مجلة جامعة دمشق لبحوث الزلازل والكوارث
المجلد 2 العدد(1) – 2025: 16-28

Damascus University Journal of Earthquake and Disaster Research
Vo 2 number (1) -2025: 16-28

دراسة تحليلية لعقدة مصبوبة بالمكان لإطار بيتوني مسبق الصنع مسبق الإجهاد تحت تأثير حمل دوري

راما غازي نور الدين*[1] ريم سلمان الصحناوي[2]

[1*] طالبة ماجستير، مهندسة، قسم الهندسة الإنشائيّة الزّلزاليّة، جامعة دمشق، المعهد العالي للبحوث والدّراسات الزّلزاليّة. Rama.nour@damascussuniversity.edu.sy

[2] مدرسة، دكتورة، مهندسة، قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، جامعة دمشق، المعهد العالي للبحوث والدّراسات الزّلزاليّة Reem1.salman@damascussuniversity.edu.syd .

تاريخ الإيداع: 2023/11/1
تاريخ القبول: 2024/2/26

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب **CC BY-NC-SA**

الملخص:

ركز الباحثون بشكل أساسي على أنواع الوصلات في المنشآت الإطارية مسبقة الصنع، وعلى السلوك الزلزالي للأنواع المختلفة لتلك الوصلات. يوجد نوعين من الوصلات في الإطارات مسبقة الصنع المقاومة للعزوم، النوع الأول أنظمة متجانسة متكافئة (Equivalent monolithic systems) تتألف من أعمدة وجوائز بيتونية مسبقة الصنع تربط بينهم وصلات مصبوبة بالمكان، والنوع الثاني أنظمة مفصلية (Jointed systems) تكون فيها الوصلات أضعف من العناصر البيتونية المجاورة ولا يفضل استخدامها في المناطق الزلزالية. يقدم البحث دراسة تحليلية لسلوك أحد أنواع الأنظمة المتجانسة المتكافئة المكونة من عقدة وسطية مصبوبة بالمكان لإطار بيتوني مسبق الصنع مسبق الإجهاد تحت تاثير التحميل الدوري باستخدام برنامج ABAQUS.19. تم تزويد العقدة المصبوبة بالمكان بقضبان تسليح فولاذية على شكل حرف U، تتراكب مع إرساء الكابلات مسبقة الإجهاد والتسليح الطولي في الجائز لتأمين استمرار نقل للحمولات. ولتحسين سلوك العقدة المصبوبة بالمكان تم تغيير عدة بارامترات (مقاومة البيتون المصبوب بالمكان، قطر قضبان التسليح على شكل حرف U في منطقة الوصل، أبعاد مفتاح القص). أهم الاستنتاجات التي تم التوصل إليها بهذا البحث أنه بزيادة مقاومة البيتون المصبوب بالمكان في منطقة الوصل زادت مقاومة العقدة وزادت الطاقة المبددة اللدنة في العقدة. وبزيادة قطر قضبان التسليح على شكل حرف U زادت مقاومة العقدة وانخفضت الطاقة المبددة اللدنة في العقدة. كما ازدادت مقاومة العقدة وازدادت الطاقة المبددة اللدنة بتكبير أبعاد مفتاح القص.

الكلمات المفتاحية: عقدة مصبوبة بالمكان، إطار بيتوني مسبق الصنع مسبق الاجهاد، تحميل دوري، مغلف الحلقات الهستيرية، الطاقة المبددة اللدنة.

Analytical study of a cast-in-place joint of a precast prestressed concrete frame under cyclic load

Rama Ghazi NOUR ALDEN*[1] Reem Salman ALSEHNAWI[2]

[*1.] Master Student in Department of Seismic Structural Engineering, University of Damascus, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, Damascus, Syria
Rama.nour@damascussuniversity.edu.sy

[2]2. Assistant Professor in Department of Seismic Structural Engineering, University of Damascus, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, Damascus, Syria
Reem1.salman@damascussuniversity.edu.sy

Received: 1 /12/2023
Accepted: 26/2/2024

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract:

The researchers focused mainly on the types of connections in precast frame structures and the seismic behaviour of the different types of those connections. There are two types of connections in moment-resisting precast frames the first type is equivalent monolithic systems, which composed of precast concrete columns and beams connected by cast-in-place connections, the second type is jointed systems in which the connections are weaker than the adjacent concrete elements. The research presents an analytical study of the behaviour of one type of equivalent monolithic system consisting of a cast-in-place middle joint of a prestressed precast concrete frame under cyclic loading by using ABAQUS.19. The cast-in-place joint is provided with U-shaped steel reinforcing bars that overlap the pre-anchored cables and longitudinal reinforcement in the beam to ensure continuous transfer of loads. To improve the behaviour of the cast-in-place joint, several parameters were changed (the compressive strength of the cast-in-place concrete, the diameter of the U-shaped reinforcing bars and the dimensions of the shear key) The most important conclusions reached in this research are that by increasing the compressive Strength of cast-in-place concrete in the joint area, the joint strength increased and the plastic dissipated energy increased. As the diameter of the U-shaped reinforcing bars increased, the strength of the joint increased and the plastic dissipated energy in the joint decreased. The strength of the joint also increased, and the plastic dissipated energy increased as the dimensions of the shear key increased.

Key words: Cast-in-place joint, Precast Prestress concrete frame, Cyclic loading, Envelope the of hysteretic loops, plastic dissipated energy.

المقدّمة:

ازداد انتشار تطبيق البيتون مسبق الصنع لما له من مميزات عديدة منها السرعة في التنفيذ مع ضمان جودة المواد، والقدرة على العمل ضمن الظروف البيئية المختلفة والتقليل من كلفة البناء. من جهة أخرى وُجدت تحديات عديدة تواجه تطبيق البيتون مسبق الصنع كان أهمها ضعف الاتصال بين العناصر المكونة للمنشأ خاصة في المناطق الزلزالية، نتيجة لذلك ركز الباحثون على دراسة سلوك هذه الوصلات وتطويرها لضمان الأداء الجيد لها من حيث المقاومة والمطاوعة والقدرة على تبديد الطاقة. وقد حظيت المنشأت التي تتألف من العناصر البيتونية مسبقة الصنع المتصلة بواسطة العقد البيتونية المصبوبة بالمكان باهتمام كبير في مجال البيتون مسبق الصنع، وكان أهمها العقدة المؤلفة من عمود بيتوني مسبق الصنع، وجائز بيتوني مسبق الصنع ومسبق الإجهاد ويتم الربط بينهما عن طريق العقد، ومنطقة الوصل (key slot) التي تمتد من نهاية الجائز إلى وجه العمود مسبق الصنع وتكون من البيتون المصبوب بالمكان، ويتم تزويد منطقة الوصل بقضبان تسليح فولاذية على شكل حرف U التي تتراكب مع إرساء الكابلات مسبقة الإجهاد والتسليح الطولي للجائز في منطقة الوصل (key slot) لتأمين استمرار نقل الحمولات. كما يتم استخدام مفتاح القص (shear key) عند السطح الشاقولي الفاصل بين الجائز البيتوني مسبق الصنع ومنطقة الوصل البيتونية المصبوبة بالمكان، لزيادة ارتباطهما والمساهمة في زيادة مقاومة القص. قدم الباحث Jianguo Cai دراسة تجريبية لدراسة سلوك عقدة مصبوبة بالمكان لإطار بيتوني مسبق الصنع ومسبق الإجهاد تحت تأثير التحميل الدوري، مع استخدام عدة أطوال مختلفة لقضبان التسليح على شكل حرف U الموجود في منطقة الوصل، حيث أبدت النتائج ضرورة وجود طول كاف لمنطقة الوصل لأن إجهاد التماسك يتم دعمه بشكل أساسي من خلال الجزء الأفقي لقضبان التسليح على شكل U. كما قدم الباحث دراسة تحليلية في برنامج ANSYS لدراسة سلوك العقدة المدروسة وقد أعطت نتائج متوافقة لنتائج النموذج التجريبي (Cai et al.,2009). كما قدم نفس الباحث بحثاً قام فيه بإجراء Pushover analysis في برنامج OpenSees لإطار بيتوني مسبق الصنع ومسبق الإجهاد والعقد مصبوبة بالمكان، مؤلف من ثلاث طوابق بفتحتين مجاز كل منهما 8m، وقد أظهرت النتائج تشكل المفاصل اللدنة في نهايات الجوائز (Cai et al.,2008). وقد قدم Xueyuan Yan بحثاً يتضمن دراسة تجريبية لدراسة سلوك عقدة مصبوبة بالمكان لإطار بيتوني مسبق الصنع ومسبق الإجهاد، ومقارنتها مع سلوك عقدة إطار بيتوني مصبوب بالمكان، وقد أظهرت النتائج تشابه سلوك العقدتين من حيث المقاومة وتبديد الطاقة (Yan et al., 2018). وقد قدم الباحث Yangqing Liu دراسة تجريبية لدراسة سلوك عقدة طرفية مصبوبة بالمكان لإطار بيتوني مسبق الصنع تحت تأثير حمل دوري، مع دراسة أثر تغير طول منطقة الوصل وقد أظهرت النتائج أن النماذج أبدت سلوك جيد حيث تشكل المفاصل اللدنة في نهاية الجوائز ولم يحدث أي ضرر في العقدة (Liu et al., 2019). كما قدم الباحث Jun Yang بحثاً تجريبياً لدراسة سلوك عقدة طرفية مصبوبة بالمكان لإطار بيتوني مسبق الصنع مسبق الإجهاد تحت تأثير الحمل الدوري، مع دراسة أثر تغير طول منطقة التراكب الأفقي بين قضبان التسليح على شكل حرف U وإرساء الكابلات الفولاذية مسبقة الإجهاد، مع أخذ تأثير عدة مستويات للصدأ (corrosion) في قضبان التسليح، وأثبت الباحث أن الصدأ في القضبان أثر بشكل كبير على السلوك الزلزالي للعقدة، وأن الطاقة المبددة للنماذج ذات الأطوال القصيرة لمنطقة التراكب الأفقي كانت أكبر من النماذج ذات الأطوال الطويلة لمنطقة التراكب تحت ذات مستوى الصدأ (Yang et al., 2019). سيتم في هذا البحث دراسة تحليلية لسلوك عقدة وسطية مصبوبة بالمكان لإطار بيتوني مسبق الصنع ومسبق الإجهاد تحت تأثير حمل دوري باستخدام

برنامج ABAQUS.19، ودراسة أثر تغير عدد من البارمترات لتحسين سلوك العقدة المدروسة.

1- مشكلة البحث:

من أهم التحديات التي تواجه تطبيق المنشآت البيتونية الإطارية مسبقة الصنع تصميم العقد بين الجوائز والأعمدة لمقاومة الأحمال الجانبية. يعتبر حدوث آلية الانهيار في منطقة العقد وتشكل المفاصل اللدنة قبل تشكلها في العناصر المتصلة بالعقدة من أهم المشاكل التي يجب تجنبها، مما يعطي أهمية لدراسة تحليل وتصميم هذه العقد التي من الصعب تدعيمها بعد الزلزال.

2- أهميّة البحث:

للبيتون مسبق الصنع أهمية كبيرة حيث يساهم في تقليل هدر المواد، كما يقلل من العمالة اللازمة للتصنيع والتركيب، كما أنه يساعد في خفض تكلفة البناء والسرعة في التنفيذ. وتعتبر العقد من أهم العناصر التي تؤثر على السلوك الزلزالي فمقدار تحمل العقد والوصلات وطرائق دراستها وتنفيذها يحدد مناطق تشكل المفاصل اللدنة، وبالتالي شكل ميكانيزم الانهيار ومن هنا جاءت أهمية دراسة السلوك الزلزالي لهذه العقد.

3- هدف البحث:

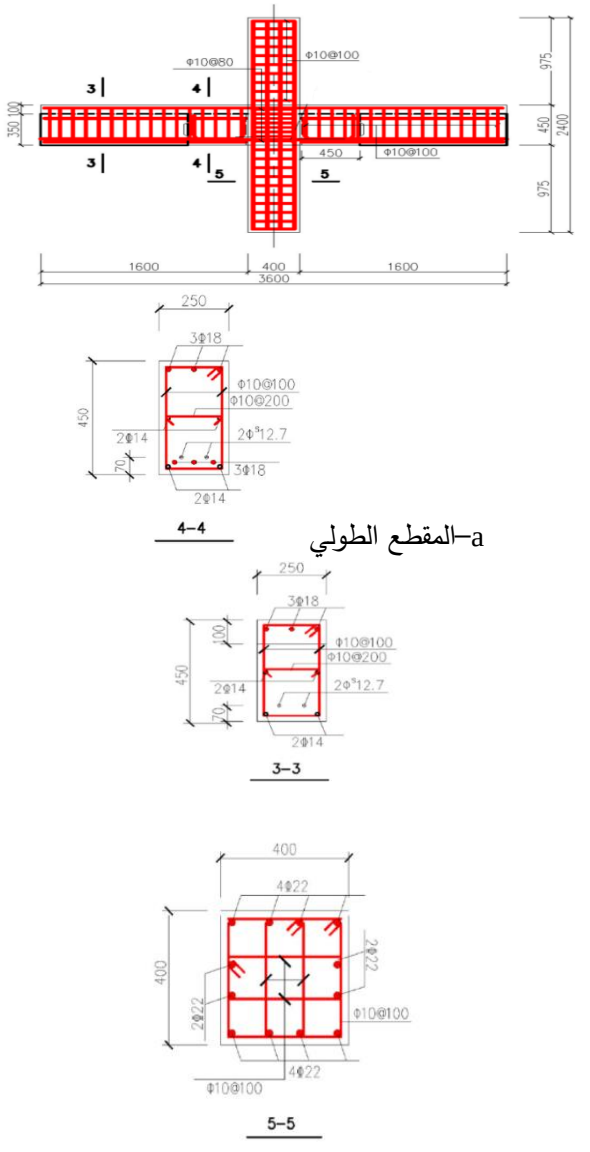
دراسة سلوك عقدة مصبوبة بالمكان لإطار بيتوني مسبق الصنع ومسبق الإجهاد تحت تأثير حمل دوري، ودراسة أثر تغير البارمترات التالية :

- مقاومة البيتون المستخدم في منطقة الوصل.
- قطر قضبان التسليح على شكل حرف U في منطقة الوصل.
- أبعاد مفتاح القص.

4- مواد البحث وطرائقه:

4-1- توصيف العقدة المدروسة:

تمت الدراسة التحليلية لسلوك العقدة التي اختُبرَت تجريبياً من قبل الباحث Xueyuan وآخرون وذلك باعتماد البارامترات ومواصفات المواد المعتمدة في الدراسة التجريبية (Yan et al.,2018) ومن ثم تم إجراء الدراسة البارامترية على العقدة للحصول على السلوك الأفضل. يبين الشكل (1) أبعاد العقدة المدروسة ومقاطع العناصر المتصلة بالعقدة بالإضافة إلى التسليح المستخدم في كل من الجائز والعمود والعقدة.



الشكل (1) مواصفات العقدة المدروسة

a–المقطع الطولي,b–المقاطع العرضية
(Yan et al.,2018)

4-2-المواد المستخدمة في الدراسة:

تم اعتماد خصائص المواد المستخدمة في الدراسة المرجعية (Yan et al.,2018). حيث يوضح الجدول (1) و(2) خصائص مادة البيتون ومادة الفولاذ لقضبان التسليح، على التوالي.

الجدول (1) خصائص البيتون (Yan et al., 2018)

نوع البيتون	المقاومة المميزة fc (MPa)	معامل المرونة Ec(GPa)
البيتون مسبق الصنع	29.2	33.0
البيتون المصبوب بالمكان	30.5	32.8

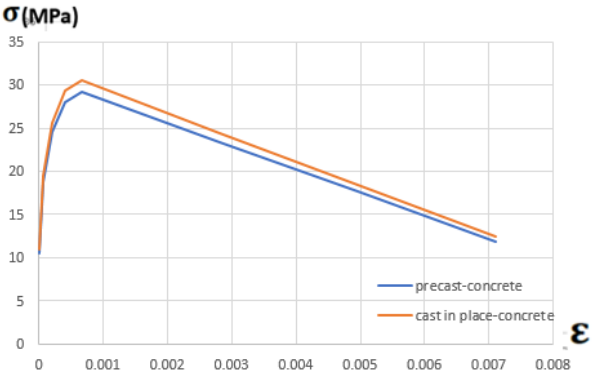
الجدول (2) خصائص قضبان التسليح(Yan et al., 2018)

قطر قضبان التسليح (mm)	المقاومة المرنة fy (MPa)	المقاومة الحدية fu (MPa)	معامل المرونة Es(GPa)	الاستطالة (%)
10	376	650	221.5	20.2
14	421	637	211.5	24.8
18	462	644	209.7	23.7
22	435	621	206.2	22.6
Ø^{s}12.7 قضبان سبق الإجهاد)	1842	1981	195.6	/

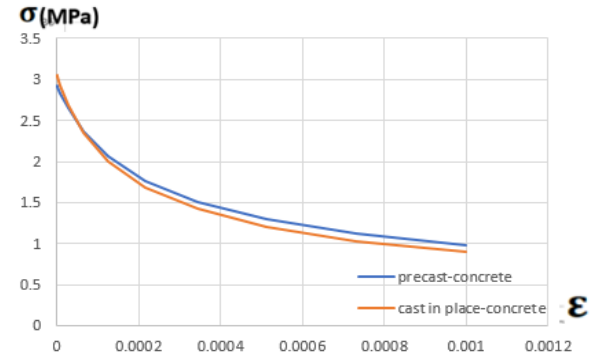
وقد تم تعريف المواد في برنامج ABAQUS.19 وفقاً لما يلي:

- البيتون

نموذج البيتون المستخدم بالنمذجة هو Damaged Concrete Plasticity والذي يستخدم لتطبيقات البيتون المعرض لشروط تحميل كيفي متضمناً التحميل الدوري المعكوس. هذا النموذج يأخذ بالحسبان انخفاض القساوة المرنة الناتج عن الانفعال اللدن بحالتي الشد والضغط. يأخذ أيضاً تأثيرات استرجاع القساوة نتيجة تحميل دوري. (جابر وآخرون،2022). يوضح الشكل (2) و (3) سلوك البيتون المصبوب بالمكان والبيتون مسبق الصنع ما بعد مرحلة المرونة على الضغط وعلى الشد، على التوالي.



الشكل (2) مخطط (الاجهاد–الانفعال اللامرن) للبيتون على الضغط



الشكل (3) مخطط (الاجهاد–الانفعال اللامرن) للبيتون على الشد

كما يبين الجدول (3) مواصفات التلدن في نموذج البيتون التي تم إدخالها في برنامج ABAQUS.19.

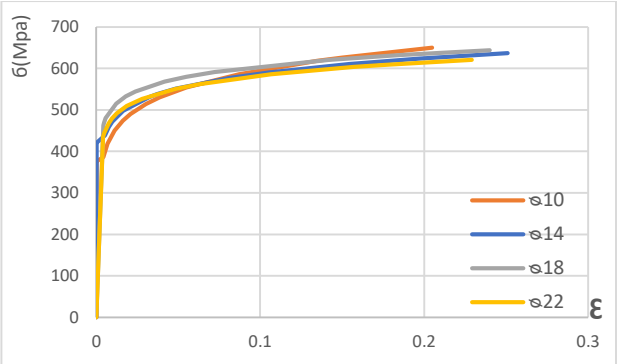
الجدول (3) مواصفات التلدن في نموذج البيتون

Dialation angle	30
Eccentricity	0.1
Fb0/fc0	1.16
K	0.667
Viscosity parameter	0.0005

- الفولاذ:

تم استخدام خصائص قضبان الفولاذ المبين في الجدول (2) وذلك وفقاً للدراسة المرجعية (Yan et al.,2018)

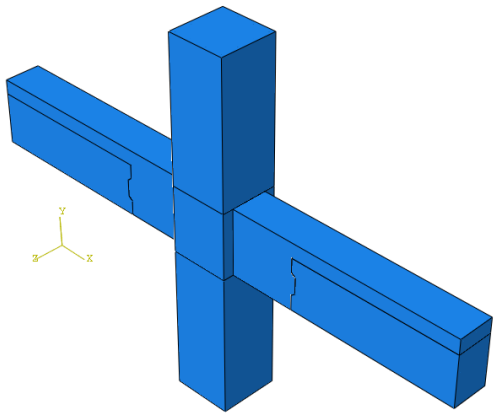
ويبين الشكل (4) منحني الاجهاد–الانفعال لمادة الفولاذ.



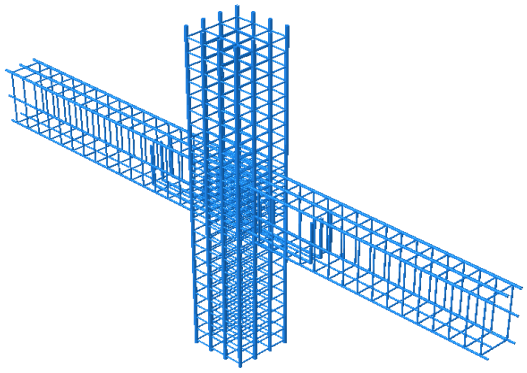
الشكل (4) منحني الاجهاد–الانفعال لمادة الفولاذ

4–3–توصيف النموذج في برنامج ABAQUS.19

تم بناء النموذج التحليلي باستخدام برنامج ABAQUS.19 في فضاء ثلاثي البعد. يوضح الشكل (5) العناصر البيتونية مسبقة الصنع والمصبوبة بالمكان، كما يوضح الشكل (6) قضبان التسليح الطولية والعرضية وقضبان التسليح بشكل حرف U

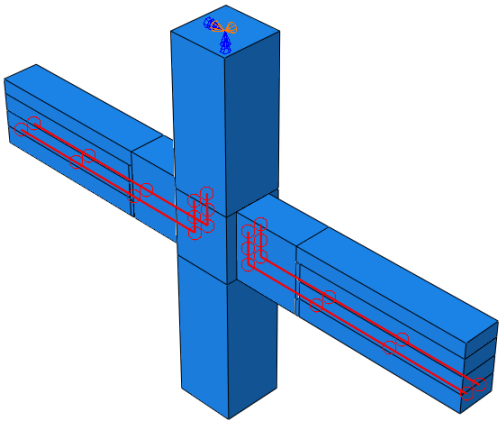


الشكل (5) العناصر البيتونية مسبقة الصنع والمصبوبة بالمكان



الشكل (6) قضبان التسليح في النموذج

ويوضح الشكل (7) تطبيق سبق الإجهاد في الجائز حيث تم تطبيقه كشروط مسبقة للقضبان عن طريق Predefined Field في البرنامج ABAQUS.19.



الشكل (7) تطبيق سبق الإجهاد في النموذج

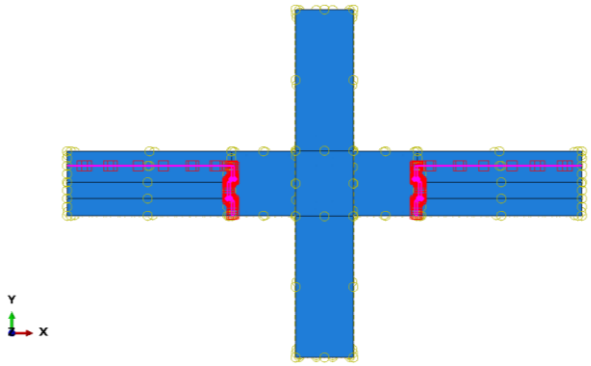
4–4–نوع العناصر المحدودة المستخدمة في برنامج ABAQUS.19

- C3D8R (Solid Elements) هو عبارة عن عنصر حجمي تم استخدامه لنمذجة البيتون المصبوب بالمكان والبيتون مسبق الصنع.
- T3D2 (Wire Elements) هو عبارة عن عنصر شبكي، تم استخدامه لنمذجة قضبان فولاذ التسليح الطولية والأساور وقضبان التسليح على شكل حرف U وقضبان سبق الإجهاد.

4–5–ربط عناصر النموذج

- الربط بين المقاطع البيتونية مسبقة الصنع والمقاطع البيتونية المصبوبة بالمكان

تم الربط بين العناصر البيتونية مسبقة الصنع والعناصر البيتونية المصبوبة بالمكان عن طريق استخدام Interactions من النوع surface to surface مع استخدام معامل احتكاك 0.6. ويبين الشكل (8) طريقة الربط بين العناصر مسبقة الصنع والعناصر المصبوبة بالمكان



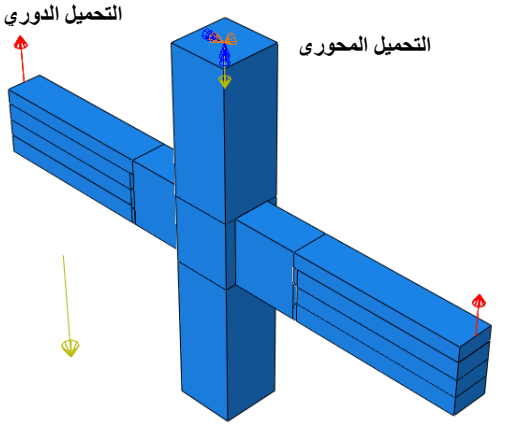
الشكل (8) طريقة الربط بين العناصر مسبقة الصنع والعناصر المصبوبة بالمكان

- ربط قضبان التسليح مع البيتون

تـم الـربط بـين الأجـزاء البيتونيـة وقضـبان التسـليح الطوليـة والأساور وقضبان التسليح على شكل حرف U وقضبان سبق الإجهـاد عـن طريـق Constraints مـن النـوع Embedded region، الـذي يعبـر عـن التماسك التـام بـين قضـبان التسـليح والبيتون.

4-6-الشروط المحيطية وتطبيق الحمولات:

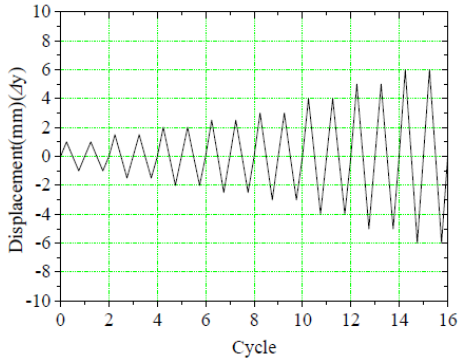
في أعلى العمود تم تقييد جميع درجات الحرية باستثناء الدوران حـول المحـور z والانتقـال المحـوري وفـق المحـور y، حيـث رُبطت جميع نقاط السطح بنقطة مرجعية باستخدام الرابط من النـوع Rigid body باسـتخدام Tie وتـم تطبيـق التحميـل المحوري (916kN) في هذه النقطة. أما في أسفل العمود تم تقييد جميع درجات الحرية باستثناء الدوران حول المحور z. وتم تعريف نقاط مرجعية عند أطراف الجوائز وربطها بالسطوح باستخدام الرابط من النوع Rigid body باستخدام Tie، وتم تطبيق التحميل الدوري في هذه النقاط وفقاً لبرتوكول التحميل الموافق للدراسة المرجعية. ويبين الشكل (9) تطبيق الحمولات في العقدة التحميل المحوري والتحميل الدوري.



الشكل (9) تطبيق الحمولات في العقدة

4-7- نموذج التحميل الدوري المطبق:

تم اعتماد نموذج التحميل الدوري في الدراسة المرجعية (Yan et al.,2018) وهو عبارة عن تحميل انتقالات دوري متزايد مطبق في طرفي الجائز. ويوضح الشكل (10) التحميل الدوري المعتمد في الدراسة المرجعية (مع الأخذ بعين الاعتبار أن δy=8mm).

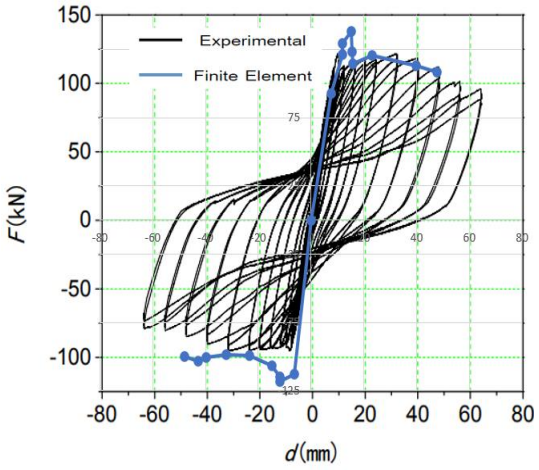


الشكل (10) التحميل الدوري المعتمد (Yan et al.,2018)

5-السلوك الهستيري للنموذج المدروس ومقارنته مع النموذج التجريبي في الدراسة المرجعية:

بإجراء التحليل الستاتيكي للنموذج تم استخراج مغلف الحلقات الهستيرية للنموذج التحليلي ومقارنة هذا المغلف مع الحلقات الهستيرية للنموذج التجريبي كما هو موضح في الشكل (11). ويبين الجدول (4) مقارنة القوة بين النموذجين حيث بلغت القيمة الأعظمية للفرق النسبي 19% عند δy=-8mm.

على الرغم من الاختلاف في الحلقات الأولى إلا أن الشكل العام للحلقة الهستيرية للنموذج في الدراسة التحليلية مشابه للحلقة الهستيرية في الدراسة التجريبية حيث أبدت الدورات الأولى قساوة كبيرة وقفزة في الحلقات الأولى ثم تدهورت القساوة.



الشكل (11) مقارنة مغلف الحلقات الهستيرية للنموذج التحليلي مع النموذج التجريبي

الجدول (4) مقارنة القوة بين النموذج التحليلي والنموذج التجريبي

cyclic load δy=8mm	Fexp(KN)	FFE(KN)	الفرق النسبي%
6δy=48	112.0	108.1	3.5
5δy=40	117.8	113.0	4.1
4δy=32	121.7	115.0	5.5
3δy=24	117.8	115.3	2.1
2δy=16	117.2	138.8	-18.5
δy=8	111.4	93.2	16.3
δy=-8	-94.7	-112.7	-19.0
2δy=-16	-92.8	-108.2	-16.6
3δy=-24	-96.0	-99.1	-3.2
4δy=-32	-96.7	-98.7	-2.1
5δy=-40	-90.2	-103.8	-15.0
6δy=-48	-85.1	-99.8	-17.3

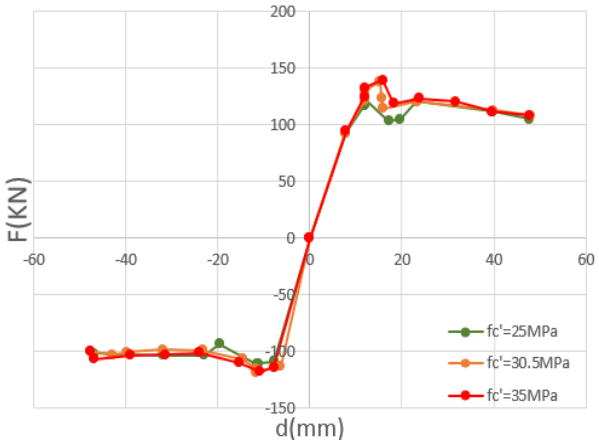
6-الدراسة التحليلية البارامترية:

تمت الدراسة لتحسين سلوك العقدة المدروسة وذلك بأخذ أثر تغير البارامترات التالية:

- مقاومة البيتون المستخدم في منطقة الوصل.
- قطر قضبان التسليح بشكل حرف U في منطقة الوصل.
- أبعاد مفتاح القص.

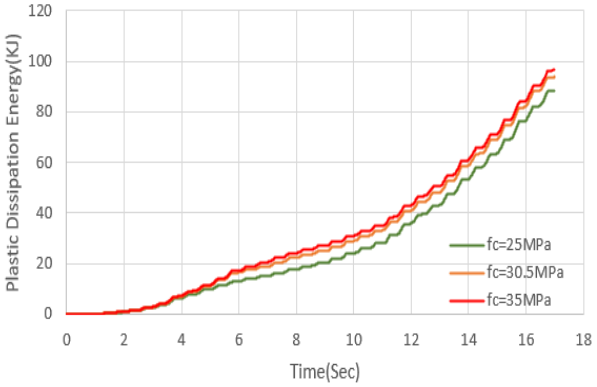
6-1-أثر تغير مقاومة البيتون المستخدم في منطقة الوصل:

تم أخذ قيم مختلفة للمقاومة المميزة للبيتون المصبوب بالمكان fc' في منطقة الوصل حيث تم اعتماد القيم MPa(25، 30.5، 35). ويبين الشكل (12) مغلفات الحلقات الهستيرية تبعاً لتغير المقاومة المميزة للبيتون في منطقة الوصل حيث يمثل المحور الشاقولي لقوة رد الفعل في نهاية الجائز والمحور الأفقي الانتقالات الموافقة لها.



الشكل (12) مغلفات الحلقات الهستيرية تبعاً لتغير المقاومة المميزة للبيتون

بمقارنة مغلفات الحلقات الهستيرية نلاحظ زيادة مقاومة العقدة عند زيادة المقاومة المميزة للبيتون المصبوب بالمكان في منطقة الوصل، فمن أجل المقاومة 25MPa بلغت القيمة الأعظمية للقوة 122.6kN، كما بلغت 138.4 kN من أجل المقاومة 30.5MPa اي ازدادت بنسبة12.9%، وقد بلغت القوة الأعظمية 139.4kN من أجل المقاومة 35MPa اي ازدادت بنسبة 13.7%. كما يبين الشكل (13) مقارنة كمية الطاقة المبددة للعقدة تبعاً لتغير المقاومة المميزة للبيتون في منطقة الوصل.

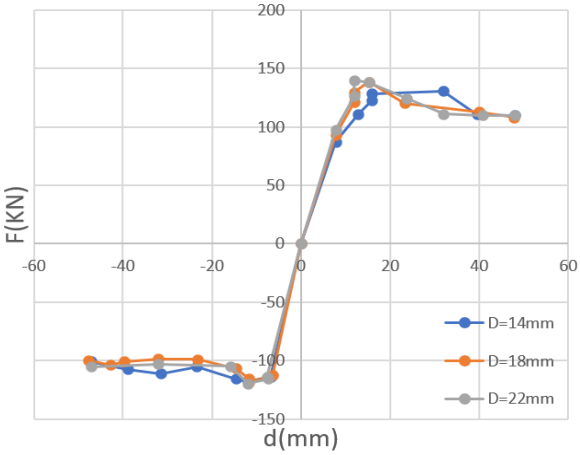


الشكل (13) كمية الطاقة المبددة للعقدة تبعاً لتغير المقاومة المميزة للبيتون

بمقارنة كمية الطاقة المبددة اللدنة للعقدة نلاحظ زيادة الطاقة المبددة اللدنة عند زيادة المقاومة المميزة للبيتون المصبوب بالمكان في منطقة الوصل. فمن أجل المقاومة 25MPa بلغت القيمة الأعظمية للطاقة المبددة اللدنة 88.3kJ، وقد بلغت 93.8kJ عند استخدام المقاومة المميزة 30.5MPa أي ازدادت بنسبة 6.2%. وقد بلغت 96.5kJ عند استخدام المقاومة المميزة 35MPa أي ازدادت بنسبة 9.3%. فبزيادة المقاومة المميزة للبيتون في منطقة الوصل تزداد الانفعالات اللدنة الحاصلة في قضبان التسليح الأمر الذي يؤدي إلى زيادة في الطاقة المبددة اللدنة للعقدة.

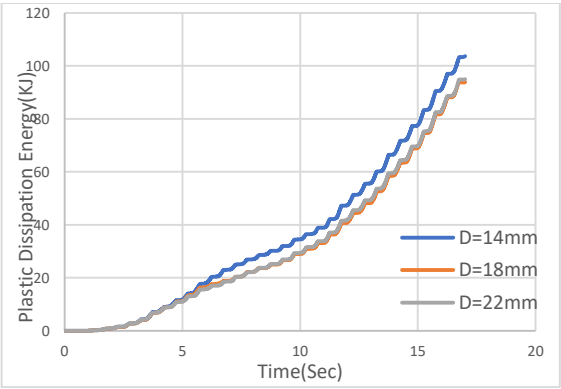
6-2-أثر تغير قطر قضبان التسليح بشكل حرف U في منطقة الوصل:

تم أخذ قيم مختلفة لقطر قضبان التسليح D بشكل حرف U في منطقة الوصل حيث تم اعتماد الأقطار mm (14، 18، 22) من أجل نسب التسليح(0.0041، 0.0068، 0.01)، على التوالي. كما يبين الشكل (14) مقارنة مغلفات الحلقات الهستيرية تبعاً لتغير قطر قضبان التسليح بشكل حرف U.



الشكل (14) مغلفات الحلقات الهستيرية تبعاً لتغير قطر قضبان التسليح بشكل حرف U

بمقارنة مغلف الحلقات الهستيرية نلاحظ أن القيمة الأعظمية لقوة رد الفعل في نهاية الجائز ازدادت بزيادة قطر قضبان التسليح على شكل حرفU، فمن أجل القطر 14mm بلغت القيمة الأعظمية لرد الفعل 128.3kN، ومن أجل القطر 18mm بلغت 138.4kN أي ازدادت بنسبة 8%، كما بلغت القيمة الأعظمية للقوة 141kN من أجل القطر 22mm أي ازدادت بنسبة 10%. كما يبين الشكل (15) مقارنة كمية الطاقة المبددة للعقدة تبعاً لتغير قطر قضبان التسليح بشكل حرف U

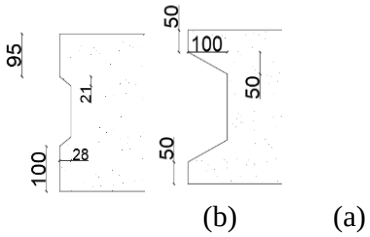


الشكل (15) كمية الطاقة المبددة للعقدة تبعاً لتغير قطر قضبان التسليح بشكل حرف U

بمقارنة كمية الطاقة المبددة اللدنة للعقدة فمن أجل القطر 14mm بلغت القيمة الأعظمية للطاقة المبددة اللدنة للعقدة 103.7kJ، ومن أجل القطر 18mm بلغت 93.81kJ أي انخفضت بنسبة 9.5%، وقد بلغت 94.97kJ من أجل القطر 22mm أي انخفضت القيمة الأعظمية بنسبة 8.4%. حيث نلاحظ زيادة الطاقة المبددة اللدنة للعقدة عند نقصان قطر قضبان التسليح بشكل حرف U، ويعود ذلك أنه عند نقصان مساحة القضيب تصبح الانفعالات اللدنة في القضبان أكبر الأمر الذي يؤدي لزيادة الطاقة المبددة اللدنة في العقدة.

6-3-أثر تغير أبعاد مفتاح القص:

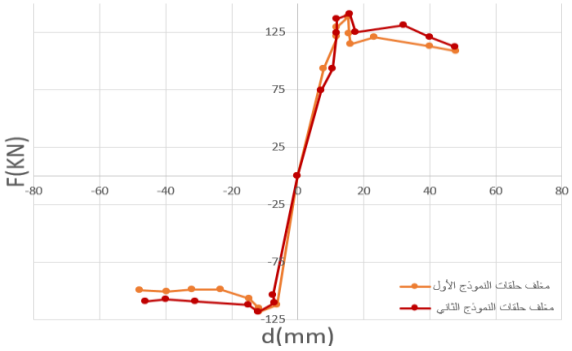
تم أخذ نموذجين لأبعاد مفتاح القص حيث يوضح الشكل (16) أبعاد مفتاح القص المستخدمة



الشكل (16) أبعاد مفتاح القص المستخدمة

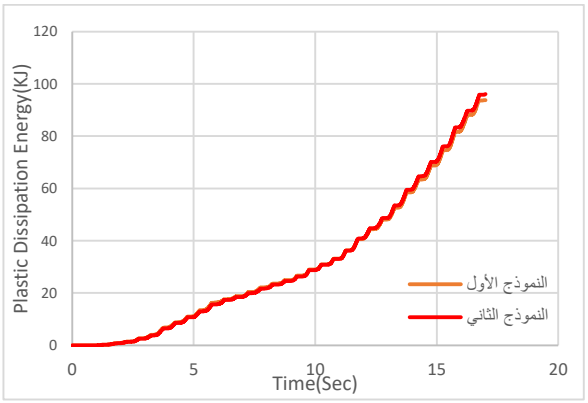
a –النموذج الأول، b–النموذج الثاني

ويبين الشكل (17) مقارنة مغلفات الحلقات الهستيرية للنموذجين تبعاً لتغير أبعاد مفتاح القص



الشكل (17) مغلفات الحلقات الهستيرية تبعاً لتغير أبعاد مفتاح القص

بمقارنة مغلف الحلقات الهستيرية نلاحظ زيادة مقاومة العقدة بزيادة أبعاد مفتاح القص حيث بلغت القيمة الأعظمية للفرق النسبي للقوة 13.8% وذلك عند الدورة 4δy. بزيادة أبعاد مفتاح القص يزداد اتصال الجائز البيتوني مسبق الصنع ومنطقة الوصل البيتونية المصبوبة بالمكان . كما يبين الشكل (18) مقارنة كمية الطاقة المبددة للعقدة تبعاً لتغير أبعاد مفتاح القص.



الشكل (18) كمية الطاقة المبددة للعقدة تبعاً لتغير أبعاد مفتاح القص

بمقارنة كمية الطاقة المبددة اللدنة للعقدة للنموذجين نلاحظ زيادة الطاقة المبددة اللدنة للعقدة بزيادة أبعاد مفتاح القص. فمن أجل النموذج الأول بلغت القيمة الأعظمية للطاقة المبددة اللدنة93.81kJ، ومن أجل النموذج الثاني بلغت القيمة الأعظمية للطاقة المبددة اللدنة98.6 kJ أي ازادت القيمة الأعظمية بنسبة 5.2%.

7- الاستنتاجات:

1. بزيادة مقاومة البيتون المصبوب بالمكان في منطقة الوصل زادت مقاومة العقدة حيث بلغت القيمة الأعظمية للفرق النسبي لقوة رد الفعل 13.7%، وازدادت الطاقة المبددة اللدنة للعقدة حيث بلغت القيمة الأعظمية للفرق النسبي 9.3%.
2. بزيادة قطر قضبان التسليح بشكل حرف U زادت مقاومة العقدة حيث ازدادت القيمة الأعظمية لقوة رد الفعل بنسبة 10% وانخفضت الطاقة المبددة اللدنة للعقدة حيث بلغت القيمة الأعظمية للفرق النسبي 9.5%.

3. بتكبير أبعاد مفتاح القص ازدادت مقاومة العقدة حيث بلغت القيمة الأعظمية للفرق النسبي للقوة 13.8%، وازدادت الطاقة المبددة اللدنة للعقدة حيث بلغت القيمة الأعظمية للفرق النسبي 5.2%.

8-التوصيات والأعمال المستقبلية:

-دراسة أثر تغير شكل قضبان التسليح المضافة للعقدة المصبوبة بالمكان على سلوك العقدة.

-دراسة أثر استبدال مفتاح القص بمسامير قص في منطقة الوصل.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق
رقم التمويل (501100020595).

References:

[1] مصطفى جابر & د. م. أمجد الحلواني. (2022). سلوك صفائح القص الفولاذية المختلطة الجدارية تحت تأثير تحميل دوري. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية.(3)38 .

[2] Cai, J. G., Feng, J., Zhu, H. J., Liu, Y. F., & Huang, L. F. (2009). Experimental study and FEM analysis of seismic behavior of joints for frame structures comprised of precast prestressed concrete components. In Key Engineering Materials (Vol. 400, pp. 893-899). Trans Tech Publications Ltd.

[3] Jianguo, C., Jian, F., Zan, W., Yao, C., & Yafei, L. (2008, December). Investigation of a precast concrete structure system. In 2008 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering (Vol. 3, pp. 449-452). IEEE.

[4] Liu, Y., Cai, J., Deng, X., Cao, Y., & Feng, J. (2019). Experimental study on effect of length of service hole on seismic behavior of exterior precast beam–column connections. Structural Concrete, 20(1), 85-96.

[5] Yan, X., Wang, S., Huang, C., Qi, A., & Hong, C. (2018). Experimental study of a new precast pre-stressed concrete joint. Applied Sciences, 8(10), 1871.

[6] Yang, J., Guo, T., Chai, S., & Li, A. (2019). Cyclic tests on beam-column joints of SCOPE system with different key slot lengths and corrosion levels. Engineering Structures, 201, 109406.