

ỨNG DỤNG MẠNG NƠ RON NHÂN TẠO DỰ BÁO ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC YẾU TỐ CÔNG NGHỆ THI CÔNG ĐẾN TÍNH CÔNG TÁC HỖN HỢP BÊ TÔNG TỰ LÈN

Nguyễn Hùng Cường^{a,*}, Trần Hoài Linh^b, Phạm Tiến Tới^a, Phạm Nguyễn Văn Phương^a

^aKhoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng,
số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

^bViện Điện, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, số 1 Đại Cồ Việt, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 14/10/2020, Sửa xong 23/10/2020, Chấp nhận đăng 26/10/2020

Tóm tắt

Bài báo này trình bày phương pháp sử dụng mạng nơ ron nhân tạo (ANN) để dự báo ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ thi công đến tính công tác của hỗn hợp bê tông tự lèn. Nghiên cứu được thực hiện trên các mẫu hỗn hợp bê tông có độ chảy lan khác nhau (SF1 = 650, SF2 = 710, SF3 = 795) ở 04 điều kiện khí hậu tự nhiên (ĐK1 là nồm ẩm, ĐK2 là khô hanh, ĐK3 là nóng ẩm, ĐK4 là nắng nóng). Các thông số tính công tác của bê tông tự lèn được đo tại thời điểm sau khi trộn và sau mỗi 30 phút lưu giữ. Thời gian khảo sát các thông số bê tông tự lèn thực hiện trong 120 phút kể từ sau khi hỗn hợp bê tông trộn xong. Sử dụng mạng truyền thẳng đa lớp (MLP) được huấn luyện bởi thuật toán cổ điển Levenberg – Marquardt để xây dựng mô hình dự báo trên cơ sở các thông số được thí nghiệm. Kết quả thực hiện cho thấy sử dụng mạng MLP một lớp ẩn với 5 nơ ron trên lớp ẩn và 3 thông số đầu vào (nhiệt độ môi trường, nhiệt độ bê tông, thời gian lưu giữ) có thể dự báo 6 thông số tính công tác của hỗn hợp BTTL: SF, T₅₀₀, J_{ring}, L_{box}, V_{funnel}, R₂₈ với độ chính xác cao, hệ số tương quan từ 0,96 – 0,99.

Từ khoá: bê tông tự lèn; ước lượng phi tuyến tính; mạng truyền thẳng đa lớp; khả năng lấp đầy; khả năng chảy xuyên (vượt) qua; khả năng chống phân tầng.

THE APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO PREDICT THE EFFECT OF CONSTRUCTION TECHNOLOGY ELEMENTS ON THE WORKABILITY OF SELF-COMPACTING CONCRETE MIXTURE

Abstract

This article presents the use of Artificial Neural Network (ANN) method to predict the effect of construction technology elements on the workability of self-compacting concrete mixture. The study was performed on samples of concrete mixtures with different slump flow (SF1 = 650, SF2 = 710, SF3 = 795) in 4 natural climatic conditions (DK1: Humid, DK2: Dry, DK3: Hot and Humid, DK4: Hot and Sunny). The performance parameters of self-compacting concrete were measured at the time after mixing and at every 30 minutes of storage. Self-compacting concrete parameters survey time was done within 120 minutes after the concrete mixture was mixed. Using the Multi-layer Perceptron (MLP) trained by the classical algorithm Levenberg - Marquardt to build a predictive model based on the tested parameters. The performance results show that using the single - hidden -layer MLP with 5 neurons on the hidden layer and 3 input parameters (ambient temperature, concrete temperature, storage time) can predict 6 workability parameters of self-compacting concrete mixture: SF, T₅₀₀, J_{ring}, L_{box}, V_{funnel}, R₂₈ with high accuracy, the correlation coefficient is from 0.96 to 0.99.

Keywords: self-compacting concrete; nonlinear approximation; multi-layer perceptron; filling ability; passing ability; segregation resistance.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(5V\)-10](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(5V)-10) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: cuongnguyen.dhxdhn@gmail.com (Cường, N. H.)

1. Mở đầu

Bê tông tự lèn (BTTL) là loại bê tông có độ linh động cao, tự chảy dưới tác dụng của trọng lượng bản thân để lấp đầy các góc cạnh ván khuôn mà không cần đầm rung. Sử dụng BTTL tạo được sự thuận lợi trong công tác đổ bê tông các kết cấu BTCT công trình lớn, yêu cầu chất lượng và mỹ thuật cao, đặc biệt những kết cấu có mật độ cốt thép dày đặc [1].

Đảm bảo tính công tác của hỗn hợp BTTL trước khi đổ vào khuôn có ý nghĩa quan trọng đến chất lượng, cường độ của BTTL và chịu ảnh hưởng trực tiếp của điều kiện khí hậu. Sự suy giảm tính công tác của hỗn hợp BTTL theo thời gian dẫn đến khó khăn cho công tác đổ bê tông, làm tăng độ rỗng và giảm cường độ nén của BTTL [2]. Việt Nam nằm trong khu vực nhiệt đới gió mùa, nhìn chung điều kiện khí hậu có tác động tốt cho quá trình đóng rắn và phát triển cường độ của BTTL. Tuy nhiên, trong năm có nhiều chu kỳ thời tiết bất lợi như nắng nóng và khô hanh, sự biến thiên và chênh lệch nhiệt độ, độ ẩm cao giữa ngày và đêm làm ảnh hưởng bất lợi đến tính công tác của hỗn hợp BTTL [3].

Một trong các yếu tố quan trọng nhằm đảm bảo tính công tác của hỗn hợp bê tông tự lèn là cần phải dự báo chính xác được mức độ suy giảm các thông số tính công tác theo các yếu tố công nghệ thi công. Hiện nay có nhiều phương pháp được sử dụng trong bài toán dự báo như phương pháp hồi quy, phương pháp chuỗi thời gian, hệ thống chuyên gia, máy véc tơ hỗ trợ, logic mờ... Tuy nhiên, các phương pháp này thường không cho kết quả với độ chính xác đủ lớn, hội tụ chậm và có thể phân kỳ trong một số trường hợp [4]. Trong những năm gần đây, trong lĩnh vực công nghệ nói chung và công nghệ xây dựng nói riêng, mạng nơ ron nhân tạo (ANN – Artificial Neural Networks) đã được nghiên cứu ứng dụng để mô hình hóa các quan hệ phi tuyến giữa các thông số của đối tượng [5, 6] cũng như để mô hình hóa các ứng xử của vật liệu. Theo [4] ưu thế khi sử dụng ANN là có thể giải quyết bài toán không có mô hình toán học cụ thể của đối tượng cần dự báo; đối tượng cần dự báo là một hàm phụ thuộc nhiều yếu tố hoặc hàm dự báo phức tạp, có quan hệ phi tuyến với các yếu tố phụ thuộc. Một số nghiên cứu ứng dụng mạng nơ ron nhân tạo trong bài toán dự báo tính công tác hỗn hợp BTTL có thể kể đến như sau: Nehdi [7] cho thấy có thể sử dụng phương pháp ANN để dự báo chính xác độ chảy lan, khả năng tự lèn, sự phân tầng và cường độ của BTTL theo thành phần vật liệu với sai số tuyệt đối trung bình lần lượt 4, 5,7 và 7%. Nghiên cứu đã cho thấy rằng phương pháp ANN như một mô hình mới được sử dụng để đánh giá tính lưu biến và đặc tính cơ học của bê tông tự lèn, mô hình đã thể hiện tốt sự ảnh hưởng của các thành phần vật liệu đến các đặc tính của bê tông tự lèn và có thể sử dụng hiệu quả mô hình này trong sản xuất chế tạo hỗn hợp BTTL nhằm hạn chế số lượng thử nghiệm; Tao Ji, và cs. [8] đã sử dụng ANN với các thông số đầu vào (tỷ lệ N/X, độ dày lớp vữa, tỷ lệ chất kết dính/tro bay, thể tích cốt liệu mịn) để xây dựng mô hình dự báo độ sụt và cường độ của bê tông. Phương pháp thiết kế hỗn hợp bê tông dựa trên lượng vữa ít nhất đã được tác giả đề xuất cho thấy giảm được số lượng thử nghiệm, tiết kiệm được chi phí, nhân công và thời gian. Bê tông được thiết kế theo thuật toán đề xuất có hàm lượng xi măng và nước thấp hơn, độ bền lâu cao; Yeh [9] dùng mô hình mạng nơ ron nhân tạo (ANN) để mô tả sự ảnh hưởng của các thành phần vật liệu đến độ chảy lan của hỗn hợp BTTL. Trong một nghiên cứu khác Yeh sử dụng ANN và mô hình phương pháp hồi quy để xây dựng mô hình dự báo độ chảy lan của hỗn hợp bê tông HPC. Nghiên cứu cho thấy mô hình ANN có độ chính xác hơn nhiều so với phương pháp hồi quy [10].

Kết quả đầu ra của ANN của các nghiên cứu đưa ra dự báo thông số của tính công tác hỗn hợp bê tông với độ chính xác cao. Tuy nhiên, các nghiên cứu nêu trên chưa làm rõ được mức độ ảnh hưởng của điều kiện khí hậu, các thông số dự báo chưa bao quát được tổng thể về tính công tác của hỗn hợp BTTL và đến nay, chưa có bất kỳ nghiên cứu nào sử dụng ANN liên quan đến tính công tác của hỗn hợp và cường độ BTTL trong điều kiện khí hậu Việt Nam. Do đó, việc nghiên cứu và phát triển một mô hình dự báo các thông số tính công tác của hỗn hợp BTTL và áp dụng mô hình này trong thiết kế,

đề xuất biện pháp thi công vận chuyển hỗn hợp BTTL là rất cần thiết.

2. Cơ sở khoa học về dự báo tính công tác hỗn hợp bê tông tự lèn

2.1. Các thông số tính công tác hỗn hợp bê tông tự lèn

Tính công tác của hỗn hợp BTTL được đặc trưng bởi các thông số kỹ thuật cơ bản: khả năng lấp đầy (filling ability), khả năng chảy xuyên (vượt) qua (passing ability), và khả năng chống phân tầng (segregation resistance) (Hình 1) [11].

- Khả năng lấp đầy là khả năng hỗn hợp bê tông có thể tự chảy và làm đầy ván khuôn do trọng lượng của nó.

- Khả năng vượt qua là khả năng hỗn hợp bê tông có thể chảy qua các khe hẹp mà không bị tắc hoặc phân tầng. Đặc tính này liên quan đến dòng chảy của cốt liệu qua khoảng hở giữa các thanh thép hoặc các khu vực chật hẹp trong ván khuôn hoặc khi tiết diện đường ống bơm bị giảm.

- Khả năng chống phân tầng khả năng của hỗn hợp BTTL chống lại sự phân tách của các vật liệu thành phần để đảm bảo tính đồng nhất của hỗn hợp bê tông.

Các thông số tính công tác của BTTL được xác định theo hướng dẫn của tiêu chuẩn EN 12350 [12], trong đó 6 thông số của tính công tác được nghiên cứu gồm độ chảy lan SF (Slump Flow), độ nhớt (T_{500} , V_{funnel}), khả năng vượt qua (L_{box} , J_{ring}) và độ phân tầng SR (Segregation Resistance). Theo hướng dẫn Châu Âu [13] gồm có 3 loại hỗn hợp BTTL theo phân loại độ chảy lan, loại SF1: 550-650 mm, SF2: 660-750 mm, SF3: 760-850 mm. Giới hạn cho phép theo điều kiện thi công của các thông số tính công tác của các loại BTTL này là: SF (650-800 mm), T_{500} (2-5 s), V_{funnel} (8-12 s), L_{box} (0,8-1), J_{ring} (0-10 mm), SR (5-15%).



Hình 1. Sơ đồ các thông số cơ bản tính công tác của hỗn hợp bê tông tự lèn

2.2. Ảnh hưởng của yếu tố công nghệ, khí hậu đến tính công tác hỗn hợp bê tông tự lèn

a. Ảnh hưởng của nhiệt độ ban đầu hỗn hợp bê tông

Nhiệt độ ban đầu của hỗn hợp bê tông phụ thuộc vào nhiệt độ ban đầu của vật liệu thành phần và các yếu tố khác như nhiệt thủy hóa, nhiệt ma sát khi trộn và có ảnh hưởng đáng kể đến tính công tác ban đầu của hỗn hợp bê tông. Ảnh hưởng của nhiệt độ ban đầu được nghiên cứu bởi Erkmen [14], hỗn hợp bê tông trong phòng thí nghiệm với nhiệt độ bê tông 25 °C cho độ chảy lan 61 cm; khi nhiệt độ bê tông 7 °C, độ chảy lan giảm xuống 52,5 cm; đặc biệt khi nhiệt độ bê tông cao khoảng 32 °C, độ chảy lan tăng lên 67,5 cm.

b. Ảnh hưởng của thời gian vận chuyển và lưu giữ

Tính công tác của hỗn hợp BTTL giảm theo thời gian vận chuyển và lưu giữ. Trong điều kiện phòng thí nghiệm ở nhiệt độ từ 28 đến 30 °C, độ chảy của hỗn hợp bị suy giảm sau 120 phút là khoảng 40 mm đến 90 mm. Tốc độ suy giảm phụ thuộc nhiều vào lượng xi măng, xi măng càng nhiều tốc độ suy giảm càng nhanh [15]. Tốc độ và giá trị suy giảm tính công tác của hỗn hợp BTTL phụ thuộc chủ yếu vào thời gian lưu giữ hỗn hợp, và bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như cấp phối và điều kiện khí hậu. Bản chất sự suy giảm tính công tác hỗn hợp BTTL theo thời gian lưu giữ là quá trình trao đổi chất giữa hỗn hợp bê tông với môi trường xung quanh và bản thân sự đông kết của hồ xi măng [16].

Theo khảo sát tính công tác hỗn hợp BTTL của Vipulanandan [17] cho thấy hỗn hợp bê tông (thành phần gồm xi măng, đá, cát, nước, phụ gia siêu dẻo, tỷ lệ N/X = 0,35) có độ chảy lan vượt giá trị cho phép sau 90 phút, giá trị T200 vượt giá trị cho phép sau khoảng một giờ, Vfunnel vượt giá trị cho phép sau 15 phút.

c. Ảnh hưởng của điều kiện khí hậu

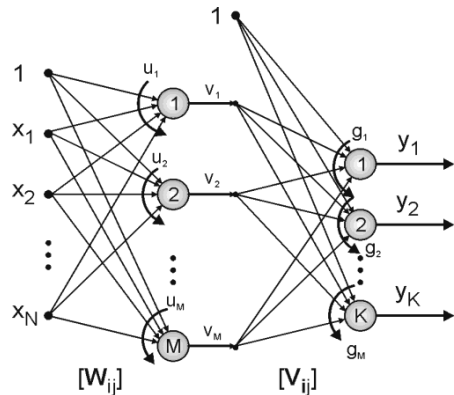
Nhiệt độ và độ ẩm của môi trường là hai yếu tố ảnh hưởng lớn đến tính công tác của hỗn hợp BTTL. Ở nhiệt độ thấp, tính công tác của bê tông tự lèn suy giảm nhanh. Theo nghiên cứu của H.J. Chen và cs. [18], trong điều kiện tĩnh, điều kiện nhiệt độ thấp ($\leq 15\text{ }^\circ\text{C}$), tính công tác của hỗn hợp bê tông bị suy giảm nghiêm trọng sau 30 phút, do phụ gia siêu dẻo phân tán kém, không phát huy tác dụng kéo dài tính công tác. Mặt khác, nhiệt độ cao cũng làm suy giảm nhanh tính công tác của hỗn hợp BTTL do tốc độ đông kết được đẩy lên cao, đặc biệt ở nhiệt độ trên $60\text{ }^\circ\text{C}$. Tổng kết CDOT [19] khẳng định rằng, hỗn hợp BTTL giảm tính công tác rất nhanh ở nhiệt độ trên 24 hoặc $28\text{ }^\circ\text{C}$, ở nhiệt độ này độ chảy lan ban đầu vận chuyển bê tông đến công trường khoảng $62,5\text{ cm}$, nhưng khi đổ bê tông xong độ chảy lan chỉ đạt $42,5\text{ cm}$.

2.3. Ứng dụng mạng nơ ron nhân tạo MLP dự báo tính công tác hỗn hợp bê tông tự lèn

Mạng nơ ron nhân tạo là một bộ vi xử lý song song phân bố có khả năng lưu trữ thông tin và tái sử dụng các thông tin được lưu trữ đó. Mạng mô phỏng hoạt động của não bộ con người trong 2 lĩnh vực: kiến thức được mạng thu thập trong một quá trình học; và các kết nối giữa những nơ ron chứa các trọng số và các trọng số này được sử dụng để lưu trữ kiến thức thu thập được trong quá trình học [20].

Mạng nơ ron MLP (MultiLayer Perceptron) là cấu trúc truyền thẳng với nhiều lớp xếp tầng [21]. Mạng có 1 lớp đầu vào, 1 lớp đầu ra và 1 lớp ẩn là ứng dụng phổ biến nhất. Trong Hình 2 là 1 ví dụ của mạng MLP với chỉ 1 lớp ẩn được trình bày. Mạng này được sử dụng 1 cách rộng rãi trong bài toán xử lý ánh xạ phi tuyến [21]. Khi 1 cấu trúc với 1 số lượng nơ ron ẩn cho trước được huấn luyện để khớp 1 bộ mẫu số liệu học, trọng số kết nối nơ ron được điều chỉnh. Nếu ta ký hiệu bộ mẫu số liệu gồm p cặp đầu vào – đầu ra $\{\mathbf{x}_i, \mathbf{d}_i\}$ với $i = 1, \dots, p; \mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^N; \mathbf{d}_i \in \mathbb{R}^K$ thì các thông số MLP được điều chỉnh để hàm lỗi có giá trị nhỏ nhất:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^p \|\text{MLP}(\mathbf{x}_i) - \mathbf{d}_i\|^2 \rightarrow \min \tag{1}$$



Hình 2. Một ví dụ về mạng MLP một lớp ẩn

Thuật toán Levenberg - Marquardt kinh điển được sử dụng để huấn luyện mạng MLPs [21, 22]. Số lượng nơ ron ẩn được chọn theo phương pháp thực nghiệm. Bắt đầu từ mạng chỉ có 1 nơ ron ẩn và tạo ra 50 mạng ngẫu nhiên với số lượng nơ ron ẩn đó. Tất cả các mạng được huấn luyện với các bộ số liệu để chọn ra mạng có sai số thấp nhất. Nếu sai số thấp nhất vẫn cao, số lượng nơ ron ẩn lại được tăng thêm 1. Để tránh hiệu ứng học quá khớp [21], ta chọn mạng có số lượng nơ ron ẩn thấp nhất có thể (tức là mạng đơn giản nhất có thể), mà vẫn đảm bảo được sai số học và sai số kiểm tra nhỏ (trong bài báo này các mô hình được lựa chọn sao cho sai số tương đối trung bình của các thông số không quá 5%). Quá trình huấn luyện sử dụng phần mềm Matlab cùng với thư viện Neural Network Toolbox.

3. Xây dựng mô hình mạng nơ ron nhân tạo (ANN)

3.1. Vật liệu thí nghiệm

Thiết kế thành phần cấp phối BTTL được thực hiện theo phương pháp thiết kế được đề xuất bởi Hiệp hội Bê tông Nhật bản (JSCE) và liên đoàn bê tông Châu Âu (EFNARC). Cấp phối để phục vụ nghiên cứu thực nghiệm đánh giá sự suy giảm tính công tác của hỗn hợp BTTL dưới sự ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ và khí hậu, tác giả lựa chọn 3 cấp phối cụ thể ở Bảng 1.

Vật liệu sử dụng cho bê tông: xi măng Bút Sơn PC40; cát vàng modul 2,76; đá dăm nghiền gốc granit $D_{\max} = 10$ mm, khối lượng riêng $2,67 \text{ g/cm}^3$; tro bay nhiệt điện Phả Lại, loại F theo tiêu chuẩn ASTM C618; phụ gia siêu dẻo thế hệ mới VMA CuLminal MHPC400.

Bảng 1. Cấp phối hỗn hợp BTTL dùng cho thí nghiệm đánh giá tính công tác

Ký hiệu	Loại độ chảy lan (mm)	N/B (MPa)	XM PC40 (kg)	Tro bay (kg)	Cát (kg)	Đá (0,5 × 1) (kg)	Siêu dẻo (kg)	VMA (kg)	Nước (kg)
M1	SF1 650	0,30 B45	444,9	147,4	808	770	5,92	0,2	185,9
M2	SF2 710	0,35 B35	409,3	140	808	770	5,49	0,19	197
M3	SF3 795	0,315 B35	328,8	236,4	808	770	5,65	0,20	189

3.2. Điều kiện thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện trong điều kiện tự nhiên tại khu vực Hà Nội. Bốn điều kiện thời tiết (ĐK1, ĐK2, ĐK3, ĐK4) được chọn hướng đến sự phù hợp tương đối với các vùng thời tiết đặc trưng của khí hậu nóng ẩm Việt Nam, bao gồm các mùa khí hậu khác nhau, các thông số thời tiết môi trường thí nghiệm trong ngày, từ 6h đến 18h thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Thông số thời tiết môi trường thí nghiệm

Ký hiệu	Tính chất đặc trưng	Nhiệt độ không khí (°C)	Độ ẩm tương đối không khí (%)	Tốc độ gió (m/giây)
ĐK1	Ấm ướt, nồm	15 ÷ 30	70 ÷ 95	1 ÷ 2
ĐK2	Khô hanh	18 ÷ 30	40 ÷ 65	1 ÷ 2,5
ĐK3	Nóng ẩm	28 ÷ 35	65 ÷ 85	1 ÷ 2,5
ĐK4	Nắng nóng	28 ÷ 40	40 ÷ 65	1 ÷ 2,5

3.3. Kết quả thí nghiệm đo các thông số của bê tông tự lèn

Để đánh giá sự ảnh hưởng của suy giảm tính công tác của BTTL đến cường độ nén của bê tông, các mẫu bê tông được đúc sau 30 phút lưu giữ, sau đó được bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn và được nén ở độ tuổi 28 ngày. Để đánh giá các thông số tính công tác của hỗn hợp BTTL giảm theo thời gian lưu giữ, chúng tôi sử dụng máy trộn rơi tự do có gắn biến tần để thực hiện. Hỗn hợp sau khi trộn xong ($t = 0$) chúng tôi tiến hành đo các thông số ban đầu. Sau đó hỗn hợp được quay với tốc độ chậm (mô hình xe bồn), tiến hành lấy mẫu đo kiểm tra các thông số sau 30 phút. Điều kiện thử nghiệm với nhiệt độ biến thiên $11 \text{ }^\circ\text{C}$ đến $43 \text{ }^\circ\text{C}$, độ ẩm thay đổi từ 30-85%, Hỗn hợp bê tông được quay trong máy trộn kín tốc độ chậm nhằm hạn chế thấp nhất ảnh hưởng của yếu tố độ ẩm không khí. Trong

khôn khổ bài báo này, chúng tôi sẽ thực hiện các thực nghiệm, tính toán với mẫu số liệu được thực hiện cho cấp phối M1. Các thông số đã được đo thực nghiệm với các điều kiện đầu vào khác nhau về nhiệt độ môi trường (T_{env}), nhiệt độ bê tông (T_{SCC}) và độ ẩm (RH%). Tổng cộng có 35 nhóm tổ hợp các điều kiện đầu vào, mỗi nhóm tổ hợp được thực hiện lặp lại 6 lần để có 210 mẫu số liệu. Để xây dựng các mô hình mạng nơ-ron, 175 số liệu được chọn ngẫu nhiên (mỗi tổ hợp đầu vào sẽ lựa chọn ngẫu nhiên 5 trong số 6 mẫu) để làm bộ số liệu học, 35 mẫu còn lại được dùng để làm bộ số liệu kiểm tra. Ví dụ về số liệu đo các thông số được thể hiện ở Bảng 3.

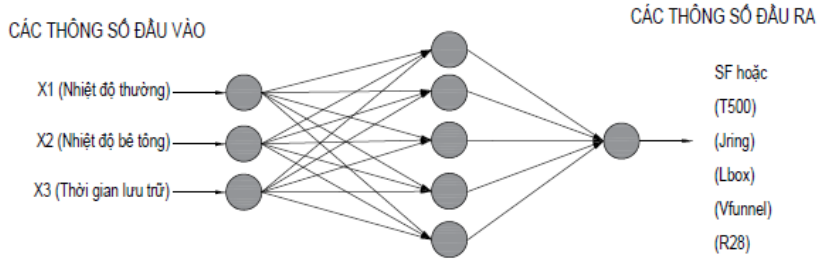
Bảng 3. Ví dụ về số liệu của các thông số BTTL

Điều kiện mẫu			Thông số	Thời gian đo (minutes)				
T_{env}	T_{SCC}	RH%		0	30	60	90	120
23,4 °C	25,6 °C	81%	SF (mm)	650	680	670	640	635
			T_{500} (s)	3,1	3,66	3,7	4,72	4,73
			V_{funel} (s)	11,72	10,78	11,0	12,00	13,0
			L_{box}	0,89	0,90	0,87	0,86	0,85
			J_{ring} (mm)	9,0	7,0	9,1	10	11
			R_{28} (MPa)	58,6	57,1	53,2	52,1	46,4
31 °C	31,3 °C	75%	SF (mm)	645	650	650	640	580
			T_{500} (s)	3,68	3,45	3,9	5,2	6,9
			V_{funel} (s)	11,4	10,5	11,2	13,3	19,4
			L_{box}	0,94	0,93	0,9	0,89	0,86
			J_{ring} (mm)	8,0	6,0	8,0	12	16
			R_{28} (MPa)	61,0	62,3	60,0	53,0	46,0
43,1 °C	40,5 °C	43%	SF (mm)	650	640	570	470	400
			T_{500} (s)	3,4	2,75	4,8	6,7	7,4
			V_{funel} (s)	9,2	11,9	17,1	34,2	40,3
			L_{box}	0,88	0,87	0,67	0,5	0,3
			J_{ring} (mm)	7	9,7	13	15	20
			R_{28} (MPa)	58,0	63,0	55,0	47,0	40

3.4. Thiết lập các thông số mô hình mạng nơ-ron nhân tạo (ANN)

Như kết quả đo ở Bảng 3 cho thấy, các thông số của BTTL phụ thuộc phi tuyến với nhiệt độ bê tông, nhiệt độ môi trường và thời gian lưu giữ [23, 24]. Một mô hình toán học để dự đoán các thông số từ các điều kiện đầu vào là hết sức cần thiết vì nhờ có khả năng khái quát của mô hình, ta có thể tính toán được các thông số từ điều kiện đầu vào mà chưa có trong bảng mẫu [7]. Bài viết này đề xuất sử dụng phương pháp MLP cổ điển để xử lý bài toán xấp xỉ tự động các hàm phi tuyến.

Với 6 thông số, mỗi thông số được tạo một mạng MLP. Mạng MLP được huấn luyện với các thông số: số mạng là 6, 3 số liệu đầu vào (X_1 - nhiệt độ môi trường, X_2 - nhiệt độ bê tông, X_3 - thời gian lưu giữ), 1 đầu ra (một trong 6 thông số), một lớp ẩn và 5 nơ-ron ẩn trên mỗi lớp. Số lượng mẫu dữ liệu: tổng số dữ liệu đã nghiên cứu là $6 \times 35 = 210$ mẫu, 175 mẫu huấn luyện và 35 mẫu kiểm tra. Các thông số của mô hình được thể hiện ở Hình 3.

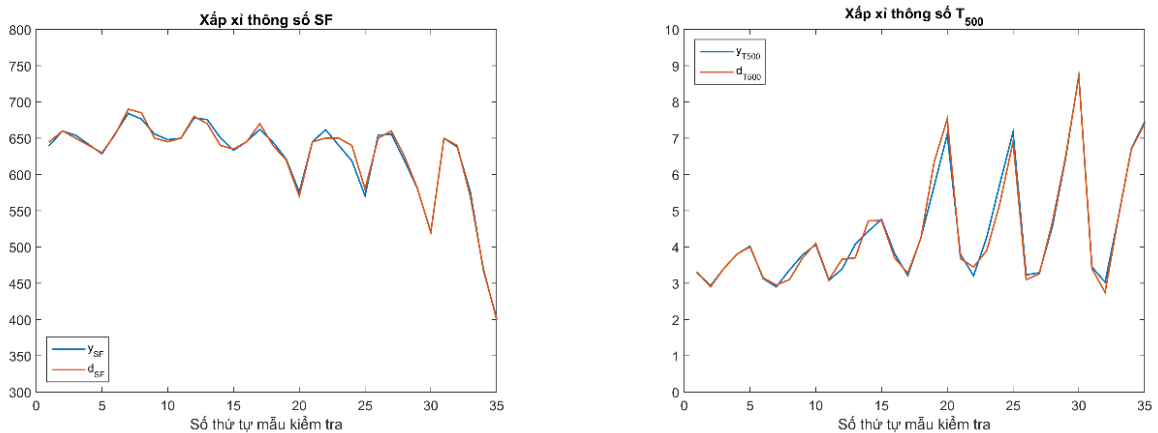


Hình 3. Mô hình MLP-ANN dự báo các thông số tính công tác và cường độ R₂₈ của BTTL theo các yếu tố nhiệt độ và thời gian

Đánh giá độ chính xác của mô hình mạng nơ ron nhân tạo thông qua: hệ số trung bình của sai số tuyệt đối (MAE – Mean Absolute Error), trung bình của sai số tương đối (MRE – Mean Relative Error), sai số tuyệt đối lớn nhất (Max AE – Max Absolute Error), hệ số tương quan (correlation coefficient) giữa đầu ra và giá trị đích thực tế. Tập số liệu học cho mạng gồm 175 mẫu, tập số liệu kiểm tra gồm 35 mẫu.

3.5. Kết quả xây dựng mô hình mạng nơ ron nhân tạo (ANN)

Các kết quả kiểm tra đạt được cho từng tham số được liệt kê dưới đây. Trong Hình 4 đến 6 là ví dụ các kết quả tương ứng cho các tham số SF, T₅₀₀, V_{funel}, L_{box}, J_{ring} và R₂₈.



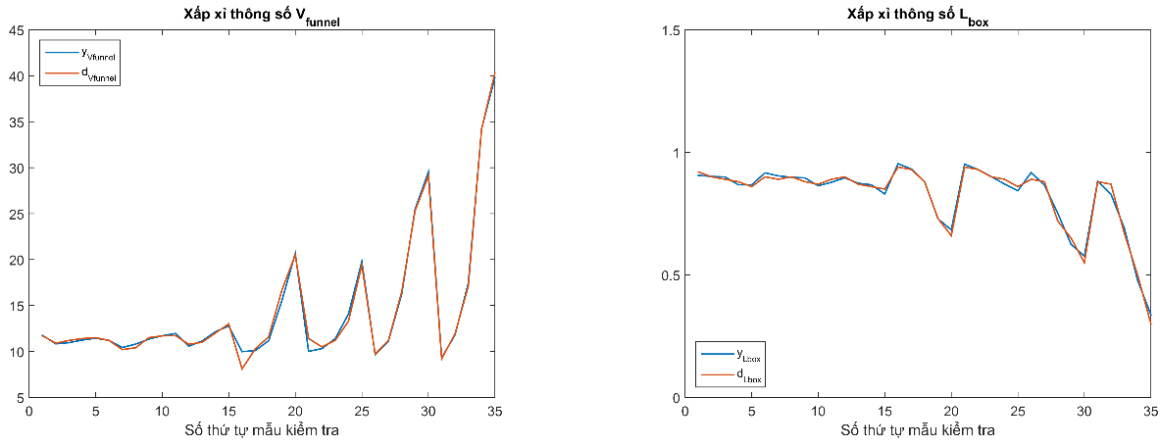
Hình 4. Kết quả dự báo SF và T₅₀₀

Như chúng ta có thể thấy ở các Hình 4–6, mô hình MLP có thể dự báo khá chính xác các thông số của BTTL với sự khác biệt nhỏ giữa đường *d* mong muốn (đường nâu vàng) và mạng *y* dự đoán (đường xanh nhạt).

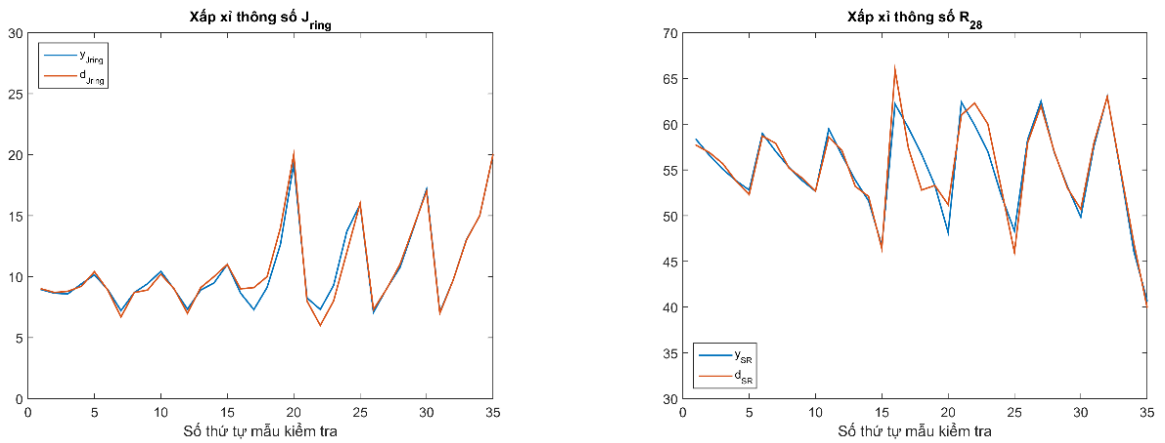
Hiệu suất của mạng được đánh giá thông qua các chỉ số:

- Trung bình của sai số tuyệt đối MAE (Mean Absolute Error):

$$MAE = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p |MLP(\mathbf{x}_i) - d_i| \rightarrow \min \quad (2)$$



Hình 5. Kết quả dự báo V_{funnel} và L_{box} của M2



Hình 6. Kết quả dự báo J_{ring} và R_{28} của M2

- Trung bình của sai số tương đối MRE (Mean Relative Error):

$$MRE = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \left| \frac{MLP(\mathbf{x}_i) - d_i}{d_i} \right| \cdot 100\% \quad (3)$$

- Sai số tuyệt đối lớn nhất Max AE (Max Absolute Error):

$$Max AE = \max_{i=1, \dots, p} |MLP(\mathbf{x}_i) - d_i| \quad (4)$$

- Hệ số tương quan giữa đầu ra của mạng MLP và giá trị đích cần đạt:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^p (y_i - \bar{y})(d_i - \bar{d})}{\sqrt{\sum_{i=1}^p (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^p (d_i - \bar{d})^2}} \quad (5)$$

trong đó: $y_i = MLP(\mathbf{x}_i)$, $\bar{y} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P y_i$ and $\bar{d} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P d_i$.

Giá trị của các chỉ số được thể hiện ở Bảng 4.

Bảng 4. Sai số của mô hình dự báo

Thông số	MAE	MRE (%)	Max AE	Hệ số tương quan
SF	4,10	0,67	16,64	0,99
T ₅₀₀	0,14	3,27	0,68	0,99
V _{funel}	0,37	3,24	1,66	0,99
L _{box}	0,012	1,69	0,042	0,99
J _{ring}	0,39	4,15	1,81	0,98
R ₂₈	1,10	2,03	3,88	0,96

Việc kiểm tra mô hình được thực hiện với 35 dữ liệu cho mỗi thông số của BTTL. Kết quả Bảng 4 cho thấy MAE, MRE (%) and Max AE có giá trị thấp và hệ số tương quan tiệm cận 1. Điều này chứng tỏ mô hình MLP với một lớp ẩn cho hiệu suất hoạt động tốt. Do đó phù hợp để sử dụng xác định các thông số của BTTL. Điều này tương đồng với các nhận định ở các nghiên cứu [25, 26]. Mặt khác để tránh hiện tượng quá khớp khi sử dụng các mạng nơ ron để dự báo thì mạng ANN đơn giản nhất được sử dụng để huấn luyện mạng. Phương pháp này cùng các yếu tố khác như dừng sớm, điều tiết mạng, ... rất phổ biến [21, 25] và được chọn lựa do số lượng mẫu thí nghiệm không được nhiều. Kết quả nghiên cứu cho thấy với số lượng từ 1 đến 4 nơ ron ẩn không thực hiện được tốt nhiệm vụ huấn luyện (sai số kiểm tra cao hơn mức chấp nhận được) và mạng nơ ron với 5 nơ ron ẩn bắt đầu học tốt, chúng tôi đã chọn mạng nơ ron với 5 lớp ẩn này để nghiên cứu. Số nơ ron ẩn cao không giúp cho kết quả nghiên cứu được chính xác hơn nhưng dễ tạo ra hiệu ứng quá ăn khớp (over fit).

Chúng tôi cũng so sánh với phương pháp [27], phương pháp sử dụng mạng nơ ron truyền thẳng phản hồi (ANN Feed-Forward Back Propagation) gồm 2 lớp ẩn với 6 nơ ron ở lớp thứ 1 và 7 nơ ron ở lớp thứ 2 để dự đoán độ sụt bê tông có hệ số chính xác $R^2 = 0,99848$. Kết quả từ phương pháp dùng 1 lớp ẩn với 5 nơ ron của chúng tôi có độ chính xác gần bằng phương pháp nói trên, trong khi mạng sử dụng 2 lớp ẩn phức tạp hơn nhiều so với mạng sử dụng 1 lớp ẩn.

Như vậy, mô hình mạng MLP-ANN được xây dựng, tập huấn và chạy xử lý, cho kết quả dự báo 5 thông số kỹ thuật quan trọng (SF, T₅₀₀, V_{funnel}, L_{box}, J_{ring}) của tính công tác và cường độ R₂₈ của BTTL từ dữ liệu đầu vào: các yếu tố công nghệ thi công (nhiệt độ hỗn hợp, thời gian lưu giữ/vận chuyển vữa) và yếu tố khí hậu môi trường (nhiệt độ môi trường) với độ chính xác cao. Kết quả dự báo được áp dụng để thiết kế biện pháp vận chuyển hỗn hợp BTTL trong điều kiện thi công, khí hậu cụ thể đảm bảo chất lượng, tính công tác yêu cầu của hỗn hợp trước khi đổ bê tông và đảm bảo chất lượng (cường độ, độ bền lâu) của kết cấu công trình.

4. Kết luận

Mạng nơ ron nhân tạo ANN-MLP được huấn luyện bởi thuật toán cổ điển Levenberg - Marquardt với 1 lớp ẩn, 5 nơ ron và 3 thông số đầu vào (nhiệt độ môi trường, nhiệt độ bê tông, thời gian lưu giữ) có thể dự báo 6 thông số tính công tác của hỗn hợp BTTL: SF, T₅₀₀, J_{ring}, L_{box}, V_{funnel}, R₂₈ với độ chính xác cao, hệ số tương quan từ 0,96 đến 0,99.

Ứng dụng kết quả của mạng mô hình mạng nơ ron nhân tạo (ANN) sẽ giúp cho các trạm trộn ước lượng được chính xác các thông số tính công tác của BTTL trong từng điều kiện thời tiết thi công cụ thể. Từ đó, đề xuất được biện pháp thi công vận chuyển hỗn hợp bê tông hợp lý nhằm đảm bảo tính công tác và chất lượng hỗn hợp BTTL trước khi đổ bê tông kết cấu.

Tài liệu tham khảo

- [1] Cường, N. H. (2020). *Nghiên cứu tính công tác hỗn hợp bê tông và kỹ thuật bảo dưỡng bê tông tự lèn trong điều kiện khí hậu Việt Nam*. Luận án tiến sĩ, Đại học Xây dựng.
- [2] Khoa, H. N. (2015). Ảnh hưởng của tính công tác hỗn hợp vữa bê tông tự lèn đến chất lượng bê tông. *Tạp chí Xây dựng*, 4:93.
- [3] Đích, N. T. (2000). *Công tác Bê tông trong điều kiện nóng ẩm*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [4] Thảo, N. M. (2015). Ứng dụng mạng nơ ron nhân tạo để dự báo tốc độ ăn mòn thép CT3 trong khí quyển. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nhiệt đới*, (8).
- [5] Học, T. Đ., Tài, L. T. (2020). [Tối ưu hóa ước tính mức tiêu thụ năng lượng trong các tòa nhà dựa trên các thuật toán trí tuệ nhân tạo](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCVXD) - ĐHXD*, 14(1V):35–45.
- [6] Tiến, N. M., Hùng, N. V., Mạnh, V. Đ. [Chẩn đoán tình trạng kỹ thuật hộp số cơ khí trên cơ sở mạng nơ ron RBF](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCVXD) - ĐHXD*, 11(4):129–133.
- [7] Nehdi, M., El Chabib, H., El Naggar, M. H. (2001). Predicting performance of self-compacting concrete mixtures using artificial neural networks. *Materials Journal*, 98(5):394–401.
- [8] Ji, T., Lin, T., Lin, X. (2006). [A concrete mix proportion design algorithm based on artificial neural networks](#). *Cement and Concrete Research*, 36(7):1399–1408.
- [9] Yeh, I.-C. (2006). [Exploring concrete slump model using artificial neural networks](#). *Journal of Computing in Civil Engineering*, 20(3):217–221.
- [10] Yeh, I.-C. (2007). [Modeling slump flow of concrete using second-order regressions and artificial neural networks](#). *Cement & Concrete Composites*, 29(6):474–480.
- [11] Daczko, J. (2012). *Self-consolidating concrete: applying what we know*. CRC Press.
- [12] EN 12350:2010. *Testing fresh concrete*.
- [13] Cembureau Ermco Bibm, Efca, EFNARC (2005). *The European guidelines for self-compacting concrete*. Specification, Production and Use.
- [14] Erkmen, B., French, C. E. W., Shield, C. K. (2005). Development of Self-Consolidating Concrete for Bridge Girders and Evaluation of Its Fresh Properties. *The 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium Iowa Department of Transportation Iowa State University, Ames Midwest Transportation Consortium*.
- [15] Uyên, H. P. (2012). *Hoàn thiện công nghệ chế tạo và thi công bê tông tự lèn trong XDCT Thủy Lợi*. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ.
- [16] Khoa, H. N. (2015). Ảnh hưởng của thời gian lưu giữ đến tính công tác BTTL. *Tạp chí Xây dựng*, 1-2015.
- [17] Shethji, A. S., Vipulanandan, C. (2004). *Flow Properties of Self Consolidating Concrete with Time*, Center for Innovative Grouting Material and Technology (CIGMAT). Department of Civil and Environmental Engineering, University of Houston, Houston, Texas.
- [18] Chen, H. J., Tsai, W. P., Peng, H. S., Huang, C. H. (2014). *Research on the Engineering Properties of SCC*. National Chung-Hsing University.
- [19] Henault, J. W. (2014). *Self-consolidating Concrete: A Synthesis of Research Findings and Best Practices*. Connecticut. Dept. of Transportation.
- [20] Haykin, S. (1994). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Macmillan College Publishing Company.
- [21] Haykin, S. (2009). *Neural Networks and Learning Machines*. 3rd edition, Pearson Prentice Hall.
- [22] Linh, T. H. (2009). *Mạng nơ-ron và ứng dụng trong xử lý tín hiệu*. Nhà xuất bản Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [23] Sobhani, J., Najimi, M., Pourkhorshidi, A. R., Parhizkar, T. (2010). [Prediction of the compressive strength](#)

of no-slump concrete: A comparative study of regression, neural network and ANFIS models. *Construction and Building Materials*, 24(5):709–718.

- [24] Tattersall, G. H. (2014). *Workability and quality control of concrete*. CRC Press.
- [25] Zin, R. M., Majid, M. Z. A., Putra, C. W. F. C. W., Mohammed, A. H. (2004). Neural network model for design constructability assessment. *Jurnal Teknologi*, 40(1):27–40.
- [26] Ogunlana, S., Bhokha, S. (1999). Application of Artificial Neural Network (ANN) to Forecast Construction Cost of Buildings. *Pre-design Stage, Engineering, Construction and Architectural Management*, 6 (2):133–144.
- [27] Agrawal, V., Sharma, A. (2010). Prediction of slump in concrete using artificial neural networks. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 45:25–32.