

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 توزع 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 عده شقوق على السطح العلوي للجائز وذلك في جميع العينات ثم حدوث الانهيار نتيجة توسيع الشق الرئيسي عند بداية اتصال الجائز مع العمود. كما أظهرت النتائج التحليلية تقارياً مع مثيلتها التجريبية. تراوحت نسبة الفرق في الحمولة الاعظمية التجريبية والتحليلية بين (5%-2.5%) للعقد ذات نسب الاستبدال (25%-75%) على التبالي مقارنة بالعقدة المرجعية. أظهرت النتائج إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في العناصر الإنسانية 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 الإنسانية-كلية الهندسة المدنية-جامعة حمص-حمص-سوريا.

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

3 طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الإنسانية-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) edg 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 تولالت 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 الطرق 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 ثلاثة عينات لعقد داخلية من البيتون ذي الركام المعاد تدويره بما فيهم عينتان 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 اكتناف السطح الخارجي وقوه الترابط للركام المعاد تدويره في مرحلة التشقق الكامل. لذلك تلبية لمتطلبات التصميم يقترح الباحثون أن يكون قطر التسلیح للعمود المار بالعقدة الداخلية من الإطار صغيراً [1].

قام الباحثان [قاسم الزحيلي، تماضر مقبل،2014] بدراسة تأثير الركام المعاد تدويره على الخلطة البيتونية بعدة نسب وتبين أن استخدام خلطة بنسبة 50% أعطت مقاومات أخفض على الضغط بنسبة 8% من مقاومة الخلطة المرجعية وأن النسبة 75% غير مجده كثيراً فقد كانت نتائجها مقاربة للنسبة 100% وأوضحاوا 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 العقدة بركام معاد تدويره وأوضحاً أن جودة بيتون RAC تعتمد على ميزات الركام المستخدم وحالة المنشأة المهدمة وأنه 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 الملنن لتخفيض النسبة W/c) وأن إضافة التسلیح في منطقة العقدة 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 التسلیح بالإضافة إلى أن العقد المدروسة في أغلب الأبحاث المنشورة غير محققة للاشتراطات المطلوبة في العقد من ناحية التسلیح 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 (75-25-0) ومقارنة النتائج مع العقد المرجعية المحضرة من ركام طبيعي.

3-مواد وطرق البحث:

3-1-خصائص المواد المستخدمة:

3-1-1-الاسمنت:

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

3-2-الملنن:

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 (0.5-2.2) % 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 الملدن الى وزن الاسمنت %	نسبة الاستبدال	0%	25%	75%
1	0.5	0.5	0.5	1

3-1-3- فولاذ التسلیح:

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



الشكل (1-1) فولاذ التسلیح المستخدم في العقد

الجدول (2-1) خصائص فولاذ التسليح

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

4-1-3-الركام الطبيعي :

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

5-1-3-الركام المعاد تدويره:

تم انتقاء عينات بيتونية فقط (أعمدة - جوائز- بلاطات) من انقاض 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 (2-1) عملية تكسير وفرز الركام المعاد تدويره

وبعدها تمت عملية الفرز بالمناخل في المختبر دون الغسيل بالماء ومن ثم الحصول على ثلاثة

أنواع من البحص وتم تسميتها حسب مقاس المناخل كما يلي:

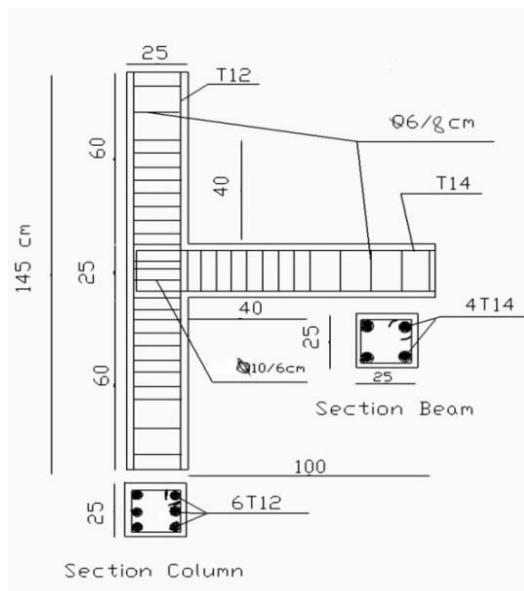
بحص خشن (16-25)mm وببحص ناعم (4.75-16)mm ورمل مكسر (زرادة) 4.75mm وبعد إجراء التحليل الحبي للركام المعاد تدويره تم اعتماد النسب الآتية لتصميم الخلطة 1.18mm: 28% بحص خشن ، 34% بحص ناعم، 21% رمل مكسر (زرادة)، 17% رمل ناعم ويبين الجدول (1-3) الأوزان المستخدمة لكافة الخلطات.

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

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

6-1-3-العينات المختبرة :

تم تحضير وصب 6 عقد بيتونية مسلحة طرفية متشابهة بنفس نسبة التسلیح والابعاد كما هو موضح في الشكل (1-3) ، الشكل (1-4) 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 بعد عمر 272 يوماً.



الشكل(3) أبعاد وتسلیح العینات المختبرة



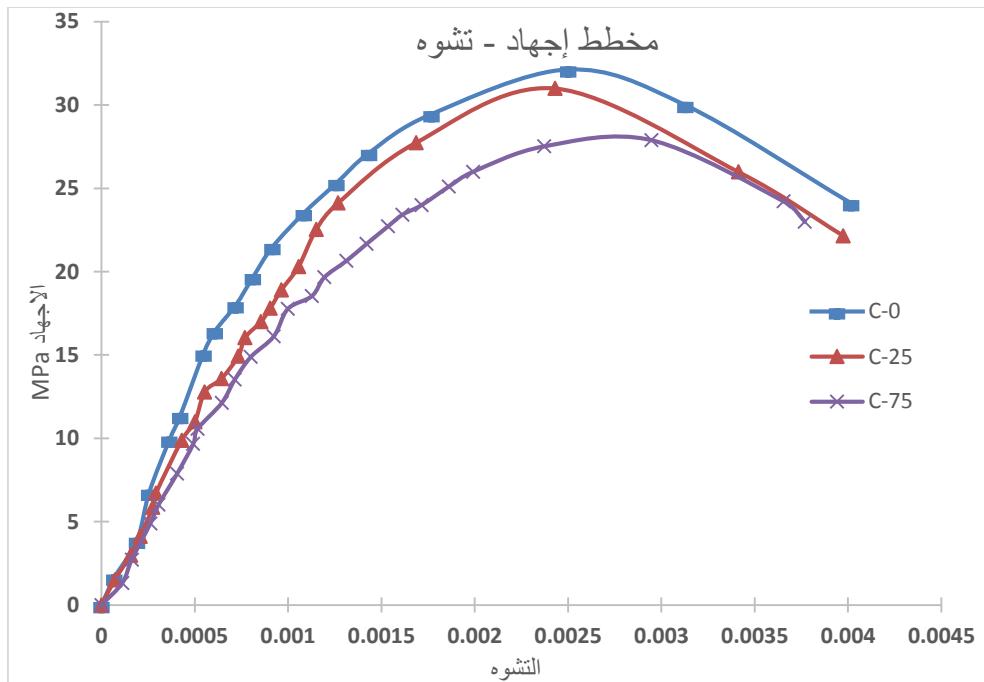
الشكل(4) صب العینات المدرّسة

3- اختبار العينات البetonية الاسطوانية:

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



الشكل (1-5) العينات الاسطوانية المختبرة



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

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

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

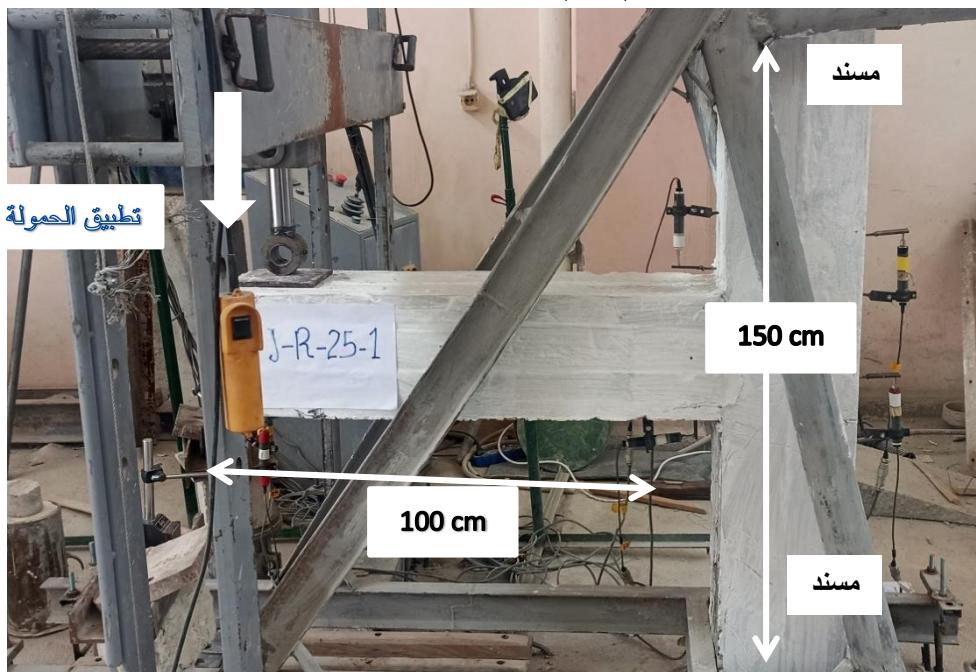
معامل المرونة (MPa)	f'_c MPa	نسبة الاستبدال
25680	32.13	0%
23086	30.99	25%
20860	27.89	75%

نلاحظ مما سبق أن المقاومة المميزة الاسطوانية بعمر 272 يوم تتحفظ مع زيادة نسبة الركام المعاد تدويره وكانت نسبة الانخفاض على الت التالي (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 التالى.

3-3-الدراسة التجريبية على العقد البيتونية المسلحة:

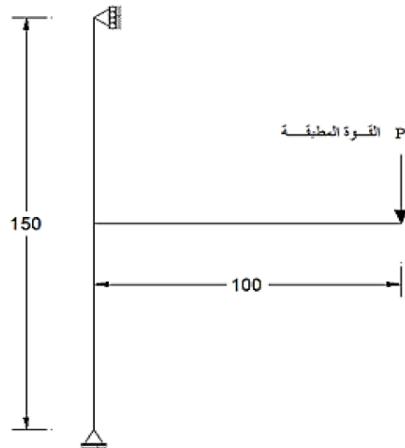
تم اجراء اختبارات التحميل لنماذج العقدة البيتونية المسلحة المدروسة من خلال هيكل معدني يتم تثبيته على جهاز كسر القساطل البيتونية الموجود في مخبر бетон المسلحة في كلية الهندسة المدنية - جامعة حمص الشكل (1-7).



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 المستوى الشاقولي الذي تحدده الحمولة الشاقولية المطبقة عند نهاية الجائز مع ضمان استقرار النموذج التجاري عند اجراء تجارب التحميل الشكل(1-8)[6].



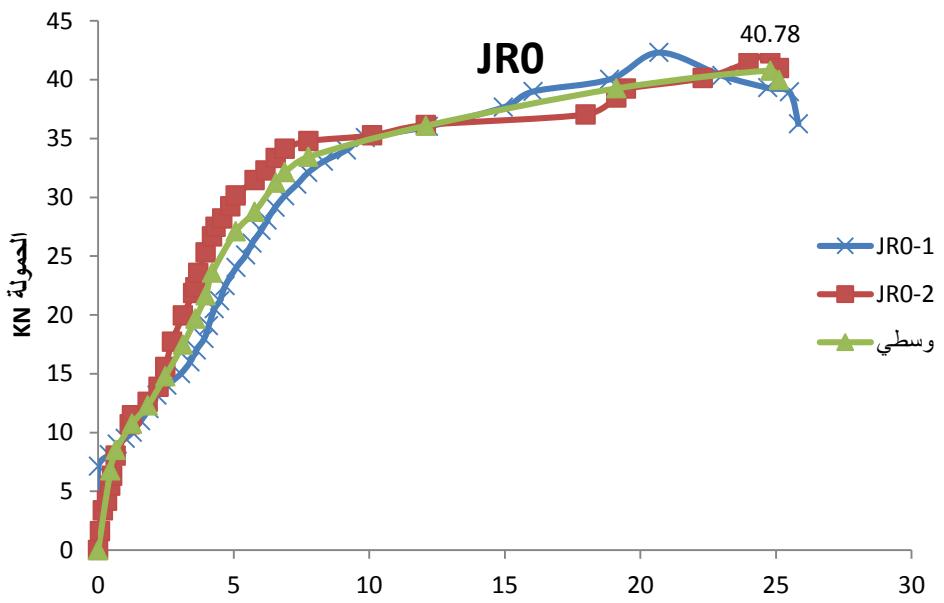
الشكل(1-8) استناد العقدة ضمن الهيكل المعدني

4- النتائج ومناقشتها:

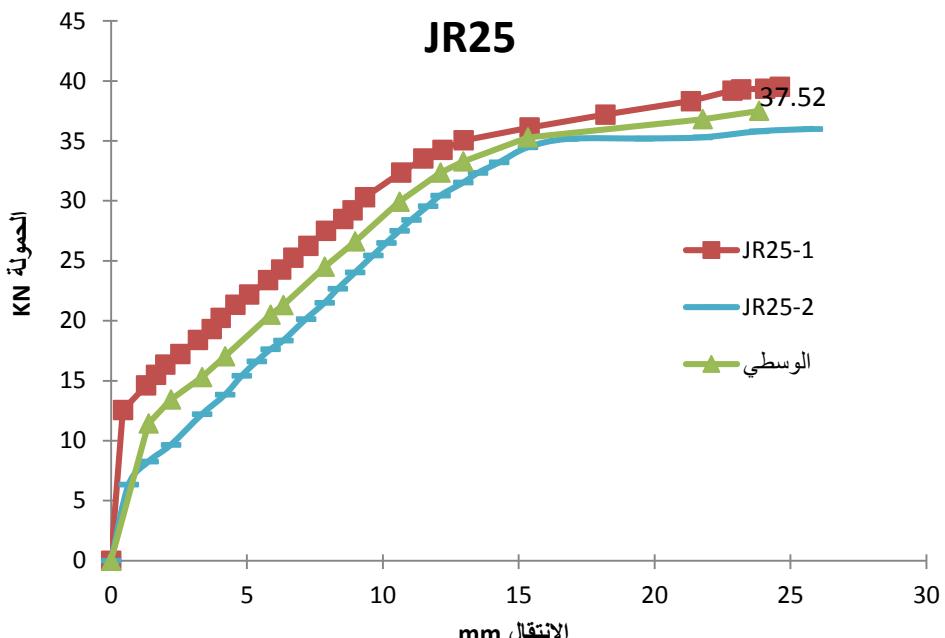
4-1- الدراسة التجريبية:

تم اختبار العقد المنفذة بالركام RAC باستخدام جهاز كسر القساطل البيتونية الموجود في مخبر البناء 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 لحدوث الشق الأول لجميع النماذج.

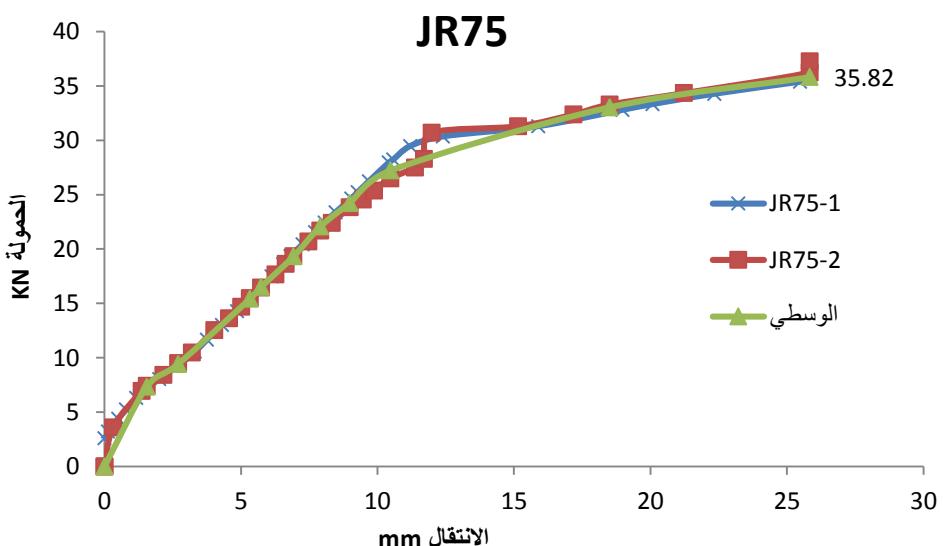
تم رسم مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال الشاقولي في طرف الجائز (تحت الحمولة) للنماذج التجريبية للعقد باختلاف نسبة الاستبدال ، والمتوسط لكل عينتين من نفس النموذج كما في الاشكال (1-9)، (1-10)، (1-11).



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

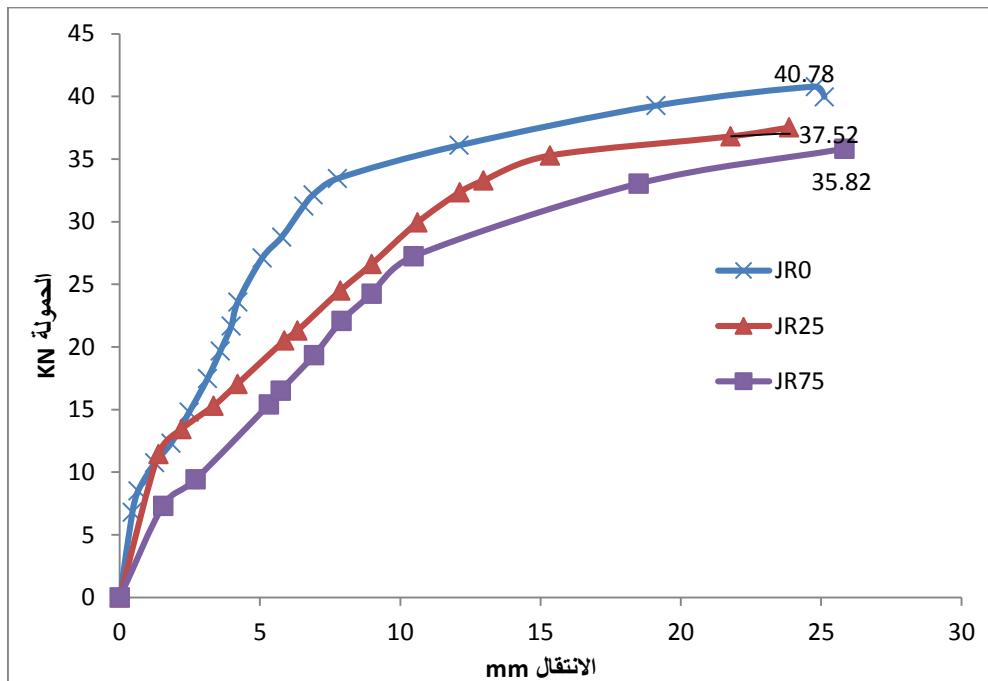


الشكل(1-10) مخطط الحمولة - الانتقال للعينة JR25



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

قمنا بتجميع النتائج الوسطية للعقد باختلاف نسبة الاستبدال كما في الشكل (12-1)، وتم المقارنة بينها من حيث قيمة الحمولة الأعظمية P_{max} والحمولة الاستثمارية P_{ser} والرسوم الموقعة لها.



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

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

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

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

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

1-1-4- عزم التشقق:

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

$$M_{cr} = \frac{\sigma b t_{Mcr} * I_g}{y_t}$$

$$\sigma b t_{Mcr} = f_{cb} = 0.74\sqrt{f'_c}$$

كذلك وفق الكود ACI [4] وذلك من العلاقة:

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

وفق الكود الهندي لمسبق الاجهاد [3] :

تجريبي Mcr KN.m	Mcr					نسبة الاستبدال %	
	% IS		KN.m ACI				
	السورى						
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 التجربى مع عدة كودات

وفي النهاية تم مقارنة النتائج مع عزم التشقق التجاري 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 التجاري والعزم الناتج من علاقات الكود الهندي (1.4-1) 1.33% للعقد المنفذة بنسبة استبدال (25-75%) على التالى.

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

قمنا بحساب أعظم عزم يمكن أن تتحمله العقدة وهو يساوي القوة الأعظمية حيث أن ذراع القوة تم حساب العزم MR لكافية 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 والتجاري

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

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-الدراسة التحليلية:

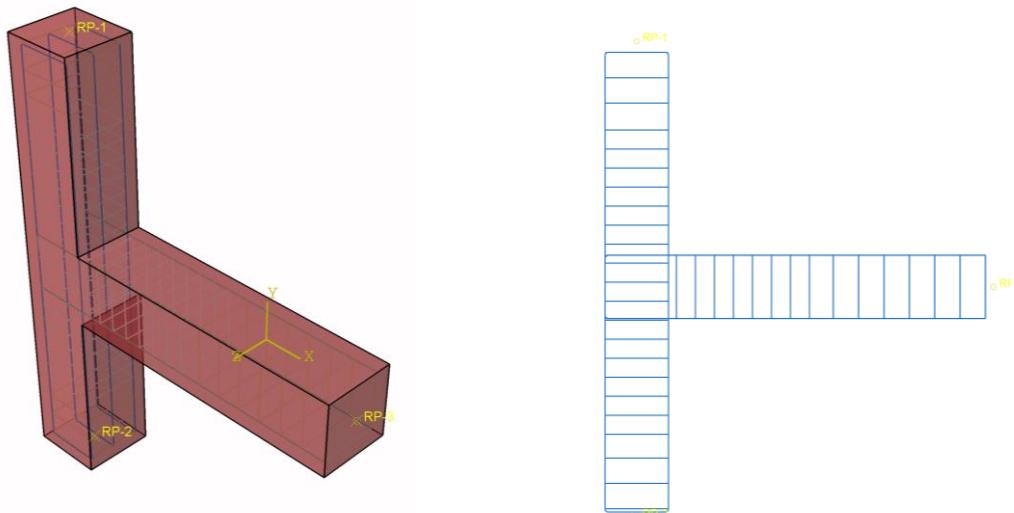
تم اجراء النمذجة العددية باستخدام برنامج ABAQUS الذي يعتمد على طريقة العناصر المحدودة في التحليل، من أجل محاكاة العقدة المدروسة تم استخدام العنصر المكعب C3D8R لتمثيل العقدة البيتونية المسلحة حيث يتتألف هذا العنصر من ثمان عقد وثلاث درجات حرية لكل عقدة بينما تم

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

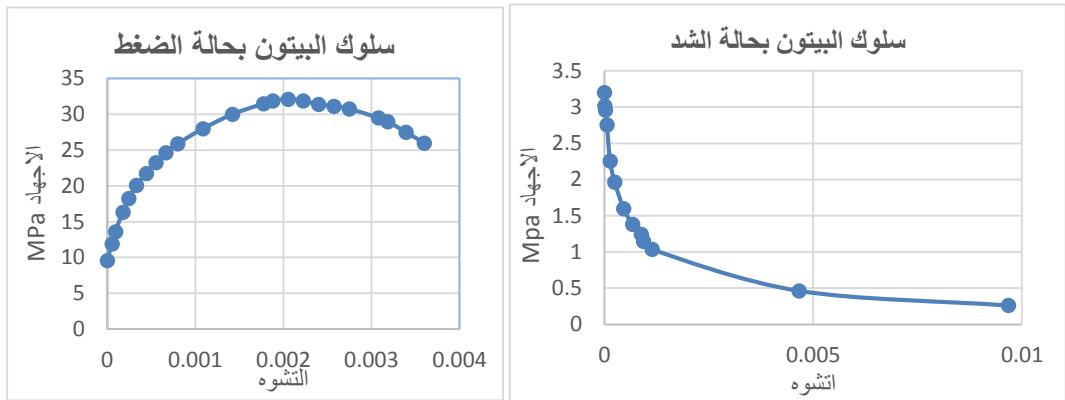
تم تمثيل مادة البيتون المسلح من خلال معاملات Concrete Damage Plasticity حيث تم اعتماد المعاملات المبينة في الجدول (14-1) ويوضح الشكل (14-1) سلوك مادة البيتون تحت تأثير الضغط والشد المحوري.

الجدول (1-8) معاملات CDP المدخلة لبرنامج ABAQUS

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

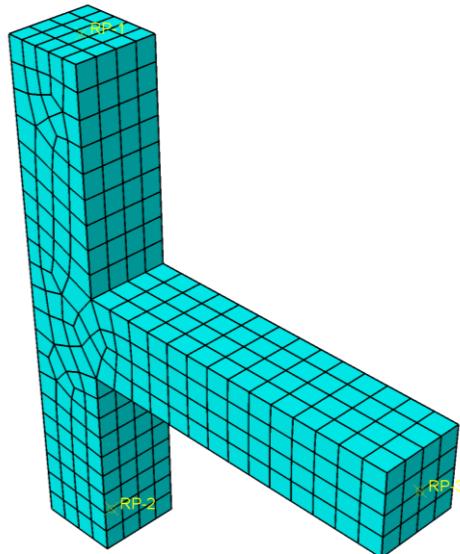


الشكل (13-1) نموذج العقدة في برنامج ABAQUS



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

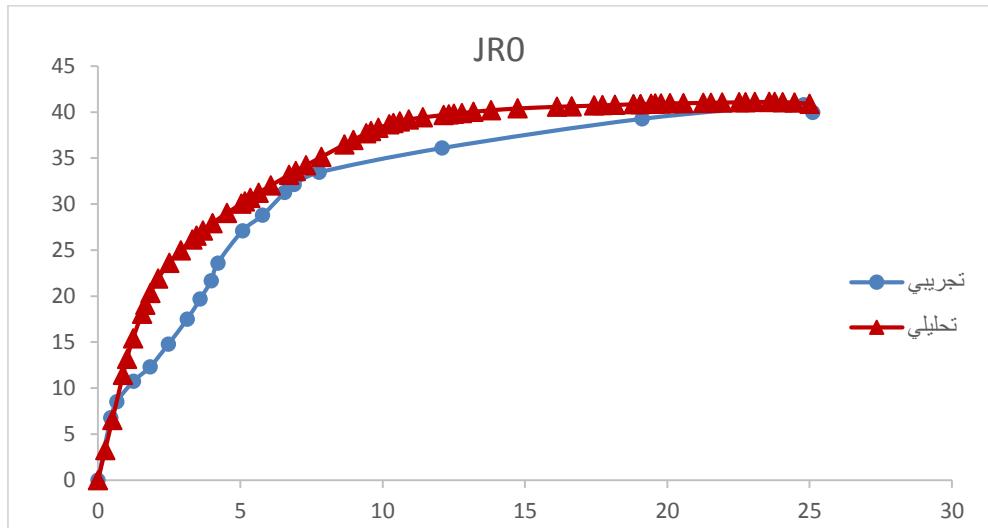
تم تقسيم العقدة الى عدد من العناصر المحدودة وتجرب عدة ابعاد للعنصر المحدود ومن خلال تقارب النتائج تبين أن التقسيم المناسب هو $mesh=70\text{mm}$ كما هو موضح في الشكل (15-1).



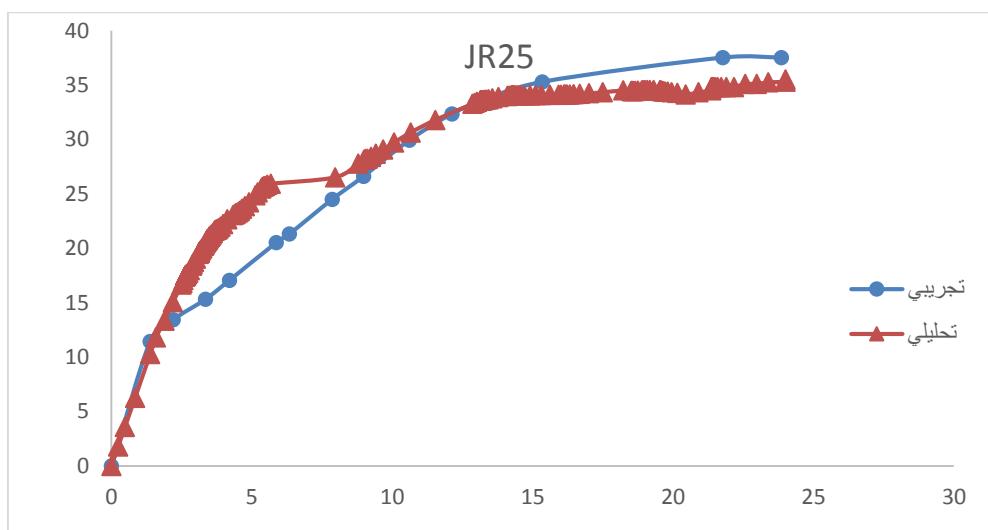
الشكل(1-15) تقسيم العنصر لمجموعة من العناصر المحدودة

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

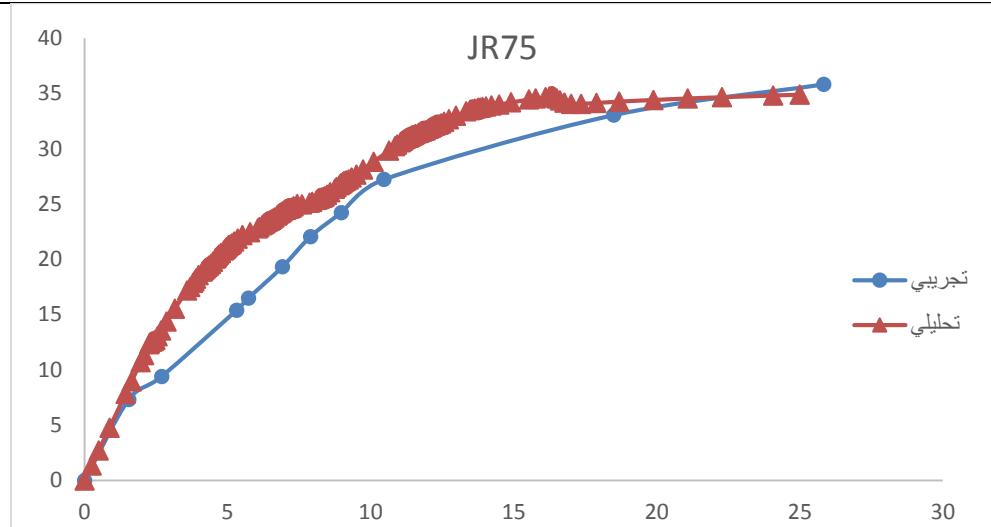
تم رسم مخططات الحمولة - الانتقال لجميع العقد بنسب الاستبدال (0-75-25%) على التالى الاشكال (1-16)، (1-17) و (1-18)، ثم تم اجراء مقارنة القوة الاعظمية التي تحملها العقدة بين النتائج التجريبية والتحليلية وتوضح النتائج في الجدول (1-8).



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



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



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

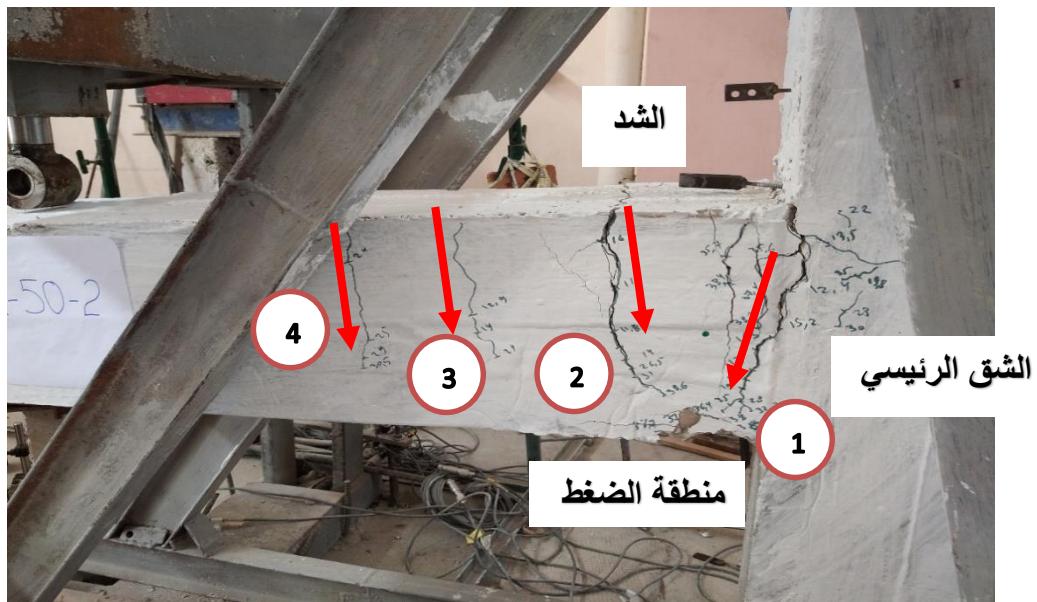
الجدول(9-1) مقارنة النتائج التجريبية والتحليلية

العقدة	P _{max} التجريبية KN	P _{max} التحليلية KN	الفرق %	Δser (mm) تحليلي	Δser (mm) تجربى	الفرق %	الفرق %
JR0	40.78	41.12	0.8	4.3	4.43	5	2.2
JR25	37.52	35.51	5	8.5	8.9	2.5	4.5
JR75	35.82	34.89	2.5	8.8	9	2.5	2.1

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

4-4- توزع الشقوق :

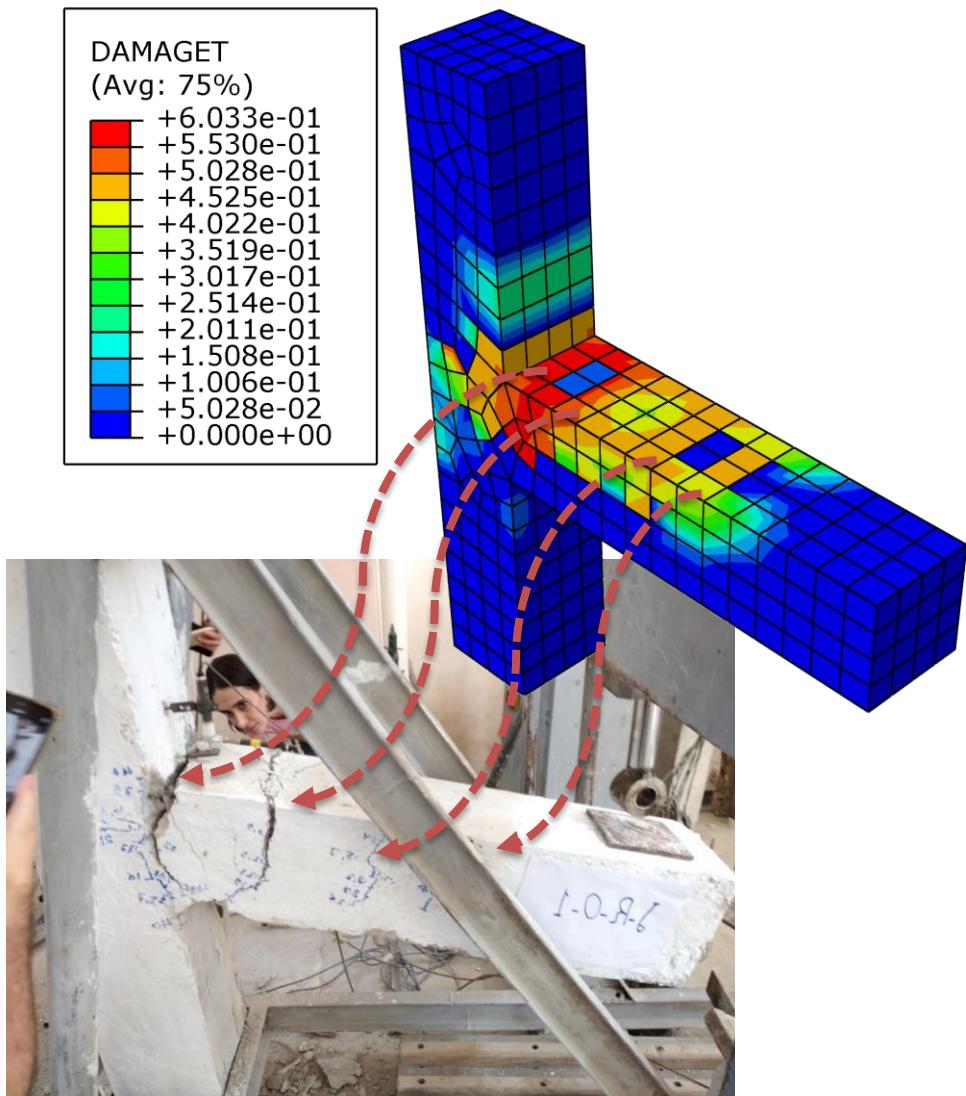
لوحظ تشكل عدة شقوق شعرية في الوجه العلوي وكان عددها 4 في غالبية العقد وتباعدوها متقارب نوعاً ما كما هو موضح في الشكل(19-1).



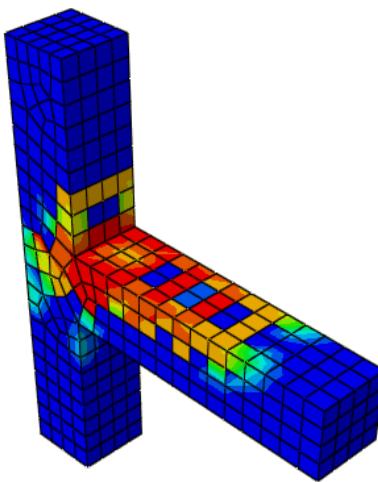
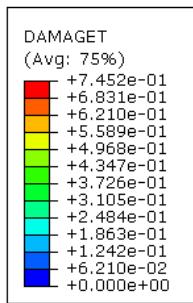
الشكل (18-1) توزع الشقوق وامتدادها في العقدة

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

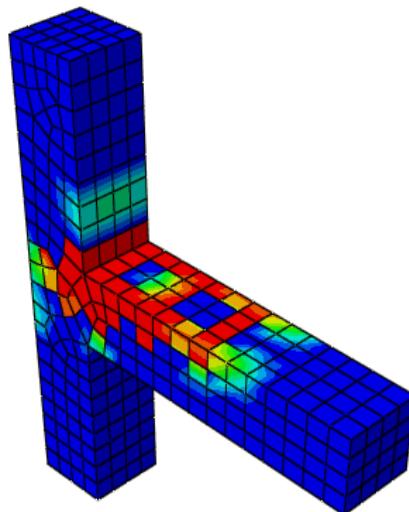
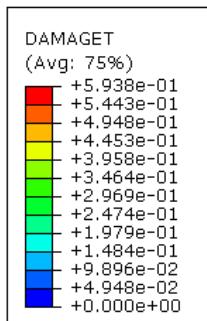
تظهر الاشكال (1-20)، (1-21) و (1-22) توزع الشقوق في العقد تجريبياً وتحليلياً للنسبة 75-25% على التالي .



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



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



الشكل(1-22) توزع 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 توسيعها والوصول للانهيار دون وصول الانهيار داخل العقدة.

2- انخفضت قيمة الحمولة العظمى P_{max} بنسبة 12.16% (7.99-75%) لنسبي الاستبدال على التالى مقارنة بالحمولة العظمى التي تحملها العقدة المرجعية. مع زيادة قيمة السهم تقريباً بنسبة 102%,116% على التالى مقارنة بسهم العقدة المرجعية.

3- بعد حساب عزم التشقق من عدة كودات تبين أن الكود الهندي هو الأقرب وكان الفرق بين العزم التجربى والعظم الناتج من علاقات الكود الهندي 1.33-1.4% (للعقد المنفذة بنسبة استبدال 75%) على التالى.

4- تقارب النتائج التحليلية مع التجربية بشكل مقبول مما يجعل النموذج التحليلي مقارب للعقدة المختبرة حيث كان الفرق بينهما بنسبة 2.5-5.0% (لنسب الاستبدال 0-25%) على التالى.

5- أوضحت التجارب والنتائج إمكانية استخدام الركام المعد تدويره في العناصر الانشائية وتحديداً العقد البيتونية المسلحة حيث أثبتت 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 تحمل أخرى (حمل دوري مثلاً) لنفس العقدة المدروسة.

3- دراسة تأثير تغير التسليح (أقطار- عدد القصبان- تبعاً لعدة) 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-تضارض مقبل، د. قاسم الزحيلي ،2014. "دراسة تجريبية على الخرسانة المنتجة من ركام معاد تدويره". مجلة جامعة تشرين-المجلد36-العدد4.
- 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 جائز - عمود بيتونية طرفية" (2023) .م.حيدر خضور، د.سليمان العامودي ،د.إحسان الطرشة-جامعة حمص-كلية الهندسة المدنية-قسم الهندسة الانشائية-حمص-2023.