مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية – المجلد (16) العدد (2) 1414 هـ 1994 م

تأثير الفتحات الصغيرة على سلوك الجوائز البيتونية المسلحة

د. بسام حويجة*

❐ ملخص ❐

تساهم هذه الدراسة في فهم سلوكية الجوائز البيتونية المسلحة الحاوية على فتحات بأشكال مختلفة، متوضعة في مواقع مختلفة من الجائز.

الفتحات لها مقطع عرضي واحد بحيث نتمكن من إجراء المقارنة وتحديد تأثير شكل الفتحة على سلوكية الجوائز.

تم حفظ العينات والجوائز في غرفة رطبة ذات حرارة مراقبة حتى موعد إجراء التجارب. قمنا بتحليل النتائج التجريبية ومن ثم تحديد قدرة تحمل كل جائز وكذلك نمط انهياره. أخيراً نبين الأشكال الأمثل للفتحات الواجب تنفيذها في الجوائز.

* الدكتور بسام حويجة مدرس في قسم الهندسة الانشائية بكلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة وعموميات:

إن معظم المسسائل الأساسية المتعلقة بمقاومة البيتون المسلح تم إعدادها تجريبياً، المقاومة على الضغط، على الشد، على القص والمقاومة على التشققات وكذلك صلابة العناصر المنحنية، ومن بين هذه الدراسات التجريبية يوجد محاولات لبحث الثقوب أو الفتحات على سلوك الجوائز المكونة من البيتون المسلح ولكنها ليست معمقة ولم تناقش بشكل واضح. يزداد استخدام الفتحات في جوائز الأبنية السكنية الحديثة بشكل سريع ويعود ذلك لأسباب كثيرة نذكر منها:

- أعمال الصحية ولاشوفاج.
- التهوية والتلفون والكهرباء، الخ...

بالتأكيد إذا تم تنفيذ الفتحات في الجوائز دون أن تؤثر بشكل سلبي على سلوكها الإنشائي فإننا نوفر كثيراً من كلفة الإنشاء حيث نستطيع حذف الفراغ الميت للأسقف المستعارة، وإن هذا أمر هام جداً بالنسبة للأبنية الطابقية حيث استعمال الفتحات يولد ارتفاع طابق صغير وهذا يولد توفيراً كبيراً.

إن وجود الفتحات في الجوائز يمثل نقطة ضعف وعدم استمرارية لمادة هذه الجوائز ويمكن أن تسبب خطورة بالغة أثناء الاستخدام، وبالتالي فإن المهندس يواجه مسألة علمية مهمة تتمثل بتنفيذ الفتحات في الهياكل دون أن تؤثر أو تضعف قدرة تحملها. في الواقع يمكن تحقيق هذا العمل باستخدام تسليح خاص حول الفتحة أو بالاختيار المناسب لمكان توضع الفتحة ولشكلها.

عند دراسة تأثير الفتحات على سلوك جائز ما، فإنه يجب التمييز بين الفتحات الصغيرة التي تغير قليلاً آلية العمل الكلاسيكية للجائز والفتحات الكبيرة التي تغير بشكل واضح سلوك الجائز على الأقل في منطقة تواجدها.

تبين الدراسة المرجعية التي قمنا بها (1, 2, 3, 4) بأن هناك كماً كبيراً من الأعمال النظرية والتجريبية عالجت الفتحات الكبيرة، بينما يوجد عدد قليل جداً من الأبحاث الحديثة (5) حول تأثير الفتحات الصغيرة على سلوك الجوائز البيتونية المسلحة. ضمن هذا السياق ينصب عهملنا حيث قمنا بدراسة تجريبية للآثار الناجمة عن مكان توضع الفتحة وتأثير شكلها على سلوك الجوائز، ولقد تم تحديد الشكل الأفضل للفتحات الدارجة الصغيرة المستخدمة في الجوائز دون أي تسليح خاص للمقطع المعتبر.

إن جملة المعايير التي أخذنا بها تتمثل بآلية سلوكية الجائز، مقاومته القصوى، حمولة التشقق الأول ونمط التشقق وتطوره في كافة مراحل التحميل وصولاً للإنهيار.

صلابة جائز ما خاضع لعزم انعطاف:

إن دراسة مسألة الصلابة أمر هام وأساسي حيث تساعدنا بمعالجة مواضيع علمية كثيرة، نذكر منها:

- تحديد تشوهات العناصر البيتونية المسلحة.
- حساب الجهود في المنشآت غير المقررة الناجمة عن الحمولات الخارجية أو عن تغيرات حرارية أو عن هبوط المساند.
- تحديد تردد للاهتزازات الحرة للعناصر، الخ...

فإذا كانت عطالة جائز متجانس ومرن، ثابتة (I) فإنه بالإمكان تحديد انحناء هذا الجائز بالعلاقة البسيطة التالية:

$$\frac{1}{R} = Y'' = \frac{-M}{E.I}$$

حيث:

Y": المشتق الثاني للإنتقال المتعامد مع الخط الوسطي.

R: نصف قطر الإنحناء.

M: عزم الانعطاف.

E.I: الصلابة.

E: معامل المرونة الطولاني.

ولكن الصلابة تتغير مع تطبيق الحمولة ويعود هذا التغيير لأسباب عديدة منها:

- تغير معامل المرونةالناجم عن الخواص اللدنة للبيتون.
- تغير العطالة الناجم عن التشققات في المنطقة المشدودة.
- عدم التجانس الناجم عن النسبة المئوية للتسليح ولنوعية التلاحم (تطويق، انزلاق، الخ...).

إن إعداد نظرية شاملة تأخذ بالإعتبار كافة الظواهر التي يمر بها جائز خاضع لحمولات شاقولية (عزم انعطاف – جهد قاطع) حتى مرحلة الانهيار (مرحلة المرونة – طور التشقق المرن اللدن وحتى طور اللدونة – مرحلة الانهيار (إما بانقطاع فولاذ التسليح المشدود أو بانهيار ألياف البيتون العلوي المضغوطة بشكل مفاجئ)، وكذلك معامل تأثير سرعة التحميل أو التشوه أمر ليس سهلاً وهو عمل دقيق وصعب جداً، وفي حالة وجود الفتحات في الجائز يزداد تعقيداً وصعوبة أكثر فأكثر.

في الواقع إن وجود الفتحات في الجوائز يعمل على تخفيض صلاباتها، وبالتالي الزيادة في قيمة الأسهم، إضافة للدور السلبي الناجم عن تشققات البيتون في المناطق المشدودة حيث تكون العطالة "المتشققة" أصغر من العطالة الفعّالة للمقطع والمحسوبة بوساطة معادلة العزوم الستاتيكية (6).

خواص المواد المستعملة في صناعة الجوائز:

1– البيتون:

استخدمنا طريقة التركيب الحبي المعروفة باسم درو–جوريس (Dreux-Gorisse) الفرنسية (7) وذلك بهدف الحصول على بيتون جيد ذي مقاومة متوسطة على الضغط بعد 28 يوم معادلة لـ f'c=32 Mpa.

وكانت النسبة المئوية للمواد بالمتر المكعب بيتون طازج كما يلي:

- خص مكسر (8/16) G=1006 Kg
- رمل نهري (0/5) S=798 Kg

G/S=1.26

- اسمنت بورتلاندي عادي (Gpj 45) C=360 Kg
- ماء E=196 Kg

E/C=0.54

بالتالي تكون الكثافة الظرية للبيتون:

Δ=2.36

تم خلط المواد بوساطة خلاطة ذات محور مائل، بطاقة 300 ليتر، ومن ثم الصب في القالب الخشبي المصنع من قبلنا في المخبر والرج باستخدام ابرة رجاجة بقطر 25 mm (شكل 1).

لكل خلطة أخذنا ثلاث عينات اسطوانية نظامية (16×32 Cm) من أجل مراقبة مقاومة البيتون عند إجراء التجارب على الجوائز المصنوعة من بيتون الخلطة نفسه، حيث تم صب البيتون في القوالب الكرتونية وفق طبقتين بمساعدة الإبرة

الرجاجة مع زمن محسوب ومرتبط بمقدار هبوط مخروط أبراهامس وبشكل الحصويات (8، 7).

نذكر بأن قيم هبوط مخروط أبراهامس تراوحت بين 5 Cm - 7.5 Cm وهذا موافق للخلطات اللدنة المرغوبة (شكل 2).

بعد عملية الصب في القالب تُركت الجوائز والعينات في المخبر مغطاة بغطاء خاص ليوم واحد، ثم نقلت إلى غرفة رطبة ذات حرارة مراقبة (جو مشبع 20° C ± 2° C) حتى موعد إجراء التجارب (شكل 3).

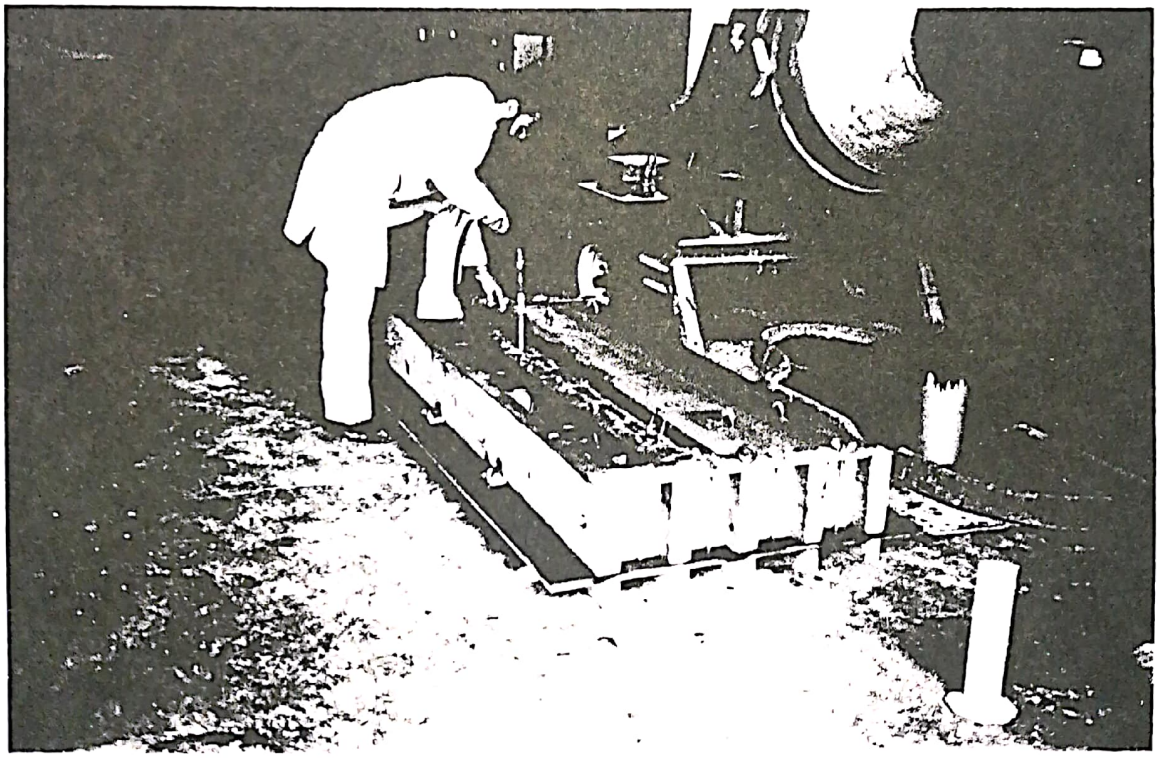
2- الفولاذ:

تم تسليح الجائز بنوعين من الفولاذ (شكل 4).

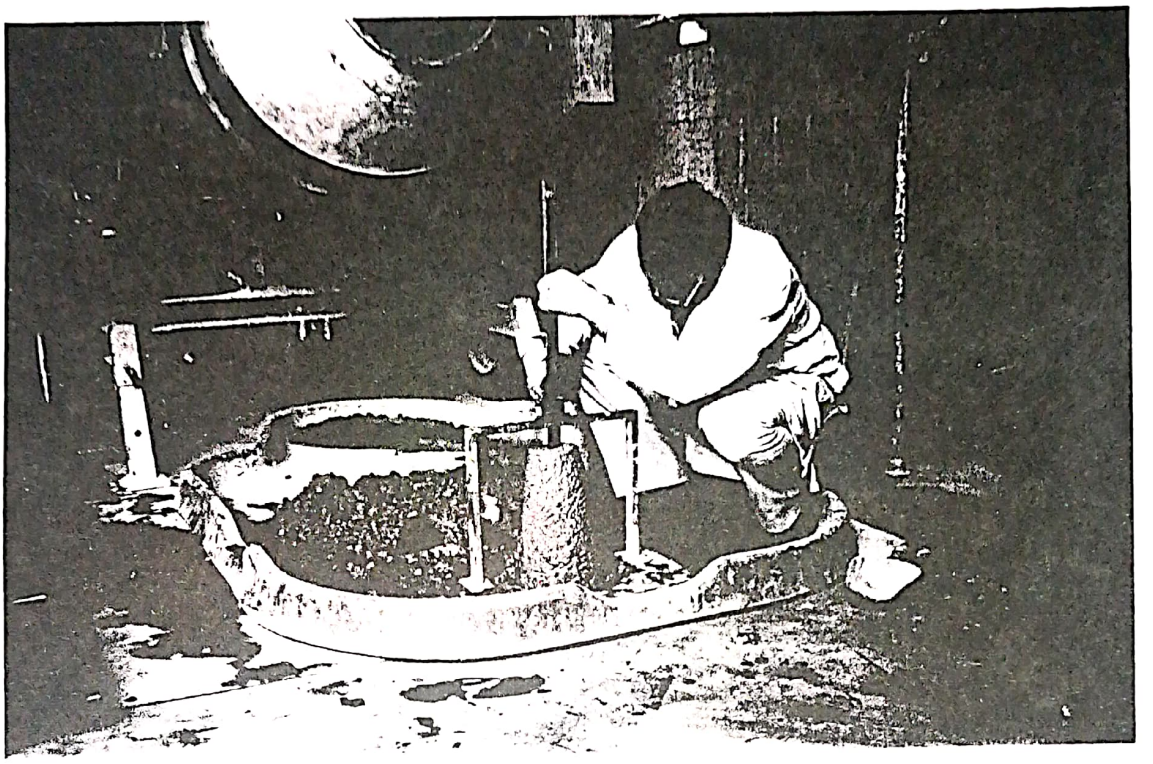
- Fe E40 فولاذ كبير التلاحم من أجل التسليح الطولاني الرئيسي المشدود (2Φ12).
- Fe E24 فولاذ أملس مطاوع من أجل التسليح العرضاني وتسليح التعليق.

2Φ6 تسليح تعليق

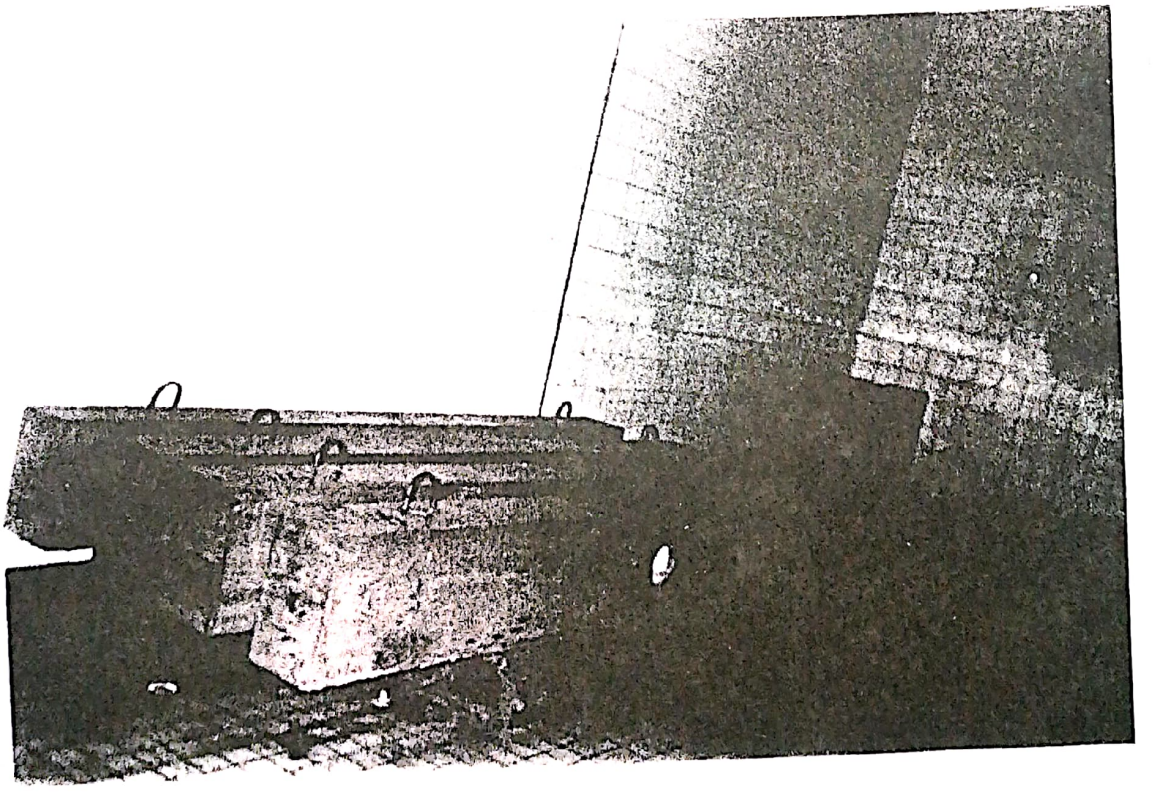
Φ6 إطارات



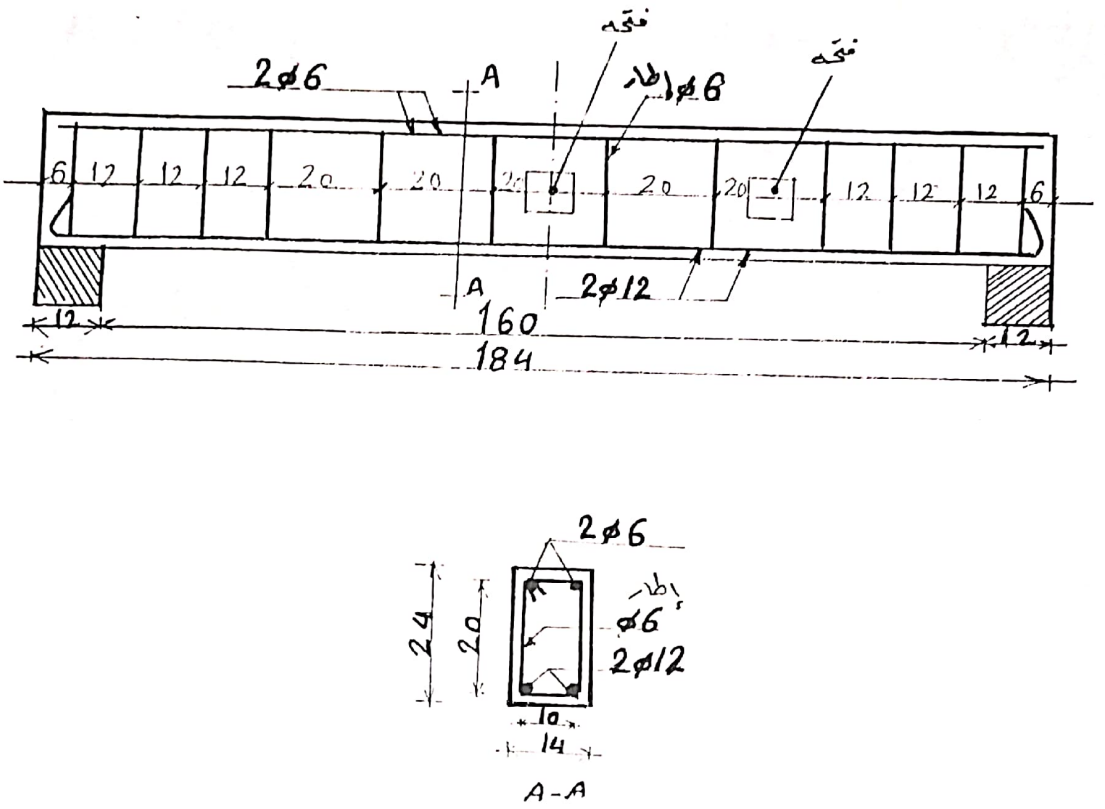
شكل (1): خلط وصب البيتون في القالب مع أخذ عينات اسطوانية لمراقبة مقاومة المادة.



شكل (2): تجربة مخروط أبراهامس لقياس لدونة البيتون.



شكل (3): حفظ العينات والجوائز في غرفة رطبة ذات حرارة مراقبة.



شكل (4): التسليح في الجائز البيتوني المجرّب.

وصف عام للجائز المجرّب والفتحات:

الجائز المجرب يملك البعاد التالية:

- الطول الكلي 184 Cm (160 طول حر).
- ارتفاع 24 Cm.
- العرض14 Cm.

استخدمنا نموذج واحد للجائز مع اشكال عديدة للفتحات متوضعة في مكانين اثنين (شكل 4، 5).

- منتصف الفتحة على بعد مساوي لـ80 Cm من المسند.
- ربع الفتحة على بعد مساوي لـ40 Cm من المسند.

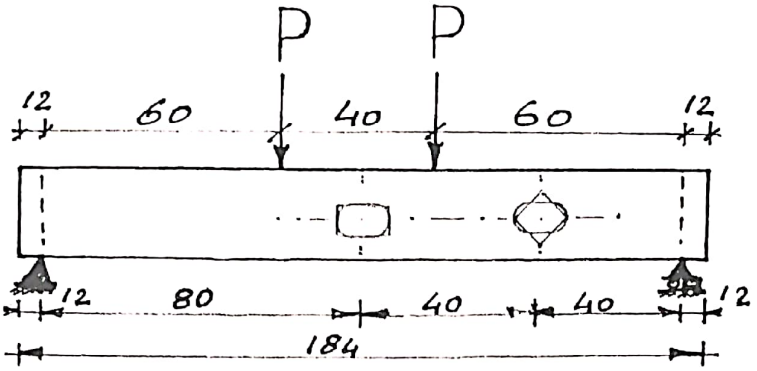
يخضع الجائز لقوتين مركزيتين تبعدان عن بعضهما بمسافة قدرها 40 Cm بحيث نتمكن من إهمال الجهود القاطعة في المنطقة الوسطية (شكل 6).

تم إعداد الفتحات بأشكال مختلفة ولكنها تملك مقطعاً واحداً مساوياً لـ$53\ Cm^2$: مستطيلة – دائرية – قطع ناقص – مربع – معين.

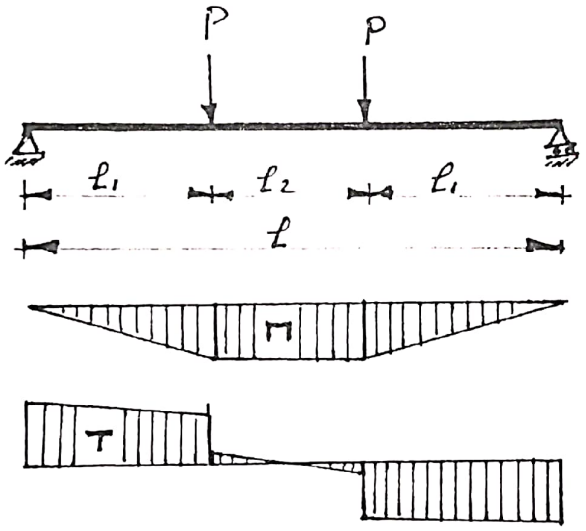
من أجل تنفيذ الفتحات بدقّة في الجوائز قمنا بإعداد قوالب خشبية ذات مقطع عرضي مماثل لشكل الفتحة المرغوبة وبطول مساوٍ لعرض الجائز (14 Cm)، وأحيطت بطبقة رقيقة من البولستيرين (1 mm~) وذلك لسهولة نزعها وتأمين فتحة جيدة دون تخريب حوافها.

البرنامج التجريبي:

يتألف برنامج العمل التجريبي من 22 جائز بيتوني مسلح خاضعة لحمولات استاتيكية على الإنعطاف حتى الانهيار، موزعة على الشكل التالي:



شكل (5): توضع الفتحات في الجائز مع شكل التحميل.



شكل (6): مخطط عزم الانعطاف والجهد القاطع.

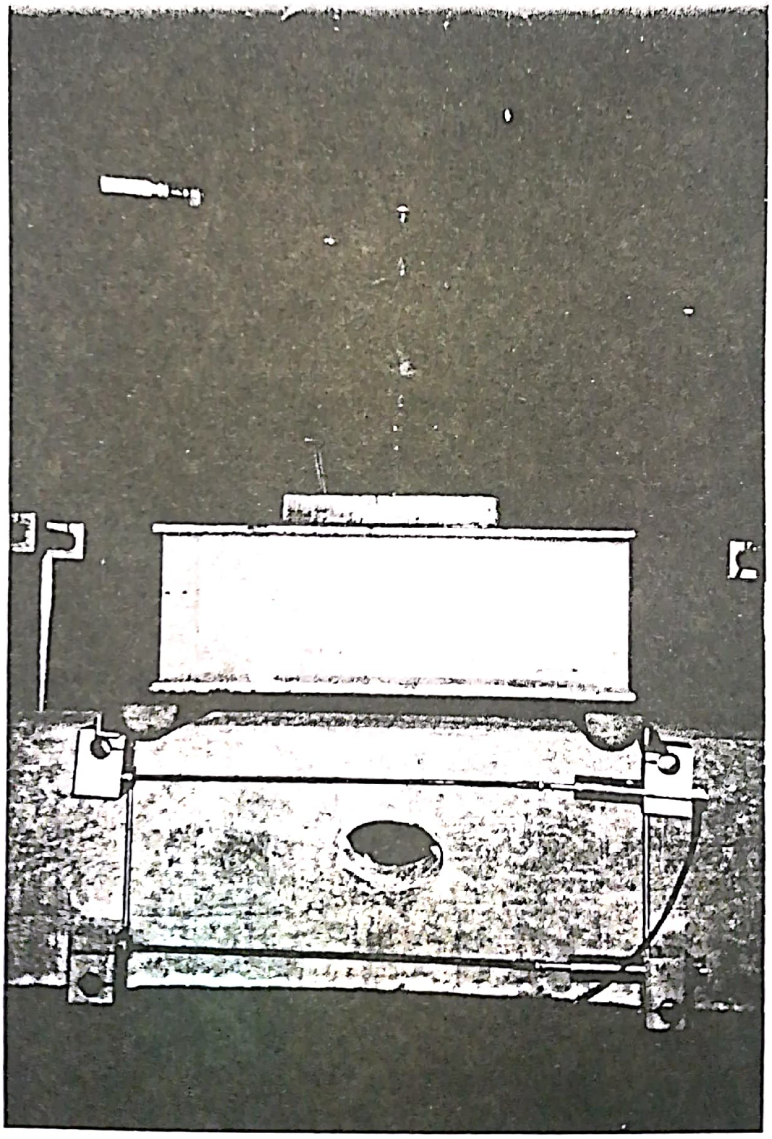
1. أربعة جوائز تحوي فتحات دائرية في ربع ووسط الفتحة.
2. أربعة جوائز تحوي فتحات مربعة في ربع ووسط الفتحة.
3. أربعة جوائز تحوي فتحات مستطيلة في ربع ووسط الفتحة.
4. أربعة جوائز تحوي فتحات معينة في ربع ووسط الفتحة.
5. أربعة جوائز تحوي فتحات قطع ناقصه في ربع ووسط الفتحة.
6. جائزين لا يحويان على فتحات من اجل المقارنة.

تم إجراء التجارب مع سرعة تحميل ثابتة ومساوية لـ 150 dan في الدقيقة بوساطة جهاز تحميل تجريبي متطور جداً (ستاتيكي + ديناميكي) كما هو مبين على الشكل 7، وعملنا على مراقبة تطور وتقدم جبهة التضررات المبينة للعينة المجردة (التشققات المرئية).

قياس الأسهم في وسط الجائز وفي ربعه وكذلك الإنحناء تم بوساطة نظام خاص لقياس التشوهات (Strain Gages, Lvot) (9, 10, 11).

لقد قمنا بإجراء مقارنة بين صلابات وأسهم وقدرات التحميل للجوائز الحاوية على فتحات وتلك المصمتة غير الحاوية على فتحات، وكذلك حددنا مناطق التضرر (تقدم وتطور التشققات) لكافة الجوائز وفق مراحل التحميل الخمسة التالية:

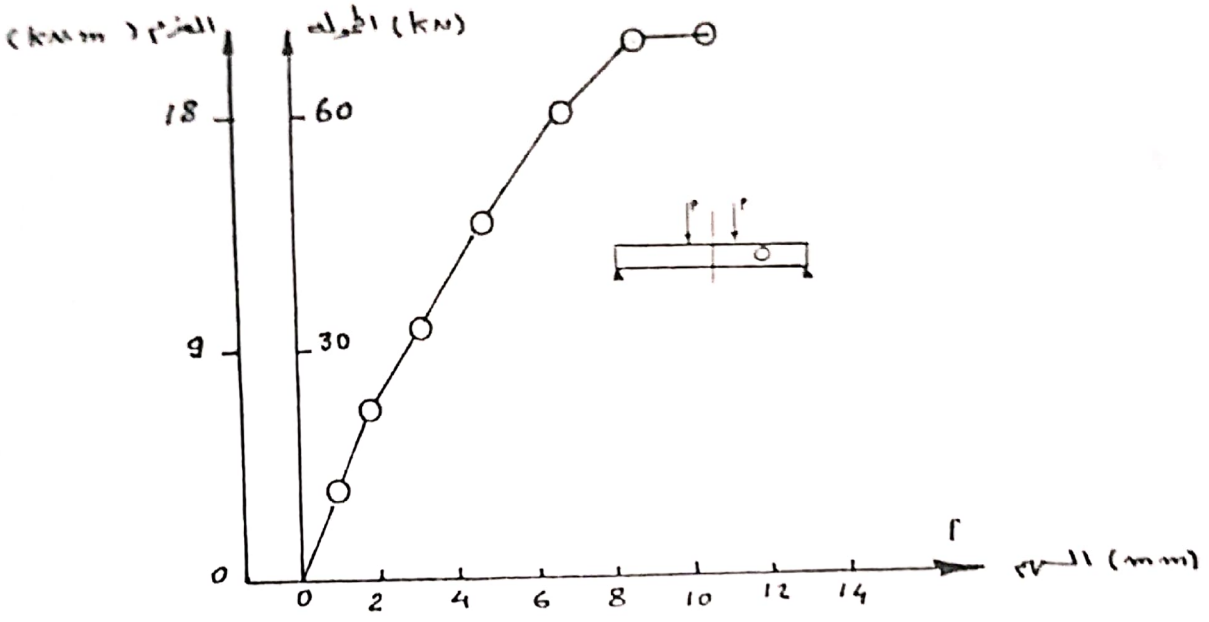
مرحلة أولى:	0-30 KN
مرحلة ثانية:	30-45 KN
مرحلة ثالثة:	45-65 KN
مرحلة رابعة:	65-80 KN
مرحلة خامسة:	إنهيار -85



شكل (7): الجائز المجرّب مع تبيان أجهزة قياس التشوهات الأفقية والشاقولية.

هذه القيمة بدقة لكافة الجوائز الحرية ويمكننا التلاحظ بسهولة أثر وجود الفتحات على هذه الخاصية.

الجدول التالي (2) يبين درجة التخفيض في قدرة التحمل هذه التي يسببها وجود الفتحات.



شكل (9): العلاقة بين عزم الانعطاف والسهم (M,f).

شكل الفتحة المقطع العرضي للفتحة	(٪) النسبة المئوية هبوط قدرة التحمل	
	ربع الفتحة	وسط الفتحة
لا يوجد (جائز مصمت)	0	0
دائرة	-4	-6
قطع ناقص	-9	-10
مستطيل	-17	-11
مربع	-11	-17
معين	-26	-16

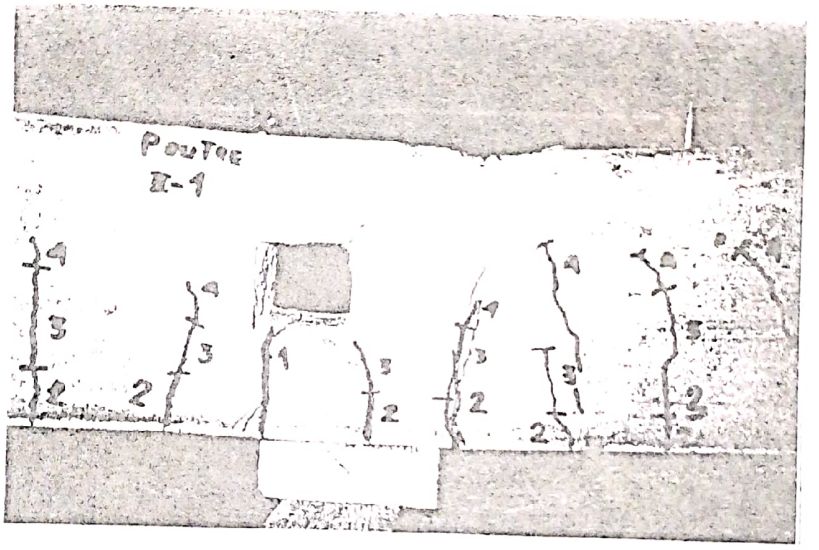
جدول (2): درجة التخفيض في قدرة تحمل الجائز الحاوي على فتحات.

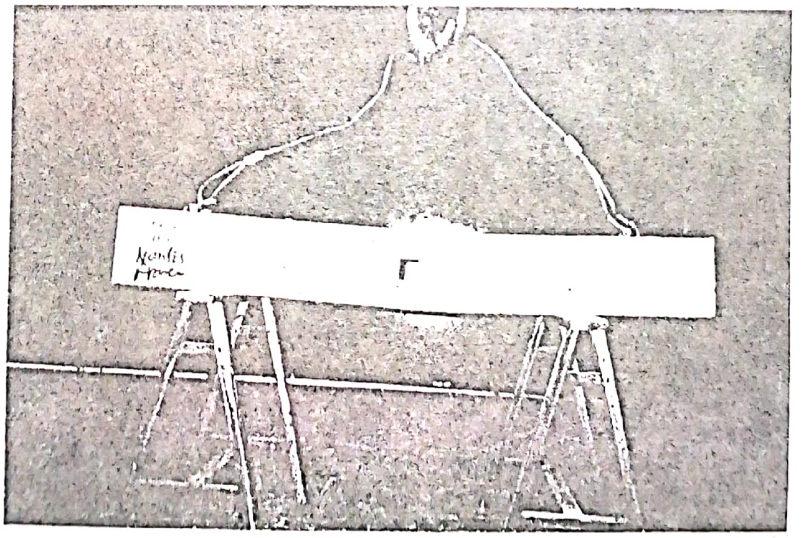
4- آلية انهيار الجوائز – تطور جبهة التشققات:

إن أحد أهداف بحثنا هو العمل على تحديد آلية انهيار الجوائز من خلال مراقبة تطور التشققات من لحظة البدء بالتجربة مروراً بمراحل التحريب المذكورة سابقاً حتى لحظة انهيار الجائز.

الشكل (10) يوضح التشققات وفق مراحل التحميل المختلفة حيث تمكن من تحديد ماهية التشققات والانهيار:

- جوائز ذوي فتحات في الوسط: يتم الانهيار عن طريق الانعطاف.
- جوائز ذوي فتحات في الربع: يتم الانهيار عن طريق القص القطري والتشققات عند نقاط التقاء حواف الفتحة المربعة أو المستطيلة أو بشكل خاص المعينة.





شكل (10): آلية التشققات والانهيار في الجوائز بعد التحميل.

أخيراً قمنا برسم المناطق المتضررة الناجمة عن تطور جبهات الشقوق الجوائز المجربة كافة وفقاً لمراحل التجريب المختلفة (الشكل 1).

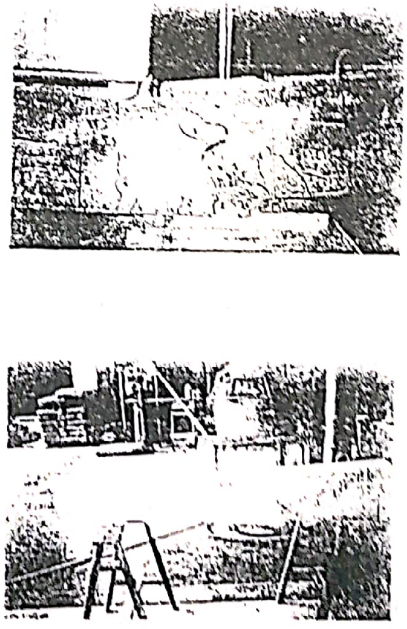
النتائج – اقتراحات:

بشكل عام يمكن أن نفرض بأن الجوائز البيتوني المسلح الحاوي على فتحات صغيرة يعمل كجائز شبكي إذا تحققت السماكة الأصغرية المطلوبة للجذوع البيتونية المضغوطة، والتي ترتبط بشكل مباشر بقيمة الجهدالقاطع وعرض المقطع وإجهاد البيتون المسموح على الضغط البسيط.

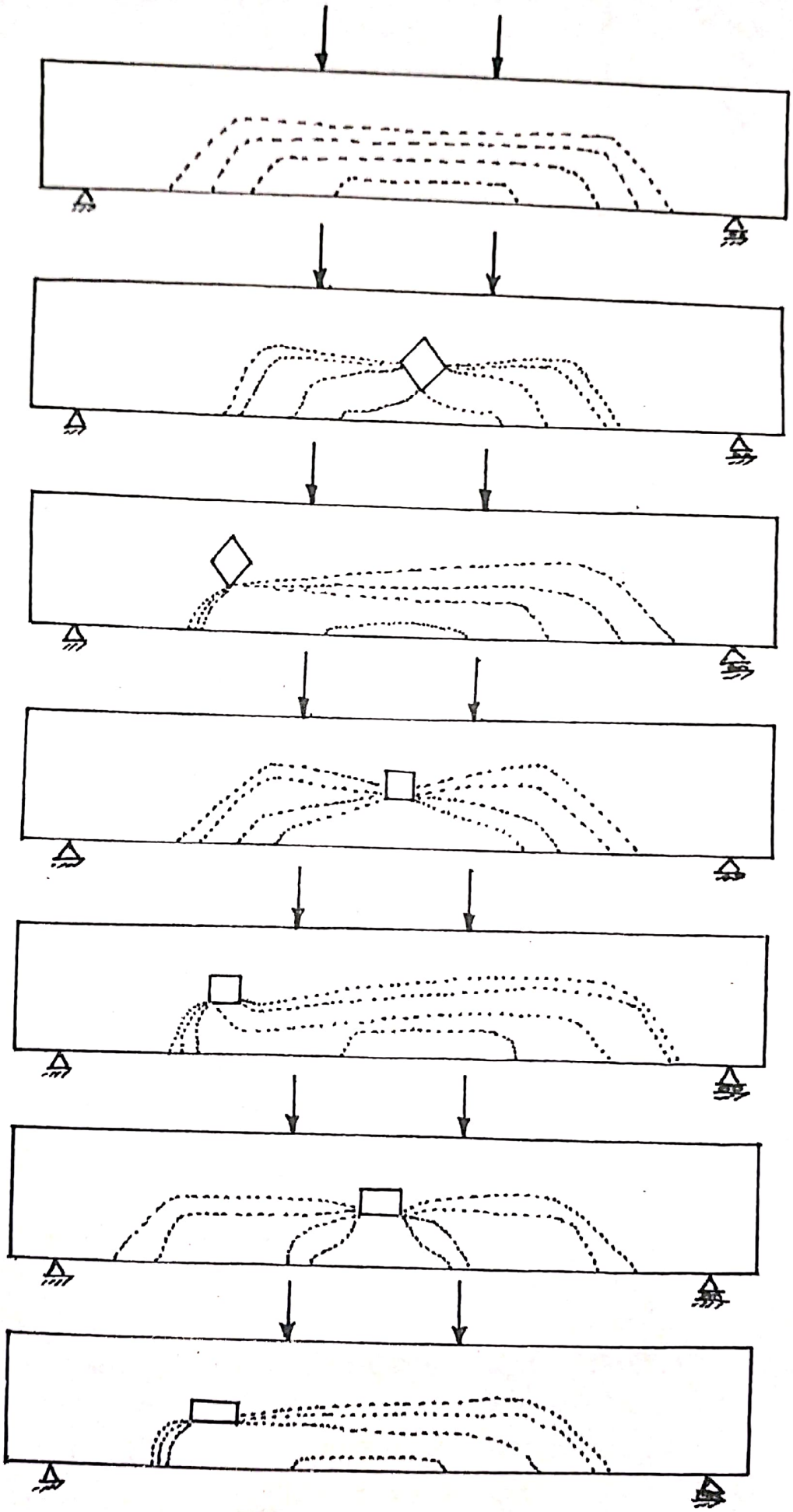
من خلال ما تقدم عرضه حول تأثير الفتحات على سلوك الجوائز البيتونية المسلحة يمكن أن نستخلص النتائج الهامة التالية:

- إن توضع الفتحات في منتصف الجائز أقل ضرراً في حالة التحميل المتعبة في دراستنا (غياب الجهد القاطع).
- الفتحات الصغيرة المتوضعة بشكل مناسب في الجوائز تخفض قليلاً قدرة تحملها القصوى، مع وجود سلوك مشابه للجوائز المصمتة.
- الجوائز الحاوية على فتحات دائرية وقطوع ناقصة تملك نمط تشققات قريباً جداً من تلك الخاصة بالجوائز المصمتة بدون فتحات ولها تقريباً قدرة التحمل نفسها.
- الفتحات المنحنية (دائرة – قطع ناقص) تسلك سلوكاً أفضل من تلك التي تملك المحيط منكسر (مستطيل – مربع – معين) إزاء التشققات.
- يعتبر المعين أسوأ فتحة حيث الجائز الذي يحويه لا يتحمل إلا حمولة معادلة لـ(75%-85%) مقارنة ببقية الجوائز الحاوية على الأشكال الأخرى للفتحات.

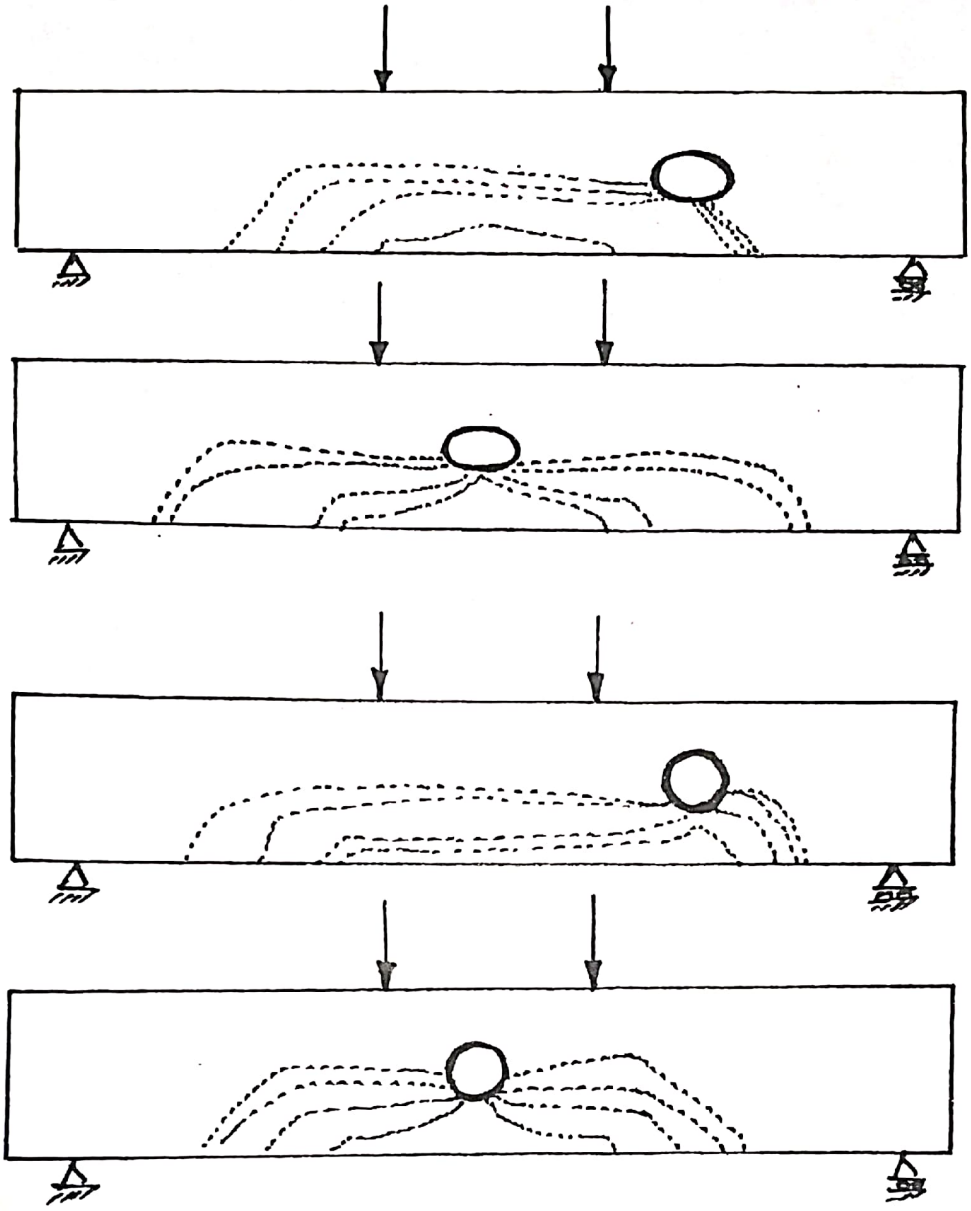
أخيراً نلاحظ بأن الفتحات الدائرية والقطعية الناقصة هي الأفضل، ولكن لأسباب عملية بحتة حتى لا تتراكم الأسلاك والأنابيب فوق بعضها البعض نستخدم الأقل تضرراً من السابقة وهي الفتحات المستطيلة، ويجب أن نتحاشى استخدام الفتحات المعينة الشكل.



شكل 10 : آلية التشققات والإنهيار في الجوائز بعد التحميل .



شكل (11): تطور مناطق التضرر وفق مراحل التحميل المختلفة.



شكل (11): تطور مناطق التضرر وفق مراحل التحميل المختلفة.

في نهاية بحثنا هذا أذكر بأنني اقترحت برنامجاً علمياً آخر ليكون تكملة لما جاء في هذا البحث، ويتمثل العمل المقترح بإجراء سلسلة من التجارب على الجوائز البيتونية المسلحة بألياف فولاذية معدنية بنسب حجمية مختلفة وحاوية على فتحات غير مسلحة عند حوافها وجوائز أخرى تكون فيها الفتحات مسلحة عند محيطها بتسليح خاص، ومن ثم مقارنة النتائج مع النتائج المعروفة في دراستنا السابقة، محاولين إيجاد نمذجة نظرية لسلوك الجوائز ومقارنتها مع السلوك والمعطيات التجريبية.

❒ Resumé ❒

Cette étude contribue à la compréhension du comportement d'une poutre en béton armé ayant des réservations (petits tours) en différentes positions et formes.

Les trous effectués dans les poutres ont la même section afin de réaliser une comparaison et de déterminer l'influence de la forme de ces trous sur le comportement des poutres.

Les poutres et les éprouvettes sont entreposées en chamber humide (température contrôlée) jusqu'au jour d'essai.

Nous avons analysé les resultats d'essais, et déterminé la capacité portante de chaque poutre et son mode de rupture.

enfin, nous mettons en évidence les trous qui ont les meilleures formes de réservation à adapter.

REFERENCES

1. Nasser, W. Karime, A. Caralos & H.P. Daniel, "Behaviour and Design of Large Openings in Reinforced Concrete Beams", ACI Journal, Proceedings v.64, No.1, Jan. 1967, pp.25-33.
2. Segner & P.J. Edmand, Reinforcement Requirements for Gerder Web Opening", Proceeding, ASCE, v.90, ST3, June 1964, pp.147-164.
3. S. Somsak & S. Handivararme, Members ASCE, "Fiber Reinforced Concrete Deep Beams with Openings", J. Struct. Eng., vol. 111, No.8, 1985.
4. S.P. Ray & C.S. Reddy, "Strength of Reinforced Concrete Deep Beams with and without Openings in the Web", The Indian Concrete Journal, vol.53, number 9, Sep. 1979.
5. B.P. Richard & R. Lopes, "Cyclically Loaded Concrete Beams with Web Openings", ACI Journal, Sep.-Oct. 1986, title No.83-69.
6. Régles B.A.E.L.83, Juillet 1985, EDITION EYROLLES 1985.
7. G. DREUX, "Nouveau Guide du Béton", EDITION EYROLLES 1985.
8. P. Rebut, "Guide Pratique de la Vibration des Bétons", EDITION EYROLLES.
9. J. Lamirault, "Contribution à l'étude du Comportement des Ossatures en Béton Armé sous Sollicitations Normales, Simulation par Analyse Non-Linéaire Globlae", Thése de Docteur-Ingénieur, 1984, ENSM, Nantes, France.
10. B. Al Sulayfani, "Contribution à l'étude du Compartement des Ossatures en Béton Armé sous Sollicitations Cycliques par Analyse Non-Linéaire Globale", Thése de Doctorat, 1986. ENSM, Nantes, France.
11. J. Avril, "Encyclopedie Vichy d'Analyse des Contraintes", VICHAY-MICROMESURES, Malakoff, France.