

# Concentration and Distribution Stress In a Castellated Beams

**Dr. Eng. IHSSAN TARSHA  
CIVIL ENG.  
AL-BAATH UNIVERSITY**

## Abstract

This paper is presented the solution for concentration and distribution stress in an web beam section opening with hexagonal shape, the top flange beam is subjected to external uniform load . And knowing the size effect circular conflation edge of the hexagonal shape on the concentration stresses.

Solution of this elasticity stress problem can be obtained by numerical model by finite elements method by a structural analysis program "ANSYS" .

Then comparing the resultant and finding the right finite element for researched problem .

*Keywords : Castellated Beam , Concentration stress , finite element .*

# تركيز وتوزيع الإجهادات في الجوائز المشطورة

د.م إحسان الطرشة  
أستاذ بكلية الهندسة المدنية  
في جامعة البصرة

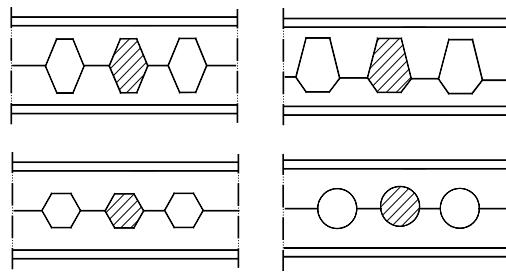
## ملخص البحث :

يتعرض هذا البحث لحساب توزع وتركيز الإجهادات في جسد جائز معدني ذي استناد بسيط مفرغ بأشكال سداسية الأضلاع منتظمة ومحمل بحمولة موزعة بانتظام على جناحه العلوي ، كما يتعرض لتأثير دمج أطراف الأشكال السداسية دائرياً على تركيز الإجهادات ، وذلك ببناء نموذج رياضي باستخدام طريقة العناصر المحدودة ومساعدة برنامج التحليل الإنشائي " ANSYS " .

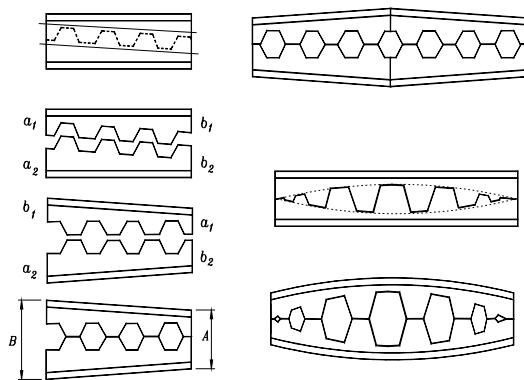
الكلمات المفتاحية : الجوائز المشطورة ، تركيز الإجهادات ، النمذجة .

## المقدمة :

يدعى الجائز ذو الجسد المتقطب بالجائز المشطور Castellated beam ، وهو جائز شُكّل بقطعه طولياً بشكل محدد سلفاً ثم أعيد وصل أو تجميع جزأيه المفصولين بواسطة اللحام وبالتالي يمكن أن يكون مقطع الجائز الذي نحصل عليه أعمق بقدر 50% من العمق الأولي ، أي يزداد بقدر 1,5 مرة ، وبزيادة هذا العمق فإن معامل المقطع المقاوم للعزم يزداد بقدر 2,25 مرة عن معامل المقطع الأصلي للجائز ، لذلك فإن طاقة تحمل المقطع تزداد بشكل واضح وذلك تبعاً لأبعاد وشكل هذه الفتحات والتي نذكر منها الشكل الدائري Cellular أو السداسي المنتظم hexagonal أو غيره ، الشكل (1).



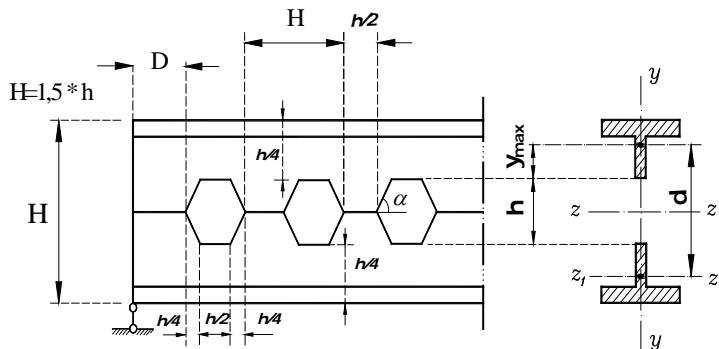
الشكل (1)



ويمكن شطر الجائز الأصلي وفقاً لخطوط قطع مختلفة فإذا كان خطي القطع موازيين للجناحين نحصل على جائز مشطور ثابت العمق ، الشكل (1)، أما إذا كان الخطتين مائلتين، الشكل (2) ، نحصل على جائز مشطور متغير العمق [10].

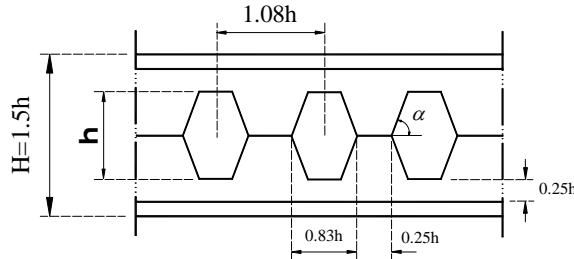
الشكل (2)

يمكن اعتماد النورمات العالمية أو النموذج المعروف باسم Litzka- Schnittführung ، لتحديد أبعاد وزوايا القطع في الجائز المشطور ، الشكل (3) .



الشكل (3)

أو اعتماد الأبعاد المبينة بالشكل (4) والمعروفة بالجوائز المشطورة الأنكلو سكسونية . England, America and Canada والمستخدمة في Anglo-Saxon castellated beams



الشكل (4)

حيث :

$h$  - عمق الجائز الأصلي قبل شطره .

$H$  - عمق الجائز المشطور .

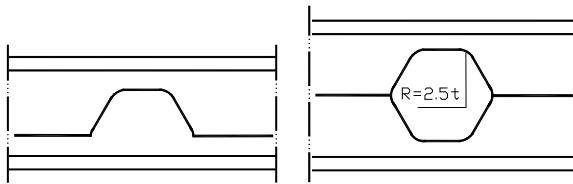
$\frac{H}{h}$  - عمق الجائز المشطور بالنسبة لعمق الجائز الأصلي قبل القطع وتساوي 1,5 .

$\alpha$  - زاوية ميل ضلع المسدس وقيمتها  $63,5^\circ$  أو قيمة صحيحة  $\tan \alpha = 2$  .

**هدف البحث وطريقته :**

للجائز المشطور بعض المساوى أهمها أن طاقته لتحمل القوى القاسية تقل ولكن يمكن التغلب عليها بتقوية الجسد عند نقاط تأثير القوى المركزية وعند المساند . أما السلبية الثانية فهي تركيز الإجهادات في زوايا التقوب والتي تعتبر هدف بحثنا هذا ، والتي لا يمكن تحسسها بشكل واضح في الجوائز المفرغة بفتحات دائرة . " Cellular beam " .

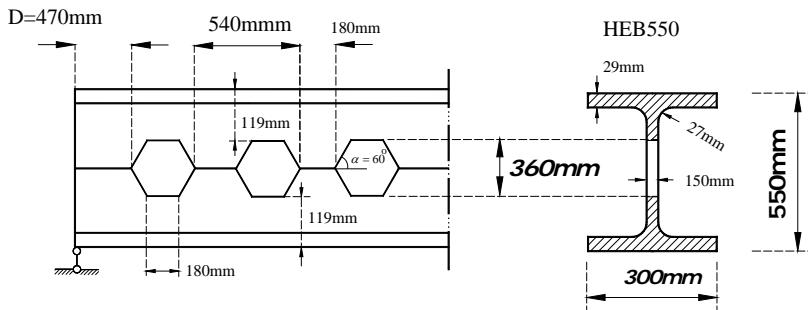
ففي هذا البحث سنعالج مسألة توزع وتركيز الإجهادات في جسد الجائز المشطور الذي تم تفريغه بأشكال سداسية منتظمة ، حالة أولى ، ثم توزع وتركيز الإجهادات لكن بعد إجراء تدوير لحواف التقوب ، حالة ثانية الشكل (5) ، وذلك بعد تحمل الجائز ، في كلا الحالتين ، بحمولة موزعة بانتظام على جناحه العلوي ، أما جناحه السفلي فيستند على مسنددين بسيطين أحدهما ثابت والآخر متحرك .



الشكل (5)

وقد تم حساب الإجهادات في الحالتين باستخدام الحاسوب وباعتماد برنامج التحليل الإنشائي ANSYS ، ومن أجل ذلك تمت نمذجة مسألتنا هذه باستخدام العناصر المحدودة و وفق المراحل التالية :

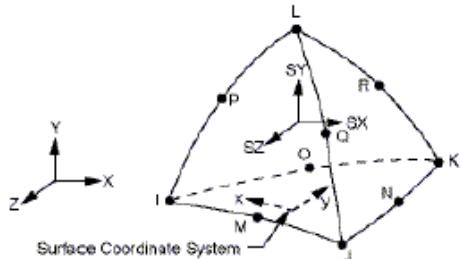
1. مرحلة ما قبل المعالجة " pre-processing " : في هذه المرحلة تم بناء نموذج عددي وتضمنت بشكل أساسى :
- نمذجة الشكل الهندسي للجائز بما في ذلك الفتحات وذلك بإدخال الأبعاد الهندسية المبينة بالشكل (6) :



الشكل (6)

- تعريف الخواص الفيزيائية لمادة الجائز :  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$  ;  $\mu = 0,3$  . والموافقة لفولاذ من النوع . *Gr43* .
- نمذجة الشروط الظرفية حيث اعتبر استناد الجائز مفصلي ثابت من طرف ومفصلي متحرك من الطرف الثاني ، وتم تطبيق حمولة موزعة بانتظام قدرها  $1 \text{ N/mm}^2$  على الجناح العلوي للجائز .
- اختيار نوع العنصر المحدود من مكتبة برنامج ANSYS والتي تحوي عدد كبير منها ، وبعد التدقيق في مكتبة العناصر المحدودة التي يحتويها ودراسة خواص كل

" Tetrahedral Element عنصر فيها ، تم اختيار العنصر المحدود رباعي السطوح " (3D-Solid 92) المبين في الشكل (7) من أجل تحليل مسألتنا .



الشكل (7)

وهذا العنصر مُعرف بعشر عقد لكل منها ثلاثة درجات حرية وفق المحاور  $x$ ;  $y$ ;  $z$  ويمكن استخدامه من أجل دراسة الحالة الإجهادية أو التشوهية الحجمية والزحف والانفاس والتشوهات الكبيرة .

وذلك لمواد موحدة الخواص في كافة الاتجاهات " Isotropic " أو مواد غير موحدة الخواص في كافة الاتجاهات " an-isotropic " . وللتعرف على خواص هذا العنصر بالتفصيل يمكن العودة إلى مكتبة البرنامج [8] .

- توليد الشبكة " Mesh Generation " و اختيار نعمتها وذلك بشكل تفاعلي في البرنامج ، حيث يتم تقسيم الجائز المدروس إلى مجموعة من العناصر المحدودة الموضحة بالشكل (8) .



الشكل (8)

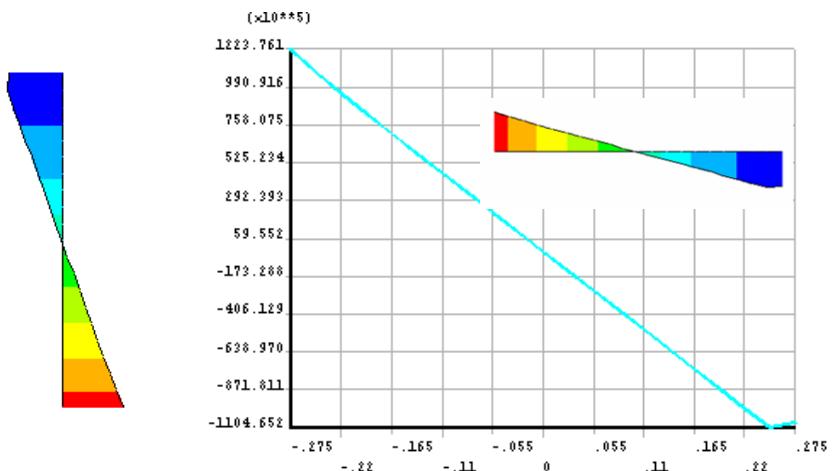
2. مرحلة المعالجة " processing " : في هذه المرحلة يقوم البرنامج بتجمیع المعادلات الجبرية الحاكمة بشكل مصفوی وحلها بتقنياته الخاصة للحصول على قيم المتحوّلات الرئيسية المجهولة .

3. مرحلة ما بعد المعالجة " post-processing " : وهي المرحلة التي يقوم البرنامج فيها باظهار النتائج المختلفة وبطرق عدّة منها البيانية graph أو الهندسية geometry أو الرقمية ، وذلك للجائز المدروس ككل أو وفقاً لمسارات محددة وفقاً لرغبة المستثمر . وللتأكّد من صحة نتائجنا للمسألة المدروسة و اختيارنا للعنصر المحدود ولنوعة الشبكة المختارة والمساند والحمولات المطبقة ، فقد فقمنا بنمذجة الجائز بدون تفريغ و دراسته بواسطة البرنامج وقارنا النتائج بالنتائج التي حصلنا عليها عند دراسة

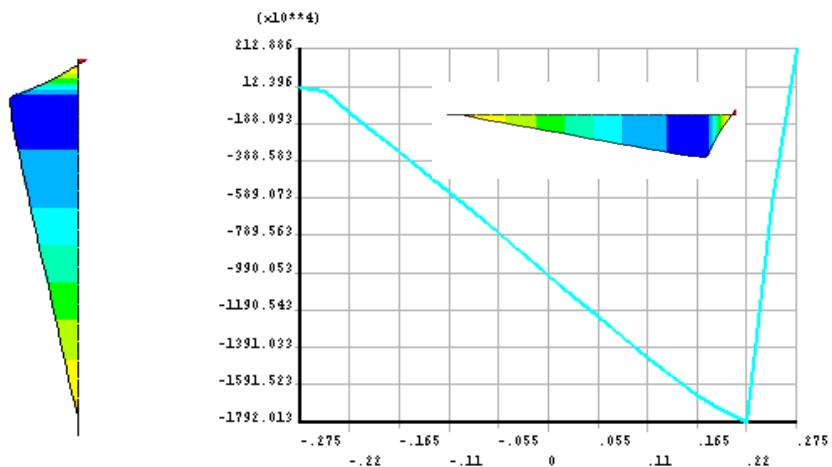
الجائز يدوياً باستخدام علاقات مقاومة المواد ، فكان التطابق مقبولاً في كافة المقاطع " باستثناء القريبة من المساند " حيث يظهر الشكلين (9) و(10) مخطط توزع الإجهادات الناظمية  $\sigma_x$  و  $\sigma_y$  في مقطع عرضي مار من منتصف الجائز .

الجدول (1) :

| إحداثيات النقاط  | $y(mm)$          | -275   | -137.5 | 0       | 137.5  | 275     |
|------------------|------------------|--------|--------|---------|--------|---------|
| من مقاومة المواد |                  | 120.07 | 60.35  | 0.0000  | -60.35 | -120.70 |
| من برنامج ANSYS  | $\sigma_x (Mpa)$ | 121.11 | 58.18  | -0.0323 | -62.21 | -118.99 |



الشكل (9) : المخطط الهندسي والبياني لتوزع الإجهادات  $\sigma_x$



الشكل (10) : المخطط الهندسي والبياني لتوزع الإجهادات  $\sigma_y$

## توزيع الإجهادات في الجائز المشطور ذي الثقوب سداسية الشكل :

إن العلاقات التحليلية لتوزيع الإجهادات في الجائز المشطورة ، الشكلين (3)

و (11) هي :

- الإجهادات الناظمية  $\sigma_x$  ، المقطع 4-4 :

$$\sigma_x = \frac{M_x}{I_z} \cdot y = \frac{M_x}{W_z}$$

• الإجهادات الناظمية ،  $\sigma_x$  المقطع 3-3 : هي عبارة عن مجموع إجهادين

$$\sigma_{1x} = \frac{M_x}{A_T \cdot d}$$

الأول ناتج عن العزم في هذا المقطع وقيمه تساوي :

والثاني ناتج عن العزم الذي تحدثه قوة القص في المقطع 2-2

$$\sigma_x = \sigma_{1x} + \sigma_{2x} = \frac{Q \cdot h \cdot y}{2.4 \cdot I_T}$$

وقيمه تساوي :

حيث :

- مساحة المقطع  $A_T$

- البعد بين مركزي ثقل المقطعين  $T$  .

- عزم عطالة المقطع  $T$  حول المحور  $z_1$  المار من مركز ثقله .

ي - بعد الليف الذي يحسب عنده الإجهاد  $\sigma_{2x}$  عن مركز ثقل المقطع  $T$

• المحور  $(z_1 - z_2)$  .

$$\sigma_x = \frac{M_x}{A_T \cdot d}$$

- الإجهادات الناظمية  $\sigma_x$  ، المقطع 2-2 :

$$\tau_{xy} = \frac{2 \cdot Q_h}{t_w \cdot h}$$

- الإجهادات المماسية  $\tau_{xy}$  ، المقطع 5-5 :

حيث :

$$Q_h = \frac{Q_{1y} \cdot H}{2 \cdot (y_{\max} + h/2)}$$

- قوة القص الأفقية وتساوي :

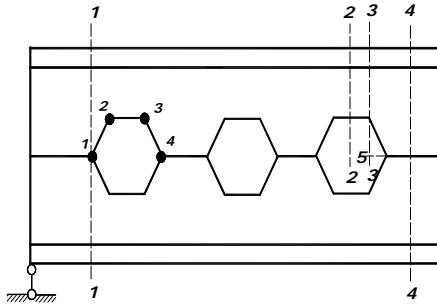
$$Q_{1y} = \frac{Q_y \cdot n \cdot H}{\left( \frac{L}{2} - D \right)}$$

حيث :

$n$  - تمثل عدد الثقوب لنصف الجائز .

$$Q_y = \frac{q \cdot L}{2}$$

ـ قوة القص الأعظمية عند المساند وتساوي :  $Q_y$   
 . طول الجائز .  $L$



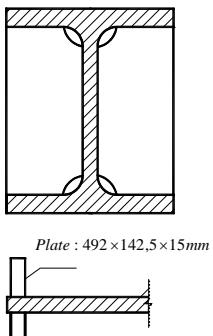
الشكل (11) . وبخواص فيزيائية وأبعاد هندسية مبينة في الشكل (6) .

ونظمت النتائج في الجداول من (2) وحتى (4) ، علماً أن قيمة تلك الإجهادات مقدرة بوحدة الا  $Mpa$  .

ملاحظة :

لقد تم حساب الإجهادات المماسية  $\tau_{xy}$  ولكن قيمها ومحططاتها لم تدرج في سياق البحث .

المخططات الهندسية لتوزيع الإجهادات  $\sigma_x$  و  $\sigma_y$  في المقاطع العرضية المذكورة أعلاه مبينة في الأشكال من (13) وحتى (22) .



الشكل (12)

وبعد التأكد من دقة النمذجة ، النتائج المدرجة في الجدول (1) ، استخدمنا البرنامج ANSYS وتم حساب الإجهادات الناظمية  $\sigma_x$  و  $\sigma_y$  في مقاطع عرضية مختلفة مبينة بالشكل (11) وذلك لجائز مشطور ذي ثقوب سداسية الشكل متساوية

وبخواص فيزيائية وأبعاد هندسية مبينة في الشكل (6) .

وكحالـة خاصة لهذا المثال فقد قمنا بتقوية الجائز المدروس بأربع صفائح تقوية عند طرفي الاستناد أبعاد كل منها

$Plate : 492 \times 142,5 \times 15mm$  ، الشكل (12) ، وذلك بهدف البحث عن تأثير هذه الصفائح على توزيع الإجهادات .

الجدول (2) : قيمة الإجهادات  $\sigma_x$  و  $\sigma_y$

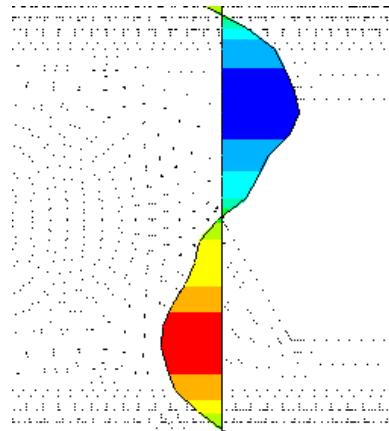
| رقم المقطع | 1-1     | 4-4     |
|------------|---------|---------|
| x(mm)      | 470     | 2000    |
| y(mm)      |         |         |
| $\sigma_x$ | -8,3625 | 138,36  |
| $\sigma_y$ | -2,0755 | 0,1824  |
| $\sigma_x$ | 93,00   | 81,306  |
| $\sigma_y$ | 15,803  | 3,2475  |
| $\sigma_x$ | 121,02  | 32,618  |
| $\sigma_y$ | 43,030  | 0,85564 |
| $\sigma_x$ | 98,635  | 0,2460  |
| $\sigma_y$ | 67,069  | -2,0261 |
| $\sigma_x$ | 55,156  | -13,130 |
| $\sigma_y$ | 84,718  | -9,810  |
| $\sigma_x$ | 8,4512  | -10,199 |
| $\sigma_y$ | 45,092  | -20,995 |
| $\sigma_x$ | 72,022  | 1,0533  |
| $\sigma_y$ | -80,694 | -34,266 |
| $\sigma_x$ | -135,39 | -7,1084 |
| $\sigma_y$ | -67,020 | -37,331 |
| $\sigma_x$ | -144,93 | -38,355 |
| $\sigma_y$ | -51,299 | -33,644 |
| $\sigma_x$ | -107,51 | -86,769 |
| $\sigma_y$ | -27,544 | -27,478 |
| $\sigma_x$ | 31,160  | -120,62 |
| $\sigma_y$ | 4,4569  | 0,50769 |

الجدول (3) : قيمة الإجهادات  $\sigma_x$  و  $\sigma_y$

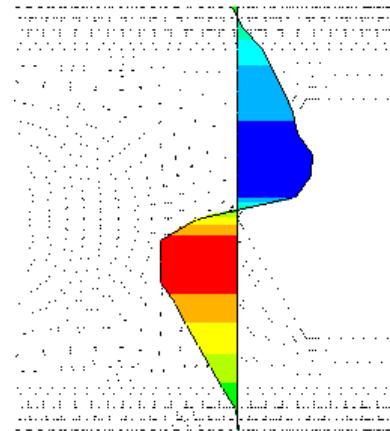
| رقم المقطع | 2-2     | 3-3      |
|------------|---------|----------|
| x(mm)      | 560     | 1730     |
| y(mm)      |         |          |
| $\sigma_x$ | -723,25 | -63,903  |
| $\sigma_y$ | -379,68 | 1,6629   |
| $\sigma_x$ | -338,41 | -73,915  |
| $\sigma_y$ | -205,79 | -0,6639  |
| $\sigma_x$ | -178,46 | -80,590  |
| $\sigma_y$ | -147,94 | -2,2152  |
| $\sigma_x$ | -159,81 | -86,930  |
| $\sigma_y$ | -144,17 | -3,6690  |
| $\sigma_x$ | -143,51 | -93,214  |
| $\sigma_y$ | -129,71 | -5,1067  |
| $\sigma_x$ | -122,86 | -100,3   |
| $\sigma_y$ | -102,09 | -6,6596  |
| $\sigma_x$ | -102,83 | -108,88  |
| $\sigma_y$ | -47,271 | -6,7493  |
| $\sigma_x$ | -73,541 | -113,58  |
| $\sigma_y$ | -29,519 | -4,5508  |
| $\sigma_x$ | -34,830 | -110,23  |
| $\sigma_y$ | -15,642 | -1,5102  |
| $\sigma_x$ | 7,8138  | -110,99  |
| $\sigma_y$ | 0,57508 | 0,96565  |
| $\sigma_x$ | 30,524  | -111,650 |
| $\sigma_y$ | 2,6086  | 2,17660  |

الجدول (4) : قيمة الإجهادات  $\sigma_x$  و  $\sigma_y$  في المقطع 5-5

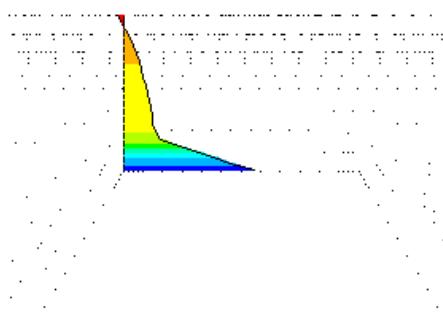
| X(mm)      | 1910    | 1928    | 1946    | 1964    | 1982    | 2000    |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\sigma_x$ | -12,84  | -7,4785 | -7,603  | -8,8057 | -9,5869 | -10,199 |
| $\sigma_y$ | -70,969 | -34,800 | -26,089 | -24,046 | -22,542 | -20,995 |
| X(mm)      | 2018    | 2036    | 2054    | 2072    | 2090    |         |
| $\sigma_x$ | -10,355 | -9,4058 | -8,2146 | -6,9183 | -12,785 |         |
| $\sigma_y$ | -21,940 | -23,238 | -24,731 | -33,336 | -73,190 |         |



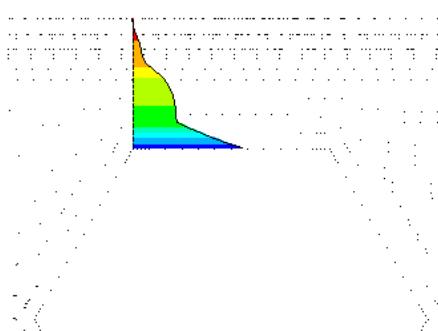
الشكل (14) :  $\sigma_x$  في المقطع 1-1



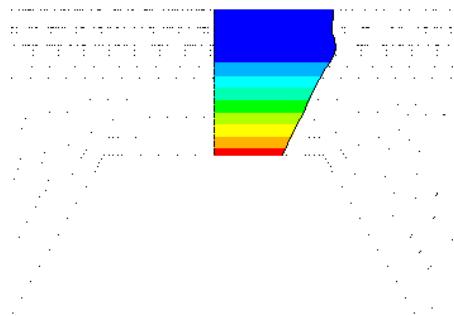
الشكل (13) :  $\sigma_y$  في المقطع 1-1



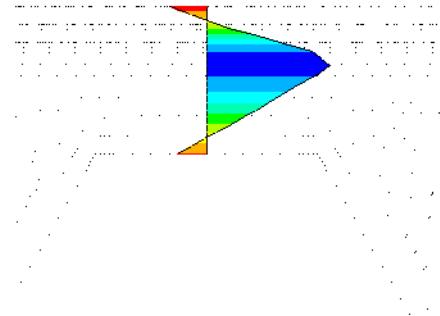
الشكل (16) :  $\sigma_x$  في المقطع 2-2



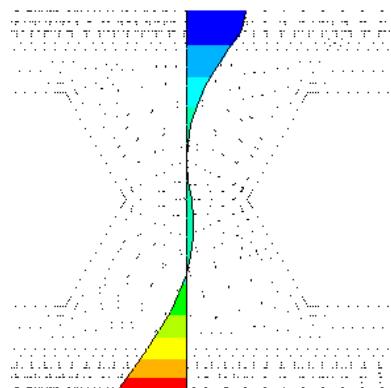
الشكل (15) :  $\sigma_y$  في المقطع 2-2



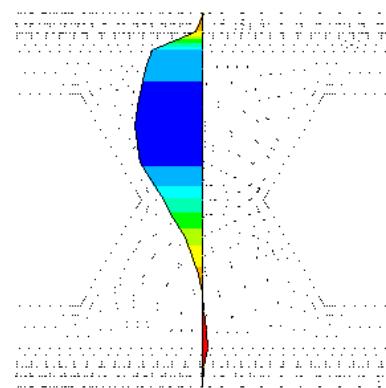
الشكل (18) :  $\sigma_x$  في المقطع 3-3



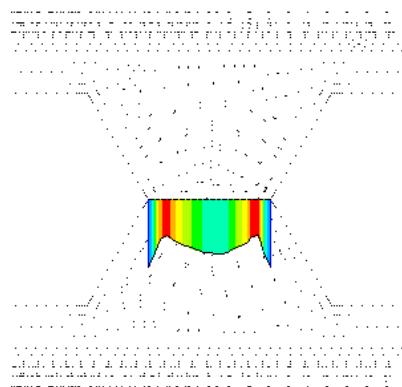
الشكل (17) :  $\sigma_y$  في المقطع 3-3



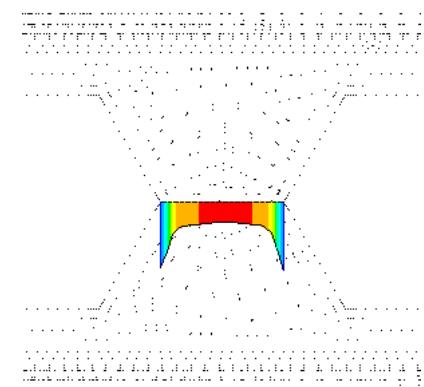
الشكل (20) :  $\sigma_x$  في المقطع 4-4



الشكل (19) :  $\sigma_y$  في المقطع 4-4



الشكل (22) :  $\sigma_x$  في المقطع 5-5



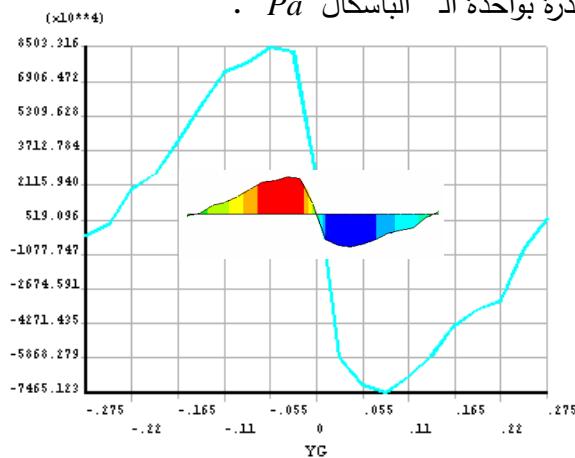
الشكل (21) :  $\sigma_y$  في المقطع 5-5

## توزيع الإجهادات في الجائز المشطور ذي الثقوب سداسية الشكل المدورة :

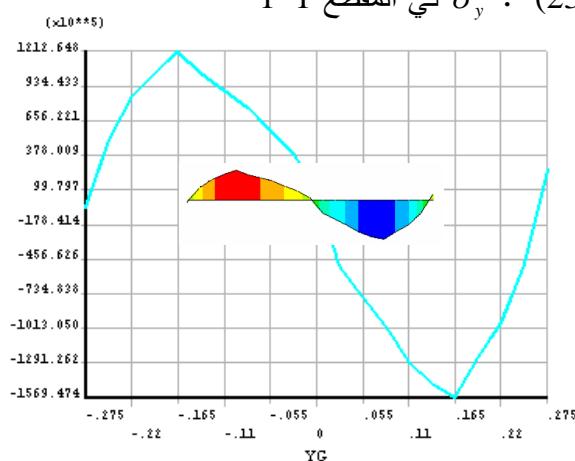
لمعرفة تأثير إلbas زوايا المدس المفرغ بأقواس دائيرية على تركيز الإجهادات فقد تمأخذ المسألة الأولى بكلفة أبعادها الهندسية وحمولاتها المطبقة وشروط استفادتها وتم إجراء تدوير لحواف ثقب المدس وكان نصف قطر التدوير مساوي  $R = 2,5 t_w$  ، حيث أن  $t_w = 15mm$  وهي سمكجة جس الجائز المدرو .

ومن ثم تم حساب الإجهادات الناظمية  $\sigma_x$  و  $\sigma_y$  في نفس المقاطع العرضية التي أخذت في الحالة الأولى ، وتبين الأشكال من (23) وحتى (32) المخططات البيانية

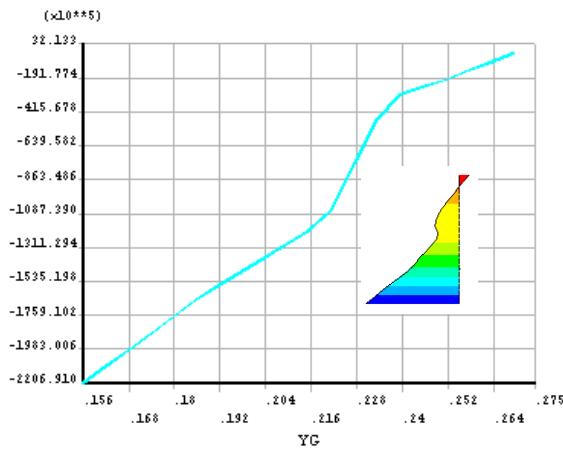
لتوزع هذه الإجهادات مقدرة بواحدة الـ " الباسكال Pa " .



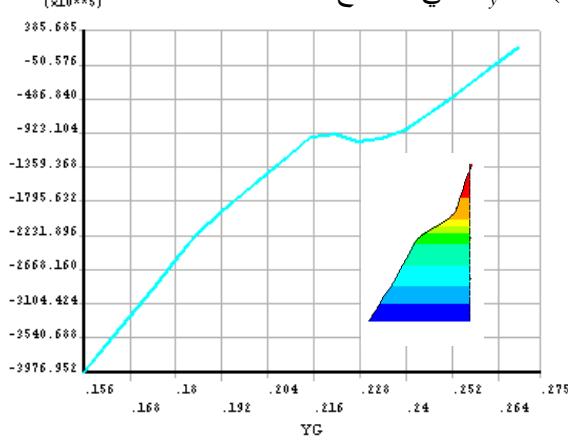
الشكل (23) :  $\sigma_y$  في المقطع 1-1



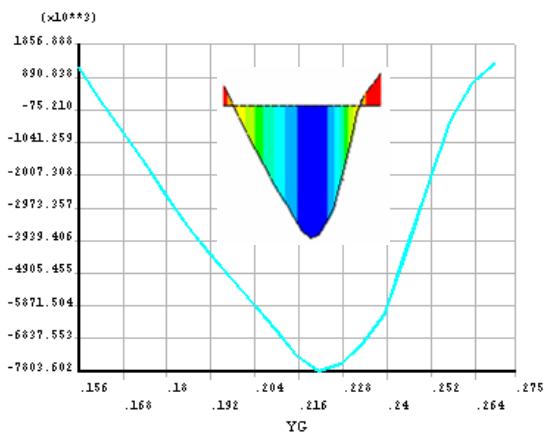
الشكل (24) :  $\sigma_x$  في المقطع 1-1



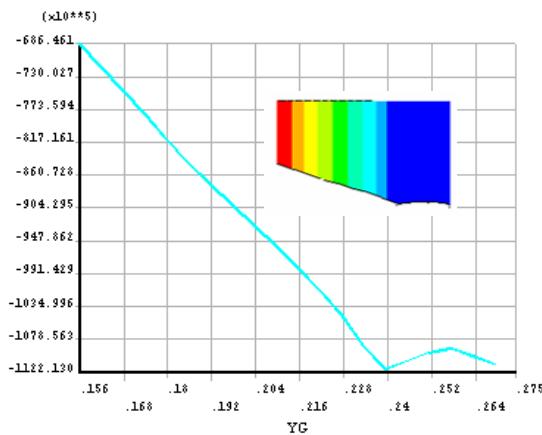
الشكل (25)  $\sigma_y$  في المقطع 2-2



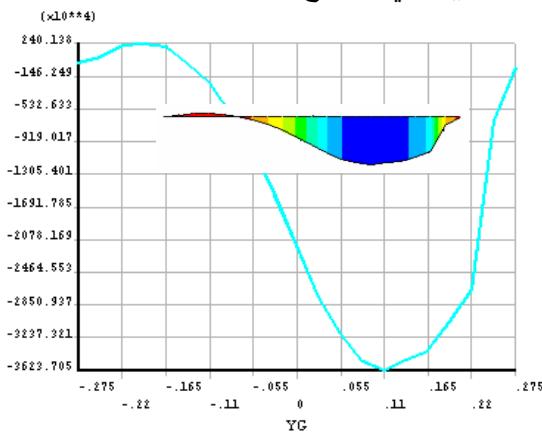
الشكل (26)  $\sigma_x$  في المقطع 2-2



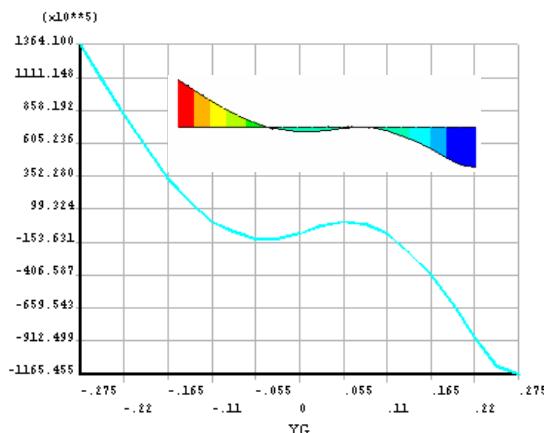
الشكل (27)  $\sigma_y$  في المقطع 3-3



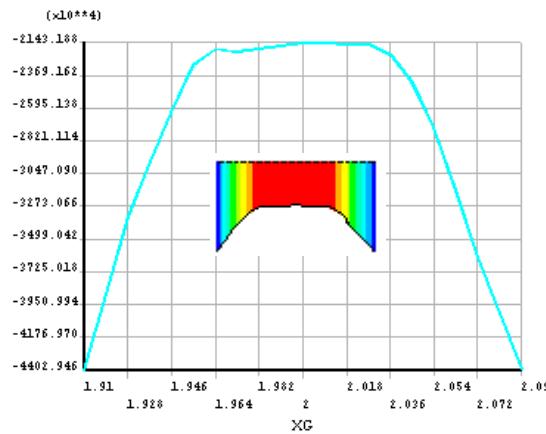
الشكل (28)  $\sigma_x$  في المقطع 3-3



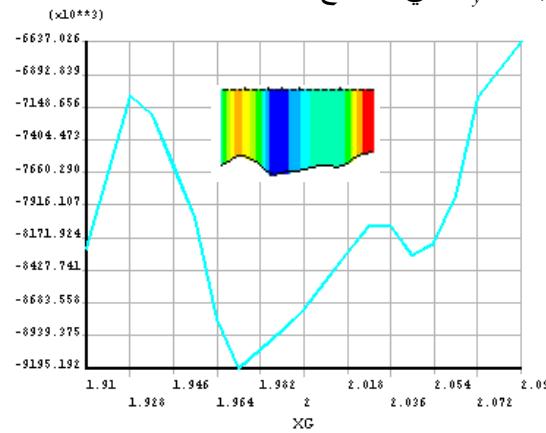
الشكل (29)  $\sigma_y$  في المقطع 4-4



الشكل (30)  $\sigma_x$  في المقطع 4-4



الشكل (31) :  $\sigma_y$  في المقطع 5-5



الشكل (32) :  $\sigma_x$  في المقطع 5-5

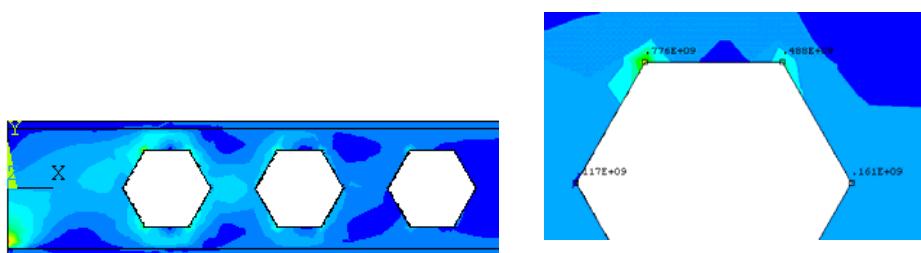
### الإجهادات المكافأة :

حتى نتمكن من مقارنة الإجهادات التي حصلنا عليها في الحالات الثلاث السابقة [الحالة الأولى والحالة الخاصة لها والحالة الثانية] فقد قمنا بحساب الإجهاد المكافأء Von Mises (SEQV) ، المعتمد على نظريات الطاقة والذي يحسب بدلالة الإجهادات الرئيسية وذلك للأخذ بعين الاعتبار التأثير المشترك للإجهادات الناظمية  $\sigma_x$  و الإجهادات المماسية  $\sigma_{xy}$  ، في النقاط الأعظم (1,2,3,4) المبينة بالأسكار

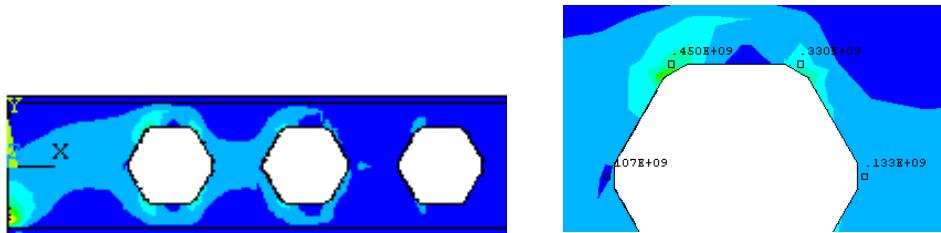
من (33) وحتى (35) ونظمنا القيم في الجدول (5) :

الجدول (5) :

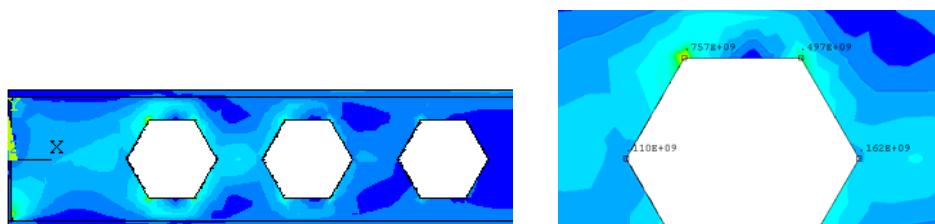
| SEQV " Mpa "     | حالة جائز غير مفرغ |         | 115,38  |         |         |
|------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|
|                  | رقم النقطة         | 1       | 2       | 3       | 4       |
|                  | حالة حواف حادة     | 117,184 | 775,778 | 488,24  | 160,817 |
| حالة حواف مدوره  | 107,252            | 449,717 | 330,486 | 132,588 |         |
| حالة تقوية مساند | 109,581            | 756,957 | 497,352 | 162,396 |         |



الشكل (33) : إجهادات (SEQV) في حالة الحواف الحادة



الشكل (34) : إجهادات (SEQV) في حالة الحواف المدوره



الشكل (35) : إجهادات (SEQV) في حالة صفائح التقوية

## النتائج :

يمكن تلخيص النتائج الأساسية التي تم الحصول عليها على الشكل التالي :

1- بمقارنة الإجهادات (SEQV) في النقطة 2 من الحالة الأولى مع الإجهادات في النقطة نفسها للحالة الثانية للمسألة المدروسة نجد أن قيمة الإجهادات (SEQV) قد انخفضت بمقدار (42%) وهي قيمة ذات أهمية معتبرة ، الجدول (5) ، وبالتالي يمكننا القول بأن معامل تركيز الإجهادات في النقطة المدروسة قد انخفض

$$\left[ k = \frac{449,717}{115,380} = 3,89 \right] \text{ في الحالة الأولى إلى} \left[ k = \frac{775,778}{115,380} = 6,72 \right] \text{ من}$$

في الحالة الثانية ، لذلك يفضل دمج أطراف التقوب دائرياً .

2- إن لوضع صفائح التقوية عند المساند تأثير محدود في خفض قيمة الإجهادات (SEQV) حيث لم يتجاوز انخفاضها (2,4%) ، الجدول (5).

3- من خلال استثمار إمكانية البرنامج " ANSYS " في اختيار نوعية شبكة العناصر المحدودة وجد أن اختيار شبكة ناعمة جداً ليس له تأثير واضح على دقة النتائج وبالتالي يكتفى بختار الحالة المثلالية " Idealization " للشبكة التي يعطيها البرنامج ، الشكل (8).

4- يمكن دراسة المسألة السابقة عندما تكون الفتحة في جسد الجائز دائria " Cellular Beams " ، الشكل (1) ، باتباع الخطوات المتبعة في الحالتين الثانية والثالثة ومقارنة النتائج من حيث توزيع الإجهادات وتركيزها .

## References

1. Design of Welded Structures ; Omer W. Blodget, published by The James Lincoln Arc Welding Foundation, pages 4.7-8 and 4.7-9
2. AISC 9th edition manual – Allowable stress design
3. ASCE Journal of Structural Engineering 124:10, October 1998 – castellated beam web buckling in shear, R.G. Redwood and S. Demirdjian
4. S.Timoshenko and J.N. Goodier, Theory of Elasticity, McGraw-Hill, New York, N.Y., 1970.
5. C.P.Demedoff, Theory of Elasticity, High School , Moscow , 2002.
6. Bathe, K. j. Finite element procedure in engineering analysis, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2001.
7. John F. Abel , Introduction to the finite element method and numerical method for engineering analysis, VNR Company, New York, 1983.
8. ANSYS , Theory Reference . Release 5.4 Edited by Peter Konhke, PhD, 2004.
9. Design of Steel Structures ; S.K.Duggal, published by Tata McGraw-hill Publishing Company Limited, pages 303-312.
- 10 - Ihssan Tarsha, Beam's deflection with opening web and effect of vertical stiffeners, Journal of AL-Baath University, Vol.30,2008.