مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (4) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (4) 2011

التقدير الأولي لكلفة مشروعات الأبنية باستخدام الشبكات العصبونية

الدكتورة ابتسام حمد*
الدكتور هاني نجا**
رهف عمر أفندي***

(تاريخ الإيداع 30 / 5 / 2011. قُبِل للنشر في 21 / 7 / 2011)

□ ملخّص □

يقوم التقدير الأولي لكلفة أعمال البناء بوظيفة مهمة في عملية اتخاذ القرار للمشاريع على الرغم من محدودية بيانات التصميم المتاحة في تلك المرحلة؛ لذلك هدفت هذه الدراسة إلى تطوير موديل نموذجي لتقدير كلفة مشاريع الأبنية في المرحلة الأولية للمشاريع باستخدام تقنية الشبكات العصبونية الصنعية، فتم جمع بيانات لـ38 بناء سكني في محافظة اللاذقية، وحددت مجموعة من البارامترات المهمة المؤثرة في كلفة الأبنية السكنية على الهيكل، وذلك من خلال توزيع استبيان على عدد من المهندسين الاستشاريين في هذا المجال، وتم تدريب الشبكة العصبونية، واختبارها من خلال مجموعة من التصاميم المعمارية المقترحة، وتم اعتماد معمارية الشبكة العصبونية المثلى ذات الخطأ الأصغري.

تتألف طبقة الدخل للشبكة العصبونية المقترحة من إحد عشر متغيراً، وتتضمن طبقتين خفيتين كل طبقة تحتوي 14 عصبوناً، أما طبقة الخرج فتتألف من عصبون واحد يمثل كلفة المتر المربع للبناء على الهيكل. أشارت النتائج التي تم الحصول عليها من الشبكات العصبونية إلى نجاح هذه التقنية في التنبؤ بكلفة مشاريع الأبنية في المرحلة المبكرة من المشروع؛ وذلك اعتماداً على مجموعة من المعلومات دون حاجة إلى المزيد من التفاصيل المتعلقة بالتصميم، كذلك تم تطوير برنامج بسيط باستخدام لغة الـVB لتشغيل الشبكة العصبونية المدربة بسهولة.

الكلمات المفتاحية: مشاريع الأبنية، تقدير الكلفة الأولي، الشبكات العصبونية.

* أستاذ مساعد في قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
** مدرس في قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
*** طالبة ماجستير في قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (4) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (4) 2011

Primary Cost Estimating For Building Projects Using Neural Networks

Dr. Ibtisam Hamad[*]
Dr. Hani Naja[**]
Rahaf Omar Afandi[***]

(Received 30 / 5 / 2011. Accepted 21 / 7 / 2011)

□ ABSTRACT □

Early stage cost estimate plays a significant role in any initial construction project decisions, despite the project scope has not yet been finalized and still very limited information regarding the detailed design is available during these early stages. This study aimed at developing an efficient model to estimate the cost of building construction projects at conceptual stage of the project using artificial neural networks. Data of 38 building projects in Lattakia was collected. Several significant parameters identified for the structural skeleton cost of the project were determined by the use of questionnaire distributed among many experience engineers and constructors involved in this kind of projects, the network was trained and tested for different architectures in order to choose the network architecture that lead to the minimum error.

The input layer of the artificial Neural Networks (ANN) model comprised eleven parameters. The developed ANN model had tow hidden layer with fourteen neuron. One neuron representing the meter square cost of structural buildings at conceptual stage of the project formed the output layer of the ANN model. The results obtained from the trained models indicated the neural networks reasonably succeeded in predicting the early stage cost estimation of buildings using basic information of the projects and without the need for more detailed design.

Using VB programming language, simple program has been developed to run the trained network easily by the user.

Keywords: Building Projects, Primary Cost Estimating, Neural Networks.

[*] **Associate professor, Construction Engineering And Management Department, Faculty Of civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[**] **Assistant Professor, Construction Engineering And Management Department, Faculty Of civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[***] **Postgraduate Student, Construction Engineering And Management Department, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

تعدّ عملية تقدير الكلفة الأولية في مشروعات التشييد أحد أهم الأنشطة الملازمة لأعمال دراسة الجدوى والتصميم؛ إذ تمثل ركناً مهماً من أركان عملية اتخاذ القرار بتنفيذ المشروع. إن دقة هذا التقدير قد تعني الفرق بين المضي قدماً في أعمال التصميم حتى مرحلة الإنجاز الكامل، والتوقف عند مرحلة معينة من مراحل حياة المشروع، لذا فإن إعداد هذه التقديرات بطرق علمية سليمة يسهم في خروج المشروع إلى حيز التنفيذ بصورة مرضية.

ومن الملاحظ أن عملية التقدير الأولي لكلفة المشاريع الهندسية في سوريا ما زالت تعتمد على التخمينات المستمدة من الخبرات المتراكمة للأعمال السابقة، مع كل ما يعتري هذه التخمينات من أخطاء قد تبعدها عن القيمة الحقيقية للكلفة. فالمبالغة في زيادتها قد تعني إلغاء المشروع لأسباب تمويلية، أما المبالغة في إنقاصها فقد تؤدي إلى تعثر إنجاز المشروع، أو خروجه عن الطيف المرسوم له من خلال تدني مستوى الجودة أو الأداء، وهذا يؤثر في الشكل النهائي، أو الخدمات المؤمل أن يقدمها المشروع، وانحرافه عن غايته التي صمم لأجلها.

الدراسة المرجعية للبحث:

تعدّ عملية تقدير الكلفة لمشاريع التشييد عملية تنبؤية يمكن أن تكون أداة مهمة لتسهيل تحديد ميزانية المشروع، تبدأ هذه الأداة بما يسمى التقدير الأولي الذي يساعد في تحديد التمويل المطلوب، وقياس الحاجة للمشروع، ثم يتم تطوير هذه الأداة، وتحسينها خلال مراحل المشروع المختلفة لتحقيق حل عملي مقبول. أهمية هذا الموضوع جعلت عملية تقدير كلفة مشاريع البناء محط اهتمام مجموعة من الباحثين حتى وقتنا الحاضر.

قام [Yaman, H. and Tas, E, 2007] بإجراء دراسة كان الهدف منها هو تقديم نموذج حاسوبي لتقدير الكلفة مستنداً إلى العناصر الوظيفية لمشاريع القطاع الإنشائي في تركيا، فحددت العناصر الوظيفية المعتمدة في النظام كالآتي: بلاطة الأرضية، والطوابق وبيوت الدرج، والجدران الداخلية، والنوافذ، والأبواب الداخلية، والجدران الخارجية، والأبواب الخارجية، وهيكل السطح، وأشير إلى أن أهمية هذه الطريقة تكمن في البساطة، وقابلية استخدام النظام للحالات الحقيقية؛ ذلك أن أنظمة تقدير الكلفة يجب أن تكون بسيطة، مرنة، واقعية، سهلة التطبيق.

وفي دراسة أجراها الباحث [Sonmez, R, 2004] وجد أن التقدير التصوري للكلفة يقوم بوظيفة مهمة في المراحل الأولى من اتخاذ قرار المشروع، على الرغم من أن معلومات التصميم المتاحة تكون محدودة جداً. تم اقتراح استخدام تقنيات (الانحدار الخطي، والشبكات العصبونية، والتقدير المجالي) اعتماداً على بيانات سابقة لـ30 مشروعاً، 27 منها للتدريب، و3 للاختبار، وذلك لدور الرعاية الصحية للمتقاعدين في تركيا، وكان النموذج المعتمد هو نموذج الانحدار، النتيجة أن استخدام التقدير المجالي خلال مراحل مبكرة من المشروع يساعد على قياس عدم التأكد بشكل متوافق مع التقدير التصوري، كذلك يعتقد الباحث أن التقنيات المستخدمة في الدراسة حسنت تقدير الكلفة في مراحل مبكرة من المشروع.

تهدف الطريقة التي اقترحها الباحث [Cheung, Y.K.F. and Skitmore, M, 2005] أولاً إلى إعادة تقويم طريقة JAME (JAME STOREY ENCLOJURE AREA)؛ وهي طريقة تنتمي إلى (SINGLE RATE FAMILY)، وتعتمد مبدأ المتغير الواحد، وهو الوزن، فيتم من خلال هذه الطريقة إعطاء وزن لكل مكون من مكونات المبنى بحسب تأثيره في الكلفة. أما الهدف الثاني فهو تحديث طريقة JAME، وقد تم ذلك من خلال تطوير نموذجي انحدار بالاعتماد على بيانات مشاريع في HONG KONG لـ4 أنواع من الأبنية: المكاتب،

والإسكان الشعبي، وبيوت التمريض، والمدارس الابتدائية والثانوية.

جاءت النتائج خلافاً لمزاعم JAME؛ ذلك أن كلاً من طريقته الأصلية والمطورة باستخدام نموذجي الانحدار ليست أفضل من الطرق الأخرى، ولا أسوأ.

وضع كل من [Han, J.K., Lee, S.H., Park, M. and Gi, H.S, 2007] دراسة حول تقدير كلفة أعمال المشاريع الإنشائية؛ إذ كانت لديهم الرغبة في ابتكار طريقة تلبي الحاجة المرجوة حتى في الظروف غير الجيدة (قلة في كمية البيانات المتاحة)، فتم جمع بيانات حقيقية لأبنية منفذة في كوريا، وتم تقدير الكلفة باستخدام تقنية الـ(CBR (Case-Based reasoning، وتقنية الانحدار (Regression)، وذلك اعتماداً على مفهوم طبقة قاعدة البيانات (Concept of DATABASE Layer)، وفي نهاية الدراسة تم التنبيه على إمكانية تقدير كلفة المشاريع بسهولة باستخدام الـCBR فقط في حال كانت كمية البيانات كافية، ولأن الواقع مختلف كان من الضروري وضع نظام ليكون قابلاً للاستخدام في جميع الحالات، وأشاروا إلى وجود ضرورة وضع نظام آلي للمستخدمين.

من الملاحظ أن الدراسات السابقة تناولت تقدير كلفة مشروعات البناء في مراحل مختلفة منها في كثرة بياناتها، أو قلتها، وأنه لا يوجد نتيجة محتمة بأفضلية طريقة على الأخرى، وأن دقة النتائج، والتقنية المستخدمة لتحقيقها تختلف باختلاف الظروف المحيطة بالمشروع، وحساسية التقنية المستخدمة تجاه العوامل المؤثرة في الكلفة، والمعتمدة في الدراسة، وغيرها من الأمور.

أهمية البحث، وأهدافه:

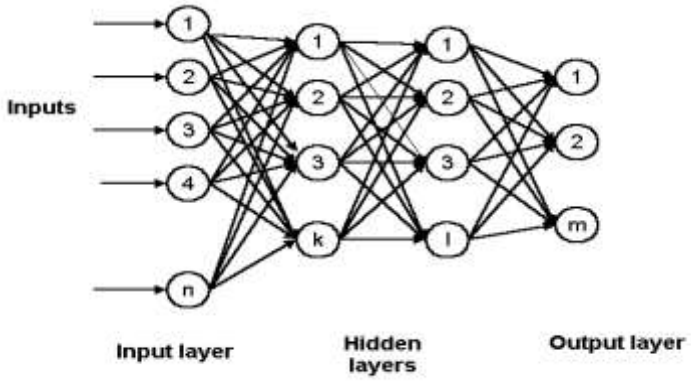
تكمن أهمية تقدير كلفة أعمال البناء في المرحلة التصورية للمشروع في دعم قرار المالك بدخول المشروع، أو رفضه، من خلال أخذ فكرة تقريبية عن مقدار الموارد المالية اللازمة لمرحلة التنفيذ. وقد تم استخدام الشبكات العصبونية في هذا المجال، لكونها قادرة على معالجة المعطيات الرمزية، إضافة إلى قدرة هذه التقنية على معالجة العوامل التي لا تربط بينها علاقة واضحة.

لذلك يعد هذا البحث محاولة لدراسة إمكانية استخدام أحد تطبيقات الذكاء الصنعي ممثلاً بالشبكات العصبونية الصنعية في تقدير كلفة المتر المربع من الأبنية السكنية على الهيكل خلال مرحلة التفكير في المشروع، وتم تطوير نظام حاسوبي يسهل على المستخدمين ممن ليس لديهم خبرة في الشبكات العصبونية الاستفادة من البرنامج عن طريق إدخال العوامل المؤثرة في الكلفة للحصول مباشرة على الخرج المطلوب. كما يساعد على سرعة الاستثمار عبر التطبيق المباشر لبيانات المشروع الجديد، وهذا أمر مهم جداً، وخاصةً في الحالات التي تكون فيها فترة اتخاذ القرار قصيرة.

طرائق البحث، ومواده:

- **الشبكات العصبونية**

إن الميزة الأساسية للشبكات العصبونية تكمن في قدرتها على معالجة كمية كبيرة من المعلومات، وتكوين نماذج لحل العديد من المسائل التي تتصف فيها العلاقة بين متحولات الدخل والخرج بصعوبة صياغتها رياضياً. وتتألف الشبكة العصبونية المقترحة من مجموعة من الطبقات Multi layers، وكل طبقة تتألف من مجموعة من الوحدات، أو العقد Nodes, Units، حيث يختلف عدد الطبقات الأمثل ضمن الشبكة، وعدد الوحدات داخل كل طبقة باختلاف المشكلة المعروضة. يوضح الشكل (1) بنية الشبكة العصبونية الصنعية المكونة من:



الشكل (1) النموذج العام للشبكات العصبونية المتعددة الطبقات

طبقة الدخل Input Layer:

تتكون طبقة الدخل من مجموعة من الوحدات، أو عناصر المعالجة Nodes التي تعمل على توزيع القيم المدخلة إليها من الوسط الخارجي إلى الطبقة الخفية التي تليها عبر الارتباطات الموجودة بينهما، فهي بذلك لا تقوم بأية عملية حسابية.

الطبقات الخفية Hidden Layers:

وهي مجموعة الطبقات التي تقع بين طبقتي الدخل والخرج، وتكون مكونة من طبقة واحدة، أو أكثر، وذلك بحسب حجم المشكلة وطبيعتها، وقد تبين أن (85 %) من التطبيقات المطوَّرة تم الاكتفاء فيها بطبقة واحدة، أو طبقتين [California Scientific Software 1994]. إنّ وحدات المعالجة الموجودة في هذه الطبقات هي التي تقوم بالعمليات الحسابية؛ إذ تتلقى الإشارات من وحدات طبقة الدخل، لتعالجها، وتطبق تابع التنشيط على تلك الإشارات، ثم تحولها إلى الطبقة الخفية التالية، أو إلى طبقة الخرج.

طبقة الخرج Output Layer:

وهي الطبقة النهائية التي تقع عند المخرج، وتقوم عناصر المعالجة فيها باستلام الإشارات من الطبقة الخفية السابقة، لتعالجها، وتقوم بإجراء العمليات الحسابية بشكل مشابه تماماً للطبقات الخفية؛ لتعطي بعد ذلك النتيجة النهائية للمشكلة [Freeman, A. J. and Skapura, M. D. 1991].

- **الأداة المستخدمة في تطوير نموذج الشبكة العصبونية**

هناك العديد من لغات البرمجة المطورة المتاحة للاستخدام في عملية بناء نماذج الشبكات العصبونية الصنعية، إحدى تلك الأدوات هي الأداة المطورة في جامعة كاليفورنيا التي تحمل الاسم التجاريBrain Maker، وقد تمت الاستعانة بتلك الأداة في عملية تصميم الشبكة، وتدريبها، واختبارها.

استخدم بعض الباحثين الأداة السابقة في تطوير العديد من الشبكات العصبونية في مختلف التطبيقات، وقد ساعدت في إعطاء نتائج دقيقة للغاية؛ ولذلك تم اختيارها أداةً لتطوير الشبكة العصبونية الصنعية المقترحة في هذا البحث.

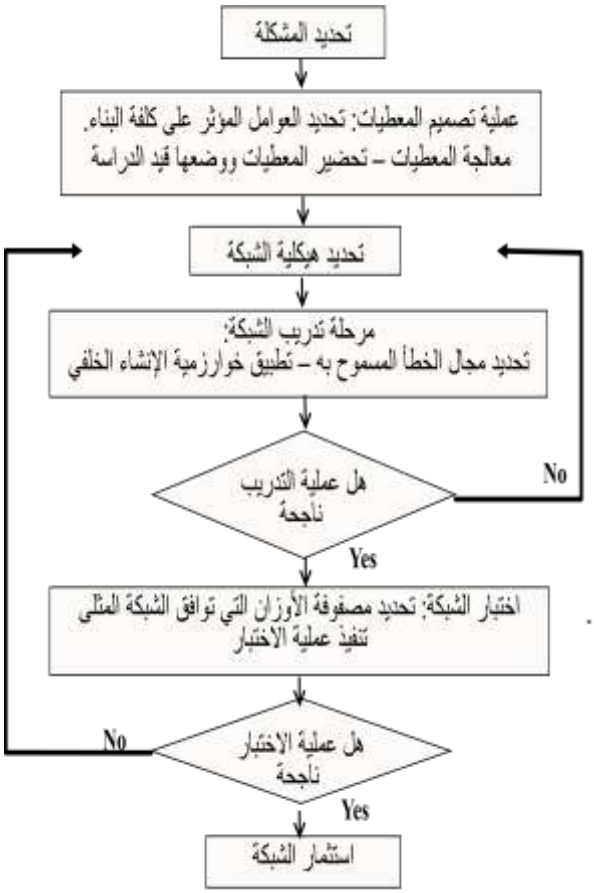
تتألف الأداة Brain Maker المستخدمة من موديلين متكاملين؛ هما (California Scientific Software 1994):

Net Maker: الذي يستخدم لتحضير المعطيات، وتحديد عوامل الدخل والخرج، وخلق ملفات التدريب والاختبار والاستثمار.

Brain Maker: الذي يستخدم في تحديد هيكلية الشبكة "عدد الطبقات الخفية، وعدد الوحدات داخل كل طبقة خفية، ومعدل التعلم"، وإجراء عمليات التدريب والاختبار والاستثمار.

النتائج والمناقشة:

يوضح الشكل (2) المراحل المتبعة في تطوير الشبكة العصبونية الصنعية الموضوعة قيد الدراسة (California Scientific Software 1994)



الشكل (2) مراحل تطوير الشبكات العصبونية الصنعية.

- **تحديد العوامل المؤثرة في كلفة أعمال البناء:**

يوجد العديد من العوامل التي تؤثر في كلفة أعمال البناء، وقد اعتمد الباحثون على عوامل اختلفت من دراسة لأخرى؛ وذلك تبعاً لكمية البيانات المتاحة (المرحلة التي يتم فيها التقدير)، والتقنية المستخدمة في التقدير. لتحديد العوامل المؤثرة في كلفة أعمال الأبنية السكنية التي ستؤخذ بالحسبان في طبقة الدخل للشبكة المقترحة، تم توزيع استبيان على/65/ خمسةٍ وستين من المهندسين الاستشاريين، وبعد الدراسة الإحصائية لنتائج الاستبيان حصرت العوامل المؤثرة بسبعة عوامل رئيسة، ولضمان إمكانية استخدام الشبكة العصبونية المقترحة مستقبلاً تمت إضافة مجموعة من العوامل؛ لإدخال تأثير تغيير أسعار المواد الأساسية المستخدمة في تنفيذ أعمال الأبنية

(الإسمنت، والفولاذ، والحصى، والرمل)، وسعر حفر المتر المكعب من التربة (تبعاً لنوعها). هذه الأسعار تم الحصول عليها بالنسبة إلى المشاريع المختلفة من جداول تحليل الأسعار الصادرة عن وزارة الإسكان والتعمير المقابلة لكل سنة. يظهر الجدول (1) درجة تأثير كل من البارامترات المقترحة في كلفة أعمال الهيكل للأبنية السكنية تبعاً لآراء المهندسين.

الجدول (1) درجة تأثير كل من البارامترات المقترحة في كلفة أعمال الهيكل للأبنية السكنية تبعاً لآراء المهندسين

التسلسل	المتغير	درجة تأثير الكلفة في المبنى				الوسط الحسابي للتأثير
		3	2	1	0	
		High influence	Medium influence	Low influence	No influence	
1	Total area	54	11	-	-	2.8
2	Floor number	49	16	-	-	2.75
3	Building height	46	19	-	-	2.7
4	Loading system	21	40	4	-	2.26
5	Foundation kind	35	30	-	-	2.5
6	Soil kind	15	40	10	-	2
7	Basement existing	28	32	5	-	2.3
8	Elevator existing	20	20	25	-	1.9

وقد تم اختيار العوامل التي يكون الوسط الحسابي لدرجة تأثيرها– تبعاً لآراء المهندسين– بين التأثير المتوسط والكبير ضمن مدخلات الشبكة، وبذلك تم استبعاد المتغير المتعلق بوجود بيت المصعد.

- **معالجة المعطيات:**

يقصد بعملية معالجة المعطيات تحويل المعطيات الرمزية؛ كنوع الجملة الحاملة، ونوع الأساسات، ونوع التربة، ووجود قبو إلى قيمٍ عدديةٍ، لتتلاءم مع طبيعة الشبكات العصبونية الصنعية التي تتعامل مع معطيات الدخل بوصفها مدخلات عددية. ثم تقديمها لوحدات طبقة الدخل الخاصة بالشبكة (California Scientific Software 1994).

يوضح الجدول (2) العوامل التي تم حسبانها مدخلات للشبكة مع توضيح القيم المحوَّلة المقابلة لكل عامل من العوامل.

الجدول (2) تصنيف العوامل المؤثرة على كلفة أعمال البناء.

رقم العامل	العامل	تصنيف قيم العامل
1	نوع التربة	1 = تربة ضعيفة (التربة الرملية). 2 = تربة متوسطة (التربة المختلطة). 3 = تربة قوية (التربة الصخرية).
2	نوع الأساسات	1 = مفردة. 2 = حصيرة.
3	المساحة الكلية للبناء	مقدرة بالمتر المربع.
4	عدد الطوابق	متدرج من طابقين إلى 12 طابقاً.
5	ارتفاع المبنى	مقدر بالمتر الطولي.
6	نظام التحميل	1 = أعمدة. 2 = أعمدة وجدران. 3 = جدران وأعمدة. 4 = جدران.
7	وجود قبو	1= لا يوجد. 2= يوجد.
8	كلفة الحديد	كلفة الكغ بالليرة السورية.
9	كلفة الإسمنت	كلفة الكغ بالليرة السورية.
10	كلفة الحصى والرمل	كلفة المتر المكعب بالليرة السورية
11	كلفة حفر التربة	كلفة الحفر للمتر المكعب من التربة الصخرية، أو المختلطة، أو الرملية بالليرة السورية.

- **تحضير المعطيات:**

تحتاج الشبكات العصبونية الصنعية إلى عددٍ من العينات لتتدرب، وتصبح قادرة على التعلم، وإعطاء نتائجَ دقيقةٍ، وكلما زاد عدد العينات انتقلت الشبكة من مرحلة التذكر إلى مرحلة التنبؤ، وحققت الغرض المطلوب. ولقد تم في هذه الدراسة جمع بيانات 38 مبنى سكنياً منفذاً في محافظة اللاذقية، تم استبعاد خمسة مشاريع؛ أي نحو 13% من العينة بشكل عشوائي؛ وذلك لإجراء عملية اختبار الشبكة العصبونية المختارة على تلك العينات، على حين استخدمت /33/ عينة لتدريب الشبكة العصبونية.

- **تحديد معمارية الشبكة:**

تعدّ عملية تحديد معمارية الشبكة مشكلة شديدة التعقيد لوجود العديد من العوامل المؤثرة في تحديدها؛ كمعدل التعلم، وعدد الطبقات الخفية، وعدد الوحدات ضمن الطبقات الخفية، وتابع التنشيط [علام زكي عيسى،

2000]. من أجل عملية التدريب والاختبار تمت زيادة معدل التعلم من القيمة 0.85 إلى القيمة 1 بخطوة مقدارها 0.05. تم تجريب 24 معمارية للشبكة العصبونية حيث تم تغيير عدد الطبقات من طبقة واحدة إلى طبقتين، أما عدد الوحدات داخل الطبقة الخفية الأولى فقد تمت زيادته من ثماني وحدات إلى ست عشرة وحدة، على حين راوح عدد الوحدات داخل الطبقة الخفية الثانية بين أربع وحدات وست عشرة وحدة، تم إعطاء كل معمارية 4 قيم لمعدل التعلم– كما تقدم– وهكذا تم تجريب 96 حالة تصميمية للشبكة العصبونية، والتابع المستخدم في هذه الدراسة هو تابع التنشيط سيغمويد.

- **مرحلة التدريب:**

استخدمت طريقة التدريب بمعلم أو مشرف في عملية تدريب الشبكة، واختبارها، وكذلك استخدمت خوارزمية الانتشار الخلفي Back Propagation حيث تم تمرير أزواج التدريب للشبكة (دخل، خرج) الواحد تلو الآخر، ومن أجل كل عينة حسبت قيمة خرج الشبكة، وتمت الموازنة بينه وبين الخرج الحقيقي المقدم لها، ليتم بعد ذلك حساب قيمة الخطأ بينهما، وتوزيعه باتجاه معاكس (أي تعديل أوزان الارتباط بين وحدات الطبقات الخفية)، وتم تكرار هذه العملية مرات متعددة حتى تصبح عينات التدريب جميعها جيدة، وذلك من أجل:

$$Training\ tolerance = 0.05$$

حيث تعد عينة التدريب جيدة في أثناء عملية التدريب إذا كان الفرق بين الكلفة الحقيقية لهذه العينة، والكلفة المحسوبة بوساطة الشبكة في أثناء عملية التدريب تنتمي إلى الـrange tolerance الذي يعطى بالعلاقة (California Scientific Software 1994).

$$Range\ tolerance = training\ tolerance * (MAX - MIN)$$

MAX: أكبر قيمة خرج حقيقي للعينات المدروسة.

MIN: أصغر قيمة خرج حقيقي للعينات المدروسة.

كل تصميم من تصاميم الشبكة العصبونية تم تدريبه، واختباره، وأخذت القيم الناتجة لمعدل الخطأ أساساً للموازنة بين الحالات التصميمية المقترحة للشبكة؛ لاختيار الحل الأمثل الذي يوافق الخطأ الأصغري.

يبين الجدول (3) نتائج تدريب التصاميم المعمارية 12–9 للشبكة العصبونية، وذلك من أجل معدلات تعلم مختلفة تراوح بين 0.85 و1

الجدول (3) نتائج تدريب التصاميم المعمارية 12–9 للشبكة العصبونية

رقم التصميم	معدل التعلم	التصميم	عدد الطبقات المخفية	عدد العصبونات في الطبقة الأولى	عدد العصبونات في الطبقة الثانية	Average Error RMSE
9	0.85	11_16_10	2	16	10	0.0282 0.0316
	0.9	11_16_10	2	16	10	0.0292 0.0328
	0.95	11_16_10	2	16	10	0.0311 0.0348
	1	11_16_10	2	16	10	0.0237 0.0248
10	0.85	11_16_8	2	16	8	0.0323 0.0349
	0.9	11_16_8	2	16	8	0.0286 0.0328
	0.95	11_16_8	2	16	8	0.0308 0.0348
	1	11_16_8	2	16	8	0.0266 0.0312
11	0.85	11_14_14	2	14	14	0.0234 0.0280
	0.9	11_14_14	2	14	14	0.0239 0.0276
	0.95	11_14_14	2	14	14	0.0297 0.0335
	1	11_14_14	2	14	14	0.0253 0.0295
12	0.85	11_14_12	2	14	12	0.0325 0.0354
	0.9	11_14_12	2	14	12	0.0281 0.0322
	0.95	11_14_12	2	14	12	0.0306 0.0341
	1	11_14_12	2	14	12	0.0292 0.0327

حيث يدل الرقم العلوي في كل خلية من الجدول على متوسط مقدار الخطأ؛ أي Average Error الذي يعطى بالعلاقة:

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \quad \sum_{j=1}^{m} \quad \frac{|Oij - Tij|}{Tij}$$

أما الرقم السفلي فيدل على قيمة الانحراف المعياري للخطأ Root Mean Squared Error (RMSE) الذي يعطى بالعلاقة:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} (Oij - Tij)^2}{n}}$$

حيث :

n: عدد عينات التدريب (أزواج التدريب).

m: عدد مركبات (عصبونات) شعاع الخرج.

O_{ij}: هو الخرج الناتج عن الشبكة للعصبون j الموافق لزوج التدريب i.

T_{ij}: هو الخرج، أو الهدف الحقيقي للعصبون j الموافق لزوج التدريب i.

من خلال نتائج التدريب لوحظ أن الشبكة العصبونية المثلى النهائية تعطي خطأ أصغرياً مقداره 0.0234 من أجل المعمارية الآتية:

- ▣ عدد وحدات طبقة الدخل 11.
- ▣ لطبقة الخرج وحدة فقط تمثل كلفة المتر المربع من البناء السكني على الهيكل.
- ▣ عدد الطبقات الخفية 2.
- ▣ عدد الوحدات، أو العصبونات في الطبقتين الخفيتين الأولى والثانية هو 14.
- ▣ معدل التعلم 0.85.
- ▣ تابع التنشيط المستخدم هو تابع سيغمويد.

- **مرحلة الاختبار:**

تم اختبار الشبكة النهائية المثلى على العينات الخمس التي استبعدت سابقاً من أجل الاختبار، ثم تمت الموازنة بين القيم الحقيقية والنتائج المحسوبة من الشبكة، يوضح الجدول (4) القيم الحقيقية للمشاريع، ونسبة الخطأ في الكلفة المقدرة الناتجة عن تنبؤ الشبكة المدربة.

الجدول (4) الكلفة الحقيقية، ونسبة الخطأ الناتجة عن اختبار الشبكة.

رقم المشروع	الكلفة الحقيقية للمتر المربع من البناء	نسبة الخطأ
1	1490	-0.09
10	2073	-0.096
19	2812	0.047
28	3841	-0.042
37	4979	-0.03

بالموازنة بين القيم الحقيقية للكلفة والقيم الناتجة عن اختبار الشبكة، أظهرت النتائج توافقاً كبيراً بين تلك القيم، وهكذا تم الوصول إلى شبكة مثلى استطاعت التنبؤ بكلفة الأبنية السكنية على الهيكل في المرحلة الأولية، وعلى مستوى جيد من الدقة، وهذا يمكن من وضع الشبكة قيد الاستثمار.

- **استثمار الشبكة المطورة**

بعد ما تم الانتهاء من تطوير الشبكة العصبونية المثلى تم تطوير برنامج حاسوبي باستخدام لغة الـVB يسهل على المستخدمين الذين ليس لديهم خبرة في الشبكات العصبونية الاستفادة من البرنامج عن طريق إدخال العوامل المؤثرة في الكلفة للحصول مباشرة على الخرج المطلوب دون القيام بتشكيل ملف للإدخالات، ودون الحاجة إلى معالجة المدخلات الرمزية، أو الحاجة إلى العودة إلى الشبكة المثلى من خلال خطوات عدة، ونوافذ مختلفة للبرنامج المستخدم في تدريب الشبكة المثلى، فاختصر بذلك على المستثمرين الكثير من الجهد والوقت.

الاستنتاجات، والتوصيات:

تقدم هذه الورقة البحثية محاولة للاستفادة من تقنية الشبكات العصبونية في مجال اتخاذ القرار الهندسي، حيث تم تطوير نموذج جديد من نماذج تقدير الكلفة بالاعتماد على الشبكات العصبونية الصنعية، يساعد نموذج الشبكة العصبونية المقترح المالك على تقدير الميزانية المطلوبة في مشروع ما، ومدى الإمكانية لدخول مشروع، أو رفضه، من خلال أخذ فكرة تقريبية عن مقدار الموارد المالية اللازمة لمرحلة التنفيذ، وقد اختيرت الكلف الخاصة بمشاريع تنفيذ الأبنية السكنية على الهيكل؛ وذلك لانتشار هذا النوع من المشاريع.

تم تدريب النماذج المقترحة للشبكات العصبونية، وقد وضعت الشبكة المدربة المثلى، الموافقة للخطأ الأصغري، قيد الاستثمار بعد أن أعطت نتائج دقيقة في أثناء القيام باختبارها على عينات الاختبار. ومن الممكن تطوير النظام لتطبيقه بشكل أوسع في مختلف أنواع الأبنية من خلال إدخال بارامترات تتعلق بخصائص هذه الأبنية، كذلك ينصح باستخدام الشبكات العصبونية الصنعية في مختلف مجالات الهندسة المدنية التي تتطلب مقداراً كبيراً من الدقة، لذلك يجب إجراء عملية توثيق لجميع المشاريع الهندسية المنجزة في القطر بغية الاستفادة من تلك البيانات في تطوير الاستخدام المستقبلي للشبكات العصبونية.

المراجع:

1. CALIFORNIA SCIENTIFIC SOFTWAR. *Brain Maker Proffesional, Neural Networks Simulation Software, User´s Guide and Reference Manual*. 1^{st}. ed., California university, Nevada city, California, 1994.
2. CHEUNG, F. K. T. and Skitmore, M. *Application of Cross Validation Techniques for Modeling Construction Costs During the Very Early Design Stage*. Building and Environment London, Vol. 41, No. 12, 2006, 1973–1990.
3. FREEMAN, J. A. and SKAPURA, D. M. *Neural Networks, Algorithms, Applications, and Programming Techniques*. 2^{nd}. ed., Addison-Wesley, California, 1992, 393
4. HAN, K. H؛ LEE, H. S؛ PARK, M. and JI, S. H. *Cost Estimation Methodology Using Database Layer in Construction Projects*. The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Lithuania, June 26-29, 2008.
5. SONMEZ, R. *Conceptual Cost Estimation of Building Projects with Regression Analysis and Neural Networks*. Canadin Journal of Civil Engineering Canada, Vol. 31, No. 4, 2004, 667-683.
6. YAMAN, H. and TAS, E. *a building Cost Estimation Model Based on Functional Elements*. Journal Of The Fuculty Architecture Turkey, Vol. 4, No. 1, 2007, 73-87.
7. عيسى، علام زكي. *الشبكات العصبية الصنعية، البنية الهندسية، الخوارزميات، التطبيقات*. الطبعة الأولى، دار شعاع، سورية، 2000، 497.