التنبؤ بمقاومة الفتل للجوائز البيتونية المسلحة باستخدام الذكاء الصناعي

د.م دارين شعبان السلامة[1]

1 : دكتور في كلية الهندسة المدنية قسم الهندسة الإنشائية

ملخص البحث

يشكل الفتل أحد الأفعال الإنشائية الأساسية إلى جانب الانعطاف والقص والشد والضغط المحوري، وتتأثر مقاومة الفتل للعناصر الإنشائية بعدد كبير من العوامل لم يتم أخذها جميعا في المعادلات، قمنا في هذا البحث بتقدير مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة على الفتل الصافي باستخدام الشبكات العصبونية الصنعية أحد تقنيات الذكاء الصناعي التي أثبتت فعاليتها في الكثير من المجالات وذلك بتدريب واختبار شبكة عصبونية صنعية أمامية التغذية باستخدام التراجع التدريجي للخطأ وتابع تفعيل Sigmoid، بأخذ اعتبار لعشرة عوامل مؤثرة على مقاومة الفتل وقد بينت الدراسة فعالية الشبكات العصبونية في محاكاة سلوك الجوائز البيتونية على الفتل الصافي وتقدير قيمة مقاومة الفتل لهذه الجوائز، حيث بلغت قيمة متوسط الخطأ النسبي الأصغري وجذر متوسط الخطأ التربيعي الأصغري الذي أعطت الشبكة المطورة على الترتيب: AVG=2.1%، RMSE=2%. وبلغت قيمة متوسط الخطأ النسبي لعينات الاختبار 0.28%.

كلمات مفتاحية:

الجوائز البيتونية المسلحة، مقاومة الفتل ،الشبكات العصبونية الصنعية.

Predicting of Torsional Strength of Reinforced Concrete Beams Using Artificial Intelligence

Dr. Dareen Alsalamah[1]

1: doctor in structure department, Faculty of Civil Engineering

Abstract

Torsion forms one of the basic structural actions besides flexure, shear and axial compression/tension. The torsional strength affected large number of factors which aren't taken in equations. There are many attempts by researchers to estimate these strength by relying on as many influencing factors as possible. We used in this research one of artificial intelligence techniques which is neural network, which proves its effective in a lot of applications, to estimate torsional strength of reinforced concrete beams. We trained and tested feed forward networks using back-propagation with Sigmoid activation function, by considering ten factors affecting torsional strength. The result demonstrates that neural networks are effective in simulating the torsional behavior of reinforced concrete beams and estimate torsional strength of these beams. The minimum mean relative error and root-mean-square error (RMSE) yielded by the developed network were AVG = 2.1% and RMSE =2% , respectively. Additionally, the mean relative error for the testing samples = 0.28 %.

Key words:

Reinforced concrete beams, torsional strength, artificial neural networks.

1- مقدمة البحث:

درسنا في هذا البحث إمكانية التنبؤ بمقاومة الجوائز البيتونية على الفتل الصافي باستخدام الشبكات العصبونية الصنعية وذلك بالاستعانة ببيانات جوائز بيتونية مسلحة مختبرة على الفتل الصافي من عدة أبحاث سابقة لتطوير شبكة عصبونية مثلى قادرة على محاكاة السلوك الفتلي للجوائز البيتونية المسلحة وإعطاء قيمة دقيقة لمقاومة هذه الجوائز على الفتل الصافي واخترنا منها الشبكات متعددة الطبقات أمامية التغذية التي تستخدم التراجع التدريجي للخطأ وقمنا بتدريبها واختبارها بالاستعانة ببرنامج "Brain Maker" وقد حصلنا على نتائج جيدة بينت فعالية هذه التقنية في تقدير مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة على الفتل

2- المشكلة العلمية ومبررات البحث:

حاول العديد من الباحثين فهم سلوك الجوائز البيتونية المسلحة المعرضة للفتل وإيجاد طرق لتقدير قيمة مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة على الفتل مع محاولة لحظ أكثر العوامل تأثيراً على هذه المقاومة، إلا أن عدد التجارب مازال محدوداً مقارنة مع تجارب تحديد مقاومة القص ومقاومة الضغط. تقدم هذه الدراسة محاولة إضافية لتقدير مقاومة الجوائز البيتونية على الفتل بلحظ عدد كبير من العوامل المؤثرة ومجالات واسعة لكل عامل قبل إجراء التجارب بمحاكاة عمل الدماغ البشري بالاستعانة بتقنية الشبكات العصبونية الصنعية، حيث أحدثت الشبكات العصبونية الصنعية التي استخدمت في العقود الأخيرة نقلة نوعية في مجال محاكاة سلوك العناصر الإنشائية وتقدير مقاوماتها مهما كان عدد ومجال العوامل المؤثرة عليها، إذ وفرت هذه الطريقة كثيرا من الوقت والكلفة، واستطاعت التعبير عن سلوك العناصر الإنشائية على مستوى عال من الدقة والموثوقية.

هدف البحث:

اختيار شبكة عصبونية صنعية قادرة على تقدير مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة على الفتل بناء على العوامل المؤثرة على هذه المقاومة عن طريق تدريب واختبار عدة شبكات عصبونية صنعية اعتماداً على بيانات تجارب أبحاث سابقة.

3- الدراسة المرجعية:

سوف نستعرض بعض الأبحاث التي حاولت إيجاد طرق لتقدير مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة على الفتل:

1- أجرى الباحث C.E.Chalioris (2006) دراسة تجريبية لدراسة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة على الفتل ومحاولة تقدير المقاومة الفتلية باختبار خمسة عشر جائز ضمن خمس مجموعات كل مجموعة تضم ثلاث عينات بتغيير لأبعاد الجائز ضمن فئتين وتغيير التسليح الطولي والعرضي ومقاومة البيتون على الضغط، بالإضافة لمحاولة التنبؤ بمقاومة الفتل عن طريق اقتراح طريقة تدمج نظريتين مختلفتين نظرية تحليل الشقوق بالمرحلة المرنة ونظرية الجائز الشبكي بمرحلة ما بعد التشقق وقد توصل الباحث إلى أهمية تأثير التسليح على مقاومة الفتل وإمكانية توقع هذا التأثير. [4]

2- حاول الباحثان Mohammad Rashidi and Hana Takhtfiroozeh(2016) تقدير مقاومة الفتل للجوائز البيتونية المسلحة ودراسة تأثير التسليح على هذه المقاومة بإجراء تجارب على أربعة جوائز بيتونية مسلحة أحدها بدون تسليح والآخر بتسليح طولي فقط والثالث بتسليح عرضي والأخير يحوي تسليح طولي وعرضي ومن ثم مقارنة النتائج مع الكودات العالمية وبينت النتائج أن استخدام التسليح الطولي والعرضي معاً يزيد من مقاومة الجوائز البيتونية على الفتل.[12]

3- قدم الباحثون Luis F.A.Bernardo, Mafalda M. Teixeira, Dario De Domenico and Jorge M. R. Gama (2022) دراسة لإيجاد علاقات أفضل وأبسط من المتوفرة في المراجع لتقدير مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة على الفتل بالاعتماد على محاكاة الجائز الشبكي الفراغي (Space Truss Analogy) بالاعتماد على بيانات (202) من الجوائز البيتونية المسلحة المختبرة سابقاً ومقارنة العلاقات المطورة من قبلهم مع العلاقات المقترحة من الباحثين وتوصل البحث إلى أن العلاقات المقترحة من قبلهم تقدم دقة مقبولة ويمكن استخدامها بسهولة.[9]

4- اقترح الباحثون Diana S. O. Bernardo, Luis F.A.Bernardo, Hamza Imran, and Tiago P. Ribeiro (2023) طريقة تدريب بتقنية "Machine Learning" للتنبؤ

بمقاومة الفتل للجوائز البيتونية المسلحة وتقسيم البيانات إلى مجموعتين مجموعة للتدريب وأخرى للاختبار بأخذ ثلاثة عوامل (مساحة المقطع العرضي البيتوني Ac، مقاومة البيتون على الضغط Fc، نسبة جداء مساحة التسليح الطولي بإجهاد الخضوع للتسليح الطولي بمساحة التسليح العرضي بإجهاد الخضوع للتسليح العرضي إلى التباعد بين الأساور $A_lF_{yl}A_tF_{yt}/S$) وبناء خمسة نماذج للمحاكاة وتبين أن عامل مساحة المقطع العرضي البيتوني A_c هو الأكثر تأثيرا على مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة على الفتل، وأن مقاومة البيتون على الضغط هي الأقل تأثيراً على مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة على الفتل، وأن هناك أربع نماذج أعطت دقة مقبولة بتقدير مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة حيث تراوحت قيمة جذر متوسط الخطأ التربيعي RMSE بين 10.618 و 17.749.[5]

5- تقدم هذه الدراسة محاولة جديدة لتقدير مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة على الفتل حيث تمت دراسة عشرة عوامل (أي بعدد عوامل أكثر من المقدمة في الدراسات السابقة) أُعتقد أنها مؤثرة على المقاومة الفتلية وبنطاق تباين كبير في مجالات هذه البيانات.

5- تقنية الشبكات العصبونية الصنعية:

هي نظام معالجة للمعلومات له ميزات أداء معينة بأسلوب يحاكي الشبكات العصبونية البيولوجية الطبيعية. تتألف الشبكات العصبونية الصنعية من عدد كبير من عناصر المعالجة البسيطة تدعى عصبونات أو (وحدات – خلايا – عقد)، كل عصبون يرتبط مع العصبونات الأخرى بأداة ربط مباشرة، وكل أداة ربط ترفق برقم معين يدعى وزن مشبكي وهذه الأوزان تمثل المعلومات التي ستبدأ بها الشبكة حل المشكلة.

أهم ميزات الشبكات العصبونية الصنعية بأنها لا تبرمج ولكنها تقوم بالتعلم.

الشكل العام للشبكات العصبونية الصنعية:

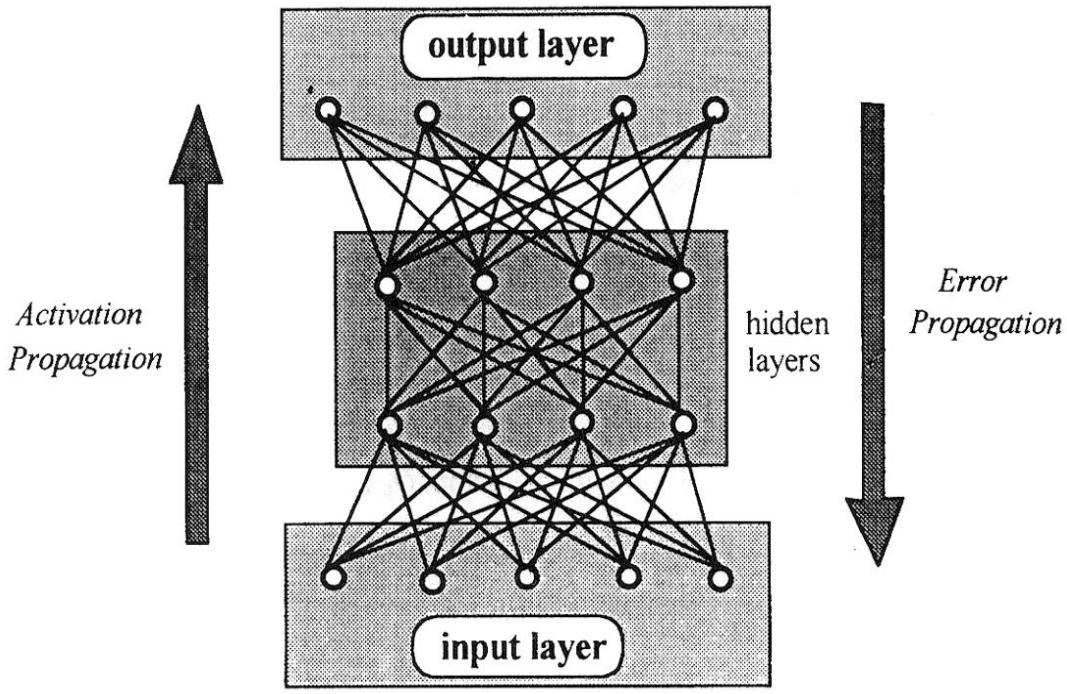
تتألف الشبكات العصبونية الصنعية من وحدات بسيطة تدعى العصبونات مع ارتباطات فيما بينها (الأوزان) هذه العصبونات موزعة في عدة طبقات هي:

طبقة الدخل: تحوي عدد من العصبونات مساو لعدد العناصر المدروسة في بحثنا (10) وهي لا تقوم بأية عملية معالجة فهي مكان تغذية الشبكة الصنعية بشعاع البيانات وهي التي تقوم بنقل المعلومات إلى الطبقة الخفية .

الطبقات الخفية: وهي التي تغذي طبقة الخرج وهي موجودة بين طبقة الدخل وطبقة الخرج ويختلف عددها وعدد العصبونات في كل طبقة بحسب نوع المسألة المدروسة، تقوم بعمليات المعالجة ويتم تحديد هذه الأعداد عن طريق التجريب والمحاولة والخطأ حتى الوصول إلى الشبكة العصبونية الصنعية المثلى التي تعطي أصغر قيمة للخطأ.

الشكل (1) الشكل العام للشبكات العصبونية الصنعية المستخدمة في الدراسة

طبقة الخرج: هي الطبقة النهائية وتحوي عدد من العصبونات مساو لعدد القيم التي نريد الحصول عليها وهي في بحثنا عصبون واحد (متمثل بمقاومة الجوائز البيتونية على الفتل) ، تستلم عصبوناتها الإشارات من الطبقة الخفية السابقة لتعالجها وتقوم بتطبيق تابع التفعيل الخاص بها على هذه القيم الداخلة لتعطي النتيجة النهائية للمسألة.



ويبين الشكل (1) شكل عام للشبكة العصبونية الصنعية متعددة الطبقات أمامية التغذية تستخدم مبدأ التراجع التدريجي للخطأ وهو نوع الشبكة المستخدم في دراستنا.

خوارزميات تدريب الشبكات العصبونية: من أشهر الخوارزميات خوارزمية الانتشار العكسي (التراجع التدريجي للخطأ) Back Propagation Algorithm التي تستخدم في تدريب الشبكات العصبونية كاملة الارتباط ذات التغذية الأمامية متعددة الطبقات وغير الخطية، ويتم تنفيذ هذه الخوارزمية من خلال مرحلتين أساسيتين هما: مرحلة الانتشار الأمامي ومرحلة الانتشار العكسي.

توابع التفعيل: يجب أن يمتلك تابع التفعيل الخواص التالية:

1- أن يكون تابعاً مستمراً وقابلاً للاشتقاق ومشتقه سهل الحساب.

2- أن يكون انسيابياً غير متناقص.

استخدمنا في هذه الدراسة تابع التفعيل Sigmoid.

6- بناء الشبكة العصبونية الصنعية المثلى :

العوامل المؤثرة على مقاومة البيتون على الفتل المأخوذة في الدراسة :

تم دراسة أثر عشرة عوامل تؤثر على مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة على الفتل وتدريب وتطوير الشبكة العصبونية الصنعية بالاستعانة ببيانات (143) جائز بيتوني مسلح مختبر سابقا على الفتل من أبحاث مختلفة (الملحق الأول) .

يبين الجدول [1] نطاق البيانات المستخدمة في تطوير الشبكة العصبونية الصنعية.

العوامل المدروسة	نطاق البيانات
F`c (Mpa)	14.3-109.8
H (cm)	15-80.6
B (cm)	14-120
X(cm)	9.4-78.6

Y(cm)	12-115
At/S (cm2/cm)	0.015-0.0239
Fy (Mpa)	308.8-689.7
F`y (Mpa)	285-672
μ%=Al/(H*B)	0.003-0.035
μ'%=At*u/s*(H*B)	0.001-5.387

الجدول [1]: نطاق البيانات المستخدمة في تطوير الشبكة العصبونية الصنعية

حيث أن :

1- المقاومة المميزة للبيتون على الضغط (Mpa) F'c.

2 - ارتفاع المقطع العرضي (cm) H.

3- عرض المقطع العرضي للجائز (cm) B.

4- عرض مقطع البيتون المحجوز بالاسوارة (عرض اسوارة التسليح العرضي) (cm)X.

5- ارتفاع مقطع البيتون المحجوز بالاسوارة (ارتفاع اسوارة التسليح العرضي) (cm)Y.

6- النسبة بين مساحة فرع واحد من اسوارة التسليح العرضي إلى التباعد بين أساور التسليح العرضي At/S (cm^2/cm).

7- إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح الطولي(Mpa) Fy.

8- إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح العرضي (Mpa) F'y.

9- نسبة التسليح الفولاذي الطولي في الجائز μ وتساوي مساحة التسليح الطولي Al مقسومة على مساحة المقطع العرضي (H*B) .

10- نسبة التسليح الفولاذي العرضي في الجائز 'μ وتساوي مساحة فرع واحد من اسوارة التسليح العرضي At مضروبة بمحيط (طول الاسوارة u) مقسومة على (المسافة بين الاساور S مضروبة بمساحة المقطع العرضي للجائز(H*B)).

معمارية الشبكة العصبونية الصنعية:

لتحديد معمارية الشبكة نعتمد مبدأ التجريب أي المحاولة والخطأ للحصول على أصغر خطأ ممكن وذلك بتغيير عدد الطبقات الخفية، وعدد العصبونات ضمن كل طبقة خفية، تابع التفعيل الخاص بكل طبقة، معدل التعلم تجريبياً.

تتألف شبكتنا العصبونية من :

طبقة الدخل :تحوي عصبونات مساوية للعوامل المدروسة (10) عصبونات .

طبقة الخرج : تحوي عدد عصبونات مساو للقيم المطلوب الحصول عليها (1) وهي مقاومة الجائز البيتوني على الفتل متمثلة بعزم الفتل الحدي T (KN.m).

الطبقة الخفية : نجهل مبدئياً عدد هذه الطبقات وعدد العصبونات داخل كل طبقة ومعدل التعلم لكل طبقة وتابع التفعيل لكل من هذه الطبقات ولكننا سنقوم بتحديد هذه العوامل كافة عن طريق التجريب، حيث سيتم استخدام طبقة خفية واحدة كمرحلة أولى ثم سنغير عدد العصبونات في الطبقة الخفية الأولى من 8 إلى 38 عصبون وفي كل مرة يتم تغيير معدل التعلم من 1−0 بخطوة 0.1. ثم تم زيادة عدد الطبقات الخفية إلى طبقتين وثم تغيير عدد العصبونات في الطبقة الخفية الثانية من 10 إلى 30 وأيضاً بتغيير معدل التعلم في كل مرة من 1−0 بخطوة 0.1. وقد استخدم في التدريب شبكة عصبونية صنعية متعددة الطبقات، أمامية التغذية، تعتمد كطريقة تدريب التدريب المراقب، وكخوارزمية تدريب خوارزمية التدريج التراجعي (الانتشار الخلفي) في حساب الخطأ وتوزيعه مع اختيار تابع Sigmoid تابع تفعيل لكل طبقات المعالجة ونأخذ القيم الناتجة لمعدل الخطأ كأساس للمقارنة بين الحالات التصميمية المقترحة للشبكة لاختيار الحل الأمثل الذي يوافق الخطأ الأصغري RMSE وهو جذر متوسط الخطأ التربيعي الذي يعطى بالعلاقة:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(O_{ij} - P_{ij}\right)^2}{n}} \qquad (1)$$

حيث أن:

n :عدد الإدخالات.

m : عدد مركبات شعاع الخرج .

Oij : الخرج الناتج للعصبون j الذي أنتجته الشبكة .

Pij : الخرج الحقيقي للعصبون j الموافق لشعاع الدخل المقدم للشبكة من أجل كل عينة من عينات التدريب.

بعد التجريب والتدريب المستمر ومقارنة النتائج تبين أن هيكلية الشبكة العصبونية المثلى والتي أعطت خطأ أصغري تتألف من:

طبقة دخل: تحوي 10 عصبونات .

طبقة خفية: واحدة تحوي 8 عصبونات ، معدل التعلم لها 0.8، تابع التفعيل Sigmoid.

طبقة خرج : تحوي عصبون واحد هو مقاومة الجائز البيتوني المسلح طولياً وعرضياً على الفتل ، معدل التعلم لها 0.8، تابع التفعيل Sigmoid .

هذه الشبكة أعطت جذر متوسط للخطأ التربيعي RMSE= 0.02 =2% أي خطأ تربيعي أصغري قيمته=0.0004= 0.04%.

اختبار الشبكة العصبونية المثلى:

بعد تحديد بنية الشبكة العصبونية المثلى لدراستنا الموافقة للخطأ الأصغري، تم القيام بعملية التحقق من الشبكة عن طريق تزويدها ببيانات خمسة عشر جائزاً بيتونياً جديداً لم تتدرب الشبكة عليها من قبل(الملحق الثاني)، أعطت الشبكة كما هو مبين بالجدول (2) قيماً لمقاومة هذه الجوائز البيتونية المسلحة على الفتل ثم تمت مقارنة القيم الحقيقية مع النتائج المحسوبة من الشبكة وبعد ذلك تم حساب قيمة الخطأ النسبي بين قيم مقاومة البيتون على الفتل الناتجة عن كسر العينات مقابل نظيراتها التي قامت الشبكة بتحديدها حيث أن:

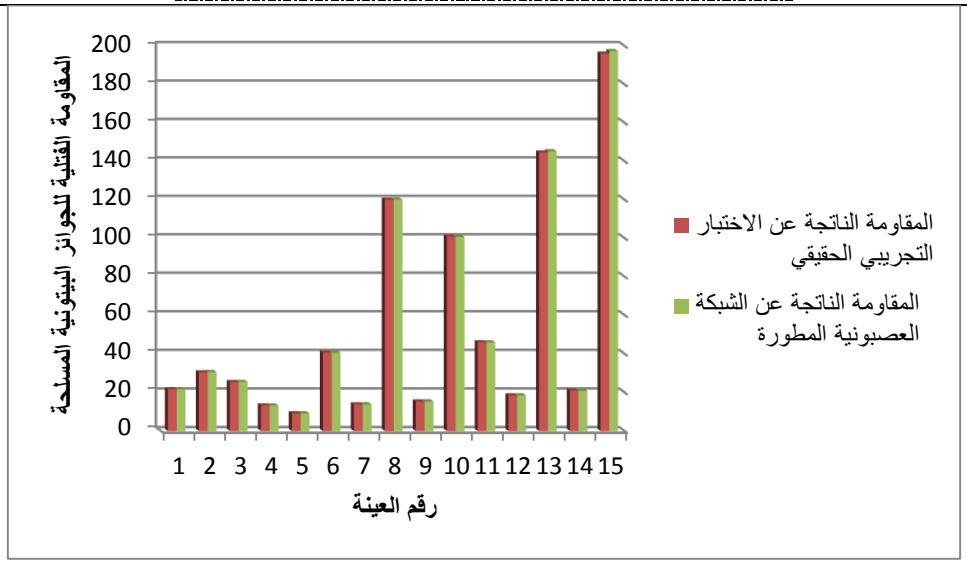
الخطأ النسبي=(المقاومة الناتجة عن اختبار الشبكة–المقاومة الحقيقية)/المقاومة الحقيقية.

رقم الخلطة البيتونية	المقاومة الفتلية للجائز البيتوني المسلح الناتجة عن الاختبار الحقيقي Texe (KN.m)	المقاومة الفتلية للجائز البيتوني المسلح الناتجة عن اختبار الشبكة TANN (KN.m)	الخطأ النسبي %
1	21.56	21.65	0.42
2	30.37	30.52	0.51

0.35	25.38	25.29	3
0.076	13.2	13.21	4
0.31	9.12	9.09	5
0.025	40.54	40.53	6
0.072	13.79	13.8	7
0.033	120.04	120	8
0.196	15.32	15.29	9
0.149	100.65	100.8	10
0.044	45.92	45.9	11
0.108	18.44	18.46	12
0.48	145.2	144.5	13
0.76	20.8	20.96	14
0.66	197.3	196	15

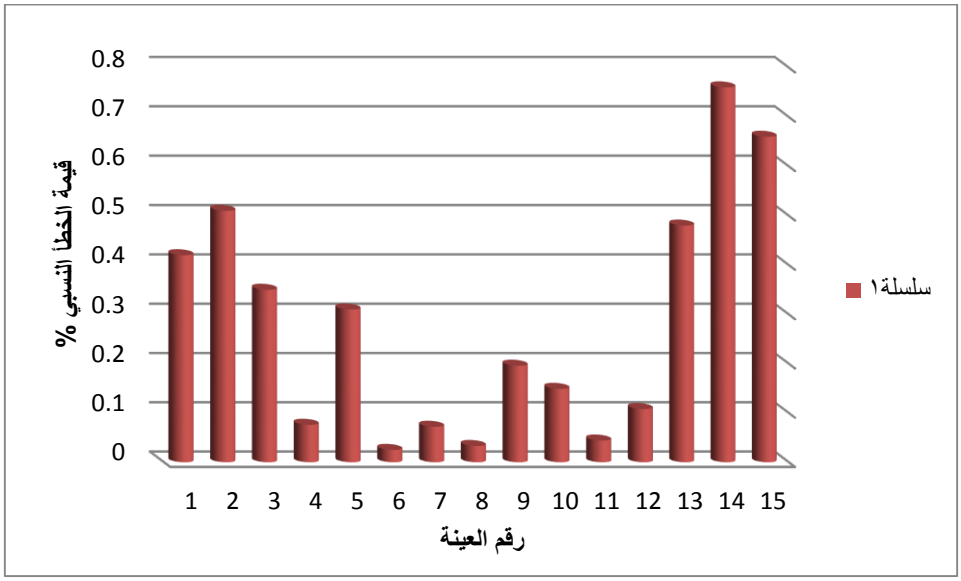
الجدول (2) : قيم مقاومة الفتل للجوائز البيتونية المسلحة طولياً وعرضياً المحسوبة من الشبكة المطورة مقابل نظيراتها من الاختبار التجريبي الحقيقي وقيم الخطأ النسبي.

ويبين الشكل (2) المخطط البياني لكل من القيم الحقيقية والقيم الناتجة عن اختبار الشبكة الذي نلاحظ فيه مدى التقارب الكبير بين تلك القيم لدرجة يكاد يكون متطابقاً عند بعض العينات .



الشكل (2) المقاومة الحقيقية والمقاومة الناتجة عن الشبكة

كما يبين الشكل (3) المخطط البياني للخطأ النسبي الذي نلاحظ فيه أن أكبر قيمة للخطأ النسبي هي 0.76% وأصغر قيمة لهذا الخطأ 0.025% ، أي بمتوسط للخطأ النسبي لكل العينات المختبرة بقيمة 0.28% مما يدل على فعالية الشبكة العصبونية المطورة في هذا البحث بحساب المقاومة الفتلية للجوائز البيتونية المسلحة المتمثلة بعزم الفتل الحدي .



الشكل (3) الخطأ النسبي% للمقاومة الحقيقية والمقاومة الناتجة عن الشبكة

الخلاصة والنتائج:

1- الصيغة النهائية للشبكة العصبونية الصنعية التي تم بناءها وتصميمها في هذه الدراسة تتألف من طبقة دخل تحوي 10 عصبونات ومن طبقة مخفية واحدة تحوي ثمانية عصبونات ،معدل التعلم لها 0.8 ، تابع التفعيل Sigmoid ، ومن طبقة خرج تحوي عصبون واحد ، معدل التعلم لها 0.8 وأيضاً تابع التفعيل Sigmoid .

2- أثبتت الشبكة العصبونية المطورة في هذه الدراسة فعاليتها في التنبؤ بالمقاومة الفتلية لجوائز البيتون المسلحة طولياً وعرضياً، وكان جذر متوسط الخطأ التربيعي للعينات المدربة RMSE = 0.02 أي MSE=0.0004.

3- تم مقارنة قيم المقاومة الفتلية للجوائز البيتونية المسلحة طولياً وعرضياً الناتجة عن كسر الجوائز مع نظيراتها التي قامت الشبكة العصبونية الصنعية المثلى المطورة في هذه الدراسة بتقديرها للعينات المختبرة فكان متوسط الخطأ النسبي لعينات الاختبار 0.28%.

التوصيات:

1- اعتمد هذا البحث على بيانات (158) جائز بيتوني مسلح (143) للتدريب و(15) للاختبار نوصي بإجراء تجارب مخبرية أكثر واستخدام عدد أكبر من البيانات.

2- نوصي بدراسة أثر القطر الأعظمي للحصويات كعامل إضافي للعوامل المأخوذة في هذه الدراسة.

3- استخدام لغة برمجة لوضع الشبكة العصبونية المطورة بهذا البحث كبرنامج مستقل يعطي قيمة المقاومة الفتلية المتوقعة عند إدخال بيانات العوامل العشر المأخوذة بعين الاعتبار.

¤¤¤¤¤¤¤¤

المراجع

[1] A. A. Abdul-Razzak and S. T. Yousif, "Predicting Nonlinear Response of Uniformly Loaded Fixed Plates." Eng. & Technology,Vol.25, No.3, 2007.

[2] Ahmed Faleh Al-Bayati "Torsion Strength Prediction of Reinforced Concrete Beams "International Review of Civil Engineering, Vol. 14, N.2, 2023.

[3] California scietific, "Designing Neural Networks With Brain Maker". sales@calsci.com.800-284-8112.916-372-6800.

[4] C.E.Chalioris "Behaviour model and experimental study for the torsion of reinforced concrete members" WIT Transactions on The Built Environment, Vol 85,2006.

[5] Diana S. O. Bernardo, Luis F.A.Bernardo, Hamza Imran, and Tiago P. Ribeiro" Torsional Capacity Prediction of Reinforced Concrete Beams Using Machine Learning Techniques Based on Ensembles of Trees" Applied Sciences,13,1385,2023.

[6] Flood.I, Kasrtam.N , "NEURAL NETWORKS IN CIVIL ENGINEERING ; PRINCIPLES AND UNDERSTANDING" ,Computing of Civil Engineering ,vol.8, No.2 , April.1994.

[7] Freeman,J.A , Skapura,D.M ," Neural Networks, Algorithms, Applications, and Programming Techniques" ,Addition-Wesley Publishing company, 1991.

[8] Luis F.A.Bernardo, Catia s.b. Taborda, and Jorge M. A. Andrade "Generalized Softened Variable Angle Truss Model for PC Beams under Torsion" International Journal of Concrete Structures and Materials, 2018

[9] Luis F.A.Bernardo, Mafalda M. Teixeira, Dario De Domenico and Jorge M. R. Gama "Improved Equations for the Torsional Strength of Reinforced Concrete Beams for Codes of Practice Based on the Space Truss Analogy" Materials,15,3827, 2022.

[10] M.H. Ilkhani, H.Naderpour, A.Kheyroddin "A Proposed novel approach for torsional strength prediction of RC beams" Journal of Building Engineering, 25, 2019.

[11] M.Y.Mansour, M.Dicleli, J.Y.Lee, J.Zhang, "predicting the shear strength of reinforced concrete beams using artificial neural networks", Engineering Structure , pp :781-799 , 2004.

[12] Mohammad Rashidi and Hana Takhtfiroozeh "The Evaluation of Torsional Strength in Reinforced Concrete Beam" Mechanics, Materials Science & Engineering Journal, ISSN 2412-5954, 2016.

[13] Simulated Biological Intelligence " Brain Maker Professional " , California Scientific.

[14] Yongchang Pu , Mesbhi, E. " Application of Artificial Neural Networks to Evaluation of Ultimate Strength of Steel Panels ", Engineering Structure, 28 , pp : 1190-1196, 2006.

[15] دارين السلامة ، تحديد مقاومة البيتون على الضغط اعتماداً على الشبكات العصبونية الصنعية، رسالة ماجستير في الهندسة الإنشائية، 2010.

¤¤¤¤¤¤¤¤¤

الملحق الأول : عينات تدريب الشبكة العصبونية الصنعية

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	µ %	µ1 %	Tr (Kn.m)
1	27.6	25.4	38.1	21.6	34.3	0.0468	314	341	0.0052	0.0054	22.3

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
2	28.1	25.4	38.1	21.6	34.3	0.1016	327.6	320	0.0117	0.0117	37.48
3	29.2	25.4	38.1	21.6	34.3	0.1401	320	323.4	0.0160	0.0162	47.3
4	30.6	25.4	38.1	21.6	34.3	0.1847	332.4	321.4	0.0211	0.0213	56.11
5	28.8	25.4	38.1	21.6	34.3	0.2258	331.7	322.8	0.0267	0.0261	61.64
6	26	25.4	38.1	21.6	34.3	0.1016	320	318.6	0.0053	0.0117	26.87
7	26.8	25.4	38.1	21.6	34.3	0.2258	322.1	320	0.0053	0.0261	32.51
8	28.8	25.4	38.1	21.6	34.3	0.0466	319.3	342.8	0.0117	0.0054	29.8
9	26.5	25.4	38.1	21.6	34.3	0.0466	334	342	0.0267	0.0054	34.4
10	26.5	25.4	25.4	21.6	21.6	0.0607	334	345	0.0079	0.0081	15.3
11	27.2	25.4	25.4	21.6	21.6	0.1767	328.3	329	0.0240	0.0237	29.69
12	27.6	25.4	25.4	21.6	21.6	0.2391	315.9	327.6	0.0316	0.0320	34.21

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
13	30.9	25.4	50.8	21.6	47	0.0591	323	334	0.0062	0.0063	40.3
14	26.8	25.4	50.8	21.6	47	0.0829	338.6	327.6	0.0088	0.0088	49.56
15	28.3	25.4	50.8	21.6	47	0.1129	325.5	321.4	0.0120	0.0120	64.8
16	26.9	25.4	50.8	21.6	47	0.1505	331	327.6	0.0158	0.0160	71.91
17	29.9	25.4	50.8	21.6	47	0.0561	334	350	0.0059	0.0060	39.1
18	31	25.4	50.8	21.6	47	0.0884	319.3	322.8	0.0093	0.0094	52.61
19	28.3	25.4	50.8	21.6	34.3	0.1232	322.1	329	0.0132	0.0107	73.38
20	45.2	25.4	38.1	21.6	34.3	0.0725	325	349	0.0082	0.0084	36
21	44.8	25.4	38.1	21.6	34.3	0.1016	343.4	333.8	0.0117	0.0117	45.61
22	45	25.4	38.1	21.6	34.3	0.1401	315.2	326.2	0.0160	0.0162	58.02
23	45	25.4	38.1	21.6	34.3	0.1847	310.3	325.5	0.0211	0.0213	70.67

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
24	45.8	25.4	38.1	21.6	34.3	0.2258	325.5	329	0.0267	0.0261	76.65
25	14.3	25.4	38.1	21.6	34.3	0.0466	327.6	346.2	0.0053	0.0054	21.45
26	14.6	25.4	38.1	21.6	34.3	0.0721	320	340.7	0.0083	0.0083	29.13
27	16.9	25.4	38.1	21.6	34.3	0.1016	388.6	337.2	0.0117	0.0117	35.22
28	16.8	25.4	38.1	21.6	34.3	0.1401	324.1	331.7	0.0160	0.0162	40.64
29	30.6	15.2	49.5	11.4	45.7	0.0677	335.9	337.9	0.0103	0.0103	23.71
30	29	15.2	49.5	11.4	45.7	0.1042	315.9	320.7	0.0159	0.0158	28.45
31	28.6	15.2	49.5	11.4	45.7	0.1505	344.1	340	0.0226	0.0228	35
32	29.9	25.4	38.1	21.6	34.3	0.0476	326.2	353.1	0.0083	0.0055	30.37
33	26.8	25.4	38.1	21.6	34.3	0.0924	322.1	326.2	0.0160	0.0107	43.8
34	26.6	25.4	38.1	21.6	34.3	0.1233	318.6	326.9	0.0211	0.0142	49.56

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
35	28	25.4	38.1	21.6	34.3	0.1563	335.2	331	0.0267	0.0181	55.65
36	29.4	25.4	38.1	21.6	34.3	0.1563	317.9	340.7	0.0316	0.0181	60.06
37	28.7	15.2	30.5	13	28.3	0.0350	346.2	344.8	0.0061	0.0062	8.99
38	30.4	15.2	30.5	13	28.3	0.0635	331	337.9	0.0111	0.0113	14.45
39	27.3	15.2	30.5	13	28.3	0.0508	351.7	351.7	0.0092	0.0091	12.19
40	27.3	15.2	30.5	13	28.3	0.0798	340.9	355.9	0.0142	0.0142	15.69
41	35.3	50	50	45.4	45.4	0.1028	356.7	356.7	0.0072	0.0075	138.6
42	26.4	44	24	42	22	0.0584	541.4	541.4	0.0066	0.0071	42.11
43	39.1	44	24	42	22	0.0584	541.4	541.4	0.0066	0.0071	46.4
44	49.8	44	24	42	22	0.0584	541.4	541.4	0.0066	0.0071	48.54
45	39.1	29.4	16	28	14.6	0.0363	442.4	568.9	0.0064	0.0066	13.89

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
46	36.1	44	24	42	22	0.0532	431.6	436.5	0.0063	0.0064	39.17
47	19	32.4	32.4	30.4	30.4	0.0288	557.1	557.1	0.0033	0.0033	21.11
48	17.6	58	18.6	56	16.6	0.0305	432.6	432.6	0.0040	0.0041	19.98
49	19.5	80.6	14	78.6	12	0.0282	441.4	441.4	0.0045	0.0045	21.9
50	19	44	24	42	22	0.0305	432.6	432.6	0.0035	0.0037	19.53
51	19.5	44	24	42	22	0.0455	432.6	432.6	0.0052	0.0055	28.56
52	19	44	24	42	22	0.0610	432.6	432.6	0.0069	0.0074	34.32
53	19	44	24	42	22	0.0580	570.9	570.9	0.0066	0.0070	33.3
54	19.5	44	24	42	22	0.0560	441.4	441.4	0.0032	0.0068	23.93
55	18.5	44	24	42	22	0.0418	441.4	441.4	0.0064	0.0051	31.04
56	18.5	44	24	42	22	0.0280	441.4	441.4	0.0064	0.0034	25.96

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
57	38.2	25.4	25.4	22.2	22.2	0.0782	380	285	0.0080	5.3871	22.58
58	39.4	25.4	25.4	21.9	21.9	0.0894	352.4	360	0.0124	0.0121	27.77
59	39.2	25.4	25.4	21.9	21.9	0.1242	351	360	0.0176	0.0169	34.43
60	36.3	17.8	35.6	14.6	32.4	0.0387	360	285	0.0045	0.0057	12.3
61	39.6	17.8	35.6	14.6	32.4	0.0719	380	285	0.0080	0.0107	20.8
62	38.6	17.8	35.6	14.3	32.1	0.0860	352.4	360	0.0126	0.0126	25.29
63	38.5	17.8	35.6	14.3	32.1	0.1176	351	360	0.0179	0.0172	31.72
64	41.7	16	27.5	12	23.5	0.0873	620	665	0.0351	0.0141	16.62
65	36.3	16	27.5	12	23.5	0.0873	605	672	0.0351	0.0141	15.25
66	61.8	16	27.5	12	23.5	0.0873	612	665	0.0351	0.0141	19.95
67	61.7	16	27.5	12	23.5	0.0873	612	665	0.0351	0.0141	19.13

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
68	77.3	16	27.5	12	23.5	0.0873	617	658	0.0351	0.0141	20.06
69	76.9	16	27.5	12	23.5	0.0873	614	656	0.0351	0.0141	20.74
70	109.8	16	27.5	12	23.5	0.0873	618	655	0.0351	0.0141	24.72
71	105	16	27.5	12	23.5	0.0873	634	660	0.0351	0.0141	23.62
72	105.1	16	27.5	12	23.5	0.0873	629	655	0.0351	0.0141	24.77
73	39.6	20.3	30.5	16.5	26.7	0.0656	386	373	0.0083	0.0092	19.4
74	64.6	20.3	30.5	16.5	26.7	0.0656	386	399	0.0083	0.0092	18.9
75	75	20.3	30.5	16.5	26.7	0.0656	386	373	0.0083	0.0092	21.1
76	80.6	20.3	30.5	16.5	26.7	0.0656	386	399	0.0083	0.0092	19.4
77	76.2	20.3	30.5	16.5	26.7	0.0695	386	386	0.0083	0.0097	18.4
78	72.9	20.3	30.5	16.5	26.7	0.0746	379.5	386	0.0106	0.0104	22.5

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
79	75.9	20.3	30.5	16.5	26.7	0.0788	373	386	0.0125	0.0110	23.7
80	76.7	20.3	30.5	16.5	26.7	0.1013	380	386	0.0129	0.0141	24
81	93.9	20.3	30.5	16.5	26.7	0.0656	386	386	0.0083	0.0092	21
82	78.5	35	50	30	45	0.0713	440	440	0.0068	0.0061	92
83	78.5	35	50	30	45	0.0710	410	440	0.0118	0.0061	115.1
84	68.4	35	50	30	45	0.0789	500	420	0.0097	0.0068	126.7
85	78.5	35	50	30	45	0.1419	410	440	0.0118	0.0122	155.3
86	68.4	35	50	30	45	0.1613	500	360	0.0097	0.0138	135
87	78.5	35	50	30	45	0.2346	560	440	0.0195	0.0201	239
88	35.5	35	50	30	45	0.0710	440	440	0.0069	0.0061	79.7
89	35.5	35	50	30	45	0.0710	410	440	0.0118	0.0061	95.2

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
90	33.5	35	50	30	45	0.0789	500	420	0.0097	0.0068	111.7
91	33.5	35	50	30	45	0.0789	500	420	0.0162	0.0068	117.3
92	35.5	35	50	30	45	0.1419	410	440	0.0118	0.0122	116.8
93	35.5	35	50	30	45	0.1419	520	440	0.0162	0.0122	138
94	33.5	35	50	30	45	0.1613	500	360	0.0097	0.0138	125
95	35.5	35	50	30	45	0.2346	560	440	0.0195	0.0201	158
96	76	42	42	37	37	0.0594	396	385	0.0051	0.0050	84.9
97	48	42	42	37	37	0.0419	394	385	0.0061	0.0035	74.7
98	78	42	42	37	37	0.0594	400	385	0.0090	0.0050	104.2
99	35	35	50	30	45	0.0509	400	385	0.0043	0.0044	60.6
100	67	35	50	30	45	0.0202	505	600	0.0074	0.0017	62.2

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
101	67	35	50	30	45	0.0149	493	600	0.0082	0.0013	56.3
102	35	35	50	30	45	0.0149	493	600	0.0082	0.0013	52.9
103	67	35	50	30	45	0.0713	402	385	0.0060	0.0061	93.7
104	76	25	70	20	65	0.0509	396	385	0.0052	0.0049	73.54
105	78	25	70	20	65	0.0509	400	385	0.0091	0.0049	95.86
106	43.2	30	35	26	31	0.0548	410	370	0.0048	0.0059	32.9
107	41.7	30	35	26	31	0.1097	410	370	0.0097	0.0119	54.1
108	42.6	30	35	26	31	0.1689	510	355	0.0114	0.0183	62.4
109	41.7	30	35	26	31	0.0548	510	370	0.0076	0.0059	38.1
110	42.7	30	35	26	31	0.0810	510	370	0.0114	0.0088	50.2
111	42.6	30	35	26	31	0.0951	512.4	370	0.0133	0.0103	56.4

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
112	44.2	15	120	10	115	0.0393	480	459	0.0126	0.0055	74
113	29.5	15	100	10	95	0.0393	499	459	0.0121	0.0055	50.7
114	44.2	15	100	9.8	94.8	0.0754	480	480	0.0121	0.0105	68
115	29.5	15	100	9.8	94.8	0.1131	499	499	0.0121	0.0158	74.3
116	33.8	15	100	9.4	94.4	0.1608	497	497	0.0214	0.0223	80.5
117	29.5	15	80	10.2	75.2	0.0402	459	433	0.0118	0.0057	40.4
118	29.5	15	80	9.8	74.8	0.1131	459	499	0.0118	0.0159	60.1
119	73.7	30	40	27	37	0.0713	452	484	0.0258	0.0076	86.8
120	73.7	30	40	27	37	0.0648	499	538	0.0258	0.0069	88
121	73.7	30	40	27	37	0.0648	630	538	0.0258	0.0069	89.4
122	84.7	30	40	27	37	0.0713	456	484	0.0143	0.0076	76.3

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
123	84.7	30	40	27	37	0.0648	529	538	0.0099	0.0069	74.5
124	84.7	30	40	27	37	0.0648	627	538	0.0099	0.0069	70
125	83.1	30	40	27	37	0.0713	474	484	0.0063	0.0076	74.2
126	83.1	30	40	27	37	0.0648	522	538	0.0063	0.0069	67.7
127	83.1	30	40	27	37	0.0648	627	538	0.0066	0.0069	69.9
128	29.3	35	50	30	45	0.0396	489.8	467.5	0.0043	0.0034	55
129	29.3	35	50	30	45	0.0396	500.4	467.5	0.0098	0.0034	57
130	40.3	35	50	30	45	0.0396	500.4	467.5	0.0098	0.0034	58.3
131	40.3	35	50	30	45	0.1057	489.8	489.8	0.0098	0.0091	98.4
132	39.4	20	30	16.8	26.8	0.0628	689.7	534.1	0.0075	0.0091	19.7
133	60.8	20	30	13.8	23.8	0.0628	689.7	534.1	0.0075	0.0079	12.5

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
134	60.8	20	30	16.8	26.8	0.0628	689.7	534.1	0.0075	0.0091	19.9
135	35.4	40	60	31	51	0.1097	313.3	334.9	0.0075	0.0075	123
136	35.4	40	60	31	51	0.0792	474.6	485.8	0.0055	0.0054	124
137	35.4	40	60	31	51	0.0582	569.6	595.9	0.0044	0.0040	89
138	35.4	40	60	31	51	0.1358	320.5	334	0.0093	0.0093	126
139	35.4	40	60	31	51	0.0983	467.6	485.1	0.0069	0.0067	109
140	35.4	40	60	31	51	0.0713	567.6	595.2	0.0054	0.0049	108
141	35.4	40	60	31	51	0.0792	319.4	334.3	0.0055	0.0054	101
142	35.4	40	60	31	51	0.0792	569.6	594.8	0.0060	0.0054	106
143	35.4	40	60	31	51	0.0983	308.8	334.8	0.0069	0.0067	106

الملحق الثاني: عينات الاختبار للشبكة العصبونية الصنعية المطورة في هذا البحث

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
1	17.6	44	24	42	22	0.0290	570.9	570.9	0.0033	0.0035	21.56
2	19.5	44	24	42	22	0.0560	441.4	441.4	0.0048	0.0068	30.37
3	27.2	25.4	25.4	21.6	21.6	0.1311	336.6	327.6	0.0176	0.0176	25.29
4	28.4	15.2	30.5	13	28.3	0.0621	333.1	360.7	0.0035	0.0111	13.21
5	29.5	15.2	30.5	13	28.3	0.0350	352.4	341.4	0.0061	0.0062	9.09
6	30.6	25.4	38.1	21.6	34.3	0.0677	329	357.2	0.0117	0.0078	40.53
7	35.4	20	30	13.8	23.8	0.0628	689.7	534.1	0.0075	0.0079	13.8
8	35.4	40	60	31	51	0.0983	565.1	595.2	0.0075	0.0067	120
9	38.2	16	27.5	12	23.5	0.0873	638	669	0.0351	0.0141	15.29
10	40	58.7	32	56.1	29.4	0.0714	461	442.4	0.0068	0.0065	100.8
11	44	30	35	26	31	0.0839	410	370	0.0072	0.0091	45.9

No	Fc (Mpa)	H (cm)	B (cm)	X (cm)	Y (cm)	At/s	Fyl (Mpa)	Fyt (Mpa)	μ %	μ1 %	Tr (Kn.m)
12	57.1	16	27.5	12	23.5	0.0873	614	665	0.0351	0.0141	18.46
13	68.4	35	50	30	45	0.0789	500	420	0.0162	0.0068	144.5
14	76.2	16	27.5	12	23.5	0.0873	617	663	0.0351	0.0141	20.96
15	78.5	35	50	30	45	0.1419	520	440	0.0162	0.0122	196