

# 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 جائز- 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، جائز، 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 للانهايار الإطارات 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 وانهايار 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

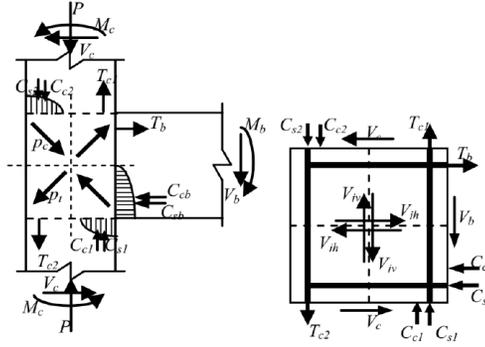
المدعمة والمدعمة بال CFRP والفيروسيمنت تحليلياً والمقارنة بينها.

### 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 فأي 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 بتوصّف 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 كمواد 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 أولياً 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).

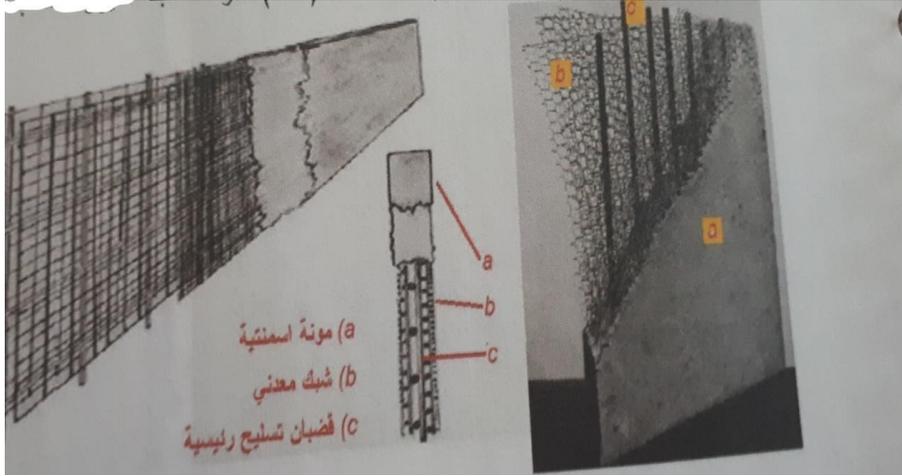
#### تعريف الفيروسمنت:

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 ب4T14.

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] :

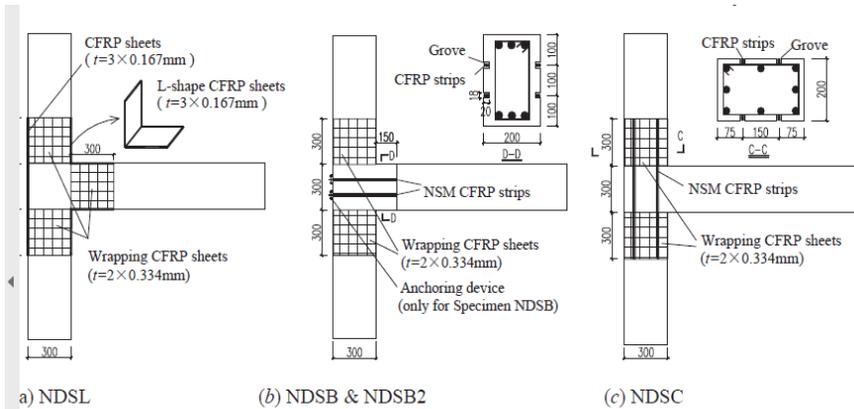
“Seismic retrofit of exterior RC beam-column joints with bonded CFRP “

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.

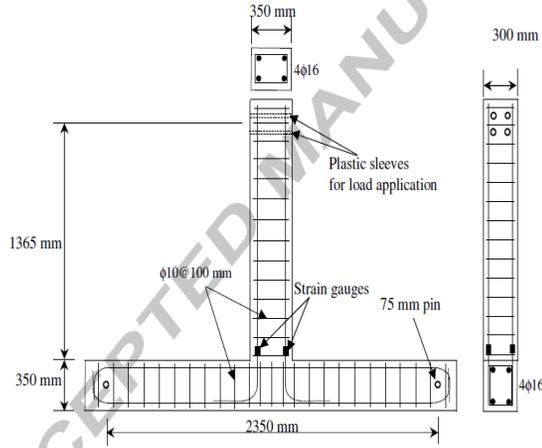
وكانت النتائج كما يلي:

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]:

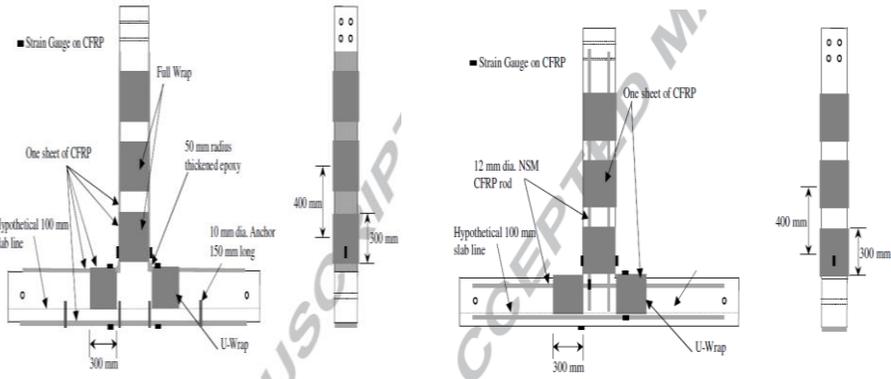
#### **Evaluation of the seismic performance of reinforced concrete frames strength-ened with CFRP fabric and NSM bars**

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.

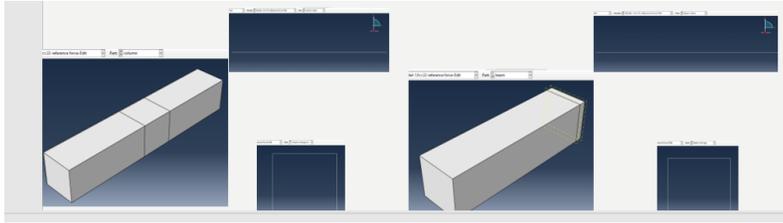
## 2-2-1 تفاصيل ونتائج المعايرة رقم (R2+R1):

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).

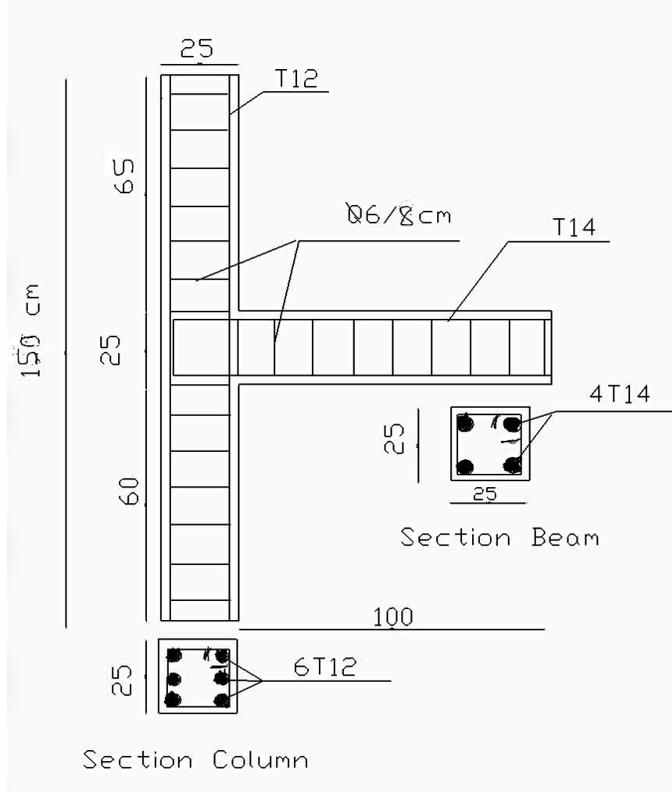


الشكل (6) رسم أجزاء العقدة على برنامج ABAQUS.

### • الأبعاد والتسليح:

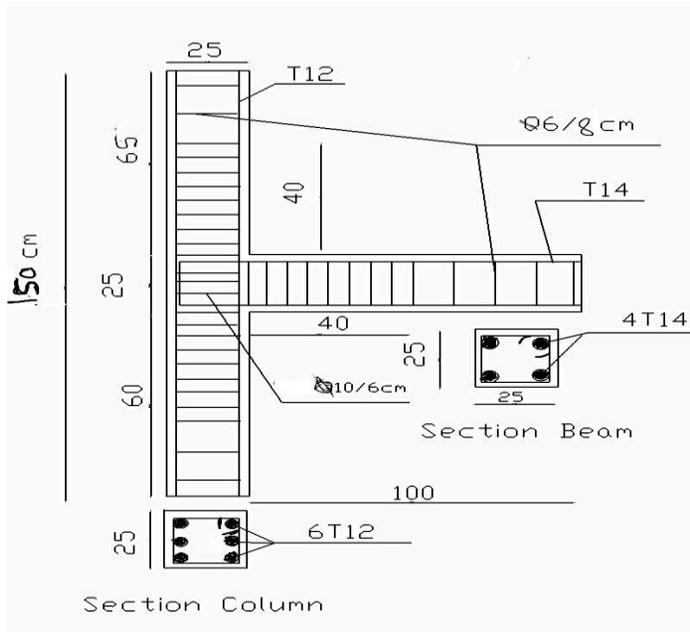
مقطع العمود والجوائز (250\*250mm) طول الجوائز (1000mm)، وارتفاع العمود (1500mm)، كما هو موضح في الشكل (7).

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

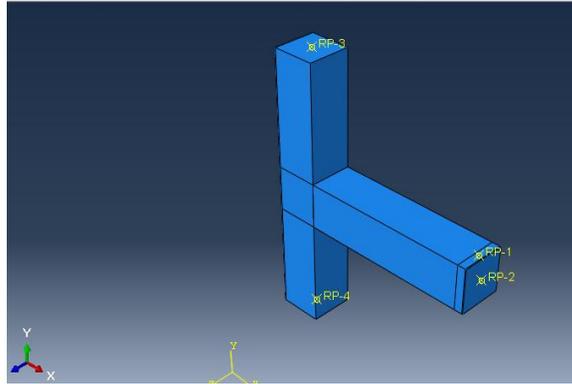


الشكل (7) نموذج العقدة البيتونية المسلحة غير المدعمة R1.

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 (بيتون، تسليح رئيسي، تسليح ثانوي).

### • خواص المواد المستخدمة للبيتون:

المقاومة الأسطوانية للبيتون 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:

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

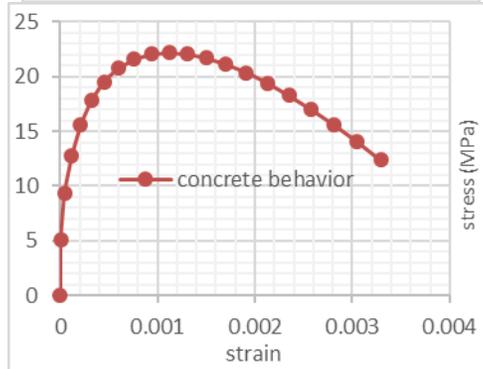
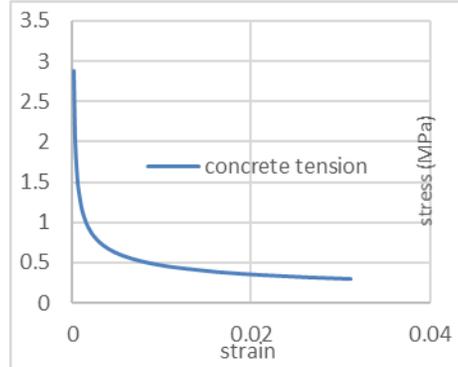
$$k = 1.05 E_{cm} \frac{\varepsilon_{c1}}{f_{cm}} \cdot \eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}$$

في مرحلة الشد:

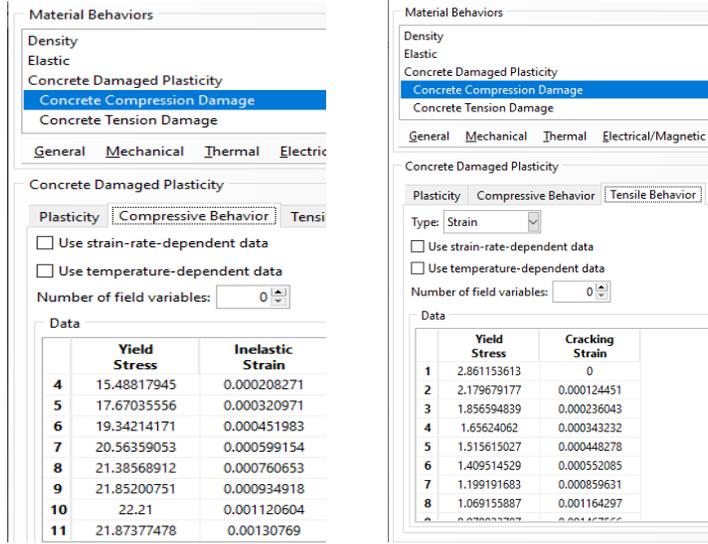
$$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)}$$

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

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



الشكل (11) منحني سلوك البيتون على الضغط والشد.

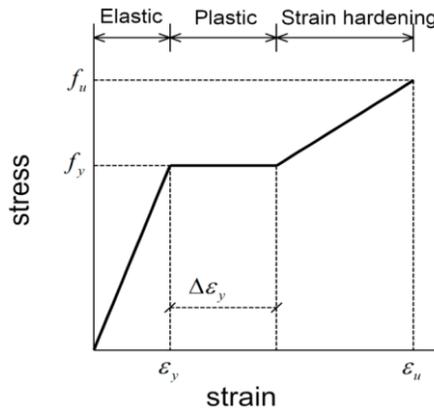


الشكل (12) تعريف سلوك مادة البيتون على الضغط والشد على برنامج ABAQUS.

• 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.

$$F_s = E_s \cdot \varepsilon_i$$

$$0 < \varepsilon_i < \varepsilon_y$$

$$F_s = F_y$$

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

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

**Edit Material**  
Name: MAIN STEEL  
Description:

Material Behaviors  
Density  
Elastic  
Plastic

General Mechanical Thermal Electrical/Magnetic

Elastic  
Type: Isotropic  
 Use temperature-dependent data  
Number of field variables: 0  
Moduli time scale (for viscoelasticity): Long-term  
 No compression  
 No tension

	Young's Modulus	Poisson's Ratio
1	210000	0.3

**Edit Material**  
Name: MAIN STEEL  
Description:

Material Behaviors  
Density  
Elastic  
Plastic

General Mechanical Thermal Electrical/Magnetic Other

Plastic  
Hardening: Isotropic  
 Use strain-rate-dependent data  
 Use temperature-dependent data  
Number of field variables: 0

	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.

**Edit Material**  
Name: SEC STEEL  
Description:

Material Behaviors  
Density  
Elastic  
Plastic

General Mechanical Thermal Electrical/Magnetic Qth

Elastic  
Type: Isotropic  
 Use temperature-dependent data  
Number of field variables: 0  
Moduli time scale (for viscoelasticity): Long-term  
 No compression  
 No tension

	Young's Modulus	Poisson's Ratio
1	210000	0.3

**Edit Material**  
Name: SEC STEEL  
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	326	0
2	327.05	0.0085
3	375	0.03

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

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

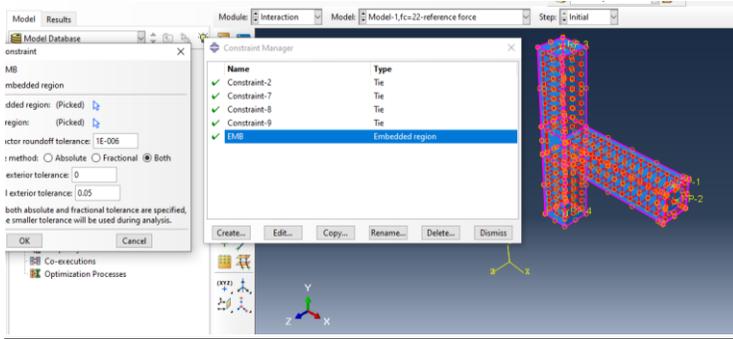
يتم في هذه المرحلة تجميع كافة أجزاء النموذج.

### **: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.



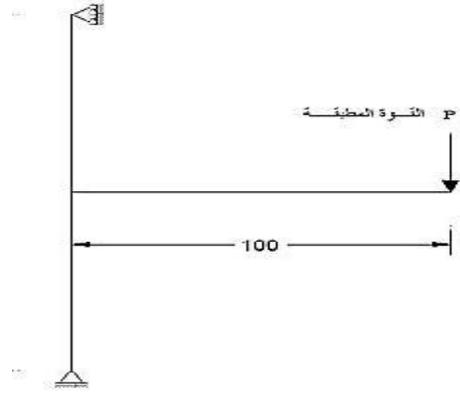
الشكل (16) تعريف الارتباط بين أجزاء العقدة على برنامج ABAQUS.

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

يتم في هذه المرحلة تعريف الحمولات.

### **• طريقة التحميل:**

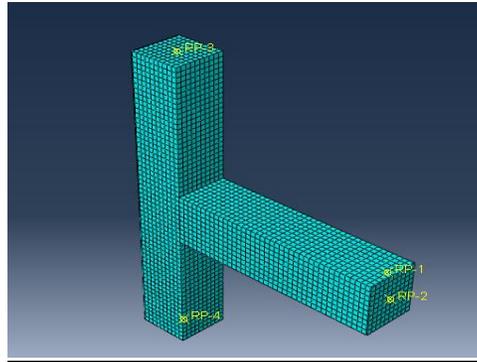
تم تطبيق حمولة شبه استاتيكية (حمولة تفريغية) متزايدة بشكل تدريجي.



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)**

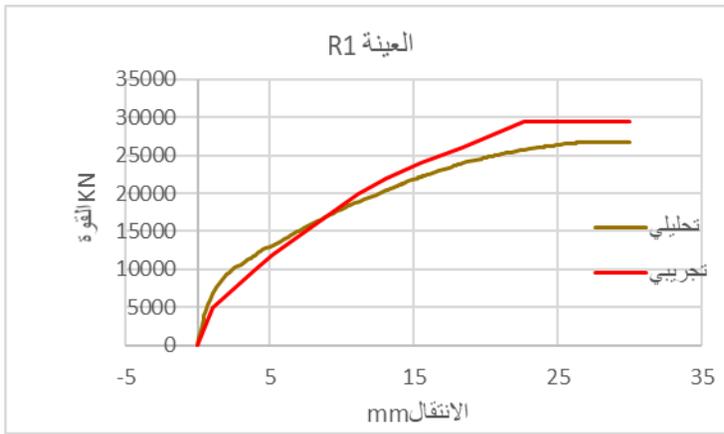
يتم في هذه المرحلة تحليل النموذج.

## **Visualization (i)**

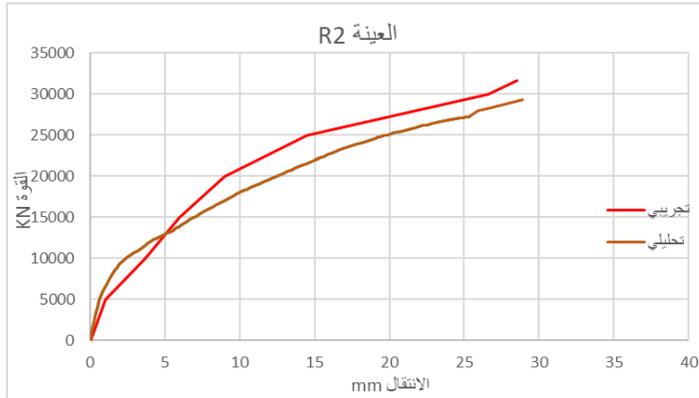
يتم في هذه المرحلة إظهار النتائج.

- 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  $\varnothing 6/8$  cm وسماكة طبقة التغطية 25mm.

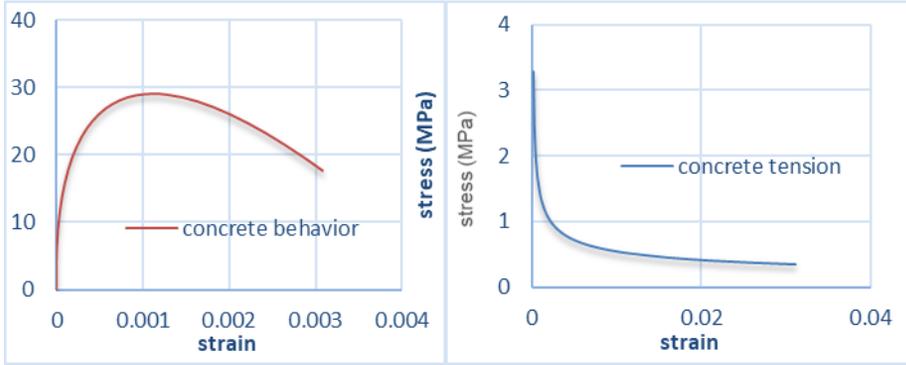
استخدمت طبقة واحدة من الشبك الفولاذي، قطر سلكه 2.5 mm وبفتحة مربعة أبعادها (25 \* 25 mm).

### • خواص المواد المستخدمة للتدعيم:

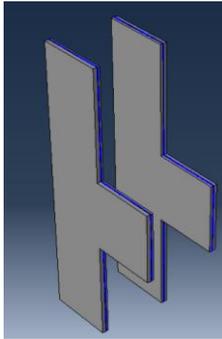
استخدمت نفس خواص مواد العينة R1 للبيتون وفولاذ التسليح أما الشبك الفولاذي إجهاد الخضوع له  $F_y=800\text{MPa}$ .

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

☆ تم اعتماد الارتباط بين الشبك الفولاذي والمونة الإسمنيتية 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

Data

	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

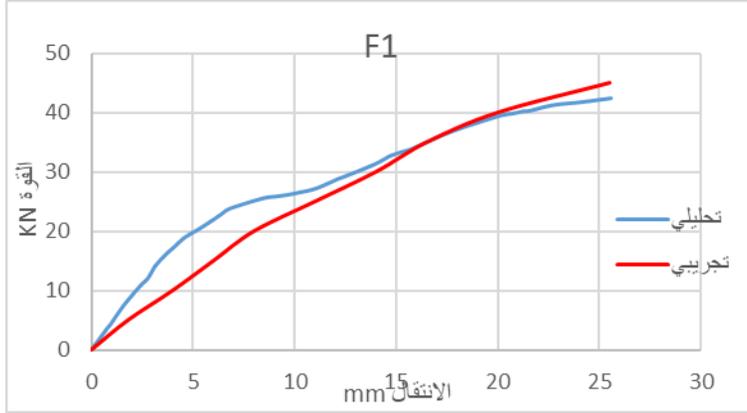
Number of field variables: 0

Data

	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.





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

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

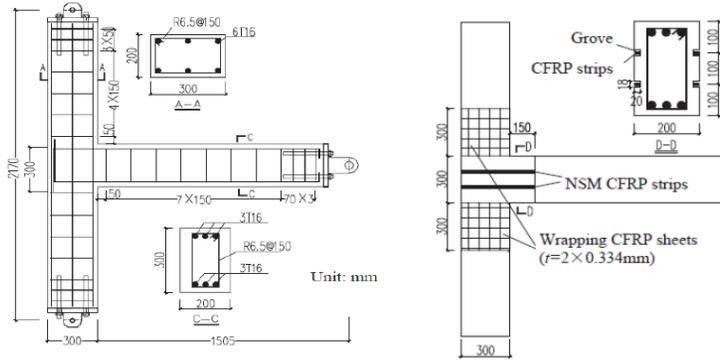
نموذج لعقدة بيتونية مسلحة مدعمة بال CFRP:

### • وصف النموذج:

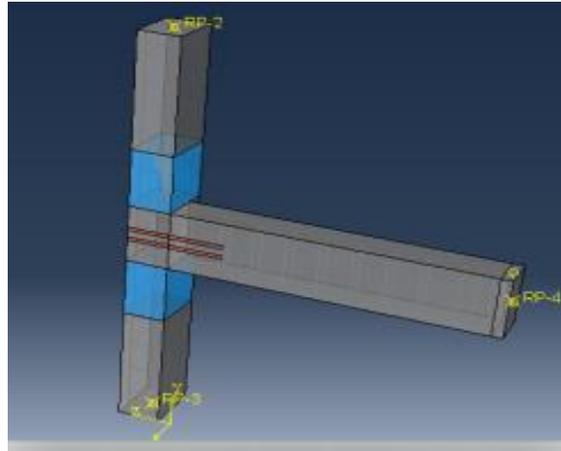
يتألف النموذج من عقدة (عمود جائز)، مقطع العمود والجائز mm (200\*300) طول الجائز mm (1500) ، وارتفاع العمود mm (2100) ، الشكل (26).

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.



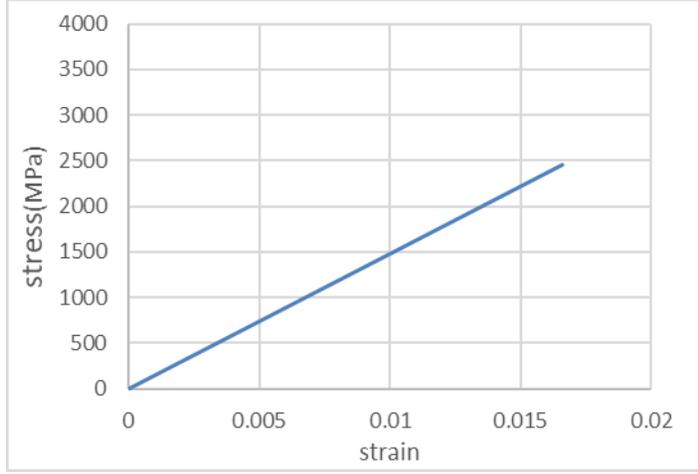
الشكل (26) أبعاد وتفاصيل تسليح وتدعيم العينة F2.



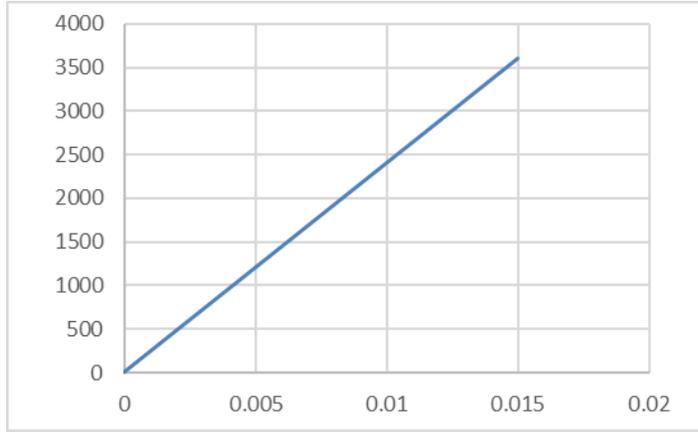
الشكل (27) يبين نمذجة العقدة F2 ضمن برنامج ABAQUS.

#### • 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.

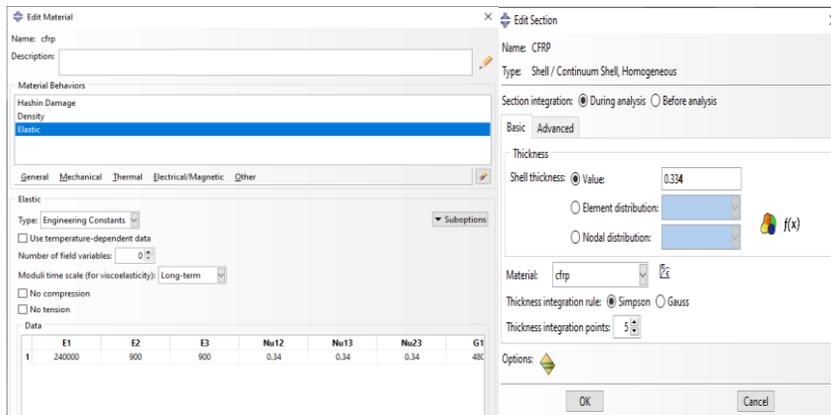
حيث:

$E_{11}$ : 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.



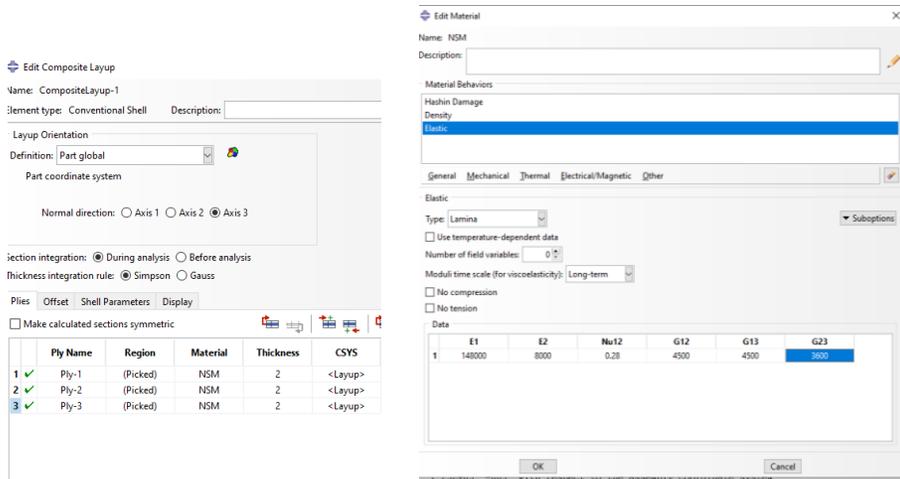
الشكل (30) تعريف سلوك ألياف الكربون على برنامج ABAQUS.

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.

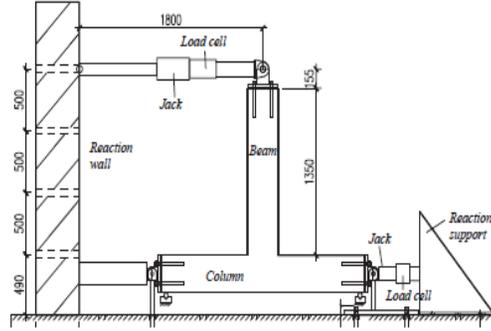
مقاومة الضغط لعينات البيتون الأسطوانية بعد 28 يوم:  $F_c=35.31 \text{ Mpa}$

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.

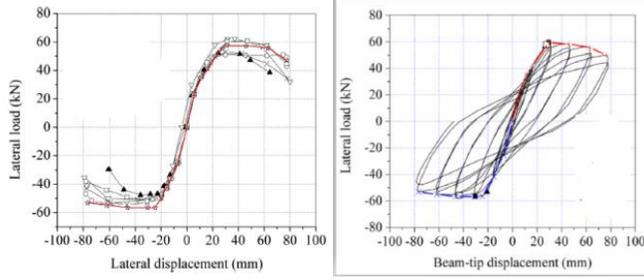


الشكل (32) طريقة إجراء التجربة.

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.

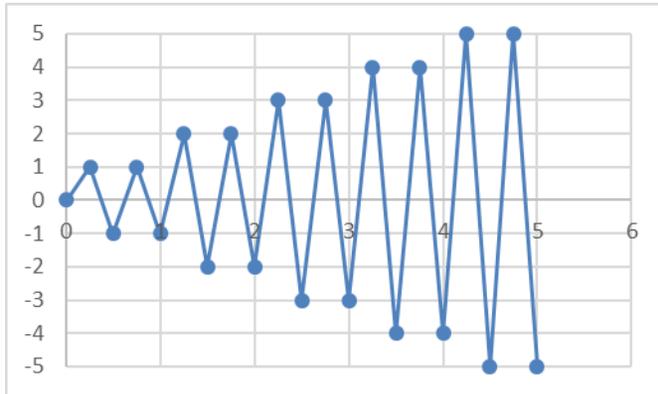


الشكل (33) مخطط (قوة-انزياح) الدوري والمغلف للعيينة المدروسة.

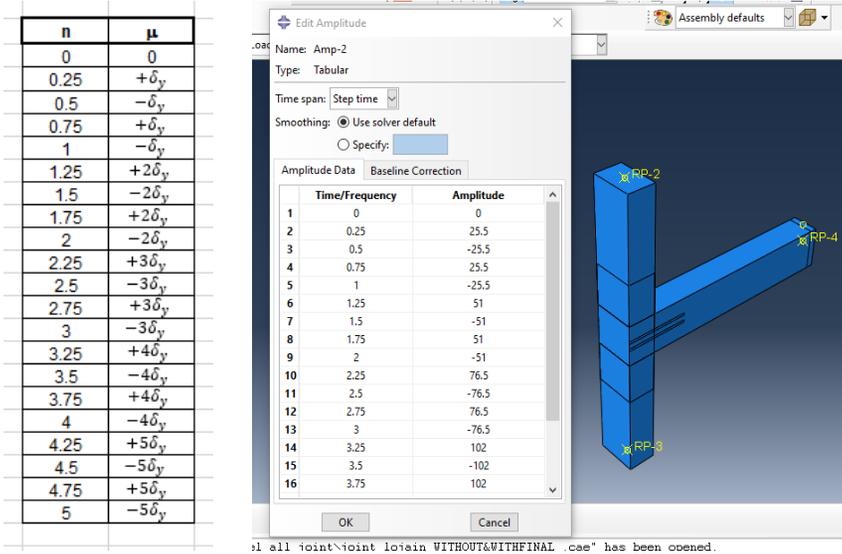
$$P_{y1} = +56.7 \text{ (KN)} \quad P_{y2} = -53 \text{ (KN)}$$

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

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



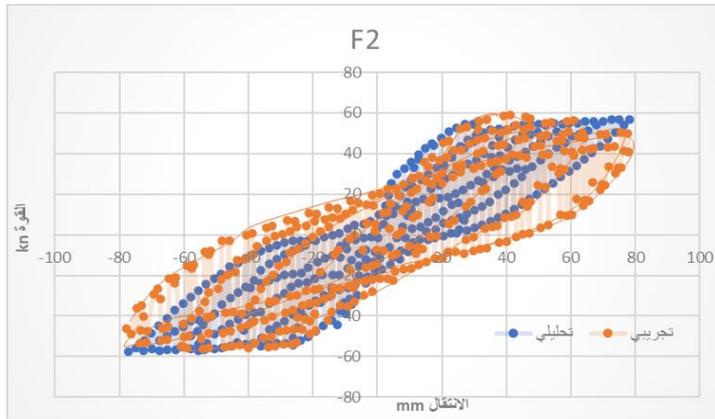
الشكل (34) نظام الحمولة الدورية الجانبية المطبقة على العينة.



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:

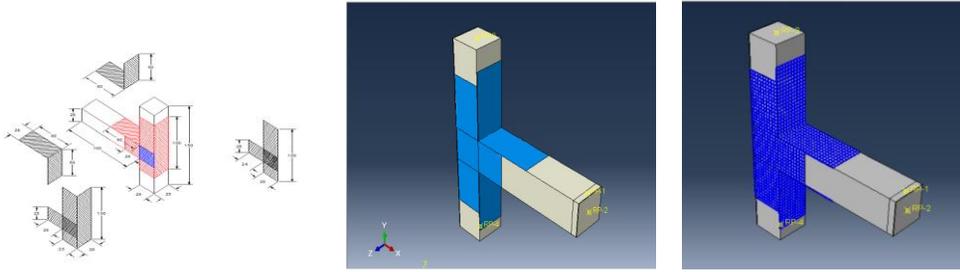
بعد أن تم إثبات قدرة النماذج التحليلية السابقة المذكورة في الفقرة (2-2) على توصيف سلوك النماذج التجريبية بشكل مقبول، تم اعتمادها لتوصيف نماذج الدراسة حيث تم اعتماد: (سلوك البيتون على الشد والضغط، سلوك فولاذ التسليح، سلوك الشبك الفولاذي للفيروسيمنت، سلوك المونة الإسمنتية) نفسه للنموذج F1 و R1 ، (سلوك 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  $E_1 = E_2=240 \text{ GPa}$ .

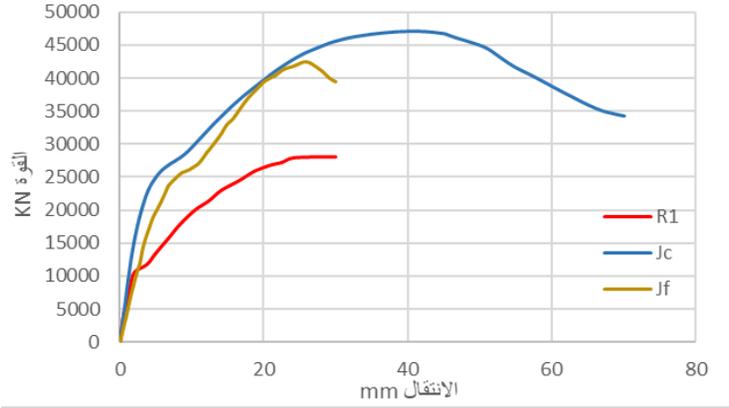


الشكل (37) طريقة التدعيم لكل من الفيروسيمنت و CFRP في النماذج المدروسة.

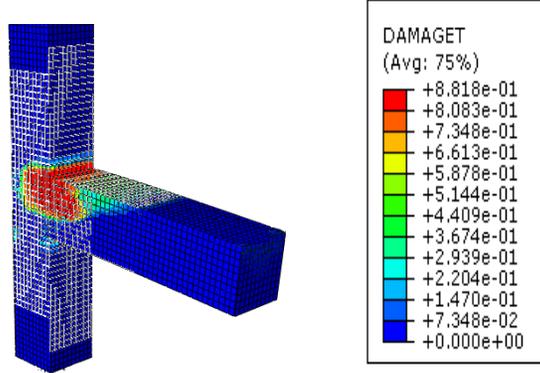
بالمقارنة مع R1		الانتقال الموافق تحليلياً	الحمولة الأعظمية تحليلياً	النموذج
$\Delta\delta$	$\Delta\rho$	(mm) $\delta$	(KN) $P_{max}$	
		30	27.9	R1
17.2%	52%	25.6	42.5	Jf
36.7%	68.5%	41	47	Jc

الجدول (3)

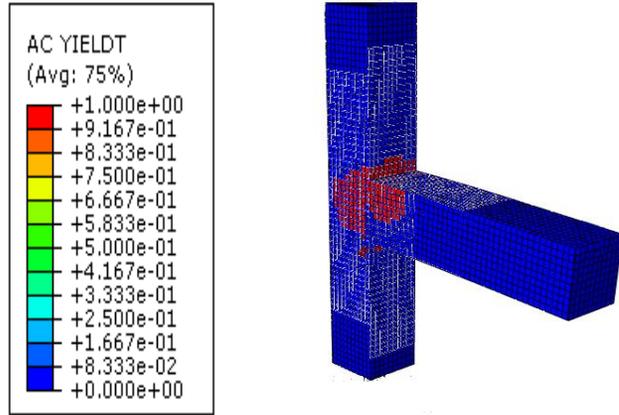
نلاحظ من الجدول (3) أن التدعيم بال CFRP زاد من صلابة العقدة أكثر من التدعيم بالفيروسيمنت، ويظهر في الشكل (38) أن المساحة المحصورة بمنحني انتقال-حمولة للعقدة المدعمة بال CFRP أكبر من المساحة المحصورة في منحنى انتقال-حمولة للعقدة المدعمة بالفيروسيمنت.



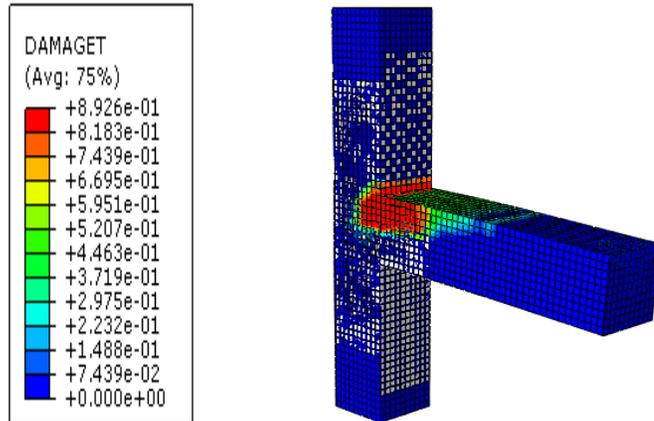
الشكل (38) مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال لذات العينة مع اختلاف مادة التدعيم والمقارنة مع العينة المرجعية.



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

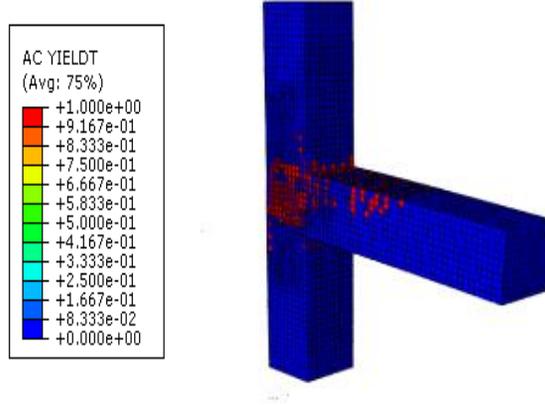


الشكل (40) شكل وتوزع الشقوق في العقدة المدعمة بالفيروسيمنت من جميع الجوانب (Jf).



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.



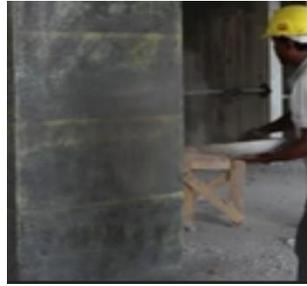
الشكل (43) تنظيف الطبقة السطحية للعقدة.

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 ممطولية 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.