

دراسة تجريبية وتحليلية لتأثير الركام المعاد تدويره

على سلوك العقد البيتونية المسلحة

د.م.سليمان العامودي¹ د.م.تراث غريب² م.حنان علي المحسن³

ملخص:

يقدم هذا البحث دراسة تجريبية وتحليلية لسلوك العقد البيتونية المسلحة الطرفية والمنفذة بركام معاد تدويره بحيث تم اعتماد نسب الاستبدال التالية (0%-25%-75%). تم اختبار 6 عقد من كل نسبة استبدال عقدتين وتمت متابعة توزيع الشقوق وآلية الانهيار للعقد البيتونية المدروسة ومقارنة النتائج التحليلية مع مثيلاتها تجريبياً للوصول الى نموذج مقارب للعقدة المدروسة. أظهرت النتائج انخفاضاً في قيمة الحمولة العظمى التي تتحملها العقد المنفذة بالركام RAC مقارنة بالمرجعية المنفذة من حصويات طبيعية NAC, حيث لم تتجاوز نسبة انخفاض الحمولة الأعظمية المطبقة (12.16%) من أجل نسبة استبدال 75%. ولوحظ عدم حدوث تشقق في منطقة العقدة مقابل تشكل عدة شقوق على السطح العلوي للجائز وذلك في جميع العينات ثم حدوث الانهيار نتيجة توسع الشق الرئيسي عند بداية اتصال الجائز مع العمود. كما أظهرت النتائج التحليلية تقارباً مع مثيلاتها التجريبية. تراوحت نسبة الفرق في الحمولة الاعظمية التجريبية والتحليلية بين (2.5%-5%) للعقد ذات نسب الاستبدال (25%-75%) على التوالي مقارنة بالعقدة المرجعية. أظهرت النتائج إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في العناصر الإنشائية وفي العقد البيتونية المسلحة على وجه الخصوص وكانت النسبة 25% هي الأقرب للعقدة المرجعية من ناحية الحمولة القصوى والسهوم وآلية التشقق.

كلمات مفتاحية: ركام معاد تدويره، عقد بيتونية مسلحة، نسب الاستبدال.

1 أستاذ مساعد في قسم الهندسة الانشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة حمص-حمص-سوريا.

2 مدرس في قسم الهندسة الانشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة حمص-حمص-سوريا.

3 طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الانشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة حمص-حمص-سوريا.

An Experimental and Analytical Study on the Effect of Recycled Aggregate on the Behavior of Reinforced Concrete Joints

Abstract:

This research presents an experimental and analytical study on the behavior of reinforced concrete (RC) edge joints constructed using recycled aggregate concrete (RAC), with the following replacement ratios: 0% - 25% - 75%.. Six joints were tested in total, two joints for each replacement ratio. The crack distribution and failure mechanism of the studied concrete joints were monitored, and the analytical results were compared with their experimental counterparts to develop a model that closely represents the studied joint. The results showed a decrease in the ultimate load capacity of joints constructed with recycled aggregate concrete (RAC) compared to the reference joints made with natural aggregate concrete (NAC). The decrease in the applied ultimate load did not exceed 12.16% for the 75% replacement ratio. It was observed that no cracking occurred in the joint region, while multiple cracks formed on the upper surface of the beam in all specimens then, failure occurred due to the expansion of the main crack at the interface between the beam and the column. The analytical results showed a close agreement with the experimental results. The difference between the experimental and analytical ultimate load capacity was ranging from 5 % to 2.5% for joints with 25% and 75% replacement ratios, respectively, compared to the reference joint. The results demonstrated the feasibility of using recycled aggregate in structural elements, particularly in reinforced concrete joints. A ratio of 25% was found to be the closest to the reference joint in terms of maximum load capacity, deflections, and crack propagation mechanism.

Key words: Recycled aggregate, RC Joint, replacement ratio.

1-مقدمة:

يعتبر تراكم مخلفات البناء من أكبر التحديات التي تواجه البيئة حيث أدت الظروف والحروب التي توالى على أرض سوريا إلى هدم العديد من المباني وتصدع بعضها الذي جعلها خارج الخدمة ومن هنا جاءت أهمية البحث في محاولة لإعادة تدوير هذه الأنقاض والاستفادة منها بما يخدم البيئة والمجتمع وعلى الرغم من أن الأبحاث في هذا المجال قد بدأت منذ 50 عام تقريباً إلا أن استخدامه انشائياً اقتصر على الطرقات فقط ولذلك كان لابد من تكثيف الأبحاث بهذا الخصوص والاستفادة من الركام الموجود ولاحظنا قلة الأبحاث التي تخص العقد البيتونية المسلحة وإمكانية استخدام الركام فيها .

قام الباحثون [Jia-Li,Bing-Kang,Jun-Wei,2017] بدراسة ثلاث عينات لعقد داخلية من البيتون ذي الركام المعاد تدويره بما فيهم عینتان من الركام المعاد تدويره المعدل (مع استبدال الرماد المتطاير بنسبة 15%). أشارت نتائج الاختبار إلى أن القضيب الفولاذي الطولي في عقدة الركام قادر على تأمين إجهاد ربط كافي في مرحلة التشقق الكامل وفي المرحلة النهائية وأنه يمكن للركام مع الرماد المتطاير تحسين اكتناز السطح الخارجي وقوة الترابط للركام المعاد تدويره في مرحلة التشقق الكامل. لذلك تلبية لمتطلبات التصميم يقترح الباحثون أن يكون قطر التسليح للعمود المار بالعقدة الداخلية من الإطار صغيراً [1] .

قام الباحثان [قاسم الزحيلي، تماضر مقل،2014] بدراسة تأثير الركام المعاد تدويره على الخلطة البيتونية بعدة نسب وتبين أن استخدام خلطة بنسبة 50% أعطت مقاومات اخفض على الضغط بنسبة 8% من مقاومة الخلطة المرجعية وأن النسبة 75% غير مجدية كثيراً فقد كانت نتائجها مقارنة للنسبة 100% وأوضحوا إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في العناصر البيتونية غير الحاملة [5].

قدم الباحثان [Muneer E K, Raveendran K, 2020] مراجعة حول اتصال العمود مع الجائز مع تنفيذ العقد بركام معاد تدويره وأوضحا أن جودة بيتون RAC تعتمد على ميزات الركام المستخدم وحالة المنشأة المهدمة و أنه يمكن استخدام دخان السيليكا لتحسين مقاومة RCA وجعله بموازاة البيتون الطبيعي وأنه يمكن تحسين جودة البيتون RCA وتشكيل المزيج المعدل من خلال (زيادة كمية الاسمنت - استخدام الملدن لتخفيض النسبة W/c) وأن إضافة التسليح في منطقة العقد يزيد المطاوعة والقدرة على امتصاص الطاقة [2].

بعد الاطلاع على آخر الأبحاث المدروسة تبين انه يجب توجيه الاهتمام نحو دراسة الركام المعاد تدويره في العقد البيتونية المسلحة كمادة وليس من خلال تثبيت النسبة ودراسة تأثير التسليح بالإضافة الى أن العقد المدروسة في أغلب الأبحاث المنشورة غير محققة للاشتراطات المطلوبة في العقد من ناحية التسليح الرئيسي أو التطويق.

2-هدف البحث:

يهدف البحث لإجراء دراسة تجريبية وتحليلية للتحقق من إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في العقد البيتونية المسلحة تحت تأثير حمل استاتيكي من خلال استبدال الركام الطبيعي بركام معاد تدويره وفق النسب التالية % (0-25-75) ومقارنة النتائج مع العقد المرجعية المحضرة من ركام طبيعي.

3-مواد وطرائق البحث:

3-1-خصائص المواد المستخدمة:

3-1-1-الاسمنت:

تم استخدام اسمنت بورتلاندي عادي (ماركة الإسمنت 32.5Mpa) وعياره 400 kg/m^3 .

3-1-2-الملدن:

تم في هذا البحث استخدام ملدن عالي الأداء، خافض للماء وتم تجريب عدة نسب لتحديد الكمية المناسبة مع مراعاة حدود المجال الذي تفترضه الشركة المصنعة (2.2-0.5)% وتم تجريب عدة خلطات لتحديد قابلية التشغيل من خلال تجربة الهبوط بمخروط أبرامز مع المحافظة على نسبة w/c ثابتة بقيمة 0.5، وبناءً عليه تم اعتماد النسب المبينة في الجدول (1-1).

الجدول (1-1) نسبة الملدن المعتمدة لكل نسبة استبدال

نسبة الاستبدال	0%	25%	75%
نسبة الملدن الى وزن الاسمنت %	0.5	0.5	1

3-1-3- فولاذ التسليح:

يوضح الجدول (1-2) خصائص فولاذ التسليح حد المرونة وحد الانقطاع الوسطي لثلاث عينات من فولاذ التسليح تم اختبارها بمخبر مواد البناء -كلية الهندسة المدنية -جامعة حمص الشكل (1-1).



الشكل (1-1) فولاذ التسليح المستخدم في العقد

الجدول (1-2) خصائص فولاذ التسليح

القطر (mm)	حد المرونة (MPa)	حد الانقطاع (MPa)
6	567.35	707.71
10	479.40	575.37
12	465.32	580.62
14	466.65	566.53

3-1-4-الركام الطبيعي :

تم إجراء تجربة التحليل الحبي في مخبر مواد البناء -كلية الهندسة المدنية-جامعة حمص، وقمنا بتصميم الخلطة الخرسانية وفق الطريقة التخطيطية منحني (فوليير - تومسون) لتحديد نسب الخلط وكانت النتائج كما يلي: بحص خشن 37%، بحص ناعم 23%، رمل مكسر 27%، ورمل قرواني 13% .

3-1-5-الركام المعاد تدويره:

تم انتقاء عينات بيتونية فقط (أعمدة - جوائز -بلاطات) من انتقاض بعض المباني في مدينة حمص-سوريا ومن ثم نقلها إلى كسارة خاصة في منطقة الصناعة- حمص - سوريا وهناك تمت عملية التكسير ومن ثم الفرز بمخبر مواد البناء- كلية الهندسة المدنية- جامعة حمص كما موضح في الشكل (1-2).



الشكل (1-2) عملية تكسير وفرز الركام المعاد تدويره

وبعدها تمت عملية الفرز بالمناخل في المخبر دون الغسيل بالماء ومن ثم الحصول على ثلاثة أنواع من البحص وتم تسميتها حسب مقاس المنخل كما يلي:

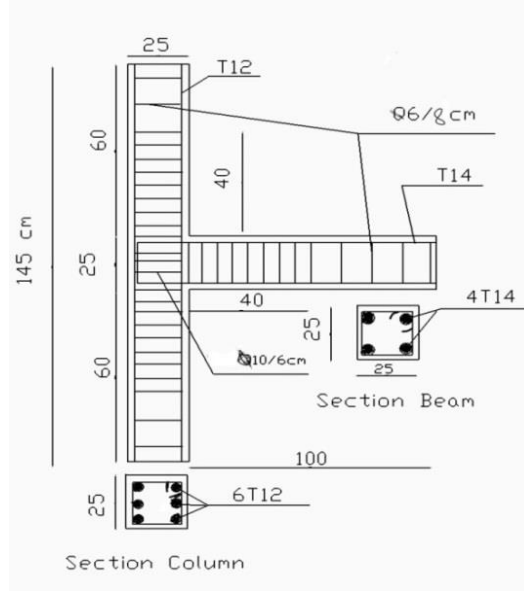
بحص خشن (16-25)mm وبحص ناعم (4.75-16)mm ورمل مكسر (زرادة) - (4.75-1.18)mm وبعد إجراء التحليل الحبي للركام المعاد تدويره تم اعتماد النسب الآتية لتصميم الخلطة:
28% بحص خشن، 34% بحص ناعم، 21% رمل مكسر (زرادة)، 17% رمل ناعم ويبين الجدول (1-3) الأوزان المستخدمة لكافة الخلطات.

الجدول (1-3) الأوزان المستخدمة بالكيلو غرام في المتر المكعب الواحد من البيتون

نسبة الاستبدال %			الركام
75%	25%	0%	
180.52	541.57	722.09	بحص طبيعي خشن
113.31	339.92	453.22	بحص طبيعي ناعم
130.41	391.22	521.63	زرادة طبيعية
397.47	132.49	-	بحص خشن معاد تدويره
482.64	160.88	-	بحص ناعم معاد تدويره
292.91	97.64	-	زرادة معاد تدويرها
288.03	252.02	234.02	رمل طبيعي
400			اسمنت
200			ماء
0.5			نسبة الماء للإسمنت

3-1-6- العينات المختبرة :

تم تحضير وصب 6 عقد بيتونية مسلحة طرفية متشابهة بنفس نسبة التسليح والابعاد كما هو موضح في الشكل (3-1)، الشكل (4-1) مع تغيير نسب الاستبدال حيث تم استخدام النسب التالية (0,25,75) % وكذلك 3 عينات بيتونية اسطوانية من كل نسبة، كما تم تحقيق العقد وفق الكود العربي السوري والتأكد من تحقيقها لكافة الاشتراطات وتم الكسر بعمر 272 يوماً.



الشكل (3-1) أبعاد وتسليح العينات المختبرة



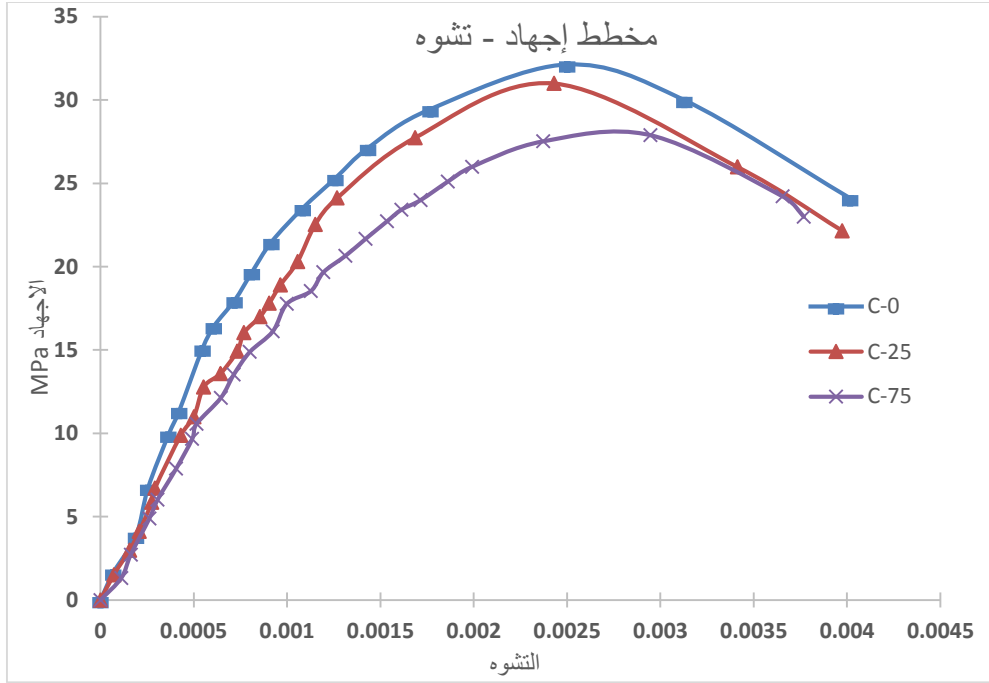
الشكل (4-1) صب العينات المدروسة

3-2- اختبار العينات البيتونية الاسطوانية:

تم كسر ثلاث عينات بعمر 272 يوم من كل نسبة لتحديد المقاومة على الضغط باستخدام جهاز الكسر الهيدروليكي الموجود في مخبر البيتون المسلح في كلية الهندسة المدنية بجامعة حمص والذي تبلغ حملته القصوى 3000KN الشكل (5-1) وتم في النهاية رسم مخطط الاجهاد التشوه الموضح في الشكل (6-1).



الشكل (5-1) العينات الاسطوانية المختبرة



الشكل (1-6) مخطط الإجهاد - التشوه للعينات الاسطوانية بتغير نسبة الاستبدال

تم إيجاد القيم الوسطية للمقاومة الاسطوانية على الضغط بعمر 272 يوم وتم حساب معامل المرونة كما هو موضح في الجدول (1-4).

الجدول (1-4) المقاومة الاسطوانية ومعامل المرونة للعينات البيتونية المدروسة

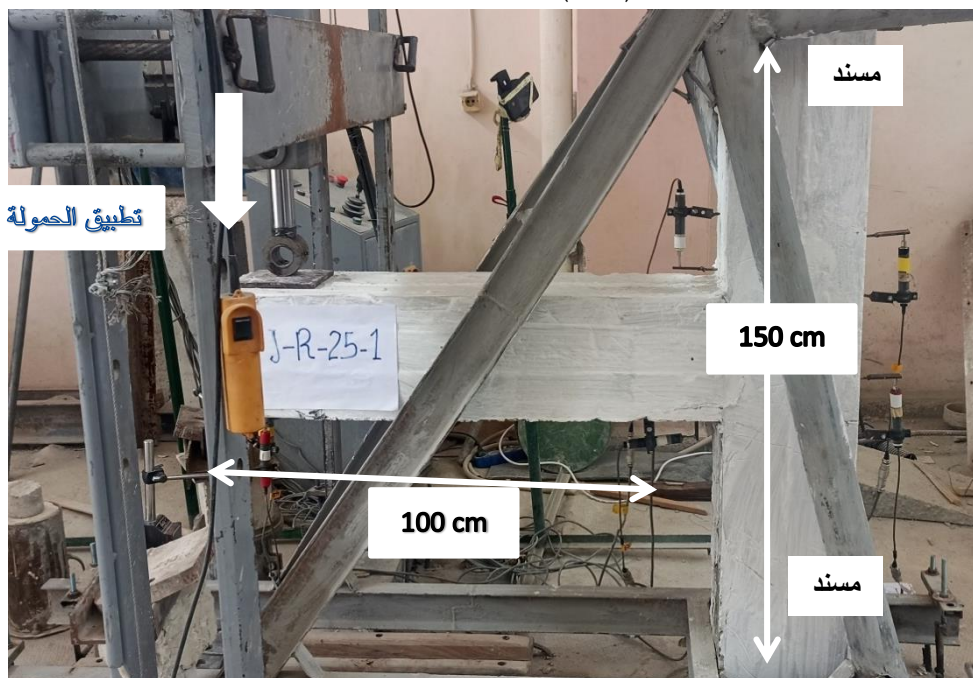
معامل المرونة (MPa) E	f'_c MPa	نسبة الاستبدال
25680	32.13	0%
23086	30.99	25%
20860	27.89	75%

نلاحظ مما سبق أن المقاومة المميزة الاسطوانية بعمر 272 يوم تتخفض مع زيادة نسبة الركام المعاد تدويره وكانت نسبة الانخفاض على التوالي (3.54%-13.19%) وفقا لنسب الاستبدال

مقارنة بالمقاومة الاسطوانية لعينات الركام الطبيعي كما نلاحظ انخفاض معامل المرونة وفق النسب التالية (10.10%-18.78%) على التوالي.

3-3- الدراسة التجريبية على العقد البيتونية المسلحة:

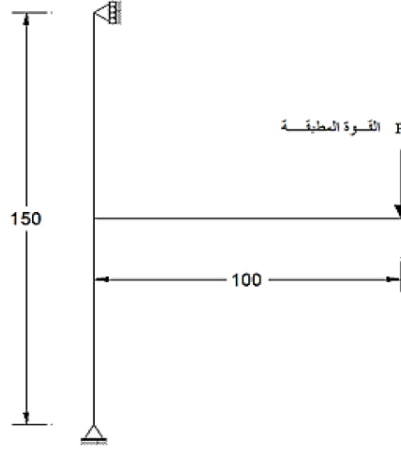
تم اجراء اختبارات التحميل لنماذج العقدة البيتونية المسلحة المدروسة من خلال هيكل معدني يتم تثبيته على جهاز كسر القساطل البيتونية الموجود في مخبر البيتون المسلح في كلية الهندسة المدنية - جامعة حمص الشكل (1-7).



الشكل (1-7) جهاز كسر القساطل مع الهيكل المعدني المثبت

3-3-1- طريقة استناد النماذج التجريبية وردود الأفعال عند المساند:

يعيق تصميم الهيكل المعدني المثبت على جهاز كسر القساطل الحركة في الاتجاه الشاقولي والاتجاه الأفقي في المستوي الشاقولي الذي تحدده الحمولة الشاقولية المطبقة عند نهاية الجانز مع ضمان استقرار النموذج التجريبي عند اجراء تجارب التحميل الشكل (1-8) [6].

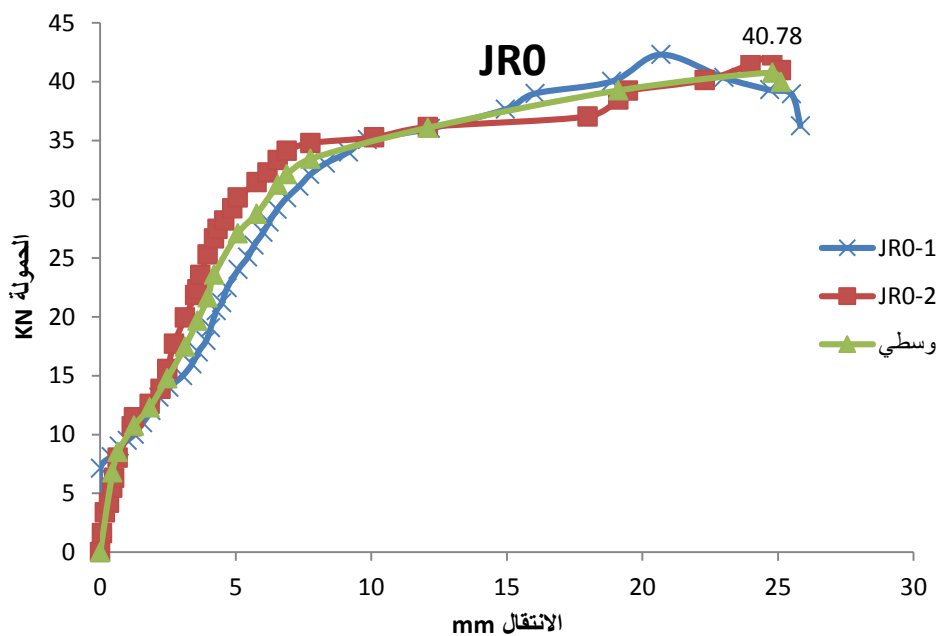


الشكل (1-8) استناد العقدة ضمن الهيكل المعدني

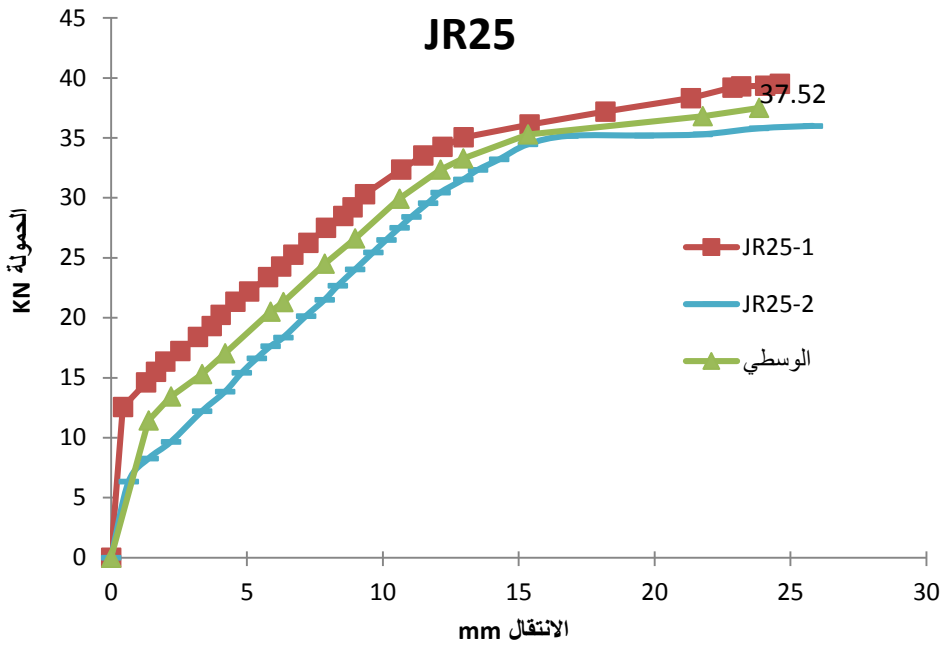
4- النتائج ومناقشتها:

4-1- الدراسة التجريبية:

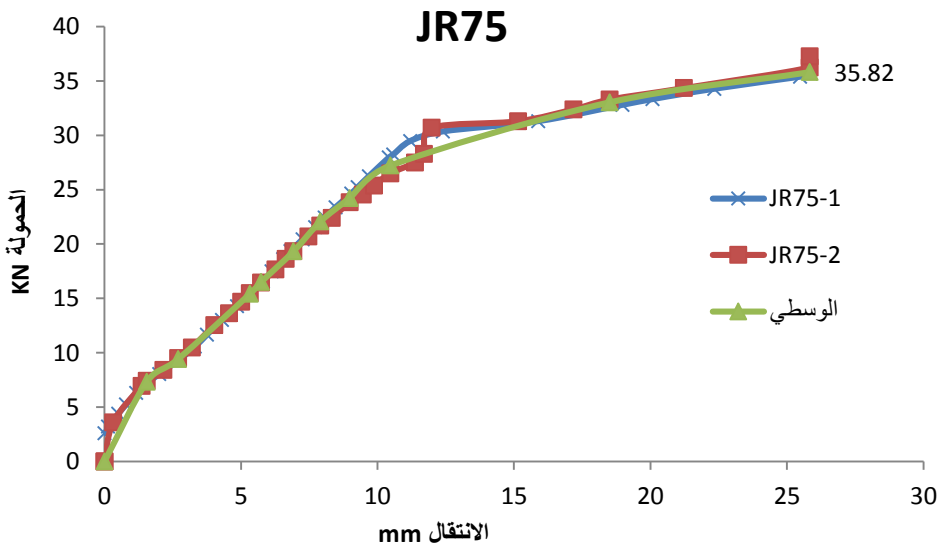
تم اختبار العقد المنفذة بالركام RAC باستخدام جهاز كسر القساطل البيتونية الموجود في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية بجامعة حمص، وقمنا بتسجيل الانتقال الشاقولي في نهاية الجائز وذلك باستخدام أجهزة LVDT الموصولة إلى جهاز تسجيل البيانات، بالإضافة إلى ملاحظة انتشار الشقوق والحمولات الموافقة لها والحمولة الموافقة لحدوث الشق الأول لجميع النماذج. تم رسم مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال الشاقولي في طرف الجائز (تحت الحمولة) للنماذج التجريبية للعقد باختلاف نسبة الاستبدال، والمتوسط لكل عينتين من نفس النموذج كما في الاشكال (1-9)، (1-10)، (1-11).



الشكل (9-1) مخطط الحمولة - الانتقال للعينة JR0

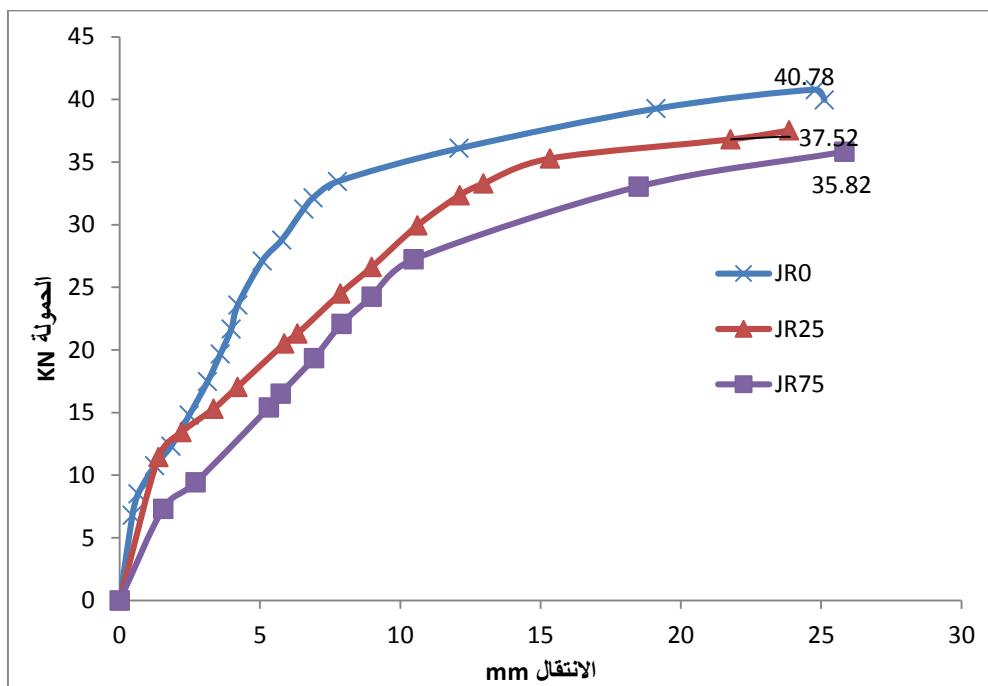


الشكل (10-1) مخطط الحمولة - الانتقال للعينة JR25



الشكل (11-1) مخطط الحمولة - الانتقال للعينة JR75

قمنا بتجميع النتائج الوسيطة للعقد باختلاف نسبة الاستبدال كما في الشكل (1-12)، وتم المقارنة بينها من حيث قيمة الحمولة الأعظمية P_{max} والحمولة الاستثنائية P_{ser} والسهم الموافق لها Δser .



الشكل (1-12) مخطط الحمولة - الانتقال للعقد JR0-JR25-JR75

يبين الجدول (1-5) انخفاض قيمة الحمولة العظمى P_{max} بنسبة % (7.99-12.16) لنسبتي الاستبدال % (25-75) على التوالي مقارنة بالحمولة العظمى التي تتحملها العقدة المرجعية.

الجدول (1-5) النتائج التجريبية للعقد باختلاف نسبة الاستبدال

العينة	$P_{ser}(KN)$	$P_{max}(KN)$	$\Delta ser (mm)$
JR0	26.51	40.78	4.43
JR25		37.52	8.97
JR75		35.82	9.58

بمقارنة السهم عند الحمولة الاستثمارية مع السهم المسموح في الكود العربي السوري [6] والمقدر ب $5.55mm = \frac{L}{180}$ نجد أن السهم للعينة المرجعية محقق بينما في العينتين JR25, JR75 زادت قيمة السهم تقريباً بنسبة 102%, 116% على التوالي مقارنة بسهم العقدة المرجعية.

4-1-1-عزم التشقق:

قمنا بحساب العزم عند بداية تشكل الشقوق في منطقة الانعطاف وفق الكود العربي السوري [6] من العلاقة التالية:

$$M_{cr} = \frac{\sigma_{bt_{Mcr}} * I_g}{y_t}$$

$$\sigma_{bt_{Mcr}} = f_{cb} = 0.74\sqrt{f'_c}$$

كذلك وفق الكود ACI [4] وذلك من العلاقة:

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_g}{y_t}$$

$f_r = 0.75\sqrt{f'_c}$ وفق الكود الهندي لمسبق الاجهاد [3] :

تجريبي Mcr KN.m	Mcr						نسبة الاستبدال %
	%			KN.m			
	IS		ACI		السوري		
11.5	10.1%	10.33	3.7%	11.07	5%	10.92	0%
10	1.4%	10.15	8.7%	10.87	7.2%	10.72	25%
9.5	1.3%	9.63	8.5%	10.31	7.1%	10.17	75%

$$M_{cr} = \frac{f_{cr} * I_g}{y_t}$$

$$f_{cr} = 0.7\sqrt{f'_c}$$

الجدول (6-1) مقارنة عزم التشقق التجريبي مع عدة كودات

وفي النهاية تم مقارنة النتائج مع عزم التشقق التجريبي و نلاحظ من خلال الجدول (6-1) أن علاقات الكود الهندي لمسبق الاجهاد كانت الأقرب لعزم التشقق في العقد المنفذة بركام معاد تدويره حيث كان الفرق بين العزم التجريبي والعزم الناتج من علاقات الكود الهندي (1.4-1.33%) للعقد المنفذة بنسبة استبدال (25-75%) على التوالي.

4-1-2- قدرة تحمل العقد البيتونية المسلحة:

قمنا بحساب أعظم عزم يمكن أن تتحمله العقدة وهو يساوي القوة الأعظمية حيث أن ذراع القوة 1m. تم حساب العزم MR لكافة نسب الاستبدال وذلك وفق العلاقات [6]:

$$M_R = R_b * b * d^2 * K_{MR}$$

$$K_{MR} = \frac{R_s}{R_b} = \frac{\zeta_b * \zeta * f_y}{\zeta_b * \zeta * 0.85 * f'_c}$$

الجدول (7-1) العزم الاعظمي النظري والتجريبي

نسبة الفرق %	MR تجريبي	MR (KN.m)	نسب الاستبدال %
14%	40.78	35	0%
6.7%	37.52	34	25%
2.3%	35.82	33	75%

يوضح الجدول (7-1) قيم العزوم الناتجة والفرق بين القيم النظرية والتجريبية حيث لم يتجاوز أكبر فرق قيمة 14% وأعطت العلاقة النظرية قيمة أقل من قيم التجارب .

4-2- الدارسة التحليلية:

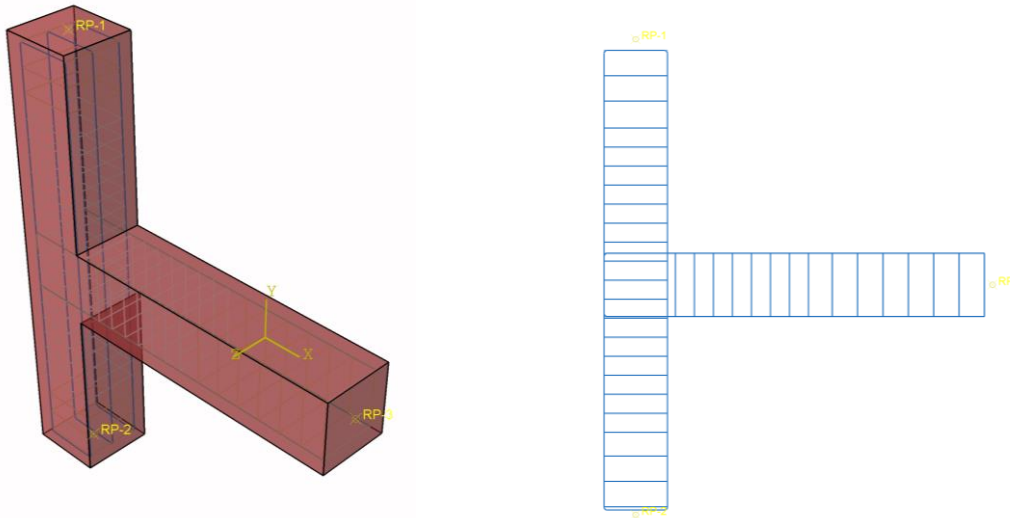
تم اجراء النمذجة العددية باستخدام برنامج ABAQUS الذي يعتمد على طريقة العناصر المحدودة في التحليل، من أجل محاكاة العقدة المدروسة تم استخدام العنصر المكعبي C3D8R لتمثيل العقدة البيتونية المسلحة حيث يتألف هذا العنصر من ثمان عقد وثلاث درجات حرية لكل عقدة بينما تم

تمثيل القضبان الفولاذية من خلال العنصر T3D2 وهو مؤلف من عقدتين بثلاث درجات حرية لكل عقدة ويوضح الشكل (1-13) نموذج العقدة المدروس.

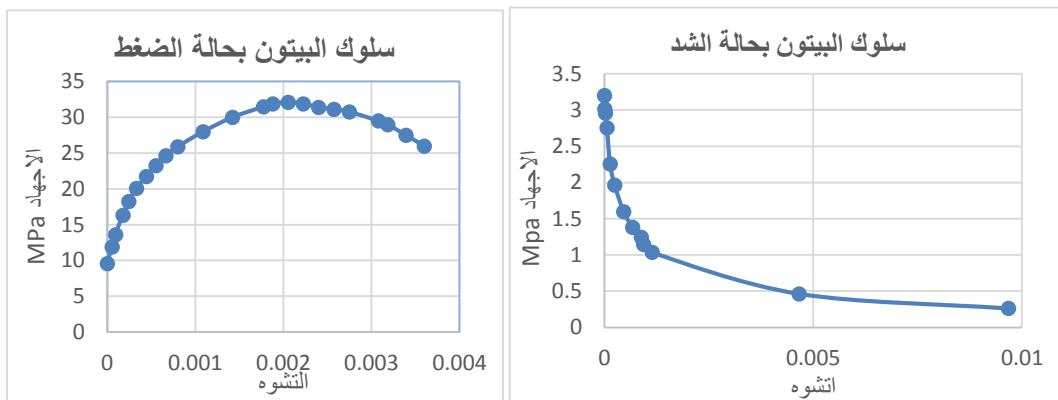
تم تمثيل مادة الببتون المسلح من خلال معاملات Concrete Damage Plasticity حيث تم اعتماد المعاملات المبينة في الجدول (1-8) ويوضح الشكل (1-14) سلوك مادة الببتون تحت تأثير الضغط والشد المحوري.

الجدول (1-8) معاملات CDP المدخلة لبرنامج ABAQUS

اللزوجة Viscosity	سطح التلدن K	نسبة الضغط الثنائي إلى الأحادي F_{b0}/f_{c0}	اللامركزية Eccentricity	زاوية الاحتكاك Dilation Angel
0.006	0.667	1.16	0.1	30

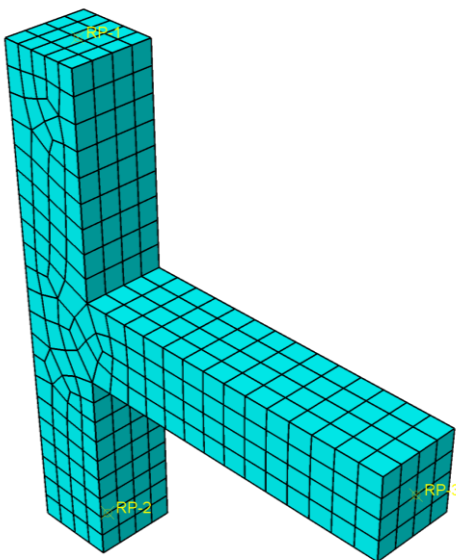


الشكل (1-13) نموذج العقدة في برنامج ABAQUS



الشكل (14-1) سلوك مادة البيتون تحت تأثير الضغط والشد المحوري

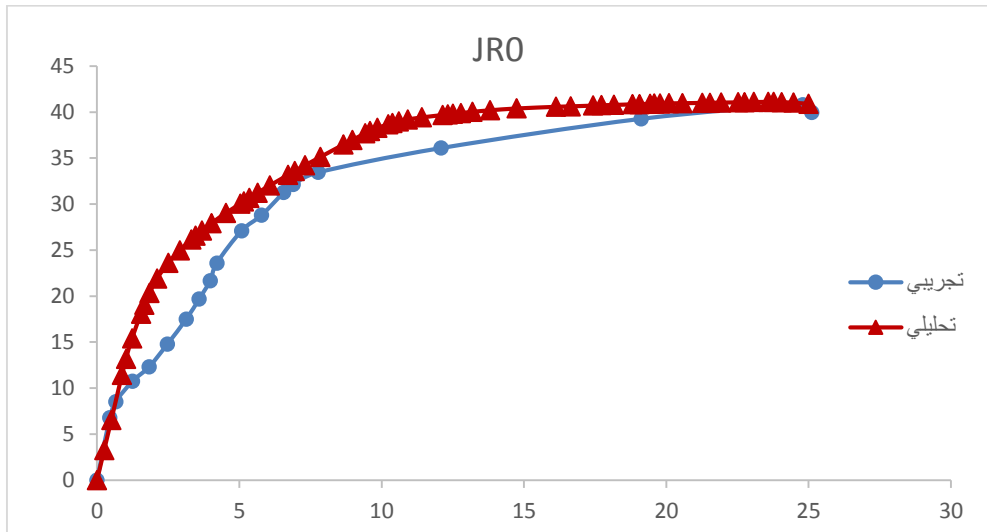
تم تقسيم العقدة الى عدد من العناصر المحدودة وتجريب عدة أبعاد للعنصر المحدود ومن خلال تقارب النتائج تبين أن التقسيم المناسب هو $\text{mesh}=70\text{mm}$ كما هو موضح في الشكل (15-1).



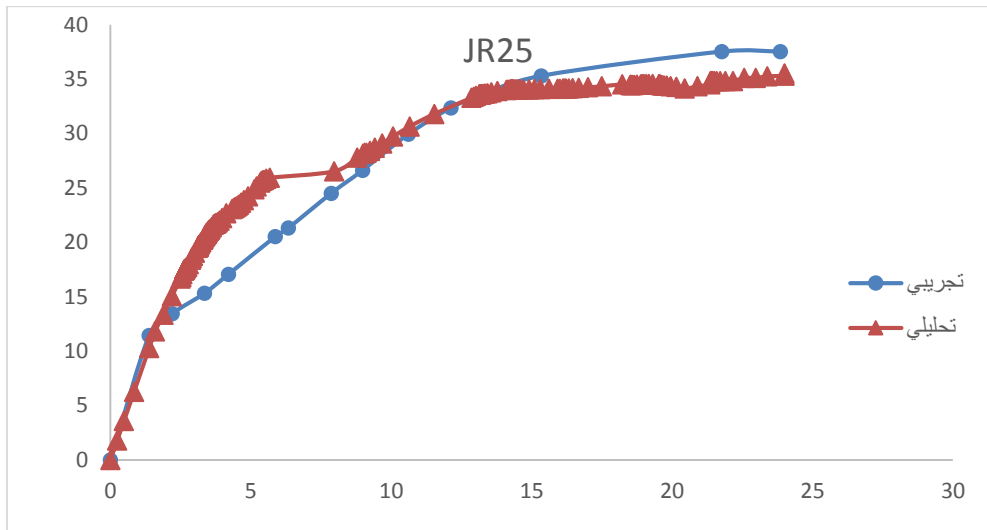
الشكل (15-1) تقسيم العنصر لمجموعة من العناصر المحدودة

3-4- مقارنة مخطط الحمولة - الانتقال بين التحليلي والتجربي:

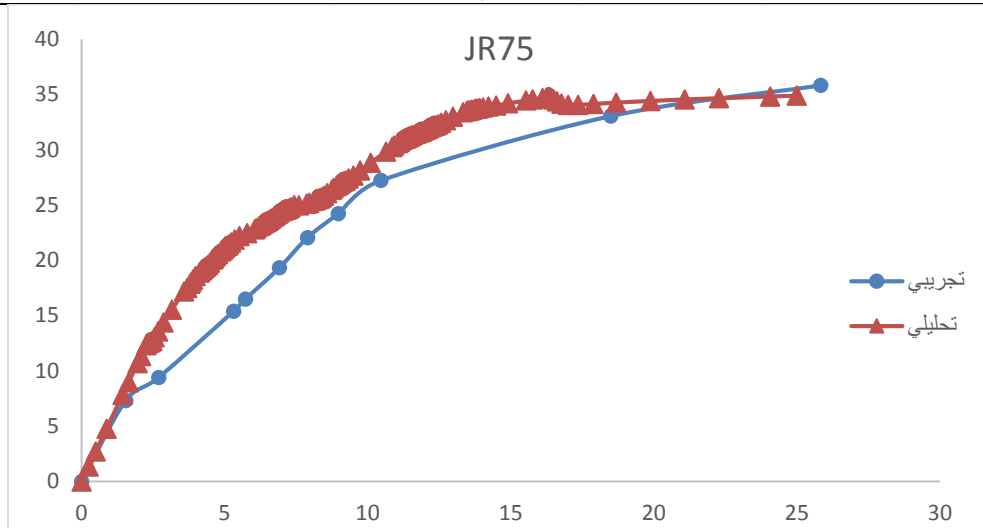
تم رسم مخططات الحمولة - الانتقال لجميع العقد بنسب الاستبدال (0-25-75) على التوالي الاشكال (1-16)، (1-17) و (1-18) ، ثم تم اجراء مقارنة القوة الأعظمية التي تتحملها العقدة بين النتائج التجريبية والتحليلية وتوضح النتائج في الجدول (1-8).



الشكل (1-16) مخطط حمولة - انتقال التجربي والتحليلي للعقدة JR0



الشكل (1-17) مخطط حمولة - انتقال التجربي والتحليلي للعقدة JR25



الشكل (18-1) مخطط حمولة-انتقال التجريبي والتحليلي للعقدة JR75

الجدول (9-1) مقارنة النتائج التجريبية والتحليلية

العقدة	Pmax التجريبية KN	Pmax التحليلية KN	الفرق %	Δs_{er} (mm) تجريبي	Δs_{er} (mm) تحليلي	الفرق %
JR0	40.78	41.12	0.8	4.43	4.3	2.2
JR25	37.52	35.51	5	8.9	8.5	4.5
JR75	35.82	34.89	2.5	9	8.8	2.1

نلاحظ من خلال الجدول (9-1) تقارب النتائج التحليلية مع التجريبية بشكل مقبول مما يجعل النموذج التحليلي مقارب للعقدة المختبرة.

4-4-توزيع الشقوق :

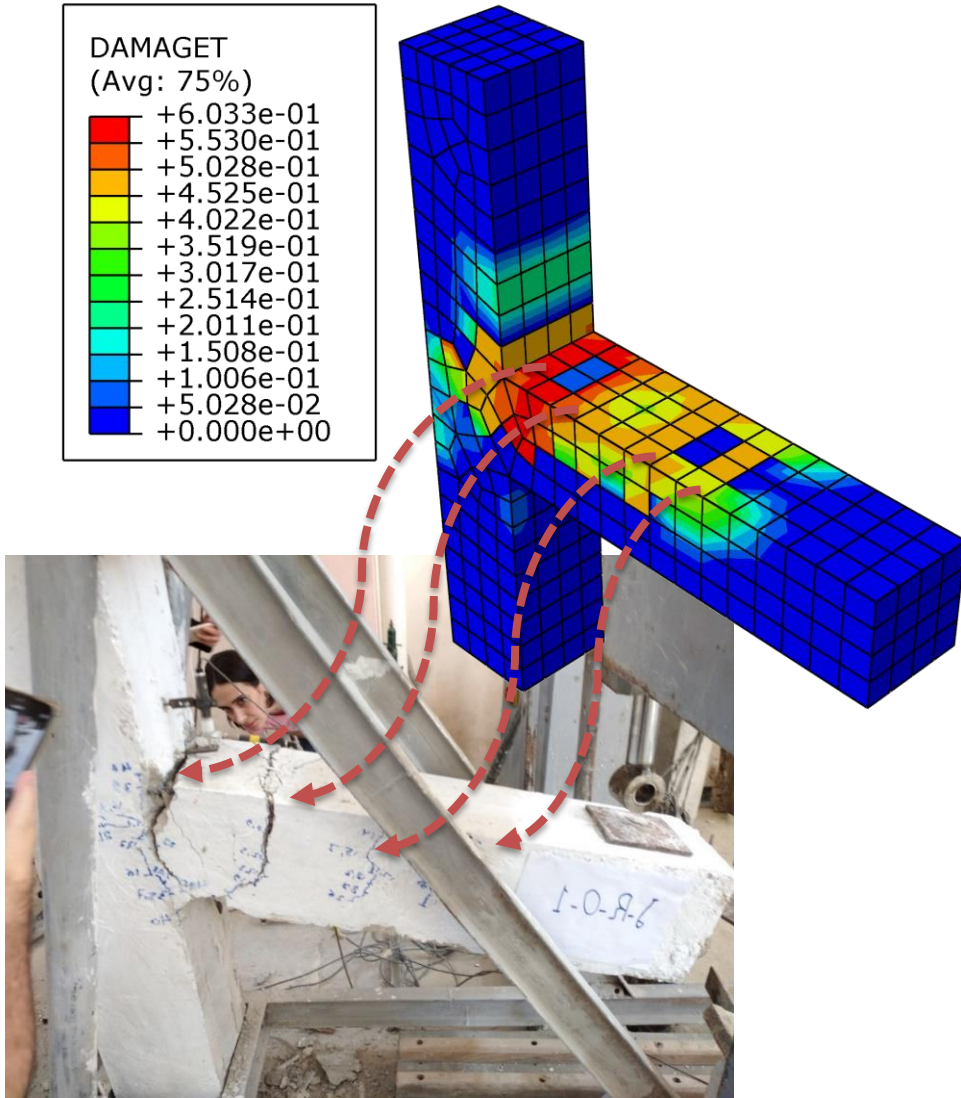
لوحظ تشكل عدة شقوق شعيرية في الوجه العلوي وكان عددها 4 في غالبية العقد وتباعدها متقارب نوعا ما كما هو موضح في الشكل (19-1).



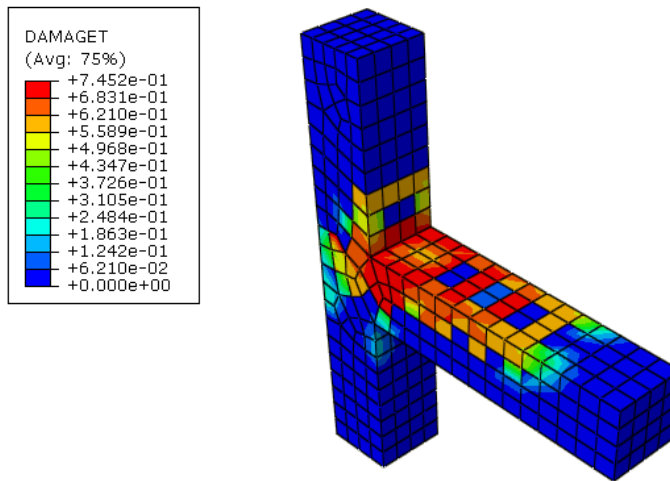
الشكل (1-18) توزيع الشقوق وامتدادها في العقدة

بعد التحميل يبدأ الشق (1) بالظهور يتبعه الشق (2) و بعد ازدياد عمقهما ليصلا تقريبا لنصف ارتفاع الجائز يظهر الشق (3) ويليه الشق (4) ، مع استمرار توسع وامتداد الشقوق وتوسع عرض الشق الرئيسي إلى أن يصل امتداده لمنطقة الضغط حيث يحدث الانهيار دون الوصول لمنطقة العقدة .

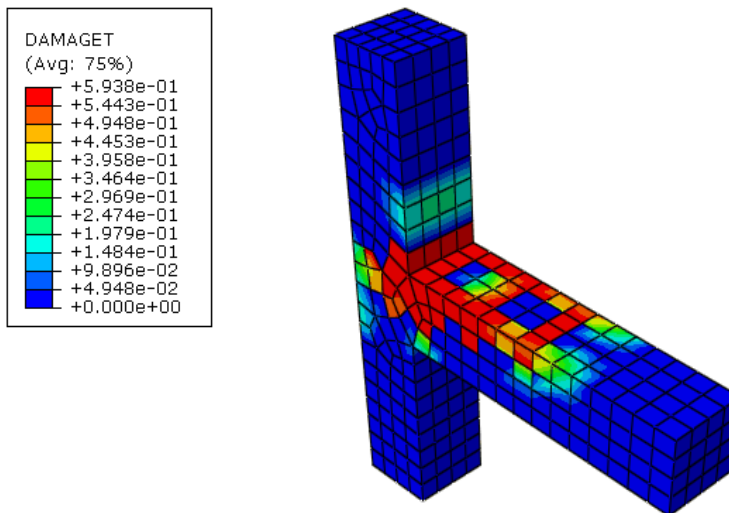
تظهر الاشكال (1-20)، (1-21) و (1-22) توزيع الشقوق في العقد تجريبياً وتحليلياً للنسب (0- 75-25) على التوالي.



الشكل (1-20) توزيع الشقوق وامتدادها في العقدة JR0



الشكل (1-21) توزيع الشقوق وامتدادها في العقدة JR25



الشكل (1-22) توزيع الشقوق وامتدادها في العقدة JR75

5-الاستنتاجات والتوصيات:

5-1-الاستنتاجات:

1- لم يتغير نمط التشقق بتغير نسبة الاستبدال لكافة العينات وكان يبدأ بظهور عدة شقوق على الوجه العلوي للجائز مع استمرار توسعها والوصول للانهياب دون وصول الانهياب لداخل العقدة.

2- انخفاض قيمة الحمولة العظمى P_{max} بنسبة $(7.99-12.16)\%$ لنسبتي الاستبدال $(25-75)\%$ على التوالي مقارنة بالحمولة العظمى التي تتحملها العقدة المرجعية. مع زيادة قيمة السهم تقريباً بنسبة $102\%, 116\%$ على التوالي مقارنة بسهم العقدة المرجعية.

3- بعد حساب عزم التشقق من عدة كودات تبين أن الكود الهندي هو الأقرب وكان الفرق بين العزم التجريبي والعزم الناتج من علاقات الكود الهندي $(1.33-1.4)\%$ للعقد المنفذة بنسبة استبدال $(25-75)\%$ على التوالي.

4- تقارب النتائج التحليلية مع التجريبية بشكل مقبول مما يجعل النموذج التحليلي مقارب للعقدة المختبرة حيث كان الفرق بينهما بنسبة $(2.5-5-0.8)$ لنسب الاستبدال $(25-0-75)\%$ على التوالي.

5- أوضحت التجارب والنتائج إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في العناصر الانشائية وتحديدًا "العقد البيتونية المسلحة حيث أبدت نسبة الاستبدال 25% تقارباً واضحاً مع العقدة المرجعية سواء من ناحية قدرة التحمل أو آلية التشقق وكذلك الحمولة عند بداية ظهور الشقوق وكان سلوكها أفضل من العقدة ذات نسبة الاستبدال 75% .

5-2- التوصيات:

- 1-دراسة أنواع أخرى من العقد البيتونية المسلحة.
- 2-دراسة أشكال تحميل أخرى (حمل دوري مثلاً) لنفس العقدة المدروسة.
- 3-دراسة تأثير تغير التسليح (أقطار-عدد القضبان-تباعدات) على النتائج.

6-المراجع:

- 1-LI FU J,KANG LIU B and WEI MA J,2017- **Experimental Research on Longitudinal Steel Bar Bond Properties in Modified Recycled Aggregate Concrete Beam-Column Interior Joint under Cyclic Loading**. eMarefa Database,Egypt,14P.
- 2- Muhammed Muneer E K and Gokul Raveendran K ,2020-**Beam-Column Connection with Core Reinforcement and Recycled Concrete Aggregate: An Overview**.International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 11, Issue 10, India,5P.
- 3- Indian Standard IS 456:2000 "**Plain And Reinforced Concrete –Code Of Practice**"-Fourth Revision-New Delhi.
- 4-ACI 318-19,-"**Building Code Requirements for structural concrete and Commentary**"-ACI Manual of Concrete Practice ,Part3.
- 5-تماضر مقبل، د. قاسم الزحيلي، 2014. "دراسة تجريبية على الخرسانة المنتجة من ركام معاد تدويره". مجلة جامعة تشرين-المجلد 36-العدد 4.
- 6-"الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة"(2018)-الطبعة الخامسة -دمشق.
- 7-رسالة دكتوراه في الهندسة الانشائية "دراسة فعالية الفيروسمنت في تدعيم عقدة جائر -عمود بيتونية طرفية" (2023) م.حيدر خضور، د.سليمان العامودي، د.إحسان الطرشة-جامعة حمص-كلية الهندسة المدنية-قسم الهندسة الانشائية-حمص-2023.