

التصميم الأمثل لمقطع C نظامي في جائر رقيق الجدران وملفوف على البارد معرض للعزم الصافي باستخدام الخوارزمية الجينية

الدكتورة بادية يوسف حيدر*

(تاريخ الإيداع 12 / 10 / 2015. قُبل للنشر في 24 / 3 / 2016)

□ ملخص □

يتمتع الفولاذ المسحوب على البارد بمزايا عديدة مقارنة بغيره من مواد البناء. حيث أن العناصر المشكلة من هذا النوع خفيفة الوزن ويقل وزنها بنسبة 30-35% عن مثيلاتها المصنوعة من الخشب. مما يجعلها اقتصادية وسهلة التركيب والتثبيت، كما ويمكن أن تشكل منها بالطي على البارد أي مقطع عرضي مفتوح تقريباً. مما يؤدي إلى تنوع كبير في أشكالها وأبعادها، وهذا يجعل مهمة المهندس المصمم في اختيار المقطع أمراً صعباً. الأمر الذي يتطلب استخدام تقنيات الأمثلة للعثور على الأشكال المثلى للمقاطع العرضية للعناصر الإنشائية. يهدف البحث إلى إظهار قدرة الخوارزمية الجينية في تحديد الأبعاد المثلى لمقطع C نظامي في جائر رقيق الجدران وملفوف على البارد، ومن أجل تنفيذ ذلك تم صياغة مسألة الأمثلة بعد إضافة القيود التصنيعية التي تعكس عمليات طي المقطع غير المتناظر إلى القيود الجيومترية والقيود الإنشائية الخاصة بالمقطع. توصل البحث إلى أن الخوارزمية الجينية هي أداة فعالة في إيجاد الحل الأمثل لهذه المسألة، كما أظهرت قدرتها في التعامل مع المقطع غير المتناظر من خلال توصلها إلى حلول تتفق مع المبادئ الأساسية لميكانيك المواد. كما أن الخوارزمية قابلة للتعديل بحيث يمكن إدخال قيود تصميمية متوافقة مع أية كودات أو أية متطلبات تصنيعية تفرضها تقنيات التشكيل.

الكلمات المفتاحية: مقطع C، فولاذ مسحوب على البارد، التصميم الأمثل، الخوارزمية الجينية.

* مدرسة - قسم الهندسة الانشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

Optimum Design of C Section of Cold Formed Thin Walled Beam subjected to Pure Bending Using Genetic Algorithm

Dr. Badia Y. Haidar^{*}

(Received 12 / 10 / 2015. Accepted 24 / 3 / 2016)

□ ABSTRACT □

Cold formed steel (CFS) has many advantages over other construction materials. CFS members are lightweight. They weigh up to 30-35% less than their wood counterparts.. This makes CFS members economical and the same time very easy to erect and install. They may be shaped (cold-bent) to nearly any open cross section. This allows for the use of optimization technique's to find optimal shapes for the members' cross sections.

The research aims to show the genetic algorithm's ability in determining the optimum dimensions cold formed C section. To do so, the optimum design mathematical formulation was formulated by adding the manufacturing constraints that reflect the section folding operations in addition the geometrical and structural constraints.

The research found that the genetic algorithm is effective tool in finding the best solution to this issue, as it showed its ability to deal with asymmetric section through reaching solutions conform to the basic principles of mechanics of material.

The algorithm is adjustable, so that it can implement the design restrictions which are compatible with any codes or any manufacturing requirements imposed by modulation techniques.

Keywords: C section, cold formed steel, optimum design, genetic algorithm.

^{*} Associated Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة

تستخدم منتجات الفولاذ الرقيق على نطاق واسع في صناعة البناء، وخاصة المدادات وألواح التغطية في الأسقف والأرضيات. هذه المنتجات متاحة عموماً للاستخدام كعناصر البناء الأساسية المجمعة في الموقع، أو إطارات وألواح مسبقة الصنع. تدعى هذه المقاطع الفولاذية الرقيقة بالمشكلة على البارد، أي أن عملية تصنيعها تتضمن تشكيل المقاطع الفولاذية في الحالة الباردة (دون تطبيق الحرارة) من صفائح فولاذية ذات سماكة موحدة [1]. لقد فرض استخدام هذه المقاطع الرقيقة والمشكلة على البارد من فولاذ عالي المقاومة، على المهندس الإنشائي، مواجهة مسائل إنشائية (في التحليل والتصميم) لم يكن يعرفها عند تصميم المنشآت الفولاذية العادية. فالرقعة البالغة للمقاطع تجعلها عرضة لعدم الاستقرار الإنشائي الذي يسببه تناقص حمولات (أو إجهادات) التحنيب الحرجة. علاوة على ذلك فإن الأشكال الجيومترية لهذه المقاطع هي أكثر تعقيداً، وتؤدي أغراضاً إنشائية ووظيفية لا توفرها المقاطع العادية المدلّفة على الساخن، لكن هذا يجعل تقدير خواصها الجيومترية من مساحة وعزوم مساحية مختلفة، أكثر صعوبة لاسيما عندما تتطلب محاولات التصميم المتكررة حسابها مراراً.

وهكذا فإن سوقها الواسع يضع مهندس التصميم أمام مجموعة كبيرة ومتنوعة من المقاطع العرضية المثلثة وظيفياً أو هيكلياً. في مثل هذه الحالة فإن أفضل وسيلة لاختيار المقاطع، هي استخدام تقنيات الأمثلة الإنشائية. في بحث أجراه Tian & Lu لحساب الوزن الأصغري للمقاطع الفولاذية المشكلة على البارد تحت تأثير الضغط تم تقديم دراسة تجريبية ونظرية مشتركة حول الوزن الأصغري وما يرتبط به من الأبعاد الهندسية المثلى للمقاطع الفولاذية المفتوحة ذات أطوال محددة ومعرضة لحمولة محورية ضاغطة ذات قيمة معلومة. تمت مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من اجراءات الأمثلة المقيدة غير الخطية باستخدام طريقة البرمجة التربيعية المتتالية مع تلك الناتجة من اجراءات الأمثلة البسيطة والتي تقترض حصول متزامن لجميع أنماط الانهيار في منشأة الوزن الأصغري. تضمنت أنماط الانهيار كلاً من الخضوع، التحنيب الانعطافي، التحنيب الفتلّي الانعطافي والتحنيب الموضعي. يستند معيار الانهيار بشكل صاف إلى قوة محورية ضاغطة مع قيود تصميم أخرى ممكنة، حيث تمت دراسة تأثيرات الشروط الطرفية والتقييد على التحنيب الفتلّي، وللتحقق من صحة الافتراضات النظرية قورنت النتائج مع قدرة التحمل لمقطع C والمحسوبة اعتماداً على المواصفات البريطانية 1998 (الاستخدامات الإنشائية للفولاذ في الأبنية). وأخيراً، تم تصميم مقطع C مع الشفاه وتصنيعهما بناءً على نتائج الأمثلة، واختبارها. كانت نتائج التجارب متوافقة مع تلك المحسوبة تحليلياً اعتماداً على الأمثلة. كما أن المقاطع المؤتملة وصلت إلى قدرة تحمل أكبر بـ 50% من مثيلتها للمقاطع غير المؤتملة والمستخدمة في الصناعة والتي تملك نفس الوزن. [2]

في دراسة أجراها Lu et.al تم تطبيق الخوارزمية الجينية لأتملة أبعاد مدادات مصنوعة من مقطع Z مسحوب على البارد في جيزان مستمرة على فتحتين تحت تأثير حمولات الجاذبية. تابع الهدف كان إيجاد القيمة العظمى لقدرة تحمل المقطع وكانت متغيرات التصميم من النوع المتقطع (discrete variable) بناءً على متطلبات التصميم. تم التصميم بناءً على الكود الأوروبي 3، الجزء 3.1. بينت النتائج أنه يمكن استخدام الخوارزمية الجينية كأداة أمثلة فعالة للحصول على الأبعاد المثلى لمقاطع المدادات أو أية عناصر إنشائية أخرى ذات الشكل Z والمصنوعة من الفولاذ المسحوب على البارد. [3]

في دراسة أجراها Lee et. Al تم البحث عن الشكل الأمثل للمقاطع العرضية للجيزان ذات المقطع C المصنوعة من فولاذ مسحوب على البارد تحت تأثير حمولة موزعة بانتظام باستخدام الخوارزمية الجينية الصغرى

MGAS والتي هي صيغة محسنة من الخوارزمية الجينية من حيث تقليل عدد التكرارات والعمليات الحسابية باستخدام جماعة أصغر. أظهرت MGAS الأداء الممتاز في إيجاد الوزن الأصغري للجيزان المصنوعة من الفولاذ المسحوب على البارد حيث استخدمت متغيرين للتصميم (ارتفاع الجسد والسماكة). كما تبين أن شرط المقاومة على الانعطاف وزحف الجسد هي القيود الفعالة بدلاً من القيود الإنشائية الأخرى. [4]

في بحث أعده Levinsky et.al للبحث عن الشكل الأمثل للمقاطع العرضية المفتوحة والمتناظرة عكسياً في الجيزان رقيقة الجدران المسحوبة على البارد في حالة الانعطاف الصافي. تبين أن الجيزان ذات المقطع الكلوتونيدي هي أفضل بشكل قاطع من الجيزان ذات المقطع C أو Z. [5]

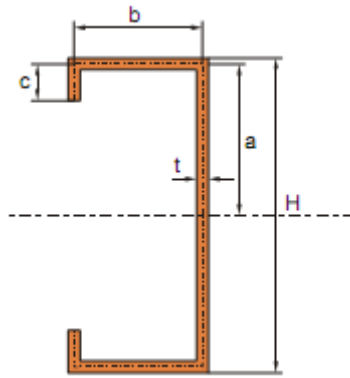
استخدم Leng ثلاثة طرائق للأمثلة الرياضية: الخوارزمية الجينية genetic algorithm، محاكاة التلاشي simulated annealing ومسار الانحدار steepest descent لإيجاد المقطع العرضي المتوافق مع القوة الضاغطة العظمى بعمود مصنوع من الفولاذ المسحوب على البارد بأطوال مختلفة ولحالة استناد بسيط. بينت الدراسة أن نتائج طريقة مسار الانحدار تعتمد بشكل كبير على دقة التقدير الأولي للحل، بينما تحتاج طرق البحث العشوائي المستخدمة إلى قدرة حسابية أكبر من تلك اللازمة في الطريقة السابقة بينما لا تعتمد دقة نتائجها على دقة الحل المبدئي المفروض. [6]

أهمية البحث وأهدافه

تم سابقاً اختبار الخوارزمية الجينية على مقاطع متناظرة وحالات تحميل محدودة ورأينا أنه من الضروري توسيع مجال تطبيقها على مقاطع أكثر تعقيداً. وبالتالي فإن الهدف الرئيسي من هذه الورقة هو إظهار قدرة خوارزمية التصميم الأمثل المستخدمة وهي الخوارزمية الجينية في معرفة الأبعاد المثلى لمقطع C نظامي في جائز رقيق الجدران وملفوف على البارد، بعد إضافة القيود التصنيعية التي تعكس عمليات طي المقطع غير المتناظر. المهمة الرئيسية هي تطوير أداة أمثلة التي لا يمكن تطبيقها فقط على المقطع المذكور أعلاه ولكن يمكن أن تطبق أيضاً على مقاطع عرضية أكثر تعقيداً، يفرض تنوع أشكالها استخدامات في مجالات متعددة، مع عدد أكبر من متغيرات التصميم وقيود أكثر تعقيداً. بحيث تجعل هذه الأداة حل مسألة تصميم هذه المقاطع سهلاً ومتاحاً لكافة المهندسين اللذين يعملون في هذا المجال.

طرائق البحث ومواده:

تتوفر الشرائط و الصفائح المعدنية المشكلة على الساخن في الأسواق بأبعاد وقياسات مناسبة لنقلها وتخزينها، وتشكل منها على البارد باستخدام تقنيات الطي المقاطع رقيقة الجدران. مثال ذلك المقطع C الذي سنتم دراسته في هذا البحث والمبين على الشكل (1).



الشكل رقم (1) المقطع العرضي للجائز المدروس

النماذج الرياضية لدراسة سلوك الجيزان ذات المقاطع الرقيقة والمفتوحة:

تعتمد معظم هذه النماذج على قانون سلوك مرن-خطي وتدخّل في تقديرها للانتقالات والتشوهات بعض العوامل غير الخطية الجيومترية [7]. وبحل المعادلات المستنتجة من هذه النماذج تستخلص هيئات الكودات شروط أو متطلبات التصميم وتصنفها إلى: [8]

• **متطلب المقاومة:** يُشترط على أبعاد المقطع، وخصوصاً H ارتفاعه الكلي، و J_z عزم عطالته بالنسبة للمحور Z، عند خضوعه لعزم مقداره M، أن تتحقق المتراجحة التالية مع σ_{all} الإجهاد الكلي المسموح للمادة:

$$\frac{MH}{2J_z} \leq \sigma_{all} \quad \text{where } M \leq M_1, \quad \text{with } M_1 = \frac{2J_z}{H} \cdot \sigma_{all} \quad (1)$$

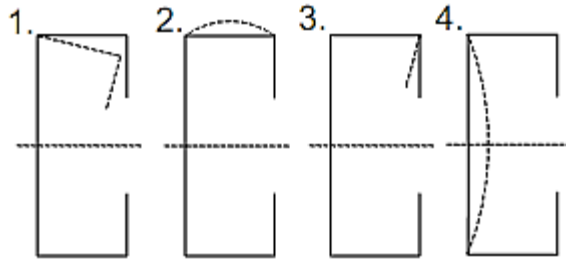
• **متطلب الاستقرار الكلي:** ويعبر عنه بشرط التحنيب الجانبي الفتلي، ويتم حسابه اعتماداً على نظرية فلاسوف الكلاسيكية، حيث يعطى بالعلاقة:

$$M \leq M_2, \quad \text{with } M_2 = \frac{\pi E}{n_b L} \sqrt{\frac{J_y J_t}{2(1+\nu)}} (1 + 2(1+\nu) \frac{\pi^2 J_\omega}{L^2 J_t}) \quad (2)$$

حيث تعبر n_b عن عامل الأمان ضد فقد الاستقرار. J_y عزم عطالة المقطع العرضي بالنسبة للمحور y. J_ω عزم عطالة تجعد المقطع العرضي. J_t عزم العطالة الفتلي.

• متطلبات الاستقرار الموضعي:

تكون المنشآت الفولاذية المسحوية على البارد عرضة لتحنيب موضعي بتأثير حمولات أقل من حمولة التحنيب الكلي وذلك نتيجة لارتفاع نسب أطوال أضلاع المقطع (جسد، جناح، شفة....) إلى سماكاتها. يوضح الشكل (2) أنماط التحنيب الموضعي التي تتعرض لها الأضلاع المختلفة المشكلة للمقطع.



الشكل رقم (2) أنماط التحنيب الموضعي للأضلاع المشكلة للمقطع

وبحسب نظرية البلاطات التقليدية، وباعتبار امتداد هذه الأضلاع عمودياً على المقاطع المرسومة بلاطات ذات شروط استناد مختلفة، تكون شروط التحنيب لكل منها كما يلي:

1. قيد الاستقرار الموضعي للجناح مع الشفة

$$M \leq M_3; \quad M_3 = 2 \frac{J_z}{n_{bl} H} \cdot \sigma_{\max.cr}$$

$$\sigma_{\max.cr} = \frac{\sigma_{0.cr}}{\left(1 - 2 \frac{y_p}{H}\right)} \text{ where } \sigma_{0.cr} = \frac{3}{b^2 t (b - 3c)} \left[GJ_t + \pi^2 \left(\frac{b}{L}\right)^2 EJ_{zp} \right] \quad (3)$$

حيث إن y_p موقع المحور المركزي لمقطع الجناح.

J_{zp} عزم عطالة مقطع الجناح

J_t الصلابة على الفتل لمقطع الجناح

n_{bl} عامل الأمان ضد فقد الاستقرار الموضعي

2. قيد الاستقرار الموضعي للجناح

$$M \leq M_4; \quad M_4 = 2 \frac{J_z}{n_{bl} H} \cdot \sigma_{\max.cr} \quad (4)$$

$$\sigma_{\max.cr} = \frac{\pi^2 E}{3(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2$$

3. قيد الاستقرار الموضعي للشفة

$$M \leq M_5; \quad M_5 = 2 \frac{J_z}{n_{bl} H} \cdot \sigma_{\max.cr}$$

$$\sigma_{\max.cr} = \frac{G}{\left(1 - \frac{3c}{4a}\right)} \left(\frac{t}{c}\right)^2 \quad (5)$$

4. قيد الاستقرار الموضعي للجسد

$$M \leq M_6; \quad M_6 = 2 \frac{J_z}{n_{bl} H} \cdot \sigma_{\max.cr} \quad (6)$$

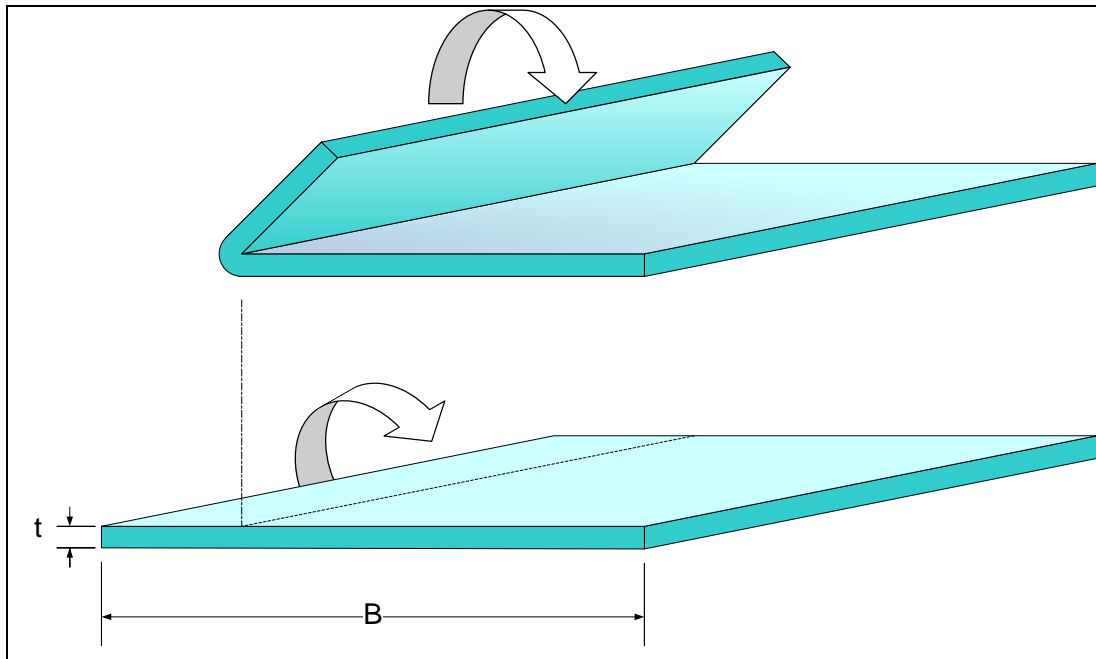
$$\sigma_{\max.cr} = \frac{\pi^2 E}{3(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{a} \right)^2$$

الصياغة الرياضية لمسألة الأمثلة: [9]

تكون متغيرات التصميم في هذه الحالة: أبعاد المقطع العرضي (ارتفاع الجسد h ، عرض الجناح b وارتفاع الشفة c) بالإضافة إلى عرض الشريط B وسماكته t . سننتقل الآن إلى مناقشة قيود المسألة والتي تنقسم في هذه الحالة إلى ثلاثة أقسام: هندسية (جيومترية)، تصنيعية وإنشائية.

نقصد بالقيود الجيومترية تلك التي تجعل المقطع متوافقاً مع تعريف الجائز رقيق الجدران فنعتمد القيود السبعة الآتية: $0.25 \leq c/b \leq 0.5$ ، $10 \leq h/t \leq 50$ ، $0.5 \leq b/h \leq 1$ و $H/L \leq 0.1$.

وأما القيود التصنيعية فهي تلك التي تعكس عملية طي المقطع C غير المتناظر كما هو مبين على الشكل (3) ويعبر عنها بالقيد $2c+2b+h=B$. تجدر الإشارة هنا أنه لم يتم إدراج الشروط الخاصة بعمليات طي المقطع في أي من الأدبيات المتعلقة بهذا الموضوع.



الشكل رقم (3) عملية طي المقطع

بالإضافة إلى القيود الجيومترية وقيود التصنيع التي ذكرناها سابقاً، يجب ان تؤخذ القيود المتعلقة بتصميم الجيزان رقيقة الجدران بعين الاعتبار وهي القيود الإنشائية المذكورة أعلاه. (المعادلات 1,2,3,4,5,6)

النموذج الرياضي لمسألة الأمثلة:

سيكون تابع الهدف هو كتلة الجائز، وعلى فرض أن مادة الجائز متجانسة ومقطعه العرضي ثابت يمكننا عندئذ استبدال كتلة الجائز بمساحة مقطعه العرضي. فيكون: $F(x_i) = A$
 بعد عرض تابع الهدف وجميع قيود التصميم يمكن أن نلخص المسألة ونكتبها بالصياغة الرياضية على الشكل الآتي:

$$\begin{aligned} \min f(x) &= (2c + 2b + h)t \\ \text{subject to } & \left\{ \begin{array}{ll} (c_1) \quad 2c + 2b + h = B & (c_{10}) \quad M \leq M_1 \\ (c_2, c_3) \quad 10 \leq \frac{h}{t} \leq 50 & (c_{11}) \quad M \leq M_2 \\ (c_4, c_5) \quad \frac{1}{2} \leq \frac{b}{h} \leq 1 & (c_{12}) \quad M \leq M_3 \\ (c_6, c_7) \quad \frac{1}{4} \leq \frac{c}{b} \leq \frac{1}{2} & (c_{13}) \quad M \leq M_4 \\ (c_8) \quad \frac{H}{L} \leq \frac{1}{10} & (c_{14}) \quad M \leq M_5 \\ (c_9) \quad 2c + 10 \leq H & (c_{15}) \quad M \leq M_6 \end{array} \right. \end{aligned} \quad (7)$$

نلاحظ مما سبق أن المسألة قيد المعالجة غير خطية خصوصاً الشروط ($c_{10}, c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, c_{15}$) الواردة في المعادلات من 1 إلى 6، ومن الصعب الحصول على مشتقات توابع القيود بالنسبة لمتغيرات التصميم، بما أنها ليست توابع صريحة بالنسبة لهذه المتغيرات. وبالتالي لن نعتمد طرائق التدرج التفاضلية لحلها، وإنما سنعتمد تقنية ذكاء صناعي تركز على آلية الاصطفاء الطبيعي وهي الخوارزمية الجينية.

الخوارزمية الجينية:

إن الخوارزمية الجينية هي استراتيجية البحث عن الحل الأمثل على أساس قواعد التطور الجيني الطبيعي. حيث كان جون هولاند (جامعة ميشيغان) أول من اقترح تطبيق الخوارزميات الجينية في عام 1962. واستخدمت الخوارزميات الجينية في حل مجموعة متنوعة من مشاكل التصميم الإنشائي حيث إن طبيعتها المنفصلة، مكنت من استخدامها بشكل جيد في عملية أتمتة تصميم المنشآت الهيكلية، وعدة مئات من التطبيقات الهندسية الأخرى. [10]
 تم تطبيق الخوارزميات الجينية في الهندسة الإنشائية بشكل رئيسي لأتمتة المنشآت الشبكية والإطارات الفولاذية، البلاطات السندوشية والعناصر والإطارات البيتونية المسلحة. [11]

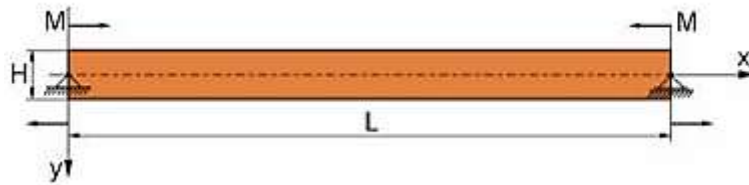
تختلف الخوارزميات الجينية عن تقنيات الأمثلة التقليدية في أربع نقاط رئيسية: [12]

- تعمل الخوارزميات الجينية مع ترميز متغيرات التصميم والبرامترات، وليس مع المتغيرات الفعلية نفسها .
- تبدأ الخوارزمية بتقييم جماعة من فضاء الحلول بدلاً من البدء مع نقطة واحدة منه ك محاولة أولى للتصميم.
- وعادة ما يتم اختيار عدد هذه النقاط كإحدى مضاعفات عدد متحولات التصميم. وباختيار نقاط هذه الجماعة عشوائياً تتفادى الخوارزمية الوقوع في فخ الحل الأمثل المحلي.

- تعالج الخوارزميات الجينية تابع الكفاءة، أو تابع الهدف، دون الحاجة لمشتقاته، وبذلك تتفادى الصعوبات الناتجة عن شذوذ هذه المشتقات وعدم تعريفها في كثير من النقاط. مما يسمح باستخدامها لحل مسائل التصميم الأمثل بأنواعها المستمرة والمتقطعة.
- تستخدم الخوارزميات الجينية قواعد الانتقال الاحتمالية للعثور على نقاط جديدة للتصميم، بدلاً من استخدام القواعد القطعية المعتمدة على التفاضل للحصول على هذه النقاط.
- تتنمي الخوارزمية الجينية إلى خوارزميات البحث الذكي عن الحل الأمثل، وتعتمد على مفاهيم الوراثة الطبيعية مثل التكاثر، التصلب والطفرة. وعلى مبدأ الاصطفاء الطبيعي في البقاء للأفضل.

النتائج والمناقشة:

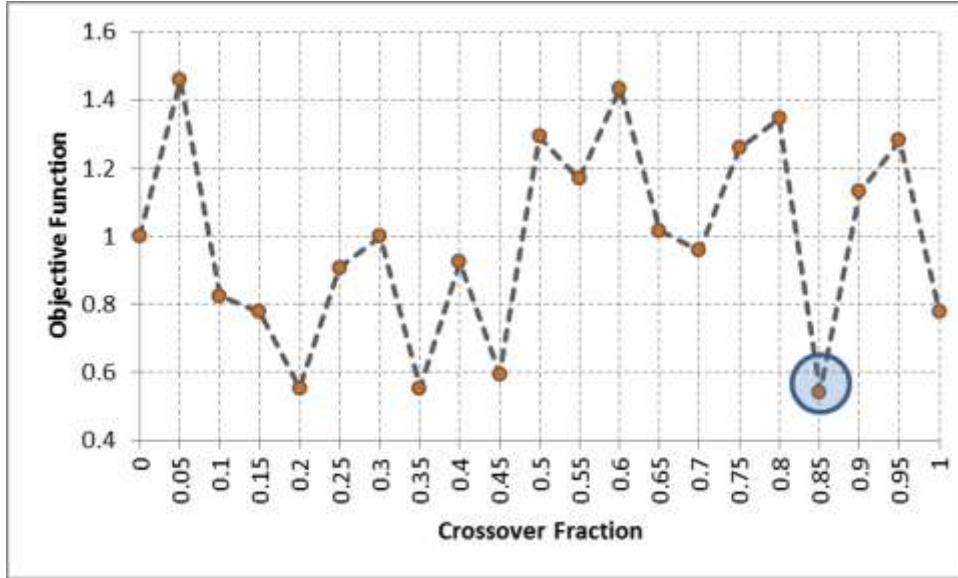
سنقوم بحل مسألة التصميم الأمثل لمقطع C نظامي ملفوف على البارد، وذلك في حالة جائز بسيط معرض لعزم صافي. حيث سنأخذ قيمةً مختلفة لطول الجائز تتراوح بين 1000 mm و 6000 mm بخطوة 500 mm. وقيم ثابتة للعزم الطرفي $M=1E^6$ Kn.m. كما هو مبين في الشكل (4).



الشكل رقم (4) جائز بسيط معرض لعزم صافي

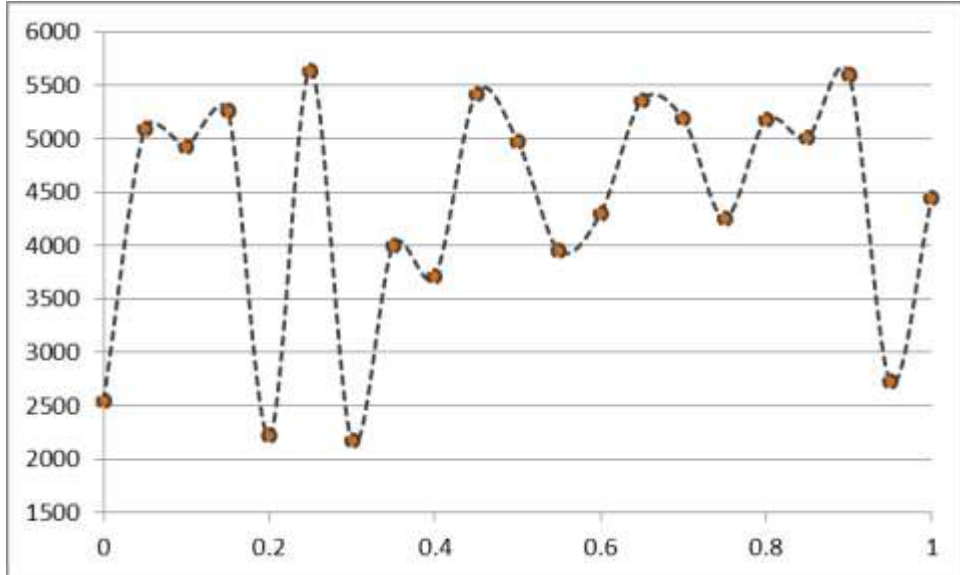
قمنا بكتابة برنامج حاسوبي لحل مسألة الأمثلة يتم توطينه في بيئة حاسوبية عصرية هي بيئة MATLAB. تؤمن هذه البيئة مرونة استخدام عالية وإمكانية انتشار واسعة. [13]

حيث يرتبط مع مكونات هذه البيئة المتعلقة بالخوارزمية الجينية. وبالبحث عن تأثير معاملات هذه الخوارزمية مثل عدد عناصر الجماعة، العدد الأعظمي للأجيال، معدل الطفرة والمعدل المسموح للتصلب، تبين أن الأخير يلعب دوراً مهماً في تحسين تقارب الحل. وللتغلب على صعوبة ضبط هذا المعامل، قمنا بتشغيل البرنامج أكثر من مرة باستخدام قيم مختلفة للمعدل المسموح للتصلب وبعد ذلك قمنا باختيار القيمة الأفضل لمسألتنا والتي تحقق القيمة الأصغر لتابع الهدف وذلك لكل حالة على حدة. يوضح الشكل (5) تغيير قيمة تابع الهدف مع المعدل المسموح للتصلب وذلك للحالة $L=4500$ mm.



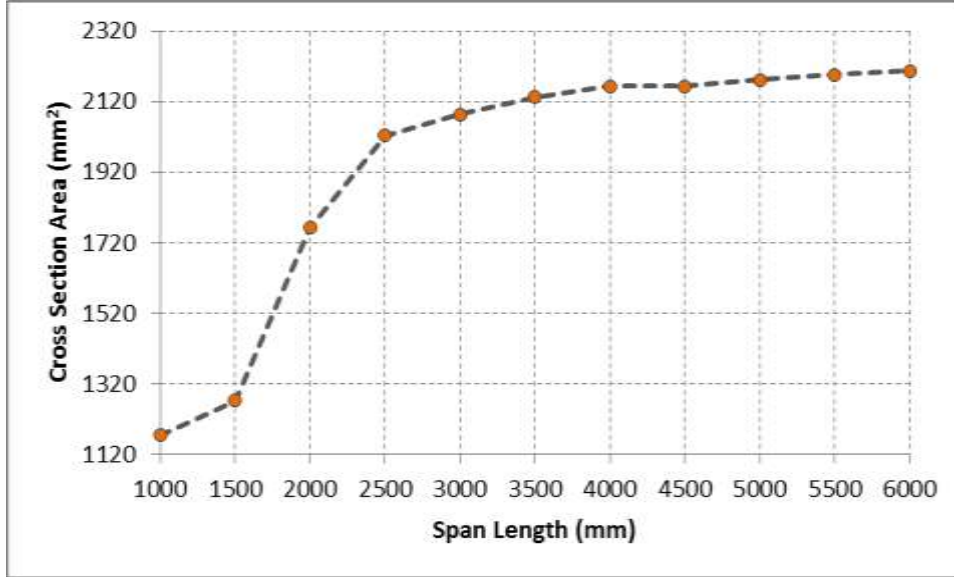
الشكل رقم (5) تغير قيمة تابع الهدف مع المعدل المسموح للتصالب $L = 4500 \text{ mm}$

بعد تشغيل البرنامج لكل الحالات المراد دراستها، تم اختيار المعدل المسموح للتصالب والذي يعطي القيمة الأقل لتابع الهدف لكل حالة على حدة. يبين الشكل (6) قيمة المعدل المسموح للتصالب الموافقة لكل جائق مدروس.



الشكل رقم (6) قيم المعدل المسموح للتصالب لكل الحالات المدروسة

قمنا بعد ذلك بحل المسألة مستخدمين قيمة ثابتة للعزم الطرفي المطبق، وقيم متغيرة لطول الجائز كما هو مذكور سابقاً بحيث حصلنا على القيمة الصغرى لتتابع الهدف كما هو مبين على الشكل (7) والذي يوضح تغير قيمة تابع الهدف مع طول الجائز .



الشكل رقم (7) تغير قيمة تابع الهدف مع المجاز

نبين في الجدول (1) نتائج الحل (قيم متغيرات التصميم + قيمة تابع الهدف) لكافة المجازات المدروسة للجائز البسيط المعرض لعزم صافي.

الجدول رقم (1) نتائج حل مسألة الأمثلة لجائز بسيط معرض لعزم صافي

L (mm)	h (mm)	b (mm)	t (mm)	c (mm)	B (mm)	A (mm ²)
1000	93.67009	93.67009	3.164953	45	400	1174.23
1500	136.952	108.1433	2.757769	53.94711	461.1327	1271.697
2000	167.8624	119.1264	3.42364	54.31015	514.7354	1762.269
2500	171.2882	85.6448	4.725247	42.79321	428.1643	2023.182
3000	164.2519	82.126	5.082118	40.77346	410.0508	2083.927
3500	164.1182	82.05909	5.236973	39.41108	407.0585	2131.754
4000	178.1056	89.05287	5.392973	22.39152	400.9944	2162.552
4500	161.8762	80.93824	5.37373	39.497	402.7467	2164.252
5000	172.2618	86.13088	5.433085	28.57657	401.6766	2182.344
5500	179.9951	89.99769	5.421821	22.51272	405.016	2195.924
6000	180.7889	90.39443	5.426751	22.63036	406.8384	2207.811

نلاحظ بشكل عام أن تابع الهدف متزايد مع المجاز بشكل يتوافق مع القواعد البسيطة لميكانيك المواد. من الواضح أن المنحني يتزايد بشكل مطرد باستثناء المنطقة القريبة من ($L = 2000 \text{ mm}$) حيث لاحظنا تزايداً واضحاً مع المجاز ويعود السبب في ذلك إلى تغير في القيود المسيطرة على الحل، حيث أنه لم يوجد أي قيد فعال المسيطر على الحل في هذه الحالة.

فبالنسبة لحالة طول الجائز $L = 1000 \text{ mm}$ كانت القيود الجيومترية الخاصة باشتراطات نظرية الجدران الرقيقة (g_5, g_8)، وقيد الاستقرار الموضوعي للجناح مع الشفة M_3 المسيطرة على الحل بشكل كبير، حيث كان هذا القيد هو القيد المسيطر الوحيد في حالة $L=1500 \text{ mm}$. أما بالنسبة للحالات الأخرى فإن قيد الاستقرار M_3 والقيد الجيومترية g_4 هما اللذان سيطرا على الحل. يبين الجدول (2) القيود الفعالة المسيطرة لكل حالة من الحالات المدروسة.

الجدول رقم (2) القيود الفعالة لكل حالة من الحالات المدروسة

L	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅	g ₆	g ₇	g ₈	g ₉
1000	-	-	×	-	-	-	-	-	-	-	×	-	-	×	×
1500	-	-	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2500	-	-	×	-	-	-	-	-	-	×	-	-	×	-	-
3000	-	-	×	-	-	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-
3500	-	-	×	-	-	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-
4000	-	-	×	-	-	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-
4500	-	-	×	-	-	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-
5000	-	-	×	-	-	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-
5500	-	-	×	-	-	-	-	-	-	×	-	×	-	-	-
6000	-	-	×	-	-	-	-	-	-	×	-	×	-	-	-

الاستنتاجات والتوصيات

- ✓ يمكن تطبيق الخوارزمية الجينية على مقاطع غير متناظرة مسحوبة على البارد كونها أعطت نتائج متوافقة مع القواعد البسيطة لميكانيك المواد. كما أنها قابلة للتعديل لإدخال قيود تصميمية متوافقة مع أية كودات أو أية متطلبات تصنيعية تفرضها تقنيات التشكيل.
- ✓ إن القيد المتعلق بالتحنيب الموضوعي للجناح مع الشفة هو القيد المسيطر وخصوصاً في المجازات الكبيرة.
- ✓ إن قيد الاستقرار الموضوعي للجناح مع الشفة M_3 كان القيد المسيطر الوحيد في حالة $L=1500 \text{ mm}$.

- واعتماداً على نتائج البحث يمكن وضع التوصيات الآتية:
- ✓ إجراء تحليل حساسية لدراسة المتغير الأكثر تأثيراً على المسألة المدروسة.
 - ✓ معالجة مسائل ذات حالات تحميل أكثر تعقيداً، ومسائل العناصر الإنشائية ذات المقاطع المتغيرة.
 - ✓ التوسع في معالجة قضايا الاستناد الجانبي وتأثيره على التحنّب الجانبي الفتلي.
 - ✓ دراسة تأثير نمط الاستناد الرئيسي على التصميم الأمثل لمقطع C نظامي في جائر رقيق الجدران وملفوف على البارد معرض للعزم الصافي.

المراجع:

- [1] KUMAR, Design of Steel Structures, Indian Institute of Technology in Madras. http://nptel.iitm.ac.in/courses/IIT-MADRAS/Design_Steel_Structures_II/
- [2] TIAN, J.; LU, T. J. *Minimum weight of cold-formed steel sections under compression*, Thin-Walled Structures, 42, 2004, 515-532.
- [3] LU, W. ; MIKELIIMEN , P.; and KESTE,J.. *Optimum Design Of Cold-Formed Steel Z-Shape Purlins Using A Genetic Algorithm*. Sixteenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures. Orlando, Florida USA, October 17-18, 2002
- [4] LEE, ,J. ; KIM, S. and et.al, *Optimum design of cold-formed steel channel beams using micro Genetic Algorithm*, Engineering Structures, 27, 2005, 17-24.
- [5] MAGNUCKI, K., LEWINSKI J., *Optimization Of Anti-Symmetrical Open Cross Sections Of Cold-Formed Thin-Walled Beams*. Journal Of Theoretical And Applied Mechanics 2009; 47(3):553–571.
- [6] LENG, J.; GUEST, J. K; and SCHAFER B. W., *Shape optimization of cold-formed steel columns*, Thin-Walled Structures, 49(12), 2011,1492–1503.
- [7] REDDY. *Exact Solutions For Buckling Of Structural Members*, CRC Press, 2005.
- [8] MAGNUCKI, K., and OSTWALD, M. (2005), *Optimal Design of Selected Open Cross Sections of Cold-Formed Thin-Walled Beams*, Publishing House of Poznan University of Technology.
- [9] ARORA J. S., *Introduction to Optimum Design*, (second edition), Elsevier, 2004.
- [10] MITCHELL, M. *An Introduction to Genetic Algorithms*. The MIT Press. 1996
- [11] LU, W. *Optimum Design Of Cold-Formed Steel Purlins Using Genetic Algorithms*. PHD Dissertation. Helsinki University of Technology Department of Civil and Environmental Engineering, 2003.
- [12] GOLDBERG D., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Press. 1989.
- [13] WILSON, H.B., TURCOTTE, L.H.; *Advanced Mathematics and Mechanics Applications Using MATLAB*, CRC Press LLC, 1997.