

تصميم المقاطع المعدنية الأكثر كفاءة للتحنيب الفتلي باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية

د. نعمان عيسى*
د. سماح مكية**
رنيم نادر الوفائي***

(تاريخ الإيداع 28 / 8 / 2018. قِيلَ للنشر في 24 / 4 / 2019)

□ ملخص □

يعرض هذا البحث كيفية إيجاد المقطع المعدني الأكثر كفاءة على التحنيب الفتلي دون الحاجة إلى تدعيم إضافي باستخدام تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية حيث تم صياغة النموذج الرياضي للتصميم الأمثل لمقطع معدني مركب (ملحوم) مكافئ للمقطع القياسي HE على التحنيب الفتلي بما يتوافق مع الكود الأوروبي المعتمد حالياً في سورية باستخدام البرمجة اللاخطية المتضمنة في برنامج لينغو كي تعطينا عينات لمقاطع أمثلية (أكثر كفاءة) للتحنيب الفتلي من أجل خلق قاعدة بيانات من نتائج هذا البرنامج لاستخدامها كمدخلات في تصميم الشبكة العصبية الاصطناعية .

وقد تم اختيار التصميم الأمثل بما يرضي الشروط الهندسية والسلوكية الموصى به في الكود الأوروبي وبحيث يعطي التكلفة الأدنى للعنصر مع اختيار متغيرات التصميم الأكثر تأثيراً في كلفة العنصر المعدني وهي العرض (b) والارتفاع (h) .

تم أخذ 140 عينة لاستخدامها في تصميم الشبكة العصبية الاصطناعية وتدريب الشبكة عليها ومن ثم اختبارها والتأكد من فاعليتها في إيجاد الشكل الأمثل. استطاع نموذج الشبكة المصممة التنبؤ بالعرض b والارتفاع h للمقطع المطلوب مع دقة في التصميم لتلبية جميع القيود .

الكلمات المفتاحية: التصميم الأمثل ، برمجة لاخطية، التحنيب الفتلي ، الشبكات العصبية الاصطناعية ، برنامج اللينغو .

* مدرس ، قسم الهندسة الإنشائية ، كلية الهندسة المدنية ، جامعة تشرين ، اللاذقية ، سورية .
** مدرس ، قسم هندسة وإدارة التشييد ، كلية الهندسة المدنية ، جامعة تشرين ، اللاذقية ، سورية .
*** طالبة ماجستير ، قسم الهندسة الإنشائية ، كلية الهندسة المدنية ، جامعة تشرين ، اللاذقية ، سورية .

Optimum design of steel sections in torsional buckling by using Artificial Neural Networks

Dr. Noman Eisa*
Dr. Samah Makkiah**
Raneem Nader Alwafaei***

(Received 28 / 8 / 2018. Accepted 24 / 4 / 2019)

□ ABSTRACT □

In this paper we will study how to find the most efficient steel section in torsional buckling without the need for additional consolidation by using Artificial Neural Networks based on one of the methods of nonlinear programming (Lingo program).

The mathematical model of optimal design was formulated in accordance with the European code using the Lingo program to give us samples for optimal sections (the most efficient) in torsional buckling in order to create a database of the results of this program to be used as input in the design of the Artificial Neural Network .

The design has been chosen to suit the engineering and behavioral requirements as recommended in the European code and to give the minimum cost of the member.

The most cost effective design variables were chosen namely width (b) and height (h).

In this search: 140 samples were taken for use in Artificial Neural Network design , the network has been trained on them , tested and made sure of their effectiveness in finding the optimal format .

So we designed a software program that allows any user to take advantage of the network design to find the desired optimization section .

Keywords: optimum design , nonlinear programming , torsional buckling , Artificial Neural Network , Lingo program .

* Assistant Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

** Assistant Professor, Department of Construction Management, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

*** Postgraduate student, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

مقدمة :

يقودنا الوضع الراهن لوطننا سورية وما تعرض له من دمار لمختلف قطاعات الدولة إلى اللجوء إلى استخدام أبنية مسبقة الصنع واستخدام جوائز وأعمدة معدنية وأبنية مختلطة بشكل أوسع، وهذه المنشآت تكون خاضعة لمختلف أنواع الإجهادات ومن بينها إجهادات القص الناجمة عن عزم الفتل الذي نحن بصدد دراسته في هذا البحث. تلعب الناحية الاقتصادية دوراً كبيراً "جداً" لذلك علينا البحث عن التصميم الأمثل (optimum design) للمنشآت الهندسية أي: (تحقيق جميع شروط التصميم بأقل التكاليف)، وقد بذلت في السنوات الأخيرة جهوداً كبيرة لحوسبة عمليات التصميم .

تعتبر الشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial Neural Networks) تقنية جديدة تحاكي تقريباً "الدماغ البشرية" وتم تطبيقها بنجاح في العديد من المجالات الهندسية وهي تستند إلى مبادئ بسيطة جداً ولكنها تستفيد من طبيعتها الرياضية التكرارية غير الخطية، ويعتبر اختيار المعايير الأساسية في تصميم الشبكة هو ما يحدد نجاح عملية التدريب (كفاءتها).

ومن المجالات الهندسية الإنشائية التي طبقت فيها تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية نمذجة هياكل إنشائية متعددة الطوابق وتحليلها تحت تأثير الحمل الميت وقوى الرياح [1] ، وطبقت أيضاً الشبكات العصبية الاصطناعية في إيجاد التصميم الأمثل للمقاطع البيتونية أحادية وثنائية التسليح وقد أثبتت الشبكات كفاءة عالية بدقة عالية [2]، وتم تطوير نموذج لشبكة عصبية اصطناعية باستخدام بيانات مختبرية سابقة لأعتاب بيتونية مسلحة مقواة بالكربون وتبين كفاءة الشبكة بدقة عالية بعد مقارنة نتائجها مع النتائج المخبرية [3]، كما تم تطبيق الشبكات العصبية في التنبؤ بخواص المنشآت الفولاذية الميكانيكية وتوقع مدى تأثير معالجتها بالحرارة على صلابتها، وسمحت باختيار الأمثل من حيث التركيب الكيميائي والكلفة الأقل [4]، وهناك غيرها العديد من التطبيقات ، ويقدم هذا البحث منهجية لإيجاد المقطع المعدني الأكثر كفاءة على التحنيط الفتلي (torsional buckling) دون الحاجة إلى تدعيم إضافي (وضع عوارض مثلاً) باستخدام تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية بمساعدة إحدى طرق البرمجة اللاخطية (nonlinear programming) وهذا ما لم تتطرق إليه الدراسات السابقة .

أهمية البحث وأهدافه :

تبرز أهمية البحث في :

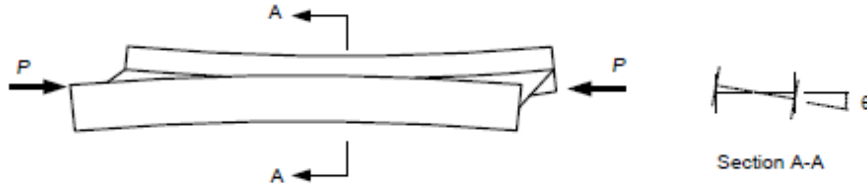
- 1- اقتراح منهجية جديدة لإيجاد المقطع الأمثل باستخدام تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية .
 - 2- الحاجة المحلية للمقاطع المعدنية التي تحقق التصميم بأقل هدر وبالتالي أقل كلفة وخصوصاً في الجسور والبنى التحتية.
 - 3- اقتراح المقطع الأكثر كفاءة على التحنيط الفتلي دون الحاجة إلى تدعيم إضافي، حيث يعتبر التحنيط الفتلي (المتوسط والكبير) في المنشآت المعدنية مشكلة هندسية هامة تتعلق بالأبعاد الهندسية للمقطع وباستقرار العناصر الهندسية.
- والهدف من البحث دراسة التصميم الاقتصادي الأكثر كفاءة لمقاطع معدنية مركبة معرضة للحنيط الفتلي باستخدام البرمجة اللاخطية ومن ثم تطبيق تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية بالاعتماد على العينات الأمثلية المحضرة في الخطوة السابقة ومقارنة النتائج بينهما.

طرائق البحث ومواده :

- استخدم في هذا البحث برنامج اللينغو Lingo 17.0 لإعداد العينات المطلوبة لتصميم الشبكة العصبية الاصطناعية وذلك بإنشاء نموذج رياضي في البرنامج لينغو باستخدام العلاقات المستخدمة للتحنيب الفتلي وفق الكود الأوروبي بحيث تعطينا المقطع الأمثل ، ومن ثم بتغيير المدخلات إلى النموذج نكوّن مجموعة من العينات لاستخدامها لاحقاً كبيانات في الشبكة العصبية .
- كما استخدم أيضاً برنامج الماتلاب من أجل تصميم الشبكة العصبية الاصطناعية المطلوبة.

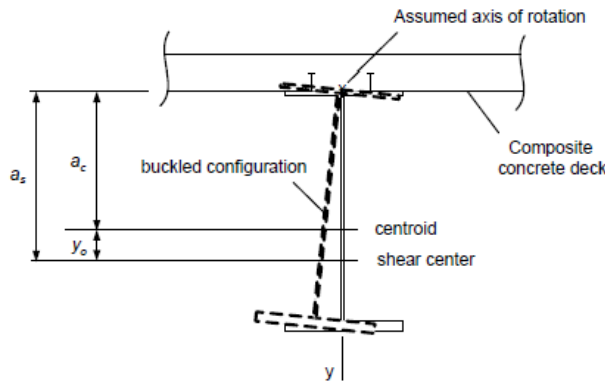
لمحة عن التحنيب الفتلي:

تنهار العناصر المشدودة عندما تتجاوز الإجهادات فيها قيم إجهادات مقاومة المادة بينما تنهار في أغلب العناصر المضغوطة (مع أو دون عزم) قبل وصول قيم الإجهادات فيها إلى قيمة مقاومة المادة وذلك بسبب الانحناء الذي يحصل فيها والذي يسبب عدم الاستقرار في العنصر ويدعى التحنيب ، وتبعاً لشكل المقطع وللحمولات وكذلك لنوع الاستناد يحصل فيها تحنيب فتلي كما هو مبين في الشكل (1)....[5].



الشكل (1) التحنيب الفتلي في العنصر المضغوط

يمكن للعناصر النحيفة والمقطع المفتوح أن تتحني بالفتل، وعندما يحدث هذا النوع من التحنيب فإن فتل العنصر يجعل الاجهادات المحورية تولد عزم فتل يقابل مقاومة المقطع للفتل [6].



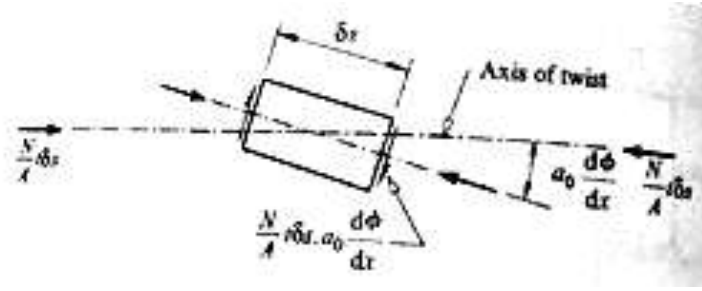
الشكل (2) مقطع عرضي لعنصر معرض لتحنيب فتلي

فمن أجل عنصر سطحي طولي نموذجي من مساحة مقطع عرضي dA المبين في الشكل (3) [15]، والذي يدور بمقدار $(d\phi/dx)$ حيث a_0 (هي المسافة إلى محور الفتل) عندما يدور المقطع بمقدار ϕ تملك القوة المحورية $(N/A) da$ المركبة $(N/A) da a_0 (d\phi/dx)$ والتي تولد عزم فتل حول محور الفتل (والذي يمر عبر مركز القص Z_0 و Y_0) إذاً يكون عزم الفتل الكلي (عزم إعاقة) T_p مساوياً [6]:

$$T_p = N/A * d\phi/dx \int a_0^2 * dA \quad \dots\dots 1$$

$$a_0^2 = (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2 \quad \dots\dots 2$$

حيث:



الشكل (3): عزم الفتل المتولد نتيجة القوة المحورية

للتحقق من مقاومة التحنيب في الحالة العامة للعناصر المعرضة للضغط يجب أن يكون [7]:

$$N_{ed}/N_{b,Rd} \leq 1 \quad \dots\dots 3$$

حيث: N_{ed} : القيمة التصميمية لقوة الضغط

$N_{b,Rd}$: مقاومة التحنيب التصميمية لعنصر الضغط

تؤخذ مقاومة التحنيب التصميمية للعناصر المضغوطة كما يلي [7]:

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y / \gamma_{M1} \quad \dots\dots 4$$

A : مساحة المقطع العرضي وتعطى للمقطع I بالعلاقة:

$$A = 2 * b * t_f + t_w (h - 2t_f) \quad \dots\dots 5$$

حيث:

t_w : سماكة الجسد

t_f : سماكة الجناح

γ_{M1} : عامل جزئي لمقاومة المقطع العرضي لعدم استقرار العنصر (ينصح الكود الأوروبي EC3 بقيمة ساوي 1).

χ : معامل تخفيض التحنيب وتحدد قيمته للضغط المحوري على العناصر من منحنى التحنيب بالعلاقة [7]:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \quad \text{but} \quad \chi \leq 1 \quad \dots\dots 6$$

$$\phi = 0.5 [1 + \alpha (\lambda - 0.2) + \lambda^2] \quad \dots\dots 7$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} \quad \dots\dots 8$$

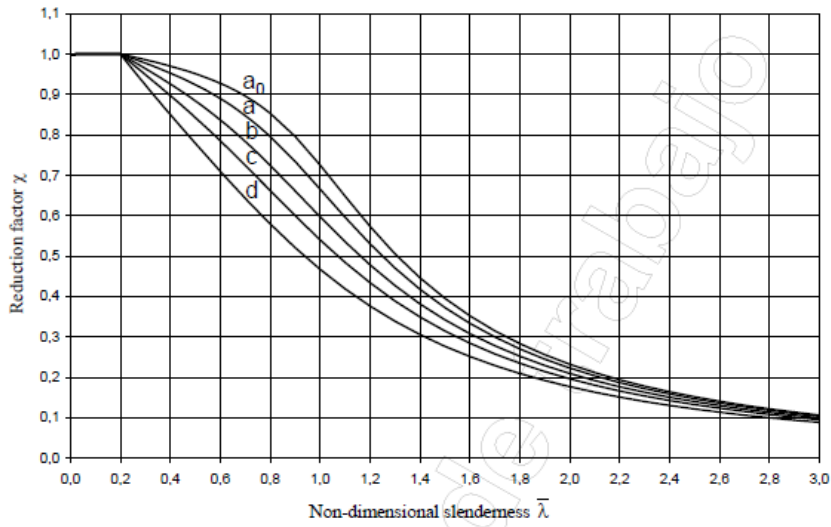
λ : نسبة نحافة اعتبارية خاصة بالتحنيب الفتلي.

α : عامل تخفيض حسب منحنى التحنيب يؤخذ من الجدول (1):

الجدول (1) جدول قيمة α حسب منحنى التحنيب

Buckling curve	a_0	a	b	c	d
Imperfection factor α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

يؤخذ منحنى التحنيب حسب المقطع العرضي من الشكلين (5) و(4).....[7].



الشكل (4) منحنيات التحنيب

Cross section	Limits	Buckling about axis	Buckling curve		
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
Rolled sections 	$h/b > 1.2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y	a	a_0
			z-z	b	a_0
	$h/b \leq 1.2$	$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y	b	a
			z-z	c	a
	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y	b	a	
		z-z	c	a	
	$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y	d	c	
		z-z	d	c	
Welded I-sections 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y	b	b	
		z-z	c	c	
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y	c	c	
		z-z	d	d	
Hollow sections 	hot finished	any	a	a_0	
	cold formed	any	c	c	
Welded box sections 	generally (except as below)	any	b	b	
	thick welds: $a > 0.5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	any	c	c	
U-, T- and solid sections 		any	c	c	
L-sections 		any	b	b	

الشكل (5) اختيار منحنى التحنيب حسب شكل المقطع ونوعه

Ncr: الحمولة الحرجة للتحنيب تتعلق بخصائص المقطع العرضي الإجمالي [6] :

$$N_{cr,t} = 1/i_o^2 (G * I_t + \pi^2 * E * I_w / L^2) \dots \dots 9$$

$$i_o^2 = i_p^2 + y_o^2 + z_o^2 \dots \dots 10$$

حيث $G * I_t$, $E * I_w$ صلابات الدوران والفتل .

i_p : نصف قطر العطالة القطبي .

y_o , z_o : احداثيات مركز القص .

I_t عزم عطالة الفتل ويعطى بالعلاقة :

$$I_t = 1/3 * \sum S_i * t_i^3 \dots \dots 11$$

وبالنسبة للمقطع I يعطى بالصيغة:

$$I_t = \frac{1}{3} (2 * b * t_f^3 + h_i * t_w^3) \dots \dots 12$$

I_w عزم العطالة الرئيسي القطاعي حول قطب الدوران الرئيسي (عامل مقطع الفتل المشوه) ويعطى بالمساواة:

$$I_w = \int \omega_s^2 dA \dots \dots 13$$

حيث ω_s مقدار التجعد بالنسبة للعنصر التفاضلي ds

بالنسبة لمقطع I يعطى بالعلاقة [6]:

$$I_w = \frac{I_z (h - t_f)^2}{4} \dots \dots 14$$

L : طول العنصر

من أجل المقاطع التي تمتلك محوري تناظر كما في النماذج المعتمدة في البحث (مقطع HE) يكون هناك حالة توازن على الفتل مع عزم الفتل المقاوم الداخلي ويكون:

$$z_o = y_o = 0 \dots \dots 15$$

والمقطع المقترح في البحث مقطع مجمع (مركب) مكافئ للمقطع HE القياسي حسب الكود الأوروبي EC3 والأكثر استخداماً في الواقع العملي .

برنامج لينغو :

يعد برنامج لينغو (Lingo Program) من أشهر وأقوى البرامج المتخصصة في حل مشاكل البرمجة اللاخطية ويتميز بسهولة استخدامه. وهو يقدم حزمة متكاملة تتضمن لغة قوية التعبير عن نماذج الأمثلة وبيئة كاملة المواصفات لبناء وتحرير المسائل ومجموعة من أدوات الحل السريعة المدمجة والقادرة على حل معظم أشكال نماذج الأمثلة بكفاءة [8]، لذلك يعتبر أداة شاملة مصممة لبناء وحل نماذج الأمثلة الرياضية بشكل أسهل وأكثر كفاءة.

تمت نمذجة حالة التحنيب الفتلي وفقاً للكود الأوروبي بما يتوافق مع برنامج اللينغو ، وينقسم النموذج الرياضي لمسألة التصميم الأمثل للمقاطع المعدنية المعرضة للتحنيب الفتلي إلى :

1- قسم البيانات : يحتوي على البيانات المدخلة من قبل المستخدم مثل القوة التصميمية، طول العنصر، الارتفاع الأصغري والأعظمي المحددين في الكود، سماكة الجناح، سماكة الجسد..... الخ

2- قسم النموذج الرياضي : المناسب لمسألة التصميم المطروحة ويحتوي على كافة العلاقات التصميمية للمقطع والشروط الهندسية والإنشائية وفقاً للكود الأوروبي المعتمد حالياً في سورية.

تابع الهدف :

هو تابع تصغير الكلفة ، وبما أن المقطع معدني مركب (ملحوم) لذلك فإن مساحة المقطع هي التي تحدد الكلفة بالنسبة لنوع محدد من الفولاذ ، وبالتالي من أجل الوصول إلى الكلفة الأصغر علينا الحصول على المقطع الأصغر مساحة. يعطى تابع الهدف بالشكل:

$$A = 2 * b * t_f + t_w (h - 2 * t_f) \dots \dots \dots \text{Min}$$

الشروط المقيدة والعلاقات التصميمية المستخدمة [7]:

العلاقات 3-4-6-7-8-9-10-12-14 بالإضافة إلى العلاقات التالية:

$$i_p = \sqrt{\frac{I_y + I_z}{A}} \dots \dots 17$$

$$I_y = 2 \left(\frac{b * t_f^3}{12} + (h/2)^2 * b * t_f \right) + (t_w * h_i^3 / 12) \dots \dots 18$$

$$h_i = h - t_f \dots \dots 19$$

$$I_z = \frac{2 * t_f * b^3}{12} + \frac{t_w^3 * h_i}{12} \dots \dots 20$$

$$h_{\max} > h > h_{\min} \dots \dots 21$$

$$\lambda \geq 0.2 \dots \dots 22$$

$$\frac{NEd}{Ncr} \geq 0.04 \dots \dots 23$$

المقطع المستخدم في هذه الحالة هو المقطع المركب المكافئ للمقطع HE القياسي حسب الكود الأوروبي EC3 ومن الفولاذ S355 :

بمقاومة $f_y = 355 \text{ MPa (N/mm}^2)$.

ومعامل مرونة طولاني (معامل يونغ): $E = 210000 \text{ MPa (N/mm}^2)$.

ومعامل مرونة عرضاني: $G = 80770 \text{ MPa (N/mm}^2)$.

تم اختيار منحنى التحنيب حسب المقطع العرضي المدروس وهو مقطع بشكل I ملحوم كما هو مبين بالشكل (5) والشكل (4) وهو للمقاطع الملحومة بشكل مقطع I ومن أجل التحنيب حول المحور zz فإن منحنى التحنيب هو المنحني c إذا كانت السماكات $t \leq 40 \text{ mm}$ وبالتالي فإن $\alpha = 0.49$ من الجدول (1) ومن أجل السماكات $t > 40 \text{ mm}$ فإن منحنى التحنيب هو المنحني d وبالتالي فإن $\alpha = 0.76$.

ملاحظة: في حال تم تغيير نوع الفولاذ سوف تتغير النتائج نسبياً ، فسوف تقل مساحة المقطع المطلوب بازياد مقاومة الفولاذ .

تم توضيح قسم البيانات لهذه الحالة في البرنامج لينغو كما يلي :


```

DATA:

hmax=1056;    !mm;
hmin=91;      !mm;
b=302;        !mm;
tw=21;        !mm;
tf=40;        !mm;
Alfa=0.49;
L=5000;       !mm;
G=80770;      !N/mm^2;
E=210000;     !N/mm^2;
GammaM1=1;
fy=355;       !N/mm^2;
NED=8252000;  !N;

ENDDATA

```

تابع الهدف والشروط المقيدة والعلاقات التصميمية تمت نمذجتها كما يلي :

MODEL:

```

SUBMODEL:TORSIONAL_BUCKLING:
Min=2*b*tf+tw*(h-2*tf);

!Constraints;
(X*A*fy/GammaM1)>NEd;
h>hmin;
h<hmax;
!calc;;
A=2*b*tf+tw*(h-2*tf);
Iz=(2*tf*b^3)/12+((tw^3*(h-tf))/12);
It=1/3*(2*b*tf^3+(h-tf)*tw^3);
Iw=(Iz*(h-tf)^2)/4;
Iy=2*((b*tf^3)/12+(((h/2)^2)*b*tf))+tw*(h-tf)^3/12;
X=1/(Fai+@SQR(Fai^2-LambdaT^2));
X<1;
NbRd=(X*A*fy/GammaM1);
Fai=0.5*(1+Alfa*(LambdaT-0.2)+LambdaT^2);
LambdaT=L/(@SQR(Iz/A)*@PI()*@SQR(E/FY));
LambdaT>0.2;
Ncrt=A*Fy/LambdaT^2;
NEd/Ncrt>0.04;
Ncrt>@pi()^2*E*Iz/L^2;
ENDSUBMODEL

```

تم تصميم 140 مقطع معدني معرض للتحنيب الفتلي باستخدام البرنامج وتمت جدولة هذه النتائج التي حصلنا عليها لاستخدامها لاحقاً في تصميم الشبكة العصبية الإصطناعية كما هو مبين بالجدول (2):

الجدول (2) بعض نتائج العينات الأمثلية من برنامج اللينغو

b(mm)	tw(mm)	tf(mm)	h(mm)	Ned(Kn)	L(mm)	N(Kn)
100	4.2	5.5	91	94	4000	94.13692
100	4.2	5.5	91	150	3000	151.811
100	5	8	95	215	3000	218.6343
100	5	8	94	135	4000	136.0391
100	6	10	95	272	3000	272.2605
140	4.3	6	125	303	3500	303.304
.
303	24.4	43.9	990	6852	5700	6852.076
304	26	46	995	8455	5000	8455.896
305	26.9	49	1000	7908	5600	7908.986
309	31	54	1000	8824	5700	8824.114
314	36	64	1000	11191	5500	11191.42
314	36	64	1056	11327	5500	11327.81

الشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial Neural Networks) :

الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN) هي تقنيات حسابية مصممة لمحاكاة الشبكات العصبية البيولوجية في الدماغ البشري. وتتألف الشبكات العصبية الاصطناعية من عناصر معالجة بسيطة متصلة فيما بينها تدعى عصبونات، ينجز كل عصبون مهمة حسابية بسيطة، لكن السلوك الكلي للشبكة يتحدد من خلال الإتصالات بين مختلف هذه العناصر [9].

مزاياها:

- قدرة على التعلم من المقارنة.
- لا تحتاج إلى برمجة وإنما تتعلم من خلال الأمثلة.
- تتميز بخاصية التعميم (يمكن تطبيقها على معطيات جديدة) .
- قدرة على تحمل الخطأ : تعطي خرجا "صحيحا" من معطيات غير كاملة (تحتوي على ضجيج) .
- سريعة : العصبونات تعمل على التفرع...[9].

تصميم الشبكة العصبية الاصطناعية

تم تطوير نموذج شبكة عصبية اصطناعية باستخدام لغة الماتلاب تساعد في إيجاد المقطع الأكثر كفاءة للتحنيب الفتلي للعناصر المضغوطة حيث تم تصميم وتدريب واختبار الشبكة العصبية بالإعتماد على بيانات 140 عينة أمثلية باستخدام البرمجة اللاخطية المتضمنة في برنامج لينغو بهدف الوصول إلى الشبكة المثلى التي توافق الخطأ الأصغري.

تحديد معطيات الشبكة العصبية لحالة التحنيب الفتلي للعناصر المضغوطة:

بعد أن تم تحديد المشكلة التي ستعالجها الشبكة وهي تصميم المقاطع المعدنية المركبة المكافئة للمقاطع HE الأكثر كفاءة للتحنيب الفتلي فإن الخطوة التالية في تصميم الشبكة هي تحديد المعطيات (مدخلات ومخرجات التصميم) وبناء على دراستنا السابقة كانت البارامترات المعتمدة كمدخلات للشبكة العصبية كالتالي:

1- قوة الضغط التصميمية التي يتعرض لها المقطع Ned
 2- طول العمود $L_0 = L * K$ حيث K هو المعامل المتعلق بحالة الاستناد من أجل تحديد طول التحنيط وقد تم دراسة حالات الاستناد الثلاثة والحالة المعروضة هي حالة العمود المنفصل من الطرفين أي أن $K=1$.

3- سماكة الجناح t_f

4- سماكة الجسد t_w

في حين كانت المخرجات كالتالي:

1- عرض المقطع b

2- ارتفاع المقطع h

تم استبعاد 20 عينة أي حوالي 15% من العينات الكلية (وهي 140 تصميم أمثل) بشكل عشوائي وذلك لإجراء الاختبار على الشبكة المدربة ANN.

يبين الجدول (3) مجالات مجموعة المدخلات والمخرجات للبيانات:

الجدول (3) مجالات المدخلات والمخرجات للبيانات في الشبكة المصممة

TORSIONAL BUCKLING		
INPUT PRAMETER	MINIMUM	MAXIMUM
L (mm)	3000	5700
Ned (kn)	94	11191
tf (mm)	5.5	64
tw (mm)	4.2	36
b (mm)	100	314
h (mm)	91	1056

تحديد هيكلية الشبكة العصبية لحالة التحنيط الفئلي للعناصر المضغوطة:

تعتبر عملية تحديد هيكلية الشبكة مشكلة شديدة التعقيد لوجود العديد من العوامل المؤثرة على تحديدها كمعدل التعلم، عدد الطبقات الخفية، عدد الوحدات ضمن الطبقات الخفية ، تابع التنشيط [10] .
 إن عدد الطبقات الخفية وعدد الوحدات يحدد عدد الارتباطات ضمن الشبكة ، وهو يرتبط ارتباطاً وثيقاً بحجم المشكلة وطبيعتها ولا يمكن تحديدها إلا بشكل تجريبي للوصول إلى أصغر خطأ ممكن .

تم استخدام أربع طبقات تحوي طبقتين مخفيتين تمت محاكاتها باستخدام ماتلاب للتدريب على نماذج التصميم الأمثل مع تقنية التغذية الأمامية متعددة الطبقات لتدريب وتطوير الشبكة العصبية باستخدام تابع التنشيط (التفعيل) سيغمويد التابع اللوغاريتمي الذي يعطى بالعلاقة:

$$f(x) = 1/(1+e^{-x}) \dots \dots 24$$

ويمتلك الخواص التالية:

- تابع مستمر

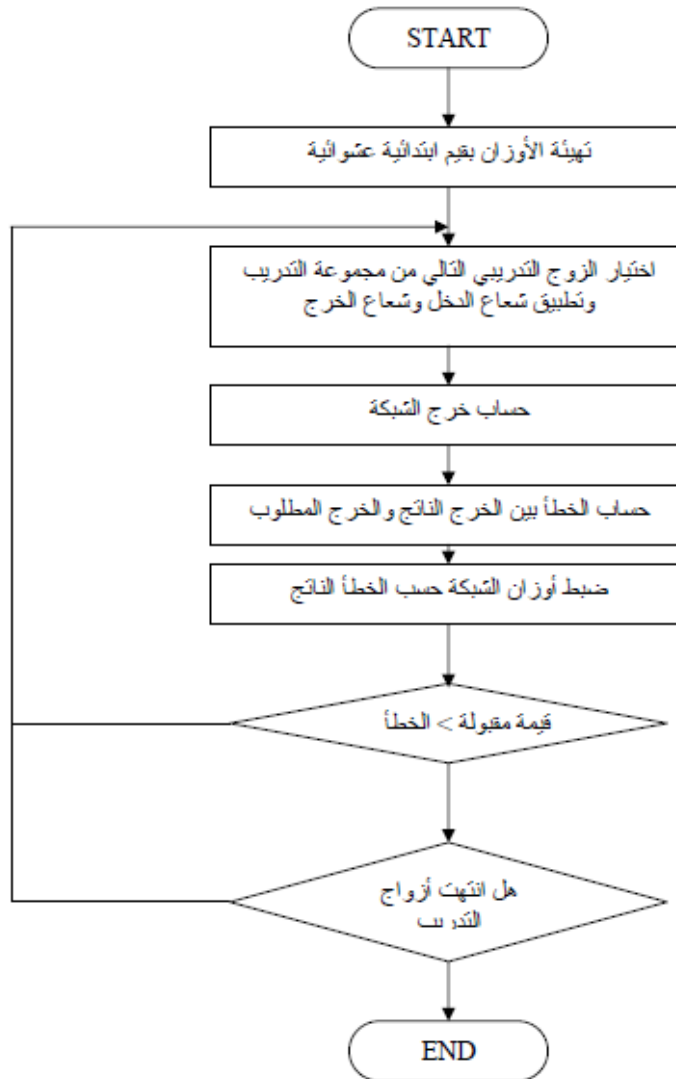
- قابل للاشتقاق ومشتقه سهل

- انسيابي غير متناقص.... [11]

هناك توابع تدريب مختلفة متوفرة في الماتلاب استخدمت لتطوير التدريب في الدراسة الحالية ، وقد أثبتت تقنية خوارزمية الانتشار الخلفي (The Levenberg-Marquardt (LM) للتعليم (تدريب الشبكة) في برنامج ماتلاب فعالية كبيرة وبالتالي استخدمت لنموذج الشبكة [12].

تعرف (LM) بأنها أسرع من الخوارزميات التقليدية لتدريب الشبكة العصبية ، هي في الواقع تذكر بأنها الطريقة الأسرع لتدريب الشبكات العصبية ذات التغذية الأمامية المتوسطة الحجم [13]، كما أن كل تدريب ل (LM) يعطي نتائج أفضل بكثير من الخوارزميات التقليدية الأخرى المعروفة سابقاً" باستخدام عدد أقل من التكرار مما يؤدي إلى توفير في صافي وقت المعالج (الكومبيوتر).

يبين الشكل (5) خطوات تدريب الشبكة العصبية المصممة:



الشكل (6) المخطط النهجي لخطوات تدريب الشبكة العصبية

تتعلم الشبكة من مقارنة نتائج كل نمط مع الهدف (الخرج) لهذا النمط ثم حساب الخطأ وتابع الخطأ يعود للوراء في الشبكة. ويمكن استخدام الشبكة المدربة فيما بعد بوضع قيم جديدة ثم حساب النتائج باستخدام قيم الأوزان المطورة عبر عملية التدريب .

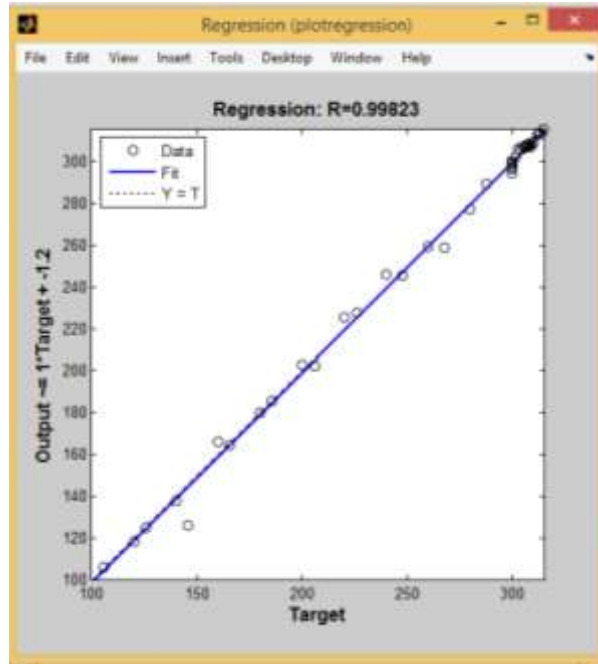
يبين الجدول (4) خصائص الشبكة العصبية الاصطناعية المستخدمة:

الجدول (4) خصائص الشبكة العصبية الاصطناعية

TORSIONAL BUCKLING	
Architecture	4 – 30 – 15 – 2
Training Function	LM
Activation Function	Log sigmoid
Mean Squared Error (MSE)	0.0005

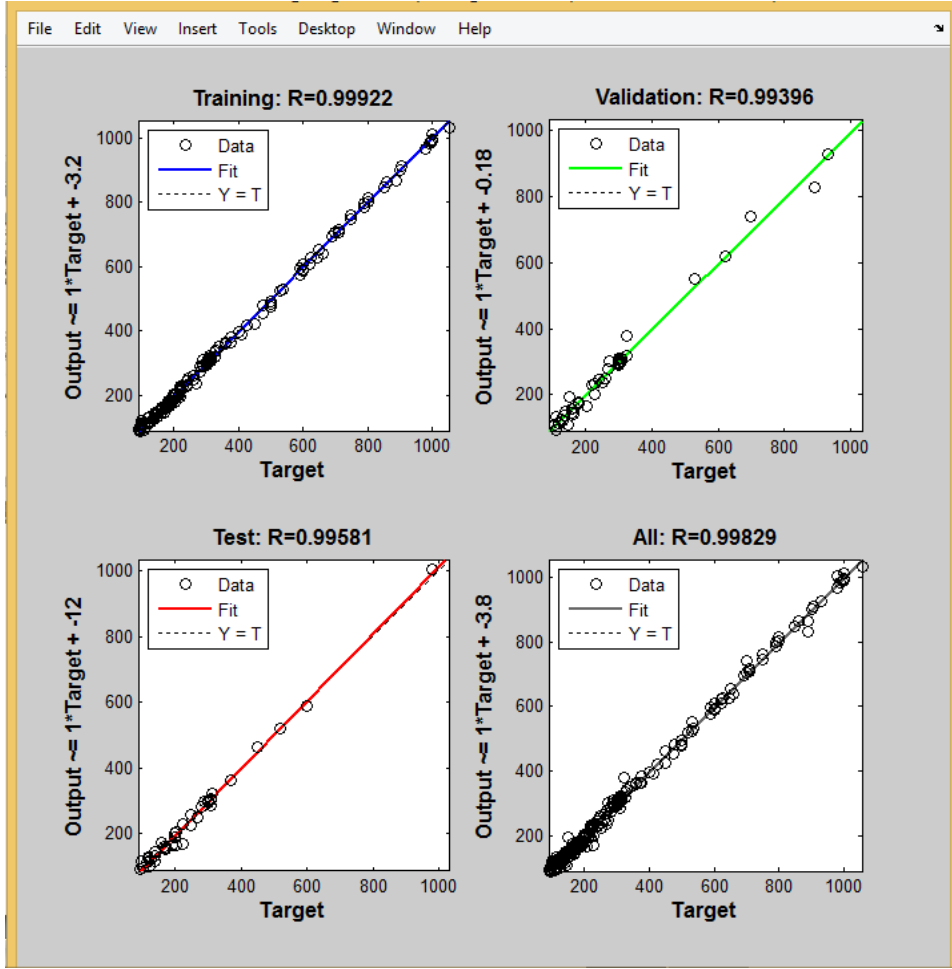
النتائج والمناقشة:

تم التحقق من استجابة الشبكة وذلك من خلال إجراء تحليل الانحدار بين استجابة الشبكة والأهداف المرجوة وإيجاد معامل الارتباط R وهو مقياس لمدى تغير التباين بين النتائج والأهداف، وكلما اقتربت قيمة معامل الارتباط من الواحد كانت العلاقة مثالية بين النتائج والأهداف. يبين الشكل (7) العلاقة بين نتائج الشبكة العصبية الاصطناعية ANN ونتائج التصميم الأمثل المحسوب (تحليل الانحدار):



الشكل (7) مخطط العلاقة بين استجابة الشبكة والأهداف المرجوة

بلغت قيمة معامل الارتباط $R=0.99823$ كما هو مبين في الشكل (6) وهي قريبة جداً من الواحد مما يعني أن العلاقة مثالية بين النتائج والأهداف والشبكة المصممة لهذه الحالة مثالية أيضاً .
تم قياس أداء الشبكة المتدربة بحساب الأخطاء على مجموعات الاختبار كما هو مبين في الشكل (7):



الشكل (8) مخططات العلاقة بين خرج الشبكة والخرج المطلوبة في مراحل التدريب والاختبار والتحقق

قمنا بإجراء مقارنة بين نتائج بعض مسائل التحنيب الفعلي المحلولة بالطريقة التقليدية وبين النتائج التي حصلنا عليها من الشبكة العصبية الاصطناعية المصممة كما هو مبين في الجدول (5).

الجدول (5): مقارنة بين نتائج بعض المسائل المحلولة بالطريقة التقليدية وباستخدام الشبكة العصبية المصممة

Ned(kn)	b _{clas} (mm)	h _{clas} (mm)	A _{clas} (cm ²)	b _{ANN} (mm)	h _{ANN} (mm)	A _{ANN} (cm ²)	R%
235	100	95	24.5	92.5636	87.1488	22.54165	7.993
605	126	137	64.795	120.1378	128.0862	61.21865	5.52
7000	303	750	383.1	303.548	697.4927	372.5119	2.77
910	220	220	88.26	216.5314	215.1090	86.6854	1.79
1580	300	320	155.085	294.2379	311.9211	151.7935	2.13
1045	300	350	136.5	296.5305	341.5768	134.443	1.51
140	100	100	24.8	91.7861	93.0192	22.73837	8.32
1020	186	200	111.32	175.8465	190.3974	105.0539	5.63
3000	288	310	235.22	279.4618	308.064	229.2266	2.55

نلاحظ من الجدول أن مقدار التخفيض في الكلفة يتغير بنسب مختلفة قد تصل إلى 8.984% وذلك بحسب الأمثلة المدروسة.

وبالتالي توفر الشبكات العصبية طريقة بديلة فعالة في تصميم المقاطع المعدنية المعرضة للتحنيب الفتلي، وهي تتغلب على قيود كبيرة موجودة في الطرق التقليدية، ولا تتطلب أية معادلات (فقط ادخال البيانات إلى الشبكة والشبكة المصممة تقوم بمعالجتها وفقاً لخوارزمية التدريب وتوابع التفعيل المعتمدة فيها للوصول للحل المطلوب) ، وذلك ضمن وقت قصير يكاد لا يذكر.

الاستنتاجات والتوصيات :

✓ تم في هذا البحث اختيار التصميم الأمثل للمقاطع المعدنية المركبة المكافئة للمقطع HE القياسي الأكثر كفاءة المعرضة للتحنيب الفتلي وفق الكود الأوروبي مع مراعاة جميع الشروط الهندسية والسلوكية وذلك باستخدام البرمجة اللاخطية المتضمنة في برنامج لينغو من أجل خلق قاعدة بيانات من نتائج هذا البرنامج لاستخدامها كمدخلات في تصميم الشبكة العصبية الاصطناعية.

✓ تم أخذ 140 عينة لاستخدامها في تصميم الشبكة العصبية الاصطناعية وتدريب الشبكة عليها ومن ثم اختبارها والتأكد من فاعليتها في إيجاد الشكل الأمثل. وقد استطاع نموذج الشبكة المصممة التنبؤ بالعرض b والارتفاع h للمقطع المطلوب مع دقة في التصميم لتلبية جميع القيود (اشتراطات الكود المتبع).

✓ إن المقطع الأكثر كفاءة الناتج عن الشبكة الاصطناعية هو أكثر اقتصادية (أقل كلفة) مقارنة مع المقاطع المستنتجة بطرق تصميمية عادية ويمكن استخدام هذه التقنية كأساس لتصميم مقاطع معدنية معرضة للتحنيب الفتلي وتعطي نتائج دقيقة وذلك ضمن نطاق تدريبها .

حيث أن الحل الناتج عن استخدام الشبكة العصبية الاصطناعية في حالة التحنيب الفتلي للعناصر المضغوطة يوفر لنا مقدار تخفيض يصل إلى 8.32% من الكلفة التي نحصل عليها من الحل بالطريقة التقليدية ، وذلك للحالات المدروسة.

✓ إن نجاح نموذج ANN في التنبؤ لبيانات التصميم يسلط الضوء على أن مثل هذه التقنية الرقمية يمكن استخدامها بشكل موثوق لتصميم عناصر إنشائية هيكلية .

✓ يوصى بإعداد برنامج حاسوبي بسيط بلغة VB مثلاً" يتيح لأي مستخدم الاستفادة من الشبكة العصبية المصممة في إيجاد المقطع الأمثل المطلوب.

✓ ويوصى باستخدام هذه الطريقة لأنواع أخرى من المقاطع لحالات التحنيب الفتلي.

✓ كما يوصى باستخدام الشبكات العصبية لحالات اجهادية أخرى لأنواع مقاطع مختلفة.

✓ ونقترح استخدام برامج أمثلة أخرى لتتبع ومقارنة العينات التدريبية للشبكة العصبية.

المراجع:

- [1] JENKINS,W.M .*Developments in Neural Networks and Evolutionary Computing for Civil and Structural Engineering : Neural Network-Based Approximations for Structural Analysis*.1st.ed.,Meigle Printers Limited, Edinburgh,UK,1995,25-35(205).
- [2] Salim T. Yousif, Ikhlas S. ALSafar and Saddam M. Ahmad[*Optimum Design of Singly and Doubly Reinforced Concrete Rectangular Beam Sections: Artificial Neural Networks Application*]Iraqi Journal of Civil Engineering Vol. 6, No. 3, pp. 1-19-2009.
- [3] Dr. SalimT.Yousif, Majid A. AL- Jurmaa[*Modeling of ultimate load for R.C. beams strengthened with Carbon FRP using artificial neural networks*]Al-Rafidain Engineering Vol.18, No.6, December 2010.
- [4] L.A. Dobrzański*, R. Honysz[*Application of artificial neural networks in modelling of normalised structural steels mechanical properties*]Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering- Volume 32 Issue 1 January 2009.
- [5] أ.د. عمار عنيبي كتاب (أساسيات المنشآت المعدنية وفق الكود الأوروبي)، جامعة حلب 2008 م ، 214 ص .
- [6] د. نايل حسن - د. دريد سلوم كتاب (أسس المنشآت المعدنية) جامعة تشرين كلية الهندسة المدنية 2012-2013 م، 622 ص.
- [7] Euro Code3:”*Design of steel structures-Part 1-1:General rulers and rulers of buildings*” ,2005 ,pp56-67.
- [8] LINDO Systems Inc ,*Lingo 16 users Manual* 2016.
- [9] قصي حبيب الحسيني – أحمد عبد الأمير الساعدي كتاب (مقدمة في الشبكات العصبية الاصطناعية) جامعة الامام جعفر الصادق 2010 م ، 18 ص.
- [10] عيسى ، علام زكي .*الشبكات العصبية الصناعية ، البنية الهندسية ، الخوارزميات ، التطبيقات* . الطبعة الأولى ، دار شعاع ، سورية ، 2000 ، 497 ص.
- [11] The math works, *MATLAB V6.5*, 24 Prime way, Natick, MA 01760-1500, USA, 2002.
- [12] S . Hwgkin, “*Neural Networks, A Comprehensive Foundation*” , Prentic Hill, 2nd edition, New Jersey, USA, 1999,pp.842.
- [13] D. Howard, and Mark, B. “*Neural Networks toolbox for use with MATLAB*”,User’s Guide, Version 4 .Math works, Inc 2002.