

Study of Strengthened RC Beams with Large opening in Shear Zone

Dr. ENG. Ihssan Tarsha

Dr. ENG Abdo Alrazak Salem

ENG. Lojean Al-Mohamad

Civil Engineering. AL-BAATH University

Abstract

This paper presents results from an experimental study including testing five reinforced concrete beams in order to investigate the efficiency of external strengthening of such beams when provided with large openings within their shear zones. Firstly two beams were considered. One of these beams was solid without any openings and was considered as a control beam. The second beam was provided with one opening within the shear zone but without any strengthening and was also considered as a control beam. Secondly, three beams provided with openings at the same location and having the same dimensions like the second. Such three beams were externally strengthened with steel plates along the opening edges.

It was found that the steel plates used for strengthening and its configuration scheme significantly affects the efficiency of strengthening in terms of beam deflection, steel strain, cracking, ultimate capacity and failure mode because using steel plates restored the beam shear strength. Finally, theoretical analysis was performed for all tested beams with openings in order to calculate the ultimate shear force carried by such beams. Equations presented by empirical formulas found in the literature were used to perform the theoretical analysis. Good agreement was observed between the theoretical results and the experimental ones.

Key words: reinforced concrete beams, web opening, steel plates, strengthening

دراسة تدعيم الجوائز الخرسانية المسلحة مع فتحة كبيرة في منطقة القصر

م. لجين المحمد

د.م. عبد الرزاق سالم

د.م. إحسان الطرشة

جامعة البعث - كلية الهندسة المدنية

ملخص :

يقدم هذا البحث نتائج دراسة تجريبية لخمسة عينات من الجوائز الخرسانية المسلحة, بهدف دراسة تأثير التدعيم الخارجي لهذه الجوائز عند إحداث فتحات كبيرة في منطقة القصر , في المرحلة الأولى تم اختبار جائزين أحدهما بدون فتحة , واعتبر مرجعياً, والثاني مع فتحة محدثة في منطقة القصر من دون تقوية و تم اعتباره مرجعياً أيضاً ,في المرحلة الثانية تم اختبار ثلاثة جوائز خرسانية مع فتحات محدثة في نفس المكان وبنفس الأبعاد الموجودة في الجائز الثاني, ولكن تمت تقوية هذه الفتحات باستخدام نماذج مختلفة من الصفائح الفولاذية .

أوضحت النتائج كفاءة استخدام الصفائح الفولاذية في التدعيم الخارجي لمنطقة الفتحة, وذلك من خلال نتائج قياس السهم ,الانفعالات ,التشقق الحاصل ,الحمل الأقصى ونمط الانهيار لتلك الجوائز.

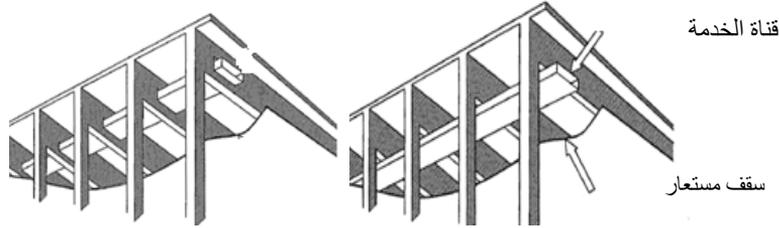
أخيراً تم عمل دراسة تحليلية لحساب حمل القصر الأقصى للجوائز مع فتحات باستخدام بعض النماذج النظرية المدرجة في أبحاث سابقة, وقد أعطت تقارباً جيداً مع النتائج التجريبية .

كلمات مفتاحية :الجوائز الخرسانية المسلحة, الفتحات العرضية, الصفائح الفولاذية, التدعيم

دراسة تدعيم الجوائز الخرسانية المسلحة مع فتحة كبيرة في منطقة القص

1- مقدمة البحث:

في الأبنية الحديثة العديد من الأنابيب والفتحات تكون ضرورية لإمرار الخدمات مثل شبكات التزويد بالمياه ، التهوية، الكهرباء، الهاتف ، مياه المجاري، شبكات الكمبيوتر. يظهر الشكل (1) منظور لطبقة نموذجية من الأنابيب من أجل بناء ذو ارتفاع عالي. عادة يتم توضع هذه الأنابيب والقنوات تحت الجائز، ولأسباب جمالية تغطي بسقف مستعار، مما يخلق ارتفاع ميت في كل طابق. يعتمد هذا الارتفاع للفراغ الميت ، والمضاف إلى الارتفاع الكلي للبناء على عدد وعمق القنوات المطلوب استيعابها.



الشكل (2) ترتيب بديل للقنوات الخدمية

الشكل (1) طبقة نموذجية من القنوات الخدمية

هناك ترتيب بديل وهو إمرار هذه القنوات من خلال فتحات عرضية في الجوائز الطابقية، وكما هو مبين في الشكل (2) فإن هذا الترتيب في الخدمات الفنية للبناء يؤدي إلى انخفاض ملحوظ في الارتفاع، و ينعكس ذلك على الكلفة الإنشائية النهائية خاصة عند التصميم على الزلازل .

من أجل الأبنية الصغيرة ، التوفير المنجز بهذه الطريقة ربما لا يكون ملحوظ بالمقارنة مع الكلفة النهائية، لكن من أجل الأبنية متعددة الطوابق فإن أي توفير في ارتفاع الطابق مضروب بعدد الطوابق يمكن أن يمثل توفيراً كبيراً في الارتفاع الكلي ، وطول قنوات

الكهرباء والتكليف و أنابيب المياه المرفوعة، وبالتالي يوفر من الحمل الكلي على التأسيس.[2].

جرب معظم المهندسون تمرير الأنابيب الصغيرة والمزودة ببعض التسليح الإضافي حول كل فتحة، لكن عندما تواجهنا فتحات كبيرة خاصة في عناصر البيتون المسلح ومسبق الإجهاد فإن المهندسين يبدون ممانعة في التعامل معها، بسبب عدم وجود معلومات تقنية كافية مسبقاً ، كما أن كودات البناء[4]-[3] لم تنطرق إلى توجيهات محددة بهذا الخصوص، لذلك التصاميم تعتمد كثيراً على الحدس، والذي يمكن أن يؤدي إلى عواقب كارثية . يوجد على الأقل حالة واحدة مشروحة مسجلة وفيها الانهيار الكبير لبناء قديم تم تفاديه عندما تم اكتشاف مشكلة كبيرة عند فتحة في جذع جائز، وتم التخفيف من المشكلة في الوقت المناسب[2].

من الواضح أن إحداث فتحة في الجائز يغير من سلوكه البسيط إلى المعقد، وتصبح زوايا الفتحة موضعاً لتركيز عال للإجهادات نتيجة التغير غير المتوقع في الترتيب المقطعي للجائز ، مما يؤدي إلى شقوق عريضة غير مقبولة من الناحية الجمالية ومن ناحية المتانة.

كما أن انخفاض صلابة الجائز يسبب تشوهاً مفرطاً تحت تأثير حمولة الاستثمار، ويؤدي إلى إعادة توزيع القوى والعزوم الداخلية خاصة في الجوائز المستمرة .

ما لم يتم التزويد بتسليح خاص بكمية كافية مع تفاصيل ترتيبية صحيحة حول الفتحة فإن مقاومة وديمومة مثل هذا الجائز يمكن أن تتأثر جدياً و تنخفض إلى درجة حرجة.[5]

تعتمد درجة تغير سلوك الجائز نتيجة وجود الفتحة على عوامل عدة: شكل وحجم الفتحة، موقع الفتحة ، نوع التحميل، وقد وجد أن حجم الفتحة هو أهم مؤثر على سلوك الجائز.[6]

بالأخذ بعين الاعتبار حجم الفتحة، تستخدم معظم الأبحاث مصطلح صغير وكبير من دون تعريف واضح أو وضع حدود واضحة. فقد تم تعريف الفتحات الدائرية والمربعة والقريبة من المربعة في الشكل كفتحات صغيرة [5]، وفي بحث آخر تعتبر الفتحات الدائرية كبيرة عندما يزداد قطرها عن (0.25) من عمق الجائز [11].

يعتبر باحثون آخرون أن جوهر التصنيف للفتحات إن كانت صغيرة أو كبيرة يعتمد على الاستجابة الإنشائية للجائز، عندما تكون الفتحة صغيرة كفاية بحيث يبقى التصرف الجائزي، بمعنى آخر تبقى نظرية الجائز مطبقة ، فإن الفتحة تصنف صغيرة ، وعندما يتأثر السلوك الجائزي ويتغير إلى الإطاري بسبب وجود الفتحة عندها تعتبر كبيرة .[7]

كما وجد أن هناك نمطين للانهييار للجائز مع فتحة محدثة كبيرة : الأول انهيار بالقص في العتبة العلوية والسفلية ، والثاني يكون بتشكيل مفاصل لدنة في الزوايا الأربعة للفتحة.[1]

تعتمد تقوية الجوائز مع فتحة محدثة بشكل رئيسي على طريقة إحداث الفتحة فيما إذا كانت مشكلة مع الجائز (pre-planned) أو بعد تنفيذ الجائز (post-planned). في حالة الفتحات التي تم تشكيلها أثناء تنفيذ الجائز ، يتم تصميم العتبتين العلوية والسفلية وتسلحها لتقاوم القوى الداخلية المعرضة ، أما في حالة الفتحات المحدثة في جوائز منجزة فإن التقوية الخارجية (التدعيم) ضرورية للعتبتين العلوية والسفلية، وأيضاً لحواف وزوايا الفتحة لمنع تركيز الإجهادات .

2- المشكلة العلمية ومبررات البحث :

أجريت العديد من الدراسات بخصوص الفتحات العرضية في الجوائز بمقطع T، مسبقاً إجهاد، الجوائز العميقة ، وأيضاً الجوائز مسبقاً الصب [5to11]، لكن هناك دراسات محدودة أجريت على جوائز خرسانية ذات مقطع مستطيل مع فتحة ، بسبب العمق المحدود للجوائز مستطيلة المقطع ، وفي حالة الفتحات الذي يزيد ارتفاعها عن نصف عمق الجائز فإن تأثيرها على سلوك الجائز يصبح أكثر حرجاً ، وفي حالة الفتحة المنفذة في جائز مصبوب فإن التقوية الخارجية لا بد منها لاستعادة المقاومة والصلابة التي تم فقدها نتيجة وجود الفتحة .

تم استخدام مواد مختلفة في دراسة التدعيم الخارجي للجوائز مع فتحات مثل الصفائح الفولاذية ، البوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية والزجاجية ، لكن معايير التصميم الخارجي مازالت غير واضحة للجوائز لذلك هذا البحث جاء ليكون جزءاً رديفاً لهذه الدراسات للوصول إلى متطلبات تصميمية واضحة المعايير .

3- دراسة مرجعية :

تمت دراسة مواد مختلفة في كثير من الأبحاث استخدمت للتقوية الخارجية للجوائز البيتونية المسلحة لمقاومة القص [2-13]، الانعطاف [8]، أو كلاهما.

كانت المواد المستخدمة للتدعيم إما صفائح معدنية، البوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية أو الزجاجية بأشكالها المختلفة ، تطبق هذه المواد بالصاقها خارجياً بأشكال وطبقات متعددة.

أشارت الدراسات السابقة إلى أن التدعيم الخارجي للجوائز يمكن أن يحسن بشكل ملحوظ من متانة الجائز ويتحكم بظهور الشقوق وتطورها، وقد وجد أن أحد عيوب هذه التقوية الخارجية عدم التصاق المواد عند نهاياتها وهذا يعود إلى موقع الإرساء وتركيز الإجهادات التي تتحكم بالانهيار للجوائز المقواة .

[5] Mansur et al درس التقوية الخارجية للجوائز بشكل تيه مع فتحات دائرية صغيرة بجانب المساند واستخدم صفائح البوليميرات المسلحة بالألياف FPR plates بشكل جملون حول موقع الفتحة.

[13] Prentzas et al درس التقوية الخارجية للجوائز المزودة بفتحة مستطيلة كبيرة في منطقة القص، واستخدم شرائح بوليميرية ، ودرس تأثير نسبة الطول للعرض على سلوك الجائز ، استنتج أن عمق الفتحة لديه تأثير كبير على مقاومة الجائز، بالإضافة إلى أن تطبيق (FPR) حول الفتحة يمكن أن يزيد من قدرة الجائز بشكل ملحوظ .

تم اختبار سلسلة من الجوائز المسلحة المستمرة بمقطع T مع فتحات مربعة ودائرية صغيرة في الجسد، وجد أن الفتحة القريبة من المسند الوسطي لا تخفض المقاومة. [12]

أيضاً تم إجراء تجارب على جوائز بيتونية مسلحة مستمرة ،كل منها يحوي فتحة عرضية كبيرة ، وأظهرت الدراسة أن زيادة عمق الفتحة بنسبة %36 أدت إلى انخفاض حمولة الانهيار بنسبة %25. [6] .

4- هدف البحث :

في هذه الورقة تفاصيل اختبارات تجريبية تم إجراؤها تهدف لدراسة :

- 1- تصرف الجوائز البيتونية المسلحة مع فتحة مستطيلة كبيرة محدثة في منطقة القص.
- 2- كفاءة التقوية الخارجية للجوائز بفتحات محدثة وذلك باستخدام الصفائح الفولاذية.
- 3- تأثير شكل التدعيم حيث تم استخدام نماذج مختلفة من التدعيم بالصفائح الفولاذية وتمت مقارنة النتائج .
- 4- أخيراً تم إجراء مقارنة في قيمة مقاومة القص التي تم الحصول عليها نظرياً وتجريبياً.

5- الدراسة التجريبية :

5-1- الجوائز :تضمن البرنامج التجريبي اختبار تسعة جوائز بيتونية مسلحة مستتدة استناداً بسيطاً، لجميعها مقطع عرضي مستطيل بأبعاد (150x250mm)، طول كلي (2000mm)، ومجاز فعال (1800mm).الفتحة المحدثة في الجوائز مستطيلة كبيرة ، تم الحفاظ على موقعها في منطقة القص على بعد (225mm) من المسند ، وشاقولياً تقع بشكل مركزي أي ارتفاع العناصر فوق وتحت الفتحة (العتبتين العلوية والسفلية) يكون متساوي. وهي كالتالي :

الجائز (B1) مصمت من دون فتحة،اعتبر مرجعياً ،الشكل (3-a)،وقسمت بقية الجوائز إلى مجموعتين :

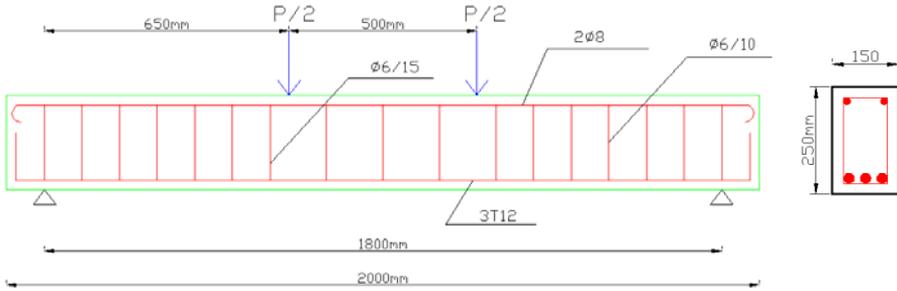
المجموعة (1) تتضمن الجوائز (B2 إلى B5) مع فتحة بعمق 120mm وطول 150mm،

الجائز B2 من دون التدعيم ،الشكل (3-b) . تمت تقوية منطقة الفتحة في الجوائز (B3,B4,B5) الفتحة باستخدام مادة الصفائح الفولاذية بنماذج مختلفة من التدعيم .

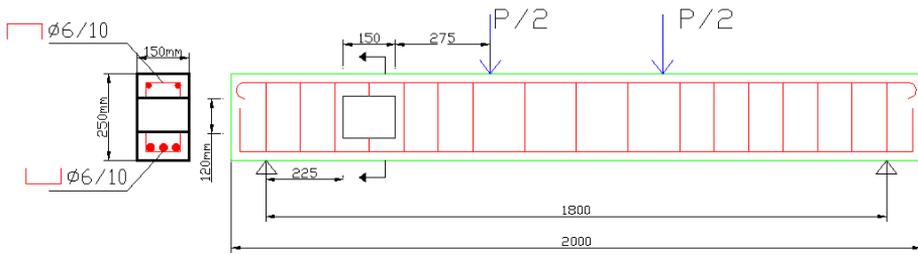
المجموعة (2) تتضمن الجوائز (B9 إلى B6) مع فتحة بعمق 120mm وطول 200mm.

الجائز B6 من دون التدعيم ، وتمت تقوية منطقة الفتحة في الجوائز (B7,B8,B9) بنماذج مختلفة من التدعيم .

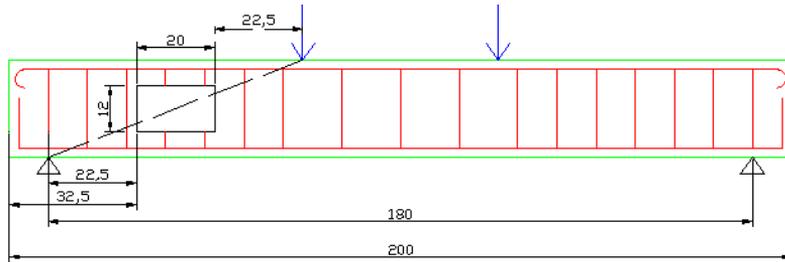
زودت جميع الجوائز بتسليح ، يتألف السفلي من ثلاثة قضبان عالية المقاومة على الشد بقطر 12mm ، والعلوي من قضيبين بقطر 8mm ، والعرضي بقطر 6mm وتباعداً بين الأساور 100mm في الثلثين الأول والثالث من الجائز ، وتباعداً 150mm في الثلث الأوسط منه ، في حالة الجوائز مع فتحات فإن الأساور في العتبتين العلوية والسفلية كانت بالشكل (Π) و (Λ) لكي تمثل حالة الفتحة المحدثة في جائز منفذ مع اقتطاع التسليح في منطقة الفتحة . [7],[5],[9], [14] .



(a) الجائز المرجعي B1 من دون فتحة



(b) الجائز المرجعي B2 مع فتحة 12*15 cm غير مقواة مع مقطع مار بالفتحة

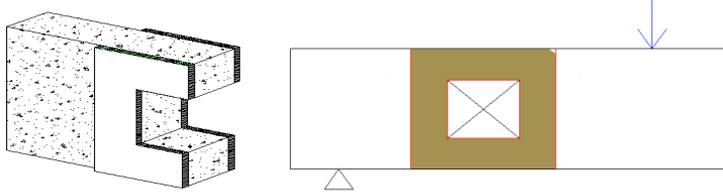


(c) الجائز المرجعي B3 مع فتحة 12*15 cm غير مقواة

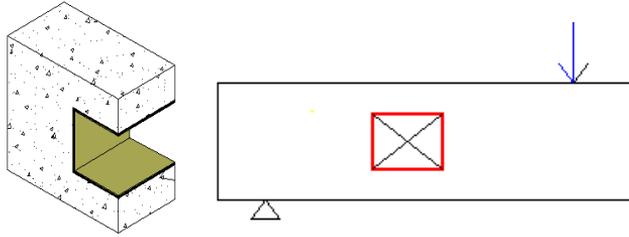
الشكل (3) نموذج الجائز المرجعي

5-2- نماذج التدعيم الخارجي :

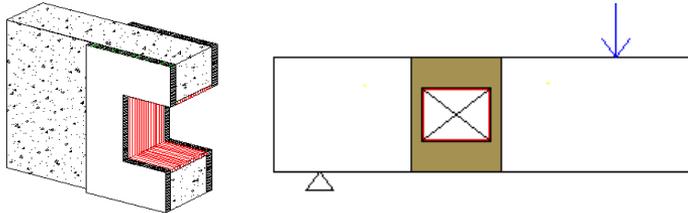
تم استخدام الصفائح الفولاذية في التدعيم الخارجي للجوائز مع فتحات بسماكة 4mm والنماذج كانت كما يلي : في الجائزين (B3,B7) تم لصق صفيحتين جانبيتين مع فتحة بأبعاد فتحة الجائز ولصقهما إلى السطح البيتوني حول الفتحة من كلا الجانبين، على كامل ارتفاع الجائز، وتمتد الحواف الشاقولية للصفائح خارج حافتي الفتحة بمقدار يساوي إلى نصف طول الفتحة (أو ما أطلقنا عليه تسمية طول إرساء الصفائح) في الجائز B3 ، وبمقدار ربع طول الفتحة في الجائز B7، الشكل (4-a) . في الجائزين (B4,B8) تم لصق أربعة صفائح على الأوجه الداخلية للفتحة، شكل (4-b). في الجائزين (B5,B9) تم تنفيذ تدعيم الحواف الداخلية للفتحة بالإضافة إلى لصق صفيحتين خارجيتين، مع طول إرساء يعادل (0.17) من طول الفتحة، الشكل (4-3).



(4-a) الجائز B3,B7 تدعيم جانبي بصفائح سماكة 4mm



(4-b) الجائز B4,B8 تدعيم الحواف الداخلية للفتحة



(4-c) الجائز B4,B9 تدعيم داخلي وخارجي للفتحة

الشكل (4) نماذج الجوائز المدعمة

3-5- المواد: استخدمت خلطة بيتونية لصب الجوائز مكونة من اسمنت بورتلاندي عادي، رمل طبيعي، وحصويات بحجم أعظمي 25mm، وكانت نسب الخلطة : 1.0:1.48:2.95 نسبة للوزن، ونسبة الماء للاسمنت تم المحافظة عليها بحوالي $w/c=0.5$ فكانت المقاومة المميزة للبيتون على الضغط 24Mpa.

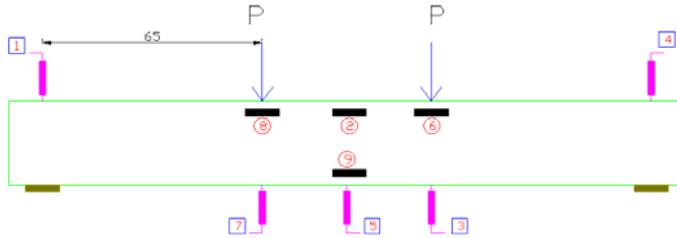
القضبان الفولاذية المستخدمة في التسليح الطولي لكل الجوائز المختبرة كانت من القضبان عالية المقاومة على الشد ولأساور من الفولاذ العادي متوسط المقاومة، كانت قيمة إجهاد الخضوع وحد الانقطاع حسب تجارب الشد بالترتيب (380,600MPa) للأقطار 12mm و(250,400MPa) للأقطار 8mm. وللصفائح المستخدمة للتدعيم الخارجي بسماكة (4mm) كانت القيم (300-205Mpa) للخضوع والانقطاع على الترتيب .

اللاصق المستخدم من الإيبوكسي Sikadur 30 عبارة عن مادتين يتم المزج بينهما وفقاً للنسب الواردة في النشرة المرفقة .

اختبرت جميع الجوائز تحت تأثير حملتين مركزيين، الشكل (5)، حيث طبقت القوة باستخدام مكبس هيدروليكي ب (500KN) على الجائز باستخدام موزع أحمال، وتمت مراقبة الحمولة باستخدام خلية تحميل كهربائية .

قيست التشوهات والانقالات في أماكن محددة من الجائز. مثلاً لقياس السهوم وضع المقياس الأول LVDT في منتصف الجائز والثاني تحت منتصف الفتحة والثالث تحت الحافة الشاقولية الداخلية للفتحة، الشكل (5-a-b) .

ولقياس التشوهات لتقدير إجهادات Von Mises للصفائح تم استخدام مقاييس للتشوه Strain gages عند نقطة معينة من سطح الصفيحة , الشكل (6).



الشكل (5-a) أمكنة توضع مقاييس LVDT



الجائز B1



الجائز B2



الجائز B3

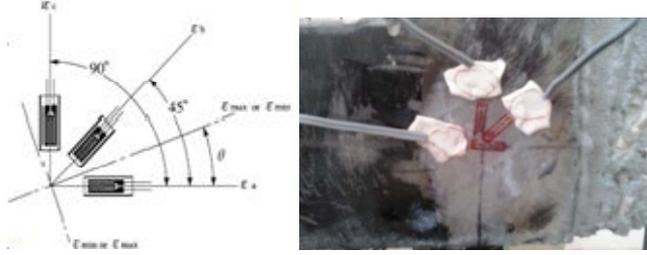


الجائز B4



الجائز B5

الشكل (5-b) أمكنة توضع مقاييس LVDT و آلية إجراء الاختبار



الشكل (6) مقاييس للتشوه عند نقطة معينة من سطح الصفيحة لحساب إجهادات Von Mises

6- نتائج التجارب ومناقشتها :

هدف البرنامج التجريبي لهذه الجوائز الخمسة المختبرة هو إنجاز عدة مهام من خلال المقارنة بين تصرف هذه الجوائز . فالمقارنة بين (B1) و (B2) تبيين سلوك الجائز مع فتحات غير مقواة والجائز المصمت، وأيضاً المقارنة بين الجوائز (B2 to B5) يكشف تأثير نموذج التقوية الخارجية للجائز مع فتحة بالمقارنة مع الجائز غير المقوى والجائز المصمت ، وتم توضيح هذه المقارنات من خلال دراسة السهوم والتشوهات ، التشققات ، حمولات الانهيار ورسم المخططات المعبرة عن ذلك .

6-1 أشكال التشققات وأنماط الانهيار:

الجائز B1:

- تمت ملاحظة أول شق انعطاف عند موقع العزم الأعظمي الموجب بين الحملتين المركزيتين عند حمولة تبلغ $0.15P_{u}$ ثم ظهرت شقوق انعطاف أكثر بزيادة الحمل المطبق.
- بدأت شقوق القص القطرية بالظهور عند حمولة أعلى تبلغ $0.36P_{u}$ ، وأخيراً انهيار الجائز عند حمولة إجمالية $P_{u} = 125kN$ وفق نمط الانعطاف، الشكل (7).

الجائز B2:

- تمت ملاحظة الشق الأول عند زاوية الفتحة العلوية المجاورة للحمولة عند حمولة تبلغ $0.18P_{u}$ وعند حمولة $0.24P_{u}$ من حمولة الانهيار ظهر شق آخر عند زاوية الفتحة المجاورة للمسدن ثم تطورت الشقوق مع زيادة الحمولة وكان انتشارها باتجاه نقطة

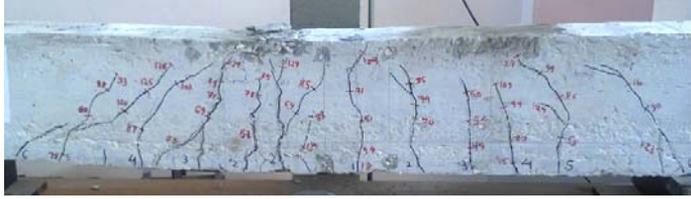
تطبيق القوة وباتجاه المسند وظهور شقوق أكثر عند الزوايا الأخرى للفتحة وبعض شقوق القص على العتبة السفلية.

- عند حمولة $0.45P_u$ لوحظت شقوق الانعطاف عند منتصف الجائز وأيضاً بين موقع الحمولة والحافة الداخلية الشاقولية للفتحة ، وبتزايد الحمولة المطبقة تطورت شقوق القص في منطقة الفتحة وتشكلت شقوق انعطاف أكثر ضمن الجزء الوسطي للجائز .
- بدأ الشق القطري الرئيسي في العتبة العلوية للفتحة قريباً جداً من موقع الحافة الشاقولية الداخلية اليمنى للفتحة وامتد بزواوية تقريباً 45° درجة باتجاه نقطة الحمولة القريبة ومن جهة أخرى الشق القطري الرئيسي في العتبة السفلية بدأ أيضاً من مكان قريب جداً من الحافة الشاقولية الداخلية للفتحة وامتد باتجاه المسند .
- أخيراً الجائز انهار وفق نمط القص عند الفتحة على طول الشقين المتشكّلين قطريا والانهيال وكانت حمولة الانهيال $P_u = 55.3kN$, الشكل (8).

الجائز B3:

- وهو الجائز المدعم بصفيحتين خارجيتين بامتداد خارج حافة الفتحة يساوي إلى نصف طول الفتحة إن تشكل الشقوق الأولى في الجوائز المدعمة خارجياً لا يمكن رؤيتها بسبب وجود مادة ،التدعيم حول الفتحة .
- في حالة هذا الجائز فقد ظهر أول شق عند حمولة $0.24P_u$, عند الزاوية السفلية الداخلية للصفحة الملصقة من جهة الحمولة.
 - ظهرت شقوق الانعطاف في منطقة منتصف الجائز عند حمولة $0.29P_u$ وبتزايد الحمولة تطورت شقوق الانعطاف وازداد عددها .
 - بدأ الانهيال بانفصال النهاية الشاقولية لصفائح المعدنية بالقرب من الحافة الشاقولية الداخلية للفتحة متبعاً بانهيال قص بدء بتشكّل شق قص بدءاً من الحافة الداخلية الشاقولية للفتحة باتجاه نقطة التحميل .
 - بعد إزالة الصفائح المعدنية وجدنا شقين رئيسيين على طول الحافة العلوية والسفلية للفتحة.

- نمط الانهيار هو بالقص القطري بعد انفصال الصفائح وكانت الحمولة القصوى $P_u = 127kN$, الشكل (9).



الشكل (7) أنماط التشققات في الجائز B1



الشكل (8) نمط التشققات والانهيار في الجائز B2

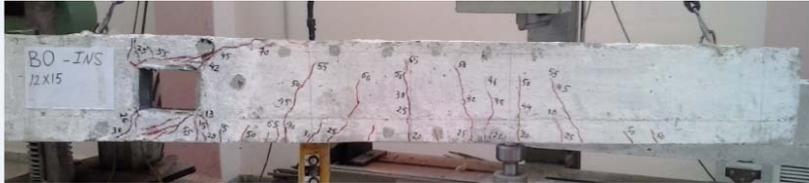


الشكل (9) الانهيار في الجائز B3

إن هذا النموذج زود بطول إرساء كاف لتقوية كل من العتبتين العلوية والسفلية, أدى أيضاً إلى زيادة صلابة العتبتين العلوية والسفلية ضد قوى القص الشاقولية .

الجائز (B4) : وهو الجائز ذو التدعيم لحواف الفتحة الداخلية

- تمت ملاحظة الشق الأول عند زاوية الفتحة السفلية المجاورة لنقطة التحميل وذلك عند حمولة مطبقة مقدارها $0.18P_u$.
- عند حمولة $0.28P_u$ لوحظت شقوق الانعطاف عند منتصف الجائز.
- عند حمولة $0.35P_u$ ظهر شق آخر عند زاوية الفتحة السفلية المجاورة للمسند.
- تطورت الشقوق مع زيادة الحمولة وكان انتشارها باتجاه نقطة تطبيق القوة وباتجاه المسند وتمت ملاحظة شقوق أكثر عند زوايا الفتحة الأخرى وبعض شقوق القص على العتبة السفلية وأيضاً بين موقع الحمولة والحافة الداخلية الشاقولية للفتحة.
- عند حمولة $0.62P_u$ حدث انفصال للصفحتين الأفقيتين من جهة التحميل.
- عند حمولة $0.69P_u$ بدأ الشق القطري الرئيسي في العتبة العلوية للفتحة باتجاه نقطة الحمولة القريبة .
- انهيار الجائز وفق نمط القص على طول الشق المتشكل قطرياً عند الفتحة بعد انفصال الصفحتين الأفقيتين, كانت حمولة الانهيار $P_u = 72.6kN$ ، الشكل (10).



الشكل (10) الانهيار في الجائز B4

الجائز (B5) : وهو الجائز ذو التدعيم لحواف الفتحة الداخلية مع تقوية جانبية .

- ظهر أول شق انعطاف في منتصف الجائز عند حمولة $0.22P_u$ وهو شق انعطاف تبعه ظهور عدة شقوق انعطاف.

- عند حمولة $0.33P_u$ ظهر شق قص عند الزاوية السفلية الداخلية للصفحة الملصقة من جهة الحمولة وبزيادة الحمولة تطورت شقوق الانعطاف وازداد عددها .
- لاحظنا انفصال النهاية الشاقولية للصفائح المعدنية الخارجية بالقرب من الحافة الشاقولية الداخلية للفتحة عند حمولة $0.44P_u$.
- بزيادة التحميل انفصلت الصفحة الداخلية الأفقية السفلية عند حمولة $0.77P_u$ ثم تشكل شق قص بدءاً من الحافة الداخلية الشاقولية للصفحة الخارجية ويتجه نحو نقطة التحميل
- عند حمولة $P_u = 90kN$ حدث الانهيار بانفصال الصفائح الجانبية والصفائح الأفقية الداخلية العلوية والسفلية تبعها تشكل شق قص يمتد في منطقة الضغط من الجائز، الشكل (11).



الشكل (11) الانهيار في الجائز B5

الجائز B6 :

كان له نفس سلوك الجائز B2 حيث حمولة التشقق الأول تبلغ $0.16P_u$ ، وانهار وفق نمط القص عند الفتحة على طول الشقين المتشككين قطرياً وانهيار عند حمولة الانهيار $P_u = 50kN$ ، الشكل (12).

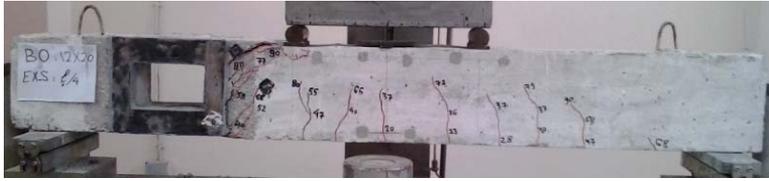
الجائز B7:

وهو الجائز المدعم بصفيحتين خارجيتين بامتداد خارج حافة الفتحة يساوي إلى ربع طول الفتحة وله نفس سلوك الجائز B3 لكن حدث الانفصال عند حمولة أقل نتيجة عدم

التزويد بطول إرساء كاف ، فقد بدأ الانهيار بانفصال النهاية الشاقولية للصفائح بالقرب من الحافة الشاقولية الداخلية للفتحة متبعاً بانهيار قص بدء بتشكيل شق قص بدءاً من حافة الفتحة باتجاه نقطة التحميل . نمط الانهيار هو بالقص القطري بعد انفصال الصفائح وكانت الحمولة القصوى $P_u = 94kN$, الشكل (13).



الشكل (12) نمط التشققات والانهيار في الجائز B6



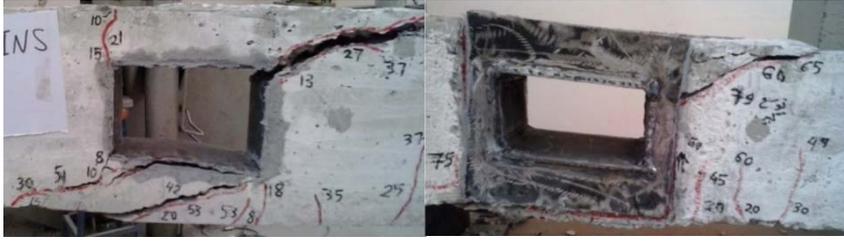
الشكل (13) الانهيار في الجائز B7

الجائز B8 :

وكان له نفس سلوك الجائز B4 حيث كانت حمولة التشقق الأول $0.17P_u$ وانهيار بانفصال الصفيحتين الأفقيتين ، تلاه تشكل الشق القطري الرئيسي في العتبة العلوية للفتحة باتجاه نقطة الحمولة القريبة ، كانت حمولة الانهيار $P_u = 53kN$ ، الشكل (14).

الجائز B9 :

وهو الجائز ذو التدعيم لحواف الفتحة الداخلية مع تقوية جانبية وكان له نفس سلوك الجائز B5 ، مع حمولة تشقق أولي بقيمة $0.2P_u$ ، وعند حمولة $P_u = 79kN$ حدث الانهيار بانفصال الصفائح الجانبية والصفائح الأفقية الداخلية العلوية والسفلية تبعها تشكل شق قص يمتد في منطقة الضغط من الجائز ، الشكل (15).



الشكل (15) الانهيار في الجائز B5

الشكل (14) الانهيار في الجائز B8

6-2- كفاءة نموذج التدعيم :

يبين الجدول (1) كفاءة التقوية الخارجية باستخدام الصفائح الفولاذية Steel Plates وذلك على اختلاف أشكال تلك التقوية:

الجدول (1) نتائج الاختبار

الجائز	نموذج التدعيم	حمولة الانهيار القصى التجريبية Pu (kN)	الاستعادة في حمولة الانهيار (%) بالنسبة للجائز B1	نمط الانهيار
B1	....	125		الانعطاف
B2	.....	55.3	55.4% انخفاض	القص
B3	خارجي بنصف طول الفتحة	127	1.2% زيادة	القص
B4	صفائح ملصقة بالحواف الداخلية	72.6	58.5%	القص
B5	داخلي مع خارجي	92.6	74.8%	القص
B6	.....	50	59.76% انخفاض	القص
B7	خارجي بنصف ربع الفتحة	94	75.8%	القص
B8	صفائح ملصقة بالحواف الداخلية	53	47%	القص
B9	داخلي مع خارجي	79	63.7%	القص

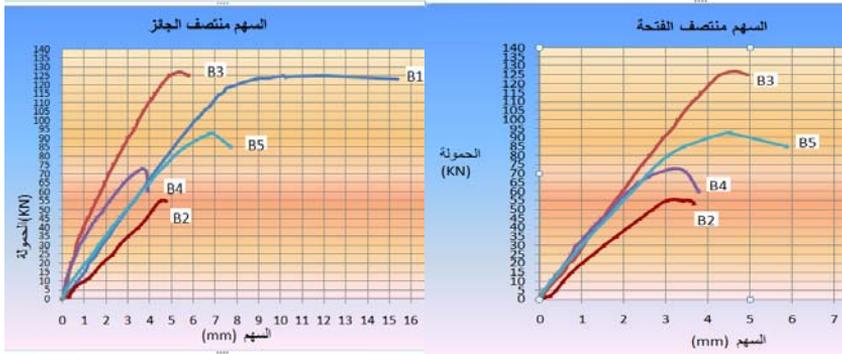
بالتدقيق في النتائج المدرجة في الجدول أعلاه، نلاحظ أن وجود الفتحة في منطقة القص لم يخفض من قدرة تحمل الجائز فقط، بل أدى أيضاً إلى تغيير نمط الانهيار من الانعطاف إلى القص. وكان الانخفاض في حمولة الانهيار القصى بحوالي (55.4%) نتيجة وجود فتحة بأبعاد (15×12cm) و 59.7% نتيجة وجود فتحة بأبعاد (15×12cm) واقعة في منطقة القص .

بشكل عام في حالة التقوية الخارجية للجوائز باستخدام الصفائح الفولاذية (الجائز B3) فإن الجائز انهيار وفق نمط الانهيار بالقص بعد انفصال الصفائح ، وذلك بسبب عدم تأمين إرساء كافي للصفائح ، وكانت الزيادة في المقاومة القصوى للجوائز بحدود 57% بالمقارنة مع الجائز بفتحة من دون تقوية .

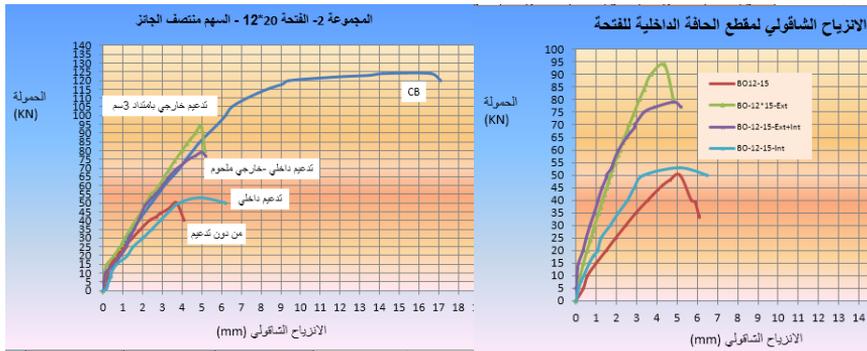
إذاً للصفائح تأثير كبير لأنها مادة متجانسة في كافة الاتجاهات وهي لا تقاوم قوى القص الخارجية فقط ، بل إجهادات الشد في أي اتجاه أيضاً، حيث أظهرت كفاءة عالية في زيادة مقاومة القص للعتبات فوق وتحت الفتحة ، بالإضافة أيضاً إلى الميزة الاقتصادية للصفائح.

6-3- الإنزياحات الشاقولية :

يبين الشكل (12) علاقة (الحمولة-الانزياح الشاقولي) لجميع الجوائز المختبرة :



الشكل (12-a) عند مقطع وسط الجائز ومنتصف الفتحة للمجموعة (1)



الشكل (12-b) عند مقطع وسط الجائز ومنتصف الفتحة للمجموعة (1)

الشكل (12) علاقة (الحمولة - الانزياح الشاقولي)

بالمقارنة بين الجائزين B1, B2 نجد زيادة ملحوظة في انزياح الجائز (B2) عن (B1) ويعود ذلك إلى الانخفاض في الصلابة نتيجة وجود الفتحة .

من الواضح من المخططات أن التقوية الخارجية تزيد بشكل ملحوظ من صلابة الفتحة بالمقارنة مع الجائز غير المقوى وهذا يعزى إلى زيادة العطالة بسبب الفعل المركب الناتج عن وجود مواد خارجية ملصقة إلى وجه البيتون والتي تؤدي عموماً إلى صلابة أعلى للجائز , حيث أن الصفائح مادة متجانسة وهي تقاوم بشكل جيد كل من إجهادات القص والانعطاف على طول الفتحة وتخفف من تركيز الإجهادات حول الفتحة.

ومن الملاحظ من الشكل (13),(14) أن سلوك علاقة (السهم - الحمولة) في كل الجوائز المقواة تكون متشابهة ومشابهة لسلوك الجائز الصلد في المرحلة المرنة من التحميل . ويمكن أيضاً ملاحظة ما يلي :

1- بالمقارنة بين B1, B2 كان الفاقد في المقاومة بحدود 55% نتيجة وجود الفتحة غير مقواة .

2- التدعيم الخارجي للجائز B3 يؤدي إلى زيادة في المتانة بالمقارنة مع الجائز غير المدعم فيما إذا تم التزويد بطول إرساء جيد حيث أنه العامل الأهم الذي يؤثر على كفاءة التقوية , فطول الإرساء بمقدار نصف طول الفتحة من كلا الجانبين للفتحة قد أدى إلى استعادة المقاومة الكاملة للجائز , حيث يساعد طول الإرساء هذا في زيادة مقاومة القص للعتبات ويؤمن مقاومة كافية للإجهادات المركزة عند زوايا الفتحة , فقد زادت المقاومة عن الجائز غير المقوى بحدود 57% وكانت الزيادة بحدود 1.6% عن الجائز المرجعي B1 بدون فتحة.

3- يملك الجائز B4 المقوى بالصفائح الملصقة على الأوجه الداخلية للفتحة المتانة الأقل من بين الجوائز المقواة , حيث كانت الزيادة في المقاومة بنسبة 22% بالمقارنة مع الجائز غير المقوى B2, ولكنها لم تصل إلى مقاومة الجائز المرجعي B1 بل بقيت أخفض من المقاومة الأساسية بحدود 44% .

4- الجائز B5 المقوى داخل وخارج الفتحة و بطول إرساء يساوي إلى ربع طول الفتحة أظهر زيادة في المقاومة بحدود 40% بالمقارنة مع الجائز غير المقوى ولكن لم

تصل إلى المقاومة الأساسية بل تنخفض عنها بمقدار 28% وأعطى مقاومة أكبر من الجائز المقوى داخلياً فقط .

التحليل النظري :

في هذا الجزء من الدراسة سيتم حساب قوة تحمل الجائز نظرياً ومقارنتها بالقوة الناتجة تجريبياً، وللحصول على الحمولة القصوى للجائز عند الانهيار يتم حساب قوة القص عند مقطع الفتحة حيث :

$$V = \frac{P_u}{2} \Rightarrow P_u = 2V \quad \dots(1)$$

حيث : P_u : الحمولة الكلية القصوى المطبقة ، V : قوة القص في مقطع الفتحة .
وقوة القص عند مقطع الفتحة هي مجموع مساهمة كل من العتبتين العلوية والسفلية في تحمل قوة القص فقد تم اعتبار أن قوة القص المطبقة توزع على العتبتين العلوية وسفلية

$$V_t = K.Vm \quad \dots(2) \quad \text{بنسبة محددة :}$$

V_t : قوة القص المحملة للعتبة العلوية ، V_m : قوة القص المطبقة

K : معامل توزيع القص بين العتبتين هناك ثلاث اقتراحات بخصوص توزيع القص [2]:
الأول : $Lorensten$ 1962 يفترض أن العتبة العلوية المضغوطة تتحمل كامل القص، والسفلية المشدودة تعمل وصلة أو وتد ولا تتحمل القص ، وهذا صحيح عندما تقع الفتحة في أسفل الجائز بالقرب من القاع .

الثاني : وهو مقترح من قبل $Reagan$ 1967 بأن يوزع القص الكلي بشكل متناسب مع المقطع العرضي لكل من العتبتين.

الثالث : $Barney$ 1977 حيث يوزع القص الكلي بشكل متناسب مع صلابة العتبتين :

$$Lorensten \quad 1962 \quad K = 0$$

$$Reagan \quad 1967 \quad K = A_t / (A_t + A_b) \quad \dots(4)$$

$$Barney \quad 1977 \quad K = I_t / (I_t + I_b)$$

عند الحساب وفق العلاقة الثالثة وجدنا أن $K=0.5$ ، وبالتالي نحسب قوة القص المحملة لإحدى العتبتين ويكون :

$$V = V_t + V_b \quad \dots(5)$$

V_t : قوة القص المحملة للعتبة العلوية . V_b : قوة القص المحملة للعتبة السفلية .
وتحسب قوة القص في العتبة كما يلي :

$$V_t = V_c + V_s \quad \dots(6)$$

$$V_t = V_c + V_s + V_p \quad \dots(7)$$

V_c : مساهمة البيتون في تحمل قوة القص وتحسب من العلاقة التالية وفقاً للصيغة المدرجة في الكود الأمريكي ACI318-95 :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b d \quad \dots(8)$$

b : عرض الجائز ، d : الارتفاع الفعال للجائز .

V_s : مساهمة التسليح الداخلي في تحمل قوة القص ، ويمكن إهمالها نتيجة اقتطاع الأساور في منطقة الفتحة .

V_p : مساهمة الصفائح في تحمل قوة القص والتي يمكن تقديرها بالمعادلة التالية [9] :

$$V_p = \frac{1}{2} \tau . d . h_p \quad \dots(9)$$

τ : إجهاد القص البيني للوصلة على طول ارتفاع الصفائح وهو إجهاد خاص باللاصق الإيبوكسي، ويتم الحصول عليه من النشرة المرفقة بالمنتج مضروباً بعامل تصحيح بقيمة

0.9 للصفائح الجانبية (أجنحة) و0.75 للصفائح بشكل U. [6],[7]

d : الارتفاع الفعال للمقطع ، h_p : ارتفاع الصفائح.

تم حساب قوة القص القصوى النظرية والتجريبية للعتبة العلوية للجوائز المختبرة ونظمت النتائج في الجدول (2):

الجدول (2) قوة تحمل الجائز نظريا وتجريبيا

الجائز	المعطيات					الحساب النظري				حمولة الإجهار التجريبية	
	الفتحة		الصفائح			العتبة الواحدة			قوة القص الكلية للمقطع عند الفتحة		حمولة الإجهار
	الارتفاع	الطول	نموذج التدعيم	طول الارساء		مقاومة البيتون	مساهمة البيتون	مساهمة التدعيم			
				نسبة لظول الفتحة	القيمة mm				kN		kN	kN
B2	120	150	...	...	...	24	7.961	0.00	15.92	31.84	55.30
B3	120	150	خارجي	0.5	75	24	7.961	24.24	64.40	128.81	127.00
B4	120	150	داخلي مع ملحوم	...	...	24	7.961	0.00	15.92	31.84	72.60
B5	120	150	داخلي مع خارجي	0.167	25.05	24	7.961	20.20	56.32	112.65	92.60
B6	120	200	...	...	...	24	7.961	0.00	15.92	31.84	50.00
B7	120	200	خارجي	0.25	50	24	7.961	24.24	64.40	128.81	94.00
B8	120	200	داخلي غير ملحوم	...	...	24	7.961	0.00	15.92	31.84	53.00
B9	120	200	داخلي مع خارجي	0.15	30	24	7.961	20.20	56.32	112.65	79.00

نلاحظ أن هناك توافق في بعض النتائج النظرية والتجريبية ، لكن نلاحظ تساوي قيمة قوة القص للجوائز ذات نفس شكل التدعيم مع تغير طول الفتحة هذا يعود إلى أن القص يتعلق بتوزيع التسليح في المقطع الطولي وهذا لم يؤخذ بعين الاعتبار في العلاقات النظرية وهذا ما تم التطرق إليه بالتفصيل في الأطروحة التي تتعلق بها هذه المقالة ومن المتعذر شرحها هنا .

الخلاصة والنتائج :

1- إحداث فتحة في جوائز بيتوني في منطقة القص يخفض بشكل ملحوظ من متانته وصلابته، حيث تشكلت شقوق متعددة حول زوايا الفتحة ناتجة عن تركيز الإجهادات وشقوق قطرية على طول العتبتين العلوية والسفلية بسبب قلة مقاومتها للقص . الانهيار في كلا العتبتين العلوية والسفلية كان مفاجئاً وحدث وفق نمط الانهيار بالقص القطري.

2- التقوية بلصق صفيحتين على جانبي الجائز في منطقة الفتحة الجائز أظهرت كفاءة كبيرة، حيث أمنت صلابة إضافية لمقطع الفتحة ، وذلك بسبب الخواص المستمرة المتجانسة للصفائح الفولاذية وأدت إلى مقاومة أكبر لشقوق القص القطرية.

3- استخدام الصفائح الفولاذية داخل وخارج الفتحة ذات كفاءة أكبر من التقوية الداخلية للحواف فقط ، ولكن العامل المهم هو طول إرساء الصفائح (امتداد الصفائح خارج الحافتين الشاقوليتين للفتحة .

4- بالاعتماد على الدراسة النظرية والتجريبية المقدمة ينصح الأخذ الاعتبار الأمور التالية عندما يصمم التقوية الخارجية للفتحات في جائز بيتوني مسلح : تأمين مقاومة قص كافية للعتبات ،زيادة طول إرساء الصفائح على امتداد خارج الفتحة وذلك للتغلب على تركيز الإجهادات ومنع تشكل مفاصل لدنة عند الزوايا.

5- التحليل النظري للجوائز المختبرة والمستخدم لحساب مساهمة الصفائح الفولاذية في قوة القص الكلية يتجاهل سماكة الصفائح ويأخذ بعين الاعتبار اختلاف الإجهادات المماسية البينية بين الصفائح والبيتون فقط ، وبالتالي يلزمنا معلومات تجريبية أكثر

ودراستها من أجل تطوير التحليل النظري ليصبح أكثر وثوقية في تقدير قوة القص المحملة من الصفائح الفولاذية آخذاً بعين الاعتبار طول الإرساء وسماكة الصفائح .

References

- [1]-Thompson, J.M. and Stephen Pessiki, (2006), Experimental investigation of precast, prestressed inverted-tee girders with large web openings. PCI Journal. pp: 1-17.
- [2]- Mansur, M.A, (1998), Effect of openings on the behavior and strength of R/C beams in shear. Cement and concrete composites, 20: 477-486.
- [3]-British Standards Institution (1997), Structural use of concrete, BS 8110: Part 1:1997.
- [4]-ACI Committee 318, (1995), Building Code requirements for reinforced concrete (ACI 318-95), American Concrete Institute 369 pp
- [5]- Mansur, M.A, L.M. Huang, K.H. Tan and S.L. Lee, (1992), Deflection of reinforced concrete beams with web openings. ACI Structural Journal, 89(4): 391-397.
- [6]- Mansur, M.A, Y.F. Lee, K.H. Tan and S.L. Lee, (1991), Test on RC continuous beams with openings. Journal of Structural Engineering, 117(6): 1593-1605.
- [7]-Siao, W.B, S.F. Yap, (1990), Ultimate behavior of Strengthened large openings made in existing concrete beams. Journal of the Institution of Engineers, 30(3): 51-57.
- [8]- Mansur, M.A, Hasanat, A. (1979), Concrete beams with small openings under torsion. Journal of the Structural Engineering, ASCE, pp. 2433-2447.
- [9]- Salam, S.A, (1977), Beams with openings under different stress conditions. Conference on Our World in Concrete and Structures, 25-26 Aug. Singapore, pp: 259-267.
- [10]- McMullen, A.E, (1975), Torsional strength of longitudinally reinforced beams containing an opening, ACI Journal, Proceedings, pp. 415-420.

- [11]-Somes, N.F , W.G. Corley, (1974),Circular openings in webs of continuous beams". American Concrete Institute. Detroit, pp:398.
- [12]-Hanson,J.M.(1969),Square opening in webs of joists , PCA Research and Development Bulletin RD 100.01D,Portland Association , Stokie .PP1-14.
- [13] – Prentzas ,S,A,(1968),Behaviour and reinforcement of concrete beams with large rectangular apertures .Ph.D.Thesis,University of Sheffield,UK,Sept,230pp.
- [14] – Ihssan Tarsha, Abdo Alrazak Salem, Lojean Al-Mohamad Study of The Effect of Openings on The Behavior of RC Beams without Additional Reinforcement in opening region using FEM, Journal of AL- Baath university,Vol.37,2014.