

Ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo dự đoán tuổi thọ sử dụng của kết cấu bê tông cốt thép

■ **THS. LƯU TRƯỜNG GIANG**

Ban Quản lý dự án 6

■ **PGS. TS. NGUYỄN HỮU HƯNG; PGS. TS. TRẦN VIỆT HÙNG**

Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Sự xuống cấp của kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) do cơ chế ăn mòn gây ra trong cốt thép là một vấn đề nghiêm trọng ảnh hưởng lớn đến độ bền của kết cấu bê tông. Về cơ bản, nó xảy ra khi cốt thép bên trong bê tông chịu tác động của môi trường biển hoặc xâm thực. Bài báo trình bày phương pháp dự đoán tuổi thọ sử dụng của kết cấu BTCT thông qua việc xem xét các mô hình ăn mòn nổi bật khác nhau và so sánh với kết quả dự đoán của mô hình artificial neural network (ANN). Kết quả của bài báo bước đầu thể hiện được triển vọng của việc ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo trong dự đoán tuổi thọ sử dụng của kết cấu bê tông.

TỪ KHÓA: Bê tông cốt thép, tuổi thọ sử dụng, mạng nơ-ron nhân tạo.

ABSTRACT: Degradation of reinforced concrete (RC) structures due to corrosion mechanisms in reinforcement is a serious problem that greatly affects the durability of concrete structures. Basically, it occurs when the reinforcement inside the concrete is exposed to the marine environment or to erosion. This paper presents a method to predict the service life of reinforced concrete structures by considering different prominent corrosion models and comparing them with the prediction results of artificial neural network (ANN) models. The results of the paper initially show the prospect of applying artificial neural networks in predicting the service life of concrete structures.

KEYWORDS: Reinforced concrete, service life, ANN.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự xuống cấp của kết cấu BTCT do ăn mòn cốt thép là một trong những vấn đề về độ bền được quan tâm trên toàn thế giới, đặc biệt khi kết cấu chịu tác động của môi trường biển hoặc môi trường xâm thực hóa học. Hiện tượng ăn mòn gây ra sự xuống cấp của vật liệu gia cố chủ yếu do hai yếu tố cần lưu ý như: (i) Ăn mòn do sự xâm nhập

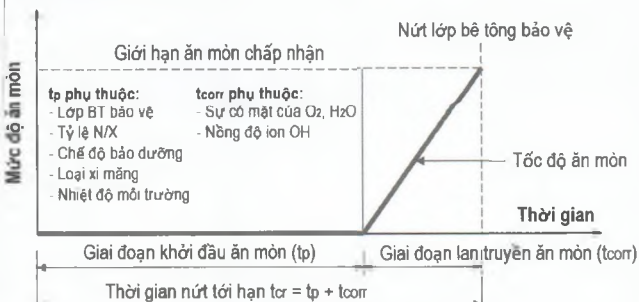
của clorua; (ii) Ăn mòn do cacbonat hóa. Quá trình cacbonat hóa thường xảy ra trong một môi trường tương đối ẩm ướt nơi có đủ lượng cacbon điôxit để trải rộng trên bề mặt. Tuy nhiên, trong trường hợp ăn mòn do sự xâm nhập của clorua, sự xâm nhập của clorua thường nhanh hơn quá trình cacbonat hóa và nó gây ra sự hư hỏng sớm do làm suy giảm sức kháng của kết cấu dẫn đến kết thúc sớm tuổi thọ thời gian sử dụng của kết cấu. Ở giai đoạn hư hỏng muộn hơn, khi có thể nhận thấy được hư hỏng của kết cấu do ăn mòn cốt thép, nói chung đã quá muộn để thực hiện bất kỳ biện pháp phòng ngừa nào nhằm bảo vệ kết cấu. Do đó, ước tính tuổi thọ sử dụng trở nên vô cùng quan trọng đối với những hư hỏng gây ra trong kết cấu do ăn mòn cốt thép. Khi cốt thép bắt đầu ăn mòn, nó lan truyền với tốc độ không đổi và làm giảm tuổi thọ sử dụng của kết cấu bằng cách phát triển ứng suất do sự giãn nở của thép dẫn đến nứt bề mặt và bê tông bị bong tróc. Tốc độ ăn mòn ảnh hưởng trực tiếp đến tuổi thọ còn lại của kết cấu BTCT bị ăn mòn. Ở giai đoạn hư hỏng ban đầu, khi cốt thép mới bắt đầu bị ăn mòn, nó cho thấy sự xuống cấp đáng kể. Trong hầu hết các trường hợp, việc bảo trì kết cấu thường xuyên đã bị bỏ qua hoặc kết cấu không đủ mạnh và bền để duy trì sự ổn định của kết cấu. Đối với các vấn đề nứt lớp bảo vệ các mô hình giả thuyết khác nhau đã được đề xuất để dự đoán thời gian nứt lớp bảo vệ. Các kết quả và mô hình được tạo ra từ các nghiên cứu trước đây khác nhau chủ yếu do sự thay đổi của các tham số, phương pháp thí nghiệm cũng như các giả định được đưa ra trong quá trình mô hình hóa bởi các nhà nghiên cứu khác nhau [1, 2, 3].

Trong nghiên cứu này, cách tiếp cận dựa trên ANN được sử dụng để dự đoán tuổi thọ của kết cấu BTCT chịu ăn mòn do clorua gây ra. Trong những năm gần đây, ANN đã ứng dụng thành công vào các vấn đề kỹ thuật dân dụng khác nhau mà khó giải quyết bằng các phương pháp toán học thông thường. Điều này bao gồm dự đoán/dự báo các nguy cơ tự nhiên như động đất, lũ lụt, lở đất và sóng thần ảnh hưởng xấu đến tuổi thọ sử dụng hoặc thời gian phục vụ thiết kế của kết cấu bằng cách bắt đầu quá trình xuống cấp sớm. Dự đoán về những hiểm họa tự nhiên này đại diện cũng như bao gồm một quá trình phức tạp phụ thuộc vào các thông số vật lý và môi trường khác nhau có bản chất ngẫu nhiên. Tuy nhiên, sự xuống cấp của kết cấu BTCT do

Ăn mòn do clorua gây ra có thể được coi là một trong những nguy cơ tự nhiên phụ thuộc vào các thông số vật lý và môi trường khác nhau. Mặc dù các mô hình dự báo đáng tin cậy sẵn để ước tính tuổi thọ của kết cấu BTCT, nhưng chúng không có khả năng giảm thời gian tính toán đến một mức độ đáng kể [4, 5]. Để khắc phục điều này, ANN đã được thực hiện như một phần của tính toán mềm để tránh các công thức toán học phức tạp để có thể thu được kết quả đáng tin cậy về tuổi thọ của kết cấu do ăn mòn do clorua gây ra. Thật vậy, ANN là một mạng phi tuyến tính cao thể hiện khả năng tổng quát hóa và học hỏi từ các ví dụ được xác định trước mà không cần có bất kỳ kiến thức nào về hệ thống toán học phức tạp. Do đó, để mô hình hóa một hệ thống vật lý dự đoán tuổi thọ của cấu trúc BTCT với độ chính xác hợp lý và quy trình tính toán nhanh chóng, một mô hình mạng nơ-ron được đào tạo đã được sử dụng. Từ các phép đo thống kê, người ta đã xác định được rằng mô hình mạng nơ-ron thể hiện hiệu quả cao trong việc dự đoán chính xác tuổi thọ của kết cấu BTCT. Do đó, với việc áp dụng tính toán mềm, một hệ thống dự báo đáng tin cậy được tạo ra cung cấp các kết quả thông thường về sự suy thoái kết cấu BTCT với độ chính xác hợp lý xem xét loại bỏ các quá trình tính toán phức tạp.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TUỔI THỌ KẾT CẤU BTCT

Bazant [6] đã trình bày một mô hình toán học để dự đoán tuổi thọ của kết cấu BTCT chịu ăn mòn cốt thép trong bê tông. Sự phá hủy do ăn mòn có xét đến thể tích gian nở do sự sắp xếp của gỉ ngậm nước trên bề mặt cốt thép. Do tính chất mở rộng của gỉ ngậm nước, gỉ sẽ nở ra gấp 4 lần thể tích của thép mẹ. Cuối cùng, do sự hình thành gỉ ngậm nước, ứng suất hướng tâm ra bên ngoài được tạo ra trên bề mặt xung quanh. Ứng suất hướng tâm gây ra tương tự như sự gia tăng đường kính cốt thép D_d do tăng thể tích của nó cho đến khi lớp phủ bê tông tách ra. Theo mô hình của Bazant [6], sự lan truyền ăn mòn có thể được biểu thị như Hình 2.1.



Hình 2.1: Tuổi thọ sử dụng của kết cấu BTCT [1, 4, 6]

Thời gian từ khi bắt đầu ăn mòn tới khi ăn mòn gây nứt bê tông, t_{corr} :

$$t_{corr} = \rho_{corr} \frac{d \cdot \Delta d}{S \cdot j_r} \quad (1)$$

$$\rho_{corr} = \frac{\pi}{2 \left[\frac{1}{\rho_r} + \frac{0.523}{\rho_m} \right]} \quad (2)$$

Trong đó:

- S - Khoảng cách giữa các thanh (mm);
- d - Đường kính của thanh thép (mm);

- Δd - Sự tăng đường kính của thanh do gỉ (mm);
 - j_r - Tốc độ tạo gỉ, $j_r = 2,89 \times 10^{-12} i_{corr}$;
 - ρ_{corr} - Một hàm của mật độ khối lượng của thép và gỉ.
- Theo mô hình Bazant, thời gian t_{cr} là một hàm của tốc độ ăn mòn, chiều dày lớp bê tông bảo vệ, khoảng cách giữa các cốt thép và tính chất cơ học của bê tông như cường độ chịu kéo, mô-đun đàn hồi, hệ số Poisson và hệ số từ biến.

$$t_{cr} = t_p + t_{corr} \quad (3)$$

Trong đó:

- t_p - Thời gian khởi đầu ăn mòn (năm);
- t_{corr} - Thời gian ăn mòn lan truyền (năm).

Thời gian khởi đầu ăn mòn t_p xác định như sau:

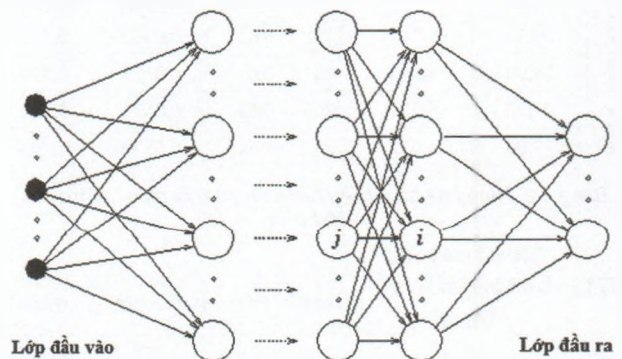
$$t_p = \frac{1}{12D_{app}} \left(\frac{C_v}{1 - \sqrt{\frac{C_{th}}{C_s}}} \right) \quad (4)$$

Trong đó:

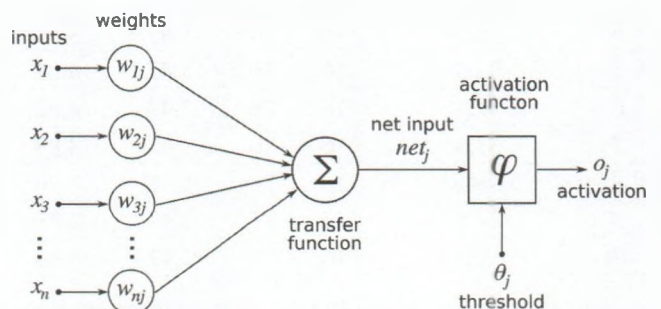
- C_v - Chiều dày lớp phủ (mm);
- C_{th} - Giá trị ngưỡng clo tập trung (kg/m³ của bê tông);
- C_s - Ion clo tập trung trên bề mặt (kg/m³ của bê tông);
- D_{app} - Hệ số khuếch tán Clo biểu kiến (cm²/s).

3. MẠNG NƠ-RON NHÂN TẠO

Mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) có thể tính gần đúng các mối quan hệ hàm đa chiều, phi tuyến phức tạp mà không cần kiến thức cơ bản về bản chất của các mối quan hệ. Bằng cách cung cấp các trường hợp mẫu về đầu vào và đầu ra phù hợp, ANN có thể được "đạy" (hoặc đào tạo) để dự đoán đầu ra cho các tình huống đầu vào tương tự khác mà không gặp phải trong quá trình đào tạo. Biểu diễn giản đồ của mạng nơ-ron với kiến trúc truyền thẳng nhiều lớp thường được sử dụng trong các ứng dụng kỹ thuật kết cấu được thể hiện trong Hình 3.1 và 3.2.



Hình 3.1: Mạng ANN điển hình



Hình 3.2: Quá trình xử lý thông tin 1 ANN

Khả năng tổng quát hóa của mạng phụ thuộc nhiều nhất vào tính đại diện của tập dữ liệu huấn luyện, nhưng cũng bị ảnh hưởng bởi các tham số mạng (trọng số, độ lệch), quá trình huấn luyện, độ phức tạp của hàm cơ bản được thể hiện trong các mẫu huấn luyện (mối quan hệ thực giữa các đầu vào và đầu ra) và kiến trúc mạng được chọn. Do đó, kết quả đầu ra một ANN sẽ khác nhau với mỗi lần khởi tạo ngẫu nhiên. Như vậy, để huấn luyện được mạng ANN có độ tin cậy cao cần phải lựa chọn các tham số mạng một cách tối ưu.

4. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH

Như vậy, để tính toán tuổi thọ của kết cấu BTCT thông qua mạng ANN có thể tiến hành thông qua các bước chính sau:

- Bước 1: Tạo bộ dữ liệu
- Bước 2: Huấn luyện ANN
- Bước 3: Tính tuổi thọ kết cấu BTCT

Để thuận tiện cho việc tính toán tuổi thọ của kết cấu BTCT, bài báo tiến hành huấn luyện bộ dữ liệu như sau:

Bảng 4.1. Minh họa bộ dữ liệu huấn luyện tính thời gian khởi đầu (320 bộ số)

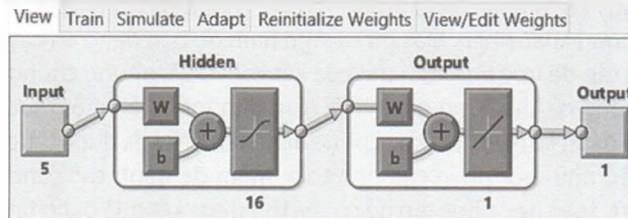
STT	Chiều dày lớp bê tông bảo vệ (mm)	Hệ số khuếch tán clo D_{35} (m^2/s)	Độ ẩm H(%)	Nồng độ Clo bề mặt C_s (%)	Giá trị ngưỡng nồng độ Clo C_{th} (%)	t_1 (năm) theo mô hình xây dựng
1	20,50	6,028	75	0,684	0,0567	6,617
2	21,00	6,082	75	0,654	0,0597	7,447
3	21,50	6,090	75	0,633	0,0576	7,898
4	22,00	6,029	75	0,674	0,0560	7,674
5	22,50	6,118	75	0,603	0,0530	8,351
6	23,00	6,053	75	0,626	0,0583	9,145
7	23,50	6,047	75	0,657	0,0580	8,855
8	24,00	6,045	75	0,699	0,0571	9,499
9	24,50	6,082	75	0,632	0,0571	9,526
10	25,00	6,055	75	0,622	0,0590	10,187

Bảng 4.2. Minh họa bộ dữ liệu huấn luyện thời gian lan truyền (120 bộ số)

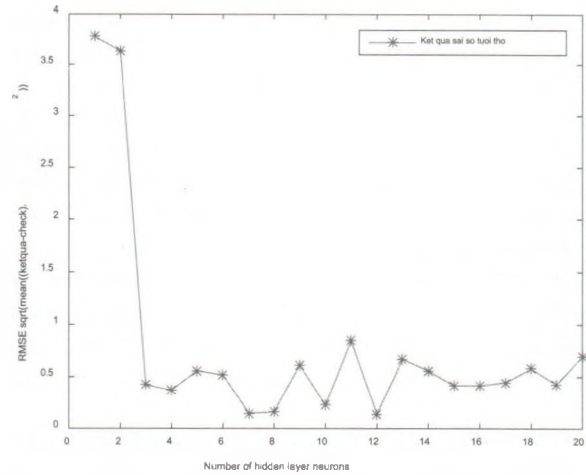
STT	Chiều dày lớp bê tông bảo vệ (mm)	d (mm)	H (%)	i_{corr} ($\mu A / cm^2$)	t_2 (năm)
1	30,5	16	75	1,47	4,78
2	31	16	75	1,47	4,79
3	31,5	16	76	1,47	4,80
4	32	16	76	1,47	4,80
5	32,5	16	76	1,47	4,81
6	33	16	76	1,47	4,82
7	33,5	16	76	1,47	4,83
8	34	16	77	1,47	4,84
9	34,5	16	77	1,47	4,85
10	35	16	77	1,47	4,86

Sau khi có bộ dữ liệu trên tiến hành huấn luyện mạng như minh họa sau:

Network net



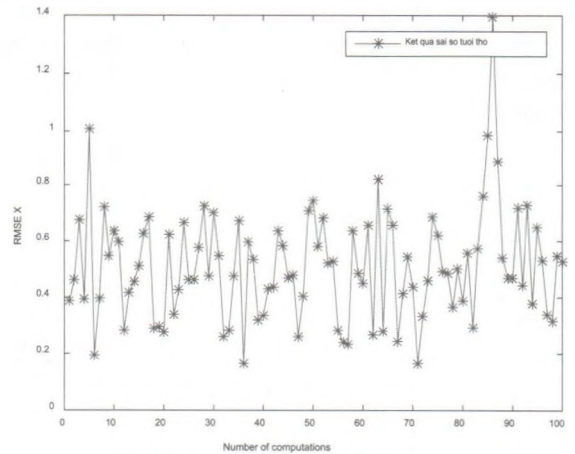
Hình 4.1: Mô hình được huấn luyện với bộ dữ liệu như đã trình bày trong mục trên



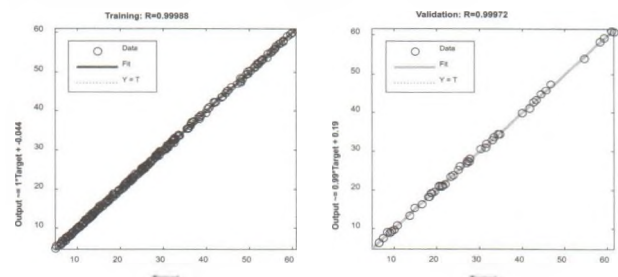
Hình 4.2: Kết quả lựa chọn số nơ-ron lớp ẩn

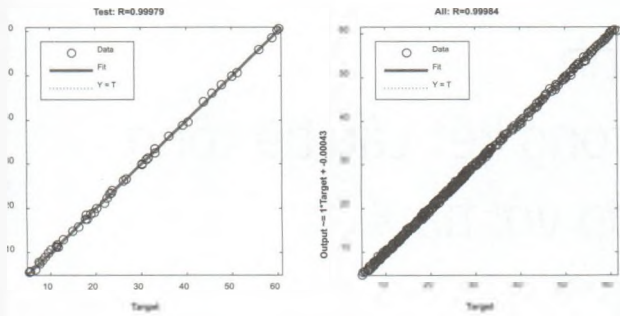
Như kết quả huấn luyện trên, trường hợp lớp ẩn có 1 nơ-ron sẽ có sai số nhỏ nhất, với kết quả này để tài chọn mạng ANN với sơ đồ 5-12-1 cho trường hợp dự đoán t_1 . Tương tự cách làm như trên chọn mạng ANN với sơ đồ 4-1-1 cho trường hợp dự đoán t_2 .

Kết quả $t = t_1 + t_2$ là tuổi thọ của kết cấu bê tông cốt thép.



Hình 4.3: Sai số giữa các số lần phân tích





Hình 4.4: Kết quả huấn luyện

Kết quả tính toán được minh họa đối với bộ số liệu sau:
Bảng 4.3

BT	Chiều dày lớp bê tông bảo vệ (mm)	Hệ số khuếch tán clo D_{28} (m^2/s)	Độ ẩm H(%)	Nồng độ Clo bề mặt C_s (%)	Giá trị ngưỡng nồng độ Clo C_{th} (%)	t_1 (năm) theo mô hình xây dựng
17	38,50	6,044	75	0,679	0,0513	19,585

Như kết quả tính toán ở trên cho thấy kết quả dự đoán mạng ANN sai số -0,1% so với kết quả tính toán theo công thức lý thuyết.

Tương tự cách làm trên tính toán t_2 với bộ số liệu sau:
Bảng 4.4

BT	Chiều dày lớp bê tông bảo vệ (mm)	d (mm)	H (%)	i_{corr} ($\mu A/cm^2$)	t_2 (năm)
17	38,5	16	75	1,47	4,95

Kết quả thu được từ ANN là 5,01 sai số 1% so với kết quả tính toán.

Như vậy, với trường hợp có các thông số như trên, tuổi thọ của kết cấu dự đoán theo ANN sẽ là: $t_1+t_2=19,59+5,01=24,6$ năm.

Kết quả trên được so sánh với mô hình Bazant cho thấy kết quả sai lệch không đáng kể như đã trình bày ở trên.

5. KẾT LUẬN

- Bài báo đã trình bày cơ sở lý thuyết xác định tuổi thọ kết cấu BTCT theo lý thuyết Bazant và theo phương pháp ứng dụng ANN. Kết quả cho thấy sai lệch của hai phương pháp là không đáng kể.

- Kết quả trên cho thấy được triển vọng của việc ứng dụng ANN trong dự đoán tuổi thọ của kết cấu BTCT.

Tài liệu tham khảo

[1]. Đào Văn Dinh (2014), *Dự báo tuổi thọ sử dụng của kết cấu BTCT ven biển Việt Nam do xâm nhập clo*, Luận án Tiến sỹ, Trường Đại học GTVT.

[2]. Ming-Te Liang, Li-Hsien Lin and Chih-Hsin Liang (2002), *Service Life Prediction of Existing Reinforced Concrete Bridges Exposed to Chloride Environment*, JOURNAL OF INFRASTRUCTURE SYSTEMS.

[3]. Gaal, G.C.M. (2004), *Prediction of Deterioration of Concrete Bridges*, Delft University of Technology.

[4]. Dey, A., Miyani, G. & Sil, A. (2020), *Application of artificial neural network (ANN) for estimating reliable service*

life of reinforced concrete (RC) structure bookkeeping factors responsible for deterioration mechanism, Soft Comput 24, 2109-2123.

[5]. Saeed Hasan (2015), *Deterioration Prediction of Concrete Bridge Components Using Artificial Intelligence and Stochastic Methods*, RMIT University.

[6]. Bazant Z. P. (1979), *Physical Model for Steel Corrosion in Concrete Sea Structures-Theory*, Journal of the Structural Division, June, 1137-1153.

Ngày nhận bài: 17/6/2022

Ngày chấp nhận đăng: 11/7/2022

Người phản biện: PGS. TS. Đào Duy Lâm