

دراسة تحليلية لعقدة خارجية لجائز مخفي-عمود تحت تأثير الأحمال الجانبية*

م. فدوى عيسى**

أ.د.م عباس تسنيمي***

أ.د.م محمد نزيه اليغشي إيلوش***

الملخص

تستخدم الإطارات البيتونية المقاومة للعزوم في الأبنية المنخفضة إلى متوسطة الارتفاع في المناطق الزلزالية استخداماً كبيراً. تتصرف هذه الإطارات تصرفاً جيداً عندما تتعرض لحركات زلزالية قوية إذا كانت مصممة بحيث تبديد الطاقة الزلزالية المدخلة من خلال التشوهات في المجال اللدن، ومن ثمّ تصبح الوصلات بين الجوائز والأعمدة مكونات حرجة في أداء هذه المنشآت. في الوصلات التقليدية للإطارات لا يتجاوز عرض الجائز عرض العمود المتصل معه، إلا أنه في كثير من الحالات توجد حاجة لاستخدام جوائز مخفية ذات عرض أكبر من عرض العمود نظراً إلى سهولة تركيب القالب وسرعته وتقليل الارتفاع الطابقي المطلوب. تستخدم الإطارات البيتونية المقاومة للعزوم الحاوية على جوائز مخفية بشكل واسع على الرغم من قلة المعلومات عن أدائها تحت تأثير الحمولات الزلزالية، الأمر الذي جعل غالبية كودات التصميم تقيد استخدام وصلات جائز مخفي عمود في المناطق الزلزالية.

أُجريت في هذا البحث دراسة تحليلية عن الأداء الزلزالي لوصلات جائز مخفي عمود بيتونية خارجية اختُبرت تجريبياً في بحث Zahran (2008) وفُورنتُ النتائج التجريبية والتحليلية. كما أُجريت دراسة بارامترية بهدف دراسة سلوك هذه الوصلات تحت تأثير بعض العوامل المهمة مثل الحمولة المحورية، الجوائز العرضية ونسبة تسليح الجائز المار ضمن نواة العمود. أخيراً وُضعت بعض النتائج اعتماداً على هذه الدراسة.

الكلمات المفتاحية: جائز بيتوني مخفي، جائز عرضي، حمولة دورية.

* أعد هذا البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندسة فدوى عيسى وإشراف أ.د.م محمد نزيه اليغشي إيلوش ومشاركة د.م عباس تسنيمي

** قسم الهندسة الإنشائية -كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق، كلية الهندسة المدنية - جامعة اليرموك - درعا

*** أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق

**** أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية - المعهد الدولي للهندسة الزلزالية وعلم الزلازل - إيران

1. مقدمة (Introduction)

تستخدم الإطارات البيتونية الحاوية على وصلات جائز مخفي_عمود بشكل واسع في دول البحر المتوسط (خصوصاً سورية) على الرغم من نقص المعلومات الكافية عن سلوك هذا النظام تحت تأثير الحمولات الزلزالية. صُممت هذه الإطارات بشكل أساسي لتقاوم حمولات الثقالة، وغالباً ما تتفحصها المقاومة الجانبية والمطاوعة المطلوبة في الكودات الزلزالية الحالية لمقاومة الحركات الجانبية الناتجة عن الزلازل.

تمثل هذه الإطارات نظاماً إنشائياً تتألف فيه البلاطة من جوائز مخفية يتجاوز عرضها b_b عرض العمود b_c — 2 - 3 أضعاف، وتكون سماكتها h_b مساوية لسماكة العقدة (250-400 mm). يسمى هذا النوع من الجوائز في المراجع بـ "flat-beam" وفيه تتوضع عناصر البلوك بين العقد وتُملأ المساحة المتبقية بالبيتون. تكون سماكة البيتون العلوي نحو 50-80 mm وتسلح بشبكة تسليح خفيفة. يتميز هذا النوع من البلاطات بسهولة تنفيذ القالب وسرعته نظراً إلى عدم وجود جوائز ساقطة، وإمكانية تغيير مواقع القواطع بسهولة، فضلاً عن أن وجود البلوك بين الأصباب يسهم في زيادة العزل للحرارة والصوت. بُنيت معظم الإطارات البيتونية الحاوية على وصلات جائز مخفي_عمود قبل أن تصبح مشكلاتها واضحة وقبل أن تتضمن الكودات الزلزالية اشتراطات ملزمة حولها، ومن ثمّ توجد بعض الخواص المشتركة لهذا النوع من الوصلات، وهي:

- § يتجاوز عرض الجائز المخفي الحدود الموصوفة في الكودات الزلزالية الحالية.
- § لا يمتد معظم التسليح الطولي للجائز المخفي إلى نواة العمود مباشرة، بل يمر عبر أجزاء الجائز المجاورة للعمود.

§ لا يوجد تسليح خاص مقاوم للفتل في المناطق الجانبية للجائز المخفي المجاورة للعمود (يتولد هذا الفتل من قضبان التسليح الطولي للجائز المخفي المتوضعة ضمن المسافة المجاورة للوجه الجانبية للعمود).

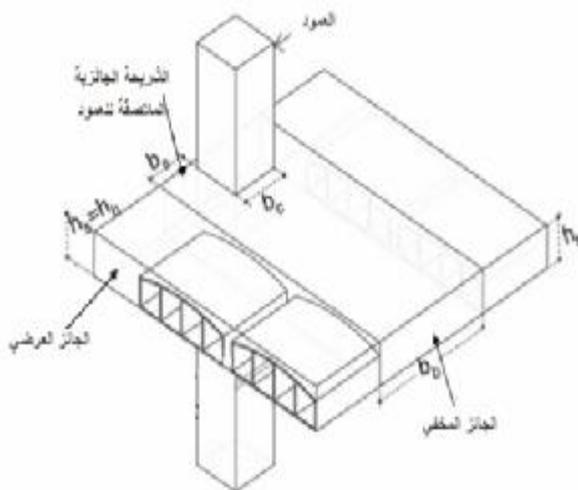
§ لا توجد أساور عرضية ضمن العقدة لنقل قص العقدة.

§ يمكن ألا يكون التسليح العرضي عند نهايتي الجائز والعمود كافياً لمقاومة القص المترافق مع مقاومة الانحناء الفعلية الأعظمية عند هذه المقاطع.

§ يمكن أن تكون الأعمدة أضعف من الجوائز المتصلة معها عندما تزود الجوائز بتسليح طولي أكبر من المطلوب تحليلياً من أجل التحكم بالنتشوهات الشاقولية الناتجة عن حمولات الثقالة ولتقليل طول التراكب المطلوب للإرساء.

§ تتوضع وصلات التراكب لتسليح الانحناء في العمود فوق مستويات الطوابق مباشرة.

يوضح الشكل(1) تسميات وصلة جائز مخفي_عمود خارجية.



الشكل(1) تسميات وصلة جائز مخفي_عمود

بيتونية خارجية اختُبرت تجريبياً في بحث سابق [11] بهدف دراسة فعالية النمذجة التحليلية في التنبؤ بالسلوك الزلزالي لوصلات جوائز مخفي-عمود بيتونية خارجية فضلاً عن إجراء دراسة بارامترية لبعض العوامل المؤثرة في سلوك هذا النوع من الوصلات.

3. دراسة تجريبية سابقة عن أداء وصلات جوائز

مخفي-عمود خارجية [11]

(Experimental Study on the performance of flat beam-column connections)

اختبر Zahran (2008) [11] تجريبياً وصلتين خارجيتين لجوائز مخفي-عمود بمقياس 3/2 تحت تأثير حملات دورية (quasi-static cyclic loads) حتى حصول الانهيار. اختُبرت الوصلتان من مبنى سكني مؤلف من 6 طوابق وأربعة مجازات بالاتجاهين مصمم كإطار عادي مقاوم للعزوم وفق كود البيتون الإسباني [1]. إجهاد التلدن التصميمي للتسليح = 400MPa، وإجهاد الضغط للبيتون بعد 28 يوماً 17.5MPa .

اختُبرت الوصلة الأولى من الطوابق السفلية (الطابق الثاني) وسيرمز لها بـ(EL)، والوصلة الثانية من الطوابق العلوية (الطابق الخامس) وسيرمز لها بـ (EU). يبيّن الشكلان (2،3) تفصيلات الوصلات المدروسة.

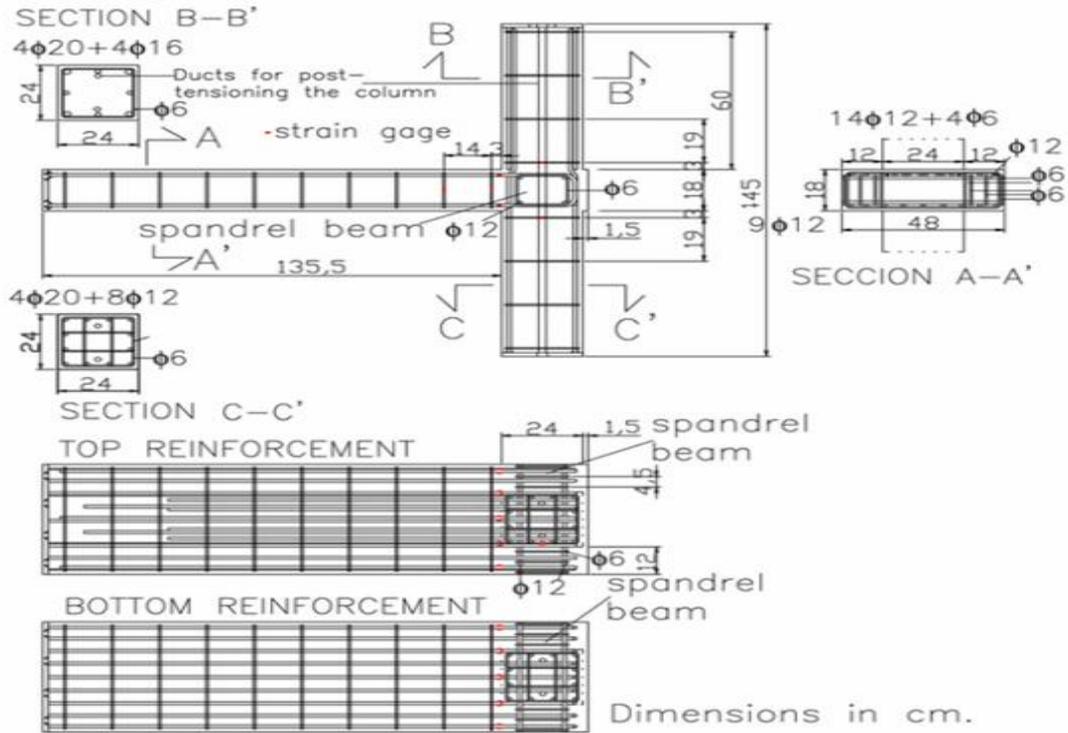
قد تعاني هذه الأنظمة من بعض المشكلات عند استخدامها في المناطق الزلزالية، ومنها:

- عدم كفاية تماسك القضبان الطولية للعمود في عقدة جوائز مخفي- عمود.
- النقل غير الكافي لعزوم الانحناء من الجوائز المخفية إلى الأعمدة بسبب نقص الاستمرار الأمثل بين العناصر المتصلة.
- الصلابة الجانبية المنخفضة نتيجة صغر سماكة الجوائز المخفي.
- القدرة الضعيفة على تبديد للطاقة نتيجة الصلابة المنخفضة للجوائز المخفي.

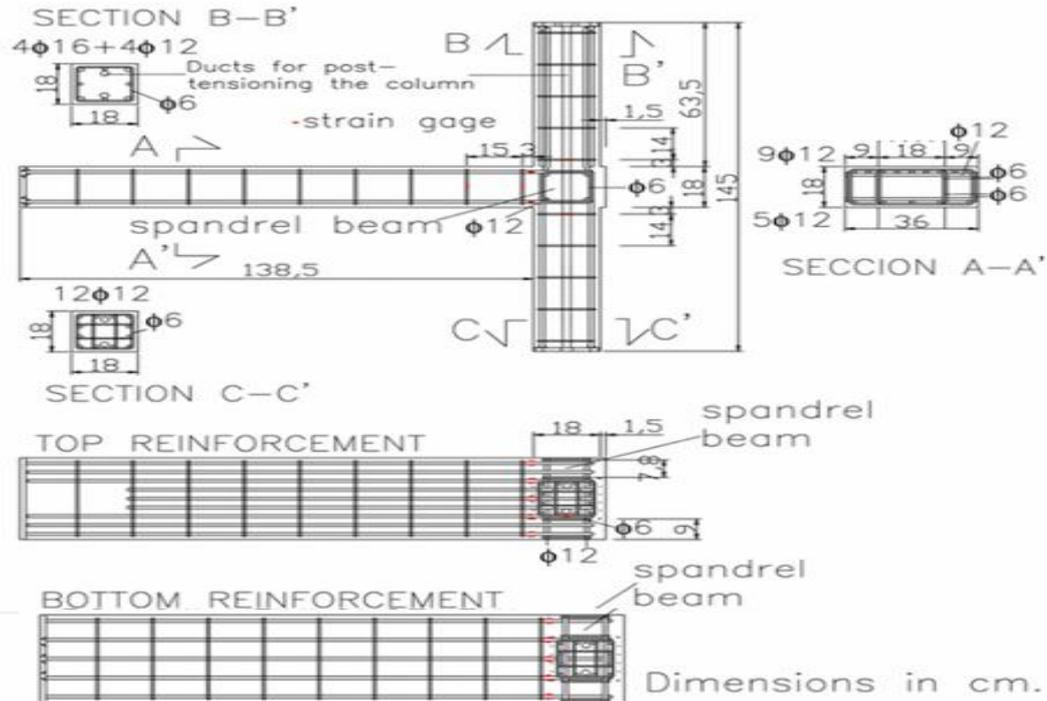
يمكن أن نعزي هذه المشكلات بشكل أساسي إلى حقيقة أن جزءاً من التسليح الطولي للجوائز المخفي يُرسى في الشريحة الجائزية الملاصقة للعمود بدلاً من نواة العمود.

2. هدف البحث (research objective)

نظراً إلى قلة عدد البحوث التي تدرس سلوك وصلات جوائز مخفي-عمود بيتونية، ولكون جميع البحوث التحليلية التي تدرس سلوك الإطارات الحاوية على هذا النوع من الوصلات تضع افتراضات معينة لسلوك هذه الوصلات (قد تكون هذه الافتراضات بعيدة عن الواقع)، فقد أُجريت في هذا البحث دراسة تحليلية باستخدام برنامج DIANA-version9.3 [5] لوصلة جوائز مخفي-عمود



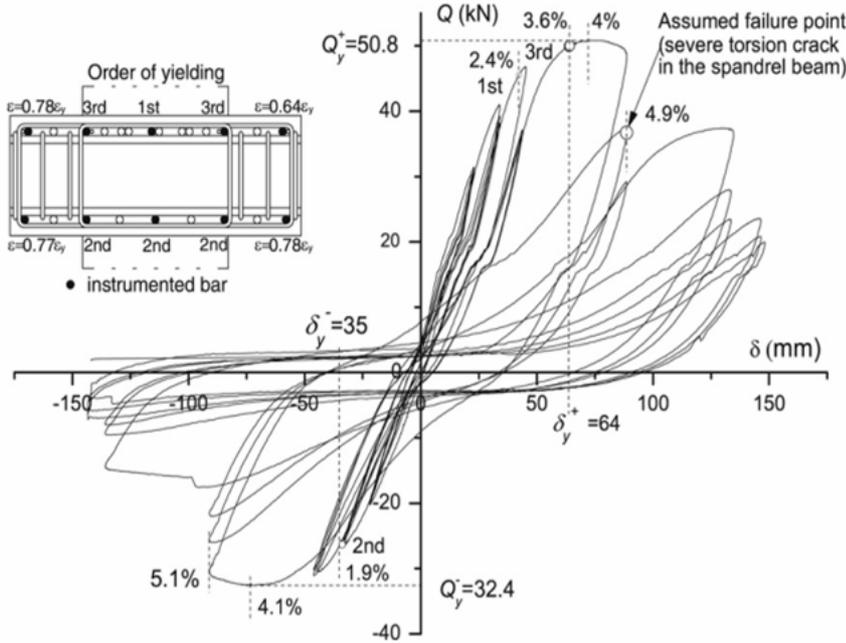
الشكل (2) الأبعاد وتفصيلات التسليح للوصلة EL [11]



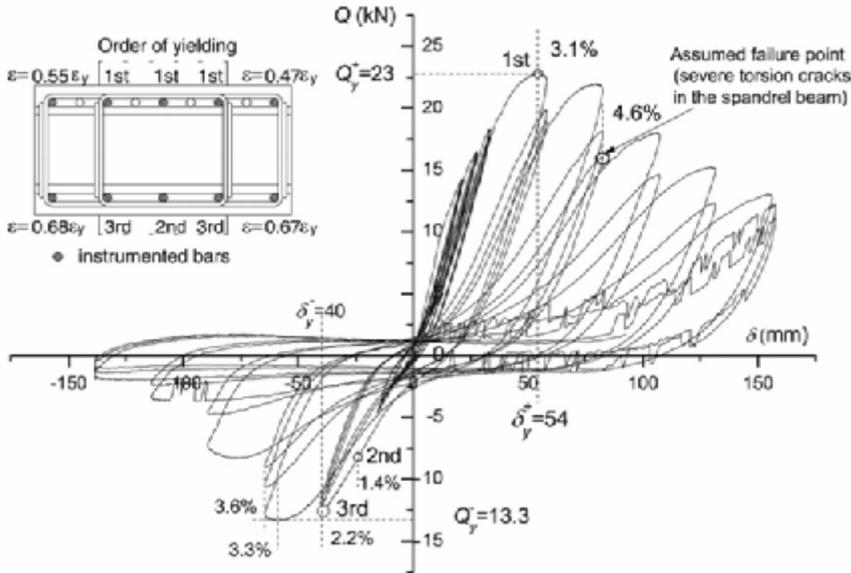
الشكل (3) الأبعاد وتفصيلات التسليح للوصلة EU [11]

نقصان مفاجئ للمقاومة بنحو 25%. تزامن هذا الهبوط في المقاومة مع توسع ملحوظ لتشققات الفتل التي تلتف حول الشريحة الجائزية الملاصقة للعمود بطريقة قطرية.

الوصلة EU . لم تتلدن القضبان البعيدة عن محور الجائز. تم بلوغ الحمولة الجانبية الأعظمية عند انحراف نسبي يعادل 4% تقريباً في الوصلة EL و3% في الوصلة EU. وقد عانت الوصلات بعد هذه العتبة من



الشكل (5) منحنى قوة_انتقال للوصلة EL [11]



الشكل (6) منحنى قوة_انتقال للوصلة EU [11]

4. دراسة تحليلية للوصلات المختبرة تجريبياً في

Zahran [11]

أجري تحليل عددي لاختي من أجل فهم السلوك المعقد لوصلات الجائر المخفي. في الدراسة العددية يفضل أن تجري تحليلاً ثلاثي الأبعاد نظراً إلى ميزاته مقارنة بالتحليل ثنائي الأبعاد من حيث دراسة الحالة المعقدة للإجهادات عند المقاطع الأساسية المختلفة، ومن ثم لم تُوضع افتراضات تبسيط تتعلق بالعرض الفعال للجائر أو صلابة العمود ... أو غيرها من الافتراضات التي تكون ضرورية عند إجراء تحليل ثنائي الأبعاد.

أجريت عملية النمذجة باستخدام برنامج [5] (2007) DIANA-version 9.3 وهو برنامج عناصر محدودة متعدد الاختصاصات بُدئ بتطويره في عام 1972 في جامعة دلفي - هولندا. يقدم هذا البرنامج بمكتبته الواسعة لنماذج المواد وأنواع التحليلات المتعددة المتاحة فيه حلولاً دقيقة للعديد من المسائل في مجالات الهندسة الإنشائية والجيوتكنيكية وهندسة الغاز والزيوت.

1.4 الخيارات المستخدمة لنمذجة المواد في الوصلات المدروسة

استُخدم نموذج ماكاوا (Maekawa) لنمذجة مادة البيتون فهو الأنسب لنمذجة سلوك البيتون المتشقق في الشد والضغط تحت تأثير حمولات دورية. يعتمد نموذج Maekawa على نظرية التمزق اللاخطي (nonlinear fracture theory) لمراعاة التشقق، في حين تُستخدم نماذج اللدونة (plasticity models) من أجل البيتون المصفوط وقضبان التسليح. يستخدم التحليل معيار الإجهاد الثابت (constant stress cut-off criterion) من أجل التشقق في البيتون. وفقاً لهذا النموذج يفترض أن التشقق يبدأ بشكل متعامد مع الإجهاد الرئيسي إذا كانت قيمته تتجاوز مقاومة الشد بغض النظر عن الإجهادات الرئيسية الأخرى. يمكن الرجوع إلى دراسة Hajime and Kohichi

(1991) [6] من أجل الاطلاع على التفاصيل الأخرى المتعلقة بشكل الشق واتجاهه وحدود الزاوية بين التشققات الرئيسية والثانوية. استُخدمت طاقة التمزق (G_F) fracture energy ومقاومة الشد (f_t) من أجل حساب قيمة فتحة الشق الأعظمية ((w_u) ultimate crack opening).

استُخدم معيار تلدن فون ميس (von Mises yield criterion) الذي يستخدم تقسية متجانسة للانفعال (isotropic strain hardening) لوصف سلوك قضبان التسليح. يوجد خياران عند نمذجة قضبان التسليح: إما تسليح مطمور (embedded reinforcements) أو كعناصر شبكية (separate truss elements). تُراعى ظاهرة التماسك-الانزلاق (bond-slip phenomenon) عند النمذجة عن طريق إدخال عناصر تماس (contact elements) على طول العناصر الشبكية.

نظرية تماسك-انزلاق (Bond Slip Theory)

يتولد التصيق الحلقي في الحلقات التكرارية نتيجة فتح الشقوق وإغلاقها، أو نتيجة فقدان التماسك بين قضبان التسليح والبيتون. يبين الشكل (7) العناصر الشبكية (truss elements) وعناصر التماسك (bond elements) عند استخدامها في العناصر البيتونية.

يعامل البيتون في الصيغ كعنصر مستمر ثنائي أو ثلاثي الأبعاد (2D or 3D continuum element)، في حين يفترض أن لعناصر الشبكي انفعالاً ثابتاً (constant strain) ولعناصر التماسك انزلاقاً ثابتاً (constant slip)

أن انزلاق تماسك يحدث إذا لم يتحقق شرط التوازن في المعادلة (3). بتفصيل المعادلة (3) واستخدام شرط الانفعال الثابت لعنصر الشبكي ستصبح المعادلة بالشكل:

$$A(\sigma^{k+1} - \sigma^k) \leq L^k P \tau_{b,max} \quad (4)$$

تشكل المعادلات اللاخطية الآتية توسيعاً للمعادلة (4) لكل عقد عناصر التماسك. إن الطبيعة اللاخطية للمعادلات هي نتيجة لاختلاف المواد المدروسة في المسألة. تُحل هذه المعادلات باستخدام إجراء تكراري، ومن ثم يُقدَّر انزلاق التماسك S^i عند كل العقد. باستبدال قيم انزلاق التماسك في المعادلة (4) يمكن حساب إجهادات العنصر. نتيجة نوع الانفعال الثابت للعنصر الشبكي المستخدم فإنه يمكن أن تختلف الإجهادات في العناصر المجاورة لعقدة واحدة. للتغلب على هذه المشكلة تُحسب إجهادات التماسك ((τ_c) cohesion stress) حول العنصر الشبكي باستخدام الإجهادات العقدية الموزونة (weighted nodal stresses).

$$\tau_c = \frac{(\tilde{\sigma}^{i+1} - \tilde{\sigma}^i)A}{PL^k} \quad (5)$$

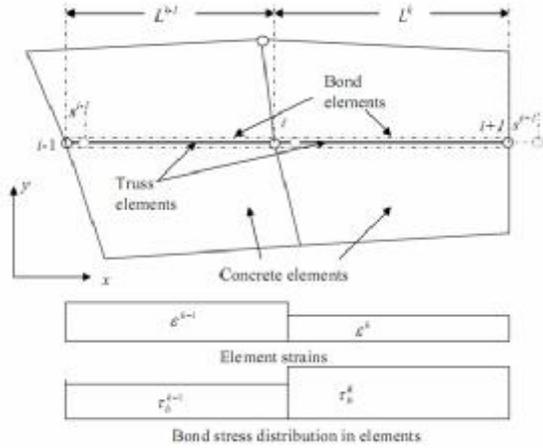
وفيها تُقدَّر الإجهادات العقدية الموزونة $\tilde{\sigma}^i$ في العقدة i من عنصر كما يأتي:

$$\tilde{\sigma}^i = \frac{\sigma^k L^k + \sigma^{k-1} L^{k-1}}{L^k + L^{k-1}} \quad (6)$$

قانون تماسك انزلاق (Bond Slip Law)

يعتمد قانون التماسك في التحليل المستخدم على نموذج CEB-FIP (CEB-FIP ModelCode-1990) Federation International de la Precontrainte (CEB- FIP)1993 كما يبين الشكل (8). تبين معادلات إجهاد التماسك للأقسام المختلفة من المنحنى كما يأتي:

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_{b,max} \left(\frac{s}{s_1} \right)^n \quad \text{for } 0 \leq s \leq s_1 \\ \tau &= \tau_{b,max} \quad \text{for } s_1 \leq s \leq s_2 \\ \tau &= \tau_{b,max} - (\tau_{b,max} - \tau_f) \frac{s-s_1}{s_3-s_2} \quad \text{for } s_2 \leq s \leq s_3 \\ \tau &= \tau_f \quad \text{for } s_3 \leq s \end{aligned} \quad [7]$$



الشكل (7) وصف عنصر التماسك (Bond element) [5]

من أجل عنصر التماسك (bond element): تعرف درجة الحرية S لتمثيل انزلاق التماسك (bond slip). ومن ثم تمثل S^i الاختلاف بين انتقالات البيتون وقضيب التسليح عند العقدة رقم i من محيط العنصر. بحسب الانتقال العقدي للعنصر الشبكي عند العقدة i بالشكل:

$$\tilde{u}^i = u^i + s^i \quad (1)$$

بفرض أن L^k : هو طول عنصر الشبكي رقم k ، E : هو معامل يونغ للعنصر الشبكي، فإنه يمكن تقييم الإجهادات في عنصر الشبكي k ذي العقد I و $i+1$ بالشكل:

$$\sigma^k = \frac{E}{L^k} (\tilde{u}^{i+1} - \tilde{u}^i) = \frac{E}{L^k} \frac{(\tilde{u}^{i+1} + s^{i+1} - u^i - s^i)}{L^k} \quad (2)$$

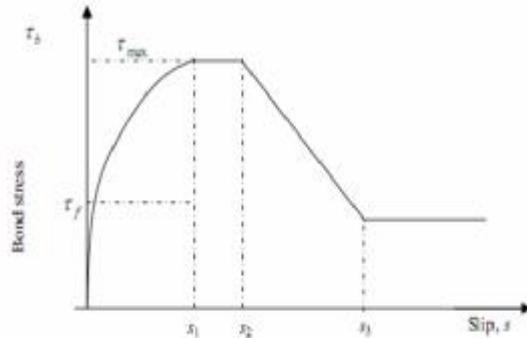
يعطى شرط توازن لتحقيق تماسك كافٍ بين البيتون وقضيب التسليح بالشكل:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} \leq \tau_{b,max} \frac{P}{A} \quad (3)$$

إذ $\tau_{b,max}$: هو إجهاد التماسك الأعظمي الذي يمكن أن ينتقل عبر سطح الانزلاق، هذا القانون مشابه لقانون الاحتكاك (friction law). P و A : هي محيط ومساحة المقطع العرضي لقضيب التسليح على التوالي. يفترض

استُخدمَ برنامج DIANA من أجل الدراسة التحليلية، حيث تمت نمذجة عناصر البيتون باستخدام عناصر حجمية (solid elements) من نوع 3D quadratic ذات 20-node، في حين تمت نمذجة قضبان التسليح باستخدام عناصر شبكية (truss elements) مع مراعاة ظاهرة التماسك-الانزلاق عند النمذجة عن طريق إدخال عناصر تماس (contact elements) على طول العناصر الشبكية. كما عرِّفتِ الحمولات الدورية المطبقة والشروط المحيطة وفق ما ورد في الفقرة 1.4. يبيِّن الشكل (9) نمذجة الوصلات المختبرة.

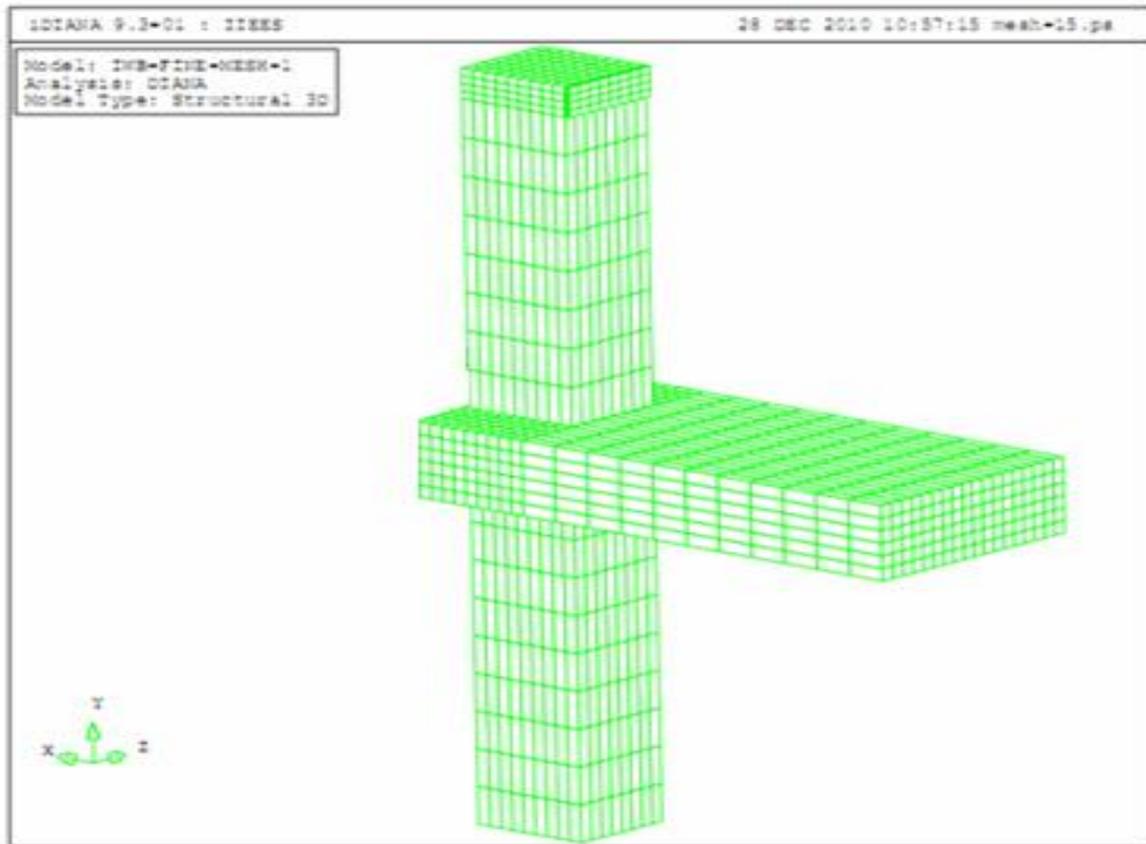
تعتمد بارامترات نموذج قانون التماسك على خصائص سطح قضيب التسليح.



الشكل (8) قانون انزلاق-تماسك (Bond slip law) وفق

[5] 1990 CEB-FIP Code

2.4 النمذجة الهندسية للوصلات المدروسة



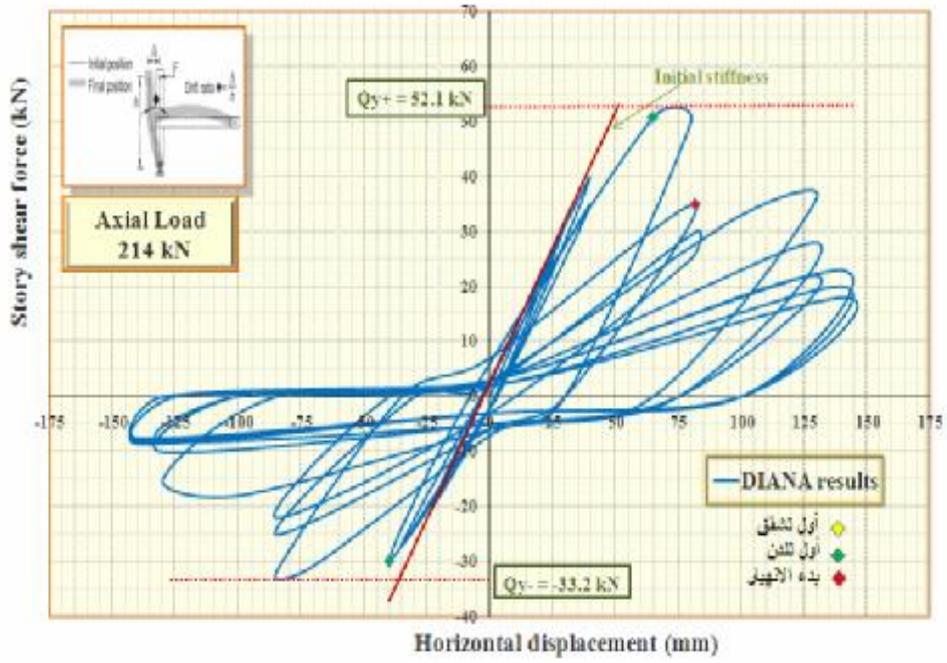
الشكل (9) النمذجة التحليلية للوصلة الخارجية

3.4 دراسة مقارنة بين نتائج الدراسة التجريبية والدراسة التحليلية

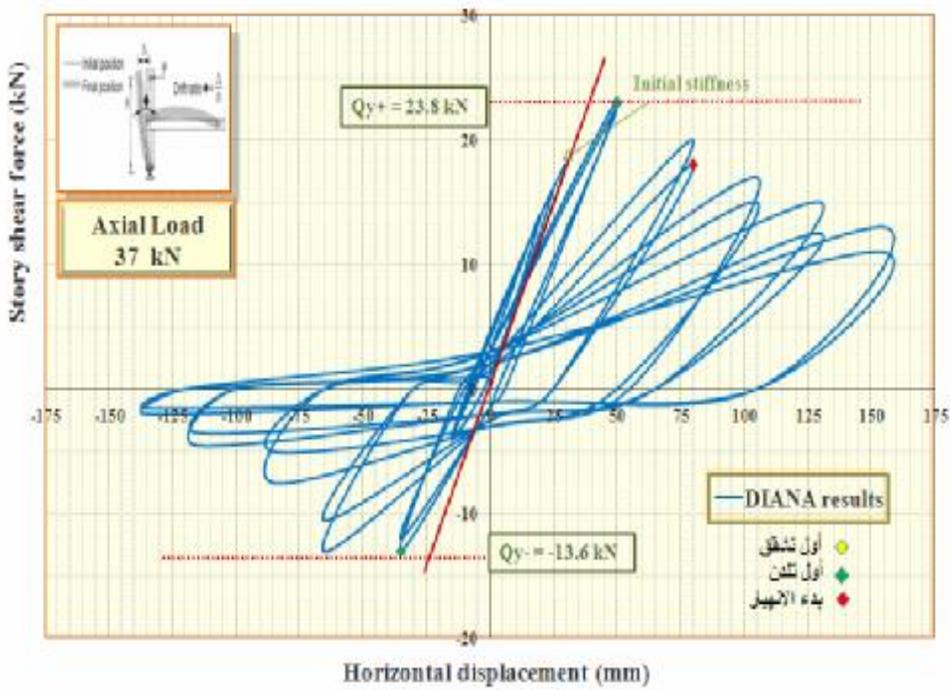
يشرح الشكلان (10-11) السلوك التكراري الناتج تحليلياً للوصلتين EL و EU على التوالي. بمقارنة هذين المنحنيين مع المنحنيات الناتجة عن الاختبار من حيث الصلابة والمقاومة الأعظمية للوصلات المدروسة وتضيق الحلقات التكرارية، نجد وجود توافق جيد في السلوك العام بين التحليل والتجارب.

تحليلياً: بلغت الوصلة EL المقاومة النظرية في الاتجاه السالب للتحميل عند انحراف نسبي 2.1% و 1.8% في الاتجاهين الموجب والسالب على التوالي، في حين بلغت الوصلة EU مقاومتها النظرية عند انحراف 2.8% و 1.6%، وهذا مشابه تقريباً لما شوهد خلال الاختبار. فضلاً عن ذلك فقد بلغت المقاومة التحليلية للوصلة EL في اتجاهي التحميل الموجب والسالب القيم 52.1kN و 33.2kN على التوالي، في حين بلغت المقاومة التحليلية للوصلة EU في اتجاهي التحميل الموجب والسالب القيم 23.8kN و 13.6kN على التوالي. وهذا يشير إلى أن صلابة النموذج التحليلي للوصلة خلال المراحل المبكرة للتحميل كانت أكبر مقارنة بالتجربة (وهذا ما قد يعود

إلى النموذج المستخدم لتمثيل مادة البيتون ولنمذجة ظاهرة التماسك-الانزلاق بين قضبان التسليح والبيتون). أبدت كلتا العينتين تضيقاً مهماً في الحلقات التكرارية وانحداراً مبكراً للمقاومة الجانبية، إذ لوحظ انحدار للقوة والصلابة في الاتجاه الموجب والسالب للتحميل بعد بلوغ المقاومة الأعظمية، إلا أن النموذج التحليلي لم يستطع توليد التضيق الحلقي المشاهد في الحلقات التكرارية خلال الاختبار الفعلي بشكل دقيق تماماً. يحتمل أن يكون تأثير التضيق الحلقي أقل خطورة إذا أُرسيت نهايات قضبان الجائز العريض المارة خارج العمود بشكل كافٍ مما سيحسن قدرة تبديد الطاقة. لم تلاحظ أي إشارة لانهييار قص للعقدة في النماذج التحليلية؛ وهذا قد يعود إلى أن جزء الجائز المتوضع على جانبي مقطع العمود يشارك أيضاً في مقاومة القص فضلاً عن أن قوة الضغط المطبقة على العمود يمكن أن تسهم في سلوك العقد كما وجد Paulay [9]، كما بينت الدراسة المنفذة من قبل Kim and LaFave [10] اعتماداً على بيانات واسعة لاختبارات وصلات بيتونية أن الضغط المحوري يؤثر في بدء التشقق القطري ضمن العقدة؛ ولكن ليس له أي تأثير (مفيد أو ضار) في مقاومة القص النهائية للعقدة.



الشكل (10) منحنى قوة_انتقال للوصلة EI الناتج عن التحليل



الشكل (11) منحنى قوة_انتقال للوصلة EU الناتج عن التحليل

قدرة تبديد الطاقة (Energy dissipation capacity)

يمكن أن نعبر عن قدرة تبديد الطاقة للوصلات من خلال بارامتر يمثل القدرة الأعظمية على تبديد الطاقة (UEDC) التي تعرف بأنها طاقة التشوه اللدن الكلية المبددة من خلال النظام حتى الانهيار. يجري التعبير عن هذه الطاقة (UEDC) بشكل لابعدي من خلال وسطي مؤشرات تبديد الطاقة الأعظمية (ultimate energy dissipation index) (D_i) المقترحة من قبل Darwin and Nmai [4] والمعرفة كما يأتي:

$$D_i = \frac{W_p}{0.5 \cdot Q_y \cdot \delta_y + 0.5 \cdot Q_y \cdot \delta_y} \quad [8]$$

إذ Q_y و δ_y هي القوة الجانبية والانتقال الجانبي عند التلدن من أجل كل من مجالي التحميل على التوالي. من أجل مقارنة نتائج الاختبار بالتحليل فقد عدت Q_y مساوية إلى Q_{max} و عدت δ_y مساوية للانتقال الموافق لتلدن قضبان الجائز المرسة ضمن عرض العمود.

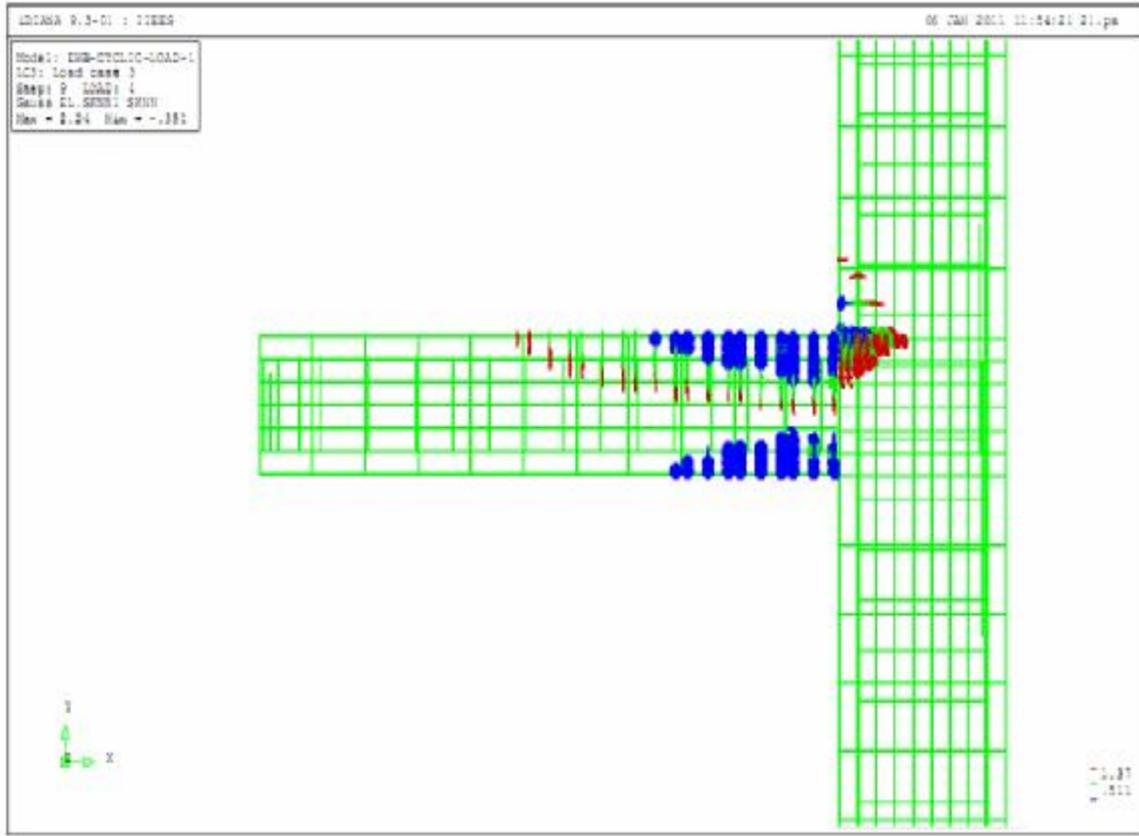
وقد كانت قيمة D_i المحسوبة اعتماداً على نتائج الاختبار (3.8 للوصلة EL و 4.2 للوصلة EU) أقل من القيم المحسوبة اعتماداً على النتائج التحليلية (4.04 للوصلة EL و 4.9 للوصلة EU)، فضلاً عن ذلك فإن هذه القيم هي أقل من مجال قيم D_i المحددة من قبل Darwin and Nmai (17 و 142) اعتماداً على دراسات تجريبية واسعة لوصلات تقليدية تتصرف تصرفاً جيداً.

تشير المقارنات المذكورة أعلاه إلى أن النمذجة المستخدمة في الدراسة التحليلية تعطي نتائج دقيقة عند الاختبار السليم لإمكانات البرنامج الحاسوبي المنعددة، وعندها ستكون قادرة على التنبؤ بسلوك وصلات جائز مخفي-عمود بيتونية.

تصرفت كلتا العينتين كميكانيزم عمود قوي-جائز ضعيف، كما بقيت الأعمدة في المجال المرن مع تشقق أصغري. هذا السلوك كان متوقعاً لأن نسبة مجموع عزوم التحمل للأعمدة إلى عزم التحمل للجائز كان أكبر من 1 (ولكن بقي عزم تحمل الجائز في النموذج التحليلي أقل من عزم التحمل للجائز المحسوب باستخدام العرض الكامل للجائز نتيجة حصول تشققات فتل مهمة في الجائز منعتة من بلوغ مقاومته بالعرض الكامل).

تبين مقارنة قيم الانفعالات التي تم الحصول عليها تحليلياً وتجريبياً أن قيم هذه الانفعالات متقاربة جداً، فقد نتج عن التحليل أن الانفعال الأعظمي يحصل عند تقاطع الجائز مع العمود. كما لم تتمكن قضبان التسليح البعيدة في الجائز أن تنقل قوى شد إلى العمود عن طريق عزوم الفتل ضمن الشريحة الجائزية الملاصقة للعمود؛ وذلك بسبب الإرساء الضعيف لقضبان التسليح في الجائز، وهذا ما لوحظ تأثيره خلال كل من الاختبار والتحليل. كانت الانفعالات المنتبأ بها في التسليح الطولي للجائز أكبر بقليل من القيم المقيسة تجريبياً عندما لوحظ بدء التلدن في تسليح الجائز الممتد داخل نواة العقدة. كذلك تبين مقارنة قيم قوى القص بين الاختبار والتحليل أن هذه القيم كانت متقاربة جداً. انتشرت تشققات الانحناء في النموذج التحليلي أيضاً على كامل عرض الجائز ثم حدثت تشققات فتل خطيرة أدت إلى خسارة المقاومة. يبين الشكل (12) نموذج التشقق في النموذج التحليلي.

تمكن النموذجان التحليليان من تحمل انحرافات نسبية أعظمية في اتجاه التحميل الموجب والسالب تساوي 5% و 5.2% أجل الوصلة EL و 4.7% و 3.7% من أجل EU.



الشكل (12) نموذج التشقق للعينة.

جدل طويل بين الباحثين في مستوى التحميل المحوري للعمود الذي يكون له تأثير مهم في سلوك الوصلات البيتونية. على سبيل المثال يوصي الكود النيوزلاندي (Concrete Structures Standard 1995 -NZS3101) بإهمال مساهمة ميكانيكية عنصر الضغط (strut mechanism) إذا لم توجد قوة محورية مهمة في العمود ($F_{\text{applied}} \geq 0.1f_c A_g$).

أجرى البحث في تأثير الحمولة المحورية للعمود في السلوك الزلزالي لوصلات جوائز مخفي-عمود بيتونية. طُبِّقَت مخططات التحميل ذاتها المستخدمة عند اختبار الوصلات، واستُخْرِجَت منحنيات القص الطابقي مع الانتقال تحت تأثير مستويات مختلفة للتحميل المحوري في العمود. غيَّرت قيمة الحمولة المحورية المطبقة ضمن مجال يراوح من $0.25f_c A_g$

4.4 الدراسات البارامترية (Parametric Studies)

أجريت دراسات بارامترية بهدف الحصول على معلومات أكثر عن السلوك المعقد لوصلات جوائز مخفي-عمود بيتونية. دُرِسَت الاستجابة الإنشائية للوصلات بعد تغيير بعض البارامترات الأساسية مثل قيمة الحمولة المحورية للعمود، تأثير الشريحة الجائزية الملاصقة للعمود، ونسبة التسليح الطولي للجوائز المار داخل نواة العمود.

1.4.4 تأثير الحمولة المحورية للعمود

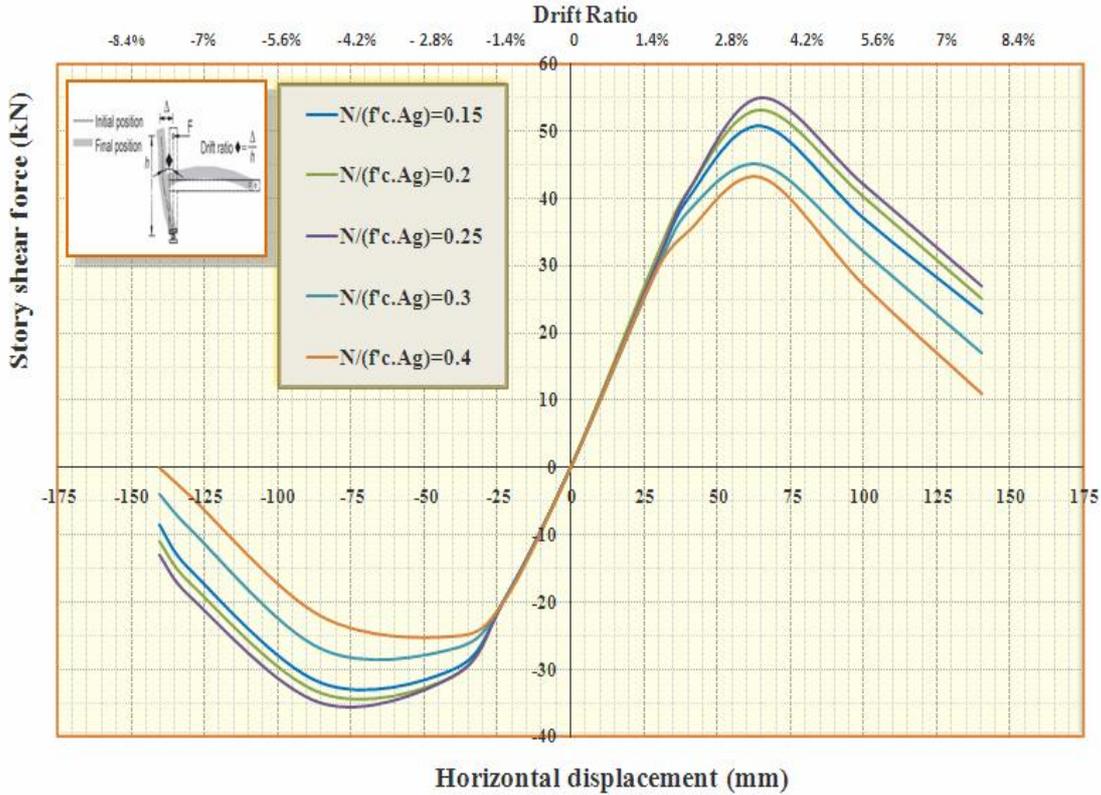
بدأت دراسة تأثير الحمولة المحورية للعمود في أداء وصلات جوائز-عمود في آخر عام 1980 من قبل (Paulay et al. 1978; Paulay and Park 1984) [7][8]، ومنذ ذلك الحين بدأ الاهتمام بشكل كبير بهذا العامل أُجريت العديد من البحوث في هذا المجال. وقد حدث

2.4.4. تأثير الجائز العرضي

بهدف البحث بتأثير الجائز العرضية في أداء وصلات جائز مخفي-عمود خارجية فقد تمت نمذجة أربع وصلات إضافية تحليلياً باستخدام برنامج DIANA9.3. تتألف الوصلات المدروسة من تركيبات مختلفة للجائز العرضي كما في الشكل (14)، وهي:

- § النموذج (A) وهو لايحوي جائزاً عرضياً في الوصلة.
- § النموذج (B) وهو يحوي جائزاً عرضياً مخفياً.
- § النموذج (C) ويحوي جائزاً عرضياً ساقطاً مزوداً بتسليح أكبر ممّا في النموذج (B).
- § الجائز العرضي في النموذج (D) له سماكة النموذج (B) نفسه لكن مع توسيع جزء من عرضه من الجهة الخلفية للعمود.

إلى $0.5f'_cA_g$. نلاحظ من الشكل (13) أن قوة القص الطابقي للوصلة تزداد بنحو 5 و 8% عند زيادة الحمولة المحورية إلى $0.2f'_cA_g$ و $0.5f'_cA_g$ على التوالي. لكن الزيادة الإضافية للحمولة المحورية أكثر من $0.25f'_cA_g$ تؤدي إلى تقليل القص الطابقي وتدهور الصلابة. تشير هذه المناقشة إلى أنه عندما يكون مستوى الحمولة المحورية أقل من $0.25f'_cA_g$ فسوف تزداد مقاومة الوصلات الخارجية لجائز مخفي-عمود بيتونية، وبعد ذلك نلاحظ أن أي زيادة إضافية للحمولة المحورية بعد $0.25f'_cA_g$ تؤدي إلى نقصان المقاومة والصلابة.



الشكل (13) تأثير الحمولة المحورية في السلوك التحليلي للوصلة الخارجية

تخفيف مقدار التضييق الحلقي في الحلقات التكرارية للقوة-الانتقال، إذ إنه إذا تشقق الجائز العرضي تشققاً كبيراً بالفتل فإن الوصلة ستخسر صلابتها ولن يكون الجائز المخفي قادراً على تطوير مفصله اللدن.

3.4.4. نسبة إرساء قضبان تسليح الجائز

نسبة الإرساء: هي نسبة التسليح الطولي للجائز المخفي الذي يُرسى داخل نواة العقدة إلى كمية التسليح الطولي الكلي للجائز. غُيِّرَت نسب الإرساء للوصلة المدروسة بهدف دراسة تأثير نسبة الإرساء للجائز. أُنجِزَ التحليل عن طريق اختيار أقطار قضبان مختلفة مع الحفاظ على مساحة التسليح. تشير نتائج الدراسة التحليلية إلى أن السلوك العام (المعبر عنه بعلاقة قوى القص الطابقي مع الانتقال) كان متطابقاً تقريباً. بيّن الشكل (15) تأثير نسبة الإرساء للجائز في سلوك القص للعقدة، ومنها تبين أن إجهادات القص الأعظمية في العقدة تزداد بنحو 13% عند زيادة نسبة الإرساء إلى 50%.

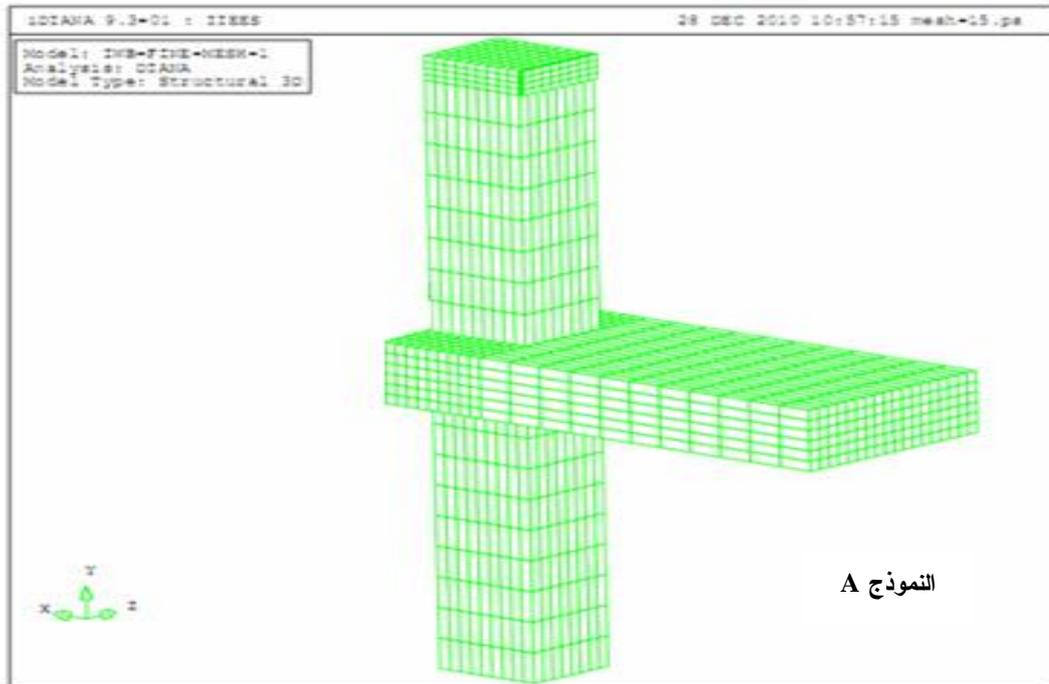
لوحظ حصول تضييق حلقي خطير في الوصلات الخارجية لجائز مخفي-عمود عندما تكون نسبة الإرساء صغيرة، ومن ثمّ يقترح تقليل كمية التسليح الطولي للجائز المتوضعة في الجزء الخارجي من الجائز بحيث يمر 75% على الأقل من قضبان الجائز المخفي ضمن نواة العمود.

بيّن التحليل أنه عندما يندم وجود الجائز العرضي (كما في النموذج (A)) يصبح التسليح الطولي في الأجزاء الخارجية من الجائز المخفي غير قادر على أن يسهم بشكل فعال في نقل قوى القص وعزوم الانحناء إلى نواة العقدة. في حين تبين من النموذج (B) تحسن متوسط في أداء القص للعقدة نتيجة وجود كمية قليلة من التسليح في الجائز العرضي.

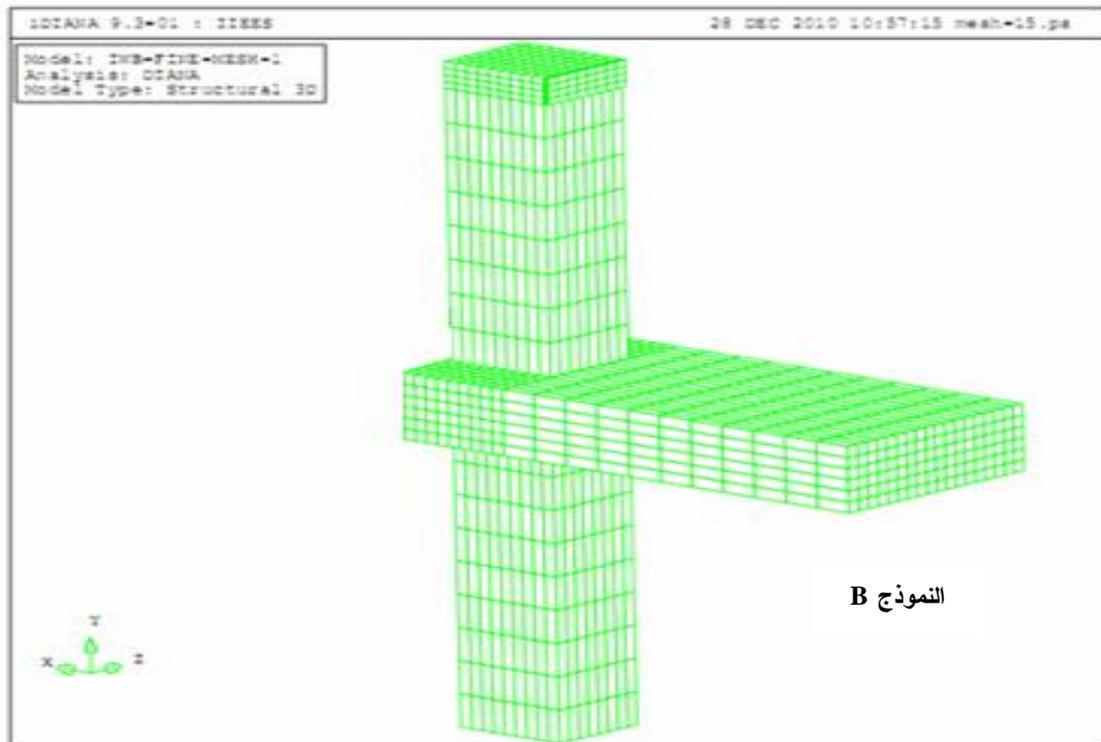
تَحَمَّلَ النموذج (C) قيماً كبيرةً من قوى القص العقدية والقص الطابقي مقارنةً بالنموذج (B)؛ وذلك نتيجة أن عطالة الفتل للنموذج (C) كانت أكبر من عطالة الفتل للنموذج (B).

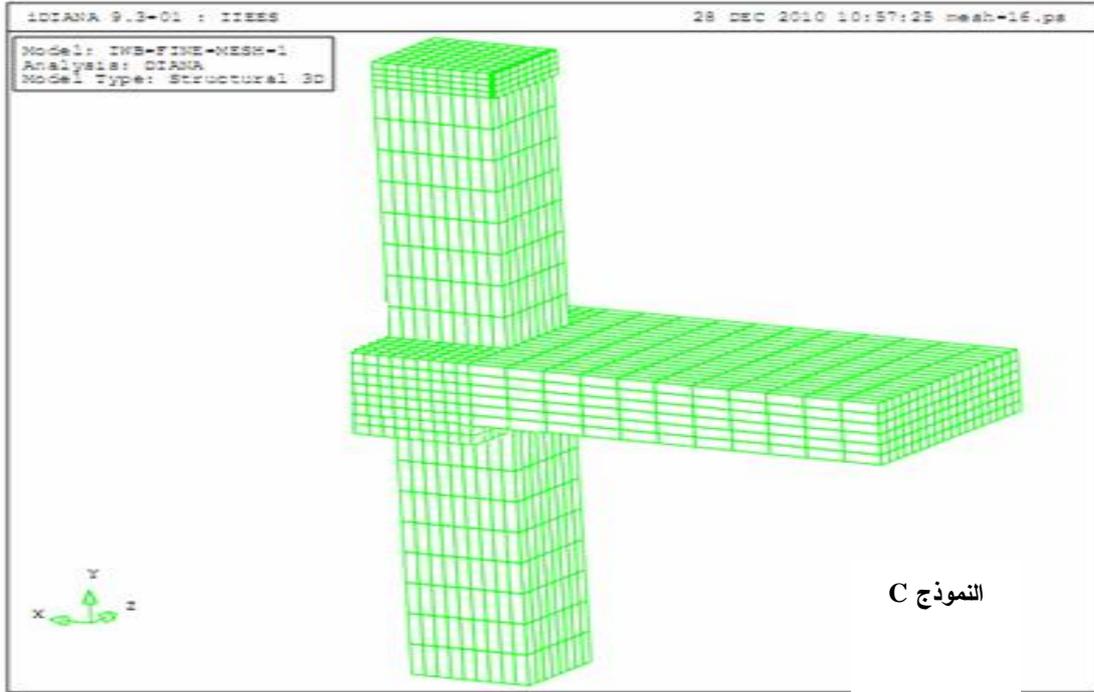
الجائز العرضي في النموذج (D) هو الأكبر حجماً مقارنةً بالجائز العرضية في النماذج الأربعة المدروسة ومن ثمّ فقد كان القص الطابقي المنقول عن طريق هذا النموذج هو الأكبر بين النماذج الأربعة.

ومن ثمّ يمكن الاستنتاج بأن الجائز العرضي المسلح جيداً (أي عندما تستخدم تفصيلات تسليح تحقق المطاوعة المطلوبة) مع مقطع كبير يسهم بالحصول على أداء أفضل لوصلات جائز مخفي-عمود خارجية بيتونية من حيث زيادة مقاومة القص للعقدة والنقل الفعال لعزوم الانحناء من الجائز المخفي إلى العمود. كما تبين من جهة أخرى أن للجائز العرضية مساهمة مهمة في

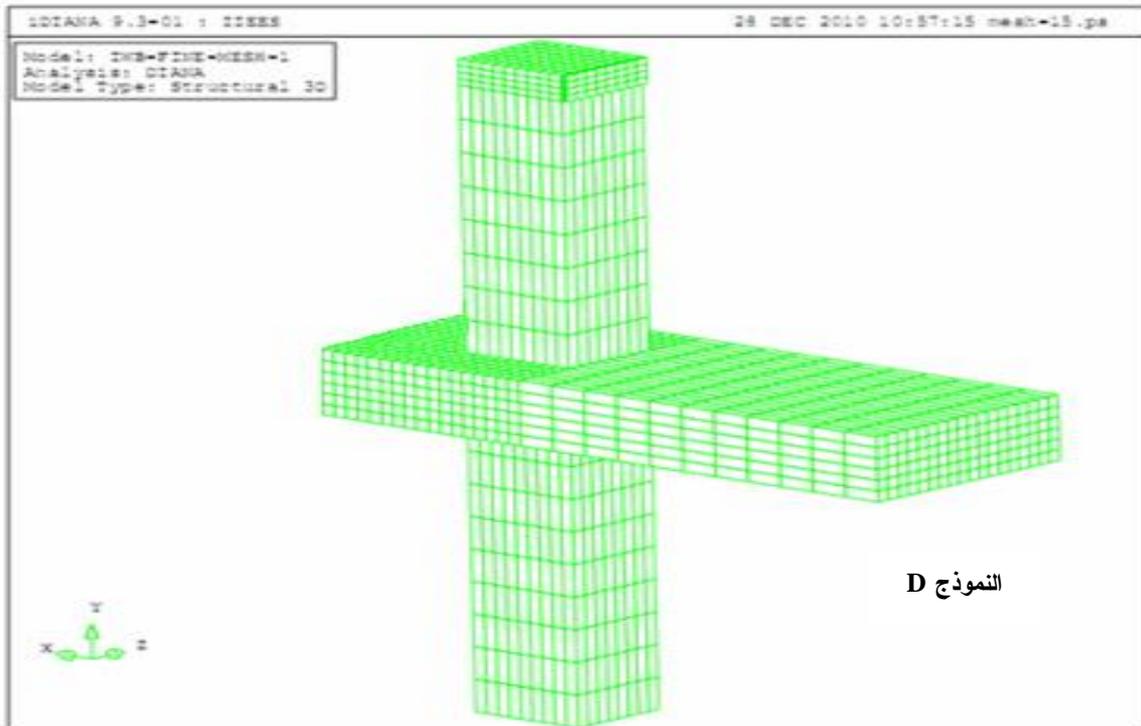


الشكل (14) النمذجة التحليلية لدراسة تأثير الجائز العرضي
النموذج A : من دون جائز عرضي

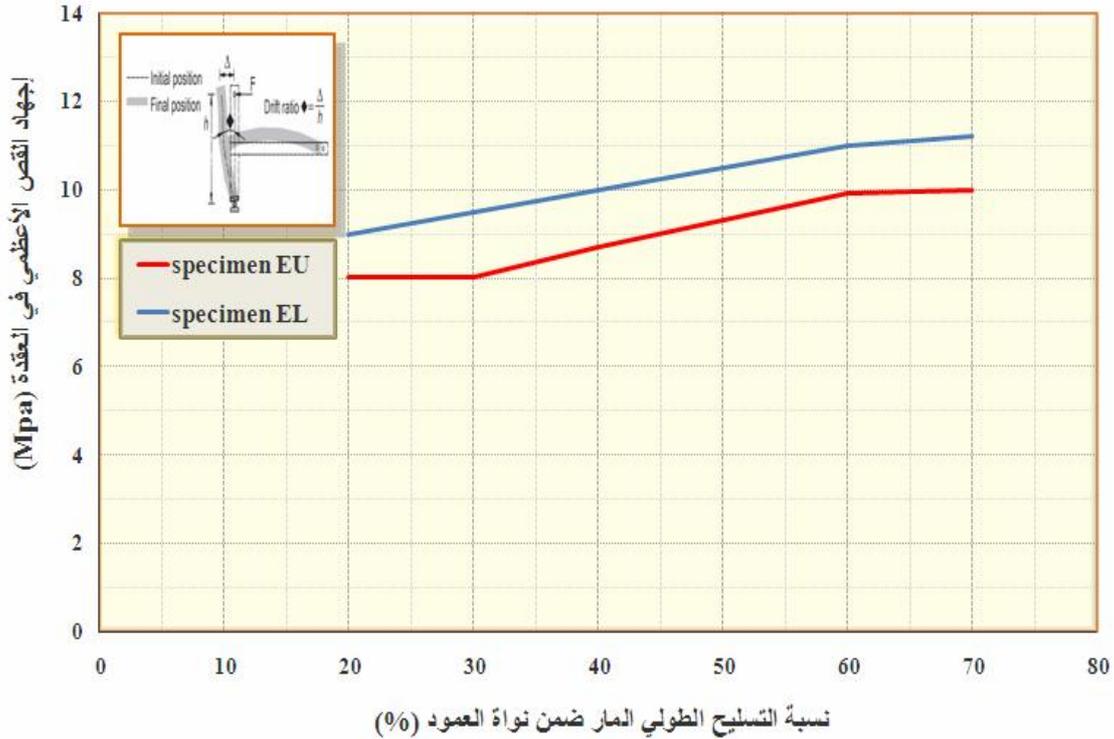




تتمة الشكل(14) النمذجة التحليلية لدراسة تأثير الجائز العرضي
النموذج B : جائز عرضي مخفي - النموذج C : جائز عرضي ساقط



تتمة الشكل(14) النمذجة التحليلية لدراسة تأثير الجائز العرضي
النموذج D : جائز عرضي مخفي موسع من الجهة الخلفية للعمود



الشكل (15) تأثير أرساء تسليح الجائز في إجهاد القص في العقدة

5. النتائج (Conclusions)

الفتل لها، ومن ثمَّ فإنَّ مسألة تصميم الجائز العرضي وتفصيله هي مسألة مهمة تحتاج إلى اهتمام وحنر.

§ نتيجة المقطع الكبير للجائز المخفي تكون إجهادات القص في تسليح الجائز المخفي منخفضة جداً، ومن ثمَّ يمكن التساهل بمطلب تسليح قص للجائز.

§ بيّنت الدراسة التحليلية أن زيادة الحمولة المحورية للعمود تؤثر تأثيراً مهماً في تحسين الأداء الزلزالي لوصلات جائز مخفي_عمود بيتونية خارجية إذا كانت أقل أو تساوي $0.25f_c'A_g$. فقد أبدت

وصلات جائز مخفي_عمود خارجية زيادة في مقاومتها بنحو 5-8% عندما ازداد مستوى الحمولة المحورية للعمود إلى $0.25f_c'A_g$. في حين تبين

اعتماداً على الدراسة التحليلية لوصلات جائز مخفي_عمود بيتونية خارجية يمكن التوصل إلى النتائج الآتية:

§ تتلذّن قضبان الجائز المخفي التي لا تمر ضمن نواة العمود عند حمولات أكبر من القضبان التي تمر عبر نواة العمود. وهذا يؤدي إلى تأخر تشكل مفاصل بالعرض الكامل للجائز؛ مما يعني أن العرض الفعّال للجائز المخفي يكون أقل من العرض الفعلي للجائز في بعض الحالات.

§ يسيطر سلوك الفتل للشريحة الجائزية الملاصقة للعمود على الأداء الزلزالي لوصلات جائز مخفي_عمود خارجية، إذ تبلغ هذه الوصلات مقاومتها عندما تخسر الجوائز العرضية استطاعة

اللاخطي للإطارات الحاوية على وصلات جائز مخفي_عمود بيتونية.

○ النتائج التي يمكن الحصول عليها بإجراء بحوث محلية يمكن أن تكون مفيدة جداً في التقييم الزلزالي للأبنية القائمة وخيارات التقوية الزلزالية الموجهة، فضلاً عن تحسين طرائق التصميم الزلزالي للأبنية الحاوية على وصلات جائز مخفي_عمود بيتونية.

أن الزيادة الإضافية لحمولة المحورية بعد $0.25f'_c A_g$ يصبح له تأثير عكسي حيث يقلل مقاومة الوصلة وصلابتها.

§ عند تصميم وصلات جائز مخفي_عمود بيتونية اعتماداً على معطيات مناسبة سيكون أداؤها جيداً في نقل الحمولات الأفقية، ويمكنها بشكل عام أن تصل إلى استطاعتها التصميمية من حيث المقاومة والتشوه.

6. توصيات (Recommendations)

بيّنت الدراسة وجود حاجة ملحة لإجراء بحوث محلية تركز على طرائق التصميم والتنفيذ للأبنية الحاوية على هذا النوع من الوصلات في سورية، وهذا يتضمن مناقشة الاشتراطات الواردة في الكود العربي السوري للمنشآت الخرسانية المسلحة 2004 [1]، [2] من حيث الأبعاد وتفصيل التسليح لكل من الجائز المخفي والعمود والعقدة، ووضع مقترحات لتحسين أداء هذه الجمل فيما يخص مقاومتها على الأحمال الزلزالية. إذ توجد عدة نقاط مهمة تحتاج البحث ومنها:

○ تقدير مقاومة الانحناء للجائز المخفي، لأن التقييم المغلوط فيه لمقاومة الجائز العزمية يمكن أن يؤثر في هزيمة التلدين بين الجوائز والأعمدة، ومن ثم يؤدي إلى تقدير غير دقيق للمقاومة الزلزالية للمنشأ بأكمله.

○ تقدير مقاومة القص والصلابة الجانبية لعقدة جائز مخفي_عمود بيتونية.

○ دراسة واختبار عدة نماذج (hysteretic) تكرارية (models) تحاكي سلوك وصلة جائز مخفي_عمود بيتونية بهدف التوصل إلى نموذج تكراري تحليلي (hysteretic models) يمكن استخدامه لتقييم الأداء

المراجع:

1. الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ الإنشاءات بالخرسانة المسلحة 2004، نقابة المهندسين السوريين، دمشق، 2004.
2. الملحق رقم (2) للكود العربي السوري، الخاص بتصميم وتحقيق المباني والمنشآت المقاومة للزلازل، نقابة المهندسين، دمشق، 2005.
3. Committee for the development of seismic codes. Norma de Construcción Sismor resistente NCSE-94. Madrid: Spanish Ministry of Construction; 1994.
4. Darwin D, Nmai CK. "Energy dissipation in RC beams under cyclic load". J Struct Eng 1986;112(8):1829.46
5. DIANA, 2007, User Manual-DIANA Version 9.3, DIANA Analysis, P.O. Box 113, 2600 AC Delft, The Netherlands.
6. Hajime, O., and Kohichi, M. (1991). "Nonlinear analysis and constitutive models of reinforced concrete", Gihodo, Tokyo.
7. Paulay, T., and Park, R. (1984) "Joints in reinforced concrete frames designed for earthquake resistance" Research Rep. No. 84-9, Dept. of Civil Eng., Univ. Canterbury, Christchurch, New Zealand.
8. Paulay, T., Park, R., and Priestley, M. J. N. (1978). "Reinforced concrete beam-column joints under seismic actions" ACI Struct. J.,75(11) 585-593.
9. Paulay T. "Equilibrium criteria for reinforced concrete beam-column joints". ACI Struct J 1989;86(6):635.43
10. Kim J, LaFave JM. "Key influence parameters for the joint shear behaviour of reinforced concrete (RC) beam-column connections". Eng Struct 2007;29(10): 252339.
10. Zahran, R. Cahis, X. and Climent, A. (2008a), "Exterior flat beam-column connections in existing RC frames subjected to lateral earthquake loads", Eng. Struct. 31, 1414-1424.