملحوظ، كما أنّ الجوائز المُدعمة بثلاث طبقات من الشبّك زادت قدرة تحمّلها 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.

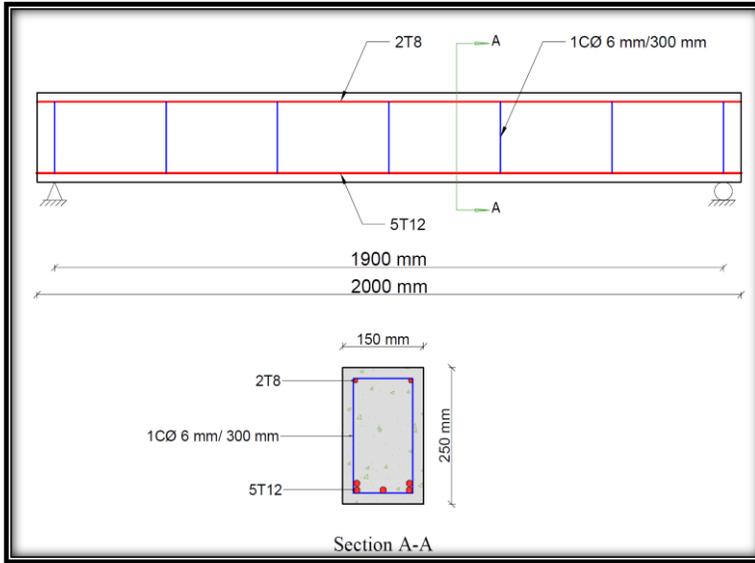


الشكل (1) متغيّرات البحث المدروسة

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 المُدعّمة 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 عشرَ جائزاً بيتونياً مسلحاً بأبعاد (150×250×2000)mm وبتسليح سفلي 5T12mm وتسليح علوي 2T8mm وتسليح عرضي على القصّ أساور  $1\Phi 6\text{mm}/300\text{mm}$ ، 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 Y: 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 النّتائج 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 ( $\text{Kg/m}^3$ )	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

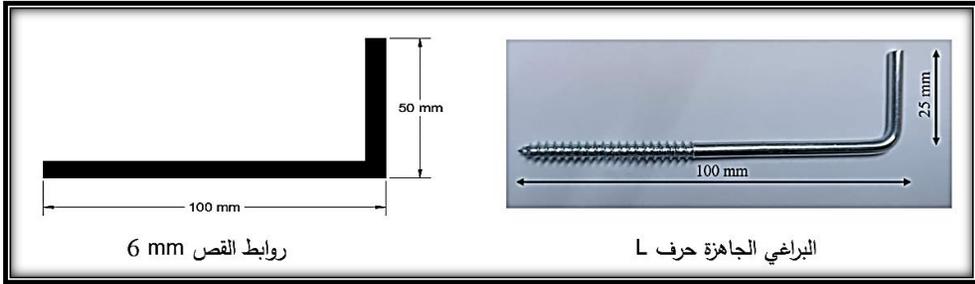
$$f'_c = 20 \text{ MPa}$$

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 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 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.



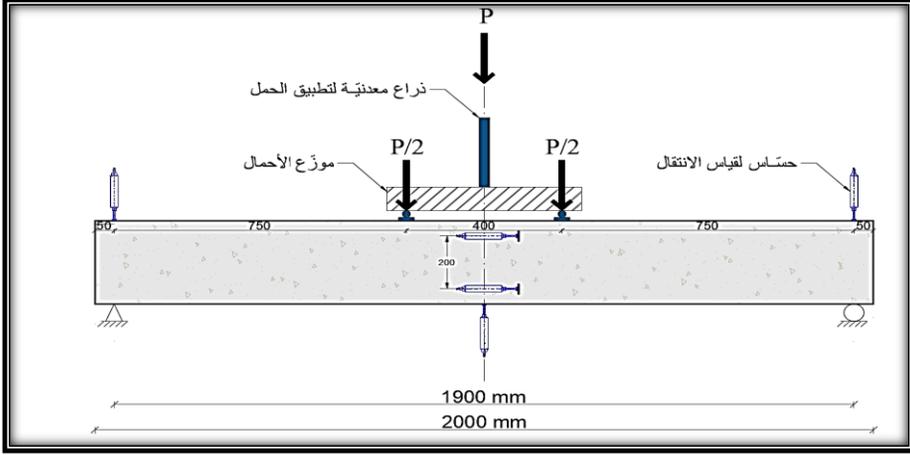
الشكل (3) أشكال وأبعاد روابط القص المستخدمة

### 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 السطوح التي 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 السقف، فقمنا بالاستعاضة عن التثبيت بالسقف بالواقع العملي بإحاطة كامل محيط الجائز مخبرياً.
- 3- إجراء النّقوب الخاصّة بزرع روابط القصّ، حيث أنّ قطر النّقوب من أجل روابط القص 6 mm هو 8 mm، ومن أجل البراغي الجاهزة هو 6 mm، في حين أنّ عمق النّقوب بالنسبة لروابط القص 6 mm والبراغي 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 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، 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.

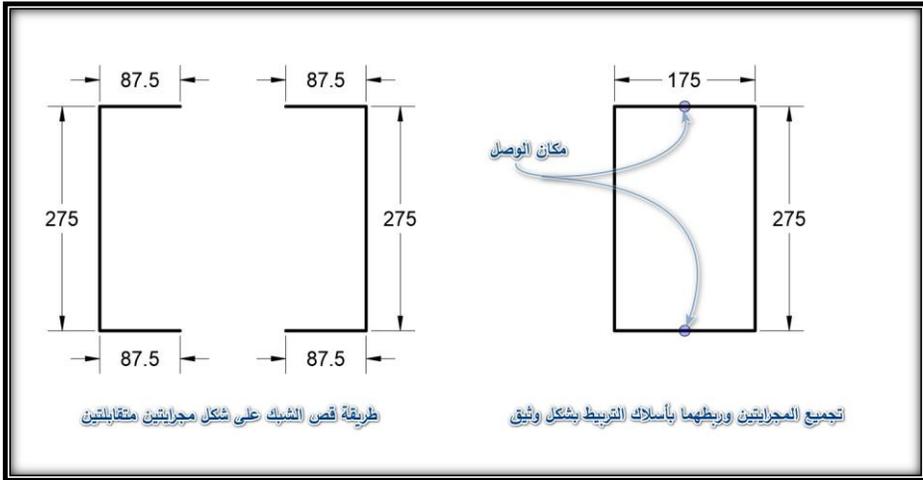


الشكل (7) شكل انهيار الجوائز المرجعية غير المُدعّمة

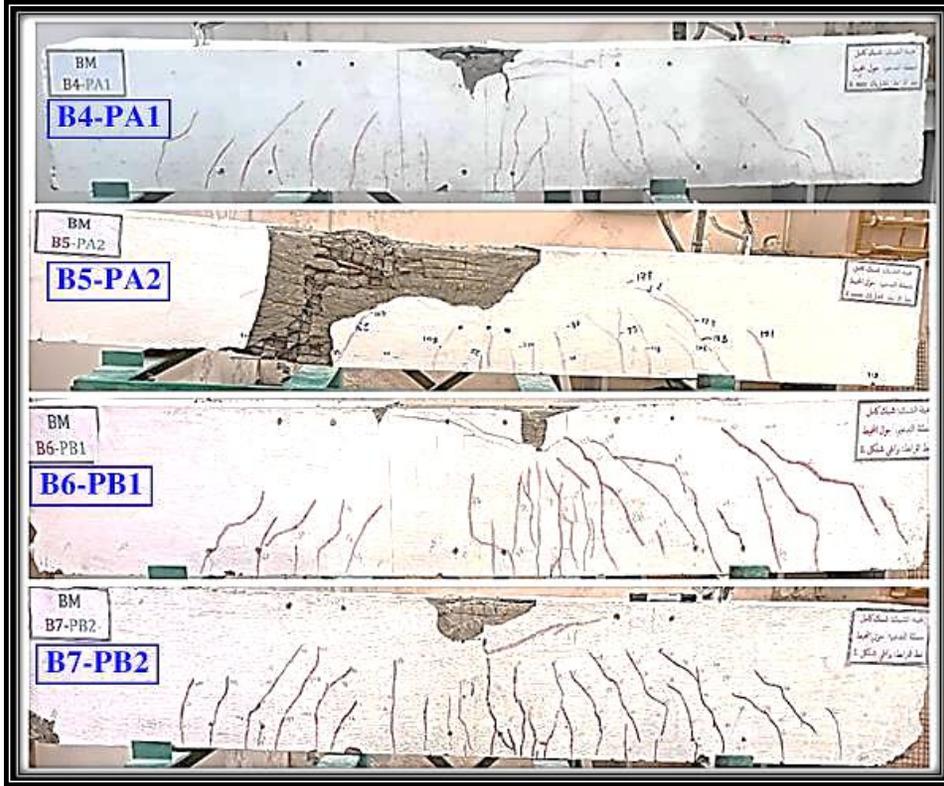
#### 1-4 وصف طريقة انهيار الجوائز المُدعّمة حول محيطها:

لُوحيَ حدوث أول شقّ في منطقة وسط المجاز عند الحمولة (49 و 46 و 52 و 64)KN 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 السّهم 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

الترتيب. 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 التّريبط 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 قصّ الشبك للجوائز المُدعمة حول محيطها

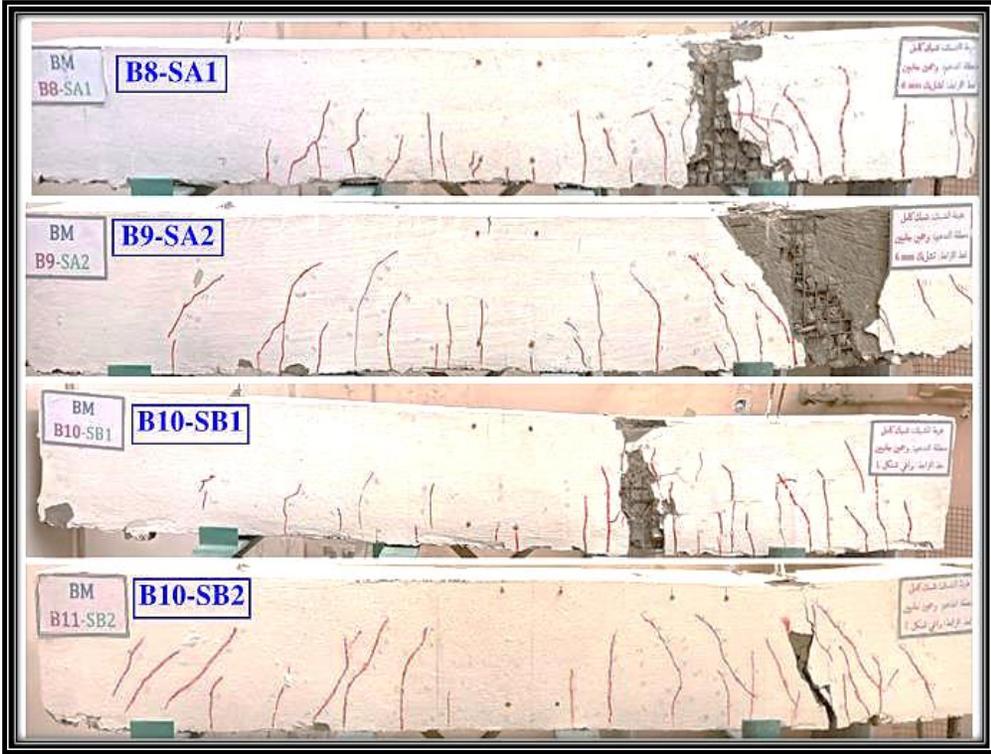


الشكل (9) شكل انهيار الجوائز المُدعّمة حول محيطها

#### 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

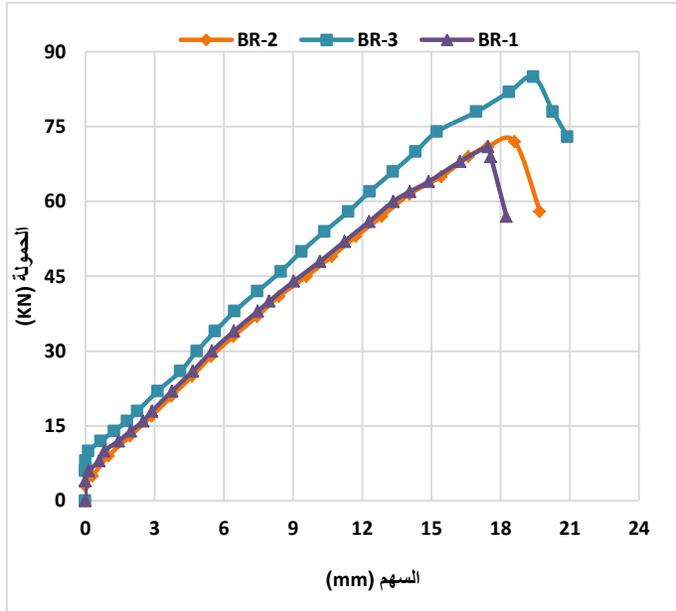
رئيسي مائل يظهر بشكل شاقولي على طبقة الفيروسمنت الخارجية ممّا اضطرنا لتكسير طبقة الطينة الإسمنتية والتأكد من وجود الشق المائل القصي في بيتون الجائر الأصلي؛ والسبب في تقديرنا وراء ظهور شق شاقولي على طبقة الطينة الإسمنتية هو انفصال بعض أسلاك الشبك عن بعضها مكان الشق بسبب عيب في التصنيع أو حدوث خلل عند 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.



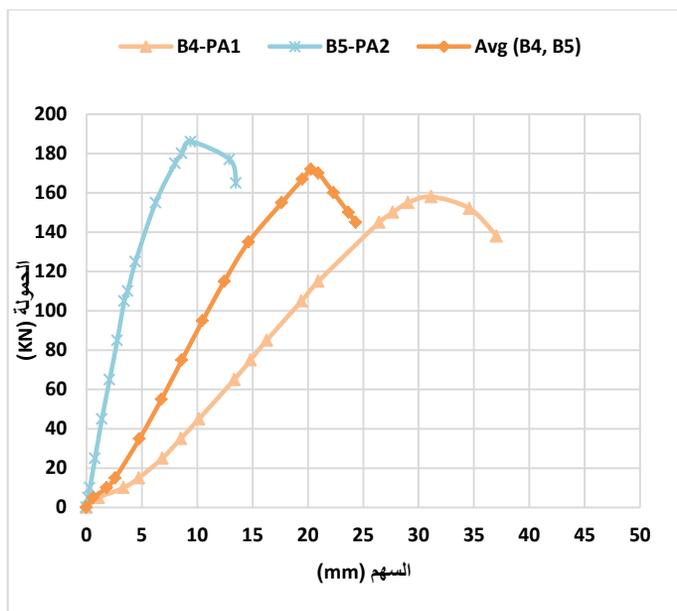
الشّكل (10) شكل انهيار الجوائز المُدعّمة على الوجهين الجانبيين

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

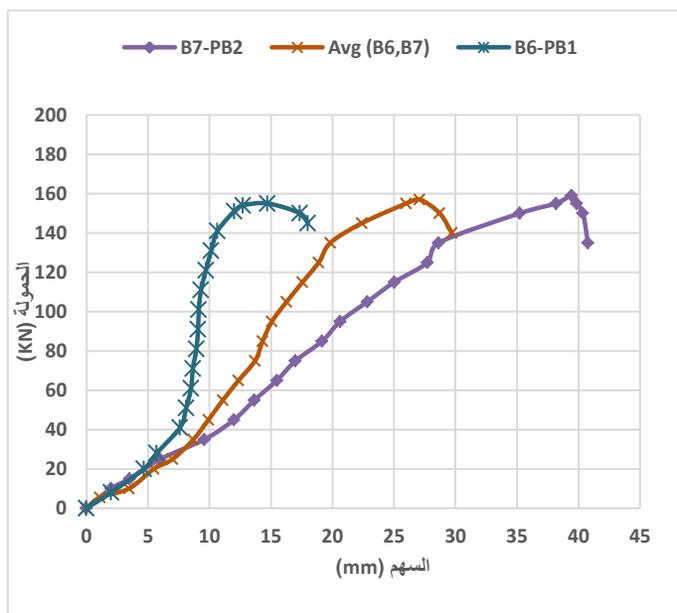
تمّ رسم منحنى (الحمولة - السهم وسط المجاز) لكل جائزين متشابهين في أسلوب التّدعيم مع رسم المنحنى الوسطي لهما وذلك لكل الجوائز المُدعّمة، مع رسمه أيضاً للجوائز المرجعيّة غير المُدعّمة مع الوسطي لها، مثلما تبين الأشكال من (11) إلى (15).



الشكل (11) منحنى (الحمولة - السهم وسط المجاز) للجوائز المرجعيّة 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 تم تنظيم الجدول (4) الذي يبين قيم عامل المطاوعة للجوائز المرجعية غير المدعمة والجوائز المدعمة مع القيم الوسطية لعامل المطاوعة.

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

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:

تم حساب الحمولة الموافقة للسهم المسموح حسب اشتراطات الكود العربي السوري [7] للجوائز المُختبرة ومقارنتها مع الحمولة الموافقة لنفس السهم للجوائز المرجعية غير المدعمة، وتم 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 المُدعمة مع الجوائز المرجعية غير المُدعمة

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 المُدعمة مع الجوائز المرجعية غير المُدعمة

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)

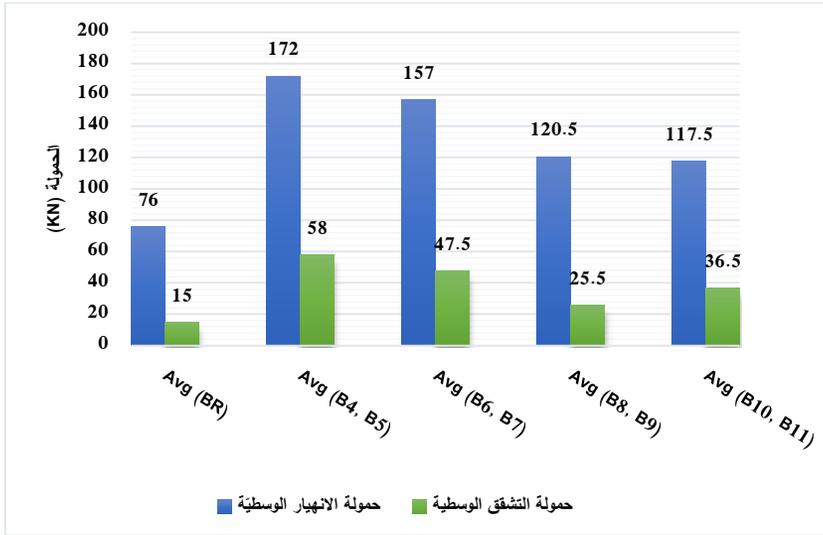
نستنتج مما سبق أنّ تقنيّة التّدعيم حول محيط الجائز قد زادت من مقاومة الجوائز غير المُدعّمة بشكل كبير، ولا سيّما الجوائز التي أُستخدمت فيها روابط القصّ 6 mm؛ إذ أنّها زادت كلاً من وسطي حمولة التشقق ووسطي حمولة الانهيار ووسطي عامل المطاوعة بحوالي (287% و 126% و 46%) على التّرتيب مقارنةً بالجوائز المرجعية غير المُدعّمة، وبحوالي (22% و 10% و 22%) على التّرتيب مقارنةً مع الجوائز التي أُستخدمت فيها البراغي الجاهزة حرف L، ولكنّها في نفس الوقت خفّضت من وسطي السّهم بحوالي (34%) بالمقارنة بالجوائز التي أُستخدمت فيها البراغي الجاهزة حرف L؛ والسبب في تقديرنا هو أنّ روابط القصّ 6 mm كانت أكثر كفاءةً في تثبيت الشّبك في مكانه من البراغي الجاهزة حرف L على اعتبار أن طول ضلعها المعكوف أكبر مرّتين من مثيلها في البراغي الجاهزة، ولا سيّما في المنطقة السفلية من الجائز مكان الوصلة بين جزئي الشّبك 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 تقنيّة التّدعيم على الوجهين الجانبيين قد زادت من مقاومة الجوائز غير المُدعّمة 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 المُدعّمة وبحوالي (43%) مقارنةً بالجوائز ذات نمط ترابط روابط قصّ 6 mm؛ والسبب في رأينا هو أنّ البراغي كانت أكثر كفاءةً في تثبيت الشّبك في مكانه من روابط القصّ 6 mm مما أحرّ ظهور التشققات. فيما يتعلّق بحمولة الانهيار الوسطية فقد أدّى استخدام نمط روابط القصّ 6 mm لزيادتها بحوالي (59%) مقارنةً بالجوائز المرجعية غير المُدعّمة وبفارق بسيط حوالي (3%) عند استخدام البراغي الجاهزة حرف L كنمط ترابط، وأبدت الجوائز المُدعّمة بنمط ترابط براغي جاهزة حرف L سهوماً أكبر من الجوائز المرجعية غير المدعمة بحوالي (62%) ومن الجوائز المُدعّمة

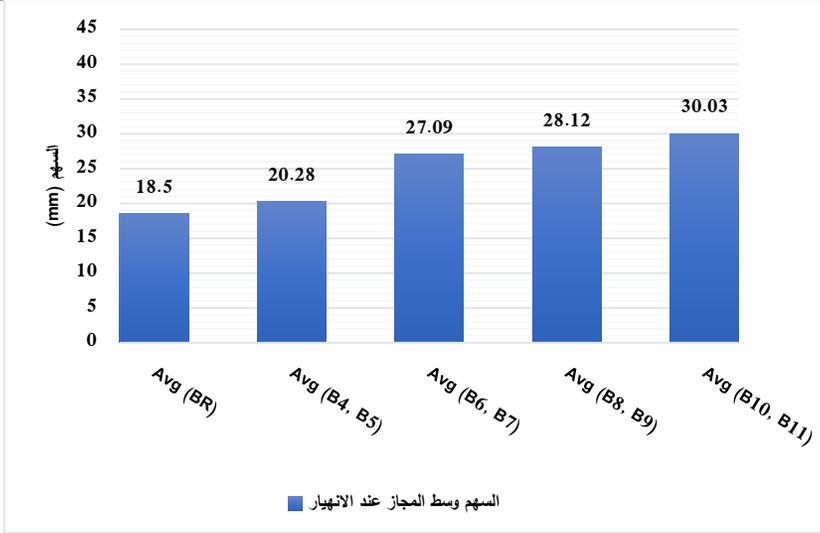
بنمط ترابط روابط قص 6mm بحوالي (7%)، في حين أنّه بالنسبة لعامل المطاوعة فإنّ كلا التّمطين لم يقدّما أي مساهمة فعّالة فيما يخصّ رفع قيمة عامل المطاوعة.

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

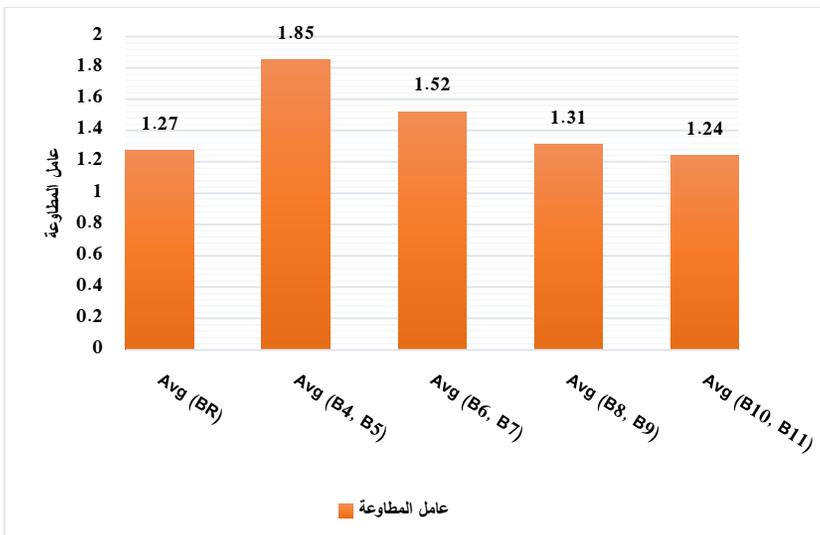
تبين الأشكال (15) و(16) و(17) و(18) المقارنة بين نتائج الجوائز المُدعّمة حول محيطها وبين نتائج الجوائز المُدعّمة على الوجهين الجانبيين، من حيث كل من وسطي حملتي التشقق والانهييار، ووسطي السهم وسط المجاز عند الانهييار، ووسطي عامل المطاوعة، والحمولة الموافقة للسهم المسموح على الترتيب.



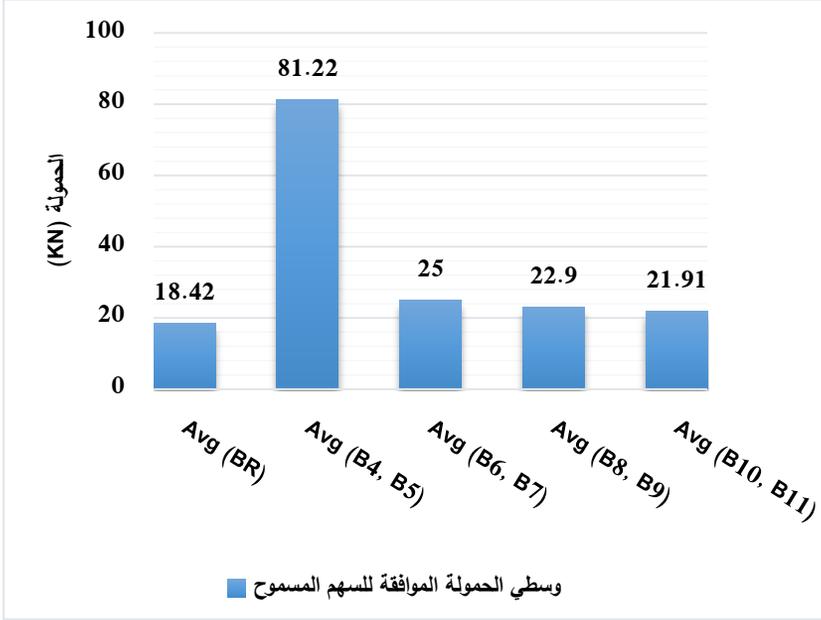
الشكل (15) مقارنة وسطي حملتي التشقق والانهييار للجوائز المُختبرة



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 الجوائز 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.