

استخدام الخوارزمية الجينية في التصميم الأمثل لعمود معدني رقيق الجدران خاضع لقوة محورية

د. باديه يوسف حيدر*

تاريخ الإيداع 16 / 1 / 2017. قُبل للنشر في 20 / 2 / 2017

□ ملخص □

تستخدم منتجات الفولاذ الرقيق على نطاق واسع في صناعة البناء حيث يتم تشكيلها على البارد من صفائح فولاذية ذات سماكات موحدة. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد المقطع الأمثل لعمود معدني مصنوع من فولاذ رقيق الجدران ومسحوب على البارد مقطعه C مع شفة معرض لعدة مستويات من القوى المحورية باستخدام الخوارزمية الجينية. توصل البحث إلى أن الخوارزمية الجينية قادرة على حل مسألة التصميم الأمثل للعمود المدروس بكفاءة عالية ودقة. كما توصل إلى أن القيد المتعلق بالتحنيب الفتلي الانعطافي بالإضافة إلى التحنيب الكلي باتجاه X هما القيود المسيطران في حالة الارتفاعات الكبيرة. توصي الدراسة بإعادة دراسة المسألة بحيث تصبح متعددة الأهداف وذلك بإضافة تابع هدف جديد إليها وهو التحنيب الكلي بالاتجاهين X,y.

الكلمات المفتاحية: مقطع C ذو شفة، عمود معدني رقيق الجدران، قوة محورية، التصميم الأمثل، الخوارزمية الجينية.

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

Using Genetic Algorithm in Optimum Design of C Section of Cold Formed Thin Walled Column subjected to Axial Force

Dr. Badia Haidar*

(Received 16 / 1 / 2017. Accepted 20 / 2 / 2017)

□ ABSTRACT □

Thin walled Steel products are very much used in the construction industry, where it is cold formed from uniform thickness steel plates. This study aims at determining the optimal section of cold formed thin walled lipped C compressed member under the effect of several levels of axial force using Genetic Algorithm.

The research found that the genetic algorithm is able to resolve the issue of the optimal design of studied column with high efficiency, accuracy. Also it found that the torsional flexural buckling constraint and the overall buckling constraint in x-direction are the effective constraints in case of long height.

The study recommends restudying the same issue as a multi objective optimization problem by adding additional objective functions which are the overall buckling in x&y directions.

Keywords: Lipped C section, thin walled steel coloumn, axial force, optimum design, genetic algorithm.

* Associate professor, Structural Engineering Department, faculty of Civil Engineering, Lattakia, SYRIA.

مقدمة:

لقد أثبتت العناصر الإنشائية الفولاذية المشكلة على البارد فعاليتها في تأمين مقاومة الجمل الإنشائية وفي تأمين صلابتها. ونظراً لقلّة سماكة مقاطع هذه العناصر وإمكانية تشكيلها ومنحها مقاطع جيومترية متنوعة، فإن قدرتها العالية، عندما تستخدم كعناصر شاقولية أو أفقية أو مائلة، على تلقي الحمولات، أخذة في الازدياد مع انتشار الجمل الإنشائية المختلطة (فولاذ - خرسانة). [1]

ومما ساعد على ازدياد استخدام الفولاذ المشكل على البارد في مختلف أنحاء العالم، هو قلة كلفة إنتاجه على شكل ألواح فولاذية رقيقة وتوضيبيها أو على شكل لفائف مطوية بالزنك لوحده أو بالزنك مع الألمنيوم، إذ يسهل لاحقاً تشكيل مقاطع رقيقة من هذه اللفائف باستخدام تقنيات التشكيل على البارد. وبسبب تعدد وتنوع أشكال هذه المقاطع التي فإن الخيارات المتاحة أمام مهندس التشكيل أو المصمم الإنشائي متعددة وكبيرة وسيكون من الصعب اختيار المقطع المناسب وظيفياً وإنشائياً اعتماداً على الحدس أو التجربة كما هو متبع في طرق التصميم التقليدية حيث يختار المهندس الخبير أبعاداً مناسبة للتصميم الأولي ثم يقوم بتحليل الإنشائي ومن نتائجه يقوم بالتحقق من خياره ويكرر ذلك عدة مرات حتى يصل إلى تصميم مرضٍ ليس بالضرورة أن يكون أمثلاً. لذلك كان لا بد من استخدام طرق التصميم الأمثل وفيها يتعدل المخطط النهجي لعملية التصميم لتصبح خوارزمية الأمثلة جزءاً أساسياً من هذه العملية وتكون مسؤولة عن تكرارها ذاتياً حتى الوصول إلى التصميم الأمثل الذي يحقق كافة المتطلبات المعتمدة.

تلخص الورقة التي نشرها (Parens, et. Al, 2012) الفتاوح التي تم الحصول عليها من الدراسة النظرية لأمثلة جيومترية (الشكل الهندسي) للمقاطع المفتوحة المشكلة على البارد في الجامعة التقنية في Cluj-Napoca في رومانيا. حيث تم تحليل المقاطع -C مع الشفاه تحت حمولة الضغط المحوري والعزم الصافي. واعتمدت قدرة تحمل المقطع المحسوبة وفقاً للمواصفات EN 1993/01/03، كعامل تقييم أداء لهذه المقاطع. وفي النهاية تم تصميم قائمة من مقاطع C ذات الشفاه لتكون جاهزة للتصنيع وذلك اعتماداً على نتائج دراسات بارامترية بالإضافة إلى إدراج مبادئ تقنيات الأمثلة. تظهر النتائج أن أداء مقاطع C ذات الجيومترية المثلى أفضل بكثير من تلك المتوفرة في السوق الرومانية، وذلك اعتماداً على مقارنة نسبة المقاومة إلى الوزن لكلا المجموعتين بالإضافة إلى ان استخدام النوع الأول بسط عملية التشكيل وحد من الخسائر المادية وخفض مدة الإنتاج. [2]

في دراسة أجراها (Lee et. Al, 2005)، تم البحث عن الشكل الأمثل للمقاطع العرضية للأعمدة ذات المقطع C مع أو بدون شفاه، والمصنوعة من فولاذ مسحوب على البارد، تحت تأثير ضغط محوري 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 الأصغر للأعمدة المصنوعة من الفولاذ المسحوب على البارد حيث تبين النتائج أن كفاءة المقطع C ذو الشفة تفوق كفاءة المقطع C بمقدار 15% وذلك لجميع مستويات الحمولة المطبقة. كما أظهر تحليل الحساسية أن شرط المقاومة المسموحة على الضغط هو القيد المسيطر والمحدد لمواصفات المقطع العرضي الأمثل، وفي بعض الحالات تصبح كلاً من نسبة عرض الجناح إلى ارتفاع الشفة بالإضافة إلى نسبة النحافة هي القيود الفعالة. [3]

أجرى (Leng J. et Al, 2014) بحثاً هدفاً فيه إلى البحث عن الشكل الأمثل لمقاطع الأعمدة الفولاذية المشكلة على البارد ذو قدرة تحمل محورية عظمى، بتطبيق قيود تصنيعية وجيومترية. حيث أعطت نتائج أعمال سابقة

أجراها الباحث لنفس المسألة غير المقيدة باستخدام طرائق البحث العشوائية والخوارزميات القائمة على التدرج زيادة في قدرة تحمل العمود تقدر بحوالي % 140 أعلى من قدرة التحمل المسموحة للمقطع. [4]

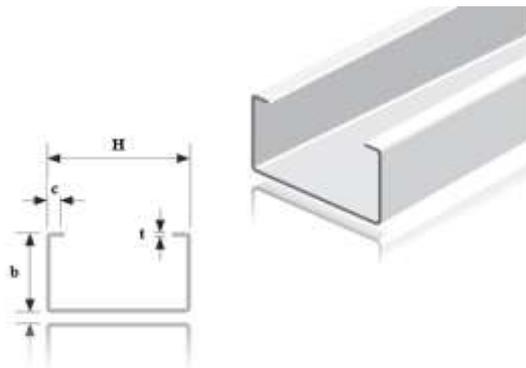
وهدفت الدراسة التي أجراها (Moharrami, 2014) إلى البحث عن طريقة الطي الأمثل لمقطع عرضي معدني، مفتوح ومشكل على البارد، تحت تأثير الضغط. يتم تعريف نقطة تصميم في فضاء الحلول، ابتداءً من عرض ثابت للفائف، وذلك بواسطة شعاع زوايا الانحناء في مجموعة من النقاط على عرض اللقافة. يتم حساب قوة الضغط الاسمية لشريحة معينة (تصميم معين مع مجموعة معينة من زوايا الانحناء) اعتماداً على طريقة تجمع بين طريقة الشرائط المنتهية المعممة (FSM) وطريقة القوة المباشرة (DSM). يتم البحث في فضاء الحلول في المقام الأول باستخدام خوارزمية بحث عشوائية، وهي الخوارزميات الجينية (GA). حيث يتم بعد ذلك تحسين النقطة الأقرب للحل الأمثل باستخدام طرائق التدرج التفاضلي. وللوصول إلى تصاميم عملية يتم إدراج قيود الخواص الهندسية للمقطع العرضي ضمن مسألة التصميم الأمثل. [5]

أهمية البحث وأهدافه:

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد المقطع الأمثل لعمود معدني مصنوع من فولاذ رقيق الجدران مسحوب على البارد مقطعه C مع شفة معرض لعدة مستويات من القوى المحورية وذلك باستخدام الخوارزمية الجينية بعد إضافة القيود التصنيعية التي تعكس عمليات طي المقطع غير المتناظر. كما تهدف إلى تطوير أداة أمثلة يمكن تطبيقها على مقاطع عرضية مختلفة التعقيد، بحيث يمكن حل مسألة التصميم الأمثل لهذه المقاطع بسهولة.

طرائق البحث ومواده:

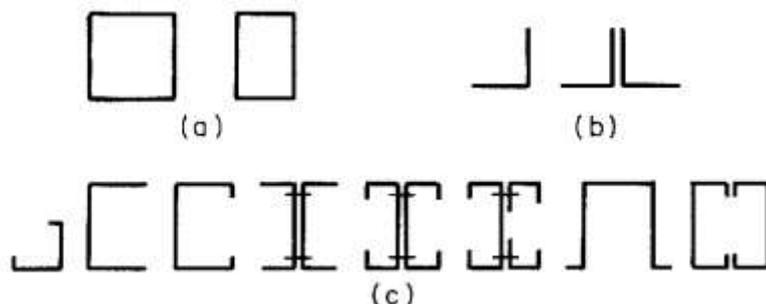
تتوفر الشرائط و الصفائح المعدنية المشكلة على الساخن في الأسواق بأبعاد وقياسات مناسبة لنقلها وتخزينها، وتشكل منها على البارد، باستخدام تقنيات الطي، المقاطع رقيقة الجدران. مثال ذلك المقطع C الذي سنتم دراسته في هذا البحث والمبين على الشكل (1).



الشكل رقم (1) المقطع العرضي للعمود المدروس

النماذج الرياضية لدراسة سلوك العناصر المضغوطة:

يمكن استخدام العناصر المعدنية المضغوطة رقيقة الجدران والمسحوبة على البارد، بشكل مشابه لتلك الثقيلة المشكلة على الساخن، لتحمل حمولة الضغط المحوري المطبق على المقطع العرضي. يمكن أن يكون المقطع العرضي للعنصر المضغوط مكوناً بالكامل من عناصر مقواة الشكل (2-a)، أو من عناصر حرة الشكل (2-b)، أو مزيج من العناصر المقواة والحرّة (2-c).



الشكل رقم (2) الأشكال المختلفة للعناصر المضغوطة

تصنع المقاطع المسحوبة على البارد من مواد رقيقة، وفي كثير من الحالات، فإن مركز القص لا يتطابق مع مركز ثقل المقطع. لذلك وأثناء تصميم هذه العناصر على الضغط، واعتماداً على تشكيل المقطع، سمك المادة وارتفاع العمود المستخدم يجب إيلاء الحالات الحدية المتعلقة بالخضوع، التحنّب الكلي للعمود، والتحنّب الموضعي لكل عنصر من العناصر المكونة للمقطع، المزيد من الاهتمام [6].

تعتمد معظم هذه النماذج على قانون سلوك مرن-خطي وتدخل في تقديرها للانتقالات والتشوهات بعض العوامل غير الخطية الجيومترية [7].

تستنتج هيئات الكودات والمواصفات بناءً على ماسبق شروط أو متطلبات تصميم العناصر المضغوطة ذات

المقاطع الرقيقة والمسحوبة على البارد وتصنفها إلى: [6]

1. الخضوع.

2. التحنّب الكلي للعمود، ويشمل: التحنّب الانعطافي والتحنّب الفتلي الانعطافي.

3. التحنّب الموضعي لكل عنصر من العناصر المكونة للمقطع.

1. **متطلب الخضوع:** من المعروف أن الأعمدة القصيرة compact الخاضعة لتأثير قوة محورية، تنهار

بالخضوع. تعطى حمولة الخضوع بالعلاقة:

$$P_y = A.F_y \quad (1)$$

حيث A هي مساحة المقطع العرضي.

Fy إجهاد الخضوع للفولاذ.

2. **التحنّب الكلي للعمود:** إن المقاطع المغلقة، بشكل عام، لاتحنّب بالفتل، وذلك بسبب صلابتها

العالية على الفتل. على العكس من ذلك، فإن المقاطع المفتوحة رقيقة الجدران تملك ثلاثة أنماط للانهايار يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار أثناء التصميم لتحقيق الاستقرار الكلي. تصنف هذه الأنماط إلى:

a. **التحنّب الانعطافي:** تعطى علاقة حمولة التحنّب الحرجة، لعمود طويل، بالعلاقة:

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (2)$$

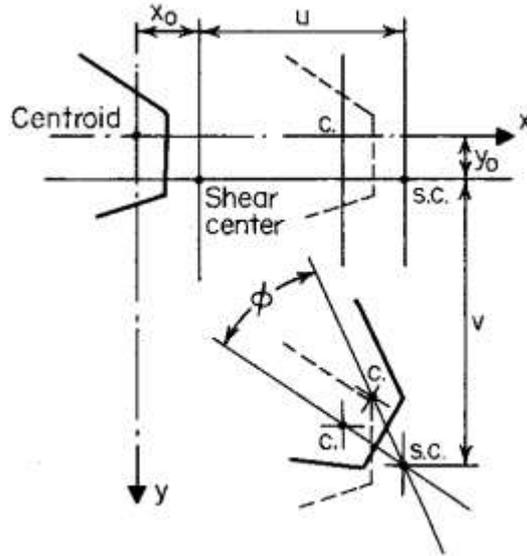
حيث: I عزم العطالة، K معامل الطول الفعال حيث $K=1$ لعمود مستند استناد بسيط و $k=0.7$ للعمود الموثوق. [8]

يجب الانتباه إلى أنه في مقطع C تؤخذ حمولة التحنيب بالاتجاهين x, y بعين الاعتبار. [6]

$$P_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(KL)^2} \quad (3)$$

$$P_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(KL)^2}$$

b. التحنيب الفتلي الانعطافي: عندما يحنب العمود تبعاً للنمط الفتلي الانعطافي، فإن انعطاف والتواء المقطع يحصلان في وقت واحد. يبين الشكل (3) الانتقالات في المقطع تبعاً لنمط التحنيب الفتلي الانعطافي. نلاحظ أن المقطع ينسحب بمقدار u, v على المحورين x, y على الترتيب، ويدور زاوية ϕ حول مركز القص.



الشكل رقم (3) انتقالات مقطع غير متناظر تبعاً للتحنيب الفتلي الانعطافي

تم التطرق إلى حل معادلات التوازن التفاضلية التي يخضع لها المقطع المذكور في الكثير من المراجع [9]. حيث تعطى قيمة قوة التحنيب الفتلي الانعطافي بالدرجة بالعلاقة:

$$P_{tf} = \frac{P_t P_{ex}}{P_t + P_{ex}} \quad (4)$$

حيث:

P_t حمولة التحنيب الفتلي وتعطى بالعلاقة:

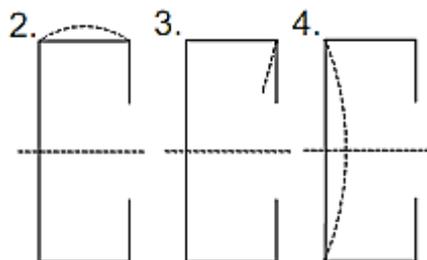
$$P_t = \frac{1}{r_0^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 EC_w}{(K_t L)^2} \right] \quad (5)$$

حيث: J ثابت فتل سان فينانت. r_0 نصف قطر العطالة القطبي حول مركز القص.

G معامل مرونة القص. C_w ثابت الالتواء.

K_t معامل الطول الفعال الخاص بالتحنيب الفتلي.

3. **التحنيب الموضعي:** تكون المنشآت الفولاذية المسحوبة 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 (4) أنماط التحنيب الموضعي التي تتعرض لها الأضلاع المختلفة المشكلة للمقطع.



الشكل رقم (4) أنماط التحنيب الموضعي للأضلاع المشكلة للمقطع

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

$$\sigma_{lbi} = \frac{k_i \pi^2 (t / b_i)^2}{12(1-\nu^2)} \quad (6)$$

اشتراطات الأبعاد:

استناداً إلى الكود الاوروبي Eurocode 3 part 1-3 [10]، تحدد القيمة الأعظمية لنسب العرض إلى السماكة b/t للعناصر المضغوطة غير المقواة، مثل الجناح المضغوط في مقطع C نظامي، أو للعناصر المضغوطة والتي لها استناد طولاني بالجسد من جهة ومن الجهة الأخرى مقواة بالشفة، كما هو الحال في الجناح المضغوط في مقطع C ذو شفة. تحدد هذه القيمة بـ 60. وأما القيمة الأعظمية لنسب الارتفاع إلى السماكة بـ 500.

الصياغة الرياضية لمسألة الأمثلة: [11]

لقد تطورت منهجية البحث عن الحل الأمثل إلى صيغة رياضية محكمة نعبر عنها نصاً على الشكل التالي: إيجاد القيمة الحدية (العظمى أو الدنيا) لتابع معرف على متحولات محددة شريطة تحقيق بعض القيود الإضافية المعبر عنها بمتراجحات أو بمتطابقات.

تعتمد صياغة مسألة التصميم الأمثل على الخطوات التالية: [11]

1. اختيار متحولات التصميم: يجب قبل البدء بصياغة أية مسألة أمثلة توصيف متحولات التصميم بشكل دقيق. تكون متحولات التصميم، بشكل عام، مستقلة عن بعضها البعض.
2. اختيار تابع الهدف: وهي الخطوة التالية بعد اختيار المتحولات، ويستخدم تابع الهدف (أو تابع الكلفة في مسائل التصغير) لقياس جودة كل من التصاميم الممكنة. وهو تابع حقيقي يعتمد بشكل صريح أو ضمني على متحولات التصميم.
3. اعتماد القيود: لكل تصميم قيود يجب أن تُحترم، كالمقاومة، القدرة على أداء الوظيفة (التشغيل)، وبعض القيود المتعلقة بتوفر الموارد المادية وغيرها. بشكل عام تكون القيود الأساسية تابعة لمتحولات التصميم التي عليها أيضاً أن تحقق قيوداً إضافية تعبر عن الحدود الدنيا والعظمى المفروضة على هذه المتحولات لاعتبارات نظرية أو عملية مختلفة.

وتصاغ مسألة الأمثلة رياضياً على النحو التالي:

$$\begin{aligned} & \text{minimize } f_i(x), \quad (i = 1, 2, \dots, M) \\ & \text{subject to } \begin{cases} \phi_j(x) = 0, \quad (j = 1, 2, \dots, J) \\ \psi_k(x) \leq 0, \quad (k = 1, 2, \dots, K) \end{cases} \quad (7) \end{aligned}$$

حيث: $f_i(x)$ توابع الهدف، $\phi_j(x)$ قيود المساواة و $\psi_k(x)$ قيود المتراجحات، جميعها توابع لشعاع

$$.x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$$

تقسم طرائق الحل إلى نوعين رئيسيين. يعتمد الأول على مبادئ التفاضل وحساب المشتقات ويصبح تطبيقه

صعباً كلما كانت توابع القيود وتوابع الهدف معقدة. بينما يعتمد الثاني على آلية البحث والتجري. وقد شهد العقدان الأخيران أبحاثاً وأطروحات لتطبيق طرائق النوع الثاني في مجال الخرسانة المسلحة [12] وفي مجال المنشآت المعدنية [13]. بالإضافة إلى النوعين السابقين هناك طريقة حل تخطيطية بسيطة في حالة المسائل التي تحوي فقط متحولي تصميم.

النموذج الرياضي لمسألة الأمثلة:

سيكون تابع الهدف هو مساحة المقطع العرضي للعمود،. فيكون: $F(x_i) = A$

بعد عرض تابع الهدف وجميع قيود التصميم يمكن أن نلخص المسألة ونكتبها بالصياغة الرياضية على الشكل

الآتي:

$$\begin{aligned} & \text{min } f(x) = (2c + 2b + h)t \\ & \text{subject to } \begin{cases} P \leq P_i \\ \frac{b}{t} \leq 60 \\ \frac{h}{t} \leq 500 \\ \frac{c}{t} \leq 50 \\ 0.2 \leq \frac{c}{b} \leq 0.6 \\ 2c + 2b + h = B \end{cases} \quad (8) \end{aligned}$$

حيث P_i هي الشروط الناتجة من المعادلات 2,3,4,5,6.

P_1 : القيد المتعلق بقوة الخضوع	P_2 : القيد المتعلق بالتحنيب الانعطافي باتجاه x .	P_3 : القيد المتعلق بالتحنيب الانعطافي باتجاه y .
P_4 : القيد المتعلق بالتحنيب الفتلي الانعطافي.	P_5 : القيد المتعلق بالتحنيب الموضعي للجسد.	P_6 : القيد المتعلق بالتحنيب الموضعي للجناح.
P_7 : القيد المتعلق بالتحنيب الموضعي للشفة.	P_8 : القيد المتعلق بنسبة النحافة باتجاه x .	P_9 : القيد المتعلق بنسبة النحافة باتجاه x .

نلاحظ من طبيعة المسألة المدروسة وهي تصميم المقاطع المسحوبة على البارد أن توابع القيود المفروضة ذات أشكال معقدة وتحتوي على نقاط شاذة بحيث لا يمكن معها استخدام طرائق التدرج التفاضلية فكان لا بد من التوجه نحو ما يسمى تقنيات البحث وبعد الدراسة وقع اختيارنا من بين تقنيات البحث العشوائي الموجه على الخوارزمية الجينية والتي تعتمد مبدأ البقاء للأفضل نظراً لانتشارها الواسع في مجالات التطبيقات الهندسية.

الخوارزمية الجينية:

عرضت هذه الخوارزمية بشكلها المكتمل من قبل *Holland* الذي قدمها في منتصف السبعينات إلا أن فكرتها الأساسية التي تعتمد على مبدأ التطور البيولوجي تعود إلى أعمال *Rechenberg* التي سبقت ذلك بعقد من الزمن [14].

تنتمي هذه الخوارزمية إلى خوارزميات البحث الذكي عن الحل الأمثل وتعتمد على مفاهيم الوراثة الطبيعية مثل التكاثر، التصالب والطفرة. وعلى مبدأ الاصطفاء الطبيعي في البقاء للأفضل.

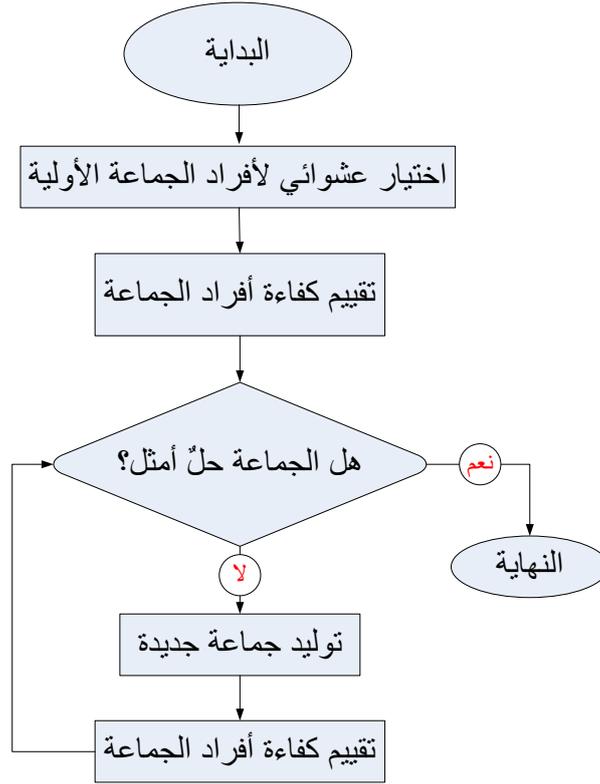
يوضح الشكل رقم (5) مراحل الخوارزمية الجينية: تبدأ الخوارزمية بجماعة من فضاء الحلول *population* وهي مجموعة حلول ضمن الحدود الدنيا والعليا لمتحولات التصميم، وكل حد منها يسمى فرداً *Individual* ويُشكّل من مجموعة قيم لمتحولات التصميم يتم تحويلها من نظام العد العشري إلى نظام العد الثنائي بقواعد معروفة بغض النظر عن طبيعتها الرياضية. ثم تتم عملية ترتيب الأفراد كل حسب كفاءته من أجل إشراكه في عملية إنتاج الجيل الجديد وفقاً لقواعد محددة (مؤثرات). ومن أهم مزايا الخوارزمية الجينية:

- تسمح الخوارزمية كامل الفضاء ببديها بتقييم جماعة منه بدلاً من البدء مع نقطة واحدة كمحاولة أولى للتصميم.

- تستخدم تابع الهدف دون مشتقاته وبذلك تتفادى الصعوبات الناتجة عن شذوذ هذه المشتقات.

- تعتمد على التمثيل الثنائي لمتحولات التصميم.

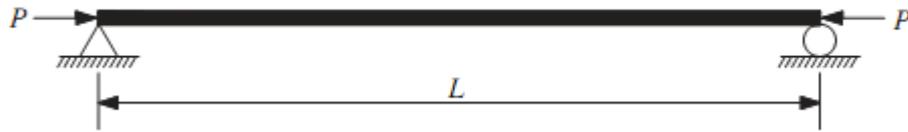
- يتم الانتقال من جيل إلى آخر باختيار عشوائي.



الشكل رقم (5) مراحل الخوارزمية الجينية

النتائج والمناقشة:

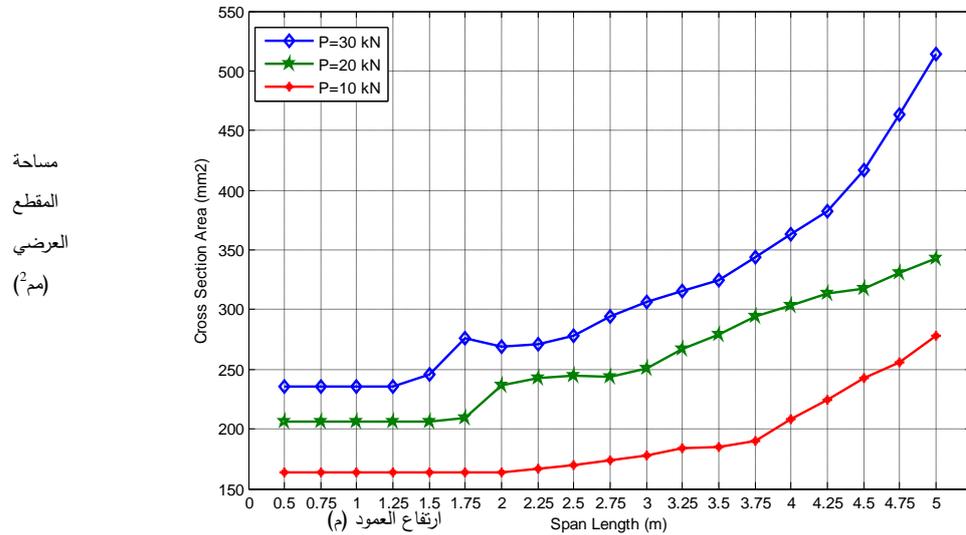
سنقوم بحل مسألة التصميم الأمثل لمقطع C ذو شفة ملفوف على البارد، وذلك في حالة عنصر ذو استناد بسيط معرض لقوة ضاغطة محورية. حيث سنأخذ قيماً مختلفة لطول العمود تتراوح بين 500 mm و 5000 mm بخطوة 250 mm. وقيم للقوة الضاغطة $P=10,20,30$ kN. كما هو مبين في الشكل (6).



الشكل رقم (6) عنصر مضغوط معرض لحمولة مركزية

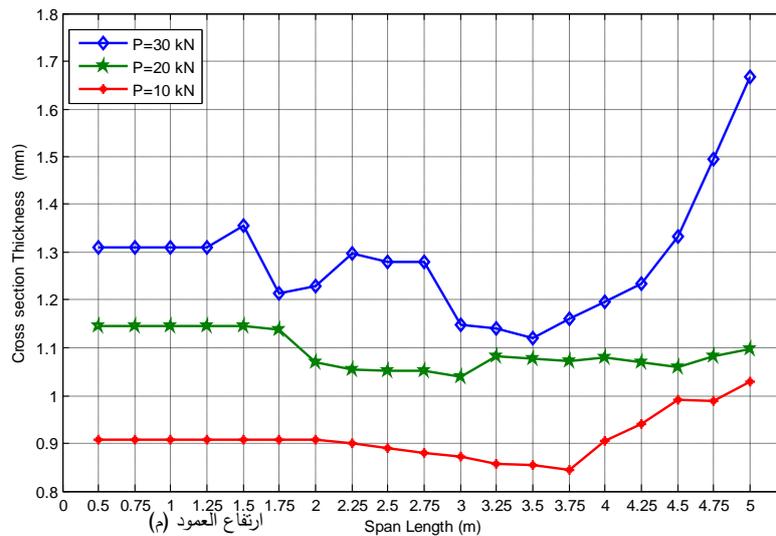
قمنا بكتابة برنامج حاسوبي لحل مسألة الأمثلة يتم توطينه في بيئة حاسوبية عصرية هي بيئة MATLAB. تؤمن هذه البيئة مرونة استخدام عالية وإمكانية انتشار واسعة. [15] وبالبحث عن تأثير معاملات هذه الخوارزمية مثل عدد عناصر الجماعة، العدد الأعظمي للأجيال، معدل الطفرة والمعدل المسموح للتصالب، تبين أن الأخير يلعب دوراً مهماً في تحسين تقارب الحل. وللتغلب على صعوبة ضبط هذا المعامل، قمنا بتشغيل البرنامج أكثر من مرة باستخدام قيم مختلفة للمعدل المسموح للتصالب وبعد ذلك قمنا باختيار القيمة الأفضل لمسألتنا والتي تحقق القيمة الأصغر لتابع الهدف وذلك لكل حالة على حدة.

قمنا بعد ذلك بحل المسألة مستخدمين قيم مختلفة للقوة المحورية، 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 العمود. نلاحظ بشكل عام أن تابع الهدف متزايد بشكل يتوافق مع القواعد البسيطة لميكانيك المواد.

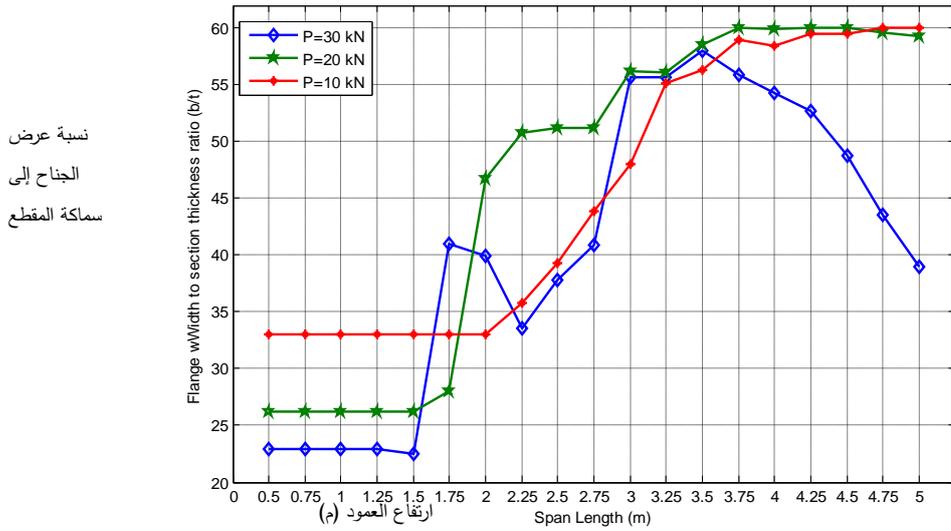


الشكل رقم (7) تغير قيمة تابع الهدف مع المجاز

نلاحظ من الشكل (8) أنه لأطوال قصيرة نسبياً فإن السماكة غير متأثرة بتغير طول المجاز وإنما ما يحكم المقطع الأمثل هو الحد الأدنى لارتفاعه H_L .
يبين الشكل (9) أنه وللمجازات الأكبر وحالة 10,20 kN فإن المقطع الأمثل محدد بالحد الأعلى لنسبة b/t حيث يكون هو القيد الفعال. بينما لا يكون هو القيد المسيطر في حالة 30kN وذلك لأن المقطع الأمثل في هذه الحالة محكوم بالحد الأعلى لعرض الجناح b_U والحد الأعلى لطول الشفة.

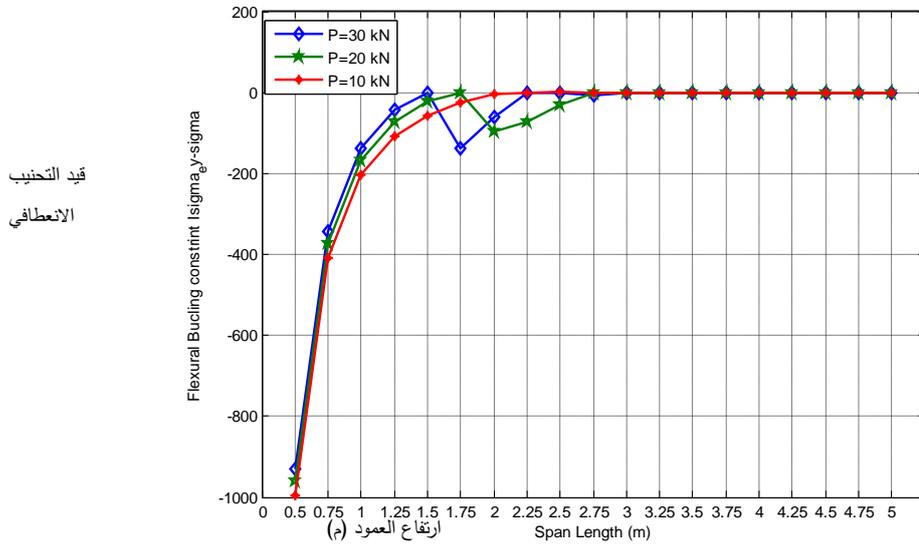


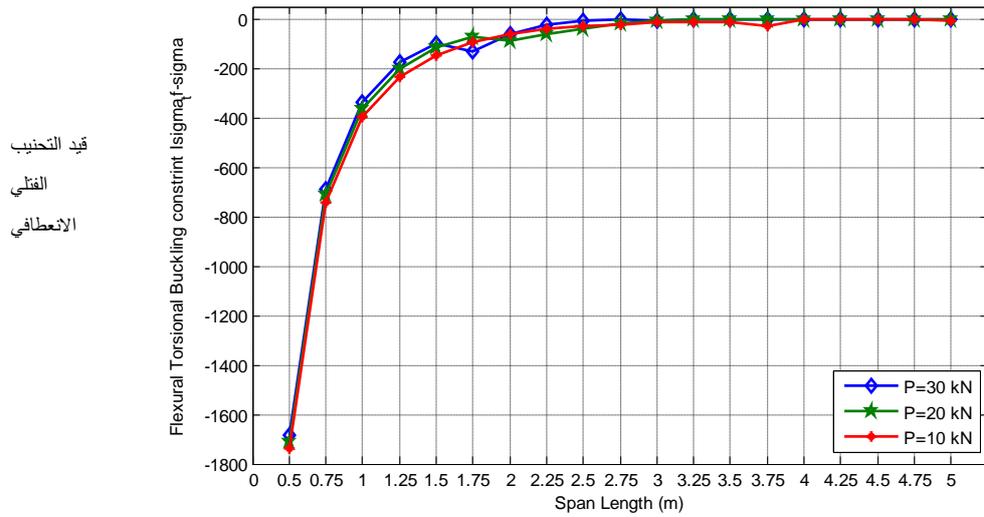
الشكل رقم (8) تغير سماكة المقطع مع المجاز



الشكل رقم (9) تغير نسبة عرض الجناح إلى سماكة المقطع مع المجاز

نلاحظ من الشكل (10) أن القيد المتعلق بشرط بقوة التحنيد الانعطافي باتجاه y هو أيضاً قيد فعال في حالة المجازات الأكبر من (2m) إلا في حالة $p=10\text{kN}$ & $L=3.75\text{ m}$ حيث أن الحل هنا محكوم بالنسبة c/t .
ويبين الشكل (11) أن قيد التحنيد الفتلي الانعطافي ($p4$) هو القيد المسيطر على الحل (القيد الفعال) لكل حالات التحميل المدروسة بدءاً من المجاز 2.5m.

الشكل رقم (10) تغير قيمة قيد التحنيد الانعطافي باتجاه y مع المجاز



قيد التحنيد
الفتلي
الانعطافي

الشكل رقم (11) تغير قيمة قيد التحنيد الفتلي الانعطافي مع المجاز

يبين الجدول (2) القيود الفعالة المسيطرة لكل حالة من الحالات المدروسة.

الجدول رقم (2-a) القيود الفعالة لحالة P=10 kN

P = 10 kN														
L	P ₁	P ₂	P ₃	P _{4tf}	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅
0.5	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.75	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.0	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.25	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.75	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.25	-	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	-	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.75	-	-	x	x	x	-	-	-	-	x	-	-	-	-
3.0	-	-	x	x	x	-	-	x	-	x	-	-	-	x
3.25	-	-	x	x	x	-	-	x	-	x	-	-	-	x
3.5	-	-	x	x	x	-	-	x	-	x	-	-	-	x
3.75	-	-	-	x	-	-	-	x	-	x	x	-	-	x
4.0	-	-	x	x	-	-	-	x	-	x	-	-	-	x
4.25	-	-	x	x	-	-	-	x	-	x	-	-	-	x

4.5	-	-	×	×	-	-	-	×	-	×	-	-	-	×
4.75	-	-	×	×	-	-	-	×	-	×	-	-	-	×
5.0	-	-	×	×	-	-	-	×	-	×	-	-	-	×

الجدول رقم (2-b) القيود الفعالة لحالة P=20 kN

P = 20 kN														
L	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅
0.5	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.75	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.0	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.25	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.75	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	-	-	×	-	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.25	-	-	×	-	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	-	-	×	×	×	-	-	×	-	-	-	-	-	-
2.75	-	-	×	×	×	-	-	×	-	-	-	-	-	-
3.0	-	-	×	×	×	-	-	×	-	-	-	-	-	×
3.25	-	-	×	×	-	-	-	×	-	×	-	-	-	×
3.5	-	-	×	×	-	-	-	×	-	×	-	-	-	×
3.75	-	-	×	×	-	-	-	×	-	×	-	-	-	×
4.0	-	-	×	×	-	-	-	×	-	×	-	-	-	×
4.25	-	-	×	×	-	-	-	×	-	×	-	-	-	×
4.5	-	-	×	×	-	-	-	×	-	×	-	-	-	×
4.75	-	-	×	×	-	-	-	×	-	×	-	-	-	×
5.0	-	-	×	×	-	-	-	×	-	×	-	-	-	×

الجدول رقم (2-c) القيود الفعالة لحالة P=30 kN

P = 30 kN														
L	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅
0.5	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.75	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.0	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-

P = 30 kN														
L	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅
1.25	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	-	-	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.25	-	-	×	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	-	-	×	×	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-
2.75	-	-	×	×	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-
3.0	-	-	×	×	×	-	-	×	-	-	-	-	-	-
3.25	-	-	×	×	×	-	-	×	-	-	-	-	-	-
3.5	-	-	×	×	×	-	-	×	-	-	-	-	-	-
3.75	-	-	×	×	×	-	-	×	-	-	-	-	-	-
4.0	-	-	×	×	×	-	-	×	-	-	-	-	-	-
4.25	-	-	×	×	×	-	-	×	-	-	-	-	-	-
4.5	-	-	×	×	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-
4.75	-	-	×	×	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-
5.0	-	-	×	×	-	-	-	×	-	-	-	-	-	-

الاستنتاجات والتوصيات:

- ✓ أثبتت الخوارزمية الجينية قدرتها على حل مسألة التصميم الأمثل لعمود معدني مسحوب على البارد بكفاءة وسرعة وبدقة تتوافق مع قواعد ميكانيك المواد.
- ✓ إن القيد المتعلق بالتحنيب الفتلي الانعطافي بالإضافة إلى التحنيب الكلي باتجاه y هما القيودان المسيطران في المجازات الكبيرة.
- ✓ لم تتأثر سماكة المقطع بتغير طول المجاز وذلك لأطوال صغيرة لا تتجاوز $L=1500$ mm.
- ✓ أداة الأمثلة التي تم التوصل إليها قابلة للتعديل وفق أية متطلبات جديدة.
- واعتماداً على نتائج البحث يمكن وضع التوصيات الآتية:
- ✓ دراسة المسألة بشكل آخر بحيث تصبح متعددة الأهداف باعتماد التحنيب الكلي كتابع هدف بالإضافة إلى مساحة المقطع العرضي.
- ✓ تطوير الدراسة بحيث تشمل حالات استناد مختلفة.

المراجع:

- [1] DUBINĂ, D. SI VAYAS,I. ; *Cold-formed steel design*, Ed. Kleidarithmos, Atena Grecia.2004
- [2] PAUL M. PERNES et.al; *Optimized sections for cold formed steel channel profiles under compression and bending according to EN1993-1-3*, Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture Vol. 55, No. 3 (2012)
- [3] 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.
- [4] JIAZHEN LENG, and et.al; *Shape optimization of cold-formed steel columns with fabrication and geometric end-use constraints*, Thin-Walled Structures 85 (2014) 271–290
- [5] MOHARRAMI. M., LOUHGHALAM .A., TOOTKABONI .M.; *Optimal folding of cold formed steel cross sections under compression*, Thin-Walled Structures 76 (2014) 145–156
- [6] YU WW. *Cold-formed steel design*. New York: John Wiley and Sons; 2000.(17)
- [7] REDDY. *Exact Solutions for Buckling Of Structural Members*, CRC Press, 2005.
- [8] British Standard Institution. *British Standard: structural use of steelwork in building*, Part 5, Code of practice for design of cold-formed section, BS 5959, 1998.
- [9] CHAJES, A., P. J. FANG, AND G. WINTER: “*Torsional-Flexural Buckling, Elastic and Inelastic, of Cold-Formed Thin-Walled Columns,*” engineering research bulletin 66-1, Cornell University, Aug. 1966.
- [10] Eurocode 3, EN 1993 1-3: 2004, “Part 1-3: General Rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting”, European Committee for Standardization, Brussels, 2004.
- [11] ARORA J. S., *Introduction to Optimum Design*, (second edition), Elsevier, 2004.
- [12] COELLO C. A., CHRISTIANSEN A. D. AND HERNADEZ F. *A Simple Genetic Algorithm for the Design of Reinforced Concrete Beams*. Engineering with Computers 1997; 13: 185-196.
- [13] LU, W.; *Optimum Design of Cold-Formed Steel Purlins using Genetic Algorithms*. Ph.D. Dissertation, Helsinki University, 2003.
- [14] SIVANANDAM, S.N., DEEPA, S.N. , *Introduction to Genetic Algorithms*, Springer.2008
- [15] WILSON, H.B., TURCOTTE, L.H.; *Advanced Mathematics and Mechanics Applications Using MATLAB*, CRC Press LLC, 1997.