مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (28) العدد (2) 2006
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Science Series Vol. (28) No (2) 2006

مساهمة في دراسة سلوك الجوائز الفولاذية الحاوية على فتحات في الجسد

الدكتور غسان شيخ علي*
الدكتور نعمان عيسى**
علي دو***

(قبل للنشر في 2006/10/3)

□ الملخّص □

تتوضع الفتحات في أجساد الجوائز الفولاذية لتسمح بتمرير التجهيزات الفنية للمنشآت الصناعية والمباني، مما يتطلب من المهندس العامل في مجال تصميم المنشآت الفولاذية، معرفة السلوك الإنشائي لهذه الجوائز ومدى تأثير هذه الفتحات في الحد الأقصى للمقاومة وحد الاستثمار، وإيضاح آلية تدعيم مناطق الفتحات عند الضرورة بشكل يلائم المتطلبات الفنية ويؤدي في الوقت نفسه إلى زيادة طاقة تحملها لتعويض النقص الحاصل من جراء وجود الفتحات. إن الهدف الأساسي من البحث هو دراسة سلوك هذه الجوائز، ونظرا" لشمولية البحث واتساعه فقد اقتصر على متحولات محددة كشكل الفتحة وأبعادها مع التركيز على الفتحات الدائرية والمربعة بغية الوصول إلى الحل الأمثل لتوضع هذه الفتحات واقتراح آلية التدعيم المناسبة لها.

وقد توصل الباحث إلى أن إضافة تدعيم يعادل نسبة (45%) من مساحة الجناح تساهم إلى حد كبير بزيادة طاقة التحمل لهذه الجوائز لتقترب من طاقة تحمل الجوائز الأصلية(غير الحاوية على فتحات) كما أن تخفيض الفتحات الدائرية لطاقة التحمل هو أقل بكثير من الفتحات المربعة.

كلمات مفتاحية: الجوائز الفولاذية – فتحات دائرية– فتحات مربعة – طريقة جائز الفيريندل.

* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين اللاذقية – سوريا.
** مدرس في قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين اللاذقية – سوريا.
*** طالب ماجستير في قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين اللاذقية – سوريا.

مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (28) العدد (2) 2006
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Science Series Vol. (28) No (2) 2006

A Contribution to Studying the Behavior of Steel Beams with Web Openings

Dr. Ghassan Sheikh Ali*
Dr. Nouman Essa**
Ali Dow***

(Accepted 3/10/2006)

□ ABSTRACT □

The openings in the webs of steel beams exist in order to allow the passage of technical equipment to industrial structures and buildings. The engineer working in the field of designing steel structures is required to know the structural behavior of these beams and the effect of these openings on the maximum limit and the limit of investment, and illustrate the mechanism of reinforcing the openings when necessary in such a way that meets the technical requirements increase the capacity of their endurance to compensate for the loss resulting from the presence of the openings.

Therefore, the basic goal of this paper is studying the behavior of these beams. Due to the paper being wide-ranging, we have confined it to defining variables such as the opening form and its dimensions along with concentration on the circular and square openings for reaching the optimal solution to the setting of these openings and suggesting the suitable reinforcement mechanism.

The researcher has concluded that adding reinforcement at the rate of 45 % of the flange area contributes to a large extent to the increase of the endurance capacity for these beams in comparison with the free from openings beams, and that reducing the endurance capacity as a result of the circular openings is far less than the Square openings.

Keywords: Steel Beams – circular openings - square openings - Vierendeel Truss Method.

* **Associate Professor, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
** **Assistant Professor, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
*** **Postgraduate Student, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

عند تصميم أي منشأ هنالك معايير أساسية لابد من مراعاتها لتحقق الحل الأمثل نذكر منها:

(الكلفة الاقتصادية – خفة الوزن – سرعة تنفيذ الانشاء – سهولة التنفيذ – مطابقته لشروط الاستثمار)

ولهذه الأسباب وغيرها نجد التنوع والتطور المستمر في استخدام أصناف وأشكال متعددة من مواد البناء والمنتجات المصنعة. وهنالك مسائل أخرى يجب مراعاتها عند وضع الدراسة الإنشائية والمعمارية للبناء، على سبيل المثال:

(التمديدات الكهربائية – التمديدات الصحية – تمديدات التدفئة والتكييف – المداخن – تجهيزات البناء الداخلية.....)، هذا وبغية الحفاظ على الشكل الداخلي والخارجي للمنشأ وتأمين السلامة الفنية لهذه التجهيزات تم اقتراح تأمين تمريرها داخل أجساد الجوائز الفولاذية وهذا يستدعي تشكيل فتحات في هذه الأجساد مما يؤثر في السلوك الإنشائي لهذه الجوائز ومن هنا أتت فكرة البحث.

أهمية البحث وأهدافه:

يستخدم هذا النوع من الجوائز الحاوية على فتحات بشكل واسع في المباني والمنشآت الصناعية ويمتاز عن الجوائز الأخرى بالميزات الآتية:

1- تسهيل مرور تمديدات التدفئة والتكييف والصرف الصحي والمداخن وتمديدات الغاز والكهرباء وخاصة في الأبنية العامة والأبراج وبالتالي تسمح بالمحافظة على الشكل الهندسي والترتيب الجمالي في طوابق البناء.

2- التقليل من الارتفاع الكلي لسقف الطابق وذلك بتمرير التمديدات ضمن أجساد الجوائز.

3- التوفير في وزن وأبعاد الأنابيب وذلك باختصار أطوالها وأوزانها نتيجة التقليل من الطول الفعلي لهذه الأنابيب.

4-تأمين استناد الأنابيب الدائرية أو المستطيلة المستخدمة لنقل السوائل والغازات.

5- يؤدي وجود الفتحات في الجوائز الفولاذية إلى تخفيض وزنها وبالتالي التوفير في المادة الفولاذية وتخفيف الكتلة الإجمالية للبناء. وبغية الاستغلال الأمثل لهذه الأنواع من الجوائز لابد من دراسة سلوكها نظريا" وتجريبيا" ومقارنة مدى تطابقهما.

إن الهدف الأساسي من البحث هو دراسة سلوك هذه الجوائز(السهوم – المقاومة القصوى – التدعيم)، ونظرا" لشمولية البحث واتساعه فقد اقتصر على متحولات محددة كشكل الفتحة وأبعادها مع التركيز على الفتحات الدائرية والمربعة بغية الوصول إلى الحل الأمثل لتوضع هذه الفتحات واقتراح آلية التدعيم المناسبة لها.

طريقة البحث:

تشير دراسة الأبحاث في هذا المجال [1] [2] [3]، إلى أن المتغيرات الرئيسية المؤثرة على سلوك الجوائز الحاوية على فتحات هي:

1- شكل الفتحة opening shape.

2- قياس الفتحة opening size.

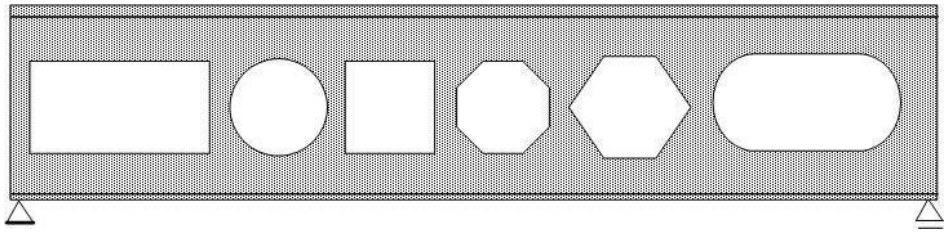
3- عدد وموقع الفتحات Number and location of openings.

4- حالة التحميل Loading condition.

5- مقدار قوى القص وتوزعها The amount and detail of shear force.

6- التدعيم العرضاني الإضافي حول الفتحة Horizontal reinforcement around the opening.

7- لا مركزية الفتحة Eccentricity of opening.



الشكل رقم(1) بعض أشكال الفتحات التي ربما تتوضع في جائز فولاذي يستند استناد بسيط ومعرض الى حمولات شاقولية

ولقد بذلت جهود عديدة لتطوير طرق بسيطة لتحليل هذا النوع من الجوائز وذلك انطلاقاً من الأسس النظرية لمقاومة المواد وميكانيك الإنشاءات ونذكر منها:

1-طريقة الإطار الصلب. Rigid Frame

2-طريقة التحليل المبسطة. Simplified Analyze Method

3-طريقة جائز الفيريندل. Vierendeel Truss Method

4-التحليل بطريقة العناصر المنتهية. Finite Element Analyses

3- 1 طريقة الإطار الصلب:

تعتبر طريقة الإطار الصلب[4] من أبسط هذه الطرق وتستخدم ضمن المجال المرن للتحميل، حيث تعتبر الأجزاء المحيطة بالفتحة بمثابة إطار صلب في مستوي الجائز موثوق كلياً في الأجزاء المصمتة منه.وتطبق عليه القوى وردود الأفعال التي يخضع لها الجائز في هذه المنطقة. ويميز في الطريقة بين حالتين:

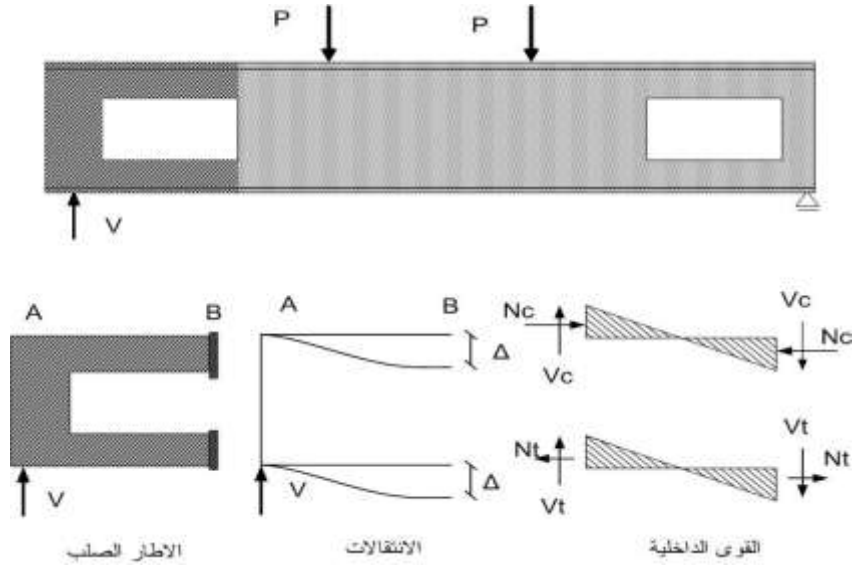
الحالة الأولى:

عندما توجد على جوانب الفتحات الطرفية أجزاء مصمتة ذات كتل كبيرة نسبياً يمكن اعتبار عطالة العنصر الشاقولي من الإطار لامتناهية.

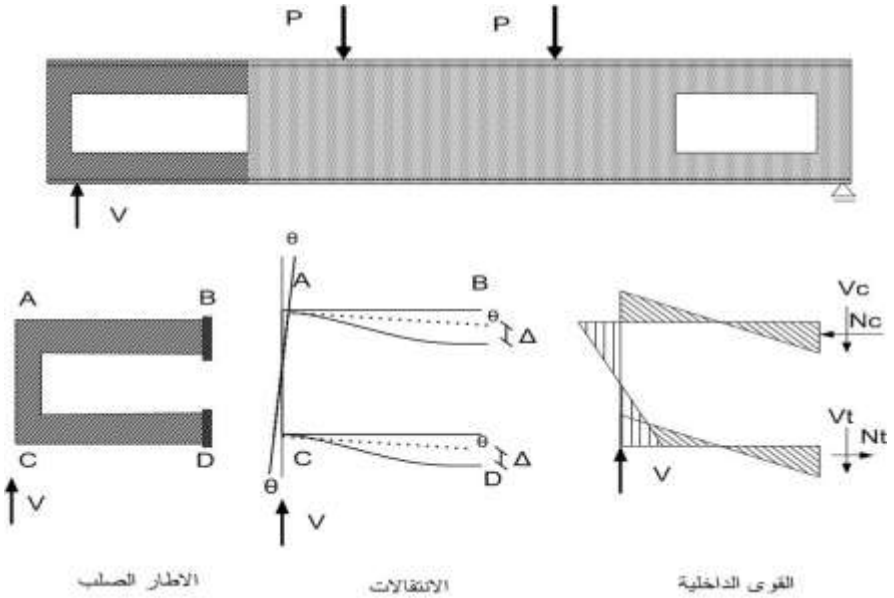
واعتبار كلاً من الأجزاء العلوية والسفلية المحيطة بالفتحة موثوقة كلياً عند النهايات وبالتالي فالتشوهات الحاصلة هي انتقالات فقط بدون دورانات كما هو مبين بالشكل رقم (2).

الحالة الثانية:

عندما تكون الأجزاء المصمتة بين المسند و الفتحات ذات كتل صغيرة نسبياً، فمن الممكن في هذه الحالة أن يؤخذ بالحسبان دوران زوايا الفتحات عند تحليل الإطار الصلب، وتكون المسألة في معظم الأحيان غير مقررة استاتيكياً، وذلك طبقاً لعدد الفتحات كما هو مبين في الشكل رقم (3).هذا ويتم حل الإطار بإحدى طرق التحليل الإنشائي كطريقة الطاقة وطريقة (الميل- السهم).



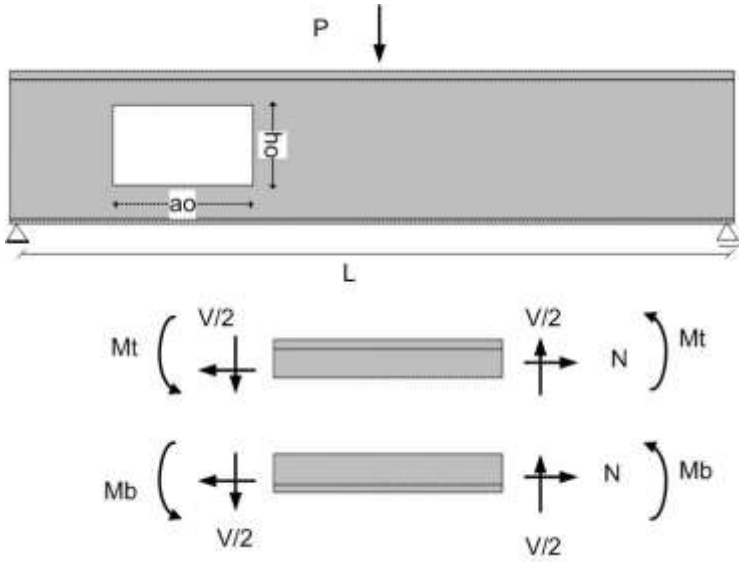
الشكل رقم(2) الحالة الأولى لطريقة الإطار الصلب في حالة الجوائز الحاوية على فتحات ومعرضة الى حمولات شاقولية



الشكل رقم(3) الحالة الثانية لطريقة الإطار الصلب في حالة الجوائز الحاوية على فتحات ومعرضة الى حمولات شاقولية

3-2 طريقة التحليل المبسطة:

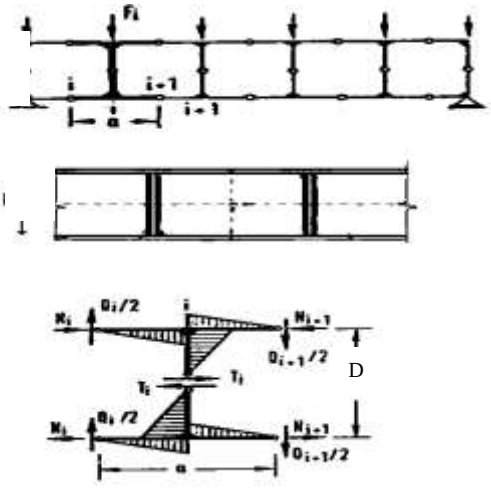
تعتمد هذه الطريقة [5]على تقسيم مقطع الجائز المار بالفتحة إلى قسمين بشكل (T) علوية و سفلية، وتفترض أن كلا المقطعين سيتحملان كامل القوى المطبقة على الجائز في منطقة التفريغ.أي أن المقطع المفرغ يصبح عبارة عن مقطعين سفلي وعلوي و تعتمد مقاومة المقطع الكلي على مقاومة مقطعي الـ(T) تحت تأثير حمولة القص و الحمولة الناظمية و العزوم المحلية الناتجة عن تطبيق القوى الخارجية. الشكل رقم(4) يبين جائزاً فولاذياً حاوياً على فتحة وتوزع القوى حسب طريقة التحليل.



الشكل رقم(4) توزع القوى المؤثرة في موقع الفتحة

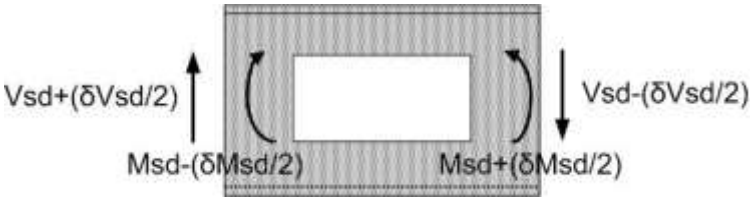
3-3 طريقة جائز الفيريندل:

تخفض الفتحة المتوضعة في منطقة القص من جائز فولاذي المنطقة الفعالة لمقاومة القوى المطبقة[6]، مما يؤدي إلى إعادة توزع قوى القص على المساحة المتبقية، وغالباً ما يولد ذلك إجهادات قص كبيرة و غير مقبولة. كما تسبب قوى القص هذه عزوم انعطاف ثانوية على الأجزاء المحيطة في الفتحات وهذا يؤدي بدوره إلى اجهادات ناظمية إضافية في تلك الأجزاء.ولقد وجد معظم الباحثين أن ذلك الجزء من الجائز حول الفتحة يسلك سلوكاً مشابهاً لجائز فيريندل. والشكل رقم(5) يبين طريقة توزع القوى حسب التحليل باستخدام هذه الطريقة.



الشكل رقم(5) طريقة توزع القوى حسب طريقة (جائز فيريندل)

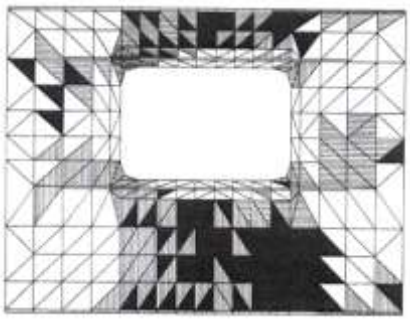
وتعتمد طريقة جائز فيريندل المقطع المفرغ الكلي في التحليل، وبالتالي فان مقاومة المقطع من الجائز الفولاذي الحاوي على فتحة يعتمد على مقاومة المقطع الكلي المحيط بالفتحة في تحمل قوى القص و القوى المحورية و عزوم الانعطاف المحلية الناتجة عن القوى المطبقة الخارجية كما هو مبين في الشكل رقم(6).



الشكل رقم(6) طريقة توزع القوى حسب طريقة (جائز فيريندل) لفتحة مستطيلة

3-4 طريقة العناصر المنتهية في تحليل الجوائز الفولاذية ذات الفتحات:

تعتمد هذه الطريقة بشكل كلي على البرامج الهندسية[2] المستخدمة في تحليل وحساب العناصر الإنشائية، حيث تتم نمذجة الجائز وإعطاؤه الموديل الهندسي المتوافق مع توضع الفتحة وأبعادها، ومن ثم القيام بتقطيع الجائز إلى عناصر محدودة ثلاثية أو رباعية مع تنعيم(تكثيف) التقطيع في الأماكن المحيطة بالفتحة.



الشكل رقم(7) يبين تقطيع العنصر بطريقة العناصر المنتهية

3-5 طرق التصميم للجوائز الفولاذية الحاوية على فتحات:

تتضمن طرق التصميم المقترحة من أجل حساب المقاومة القصوى للجوائز الفولاذية الحاوية على فتحات معادلات تجريبية بالاستناد إلى نظريتي المرونة و اللدونة. انطلاقاً من ذلك ووفقاً لطرق التحليل المذكورة سابقا" يمكن اعتماد طريقة جائز فيريندل في تصميم الجوائز الفولاذية الحاوية على فتحات وذلك لسهولة استخدامها في التطبيقات العملية.

3-6 طريقة جائز الفيريندل في تصميم الجوائز الفولاذية الحاوية على فتحات:

بينت البحوث التجريبية السابقة [6] أن الميكانيزم الذي يتشكل نتيجة حدوث أربعة مفاصل لدنة على حروف الفتحة (ميكانيزم فيريندل) يمثل دائماً الحد الحرج في الجوائز الفولاذية الحاوية على فتحات.

حيث أن عمق فتحة الجسد هو الذي يحدد الانهيار بالقص أو بالانعطاف بينما يحكم طول الفتحة تشكل الميكانيزم الذي يعتمد على مقاومة القص المحلي والعزم المحلي لكلٍ من مقطعي الـT أعلى وأسفل الفتحة.

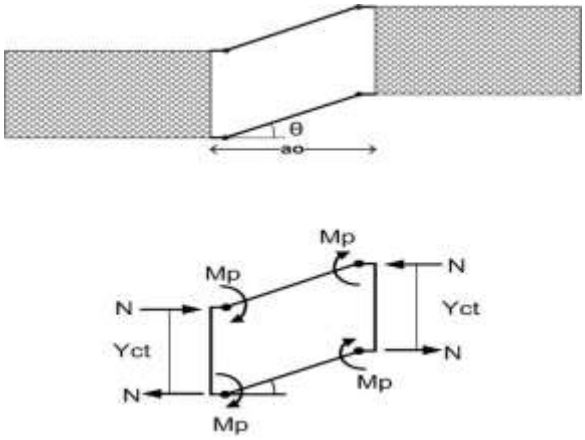
وبالتالي حدد الباحثون طرق الانهيار الثلاث التالية للجائز الحاوي على فتحات في الجسد:

1- الانهيار بالقص الناتج عن الانخفاض في مقاومة القص.

2- الانهيار بالانعطاف الناتج عن الانخفاض في مقاومة العزم.

3- ميكانيزم فيريندل والناتج عن تشكل أربعة مفاصل لدنة تحت تأثير فعل فيريندل الناتج عن انتقال قوى القص عبر فتحة الجسد.

لقد عولجت مسألة وجود فتحة مستطيلة الشكل في جسد جائز فولاذي نموذجي وتمت دراسة تأثير القوى الناظمية (المحورية) وقوى القص، فضلاً عن العزوم المؤثرة على كلا المقطعين T أسفل وأعلى الفتحة بالاعتماد على أن المقطع الكامل الحاوي على فتحة هو المقطع الحدي الذي يعتبر بالتصميم لمقاومة قوى الشد والقص والعزوم الموضعية. يمكن أن يؤدي فعل فيريندل إلى تشكل أربعة مفاصل لدنة في مناطق حرجة من المقاطع T تحت تأثير N القوة الناظمية و V القوة القاصة و M عزم الانعطاف كما يبين الشكل رقم (8).



الشكل رقم (8) رسم يبين تشكل أربعة مفاصل لدنة

وعندما يكون المقطع العرضي للجائز خاضعا" لقوى قاصة وعزم انعطاف كبير فان تأثير القوى الناظمية يعتبر ذو تأثير صغير بالنسبة إلى تراكب قوى القص والانعطاف وبالتالي يمكن إيجاد المقاومة الفعلية على القص والانعطاف للمقطع العرضي الحاوي على فتحة مستطيلة غير مدعمة وبلامركزية معدومة وفق المعادلات الآتية (4) (5):

$$M_{P0} = M_p - [F_Y * h_0 * t_w * (h_0) / 4] \quad (1)$$
$$M_p = Z * F_Y \quad (2)$$
$$Z = b_f * t_f * (D - t_f) + (t_w * ((D - (2 * t_f)) \wedge 2)) / 4 \quad (3)$$
$$V_{p0} = 0.577 * F_Y * A_{v0} \quad (4)$$
$$A_{v0} = A_v - (h_0 * t_w) \quad (5)$$
$$A_v = t_w * (D - (2 * t_f) \quad (6)$$

حيث:

M_{P0}:العزم اللدن المقاوم للمقطع المفرغ.

M_p : العزم اللدن المقاوم للمقطع.

V_{p0}: مقاومة القص اللدن الفعلية للمقطع المفرغ.

Z: معامل المقطع اللدن.

A_{v0}: مساحة القص الصافية للمقطع المفرغ.

A_v: مساحة القص الصافية للمقطع غير المفرغ.

D:الارتفاع الكلي للمقطع الفولاذي.

h_0: ارتفاع الفتحة.

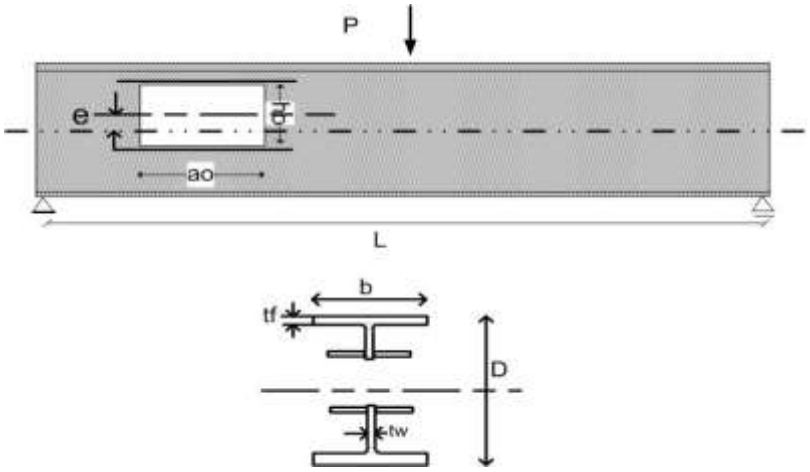
t_w: سماكة جسد المقطع العرضي.

b_f: عرض جناح المقطع العرضي.

t_f: سماكة جناح المقطع العرضي.

F_Y: إجهاد الخضوع.

لقد تم بحث تدعيم الفتحات المستطيلة[5] في الجوائز الفولاذية الحاوية على فتحات، وتأثيرذلك على سلوكها، وعلى زيادة مقاومة العزم و القوى القاصة وتم اقتراح التدعيم الأفقي الموازي لطول الفتحة من الأعلى و الأسفل، وعلى جهتين من المقطع الشكل رقم(9).



الشكل رقم (9) رسم يبين التدعيم المقترح لفتحة الجسد

يمكن وجود التدعيم للفتحة من إيجاد المقاومة الفعلية للقص والانعطاف للمقطع العرضي الحاوي على فتحة مستطيلة ولامركزية معدومة وفق المعادلات الآتية[4] [5] :

$$M_{P0} = M_p - [F_Y * (t_w * (h_0 \wedge 2) / 4 - (2* A_r * h_0))] \qquad (7)$$

$$V_{p0} = 0.577 * F_Y *[Av_0 + 2 * A_r] \qquad (8)$$

حيث: A_r: مساحة قضيب التدعيم.

3-7 نمذجة الجوائز الحاوية على فتحات اعتمادا" على طريقة العناصر المنتهية:

تقودنا دراسة وتحليل الأبحاث المنشورة حول الجوائز الفولاذية الحاوية على فتحات في الجسد والتي اعتمدت طرق التحليل والتصميم المذكورة سابقا" إلى النتائج التالية:

1. هنالك بعض الدراسات التحليلية والتجريبية للجوائز ذات الفتحات المستطيلة في الجسد وهنالك اختلاف بسيط بين السلوك الفعلي والنظري لهذه الجوائز و خلاف في نتائج الدراسات النظرية للباحثين غير ملحوظ وذلك تبعا" للأسس النظرية المستخدمة في تحليل هذا النوع من الجوائز.
2. تم التحليل النظري والحاسوبي للجوائز ذات الفتحات الدائرية الصغيرة(D 0.5 - D 0.3) في الجسد دون إجراء اختبارات عملية عليها.
3. لم تدرس الفتحات الدائرية والمربعة الكبيرة (0.75D - 0.55 D) تجريبيا".
4. تم افتراض صيغ تقريبية لحساب الانتقال للجوائز المفرغة بفتحات مستطيلة دون تحديد صيغة رياضية لحسابها أو ربطها بشكل الفتحة وأبعادها.
5. هنالك بعض الاقتراحات النظرية لتدعيم الفتحات المستطيلة دون إجراء التجارب أما الفتحات الدائرية والمربعة فلا يوجد أي اقتراحات مبنية على أسس نظرية أوتجريبية.

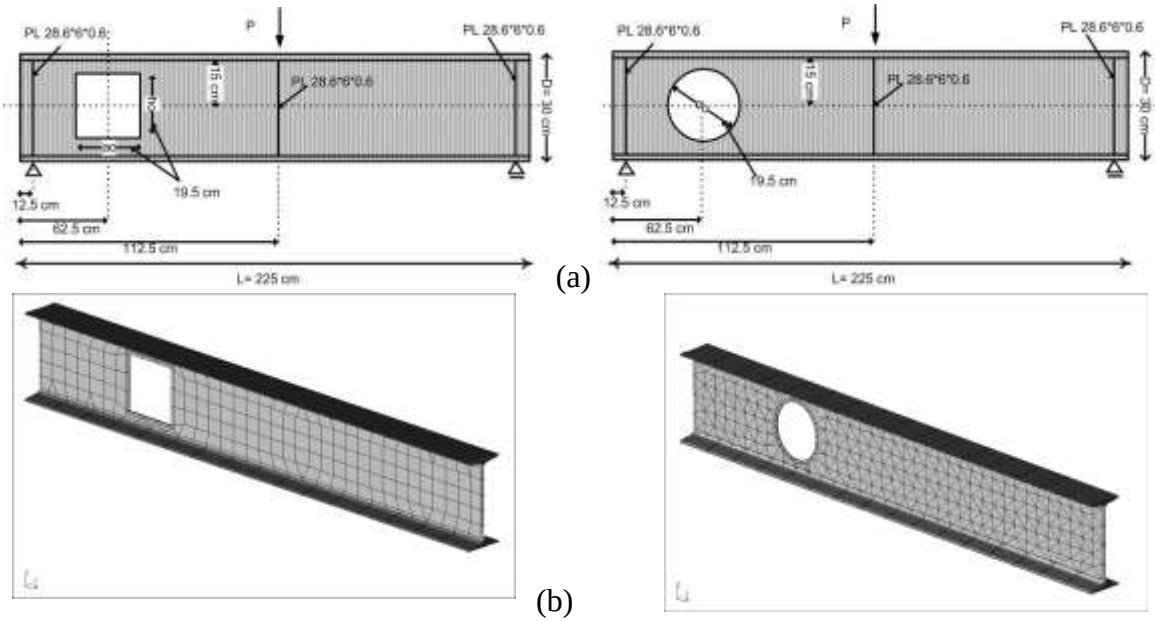
وبغية إيجاد تأثير الفتحات ذات الشكل الدائري والمربع على سلوك جائز فولاذي نموذجي تم نمذجة الجائز بطريقة العناصر المنتهية باستخدام برنامج ROBOT، حيث اخترنا هذه الطريقة في التحليل وذلك لقلةاستخدامها في اطار هذا البحث كما تشير الدراسات المنشورة المتعلقة بهذا البحث. حيث تمت نمذجة الجوائز باستخدام الخاصية SOLID في البرنامج واستخدمت عناصر حجمية ثلاثية ورباعية في التقطيع وفق فرضية ديلانوي في طريقة العناصر المنتهية وقد بلغ عدد العقد (1700) وعدد العناصر الحجمية (875)، حيث رسمت الجوائز بأبعادها الحقيقية وشروط الاستناد الموافقة، كما تم مقارنة نتائج هذه الدراسة مع نتائج الدراسات النظرية.

ونتيجة لذلك قد تم اختيار ثلاثة أنواع من الجوائز الفولاذية مختلفة الأبعاد والسماكات بمجاز (2.25 م)، وتم إحداث فتحات دائرية الشكل بقطر d_o= (0.65 D) وفتحات مربعة ذات طول وعرض $h_o = a_o$ = (0.65 D) على الترتيب حيث توضعت مراكزها في ربع المجاز للجائز المحمل بحمولة مركزة في المنتصف وبسيط الاستناد.

هذا ويوضح الجدول رقم (1) خصائص الجوائز الفولاذية والفتحات، و يبين الشكل رقم (10) بارامترات الدراسة على الحاسب. ومن ثم تم نمذجة تدعيم عرضاني من جهتي المقطع الفولاذي في أعلى وأسفل الفتحات كما هو موضح بالجدول رقم(2) والشكل رقم (11).

الجدول رقم (1) خصائص الجوائز الفولاذية والفتحات

نوع الجائز	D	t_w	b_f	t_f	F_y	المجاز	قطر الفتحة الدائرية	أبعاد الفتحة المربعة
	mm	mm	mm	mm	$Kg\backslash cm^2$	Cm	mm	mm
I 300	300	6.5	135	213.	3443.5	252	195	195*195
IPE 300	300	7.1	150	10.7	3521.5	252	195	195*195
W 12*22	2.631	7.2	102.3	10.7	3521.5	225	203.1	203.1*203.1

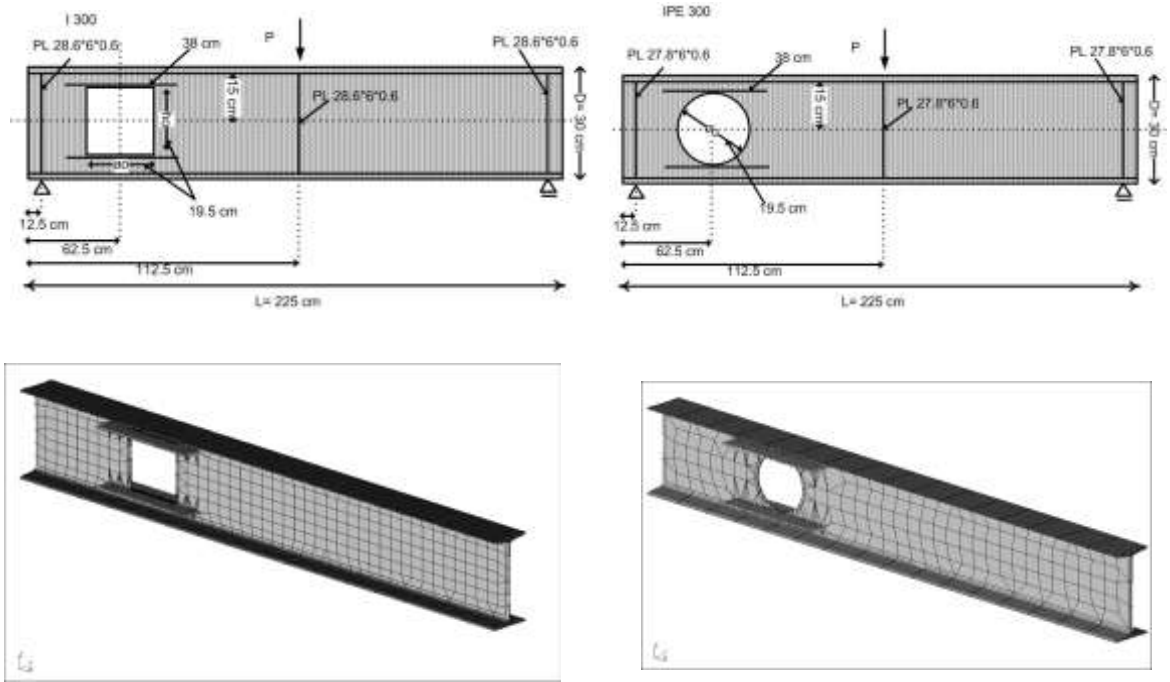


الشكل رقم (10) a. بارامترات التصميم

b . تقطيع الجائز بطريقة العناصر المنتهية

الجدول رقم (2) خصائص صفائح التدعيم للفتحات

نوع التدعيم	L	t_r	b_r	F_y
	طول الصفيحة	سماكة الصفيحة	عرض الصفيحة	
	mm	mm	mm	$Kg\backslash cm^2$
صفيحة تدعيم	380	6	60	3550



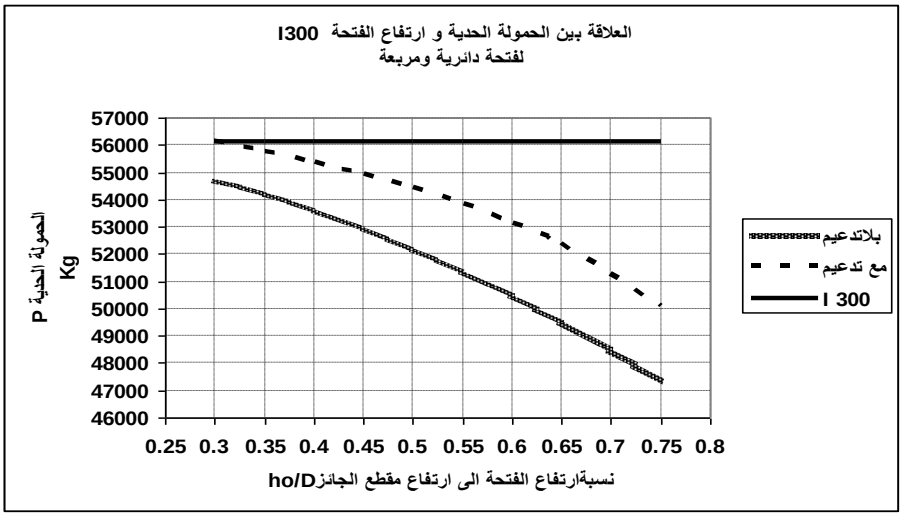
الشكل رقم (11) بارمترات التدعيم للفتحات

النتائج ومناقشتها:

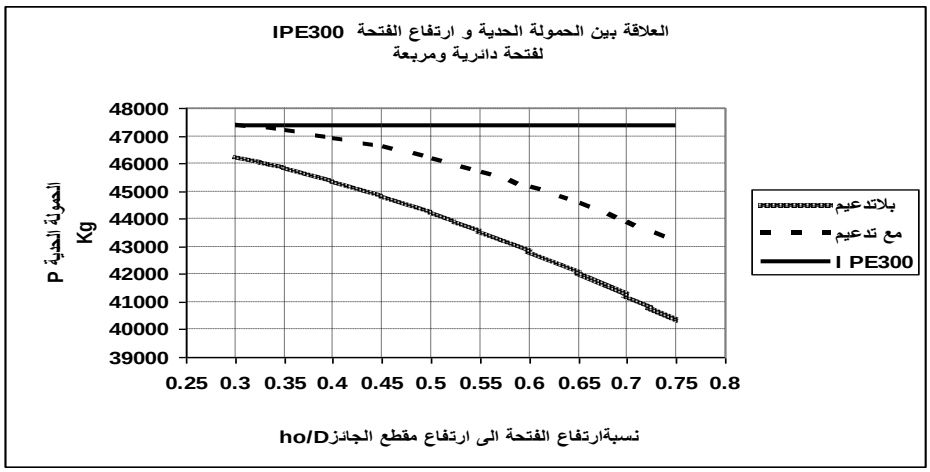
بناء على العلاقات النظرية (1.. ..,8) تم وضع برنامج حاسوبي للتوصل للنتائج الحسابية للجوائز المفرغة المذكورة فيما سبق. ومن أجل تبيان التأثير الفعلي لوجود الفتحات قمنا بمقارنة تلك النتائج مع نتائج النمذجة على الحاسب وفيما يلي نورد بعض المنحنيات التي تم رسمها بعد تحليل ودراسة النماذج السابقة وفق حالات الدراسة.

حيث تبين الأشكال من (12) إلى (20) العلاقة بين النسبة h_o/D =0.65 (ارتفاع الفتحة إلى ارتفاع المقطع الكلي للجائز) ونسبة للتدعيم مساوية إلى 45. من مساحة الجناح والقوة الحدية P لنوعين من الفتحات (دائرية ومربعة).

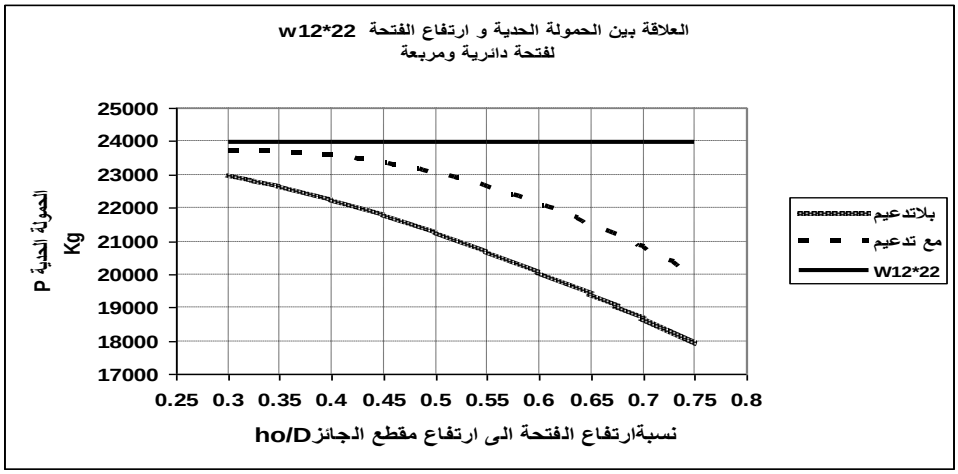
وتمثل الأشكال من (21) إلى (23) العلاقة بين السهم (الانتقال) للجائز والنسبة h_o/D =0.65 وتأثير التدعيم في قيمة السهم لنوعين من الفتحات (دائرية ومربعة).



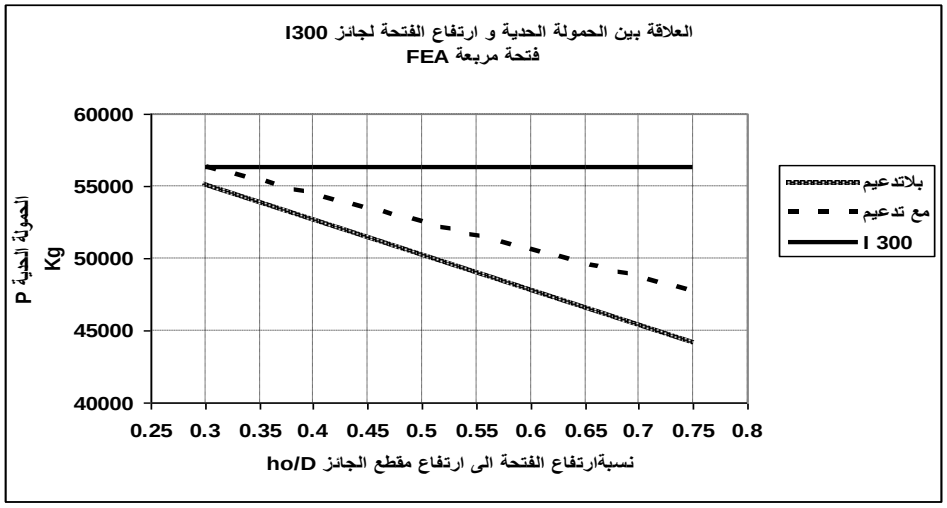
الشكل رقم (12) العلاقة بين الحمولة الحدية و والنسبة h_o/D للجائز I300 (وفق العلاقات من 1الى8)



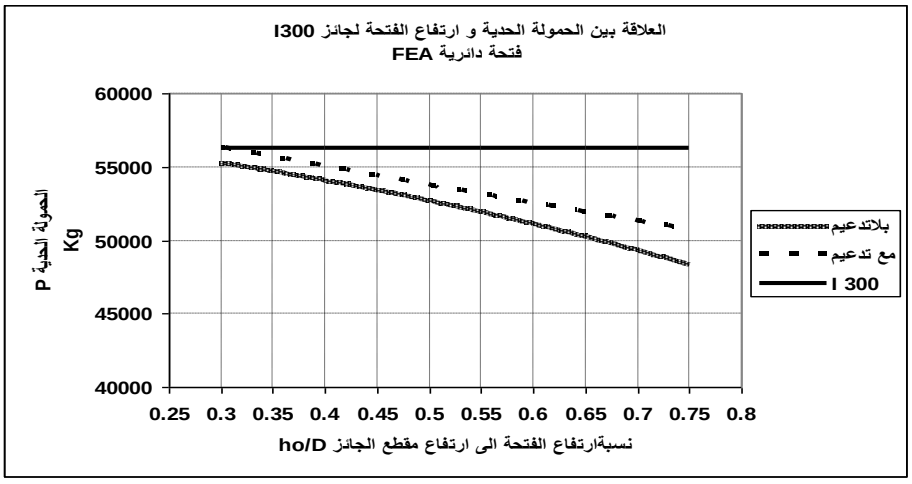
الشكل رقم (13) العلاقة بين الحمولة الحدية والنسبة h_o/D للجائز IPE300 (وفق العلاقات من 1الى8)



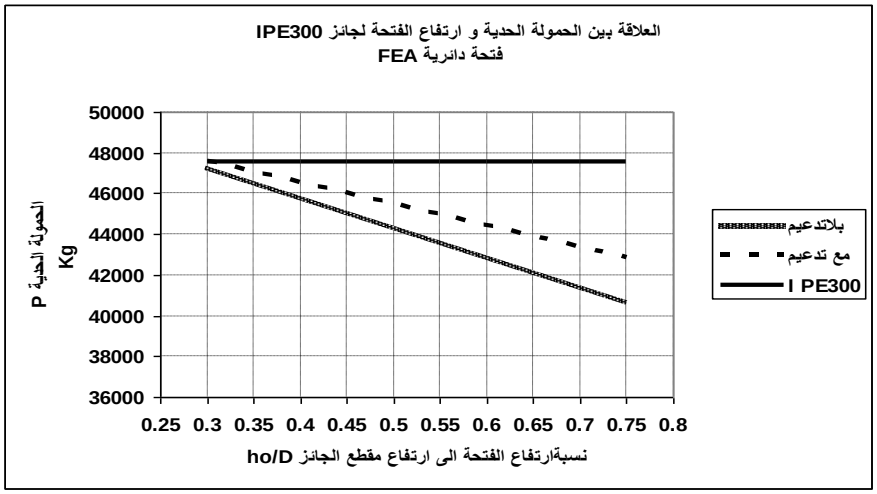
الشكل رقم (14) العلاقة بين الحمولة الحدية والنسبة h_o/D للجائز W12*22 (وفق العلاقات من 1الى8)



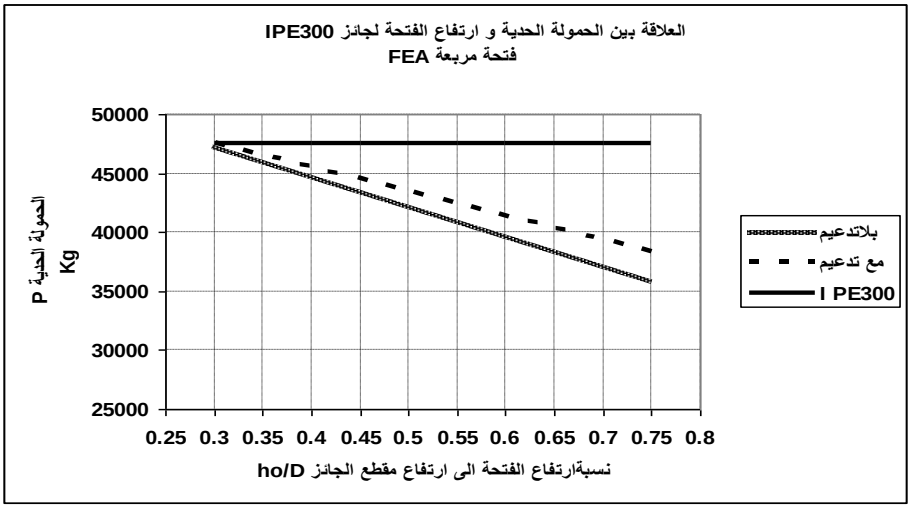
الشكل رقم (15) العلاقة بين الحمولة الحدية والتدعيم (نتائج حاسوبية للجائز I300 فتحة مربعة)



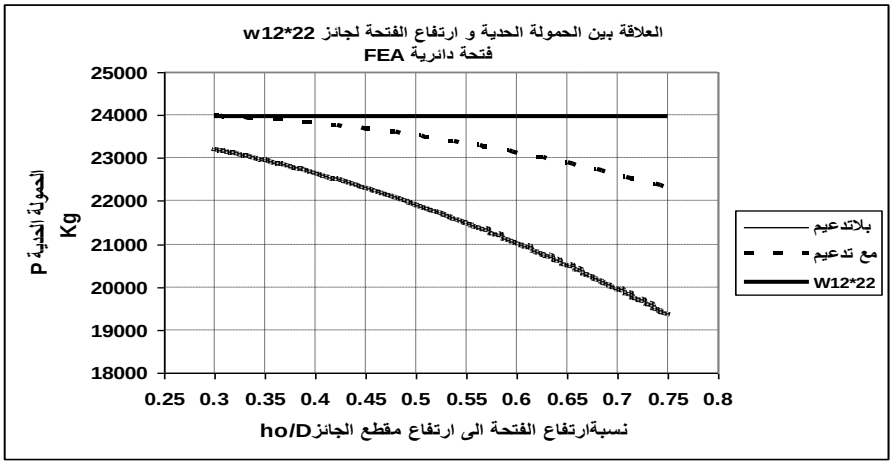
الشكل رقم (16) العلاقة بين الحمولة الحدية والتدعيم (نتائج حاسوبية للجائز I300 فتحة دائرية)



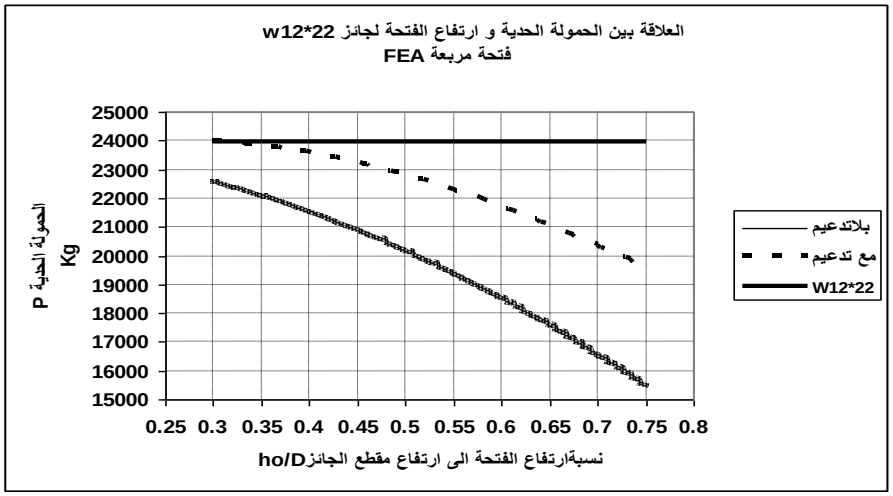
الشكل رقم (17) العلاقة بين الحمولة الحدية والتدعيم (نتائج حاسوبية للجائز IPE300 فتحة دائرية)



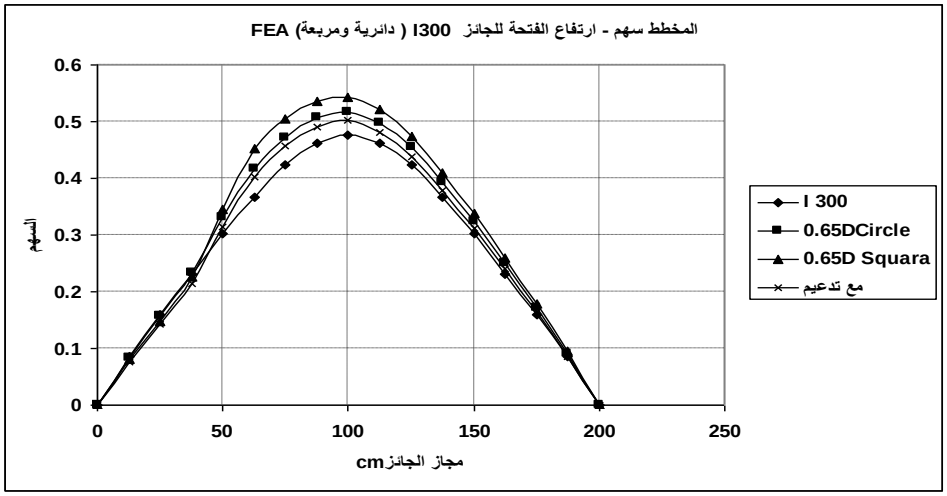
الشكل رقم (18) العلاقة بين الحمولة الحدية والتدعيم (نتائج حاسوبية للجائز IPE300 فتحة مربعة)



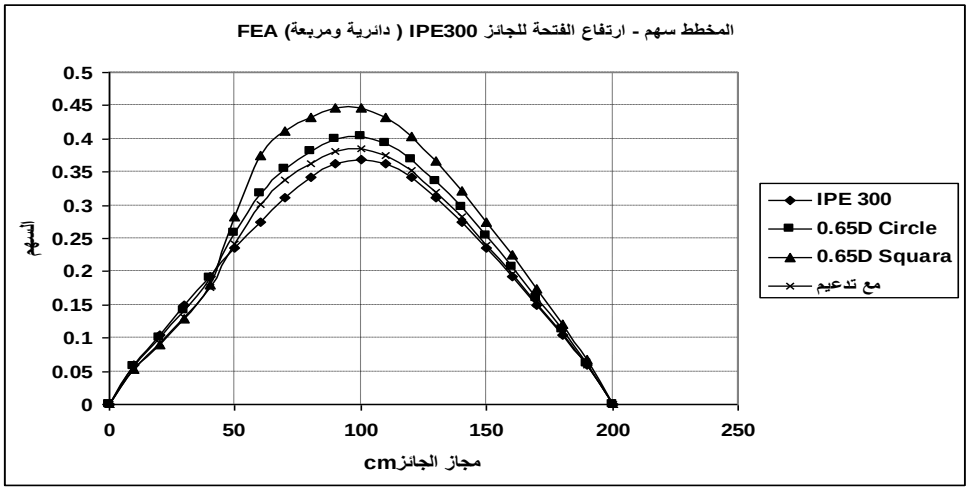
الشكل رقم (19) العلاقة بين الحمولة الحدية والتدعيم (نتائج حاسوبية للجائز W12*22 فتحة دائرية)



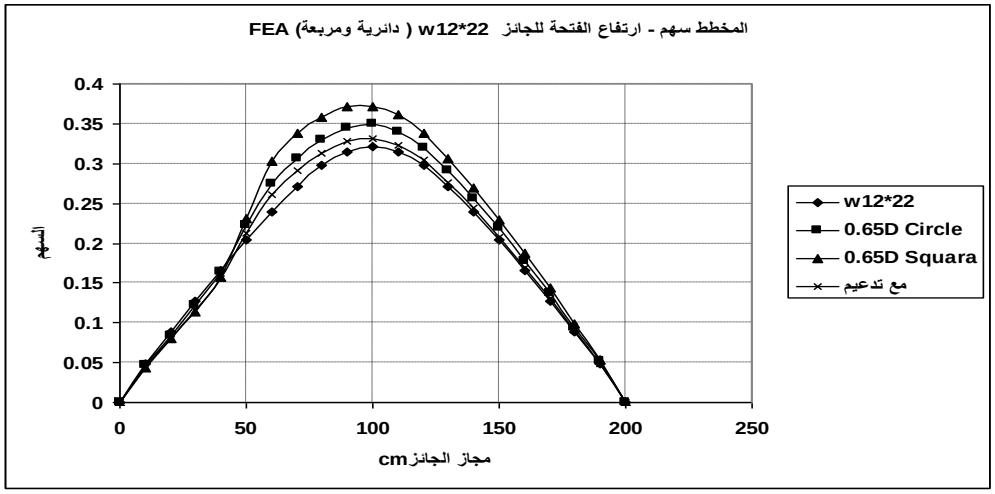
الشكل رقم (20) العلاقة بين الحمولة الحدية والتدعيم (نتائج حاسوبية للجائز W12*22 فتحة مربعة)



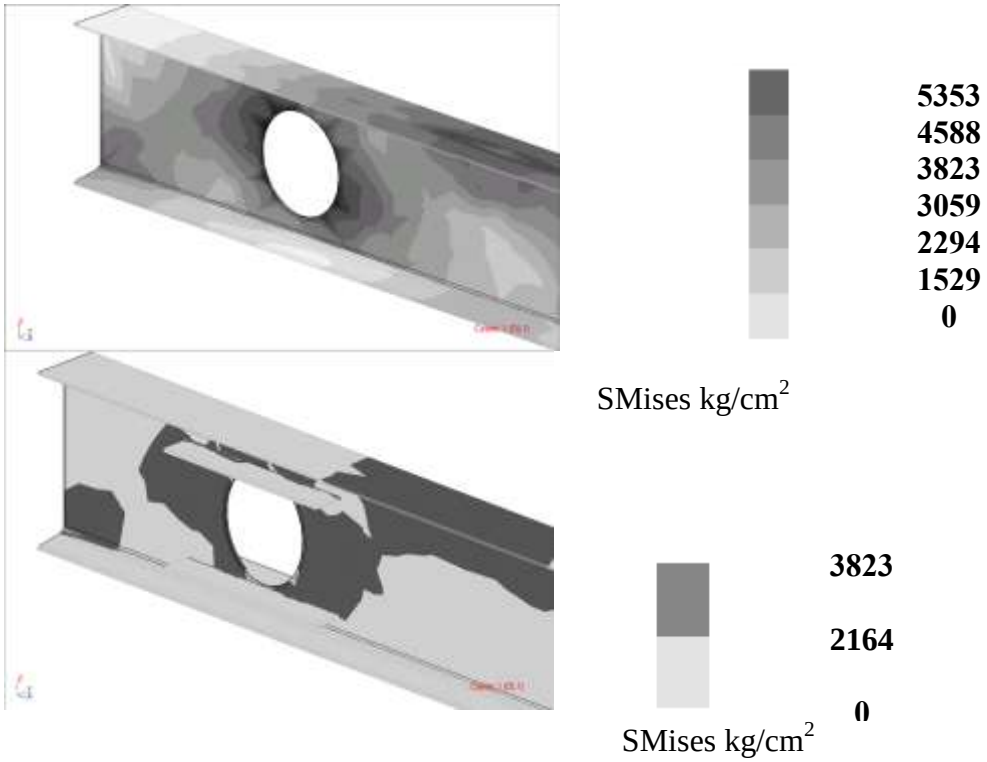
الشكل رقم (21) العلاقة بين السهم والنسبةh_o/D لنوعين من الفتحات (نتائج حاسوبية للجائز I300)



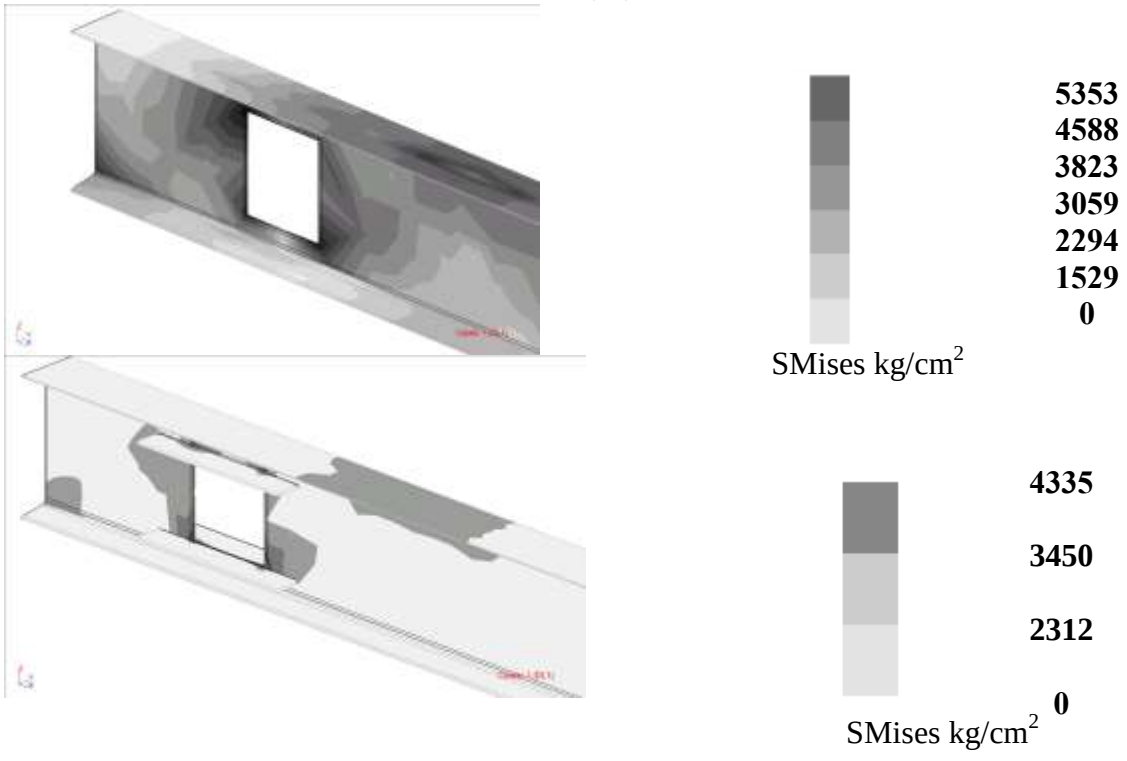
الشكل رقم (22) العلاقة بين السهم والنسبة h_o/D لنوعين من الفتحات (نتائج حاسوبية للجائز IPE300)



الشكل رقم (23) العلاقة بين السهم والنسبة h_o/D لنوعين من الفتحات (نتائج حاسوبية للجائز W12*22)



الشكل رقم (24) يبين تأثير التدعيم الأفقي في تخفيض الاجهادات المحيطة بالفتحة الدائرية



الشكل رقم (25) يبين تأثير التدعيم الأفقي في تخفيض الاجهادات المحيطة بالفتحة المربعة

الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال تحليل المنحنيات السابقة ومقارنتها مع بعضها البعض حصلنا على النتائج الآتية:

1. تنخفض قدرة تحمل الجوائز الحاوية على فتحات مقارنة مع الجوائز المليئة الجسد ويزداد هذا الانخفاض بزيادة نسبة ارتفاع الفتحة إلى ارتفاع الجائز h_o/D.
2. تبدي الجوائز الفولاذية الحاوية على فتحات دائرية كبيرة مقاومة أكثر من تلك الحاوية على فتحات مربعة طول ضلعها يساوي قطر الدائرة المرسومة داخلها بنسبة 10% من قيمة الحمولة الحدية العظمى.
3. يؤثرا لتدعيم العرضاني لأحرف الفتحات بشكل حاسم في زيادة مقاومة الجوائز المفرغة حيث إن نسبة تدعيم مساوية إلى 0.45 من مساحة الجناح ($0.45*A_r$) أسهمت في زيادة قدرة تحمل الجائز لتصل إلى نسبة تتراوح بين 80% إلى 90% من قدرة تحمل الجائز الأصلي دون تفريغ.
4. لم تأخذ الحسابات النظرية المفترضة لحساب هذا النوع من الجوائز بالحسبان الشكل الدائري أو المربع للفتحة وإنما طبقت على الفتحات مستطيلة الشكل، وبنتيجة المقارنة بين نتائج الدراسة النظرية المعتمدة على هذه العلاقات والدراسة الحاسوبية تبين أنه من الممكن استخدام هذه العلاقات للفتحات الدائرية والمربعة بعد إجراء التعديلات الآتية على ارتفاع الفتحة ho:

العلاقات من 1 إلى 6

$d_o = h_o$ للفتحة الدائرية

$h_{os} = 1.3\ h_o$ للفتحة المربعة

العلاقتين7 و 8

$d_o = h_o$ للفتحة الدائرية

$h_{os} = 1.8\ h_o$ للفتحة المربعة

حيث:

d_o: قطر الفتحة الدائرية. h_{os}: ارتفاع الفتحة المربعة. h_o: ارتفاع الفتحة المستطيلة.

5. تبدي الجوائز الفولاذية الحاوية على فتحات دائرية كبيرة انتقالا" أقل من نظيرتها الحاوية على فتحات مربعة.

المراجع:

1 –REDWOOD, R. G.-***Simplified Plastic Analysis for Rectangular Reinforced Web Holes,*** **Engineering Journal**, AISC American Institute of Steel Construction, October. 1971, pp. 128-131.

2 – COOPER, P. B; KNOSTMAN, H. D; SNELL, R. R; FELLOWS.- ***Failure Test on Beams with Eccentric Rectangular Web Openings***, Journal of the Structural Division, American Society of Civil Engineers, V. 103, st9, September. 1977, pp.1731-1738.

3 – MANSOR, M. A; KIANG-HWEE, T. - ***Concrete Beams with Openings Analysis and Design***, 2001, p.220.

4 – CHUNG, K. F; LAWSON, R. M. - ***Simplified Design of Composite Beams with Large Web Openings to Euro code 4***, Journal of Constructional Steel Research, v. 57, 2001, PP. 135-163.

5 – AGLAN, A.A; QAQISH, S.-***Plastic Behavior of Beams with Mid-Depth Rectangular Web Openings***, Engineering Journal, American Institute of Steel Construction, First Quarter. 1982, PP. 20-26.

6 – CHUNG, K. F; LIU, T. C. H; KO, A. C. H. - ***Investigation on Vierendeel Mechanism in Steel Beams with Circular Web Openings***, Journal of Constructional Steel Research, v. 57, 2001, PP.467-490.