

التنبؤ بسلوك الجوائز البيتونية المسلحة المقواة بطريقة اللصق ضمن أخاديد باستخدام نظام الاستدلال الضبابي ANFIS

د. عصام ناصر*

د. بسام حويجة**

ثراء مبارك***

(تاريخ الإيداع 16 / 3 / 2021. قُبل للنشر في 27 / 8 / 2021)

□ ملخص □

تعتبر تقنية تقوية الجوائز البيتونية المسلحة العاملة على الانعطاف بطريقة لصق مادة التقوية CFRP ضمن أخاديد في طبقة التغطية من التقنيات الواعدة في مجال التقوية للجوائز البيتونية المسلحة، ولكنها لم تلق انتشاراً واسعاً بسبب عدم تشكل الثقة الكافية بإمكانية توقع سلوك هذه الجوائز أثناء الخدمة ، لذلك سيتم في هذه الدراسة استخدام نظام برمجي يعتمد على نظام الاستدلال الضبابي العصبي التكيفي ANFIS لتوقع قيم السهم وعرض التشقق في الجوائز البيتونية المسلحة المقواة بهذه الطريقة، ومقارنة نتائج هذا النظام مع النتائج التجريبية ونتائج طريقتي المنطق الضبابي والشبكات العصبونية .

وكان من نتائج هذه الدراسة التوافق بين القيم التجريبية للسهم وعرض التشقق مع قيم نظام ANFIS بدقة عالية وهذا يثبت كفاءة أداء هذا النظام ، كما أظهر نظام ANFIS الدقة التنبؤية المتفوقة وقابلية التعميم على طريقة المنطق الضبابي وطريقة الشبكات العصبونية .

الكلمات المفتاحية: التقوية - الألياف الكربونية - اللصق ضمن أخاديد - السهم - عرض التشقق - نظام الاستدلال الضبابي العصبي التكيفي

* أستاذ- قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.
**أستاذ- قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين اللاذقية- سورية.
*طالبة دراسات عليا (دكتوراه)- قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية
tharaamub@yahoo.com

Adaptive Neuro Fuzzy Prediction of Behavior of NSM Strengthened RC Beams

Dr. Issam Nasser*
Dr. Bassam Hwaija**
Tharaa Mubarak***

(Received 16 / 3 / 2021. Accepted 27 / 8 / 2021)

□ ABSTRACT □

The Near Surface Mounted (NSM) technique is a promising strengthening approach, though unpopular due to reliable serviceability prediction options. In this paper, a soft computing technique based on ANFIS is employed to predict the deflection and cracking behavior of NSM strengthened RC beams. The ANFIS results were compared with the experimental results and results of FIS, ANN approaches. The study indicated that the predicted deflection and crack width closely conform to the experimental results, which affirms the performance of the ANFIS model, this model demonstrated the superior predictive accuracy and capability of generalization over the fuzzy logic and artificial neural network (ANN) approaches

Keywords: strengthening – carbon Fiber – NSM – deflection - crack width - ANFIS .

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

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

***Postgraduate Student , Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. tharaamub@yahoo.com

مقدمة:

تعتبر تقنية اللصق ضمن أخاديد من التقنيات الواعدة في إطالة العمر الاستثماري للعناصر الإنشائية المقواة بهذه الطريقة [1]، وقد أثبتت هذه التقنية أداء أفضل في زيادة قدرة تحمل العناصر على الانعطاف والقص بالإضافة إلى تأخير ظاهرة الانفصال المبكر (premature debonding) للجوائز البيتونية المسلحة المقواة بتقنية لصق شرائح CFRP على السطح الخارجي للعنصر المقوى [2]، ومع ذلك هناك فجوة أساسية في دراسة هذه التقنية وهي توقع نموذج مناسب لتحديد السهم - عرض التشقق - قيم التشوه الفعال لمادة التقوية [3].

قام الباحثون بدراسات معمقة ووضعوا نماذج لتحديد سلوك الجوائز المقواة بطريقة اللصق الخارجي [6 → 4] وحاولوا تطبيقها مباشرة على الجوائز المقواة بتقنية اللصق ضمن أخاديد ولكن لم تظهر النتائج المرجوة منها فكانت النتيجة أن هناك تفاوتاً كبيراً في قيم السهوم وعرض التشقق والتباعد بين الشقوق مقارنة مع اللصق الخارجي ولذلك تم في هذا البحث استخدام طريقة ANFIS [7] لتوقع قيم السهم وعرض التشقق وقد استخدم عدد من الباحثين هذه الطريقة في عملية النمذجة [8]. وكتعريف لنظام الاستدلال الضبابي العصبي التكيفي ANFIS هو عبارة عن نظام ذكي هجين يدمج بين تقنية قوة التعلم لـ (ANN) الشبكة العصبية الاصطناعية (Artificial neural network) مع تمثيل المعرفة للمنطق الضبابي .

مبدأ استخدام الأنظمة الذكية في التقوية الإنشائية هو مبدأ حديث تماماً، وقد تم استخدام نموذج ANN بشكل أكبر مقارنة مع باقي الأنظمة الذكية [9] (2012) كتقنية (Fuzzy Inference System) FIS ، (Genetic) GA ، (Algorithms [10 13] (2011 → 2001)). →

درس Flood (2001) [10] إمكانية توقع السهم للجوائز المقواة بتقنية اللصق الخارجي باستخدام نموذج ANN وهناك العديد من الأبحاث التي استخدمت نموذج ANN لتوقع قوة القص في الجوائز المقواة بمادة FRP [11]. بينما استخدم Nasraolla hzadah (2014) [14] نموذج FIS لتوقع قوة القص. واستخدم Darion (2015) [15] المنطق الضبابي لتوقع السهم وعرض التشقق للجوائز المقواة بـ NSM. وتوقع Park (2010) [16] سلوك الأعمدة الدائرية المقواة بمادة FRP باستخدام نموذج ANFIS. كما قيم Jalal (2013) [17] المقاومة الأعظمية للأسطوانة الخرسانية المحاطة بمادة CFRP وقارن بين استخدام ANN و GP (genetic programming) و ANFIS وبينتجة المقارنة بين الأنظمة المستخدمة مع النتائج التقريبية كان نموذج ANFIS الأكثر دقة.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد هذا البحث على استخدام أحد الأنظمة الذكية الهجينة ANFIS لمحاكاة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة المقواة بطريقة اللصق ضمن أخاديد ضمن طبقة التغطية من حيث (السهم - عرض التشقق) وتم مقارنة نتائج هذا النموذج مع أحد الدراسات التجريبية العالمية، كما تم التحقق من أداء نموذج ANFIS المقترح بمقارنته مع طرائق الانظمة الذكية الأخرى كالمنطق الضبابي والشبكات العصبونية الاصطناعية بالاستعانة بالمعايير الإحصائية RMSE معامل جذر متوسط مربعات الخطأ و R^2 معامل التحديد.

مع العلم أن البرنامج التجريبي الذي تم الاعتماد عليه لبناء نموذج ANFIS هو للباحث Darain et al [15] .

المواد المستخدمة في التجربة :

- الخلطة البيتونية : المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون : 35.60 MPa .

- حديد التسليح : قضبان حديد التسليح المستخدمة فهي بأقطار 8mm، 10mm، 12mm ومقاومة التسليح على الشد بعد إجراء تجربة الشد هي بالترتيب 380MPa، 529MPa، 400MPa وتم اختيار الأساور وأبعادها كما يوضح الشكل (1) بحيث لا يحدث انهيار الجوائز على القص .

- مادة ال FRP: قضبان ال FRP بقطر (12mm) بالمواصفات التالية:

معامل المرونة $> 165 \text{ GPa}$ ، مقاومة الشد $> 2400 \text{ MPa}$ ،

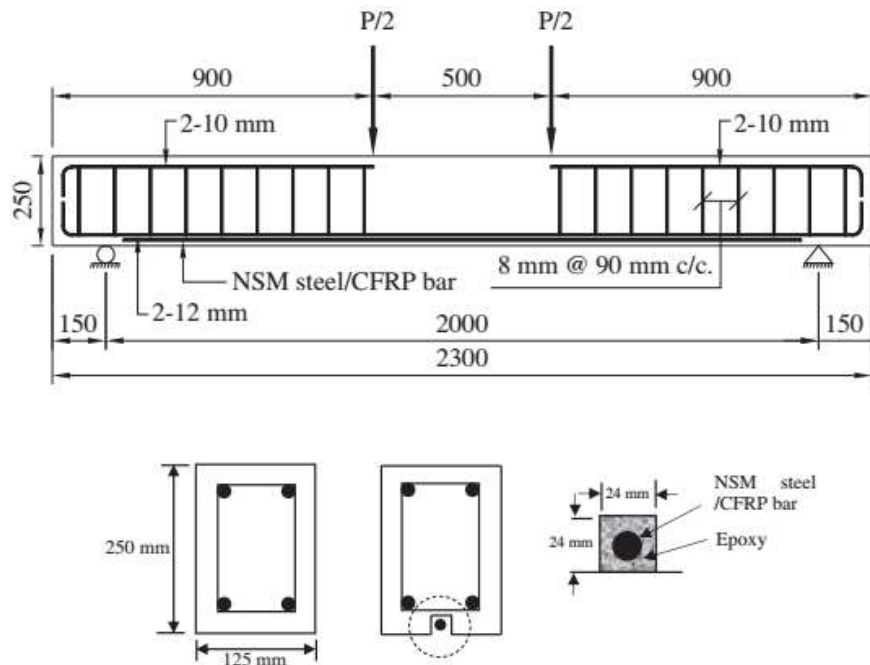
- الرابط الايبوكسي : يجب أن تكون مادة الايبوكسي متوافقة مع مادة ال FRP وحسب توصيات الشركة المصنعة يجب استخدام الايبوكسي PC 5800/BL التي تتمتع بالمواصفات التالية :

مقاومة الشد: 14-17 MPa ، مقاومة الضغط: 70-80 MPa ، مقاومة القص: 24-27 MPa

جوائز الاختبار

جوائز من البيتون المسلح بطول 2.3m بمقطع عرضي أبعاده 125x250mm، نسبة التسليح $As/bd=0.0085$ ، يوضح الشكل (1) أبعاد الجوائز وترتيب التسليح .

بالنسبة للجوائز المقواة ب NSM : تم اقتطاع الأخدود بأبعاد 24mmx24mm في منتصف المقطع الجوائز ثم تم ملء حوالي 2/3 من ارتفاع الأخدود ثم وضعت قضبان التقوية.



الشكل (1): تفاصيل تسليح جوائز الاختبار

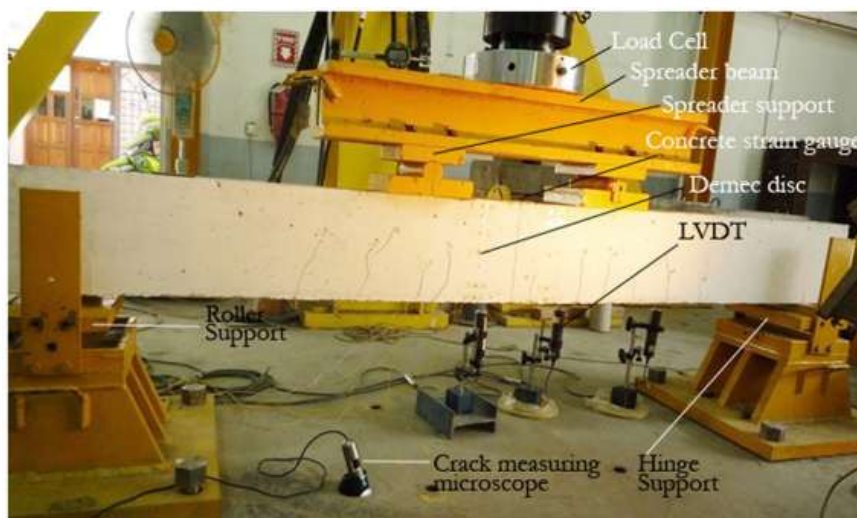
قسمت الجوائز لسبع مجموعات :

- 1-جوائز مرجعية لم يتم تقويتها بأي مادة تقوية (CB).
- 2-جوائز مقواة بقضبان من الألياف الكربونية 12mm بطول 1.6m (N1.6F).
- 3- جوائز مقواة بقضبان فولاذية 12mm بطول 1.6m (N1.6S).
- 4-جوائز مقواة بقضبان من الألياف الكربونية 12mm بطول 1.8m (N1.8F).
- 5-جوائز مقواة بقضبان فولاذية 12mm بطول 1.8m (N1.8S).

6-جوائز مقواة بقضبان من الألياف الكربونية 12mm بطول 1.9m (N1.9F).

7-جوائز مقواة بقضبان فولاذية 12mm بطول 1.9m (N1.9S).

تم تثبيت جهاز قياس السهم في منتصف الجائز، كما تم تثبيت جهاز لقياس الشقوق الميكروية على سطح البيتون كما يظهر في الشكل (2).



الشكل (2): آلية الاختبار والتجهيزات المستخدمة

نتائج الدراسة التجريبية:

على اعتبار أن الغاية من هذا المقال هي التعريف باستخدام ANFIS في مجال تقوية الجوائز البيتونية بطريقة اللصق ضمن أخاديد سنأخذ النتائج التجريبية كبيانات لإدخالها ضمن نظام ANFIS أما بالنسبة لتفاصيل النتائج التجريبية ومناقشتها يمكن العودة إلى للمرجع الأساسي للتجارب [15] وسيتم عرض هذه البيانات في الجدول (1) والجدول (2).

الجدول (1): ملخص النتائج التجريبية

اسم الجائز	حمولة التشقق (kN)	السهم في منتصف الجائز عند أول تشقق (mm)	الحمولة الحدية (kN)	السهم في منتصف الجائز عند الحمولة الحدية (mm)
CB	10.6	0.3	64.4	24.7
N1.9F	15	0.3	133.2	19.2
N1.9S	23	0.7	103.8	12.4
N1.8F	14	0.6	130.8	18.6
N1.8S	15.5	1	99.6	16.8
N1.6F	17.5	0.4	109.5	13.6
N1.6S	14.4	0.7	94.1	9.4

الجدول (2): البيانات التجريبية

بيانات الادخال		مخرجات الجوائز المقواة بقضبان فولاذية		مخرجات الجوائز المقواة FRP بقضبان	
الحمولة (kN)	طول قضيب التقوية (mm)	السهم (mm)	عرض الشق (mm)	السهم (mm)	عرض الشق (mm)
0	1600	0	0	0	0
0	1800	0	0	0	0
0	1900	0	0	0	0
10	1600	0.434	0	0	0
10	1800	0.761	0	0.349	0
10	1900	0.1	0	0.078	0
15	1600	0.762	0.042	0.2125	0.103
15	1800	1.091	0.063	0.761	0.06
15	1900	0.314	0	0.344	0.047
20	1600	1.089	0.088	0.631	0.16
20	1800	1.518	0.106	1.305	0.136
20	1900	0.496	0	0.795	0.079
30	1600	1.682	0.15	1.759	0.206
30	1800	2.44	0.215	2.585	0.213
30	1900	1.173	0.11	1.838	0.2
40	1600	2.314	0.24	2.897	0.315
40	1800	3.434	0.231	3.773	0.304
40	1900	2.062	0.115	2.91	0.242
50	1600	3.003	0.282	5.7875	0.385
50	1800	4.409	0.247	4.996	0.383
50	1900	2.946	0.192	4.055	0.268
60	1600	4.179	0.313	7.7125	0.45
60	1800	5.393	0.269	6.126	0.448
60	1900	3.81	0.209	5.175	0.312
70	1600	5.389	0.472	10.1375	0.493
70	1800	6.541	0.351	7.634	0.488

تابع الجدول (2): البيانات التجريبية

بيانات الادخال		مخرجات الجوائز المقواة بقضبان فولاذية		مخرجات الجوائز المقواة FRP بقضبان	
الحمولة	طول قضيب	السهم	عرض الشق	السهم	عرض الشق
70	1900	4.635	0.245	6.349	0.354
80	1600	6.859	0.547	12	0.552
80	1800	7.857	0.567	8.701	0.542
80	1900	5.735	0.267	7.498	0.397
90	1600	8.44	0.61	14.1375	0.57
90	1800	9.288	0.637	10.112	0.56

90	1900	7.036	0.286	8.614	0.421
100	1600	0	0	16.925	0.597
100	1800	0	0	11.368	0.578
100	1900	8.563	0.304	9.879	0.439

نظام الاستدلال الضبابي العصبي التكيفي ANFIS

(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) :

وهو عبارة عن نظام ذكي هجين يدمج بين تقنية قوة التعلم لـ (ANN) الشبكة العصبية الاصطناعية (Artificial neural network) مع تمثيل المعرفة للمنطق الضبابي لإجراء المحاكاة سنعمل على برنامج Matlab.

بحيث تكون المدخلات في هذه الدراسة ضمن نموذج ANFIS:

-الحمولة المطبقة

-النسبة بين مساحة شرائح التقوية CFRP إلى مساحة التسليح الفولاذي.

أما المخرجات : - السهم في منتصف الجائز.

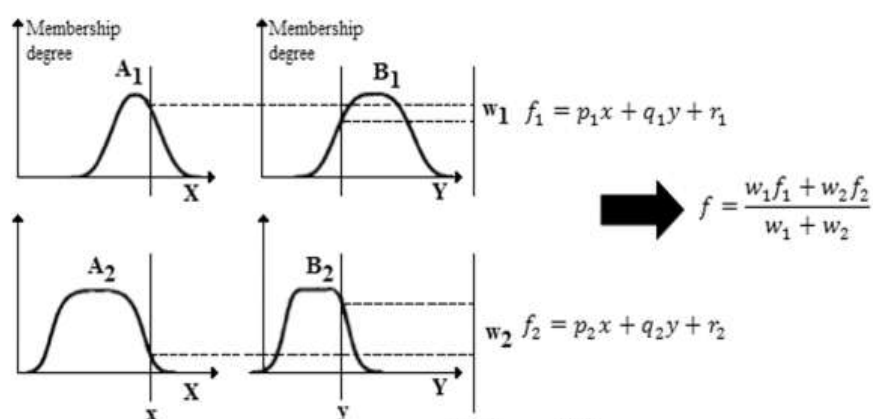
- التشوه في شرائح التقوية.

في هذه الدراسة سيكون لدينا مدخلين x, y ومخرج واحد f سنأخذ نموذج Sugeno بقاعدة then كما في المعادلات:

$$\text{If } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } C \text{ then } f_1 = p_1x + q_1y + r_1 \quad \dots(1) \text{ القاعدة الأولى}$$

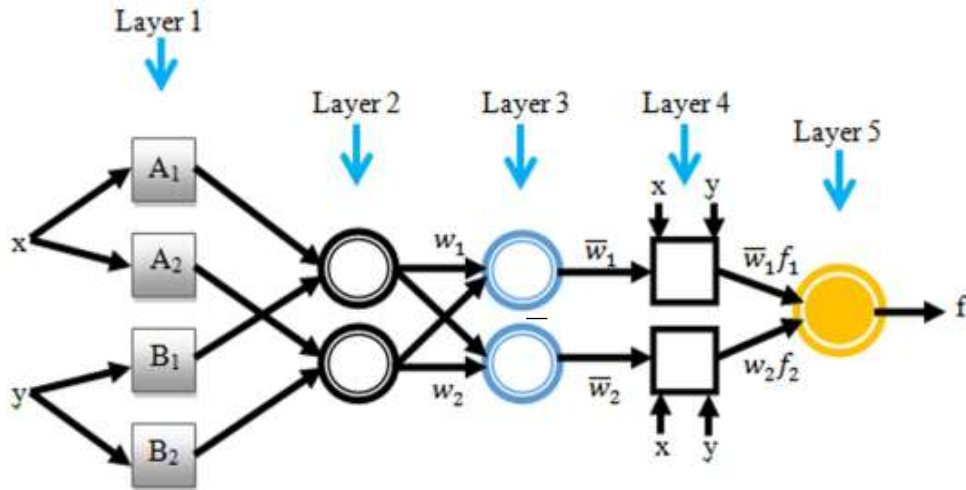
$$\text{If } x \text{ is } B \text{ and } y \text{ is } D \text{ then } f_2 = p_2x + q_2y + r_2 \quad \dots(2) \text{ القاعدة الثانية}$$

حيث تشير البارامترات (p_i, q_i, r_i) إلى بارامترات سابقة وبشكل واضح هي بارامترات محددة من قبل المستخدم والتي سيتم تقريبها باستخدام (training procedure) في ANFIS ويوضح الشكل (3) آلية التفكير في نموذج Sugeno [7]:



الشكل (3): نموذج Sugeno

ونوضح المخطط المكافئ في ANFIS [7] في الشكل (4):



الشكل (4): المخطط المكافئ في ANFIS

كل النقاط في نفس الطبقة لها نفس التابع، الإخراج لكل نقطة (i th) في الطبقة l يشار لها $O_{l,i}$

$$O_{l,i} = \mu_{A_i}(x) \quad \text{for } i=1,2 \text{ or } \dots \dots (3)$$

$$O_{l,i} = \mu_{B_{i-2}}(y) \quad \text{for } i=3,4 \dots \dots (4)$$

حيث x, y هي مدخلات متغيرة للنقطة i .

الطبقة الأولى: هي الطبقة التي تتعامل مباشرة مع المدخلات حيث تقوم هذه الطبقة بحساب نسبة المشاركة لمجموعة المدخلات حسب القاعدة.

وتابع العلاقة في هذه الحالة هو تابع الجرس المعمم :

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-c_i}{a_i}\right)^{2b_i}} \dots \dots (5)$$

ولهذا التابع أفضل القدرات للتعميم وذلك للبارامترات اللاخطية .

a_i, b_i, c_i هي بارامترات تابع المشاركة والتي يتم تطويرها /خلال عملية التعلم / أثناء المعالجة في ANFIS . التابع الجرس يتغير وفقاً لقيم تغيير المتغيرات لذا يظهر أشكال مختلفة لتتابع المشاركة (membership functions) للمجموعة الضبابية A . وتسمى المتغيرات في الطبقة الأولى المتغيرات الافتراضية (مسلمات).

الطبقة الثانية: كل نقطة في هذه الطبقة هي نقطة ثابتة وتعطى بالمعادلة التالية:

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \quad i=1,2 \dots \dots (6)$$

تعطي كل نقطة من المخرجات قوة القاعدة أي أن الطبقة الثانية تحدد قوة القواعد.

الطبقة الثالثة: تقوم بحساب نسبة قوة قاعدة معينة إلى القواعد الأخرى .

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad i=1,2 \dots \dots (7)$$

كل نقطة في الطبقة الثالثة هي نقطة ثابتة، تحسب كل نقطة i th جزء من قوة القاعدة إلى مجموع القواعد.

الطبقة الرابعة: كل نقطة من هذه الطبقة هي نقطة تكيفية مع نقاط التابع:

$$O_{4,i} = \overline{w}_1 f_i = \overline{w}_1 (p_i x + q_i y + r_i) \quad \dots\dots(8)$$

تشير المتغيرات في هذه الطبقة إلى ناتج البارامترات، حيث تقدم هذه الطبقة قيم مثالية للبارامترات بعد عملية التعلم في .ANFIS

الطبقة الخامسة: هي الطبقة التي تنتج الجواب النهائي حسب المعادلة

$$O_{5,i} = \sum \overline{w}_1 f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad \dots\dots(9)$$

كل نقطة في الطبقة الخامسة هي نقطة ثابتة.

النموذج التحليلي لـ ANFIS :

قمنا بتدريب النموذج بالبيانات المقاسة من خلال نتائج التجارب السابقة، مع العلم أن شكل تابع العلاقة هو تابع الجرس وتم استخدام ثلاث علاقات لنمذجة المدخلات.

تم تجريب نموذج ANFIS لتحديد قيم السهوم وعرض التشقق للجوائز المقواة بقضبان فولاذية أو قضبان من CFRP. حسب التجارب :

بارامترات الادخال هي: الحمولة المطبقة (P) وطول قضيب التقوية (L). أما المخرجات:

- السهم للجوائز المقواة بقضيب فولاذ (Ds) وعرض التشقق لهذه الجوائز (Ws).

- السهم للجوائز المقواة بقضيب FRP (Df) وعرض التشقق لهذه الجوائز (Wf).

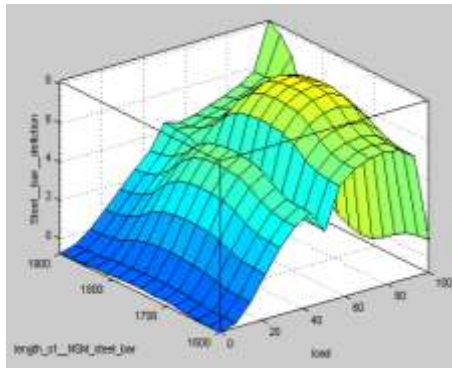
قمنا ببناء نموذج ANFIS باستخدام برنامج ماتلاب.

يظهر الشكل (5) السطوح المطلوبة لكل من (Ds, Df, Ws, Wf)، حيث يظهر الشكل a(5) السهم الأعظمي

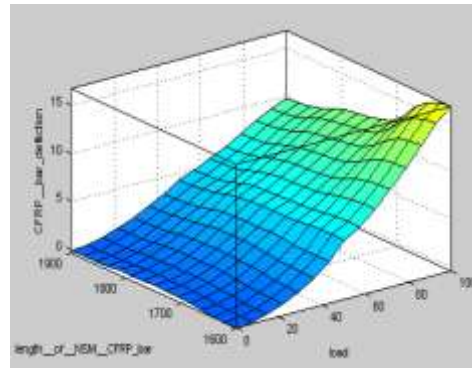
للجوائز المقواة بقضيب فولاذ عند الحمولة 70 kN وطول قضيب التقوية 1700mm. كما نلاحظ من الشكل b(5) أن

السهم الأعظمي للجوائز المقواة بقضيب CFRP تكون عند الحمولة 100KN وطول قضيب التقوية 1600mm. أما

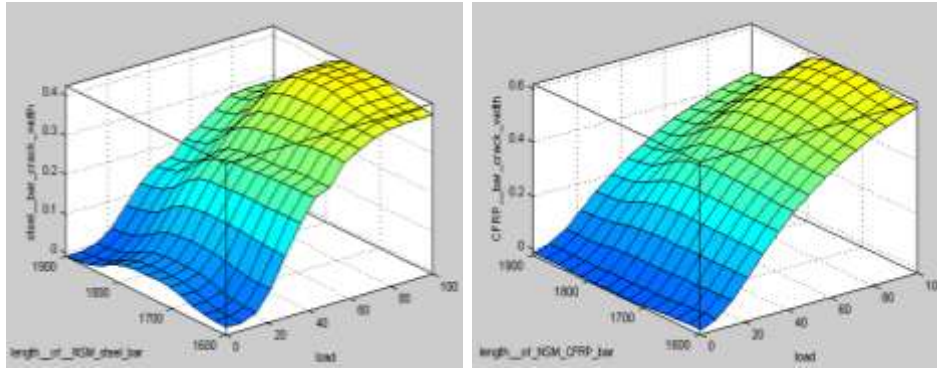
بالنسبة لعرض التشقق (Ws, Wf) كما يظهر الشكلين c, d(5) يزيد عرض التشقق مع زيادة الحمولة المطبقة.



(a)



(b)



(c)

(d)

الشكل (5): السطوح الناتجة من معالجة البيانات بطريقة ANFIS

(a) السهم للجوائز المقواة بقضيب فولاذي (b) السهم للجوائز المقواة بقضيب FRP

(c) عرض التشقق للجوائز المقواة بقضيب فولاذي (d) عرض التشقق للجوائز المقواة بقضيب FRP

ويظهر الشكل (6) القيم المتوقعة باستخدام نموذج ANFIS :

نلاحظ من الشكل (6) أن القيم المتوقعة لكل من (Ds, Df, Ws, Wf) بواسطة ANFIS متقاربة مع القيم التجريبية (نتائج التجارب العملية).

وللتحقق من أداء نموذج ANFIS المقترح تم الاستعانة بالمعايير الإحصائية R^2 , RMSE, وللتأكد من استحقاق طريقة ANFIS المقترحة كطريقة مؤكدة تم مقارنة النتائج المتوقعة بهذه الطريقة مع النتائج المتوقعة باستخدام طريقة المنطق الضبابي fuzzy logic وطريقة الشبكات العصبونية الاصطناعية ANN وتم استعمال المعايير الإحصائية التقليدية R^2 , RMSE, للمقارنة.

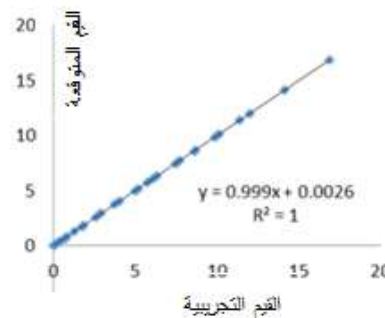
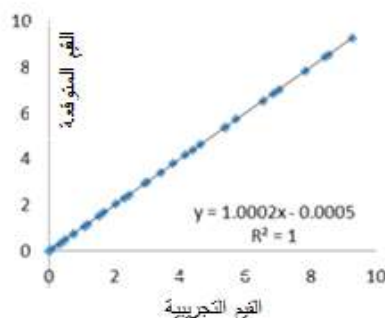
حيث يعطى معامل التحديد R^2 (Coefficient of determination) بالعلاقة:

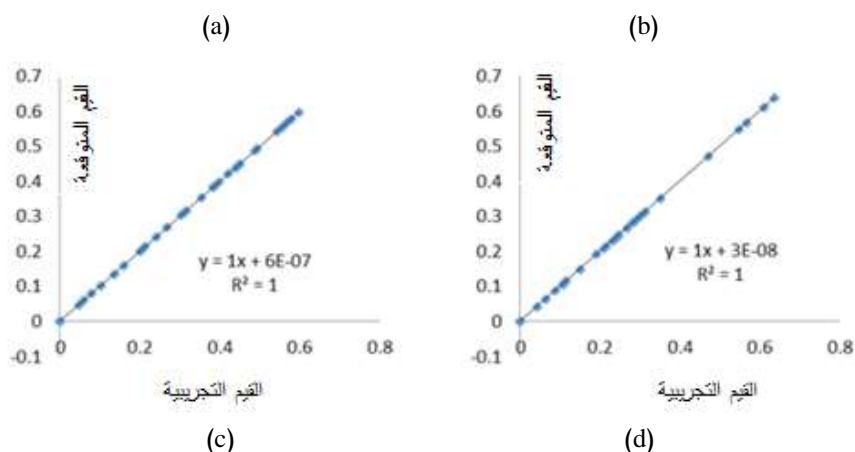
$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i) \cdot (P_i - \bar{P}_i)]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}_i)^2} \quad \dots\dots(10)$$

أما معامل جذر متوسط مربعات الخطأ RMSE (Root-mean-square error):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad \dots\dots(11)$$

حيث O_i القيم المتوقعة، P_i القيم المقاسة، n العدد الكلي لبيانات الاختبار.





الشكل (6): المخطط البياني للقيم المتوقعة باستخدام نموذج ANFIS من أجل:

- (a) السهم للجوائز المقواة بقضيب فولاذي
 (b) السهم للجوائز المقواة بقضيب FRP
 (c) عرض التشقق للجوائز المقواة بقضيب FRP
 (d) عرض التشقق للجوائز المقواة بقضيب فولاذي

نورد في الجدول (3) النتائج وفق الطريقة المقترحة ANFIS مع الطرائق التقليدية fuzzy , ANN ونلاحظ من هذا الجدول أن النتائج بالطريقة المقترحة ANFIS أدق من الطرائق التقليدية ويعود ذلك إلى التكيف الأعلى لشبكة ANFIS لإيجاد القيم المثالية لتتابع العلاقة من جهة ونوع تابع العلاقة من جهة أخرى فقد تم استخدام تابع الجرس في طريقة ANFIS بينما نستخدم توابع العلاقة المثلثية في طريقة المنطق الضبابي.

الجدول (3): قيم المعايير الإحصائية لنماذج ANFIS, ANN, FIS

نموذج FIS		نموذج ANN		نموذج ANFIS		
RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	
0.0525	0.9831	0.0785	0.9637	0.002249	1	السهم للجوائز المقواة بقضيب فولاذي
0.0672	0.9962	0.0892	0.9767	0.045185	1	السهم للجوائز المقواة بقضيب FRP
0.0343	0.9945	0.0647	0.9646	5.80E-07	1	عرض التشقق للجوائز المقواة بقضيب فولاذي
0.0278	0.9922	0.0577	0.9627	8.05E-07	1	عرض التشقق للجوائز المقواة بقضيب FRP

في طريقة ANN تم استخدام أربع طبقات :
 الطبقة الأولى: عقدتان.

الطبقات المخفية: الطبقة الثانية: ثلاث عقد، الطبقة الثالثة: ست عقد،
 الطبقة الرابعة: عشرة عقد.

طبقة المخرجات: عقدة واحدة.

الاستنتاجات والتوصيات:

تم التحقق في هذه المقالة من إمكانية استخدام طريقة ANFIS في توقع سلوك الخدمة (السهم - عرض التشقق) للجوائز المقواة بطريقة اللصق ضمن أحادي، تم استخدام الحمولة وطول قضيب التقوية لكل من الفولاذ والألياف الكربونية كمدخلات لمراقبة السهم وعرض التشقق للجوائز البيتونية المسلحة المجربة، تم مقارنة نتائج المحاكاة مع النتائج التجريبية العملية ومع التقنية الضبابية الكلاسيكية وكانت الاستنتاجات التالية:

1- تشير الدراسة إلى توافق السهم وعرض التشقق المتوقع مع النتائج التجريبية بدقة عالية وهذا يثبت كفاءة الأداء لنظام ANFIS .

2- أظهر نظام ANFIS دقة تنبؤية متفوقة وقابلية عالية للتعميم مقارنة مع طريقة المنطق الضبابي وطريقة الشبكات العصبونية (ANN)، حيث وصل الحد الأعلى من الدقة بنظام ANFIS عند التنبؤ بعرض التشقق للجوائز المقواة بقضبان CFRP فكان (RMSE=8.05E-07) بالمقابل كان الحد الأدنى من الدقة عند توقع قيمة السهم لنفس الجوائز (RMSE= 0.045185)، الفائدة الأساسية لنموذج ANFIS الكفاءة العالية حسابياً كما أنه متكيف جداً لتحقيق الأمثلية.

3- من الممكن استعمال نموذج ANFIS المقترح للتنبؤ بقيمة السهم وعرض الشق للجوائز المقواة بالفولاذ و CFRP بطريقة اللصق ضمن أحادي والذي يوفر علينا النفقة العالية للاختبارات التجريبية كما يوفر الوقت وهو شيء ثمين في النهاية.

References:

- [1] M.R. Coelho, J.M. Sena-Cruz, L.A. Neves, *A review on the bond behavior of FRP NSM systems in concrete*, Constr. Build. Mater.93(2015)1157–1169.
- [2] L. De Lorenzis, J.G. Teng, *Near-surface mounted FRP reinforcement: an emerging technique for strengthening structures*, Compos.PartBEng.38(2)(2007)119–143.
- [3] M.M. Rahman, M.Z. Jumaat, M.A. Rahman, I.M. Qeshta, *Innovative hybrid bonding method for strengthening reinforced concrete beam in flexure*, Constr. Build. Mater. 79 (2015) 370–378.
- [4] W.-W. Wang, J.-G. Dai, K.A. Harries, *Performance evaluation of RC beams strengthened with an externally bonded FRP system under simulated vehicle loads*, J. Bridge Eng. 18 (1) (2011) 76–82.
- [5] P. Visintin, D.J. Oehlers, R. Muhamad, C. Wu, *Partial-interaction short term serviceability deflection of RC beams*, Eng. Struct.56(2013)993–1006.
- [6] A.A. Shukri, K.M.U. Darain, M.Z. Jumaat, *The tension-stiffening contribution of NSM CFRP to the behavior of strengthened RC beams*, Materials 8 (7) (2015) 4131–4146.
- [7] J.-S. Jang, *ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system*, IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 23 (3) (1993) 665–685.
- [8] D. Petkovic, N.D. Pavlovic, Z. C ojbasic, N.T. Pavlovic, *Adaptive neuro fuzzy estimation of under actuated robotic gripper contact forces*, Expert Syst. Appl. 40 (1) (2013) 281–286.
- [9] A.H. Al-Rahmani, H.A. Rasheed, Y. Najjar, *A combined soft computing mechanics approach to inversely predict damage in bridges*, Proc. Comput.Sci. 8 (2012) 461–466.
- [10] I. Flood, L. Muszynski, S. Nandy, *Rapid analysis of externally reinforced concrete beams using neural networks*, Comput. Struct. 79 (17) (2001) 1553–1559.
- [11] R. Perera, M. Barchín, A. Arteaga, A.D. Diego, *Prediction of the ultimate strength of reinforced concrete beams FRP-strengthened in shear using neural net works*, Compos. B Eng. 41 (4) (2010) 287–298.

- [12] B.B. Adhikary, H. Mutsuyoshi, *Artificial neural networks for the prediction of shear capacity of steel plate strengthened RC beams*, Constr. Build. Mater. 18(6) (2004) 409–417.
- [13] N. Boely, R.M. Botez, G. Kouba, *Identification of a non-linear F/A-18 model by the use of fuzzy logic and neural network methods*, Proc. Inst. Mech. Eng. PartG: J. Aerosp. Eng. 225 (5) (2011) 559–574.
- [14] K. Nasrollah zadeh, M.M. Basiri, *Prediction of shear strength of FRP reinforced concrete beams using fuzzy inference system*, Expert Syst. Appl. 41 (4) (2014) 1006–1020.
- [15] K.M.U. Darain, M.Z. Jumaat, M.A. Hossain, M.A. Hosen, M. Obaydullah, M.N.Huda, et al., *Automated serviceability prediction of NSM strengthened structure using a fuzzy logic expert system*, Expert Syst. Appl. 42 (1) (2015) 376–389.
- [16] T.-W. Park, U.-J. Na, S.-J. Kwon, *Prediction of ultimate strength and strain of concrete columns retrofitted by FRP using adaptive neuro-fuzzy inference system*, J. Korea Concr. Inst. 22 (1) (2010) 19–27.
- [17] M. Jalal, A.A. Ramezani pour, A.R. Pouladkhan, P. Tedro, *Application of genetic programming (GP) and ANFIS for strength enhancement modeling of CFRP-retrofitted concrete cylinders*, Neural Comput. Appl. 23 (2) (2013) 455–470.