

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 البعث

ملخص البحث :

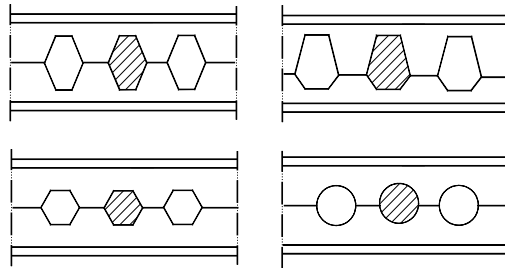
يتعرض هذا البحث لحساب توزيع وتركيز الإجهادات في جسد جائز معدني ذي استناد بسيط مفرغ بأشكال سداسية الأضلاع منتظمة ومحمل بحمولة موزعة بانتظام على جناحه العلوي ، كما يتعرض لتأثير دمج أطراف الأشكال السداسية دائرياً على تركيز الإجهادات ، وذلك ببناء نموذج رياضي باستخدام طريقة العناصر المحدودة وبمساعدة برنامج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

الكلمات المفتاحية : الجوائز المشطورة ، تركيز الإجهادات ، النمذجة .

المقدمة :

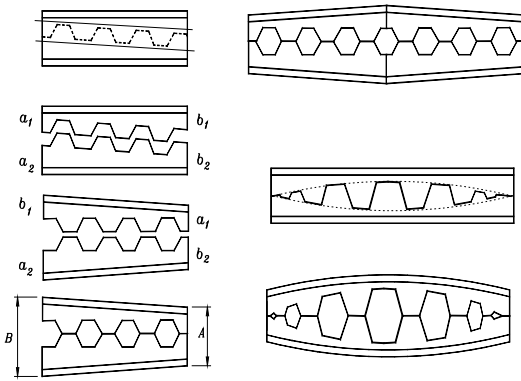
يدعى الجائز ذو الجسد المثقب بالجائز المشطور Castellated beam ، وهو جائز شكّل بقطعه طويلاً بشكل محدد سلفاً ثم أعيد وصل أو تجميع جزأيه المفصولين بواسطة اللحام وبالتالي يمكن أن يكون مقطع الجائز الذي نحصل عليه أعمق بمقدار 50% من العمق الأولي ، أي يزداد بمقدار 1,5 مرة ، وبزيادة هذا العمق فإن معامل المقطع المقاوم للعزم يزداد بمقدار 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) .



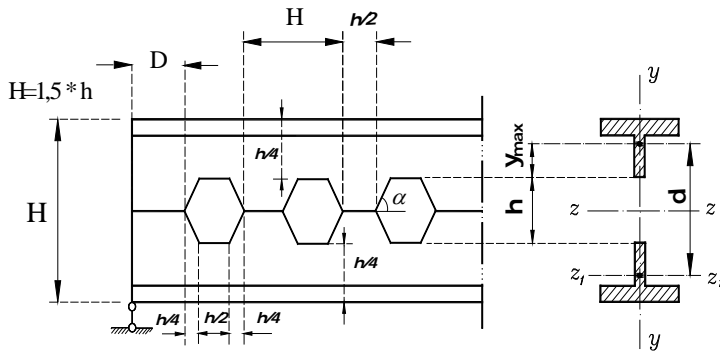
الشكل (1)

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 الخطين مائلين ، الشكل (2) ، نحصل على جائز مشطور متغير العمق [10].



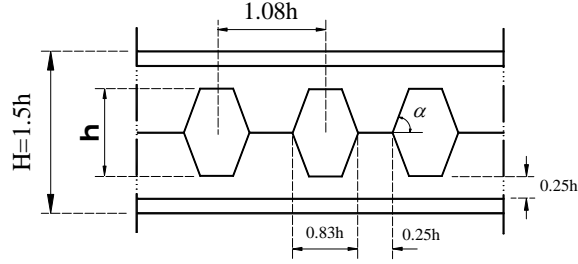
الشكل (2)

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 Anglo-Saxon castellated beams والمستخدم في England, America and Canada .



الشكل (4)

حيث :

h - عمق الجائز الأصلي قبل شطره .

H - عمق الجائز المشطور .

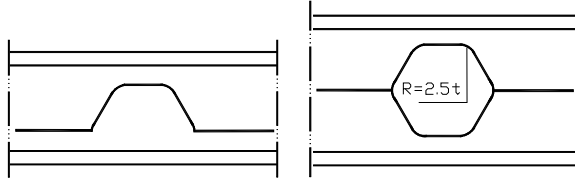
$\frac{H}{h}$ - عمق الجائز المشطور بالنسبة لعمق الجائز الأصلي قبل القطع وتساوي 1,5 .

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

هدف البحث وطريقته :

للجائز المشطور بعض المساوئ أهمها أن طاقته لتحمل القوى القاصة تقل ولكن يمكن التغلب عليها بتقوية الجسد عند نقاط تأثير القوى المركزة وعند المساند . أما السلبية الثانية فهي تركيز الإجهادات في زوايا الثقوب والتي تعتبر هدف بحثنا هذا ، والتي لا يمكن تحسّسها بشكل واضح في الجوائز المفرغة بفتحات دائرية " Cellular beam " .

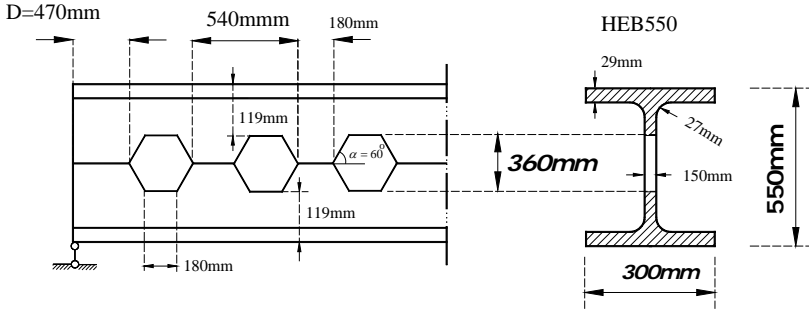
ففي هذا البحث سنعالج مسألة توزيع وتركيز الإجهادات في جسد الجائز المشطور الذي تم تفريغها بأشكال سداسية منتظمة ، كحالة أولى ، ثم توزيع وتركيز الإجهادات لكن بعد إجراء تدوير لحواف الثقوب ، كحالة ثانية الشكل (5) ، وذلك بعد تحميل الجائز ، في كلا الحالتين ، بحمولة موزعة بانتظام على جناحه العلوي ، أما جناحه السفلي فيستند على مسندين بسيطين أحدهما ثابت والآخر متحرك .



الشكل (5)

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

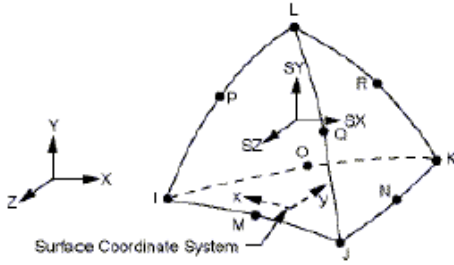
1. مرحلة ما قبل المعالجة " pre-processing " : في هذه المرحلة تم بناء نموذج عددي وتضمنت بشكل أساسي :
 - نمذجة الشكل الهندسي للجائز بما في ذلك الفتحات وذلك بإدخال الأبعاد الهندسية المبينة بالشكل (6) :



الشكل (6)

- تعريف الخواص الفيزيائية لمادة الجائز : $E = 2,1.10^5 \text{ Mpa}$; $\mu = 0,3$ و الموافقة لفولاذ من النوع Gr43 .
- نمذجة الشروط الطرفية حيث اعتبر استناد الجائز مفصلي ثابت من طرف ومفصلي متحرك من الطرف الثاني ، وتم تطبيق حمولة موزعة بانتظام قدرها 1 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

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

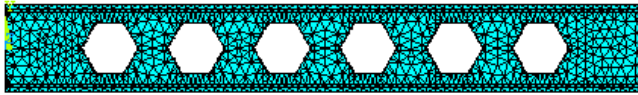


الشكل (7)

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

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

• توليد الشبكة " Mesh Generation " واختيار نوعيتها وذلك بشكل تفاعلي في البرنامج ، حيث يتم تقسيم الجائز المدروس إلى مجموعة من العناصر المحدودة الموضحة بالشكل (8) .



الشكل (8)

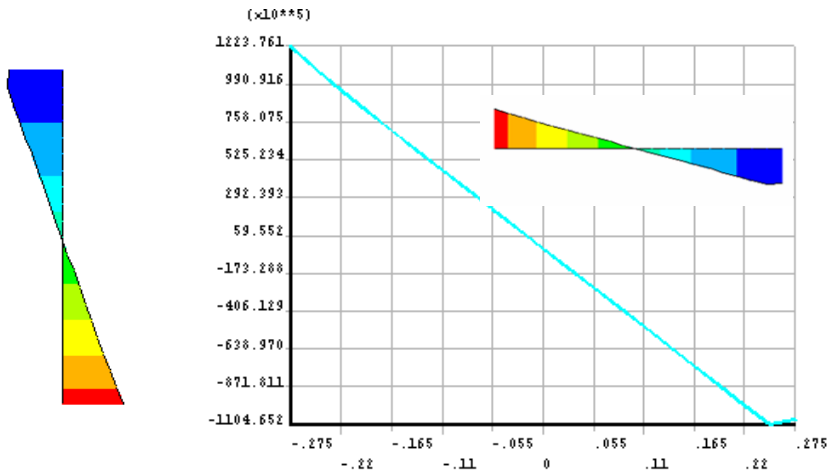
2. مرحلة المعالجة " processing " : في هذه المرحلة يقوم البرنامج بتجميع المعادلات الجبرية الحاكمة بشكل مصفوفي وحلها بتقنياته الخاصة للحصول على قيم المتحولات الرئيسية المجهولة .

3. مرحلة ما بعد المعالجة " post-processing " : وهي المرحلة التي يقوم البرنامج فيها بإظهار النتائج المختلفة وبطرق عدة منها البيانية graph أو الهندسية geometry أو الرقمية ، وذلك للجائز المدروس ككل أو وفقاً لمسارات محددة وفقاً لرغبة المستثمر . وللتأكد من صحة نمذجتنا للمسألة المدروسة واختيارنا للعنصر المحدود ولنوعية الشبكة المختارة والمساند والحمولات المطبقة ، فقد قمنا بنمذجة الجائز بدون تفرغ ودراسته بواسطة البرنامج وقارنا النتائج بالنتائج التي حصلنا عليها عند دراسة

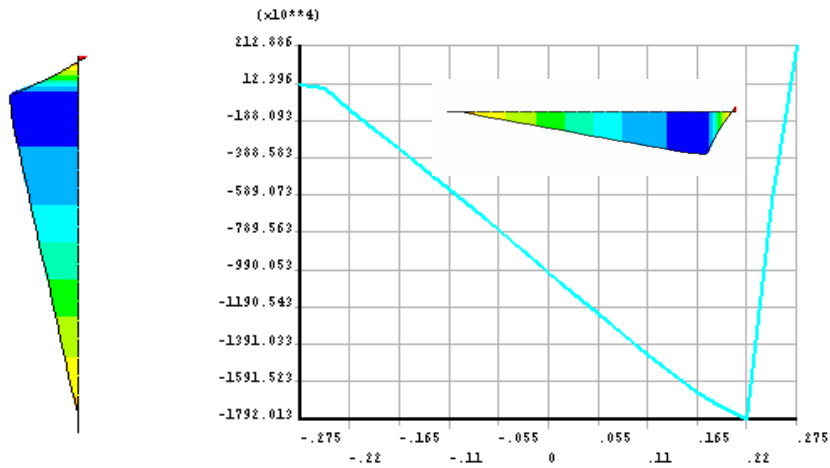
الجائز يدويًا باستخدام علاقات مقاومة المواد ، فكان التطابق مقبولاً في كافة المقاطع " باستثناء القريبة من المساند " حيث يظهر الشكلين (9) و(10) مخطط توزيع الإجهادات الناظمية σ_x و σ_y في مقطع عرضي مار من منتصف الجائز .

الجدول (1) :

إحداثيات النقاط	$y(mm)$	-275	-137.5	0	137.5	275
من مقاومة المواد	$\sigma_x (Mpa)$	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 لتوزيع الإجهادات σ_x



الشكل (10) : المخطط الهندسي والبياني لتوزيع الإجهادات σ_y

توزيع الإجهادات في الجائز المشطور ذي الثقوب سداسية الشكل :

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

و (11) هي :

• الإجهادات الناعمية σ_x ، المقطع 4-4 : $\sigma_x = \frac{M_x}{I_z} \cdot y = \frac{M_x}{W_z}$

• الإجهادات الناعمية ، σ_x المقطع 3-3 : هي عبارة عن مجموع إجهادين

الأول ناتج عن العزم في هذا المقطع وقيمته تساوي : $\sigma_{1x} = \frac{M_x}{A_T \cdot d}$

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

• وقيمته تساوي : $\sigma_{2x} = \frac{Q \cdot h \cdot y}{2.4 \cdot I_T}$ ، أي : $\sigma_x = \sigma_{1x} + \sigma_{2x}$

حيث :

• A_T - مساحة المقطع T .

• d - البعد بين مركزي تقلي المقطعين T .

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

• y - بعد الليف الذي يحسب عنده الإجهاد σ_{2x} عن مركز ثقل المقطع T

• " المحور $(z_1 - z_1)$ "

• الإجهادات الناعمية σ_x ، المقطع 2-2 : $\sigma_x = \frac{M_x}{A_T \cdot d}$

• الإجهادات المماسية τ_{xy} ، المقطع 5-5 : $\tau_{xy} = \frac{2 \cdot Q_h}{t_w \cdot h}$

حيث :

• Q_h - قوة القص الأفقية وتساوي : $Q_h = \frac{Q_{1y} \cdot H}{2 \cdot (y_{\max} + h/2)}$

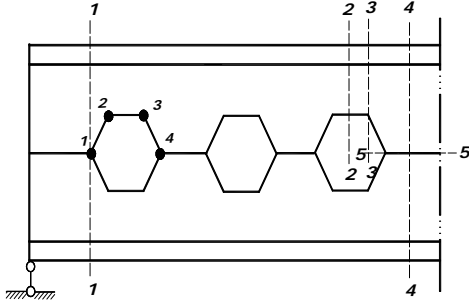
حيث : $Q_{1y} = \frac{Q_y \cdot n \cdot H}{\left(\frac{L}{2} - D\right)}$

• n - تمثل عدد الثقوب لنصف الجائز .

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

Q_y - قوة القص الأعظمية عند المساند وتساوي :

L - طول الجائز .



وبعد التأكد من دقة النمذجة ، النتائج المدرجة في الجدول (1) ، استخدمنا البرنامج ANSYS وتم حساب الإجهادات الناعظمية σ_x و σ_y في مقاطع عرضية مختلفة مبيئة بالشكل (11) وذلك لجائز مشطور ذي ثقب سداسية الشكل متساوية

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

ونظمت النتائج في الجداول من (2) وحتى (4) ، علماً أن قيمة تلك الإجهادات مقدره بوحدة الـ Mpa .

ملاحظة :

لقد تم حساب الإجهادات المماسية τ_{xy} ولكن قيمها ومخططاتها لم تدرج في سياق البحث .

المخططات الهندسية لتوزع الإجهادات σ_x و σ_y في المقاطع العرضية المذكورة أعلاه مبيئة في الأشكال من (13) وحتى (22) .

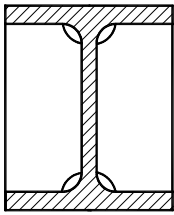
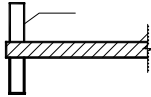


Plate : 492×142,5×15mm



وكحالة خاصة لهذا المثال فقد قمنا بتقوية الجائز المدروس بأربع صفائح تقوية عند طرفي الاستناد أبعاد كل منها ، الشكل (12) ، $Plate : 492 \times 142,5 \times 15mm$ ، وذلك بهدف البحث عن تأثير هذه الصفائح على توزع الإجهادات .

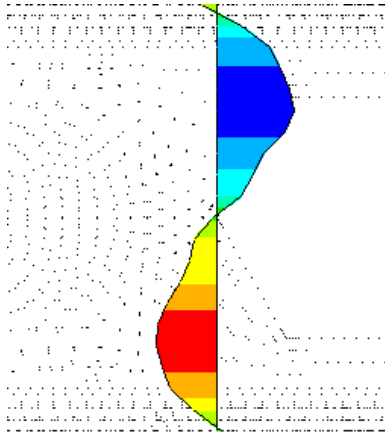
الشكل (12)

الجدول (2) : قيمة الإجهادات σ_x و σ_y الجدول (3) : قيمة الإجهادات σ_x و σ_y

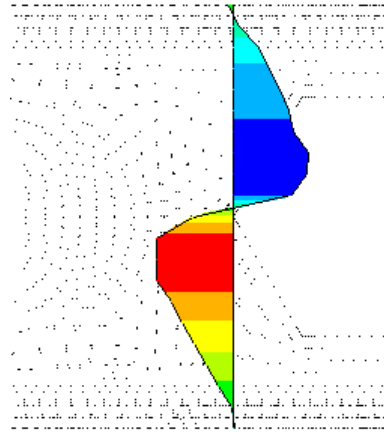
رقم المقطع		2-2	3-3	رقم المقطع		1-1	4-4
x(mm) y(mm)		560	1730	x(mm) y(mm)		470	2000
156	σ_x	-723,25	-63,903	-275	σ_x	-8,3625	138,36
	σ_y	-379,68	1,6629		σ_y	-2,0755	0,1824
173,85	σ_x	-338,41	-73,915	-220	σ_x	93,00	81,306
	σ_y	-205,79	-0,6639		σ_y	15,803	3,2475
185,75	σ_x	-178,46	-80,590	-165	σ_x	121,02	32,618
	σ_y	-147,94	-2,2152		σ_y	43,030	0,85564
197,65	σ_x	-159,81	-86,930	-110	σ_x	98,635	0,2460
	σ_y	-144,17	-3,6690		σ_y	67,069	-2,0261
209,55	σ_x	-143,51	-93,214	-55	σ_x	55,156	-13,130
	σ_y	-129,71	-5,1067		σ_y	84,718	-9,810
221,45	σ_x	-122,86	-100,3	0	σ_x	8,4512	-10,199
	σ_y	-102,09	-6,6596		σ_y	45,092	-20,995
233,35	σ_x	-102,83	-108,88	55	σ_x	72,022	1,0533
	σ_y	-47,271	-6,7493		σ_y	-80,694	-34,266
245,25	σ_x	-73,541	-113,58	110	σ_x	-135,39	-7,1084
	σ_y	-29,519	-4,5508		σ_y	-67,020	-37,331
257,15	σ_x	-34,830	-110,23	165	σ_x	-144,93	-38,355
	σ_y	-15,642	-1,5102		σ_y	-51,299	-33,644
269,05	σ_x	7,8138	-110,99	220	σ_x	-107,51	-86,769
	σ_y	0,57508	0,96565		σ_y	-27,544	-27,478
275	σ_x	30,524	-111,650	275	σ_x	31,160	-120,62
	σ_y	2,6086	2,17660		σ_y	4,4569	0,50769

الجدول (4) : قيمة الإجهادات σ_x و σ_y في المقطع 5-5 .

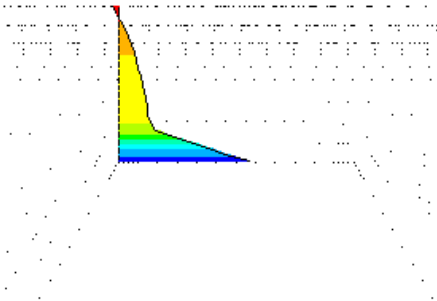
X(mm)	1910	1928	1946	1964	1982	2000
σ_x	-12,84	-7,4785	-7,603	-8,8057	-9,5869	-10,199
σ_y	-70,969	-34,800	-26,089	-24,046	-22,542	-20,995
X(mm)	2018	2036	2054	2072	2090	
σ_x	-10,355	-9,4058	-8,2146	-6,9183	-12,785	
σ_y	-21,940	-23,238	-24,731	-33,336	-73,190	



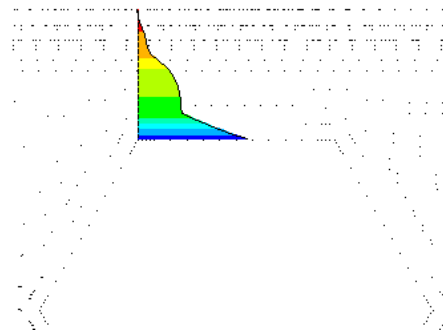
الشكل (14) : σ_x في المقطع 1-1



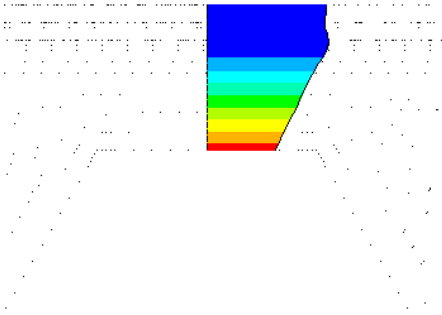
الشكل (13) : σ_y في المقطع 1-1



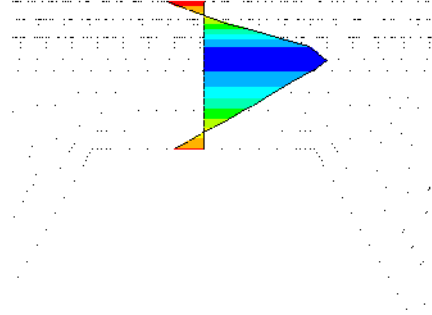
الشكل (16) : σ_x في المقطع 2-2



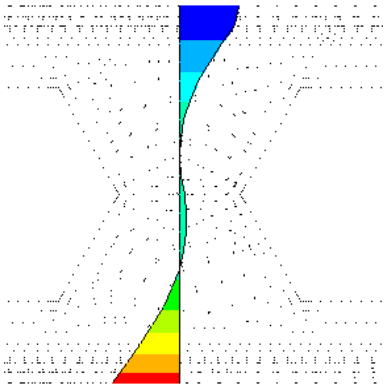
الشكل (15) : σ_y في المقطع 2-2



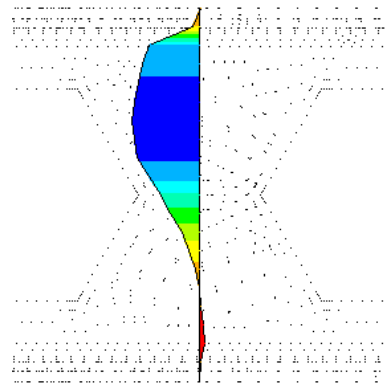
الشكل (18) : σ_x في المقطع 3-3



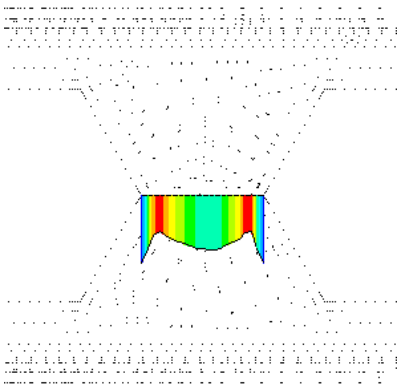
الشكل (17) : σ_y في المقطع 3-3



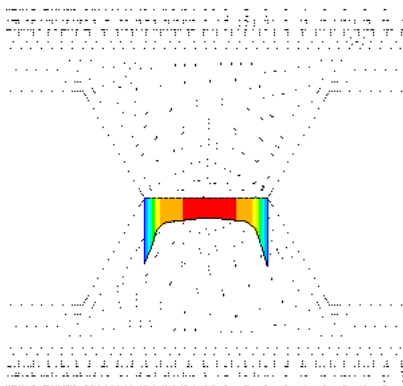
الشكل (20) : σ_x في المقطع 4-4



الشكل (19) : σ_y في المقطع 4-4



الشكل (22) : σ_x في المقطع 5-5

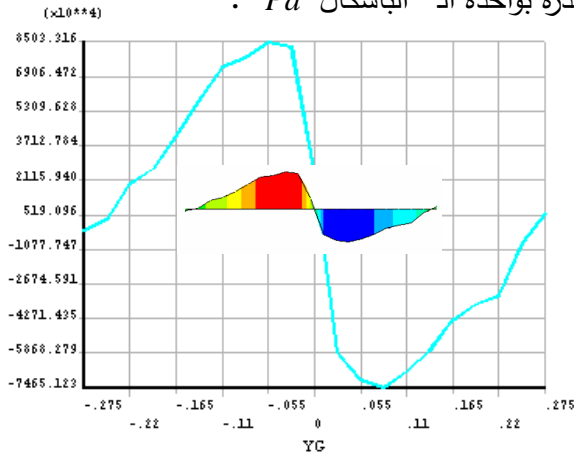


الشكل (21) : σ_y في المقطع 5-5

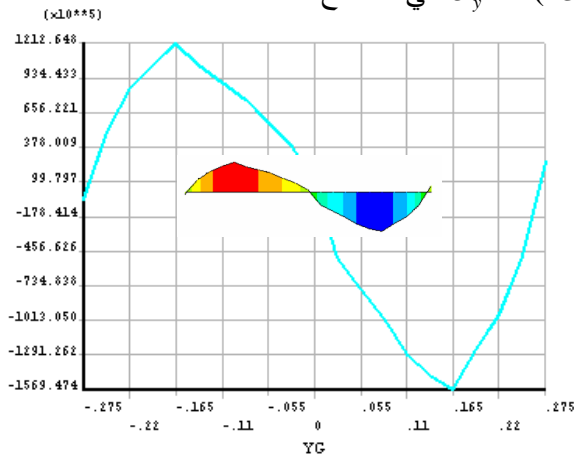
توزع الإجهادات في الجانز المشطور ذي الثقوب سداسية الشكل المدورة :

لمعرفة تأثير إلباس زوايا المسدس المفرغ بأقواس دائرية على تركيز الإجهادات فقد تم أخذ المسألة الأولى بكافة أبعادها الهندسية وحمولاتها المطبقة وشروط استنادها وتم إجراء تدوير لحواف ثقب المسدس وكان نصف قطر التدوير مساوياً لـ $R = 2,5t_w$ ، حيث أن : $t_w = 15mm$ وهي سماكة جسد الجانز المدروس .

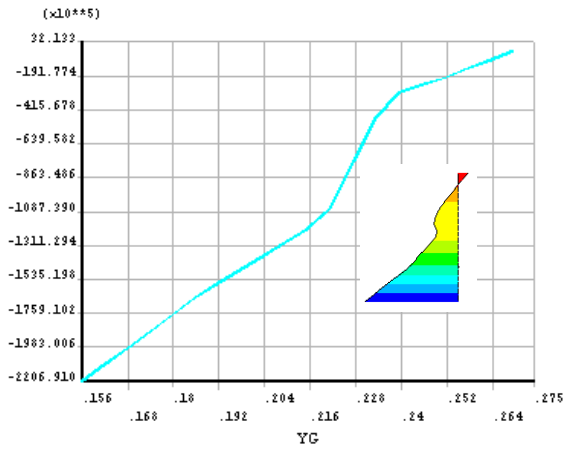
ومن ثم تم حساب الإجهادات الناظمية σ_x و σ_y في نفس المقاطع العرضية التي أخذت في الحالة الأولى ، وتبين الأشكال من (23) وحتى (32) المخططات البيانية لتوزع هذه الإجهادات مقدره بوحدة الـ " الباسكال Pa " .



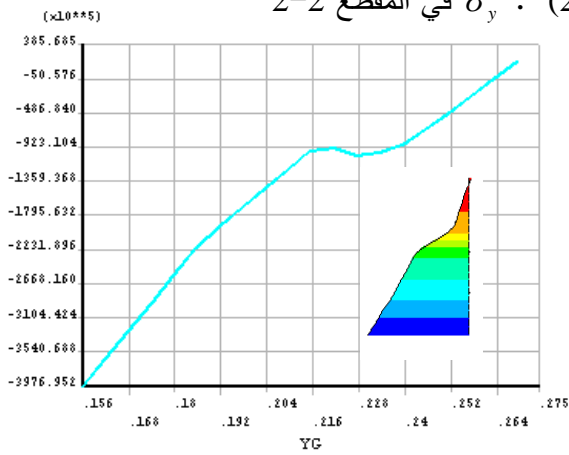
الشكل (23) : σ_y في المقطع 1-1



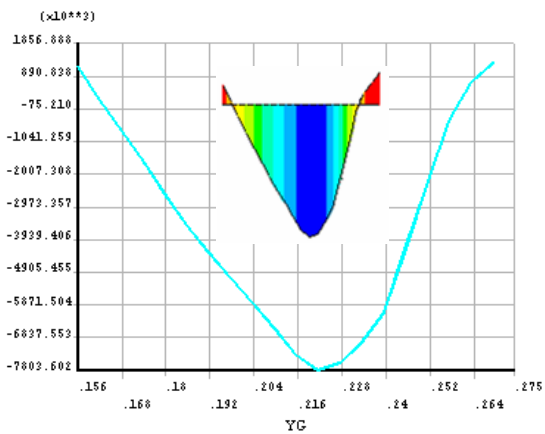
الشكل (24) : σ_x في المقطع 1-1



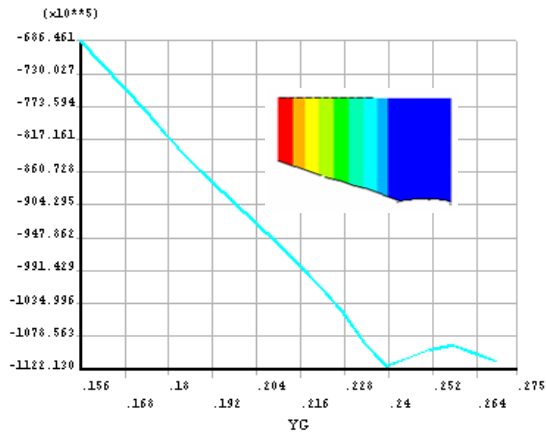
الشكل (25) : σ_y في المقطع 2-2



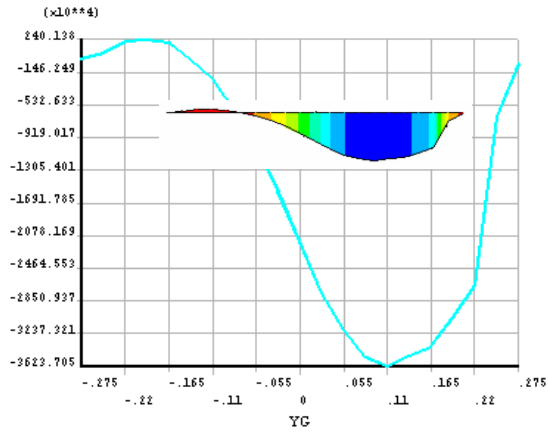
الشكل (26) : σ_x في المقطع 2-2



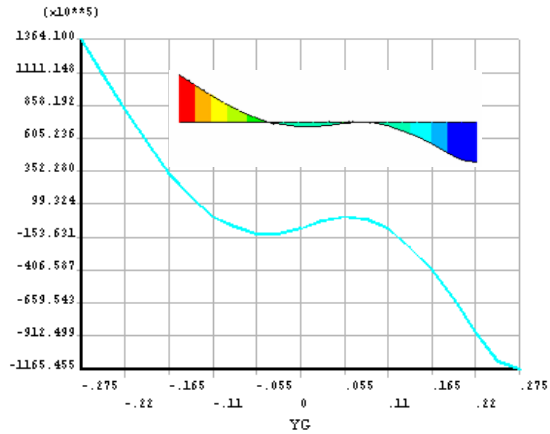
الشكل (27) : σ_y في المقطع 3-3



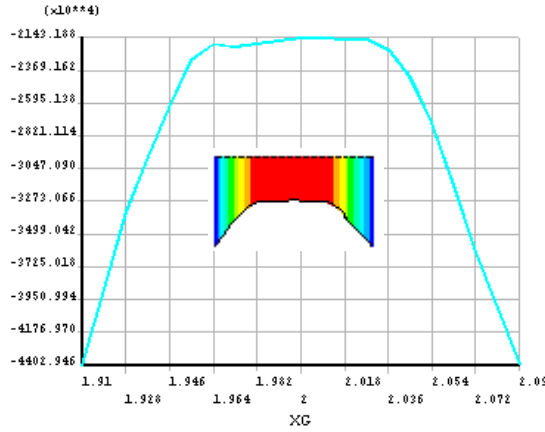
الشكل (28) : σ_x في المقطع 3-3



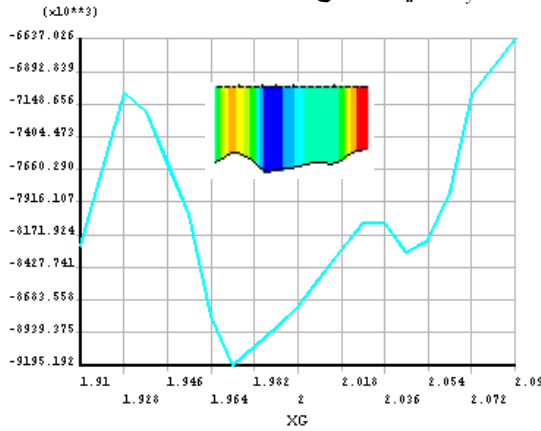
الشكل (29) : σ_y في المقطع 4-4



الشكل (30) : σ_x في المقطع 4-4



الشكل (31) : σ_y في المقطع 5-5



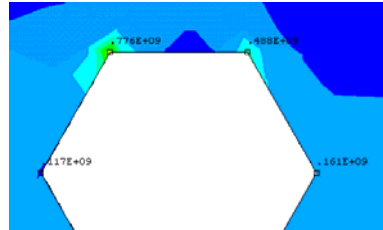
الشكل (32) : σ_x في المقطع 5-5

الإجهادات المكافئة :

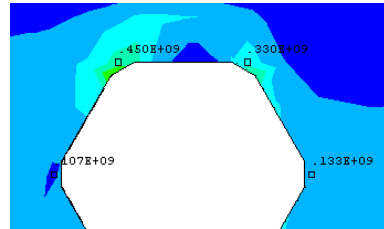
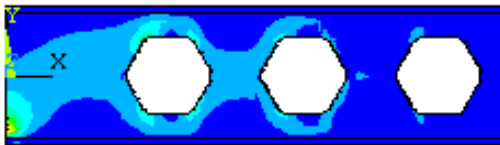
حتى نتمكن من مقارنة الإجهادات التي حصلنا عليها في الحالات الثلاث السابقة [الحالة الأولى والحالة الخاصة لها والحالة الثانية] فقد قمنا بحساب الإجهاد المكافئ (SEVQ) Von Mises ، المعتمد على نظريات الطاقة والذي يحسب بدلالة الإجهادات الرئيسية وذلك للأخذ بعين الاعتبار التأثير المشترك للإجهادات النازمية σ_x ; σ_y والإجهادات المماسية τ_{xy} ، في النقاط الأخطر (1,2,3,4) المبينة بالأشكال من (33) وحتى (35) ونظمتها القيم في الجدول (5) :

الجدول (5) :

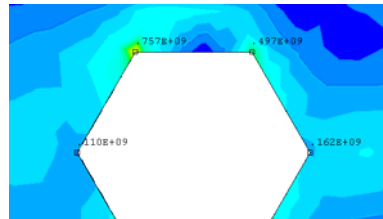
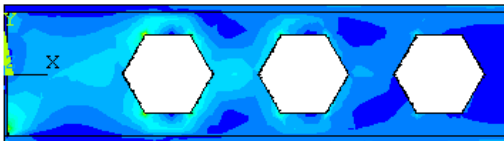
SEQV " Mpa "	حالة جانز غير مفرغ		115,38			
	رقم النقطة		1	2	3	4
	جانز مفرغ	حالة حواف حادة	117,184	775,778	488,24	160,817
	حالة حواف مدورة	107,252	449,717	330,486	132,588	
	حالة تقوية مساند	109,581	756,957	497,352	162,396	



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



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



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 من $\left[k = \frac{775,778}{115,380} = 6,72 \right]$ في الحالة الأولى إلى $\left[k = \frac{449,717}{115,380} = 3,89 \right]$ في الحالة الثانية ، لذلك يفضل دمج أطراف الثقوب 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 نعومة شبكة العناصر المحدودة وجد أن اختيار شبكة ناعمة جداً ليس له تأثير واضح على دقة النتائج وبالتالي يكتفى بخيار الحالة المثالية "Idealization" للشبكة التي يعطيها البرنامج ، الشكل (8).

4- يمكن دراسة المسألة السابقة عندما تكون الفتحة في جسد الجائز دائرية " 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 Pupliching 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.