

Ước lượng chi phí xây dựng nhà xưởng trong giai đoạn đấu thầu ứng dụng mạng neural nhân tạo (ANN)

Estimation the cost of industrial construction factory based on artificial neural network (ANN)

> **THS LÊ HỮU QUỐC PHONG^{1,2}, PGS.TS TRẦN ĐỨC HỌC^{1,3}, PGS.TS NGUYỄN NINH THỤY³, THS PHAN QUỲNH TRÂM^{1,3}**

¹ Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM

² Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ ³ Đại học Quốc gia TP.HCM

TÓM TẮT

Trong quá trình công nghiệp hóa ngày càng tăng, việc xác định chi phí xây dựng nhà xưởng trong quá trình đấu thầu mang ý nghĩa vô cùng quan trọng. Có rất nhiều phương pháp ước lượng chi phí xây dựng đã được đề xuất nhưng hầu hết là các phương pháp truyền thống, tính toán thủ công và chủ yếu dựa vào kinh nghiệm. Nghiên cứu này đề xuất mô hình ước lượng chi phí xây dựng ứng dụng mô hình mạng neural nhân tạo (ANN - Artificial Neural Network). Mô hình được xây dựng trên phần mềm Rapidminer Studio 9.5 dựa trên các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình ước tính chi phí từ 11 yếu tố đầu vào tại 35 công trình.

Từ khóa: Nhà công nghiệp; chi phí đấu thầu; Rapidminer Studio; trí tuệ nhân tạo

ABSTRACT

In the process of increasing industrialization, the determination of building factory cost is extremely important during the bidding process. Numerous construction cost estimation methods have been proposed, however, most are traditional methods, manual calculation and mainly based on experience. This research proposes a cost estimation method for factory building by an artificial neural network (ANN) model. The model is built on Rapidminer Studio 9.5 software based on factors affecting the cost estimation process from 11 inputs at 35 projects.

Keywords: Industrial construction; bidding cost; Rapidminer Studio; artificial intelligence

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, Việt Nam từ nước có nền kinh tế nông nghiệp chủ đạo đã chuyển mình trở thành một trong những trung tâm công nghiệp trọng điểm của châu Á. Theo đánh giá của ngành Bất động sản công nghiệp được công bố bởi Công ty CBRE - Commercial Real Estate Services [1], tại Việt Nam có 335 khu công nghiệp được thành lập, có 260 khu công nghiệp đã được thành lập với tổng diện tích khoảng 68,7 nghìn ha và 75 khu công nghiệp đang xây dựng với tổng diện tích khoảng 29,2 nghìn ha. Tỷ lệ lấp đầy của các khu công nghiệp đang hoạt động đạt khoảng 75,7%. Tính đến năm 2019, khu vực phía Nam đã có khoảng 380.500 m² nhà xưởng đã xây sẵn, tăng 18,9% so với cùng kì năm trước, khu vực phía Bắc là 321.420 m², tăng 25,2% so với cùng kì năm 2018. Hiện nay, nhà đầu tư nước ngoài đang đẩy mạnh hợp tác với các nhà phát triển lĩnh vực công nghiệp trong nước, nhằm khai thác tối đa tiềm năng của thị trường công nghiệp tại Việt Nam. Vì vậy, đầu tư xây dựng nhà xưởng công nghiệp sẽ phát triển trong thời gian tới.

Theo đó, quá trình nhu cầu dự thầu cho các dự án công nghiệp cũng tăng theo. Vấn đề được quan tâm nhất là phần ước tính chi phí trong quá trình đấu thầu, đây là vấn đề được khá nhiều công ty xây dựng và các chủ đầu tư quan tâm. Theo Borja García de Soto [2]: "Ước tính chi phí xây dựng cơ sở là một phần chính của ước tính chi phí. Một nhà thầu xây dựng thường phải chuẩn bị dự toán chi phí để chuẩn bị hồ sơ dự thầu trong quá trình đấu thầu xây dựng để cạnh tranh trúng thầu. Tuy nhiên, trong quá trình đấu thầu việc có nhiều người tham gia vào quá trình tính toán không phải là một việc cần thiết mà cần phải chuẩn bị các phương pháp khác nhau của người tính toán và kết hợp các phương pháp khác để hỗ trợ quá trình lập dự toán và so sánh với các hồ sơ dự thầu trước đây. Thực hiện bằng cách ước lượng các nguồn lực cần thiết cho dự án (như vật liệu xây dựng), sau đó lấy số lượng loại nguồn lực đó nhân với chi phí với chi phí đơn vị tương ứng với nó. Phương pháp này có ưu điểm là có thể phân biệt được số lượng, chi phí và có thể cập nhật khi có thông tin mới".

Hiện nay, có nhiều nghiên cứu về ước lượng chi phí xây dựng nhà xưởng. Pan Hua [3] đưa ra 11 yếu tố ảnh hưởng đến chi phí xây dựng nhà xưởng ở Trung Quốc, sau đó huấn luyện mạng ANN với 27 dữ liệu và 3 dữ liệu thử nghiệm cho sai số 10%. Ở trong nước,

nghiên cứu của Võ Minh Hồ [4] "Ước lượng chi phí nhà thép bằng mô hình động học hệ thống (System dynamics)" nghiên cứu này chỉ tính toán được chi phí phần kết cấu thép, chi phí lắp dựng thép. Vì vậy, nghiên cứu hướng đến dự báo chi phí xây dựng nhà xưởng phù hợp với môi trường ở Việt Nam dựa trên dữ liệu giá dự thầu của các dự án đã hoàn thành và các dự án đang thực hiện thông qua các yếu tố tác động đến chi phí đầu tư xây dựng sẽ giúp nhà đầu tư cũng như nhà thầu thuận lợi trong việc ước lượng chi phí đầu tư xây dựng công trình nhà xưởng.

Trên thế giới, có rất nhiều phương pháp áp dụng để ước lượng chi phí trong xây dựng như: lập luận dựa trên tình huống (CRB- case reason based), hồi quy (RA - Regression analysis), máy vec-tơ hỗ trợ (SVM - Support vector machine), logic mờ (Fuzzy logic), mạng nơ ron nhân tạo (ANN - Artificial neural network), mô hình lai ghép (Hybrid model),... Theo Dr. Nabil, (2012) [5] "ANN có tiềm năng tốt trong khả năng tạo ra các mô hình phức tạp và cung cấp ước tính chi phí so với các phương pháp ước lượng như hồi quy tuyến tính. Việc ước tính chính xác chi phí xây dựng là rất quan trọng trong các dự án xây dựng để lập ngân sách, lập kế hoạch và giám sát việc tuân thủ ngân sách hiện có, thời gian và công việc còn tồn đọng của khách hàng. Trong ước tính chi phí, kinh nghiệm của người lập dự toán và thông tin dự án là các nhân tố rất quan trọng. Do đó, các mô hình ước tính chi phí tham số rất hữu ích trong giai đoạn đầu của vòng đời dự án khi biết ít thông tin về phạm vi của dự án. Những mô hình ước tính chi phí tham số bao gồm dữ liệu lịch sử hiện đang được sử dụng trong thực tế cũng như dữ liệu mới cụ thể cho một dự án mới".

Gary, (2010) [6] cho rằng ước tính chi phí liên quan đến việc lấy các thứ nguyên, thuộc tính và các yếu tố khác được đề xuất và kết hợp với dữ liệu quá khứ để phát triển chi phí ước tính cho một đối tượng. Một ưu điểm của việc sử dụng ANN là khả năng hiểu và mô phỏng các chức năng phức tạp bao gồm các thứ nguyên, thuộc tính và các yếu tố khác. Mạng neural có thể được sử dụng để tạo ra các hàm phức tạp hơn các phương pháp cũ hơn như hồi quy tuyến tính, làm cho lượng dữ liệu có sẵn ngày càng quan trọng. Prechelt, (2008) [7] đã chỉ ra ANN tạo ra một mô hình tối ưu về bản chất chung và tạo ra một lỗi bình phương nhỏ cho dữ liệu không có trong tập huấn luyện có ảnh hưởng lớn đến hiệu suất của nó.

Haytham H. Elmousalami (2019) [8] tổng hợp và đưa ra được phần trăm các nghiên cứu sử dụng mô hình AI (Artificial Intelligence). Ngoài mô hình kết hợp các thuật toán (Hybrid model) chiếm 27% thì mô hình ANN được sử dụng nhiều nhất chiếm tỷ lệ 25%, bởi ANN có nhiều ưu điểm vượt trội so với những mô hình khác như xây dựng mô hình đơn giản, thời gian huấn luyện mô hình nhanh và cho kết quả khá chính xác.

2. CƠ SỞ NGHIÊN CỨU

2.1 Các phương pháp ước tính chi phí

Có nhiều phương pháp để ước lượng chi phí, các phương pháp được sử dụng dựa vào các yếu tố: mục đích, số lượng thông tin, thời gian, dữ liệu về chi phí.

2.1.1. Phương pháp đơn vị

Phương pháp đơn giá chi phí đến từng đơn vị sử dụng của công trình, phương pháp này có thể áp dụng cho giai đoạn ước tính và dự toán, tùy thuộc vào độ chi tiết của khối lượng. Đối với khối toán chi phí, phương pháp giá được áp dụng cho các trường hợp như: trường học (chi phí/học sinh hay chi phí/1m² sàn xây dựng), bệnh viện (chi phí/giường bệnh, nhà hát - chi phí/ghế người), bãi đậu xe (chi phí/chỗ đậu xe) ... Đối với lập dự án theo đơn giá tổng hợp, phương pháp được áp dụng để lập giá dự thầu.

$$CPXD = P_{sd} \times C_{đv} \quad (1)$$

Trong đó:

P_{sd}: Năng lực sử dụng (còn gọi là năng lực thiết kế trong các báo cáo thống kê Việt Nam)

C_{đv}: Chi phí đơn vị

2.1.2. Phương pháp diện tích sàn

Tổng diện tích sàn bằng tổng diện tích của tất cả các sàn của các tầng (tính diện tích lọt lòng, không trừ diện tích tường ngăn bên trong, thang máy và cầu thang).

$$CPXD = S_{sàn} \times C_{đv} \quad (2)$$

Trong đó:

S_{sàn}: Tổng diện tích sàn (m²)

C_{đv}: Chi phí đơn vị theo m² sàn

2.1.3. Phương pháp thể tích

Mục tiêu của phương pháp là ước lượng chi phí công trình thông tin qua đơn vị khối tích:

$$CPXD = V \times C_{đvt} \quad (3)$$

Trong đó:

V: Thể tích công trình (m³)

C_{đvt}: Chi phí đơn vị thể tích (1m³)

2.1.4. Phương pháp SEM (Story Enclosure Method)

Phương pháp ước lượng này cho phép tính đến các thiết kế kiến trúc và tiêu chuẩn hoàn thiện thông qua bảng miêu tả về hình dạng công trình, tổng diện tích sàn, chiều cao tầng...

$$CPXD = \left(\sum_{i=0}^n (2 + 0.15i) f_i + \sum_{i=0}^n p_i s_i + (2 + 3) \sum_{j=0}^m f'_j + 2 \sum_{j=0}^m p'_j s'_j + r \right) R \quad (4)$$

Trong đó:

n: số tầng trên mặt đất

f_i: diện tích sàn tầng thứ i (trên mặt đất) trừ tường

P_i: chu vi tường phía bên ngoài của tầng thứ i (trên mặt đất)

S: chiều cao tầng thứ i (trên mặt đất)

m: số tầng hầm

f'_j: diện tích sàn tầng hầm thứ j trừ tường

P'_j: chu vi tường bên ngoài của tầng thứ j

S'_j: chiều cao tầng hầm thứ j

r: diện tích sàn mái

R: chi phí xây dựng theo diện tích quy đổi.

2.1.5. Phương pháp phân tích phần tử (Elemental Cost Analysis)

Phương pháp này áp dụng phân tích kết quả chi phí phần tử của những dự án tương tự đã thực hiện trước đó làm cơ sở cho ước lượng chi phí và được tính toán theo các dạng thức cụ thể của Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS).

Chi phí được tính toán dựa vào một diện tích bề mặt hoặc một diện tích sàn cơ sở nhưng chi phí đơn vị bề mặt toàn bộ thì được phân chia thành các phần tử chính và những phần tử phụ. Tại mức thấp hơn của sự phân chia, nó trở nên dễ hiệu chỉnh cho các sự khác biệt trong thiết kế của các dự án mới như là sự so sánh với các dự án cũ mà dữ liệu là có sẵn.

$$C_1 = \frac{QF_1}{QF_0} \times C_0 \quad (5)$$

$$QF = \frac{n_{dv}}{S}$$

Trong đó:

C₁: Chi phí/m² công trình mới

C₀: Chi phí/m² công trình hiện hữu

QF₁: Thừa số khối lượng công trình mới

QF₀: Thừa số khối lượng công trình hiện hữu

ndv: Số đơn vị phần tử của công trình

S: Diện tích sàn

Thực hiện bước làm như trên cho mỗi loại phần tử và tổng chi phí của dự án là tổng tất cả các chi phí của các loại phần tử.

2.1.6. Phương pháp ước lượng thừa số (Factor estimating)

Phương pháp này ưu tiên áp dụng cho các dự án với những thành phần chi phí nổi trội như là nhà máy lọc dầu, nhà máy tinh chế kim loại,... Các thừa số được tính cho mỗi thành phần như là hàm số của chi phí nổi trội (predominant cost). Thông thường chi phí nổi trội là chi phí mua sắm thiết bị cho dự án. Người ta xem dự án mới sẽ có tỷ lệ giữa từng chi phí thành phần và chi phí nổi trội giống như dự án hiện hữu.

Sử dụng dữ liệu của các dự án hiện hữu tương tự sẽ ước lượng sơ bộ được chi phí của một dự án công nghiệp khá nhanh với độ chính xác chấp nhận được.

$$CPXD_{TP} = k_{hh} \times C_m \tag{6}$$

Trong đó:

CPXD_{TP}: chi phí xây dựng thành phần

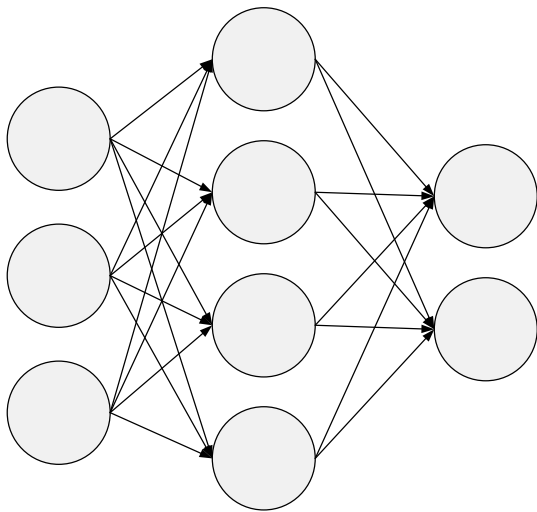
k_{hh}: thừa số tương ứng của dự án hiện hữu

C_m: Chi phí mua sắm thiết bị của dự án mới

2.2 Thuật toán ANN (Artificial Neural Networks)

Một mạng ANN bao gồm các neural tổ chức thành thành nhiều lớp và mỗi lớp sẽ đảm nhận một công việc cụ thể. ANN thường có 3 lớp: lớp vào, lớp ẩn và lớp đầu ra [9], mô hình mạng neural ở hình 1.

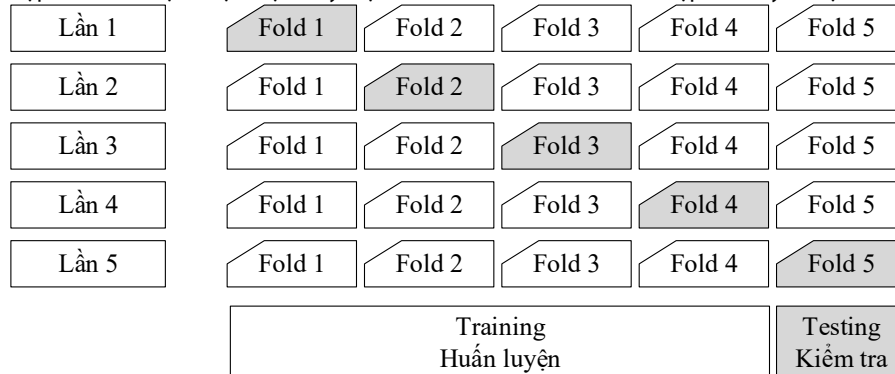
Inputs (Lớp đầu vào) Hidden (Lớp ẩn) Outputs (Lớp đầu ra)



Hình 1. Mô hình mạng neural nhân tạo

2.3 RapidMiner Studio 9.5

RapidMiner là một nền tảng phần mềm khoa học dữ liệu cung cấp một môi trường tích hợp để chuẩn bị dữ liệu, học máy, học sâu,



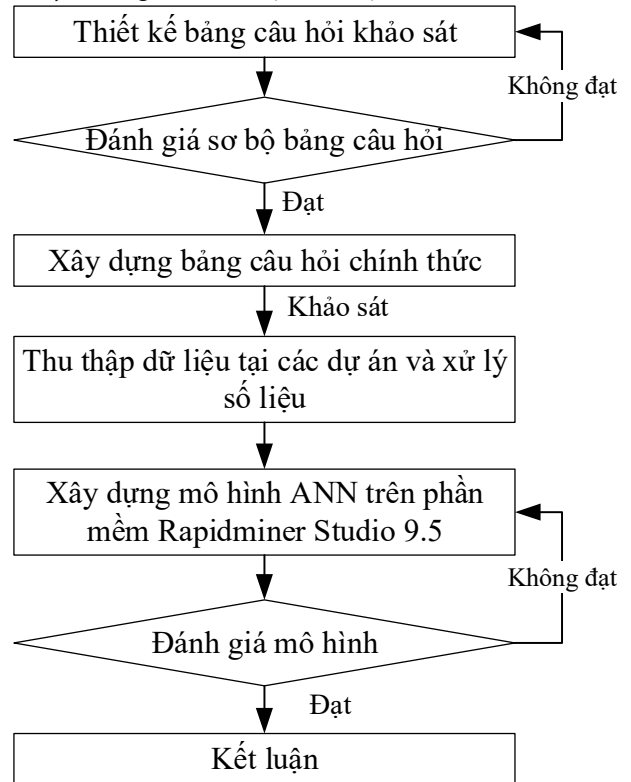
Hình 3. Phân chia tập dữ liệu 5-fold

khai thác văn bản và phân tích dự đoán. Đây là một trong những hệ thống mã nguồn mở hàng đầu cho khai thác dữ liệu. Chương trình được viết hoàn toàn bằng ngôn ngữ lập trình Java. RapidMiner Studio Developer 9 cung cấp các lược đồ Learning Schemas, các mô hình và các thuật toán, và có thể được mở rộng bằng ngôn ngữ R và Python.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1 Quy trình nghiên cứu

Quy trình nghiên cứu được biểu thị như hình 2 bên dưới.



Hình 2. Quy trình nghiên cứu

3.2 Phương pháp thu thập dữ liệu

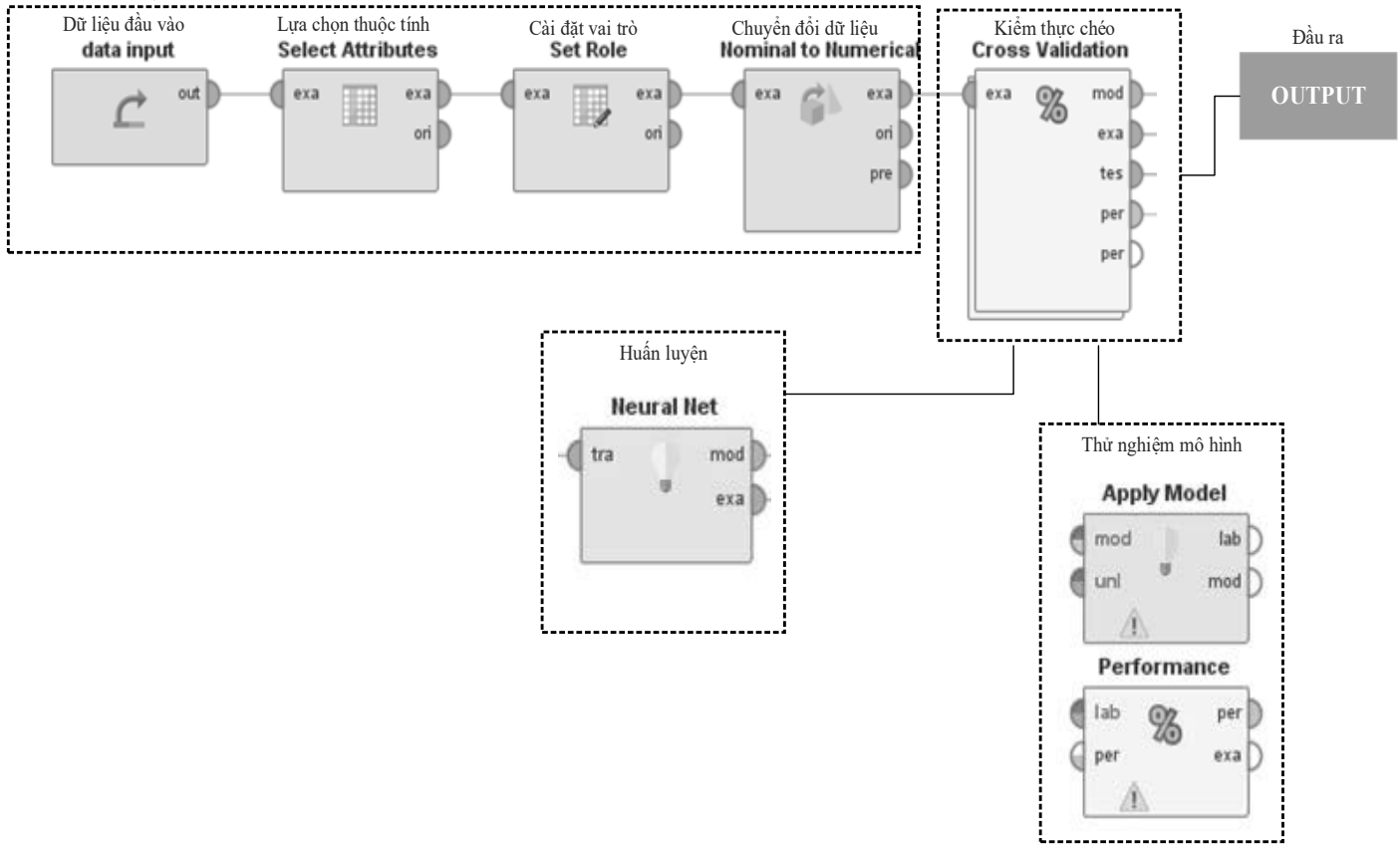
Trong nghiên cứu này, mẫu được lấy theo phương pháp thuận tiện, công tác thu thập dữ liệu đã được thực hiện bằng cách gửi Bảng khảo sát gặp trực tiếp phỏng vấn và gián tiếp (online) bằng đường dẫn Google Form thông qua các ứng dụng Gmail, Zalo, Messenger,... đến những đối tượng khảo sát.

3.3 Quy trình xây dựng mô hình

Quy trình xây dựng mô hình thông qua 3 bước :

- Bước 1: Thu thập và xử lý số liệu (Hình 3).

- Bước 2: Xây dựng mạng neural nhân tạo bằng phần mềm Rapidminer Studio 9.5 (Hình 4).



Hình 4. Sơ đồ qui trình thực hiện trong Rapidminer Studio 9.5

- Bước 3: Đánh giá mô hình với hệ số tương quan (R), sai số trung bình tuyệt đối (MAE - Mean absolute error), sai số phần trăm sai số tuyệt đối trung bình (MAPE - Mean Absolute Percent Error), sai số toàn phương trung bình (RMSE - Root mean squared error).

4. KẾT QUẢ

4.1 Thiết kế thông số

Mạng nơ ron nhân tạo (ANN) đã được sử dụng trong nhiều lĩnh vực cho nhiều ứng dụng khác nhau và được chứng minh là đáng tin cậy. Mặc dù có những ưu điểm độc đáo như bản chất phi tham số, khả năng giới hạn quyết định tùy ý và dễ dàng thích ứng với các loại dữ liệu khác nhau thì chúng có một số hạn chế. Những hạn chế này là kết quả của một số yếu tố, có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của việc phân loại. Các yếu tố này có thể được chia thành hai nhóm chính: yếu tố bên ngoài và yếu tố bên trong. Các yếu tố bên ngoài bao gồm các đặc điểm của tập dữ liệu đầu vào và quy mô của nghiên cứu, trong khi các yếu tố bên trong là sự lựa chọn cấu trúc mạng thích hợp, trọng số ban đầu, số lần lặp, chức năng truyền và tốc độ học [10]. Có 2 thông số cơ bản ban đầu cần xác định của hệ ANN là số lớp ẩn và tốc độ học của mô hình (learning rate).

Có rất nhiều nghiên cứu xác định số neural trong lớp ẩn sử dụng phương pháp thử và sửa cho đến khi nào đạt kết tối ưu hoặc mong muốn. Để khắc phục điều này K. Gnana Sheela (2013) [11] thức tính số neural trong lớp ẩn và Tijana Vujičić và cộng sự (2016) [12] đã chứng minh công thức này giúp quá trình huấn luyện đạt sai số thấp nhất với n là số neural lớp đầu vào như công thức 1.

$$\frac{4n^2 + 3}{n^2 - 8} \quad (7)$$

Tốc độ học là một siêu tham số sử dụng trong việc huấn luyện các mạng neural, thường nằm trong khoảng giữa 0 và 1. Tốc độ học kiểm soát tốc độ mô hình thay đổi các trọng số để phù hợp với bài toán như công thức 2.

$$W_{\text{new}} = W_{\text{old}} - (\gamma * v + \eta * \text{gradient}) \quad (8)$$

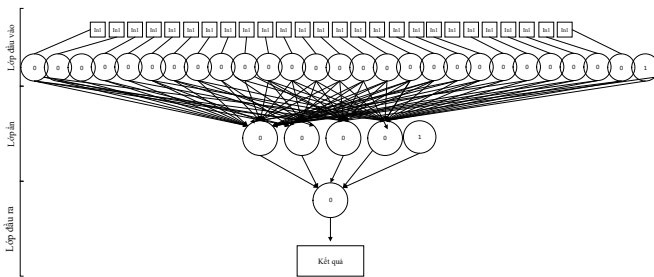
Việc lựa chọn giá trị này phụ thuộc nhiều vào dữ liệu và yêu cầu mỗi bài toán và phải làm một vài thí nghiệm để chọn ra giá trị tốt nhất. Ở nghiên cứu này tác giả đã thử và chọn tốc độ học là 0,02 thì kết quả sai số thấp nhất.

4.2 Thiết lập mô hình

Các thông số này được ở bảng 1 và hình 3 dưới đây. Các bước thực hiện được tham khảo ở tài liệu hướng dẫn [13] và cụ thể các thiết lập trong phần mềm Rapidminer Studio.

Bảng 1 : Các thông số cho mô hình mạng ANN

Thông số	Giá trị trong Rapidminer
Số nút của lớp vào	26
Số lớp ẩn	1
Số nút của lớp ẩn	4
Số vòng lặp	200
Momentum (động lượng)	0.9
Learning rate (tỉ lệ học)	0.02
Hàm truyền	Sigmoid
Error epsilon (sai số cho phép)	1.0E-4



Hình 5. Mô hình hoạt động ANN

Sau khi chạy mô hình, kết quả hiệu suất được liệt kê tại bảng 2.
Bảng 2 : Kết quả hiệu suất mô hình ANN

Model	R	MPAE (%)	MAE (triệu VNĐ)	RMSE (triệu VNĐ)
ANN	0,910	22,49	4.153,246	5.661,965

Sai số tuyệt đối trung bình (MAE) cho giá trị được thông qua mô hình bằng (4.153 triệu đồng), có thể chấp nhận được đối với dự án có tổng mức đầu tư lớn nhưng nó là một sai số lớn nếu dự án có tổng mức đầu tư nhỏ. Do đó, chỉ số này không quyết định quan trọng khi đánh giá hiệu suất của mô hình. Sai số phần trăm tuyệt đối trung bình của mô hình là được tính toán từ bộ thử nghiệm, bằng 22,49% có thể chấp nhận được. Hệ số tương quan (R) là 0,910 tương đối cao, có mối tương quan tuyến tính tốt giữa giá trị thực tế và giá trị neural ước tính chi phí mạng ở giai đoạn thử nghiệm.

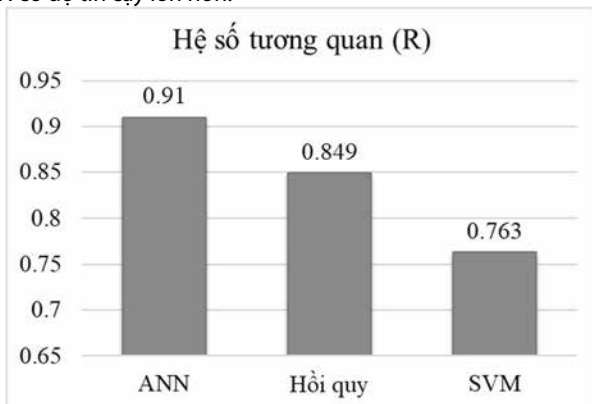
4.3 So sánh với các mô hình khác

Sử dụng bộ dữ liệu 35 công trình chạy mô hình hồi quy và mô hình máy véc tơ hỗ trợ (SVM). Kết quả của 3 mô hình thể hiện ở bảng 10, hệ số tương quan (R), phần trăm sai số trung bình tuyệt đối (MAPE), sai số trung bình tuyệt đối (MAE), sai số toàn phương trung bình (RMSE) của mô hình ANN có độ tin cậy cao, tốt hơn, tiếp theo là mô hình hồi quy và cuối cùng là mô hình véc tơ hỗ trợ (SVM). Vì vậy, mô hình ANN sử dụng trong nghiên cứu này là mô hình cho kết quả tin cậy cao.

Bảng 3 : So sánh kết quả các mô hình

Model	R	MPAE (%)	MAE (triệu VNĐ)	RMSE (triệu VNĐ)
ANN	0,910	22,49	4.153,246	5.661,965
Hồi quy	0,849	35,54	4.890,241	6.559,556
SVM	0,763	88,78	10.538,749	12.162,688

Mô hình ANN có hệ số tương quan lớn nhất 0.910, lớn hơn mô hình hồi quy và máy véc-tơ hỗ trợ (Hình 6), từ đó cho thấy mô hình ANN có độ tin cậy lớn hơn.



Hình 6. Biểu đồ hệ số tương quan của các mô hình

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đưa ra mô hình dự báo giá thầu trong giai đoạn thiết kế và giai đoạn đấu thầu, nghiên cứu có thể giúp nhà đầu tư có cái nhìn tổng thể về giá thầu xây dựng, lên kế hoạch tài chính cũng như giúp nhà thầu đánh giá được giá thầu giúp tăng khả năng thắng thầu.

Nghiên cứu đã xác định được những nhân tố ảnh hưởng đến chi phí xây dựng nhà xưởng trong giai đoạn đấu thầu và đưa ra mô hình dự báo giá thầu trên nền tảng của phần mềm Rapidminer Studio 9.5.

Nghiên cứu xây dựng mô hình neural nhân tạo ANN, bộ trọng số trong quá trình huấn luyện được tối ưu và hiệu suất mô hình tính tự động bằng phần mềm Rapidminer Studio 9.5. Cấu trúc mạng ANN gồm 03 lớp: 01 lớp nhập (26 neural), 01 lớp ẩn (04 neural), 01 lớp xuất (01 neural), hàm truyền là Singmod, thuật toán lan truyền ngược. Mô hình mạng neural nhân tạo có độ tin cậy cao hơn mô hình hồi quy và véc tơ hỗ trợ SVM.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia TP.HCM (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số **DS2022-20-01**

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H. Line. (2020). *Vietnam Industrial Market - Time For A Critical Makeover*.
- [2] Y. Rezgui, H. El-Sawah, and O. Moselhi, "Comparative study in the use of neural networks for order of magnitude cost estimating in construction," *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 19, pp. 462-473, 10/01 2014.
- [3] P. v. c. s. Hua, "Practical application study of neural network in cost estimation of industrial plants," *China Acad. J. Electron. Publ. house*, 2010.
- [4] V.M.Hồ, "Ứng dụng System Dynamics trong phân tích & dự báo chi phí xây dựng nhà thép tiền chế," ĐHQG TP.HCM - Đại học Bách Khoa, 2012.
- [5] N. I. El-Sawalhi, "MODELLING THE PARAMETRIC CONSTRUCTION PROJECT COST ESTIMATE USING ANN," *Creative construction conference*, vol. 3, 2012.
- [6] Gary R. Weckman, "Using Neural Networks with Limited Data to Estimate Manufacturing Cost," Master of Science (MS), Ohio University, Industrial and Systems Engineering (Engineering and Technology), Ohio University, 2010.
- [7] L. Prechelt, "Automatic early stopping using cross validation: quantifying the criteria," *Neural Networks*, vol. 11, no. 4, pp. 761-767, 1998/06/01/ 1998.
- [8] H. H. Elmousalami, "Intelligent methodology for project conceptual cost prediction," *Heliyon*, vol. 5, no. 5, p. e01625, 2019/05/01/ 2019.
- [9] T. Q. Dũng, "Ứng dụng mạng neural nhân tạo (ANN) trong dự báo độ rỗng," *Tạp chí dầu khí*, vol. 7, 2019.
- [10] T. Kavzoglu, *Determining Optimum Structure for Artificial Neural Networks*. 1999.
- [11] K. G. Sheela and S. N. Deepa, "Review on Methods to Fix Number of Hidden Neurons in Neural Networks," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013, p. 425740, 2013/06/20 2013.
- [12] T. M. Tijana Vujičić, Jelena Ljucović, Adis Balota, "Comparative Analysis of Methods for Determining Number of Hidden Neurons in Artificial Neural Network," *Central European Conference on Information and Intelligent Systems 2016*.
- [13] RapidMiner, "RapidMiner 9," 2021.