

Dự đoán khả năng chịu nén của cột ống thép nhồi bê tông mặt cắt hình vuông chịu tải trọng lệch tâm

Nguyễn Quang Sĩ^{1*}, Dương Hoàng Anh¹, Ngô Kỳ Anh¹, Trần Quốc Anh¹, Lê Tấn Phú¹

Phân Hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải

TỪ KHOÁ

Học máy
Hồi quy ký tự
Cột ống thép nhồi bê tông (CFST)
Cột chịu tải lệch tâm

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu về cột vuông ống thép nhồi bê tông (CFST) chịu tải trọng lệch tâm bằng mô hình học máy. Cơ sở dữ liệu gồm 275 mẫu được thu thập từ các nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng trên thế giới. Phương pháp hồi quy ký tự Qlattice – mô hình được lấy cảm hứng từ lý thuyết lượng tử được sử dụng để xây dựng phương trình xác định khả năng chịu nén của cột CFST chịu tải trọng lệch tâm. So sánh với kết quả từ các nghiên cứu và kết quả khi tính toán theo tiêu chuẩn GB 50936-2014 cho thấy mô hình đạt được độ chính xác khá cao.

KEYWORDS

Machine learning
Symbolic regression
Concrete – filled steel tube columns
Columns under eccentric loading

ABSTRACT

This paper presents research on square concrete – filled steel tube columns (CFST) under eccentric loading using machine learning models. The database included 275 samples collected from experimental and numerical studies worldwide. The Qlattice regression method – a model inspired by quantum theory is used to build an equation to determine the compressive capacity of CFST under eccentric loading. Comparison with results from previous studies and GB 50936-2014 standard results show that the model achieves quite high accuracy.

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, sự phát triển không ngừng của ngành xây dựng đã thúc đẩy việc nghiên cứu và ứng dụng các giải pháp kết cấu tiên tiến nhằm đáp ứng yêu cầu ngày càng cao về khả năng chịu lực, độ bền lâu và hiệu quả kinh tế. Một trong những giải pháp kết cấu nổi bật đang được áp dụng rộng rãi là cột ống thép nhồi bê tông (concrete – filled steel tubular column – CFST). Đây là loại kết cấu kết hợp giữa thép và bê tông, trong đó, bê tông được nhồi trong ống thép. Kết cấu cột này có nhiều ưu điểm như khả năng chịu lực cao, độ dẻo, độ cứng lớn và phát huy được hết ưu điểm của các vật liệu thành phần. Ống thép bên ngoài phần lõi bê tông ngoài tác dụng chịu lực còn có tác dụng kiểm chế hiện tượng nở ngang của bê tông bên trong ống, giúp cho cường độ chịu nén của bê tông tăng lên đáng kể. Ngoài ra, phần lõi bê tông trong ống có vai trò hạn chế hoặc thậm chí triệt tiêu hiện tượng mất ổn định cục bộ của ống thép [1]. Từ đó, khả năng chịu lực của cột CFST này cũng tăng lên nhiều so với cột bê tông cốt thép thông thường. Tuy nhiên, khả năng chịu lực của dạng kết cấu này bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như: dạng hình học của ống thép, độ mảnh của cột và tính chất của các vật liệu thành phần. Trong thực tế, do tải trọng thường không phân bố đều trên toàn bộ mặt cắt ngang của cột, hoặc tải trọng ngang như gió, động đất tác dụng gây ra mô men uốn nên cột không chỉ chịu tải trọng đúng tâm mà còn chịu tải trọng lệch tâm.

Có nhiều nghiên cứu thực nghiệm về kết cấu cột ống thép nhồi bê tông mặt cắt hình vuông chịu tải trọng lệch tâm đã được thực hiện.

Nghiên cứu của Y.-J. Li và cộng sự [2] chỉ ra rằng, độ lệch tâm và cường độ của bê tông ảnh hưởng khả năng chịu lực dọc của cột CFST. Cụ thể, khi độ lệch tâm tăng lên từ 0 đến 40 mm thì khả năng chịu lực nén của cột giảm khoảng 21,14 % và khả năng này tăng 53,26 % khi tăng cường độ bê tông từ 38,6 MPa lên 78,8 MPa. Fujimoto và cộng sự [3] đã tiến hành nghiên cứu cột CFST mặt cắt hình tròn và hình vuông chịu tải trọng lệch tâm, kết quả nghiên cứu cho thấy sự tăng cường độ chịu nén trong bê tông do hiệu ứng kiểm chế nở ngang của ống thép ở cột có mặt cắt hình tròn là lớn hơn so với mặt cắt hình vuông và nguyên nhân chính dẫn đến việc suy giảm cường độ giới hạn ở cột CFST hình vuông là do mất ổn định cục bộ. Các nghiên cứu mô phỏng cũng được tiến hành để so sánh với thí nghiệm, từ đó khảo sát các tham số. Shan và cộng sự [4] tiến hành mô phỏng cột CFST chịu tải trọng lệch tâm. Kết quả cho thấy khi độ lệch tâm tăng lên, ống thép bên ngoài lõi bê tông bị suy yếu nghiêm trọng, làm giảm đáng kể khả năng của cột. Almasabha và cộng sự [5] sử dụng mô hình phi tuyến để phân tích cột CFST chịu tải trọng lệch tâm. Nghiên cứu kết luận rằng, vật liệu ống thép đóng vai trò lớn đến khả năng chịu lực của cột CFST chịu tải trọng lệch tâm, khi chiều dày ống thép và giới hạn chảy của thép tăng lên thì khả năng của cột này tăng lên. Ngoài ra, việc tính toán khả năng chịu lực dọc lớn nhất của cột CFST có mặt cắt hình vuông chịu tải trọng lệch tâm cũng đã được đưa vào các tiêu chuẩn như AS/NZS 2327 [6], AISC 360-16 [7], Eurocode 4 [8] và GB 50936-2014 [9] ...

Gần đây, theo xu hướng công nghiệp 4.0, phương pháp học máy (Machine Learning – ML) đã và đang được sử dụng để dự báo khả năng

*Liên hệ tác giả: sinq.ph@utc.edu.vn

Nhận ngày 17/03/2025, sửa xong ngày 25/03/2025, chấp nhận đăng ngày 10/04/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2025.874>

chịu nén dọc trục của cột CFST chịu tải trọng lệch tâm [10,11]. Phương pháp học máy có ưu điểm là có thể phát hiện các mối quan hệ phi tuyến phức tạp giữa các biến đầu vào và đầu ra mà không cần các giả thiết đơn giản hóa như trong các phương trình thực nghiệm. Thêm vào đó, ML có thể tích hợp được nhiều tham số đầu vào khác nhau và cho kết quả dự báo nhanh chóng sau khi đã được huấn luyện. Ngoài ra, việc sử dụng mô hình ML giúp giảm thời gian phân tích so với phân tích truyền thống, có thể giúp hỗ trợ tìm ra công thức xác định khả năng chịu lực lớn nhất của loại cột này.

Trong nghiên cứu này, khả năng chịu tải trọng lệch tâm tối đa của cột CFST mặt cắt hình vuông được dự đoán bằng mô hình hồi quy ký tự Qlattice [12] với mục đích xây dựng công thức tường minh dự đoán khả năng chịu lực lớn nhất của dạng cột này. Kết quả thu được từ mô hình dự đoán sẽ được so sánh với kết quả từ nghiên cứu thực nghiệm. Ngoài ra, khả năng của cột cũng được tính toán theo tiêu chuẩn GB 50936-2014 [9] để so sánh với kết quả thực nghiệm, làm cơ sở để kiểm tra tính chính xác của mô hình học máy. Việc tính toán khả năng của cột CFST chịu tải trọng lệch tâm theo các tiêu chuẩn GB 50936-2014 được trình bày trong phần tiếp theo. Phần 3 thể hiện việc thu thập dữ liệu cũng như xây dựng mô hình dự báo và kết quả công thức dự báo. Kết luận và kiến nghị được trình bày ở phần cuối cùng.

2. Tính toán khả năng chịu lực dọc của cột CFST mặt cắt hình vuông chịu tải trọng lệch tâm theo tiêu chuẩn GB 50936-2014

Phần dưới đây trình bày tóm tắt việc tính toán khả năng chịu lực lớn nhất của cột CFST mặt cắt hình vuông chịu tải trọng lệch tâm theo tiêu chuẩn GB 50936-2014 [9].

Khả năng chịu tải trọng nén tối đa của cột khi chịu tải trọng lệch tâm được xác định theo công thức:

$$N_e = \varphi_e \varphi_l N_0 \quad (1)$$

Trong đó:

φ_l : hệ số chiết giảm sức kháng, khi $L/B \leq 4$ thì $\varphi_l = 1$ (Với L là chiều cao cột, B là bề rộng của cột).

φ_e : hệ số giảm xét đến ảnh hưởng của độ lệch tâm.

N_0 : Khả năng chịu nén dọc trục của cột CFST.

Khả năng chịu nén dọc trục của cột CFST được xác định theo công thức:

$$N_0 = f_{cc} A_c + \sigma_t A_s \quad (2)$$

Trong đó:

A_c, A_s : lần lượt là diện tích bê tông, diện tích ống thép.

σ_t : ứng suất dọc trục của ống thép, được xác định theo công thức sau:

$$\sigma_t = \beta \sigma_{0,2} \quad (3)$$

Với: $\sigma_{0,2}$ là cường độ chảy của thép ống và β là hệ số chiết giảm ứng suất theo phương đứng của ống thép, được xác định theo công thức:

$$\beta = 1,08 - 0,045 \ln \frac{B}{t} \quad (4)$$

f_{cc} : cường độ chịu nén của bê tông cột khi bị kiểm chế nở ngang do ống thép.

$$f_{cc} = f_{cu} \left(-1,254 + 2,254 \sqrt{1 + \frac{7,94 f_r'}{f_{cu}}} - 2 \frac{f_r'}{f_{cu}} \right) \quad (5)$$

f_{cu} : cường độ chịu nén của bê tông cột khi không bị kiểm chế nở ngang do ống thép.

Ứng suất có hiệu của bê tông khi được kiểm chế nở ngang f_r' được xác định theo công thức:

$$f_r' = K_e f_r \quad (6)$$

$$f_r = \frac{2\sigma_h}{\alpha - 2} \quad (7)$$

$$\sigma_h = 0,21 \sigma_{0,2} \quad (8)$$

Với: f_r và σ_h lần lượt là ứng suất của ống thép lên lõi bê tông và ứng suất ngang của ống thép ở trạng thái giới hạn.

K_e là hệ số giảm ứng suất của ống thép, xác định theo công thức (9), với r là bán kính cong bo tròn tại vị trí góc cột.

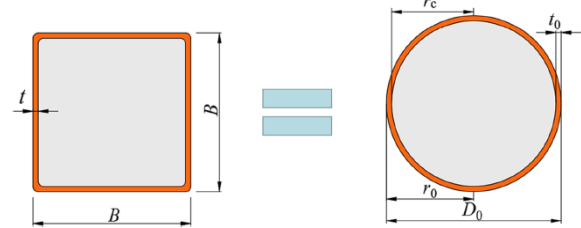
$$K_e = 1 - 0,571 \left[1 - \frac{\left(\frac{2r}{t} + 4 \right)}{(\alpha - 2)} \right]^2 \quad (9)$$

Hệ số giảm xét đến ảnh hưởng của độ lệch tâm φ_e được xác định theo công thức sau:

$$\varphi_e = \frac{1}{1 + 1,85 \frac{e_0}{r_c}} \quad (10)$$

Trong đó: e_0 là độ lệch tâm của tải trọng, r_c là bán kính của tiết diện bê tông. Đối với cột có mặt cắt hình vuông, mặt cắt được quy đổi từ mặt cắt hình vuông sang mặt cắt hình tròn (Hình 1), lúc này bán kính bê tông được xác định theo công thức:

$$r_c = 0,56B - 1,13t \quad (11)$$



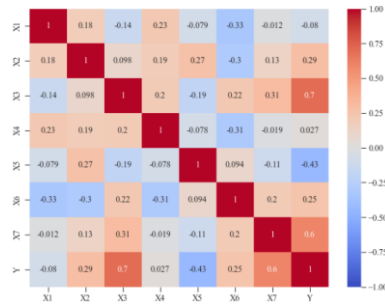
Hình 1. Quy đổi mặt cắt cột hình vuông thành mặt cắt cột hình tròn.

3. Mô hình dự báo

3.1. Xây dựng cơ sở dữ liệu

Bộ dữ liệu bao gồm 275 mẫu thí nghiệm cột CFST mặt cắt hình vuông thu thập từ 13 nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng đã được công bố [3, 13-24]. Dựa trên các kết quả này, có thể thấy rằng, hai tham số đầu vào ảnh hưởng tới khả năng chịu nén lớn nhất của cột CFST chịu tải trọng lệch tâm là tham số về hình học và tham số về vật liệu. Về hình học, có nhiều tham số ảnh hưởng của cột, cụ thể gồm: chiều cao cột (L), bề rộng hoặc đường kính cột (B), chiều dày ống thép (t), độ lệch tâm (e). Về vật liệu, bao gồm cường độ chịu nén của bê tông (f_{cu}), cường độ chảy của thép ($\sigma_{0,2}$). Tham số đầu ra là khả năng chịu nén lớn nhất của cột (N_{cu}). Bảng 1 trình bày chi tiết về chỉ số thống kê của các tham số đầu vào và đầu ra trong tập dữ liệu. Biểu đồ phân phối các tham số sử dụng trong mô hình học máy được thể hiện trong Hình 2.

Tập dữ liệu trong nghiên cứu được chia thành hai tập con ngẫu nhiên bao gồm: tập huấn luyện 70 % và tập kiểm chứng 30 %. Mối quan hệ giữa các tham số trong tập dữ liệu biểu diễn theo hệ số Pearson được thể hiện ở Hình 3. Các hệ số tương quan nằm trong khoảng [-1;1].



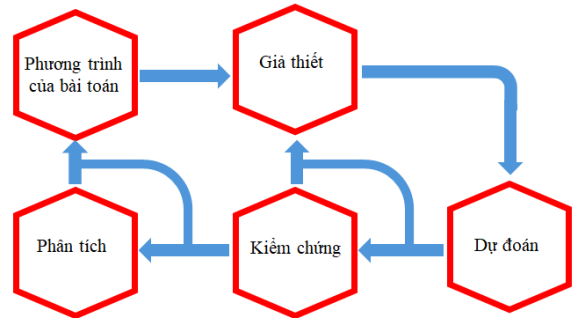
Hình 3. Quan hệ giữa các tham số trong tập dữ liệu được biểu diễn thông qua hệ số Pearson.

3.2. Mô hình dự báo

Mô hình hồi quy ký tự (Symbolic Regression - SR) là một phương pháp trong lĩnh vực trí tuệ nhân tạo và học máy, phương pháp này liên quan đến việc khám phá mô hình của dữ liệu để tìm kiếm công thức toán học hoặc biểu thức đại số tối ưu từ tập dữ liệu. Khác với mô hình hồi quy truyền thống là dựa vào việc điều chỉnh các trọng số trong mô hình xác định trước, hồi quy ký tự sẽ tìm kiếm và khám phá dạng công thức toán học từ dữ liệu bằng cách kết hợp các đặc điểm, toán tử toán học và các hằng số thành một hàm duy nhất mà không yêu cầu giả định trước về dạng của mô hình [25].

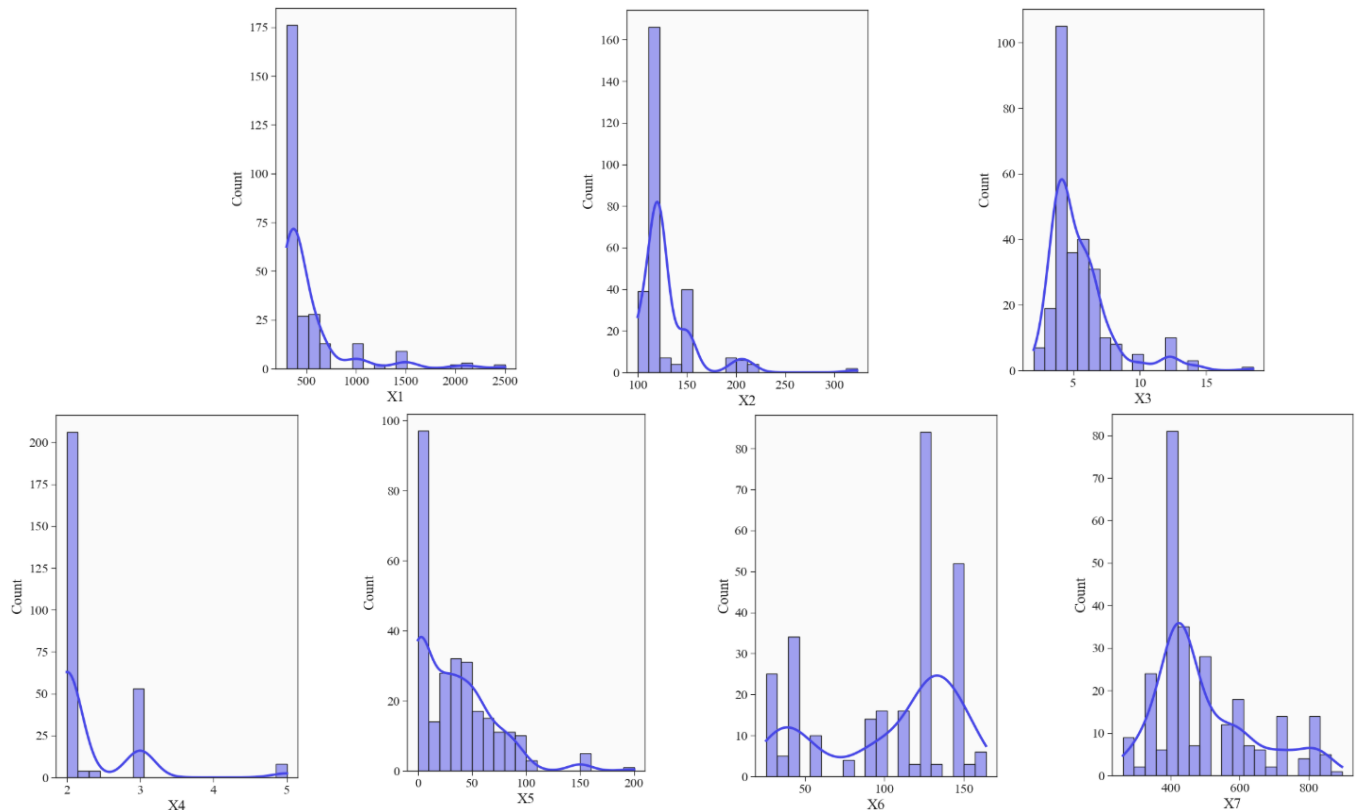
Qlattice [12] là một công cụ trí tuệ nhân tạo, được phát triển bởi công ty Abzu, đây là một cách tiếp cận SR lấy cảm hứng từ phương

pháp tích phân đường của Richard Feynman. Qlattice mô phỏng các đường dẫn xuất phát từ các biến đầu vào, di chuyển qua một không gian mạng (network space) trước khi đến đầu ra. Quá trình này thực hiện hàng nghìn lần để tìm ra những liên kết mạnh mẽ nhất giữa các biến đầu vào. Các liên kết này dần hội tụ đến con đường có khả năng xảy ra nhất, giúp xác định mô hình phù hợp nhất với dữ liệu đang nghiên cứu. Quá trình mô phỏng Qlattice được trình bày ở Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ của mô hình Qlattice.

Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu sử dụng mô hình Qlattice để xây dựng phương trình dự báo khả năng chịu lực dọc của cột CFST chịu tải trọng lệch tâm dựa trên cơ sở dữ liệu và mô phỏng thu thập từ các nghiên cứu trên thế giới.



Hình 2. Biểu đồ phân phối các tham số.

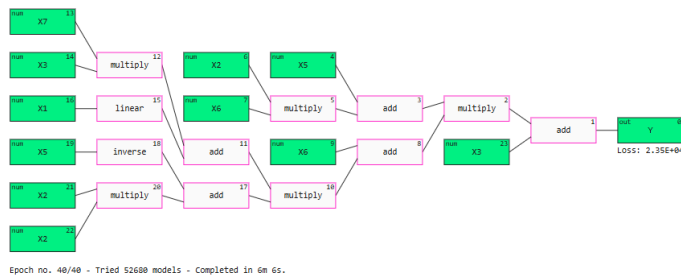
Bảng 1. Các chỉ số thống kê của tập dữ liệu.

Dữ liệu	Kí hiệu	Số lượng mẫu	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Min	Max
L (mm)	X1	275	521,16	373,83	300	2500
B (mm)	X2	275	128,88	29,51	100	323
t (mm)	X3	275	5,44	2,33	2,03	18,5
r (mm)	X4	275	2,288	0,61	2	5
e (mm)	X5	275	33,09	34,07	0	200
f_{cu} (MPa)	X6	275	104,04	42,67	25,4	164,1
$\sigma_{0,2}$ (MPa)	X7	275	496,97	144,41	262	896
N_{cu} (kN)	Y	275	1898,48	1535,49	357,35	8912

3.3. Kết quả dự báo

Với mô hình Qlattice được đề xuất, với bộ dữ liệu về cột CFST chịu tải trọng lệch tâm đã thu thập được, nhóm nghiên cứu đã tiến hành huấn luyện để tìm ra công thức dự báo khả năng chịu lực dọc lớn nhất của loại cột này. Các phép toán được sử dụng trong quá trình huấn luyện bao gồm: cộng, trừ, nhân, chia, lũy thừa. Mô hình kết quả được xây dựng sau hơn 52600 mô hình đã được tính toán để dự báo khả năng của cột. Hình 5 thể hiện mô hình tối ưu tìm được, mô hình này có thể được viết lại dưới dạng phương trình (12) bên dưới. Các hệ số từ A1 đến A23 được trình bày trong Phụ lục 1.

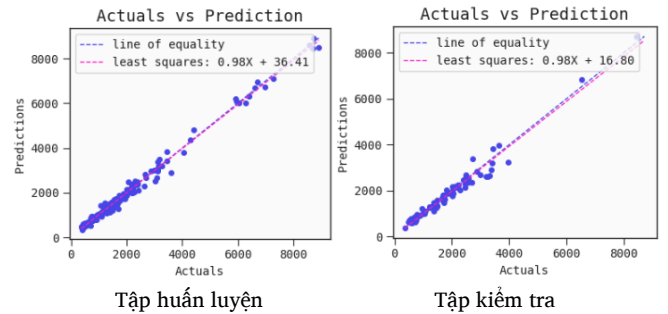
$$Y = A_1 * X_3 + A_2 * (A_3 * X_5 + (A_4 * X_2 - A_5) * (A_6 * X_6 - A_7) - A_8) * (A_9 * X_6 + ((A_{10} * X_2 - A_{11}) * (A_{12} * X_2 - A_{13}) + 1/(A_{14} * X_5 - A_{15})) * (A_6 * X_1 + (A_{17} - A_{18} * X_7) * (A_{19} * X_3 - A_{20}) + A_{21}) + A_{22})_{A_{23}(12)}$$



Hình 5. Mô hình tối ưu.

Hình 6 thể hiện các giá trị dự báo và giá trị thực tế của hai tập dữ liệu huấn luyện và kiểm chứng. Có thể thấy rằng, các điểm trong đồ thị nằm khá gần với đường chính giữa, điều này cho thấy mô hình có độ chính xác khá cao.

Bảng 2 thể hiện việc so sánh kết quả mô hình tìm được và kết quả tính toán theo tiêu chuẩn GB 50936-2014 [9]. Kết quả cho thấy, phương trình tìm được có độ chính xác cao, với các giá trị $R^2 = 0,9867$, $MAE = 121,61$ và $RMSE = 176,9$. Các chỉ số này có độ chính xác cao hơn so với kết quả khi tính toán theo tiêu chuẩn GB 50936-2014.



Hình 6. So sánh kết quả chính xác và kết quả dự báo của phương trình đề xuất.

Bảng 2. So sánh kết quả của mô hình dự đoán và kết quả tính theo tiêu chuẩn GB 50936-2014.

Model	R2	MAE	RMSE
GB 50936-2014	0,8672	389,99	558,66
Nghiên cứu này	0,9867	121,61	176,9

Bảng phụ lục 2 thể hiện các kết quả thu được từ phương trình của mô hình Qlattice và kết quả tính toán theo tiêu chuẩn GB 50936-2014 [9] được so sánh với kết quả từ thực nghiệm. Kết quả cho thấy, giá trị trung bình của $\frac{N_{cu}^{GB}}{N_{cu}^{exp}}$ và $\frac{N_{cu}^{ML}}{N_{cu}^{exp}}$ lần lượt là 1,21 và 1,02. Giá trị phương sai là nhỏ 0,0237 và 0,0109 tương ứng cho $\frac{N_{cu}^{GB}}{N_{cu}^{exp}}$ và $\frac{N_{cu}^{ML}}{N_{cu}^{exp}}$. Điều này cho thấy, kết quả của mô hình dự đoán là đáng tin cậy và có thể áp dụng phương trình đã tìm được ở trên để dự đoán khả năng chịu lực dọc của cột CFST chịu tải trọng lệch tâm.

4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo đã trình bày nghiên cứu xây dựng công thức xác định khả năng chịu nén của cột CFST mặt cắt hình vuông chịu tải trọng lệch tâm dựa trên phương pháp học máy. Cơ sở dữ liệu của loại cột này đã được tổng hợp và phân tích. Mô hình hồi quy Qlattice được sử dụng để xây dựng một công thức dự báo khả năng chịu nén của cột CFST chịu tải trọng lệch tâm.

Kết quả của công thức dự đoán có độ chính xác cao hơn khi so sánh với kết quả khi tính toán theo tiêu chuẩn GB 50936-2014, với giá trị $R^2 = 0,9867$. $MAE = 121,61$ và $RMSE = 176,9$. Ngoài ra, giá trị trung bình của $\frac{N_{cu}^{GB}}{N_{cu}^{exp}}$ và $\frac{N_{cu}^{ML}}{N_{cu}^{exp}}$ lần lượt là 1,21 và 1,02. Điều này cho thấy khả năng ứng dụng của học máy, đặc biệt là phương pháp hồi quy kí

tự Qlattice trong lĩnh vực xây dựng nói chung, và tìm được công thức xác định khả năng chịu lực dọc của cột CFST chịu tải trọng lệch tâm nói riêng. Từ đó vấn đề về số lượng mẫu thí nghiệm hạn chế có thể khắc phục trong tương lai. Hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm là nghiên cứu xác định khả năng chịu mô men của loại cột này.

Phụ lục 1. Các giá trị của hệ số từ A1 đến A23 trong phương trình (12).

A1 = 104,366	A2 = 1062,46	A3 = 0,00349926	A4 = -0,00025583	A5 = 0,113593	A6 = 0,0285089
A7 = 2,68911	A8 = 1,14448	A9 = -0,0036264	A10 = -0,000571857	A11 = 0,632872	A12 = 0,00876765
A13 = 1,51686	A14 = -0,0150239	A15 = 1,27236	A16 = -0,00053571	A17 = 1,70726	A18 = -0,00492201
A19 = -0,166697	A20 = 0,157546	A21 = 2,92436	A22 = 0,835015	A23 = 368,976	

Phụ lục 2. Khả năng của cột CFST chịu tải trọng lệch tâm của các tác giả trên thế giới và kết quả tính toán theo GB 50936-2014 và theo phương trình dự đoán trong nghiên cứu này.

Tác giả	Tên mẫu	L (mm)	B (mm)	t (mm)	r (mm)	e (mm)	f _{cu} (MPa)	$\sigma_{0,2}$ (MPa)	N_{cu}^{exp} (kN)	N_{cu}^{GB} (kN)	$\frac{N_{cu}^{GB}}{N_{cu}^{exp}}$	N_{cu}^{ML} (kN)	$\frac{N_{cu}^{ML}}{N_{cu}^{exp}}$
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y				
H. Tang [13]	S4-40-0	360,1	120,5	3,9	2,1	0	44,6	400	1362,1	1636,87	1,20	1464,80	1,08
	S4-40-0.4	359,9	120,3	3,9	2,3	24	44,6	400	916,9	963,61	1,05	935,11	1,02
	S4-40-0.6	395,5	120,3	3,9	2,1	36	44,6	400	771,5	799,71	1,04	768,35	1,00
	S4-40-0.8	359,7	120,2	3,9	2,2	48	44,6	400	720,4	682,29	0,95	650,30	0,90
	S6-40-0	359,1	120,2	5,8	2,3	0	44,6	510	2181,9	2413,82	1,11	1977,15	0,91
	S6-40-0.4	359,7	120,1	5,8	2,3	24	44,6	510	1463,8	1401,74	0,96	1311,07	0,90
	S6-40-0.6	359,7	120,5	5,8	2,2	36	44,6	510	1285,9	1166,67	0,91	1110,26	0,86
	S6-40-0.8	359,8	120,2	5,8	2,1	48	44,6	510	1092,9	989,77	0,91	949,04	0,87
	S7-40-0	360,3	120,5	6,6	2,2	0	44,6	571	2617,8	2850,31	1,09	2291,00	0,88
	S7-40-0.4	360,2	120,9	6,6	2,2	24	44,6	571	1694,1	1659,49	0,98	1538,72	0,91
	S7-40-0.6	359,8	120,7	6,6	2,1	36	44,6	571	1489,2	1366,85	0,92	1293,82	0,87
	S7-40-0.8	359,8	120,5	6,6	2,3	48	44,6	571	1377,4	1160,52	0,84	1108,92	0,81
	S20-100x3B	300	100	2,85	2	0	27,1	358	716	811,10	1,13	878,03	1,23
	S30-100x3A	300	100	2,85	2	0	42,9	358	765	972,25	1,27	950,46	1,24
	S30-100x3B	300	100	2,85	2	0	42,9	358	757	972,25	1,28	950,46	1,26
	S20-100x5A	300	101	5,05	2	0	27,1	435	1437	1354,50	0,94	1252,67	0,87
	S20-100x5B	300	101	5,05	2	0	27,1	435	1449	1354,50	0,93	1252,67	0,86
	S30-100x5A	300	101	5,05	2	0	42,9	435	1474	1540,25	1,04	1335,48	0,91
	S30-100x5B	300	101	5,05	2	0	42,9	435	1490	1540,25	1,03	1335,48	0,90
	S20-150x3B	450	152	2,85	2	0	27,1	268	1062	1264,91	1,19	1442,90	1,36
	S30-150x3B	450	152	2,85	2	0	42,9	268	1209	1619,24	1,34	1561,52	1,29
	S20-150x5A	450	150	4,8	2	0	27,1	340	1844	1891,65	1,03	1743,98	0,95
	S20-150x5B	450	150	4,8	2	0	27,1	340	1935	1891,65	0,98	1743,98	0,90
	S30-150x5A	450	150	4,8	2	0	42,9	340	2048	2253,81	1,10	1870,18	0,91
	S30-150x5B	450	150	4,8	2	0	42,9	340	1976	2253,81	1,14	1870,18	0,95
	SC-A-0	360	120,8	4	2	0	43,6	549	1815	2019,73	1,11	1755,38	0,97
	SC-B-0	360	120	5,3	2	0	43,6	578	2275	2469,52	1,09	2041,50	0,90

Tác giả	Tên mẫu	L (mm)	B (mm)	t (mm)	r (mm)	e (mm)	fcu (MPa)	$\sigma_{0,2}$ (MPa)	N_{cu}^{exp} (kN)	N_{cu}^{GB} (kN)	$\frac{N_{cu}^{GB}}{N_{cu}^{exp}}$	N_{cu}^{ML} (kN)	$\frac{N_{cu}^{ML}}{N_{cu}^{exp}}$
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y				
G. Li [14]	HSEL-1	450	150	5	2	20	100	811	3148	3712,78	1,18	3177,94	1,01
	HSEL-2	450	150	5	2	40	100	811	2386	2818,14	1,18	2480,06	1,04
	HSEL-3	450	150	5	2	60	100	811	2020	2270,92	1,12	1999,56	0,99
	HSEL-4	1000	150	5	2	20	100	811	2981	3712,78	1,25	3008,83	1,01
	HSEL-5	1000	150	5	2	40	100	811	2322	2818,14	1,21	2354,60	1,01
	HSEL-6	1000	150	5	2	60	100	811	1901	2270,92	1,19	1904,81	1,00
	HSEL-7	1500	150	5	2	20	100	811	2862	3712,78	1,30	2855,10	1,00
	HSEL-8	1500	150	5	2	40	100	811	2240	2818,14	1,26	2240,55	1,00
	HSEL-9	1500	150	5	2	60	100	811	1760	2270,92	1,29	1818,68	1,03
	HSEL-10	1500	150	5	2	40	100	553	1791	2275,98	1,27	1704,70	0,95
	HSEL-11	1500	150	5	2	40	100	781	2065	2756,20	1,33	2178,25	1,05
	HSEL-12	1500	150	5	2	40	100	896	2242	2992,21	1,33	2417,09	1,08
H.Tang [15]	S-4-0	360	120,45	4,02	2	0	129,4	420	2172,27	2859,68	1,32	2208,24	1,02
	S-4-0.4	360	120,95	4,04	2	24	129,4	420	1354,92	1704,33	1,26	1456,03	1,07
	S-4-0.6	360	121,9	4,02	2	36	129,4	420	1197,45	1437,76	1,20	1223,23	1,02
	S-4-0.8	360	120,9	4,04	2	48	129,4	420	988,72	1208,37	1,22	1008,30	1,02
	S-6-0	360	120,15	5,98	2	0	129,4	510	2649,14	3625,47	1,37	2802,71	1,06
	S-6-0.4	360	121,1	6,01	2	24	129,4	510	1871,19	2143,41	1,15	1902,28	1,02
	S-6-0.6	360	121,05	6,07	2	36	129,4	510	1543,22	1778,29	1,15	1602,05	1,04
	S-6-0.8	360	121,4	5,89	2	48	129,4	510	1435,31	1509,69	1,05	1347,09	0,94
	S-7-0	360	121,8	6,93	2	0	129,4	590	3111,2	4302,47	1,38	3366,82	1,08
	S-7-0.4	360	121,55	6,87	2	24	129,4	590	2169,25	2476,80	1,14	2242,53	1,03
	S-7-0.6	360	121,85	6,77	2	36	129,4	590	1862,79	2045,33	1,10	1872,19	1,01
	S-7-0.8	360	120,95	6,73	2	48	129,4	590	1634,87	1711,18	1,05	1556,35	0,95
	S-0.14-E0.1	360	120	4	2	6	129,4	420	1865,75	2415,85	1,29	1959,02	1,05
	S-0.18-E0.1	360	120	5	2	6	129,4	420	2058,85	2597,25	1,26	2096,40	1,02
	S-0.22-E0.1	360	120	6	2	6	129,4	420	2225,66	2769,10	1,24	2233,77	1,00
	S-0.25-E0.1	360	120	6,5	2	6	129,4	420	2455,43	2851,51	1,16	2302,46	0,94
	S-0.14-E0.1-S330	360	120	4	2	6	129,4	330	1739,75	2201,59	1,27	1758,15	1,01
	S-0.14-E0.1-S510	360	120	4	2	6	129,4	510	2030,33	2626,85	1,29	2159,89	1,06
	S-0.14-E0.1-S590	360	120	4	2	6	129,4	590	2164,5	2811,86	1,30	2338,45	1,08
	S-0.14-E0.1-C89.4	360	120	4	2	6	89,4	420	1554,3	1971,08	1,27	1636,76	1,05
	S-0.14-E0.1-C109.4	360	120	4	2	6	109,4	420	1702,45	2194,81	1,29	1791,55	1,05
	S-0.14-E0.1-C149.4	360	120	4	2	6	149,4	420	2046,92	2635,17	1,29	2139,17	1,05
	S-0.14-E0.3	360	120	4	2	18	129,4	420	1482,33	1862,61	1,26	1581,58	1,07
	S-0.18-E0.3	360	120	5	2	18	129,4	420	1649,42	1995,45	1,21	1711,15	1,04
	S-0.22-E0.3	360	120	6	2	18	129,4	420	1812,66	2119,82	1,17	1840,73	1,02
	S-0.25-E0.3	360	120	6,5	2	18	129,4	420	1972,65	2178,89	1,10	1905,51	0,97
	S-0.14-E0.3-S330	360	120	4	2	18	129,4	330	1362,31	1697,41	1,25	1428,19	1,05

Tác giả	Tên mẫu	L (mm)	B (mm)	t (mm)	r (mm)	e (mm)	fcu (MPa)	$\sigma_{0,2}$ (MPa)	N_{cu}^{exp} (kN)	N_{cu}^{GB} (kN)	$\frac{N_{cu}^{GB}}{N_{cu}^{exp}}$	N_{cu}^{ML} (kN)	$\frac{N_{cu}^{ML}}{N_{cu}^{exp}}$
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y				
	S-0.14-E0.3-S510	360	120	4	2	18	129,4	510	1624,29	2025,28	1,25	1734,97	1,07
	S-0.14-E0.3-S590	360	120	4	2	18	129,4	590	1726,51	2167,93	1,26	1871,32	1,08
	S-0.14-E0.3-C89.4	360	120	4	2	18	89,4	420	1250,12	1519,69	1,22	1311,19	1,05
	S-0.14-E0.3-C109.4	360	120	4	2	18	109,4	420	1370,64	1692,18	1,23	1440,05	1,05
	S-0.14-E0.3-C149.4	360	120	4	2	18	149,4	420	1592,41	2031,69	1,28	1735,79	1,09
	S-0.14-E0.4	360	120	4	2	24	129,4	420	1329,38	1671,24	1,26	1429,11	1,08
	S-0.18-E0.4	360	120	5	2	24	129,4	420	1492,29	1788,27	1,20	1555,50	1,04
	S-0.22-E0.4	360	120	6	2	24	129,4	420	1649,42	1897,37	1,15	1681,89	1,02
	S-0.25-E0.4	360	120	6,5	2	24	129,4	420	1815,27	1949,02	1,07	1745,09	0,96
	S-0.14-E0.4-S330	360	120	4	2	24	129,4	330	1226,92	1523,02	1,24	1295,09	1,06
	S-0.14-E0.4-S510	360	120	4	2	24	129,4	510	1453,31	1817,20	1,25	1563,13	1,08
	S-0.14-E0.4-S590	360	120	4	2	24	129,4	590	1550,19	1945,19	1,25	1682,26	1,09
	S-0.14-E0.4-C89.4	360	120	4	2	24	89,4	420	1131,39	1363,56	1,21	1180,90	1,04
	S-0.14-E0.4-C109.4	360	120	4	2	24	109,4	420	1249,62	1518,33	1,22	1298,67	1,04
	S-0.14-E0.4-C149.4	360	120	4	2	24	149,4	420	1446,83	1822,96	1,26	1572,24	1,09
	S-0.14-E0.6	360	120	4	2	36	129,4	420	1116,92	1386,37	1,24	1178,66	1,06
	S-0.18-E0.6	360	120	5	2	36	129,4	420	1298,75	1480,78	1,14	1299,76	1,00
	S-0.22-E0.6	360	120	6	2	36	129,4	420	1442,8	1568,25	1,09	1420,86	0,98
	S-0.25-E0.6	360	120	6,5	2	36	129,4	420	1587,24	1609,43	1,01	1481,42	0,93
	S-0.14-E0.6-S330	360	120	4	2	36	129,4	330	1027,33	1263,41	1,23	1076,81	1,05
	S-0.14-E0.6-S510	360	120	4	2	36	129,4	510	1230,89	1507,45	1,22	1280,51	1,04
	S-0.14-E0.6-S590	360	120	4	2	36	129,4	590	1309,82	1613,63	1,23	1371,04	1,05
	S-0.14-E0.6-C89.4	360	120	4	2	36	89,4	420	988,884	1131,13	1,14	969,16	0,98
	S-0.14-E0.6-C109.4	360	120	4	2	36	109,4	420	1066,13	1259,52	1,18	1067,57	1,00
	S-0.14-E0.6-C149.4	360	120	4	2	36	149,4	420	1231,45	1512,23	1,23	1302,43	1,06
	S-0.14-E0.8	360	120	4	2	48	129,4	420	925,645	1184,47	1,28	984,42	1,06
	S-0.18-E0.8	360	120	5	2	48	129,4	420	1072,51	1263,52	1,18	1101,35	1,03
	S-0.22-E0.8	360	120	6	2	48	129,4	420	1219,5	1336,42	1,10	1218,29	1,00
	S-0.25-E0.8	360	120	6,5	2	48	129,4	420	1344,25	1370,63	1,02	1276,75	0,95
	S-0.14-E0.8-S330	360	120	4	2	48	129,4	330	835,861	1079,42	1,29	907,96	1,09
	S-0.14-E0.8-S510	360	120	4	2	48	129,4	510	1020,72	1287,92	1,26	1060,88	1,04
	S-0.14-E0.8-S590	360	120	4	2	48	129,4	590	1125,74	1378,63	1,22	1128,85	1,00
	S-0.14-E0.8-C89.4	360	120	4	2	48	89,4	420	824,307	966,40	1,17	807,80	0,98
	S-0.14-E0.8-C109.4	360	120	4	2	48	109,4	420	880,409	1076,10	1,22	889,77	1,01
	S-0.14-E0.8-C149.4	360	120	4	2	48	149,4	420	1003,19	1292,00	1,29	1091,75	1,09
	S-0.14-E0.9	360	120	4	2	54	129,4	420	846,55	1104,08	1,30	903,83	1,07
	S-0.18-E0.9	360	120	5	2	54	129,4	420	980,834	1177,17	1,20	1019,00	1,04
	S-0.22-E0.9	360	120	6	2	54	129,4	420	1094,71	1244,45	1,14	1134,17	1,04
	S-0.25-E0.9	360	120	6,5	2	54	129,4	420	1225,51	1275,96	1,04	1191,76	0,97

Tác giả	Tên mẫu	L (mm)	B (mm)	t (mm)	r (mm)	e (mm)	fcu (MPa)	$\sigma_{0,2}$ (MPa)	N_{cu}^{exp} (kN)	N_{cu}^{GB} (kN)	$\frac{N_{cu}^{GB}}{N_{cu}^{exp}}$	N_{cu}^{ML} (kN)	$\frac{N_{cu}^{ML}}{N_{cu}^{exp}}$
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y				
	S-0.14-E0.9-S330	360	120	4	2	54	129,4	330	765,416	1006,16	1,31	838,07	1,09
	S-0.14-E0.9-S510	360	120	4	2	54	129,4	510	950,06	1200,50	1,26	969,59	1,02
	S-0.14-E0.9-S590	360	120	4	2	54	129,4	590	1022,38	1285,06	1,26	1028,04	1,01
	S-0.14-E0.9-C89.4	360	120	4	2	54	89,4	420	753,856	900,81	1,19	741,93	0,98
	S-0.14-E0.9-C109.4	360	120	4	2	54	109,4	420	799,597	1003,06	1,25	816,54	1,02
	S-0.14-E0.9-C149.4	360	120	4	2	72	149,4	420	906,964	1000,57	1,10	793,46	0,87
	S-0.14-E1.2	360	120	4	2	72	129,4	420	666,315	917,30	1,38	712,94	1,07
	S-0.18-E1.2	360	120	5	2	72	129,4	420	777,385	976,87	1,26	823,85	1,06
	S-0.22-E1.2	360	120	6	2	72	129,4	420	885,223	1031,47	1,17	934,75	1,06
	S-0.25-E1.2	360	120	6,5	2	72	129,4	420	984,226	1056,96	1,07	990,20	1,01
	S-0.14-E1.2-S330	360	120	4	2	72	129,4	330	588,88	835,94	1,42	673,15	1,14
	S-0.14-E1.2-S510	360	120	4	2	72	129,4	510	753,21	997,41	1,32	752,73	1,00
	S-0.14-E1.2-S590	360	120	4	2	72	129,4	590	817,429	1067,66	1,31	788,10	0,96
	S-0.14-E1.2-C89.4	360	120	4	2	72	89,4	420	599,744	748,42	1,25	589,94	0,98
	S-0.14-E1.2-C109.4	360	120	4	2	72	109,4	420	634,113	833,37	1,31	645,10	1,02
	S-0.14-E1.2-C149.4	360	120	4	2	72	149,4	420	706,059	1000,57	1,42	793,46	1,12
	S-0.14-E1.35	360	120	4	2	81	129,4	420	596,981	845,76	1,42	640,43	1,07
	S-0.18-E1.35	360	120	5	2	81	129,4	420	698,506	900,28	1,29	749,66	1,07
	S-0.22-E1.35	360	120	6	2	81	129,4	420	795,356	950,17	1,19	858,88	1,08
	S-0.25-E1.35	360	120	6,5	2	81	129,4	420	896,253	973,42	1,09	913,49	1,02
	S-0.14-E1.35-S330	360	120	4	2	81	129,4	330	524,608	770,75	1,47	610,86	1,16
	S-0.14-E1.35-S510	360	120	4	2	81	129,4	510	674,313	919,62	1,36	670,00	0,99
	S-0.14-E1.35-S590	360	120	4	2	81	129,4	590	737,533	984,40	1,33	696,29	0,94
	S-0.14-E1.35-C89.4	360	120	4	2	81	89,4	420	540,183	690,05	1,28	534,49	0,99
	S-0.14-E1.35-C109.4	360	120	4	2	81	109,4	420	573,966	768,37	1,34	581,12	1,01
	S-0.14-E1.35-C149.4	360	120	4	2	81	149,4	420	628,112	922,54	1,47	712,42	1,13
	S-0.14-E1.5	360	120	4	2	90	129,4	420	536,838	784,57	1,46	580,05	1,08
	S-0.18-E1.5	360	120	5	2	90	129,4	420	631,594	834,83	1,32	687,84	1,09
	S-0.22-E1.5	360	120	6	2	90	129,4	420	723,172	880,75	1,22	795,63	1,10
	S-0.25-E1.5	360	120	6,5	2	90	129,4	420	810,41	902,12	1,11	849,52	1,05
	S-0.14-E1.5-S330	360	120	4	2	90	129,4	330	464,792	714,98	1,54	559,24	1,20
	S-0.14-E1.5-S510	360	120	4	2	90	129,4	510	610,375	853,09	1,40	600,87	0,98
	S-0.14-E1.5-S590	360	120	4	2	90	129,4	590	670,481	913,18	1,36	619,37	0,92
	S-0.14-E1.5-C109.4	360	120	4	2	90	109,4	420	516,035	712,78	1,38	528,65	1,02
	S-0.14-E1.5-C149.4	360	120	4	2	90	149,4	420	560,842	855,79	1,53	644,14	1,15
	S-0.18-E2.5	360	120	5	2	150	129,4	420	370,922	562,29	1,52	486,92	1,31
	S-0.22-E2.5	360	120	6	2	150	129,4	420	430,706	592,26	1,38	589,22	1,37
	S-0.25-E2.5	360	120	6,5	2	150	129,4	420	492,924	606,14	1,23	640,37	1,30
	S-0.14-E2.5-S510	360	120	4	2	150	129,4	510	357,348	575,51	1,61	372,04	1,04

Tác giả	Tên mẫu	L (mm)	B (mm)	t (mm)	r (mm)	e (mm)	fcu (MPa)	$\sigma_{0,2}$ (MPa)	N_{cu}^{exp} (kN)	N_{cu}^{GB} (kN)	$\frac{N_{cu}^{GB}}{N_{cu}^{exp}}$	N_{cu}^{ML} (kN)	$\frac{N_{cu}^{ML}}{N_{cu}^{exp}}$
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y				
	S-0.14-E2.5-S590	360	120	4	2	150	129,4	590	395,665	616,05	1,56	360,84	0,91
B. Yan [16]	SC6-0-1	600	120	6	3	0	146,1	435,6	3265	3538,17	1,08	2618,74	0,80
	SC6-0-2	600	120	6	3	0	146,1	435,6	3187	3538,17	1,11	2618,74	0,82
	SC6-20-1	600	120	6	3	20,85	146,1	435,6	2000	2172,76	1,09	1872,13	0,94
	SC6-20-2	600	120	6	3	24,1	146,1	435,6	2029	2049,48	1,01	1785,06	0,88
	SC6-45-1	600	120	6	3	48,84	146,1	435,6	1396	1431,27	1,03	1286,62	0,92
	SC6-45-2	600	120	6	3	46,69	146,1	435,6	1379	1469,80	1,07	1320,68	0,96
	SC6-65-1	600	120	6	3	68,54	146,1	435,6	1035	1154,08	1,12	1032,85	1,00
	SC6-65-2	600	120	6	3	64,57	146,1	435,6	1054	1200,95	1,14	1076,55	1,02
	SC8-0-1	600	120	7,7	3	0	146,1	442,1	3581	3915,49	1,09	2908,97	0,81
	SC8-0-2	600	120	7,7	3	0	146,1	442,1	3385	3915,49	1,16	2908,97	0,86
	SC8-20-1	600	120	7,7	3	25,21	146,1	442,1	2215	2194,31	0,99	1998,27	0,90
	SC8-20-2	600	120	7,7	3	20,25	146,1	442,1	2197	2402,06	1,09	2137,98	0,97
	SC8-45-1	600	120	7,7	3	49,51	146,1	442,1	1415	1541,26	1,09	1490,10	1,05
	SC8-45-2	600	120	7,7	3	43,08	146,1	442,1	1619	1673,01	1,03	1601,16	0,99
	SC8-65-1	600	120	7,7	3	63,3	146,1	442,1	1255	1318,56	1,05	1294,07	1,03
	SC8-65-2	600	120	7,7	3	62,85	146,1	442,1	1231	1324,81	1,08	1299,68	1,06
T.-T. Nguyen [17]	E35-1	333	105	3	2	15,75	150	724	1722	1866,25	1,08	1657,43	0,96
	E35-2	333	105	3	2	31,5	150	724	1399	1391,43	0,99	1140,02	0,81
	E40-1	378	120	3	2	18	150	724	2268	2324,19	1,02	2046,86	0,90
	E40-2	378	120	3	2	36	150	724	1715	1735,05	1,01	1475,57	0,86
	E40-3	378	120	3	2	54	150	724	1278	1384,18	1,08	1079,96	0,85
	E45-1	423	135	3	2	20,25	150	724	2390	2827,25	1,18	2446,07	1,02
	E45-2	423	135	3	2	40,5	150	724	1910	2112,64	1,11	1821,29	0,95
	E45-3	423	135	3	2	60,75	150	724	1357	1686,39	1,24	1396,03	1,03
Rubieyat Bin Ali [18]	E1	1000	100	4	2	30	27	350	377	476,36	1,26	454,20	1,20
	E2	1000	100	4	2	30	35	350	466	518,14	1,11	465,40	1,00
	E4	1000	125	3	2	30	35	350	480	690,10	1,44	659,20	1,37
	E5	1000	125	4	2	30	35	350	586	800,23	1,37	764,18	1,30
	E6	1000	125	5	2	30	35	350	693	902,55	1,30	869,17	1,25
	E7	300	100	4	2	30	44	350	688	562,35	0,82	526,81	0,77
	E9	1000	150	5	2	30	44	350	1474	1393,80	0,95	1215,40	0,82
	E10	1000	150	5	2	30	44	350	968	1393,80	1,44	1215,40	1,26
H. Tang [19]	S-40-4	361,5	119,3	4,5	2	0	40	730,3	2140,4	2539,91	1,19	2147,94	1,00
	S-120-4	360,9	119	4,5	2	0	120	730,3	2869,8	3706,95	1,29	2989,73	1,04
	S-150-4	360,5	119,3	4,5	2	0	150	730,3	2720,8	4117,82	1,51	3372,19	1,24
	S-40-6	360,2	118,6	6,3	2	0	40	706	3037,4	3082,82	1,01	2505,44	0,82
	S-120-6	361,5	118,6	6,3	2	0	120	706	3429,5	4279,91	1,25	3416,70	1,00
	S-150-6	361,2	118,8	6,3	2	0	150	706	3423,4	4677,90	1,37	3819,33	1,12

Tác giả	Tên mẫu	L	B (mm)	t	r	e	f _{cu}	σ _{0,2}	N ^{exp} _{cu}	N ^{GB} _{cu} (kN)	$\frac{N_{cu}^{GB}}{N_{cu}^{exp}}$	N ^{ML} _{cu} (kN)	$\frac{N_{cu}^{ML}}{N_{cu}^{exp}}$
		(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	(kN)				
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y				
	S-40-8	361	118	8,3	2	0	40	793,4	3952,7	4046,77	1,02	3248,09	0,82
	S-120-8	360,5	117,9	8,3	2	0	120	793,4	4284,6	5318,52	1,24	4344,03	1,01
	S-150-8	361,5	117,7	8,3	2	0	150	793,4	4395,7	5693,56	1,30	4797,32	1,09
	SS1-2	300	100,4	2,03	2	0	113,2	348,7	1406	1489,04	1,06	1274,37	0,91
	SS1-3	300	100,4	2,05	2	0	130,8	348,7	1575	1657,16	1,05	1403,69	0,89
	SS2-2	300	100,3	3,83	2	0	113,2	306,7	1544	1679,63	1,09	1387,56	0,90
	SS2-3	300	100,4	3,79	2	0	130,8	306,7	1676	1832,63	1,09	1509,00	0,90
	SS3-2	300	100,7	7,59	2	0	113,2	371,6	1976	2391,71	1,21	1937,02	0,98
	SS3-3	300	100,7	7,63	2	0	130,8	371,6	2051	2540,76	1,24	2073,55	1,01
	S1-5-100	300	100	4,9	3	0	89,2	668,8	1800,3	2530,85	1,41	2041,89	1,13
	S2-5-110	300	100	4,9	3	0	100,3	668,8	2003,8	2638,69	1,32	2137,36	1,07
	S3-6-110	300	100	5,8	3	0	100,3	646,2	2220,5	2825,50	1,27	2279,48	1,03
	S4-6-120	300	100	5,8	3	0	111,3	646,2	2391,2	2929,19	1,22	2379,60	1,00
	S5-6-140	300	100	5,8	3	0	128,1	646,2	2573,3	3083,32	1,20	2539,66	0,99
	S6-7-100	300	100	6,8	3	0	89,2	599,5	2209,4	2821,86	1,28	2265,50	1,03
	S7-7-110	300	100	6,8	3	0	100,3	599,5	2294,7	2927,56	1,28	2361,96	1,03
	S8-7-120	300	100	6,8	3	0	111,3	599,5	2368,9	3029,24	1,28	2461,27	1,04
	S9-7-140	300	100	6,8	3	0	128,1	599,5	2492,1	3179,97	1,28	2620,07	1,05
	S10-10-100	300	100	10	3	0	89,2	458,6	2206,1	2869,20	1,30	2351,65	1,07
	S11-10-120	300	100	10	3	0	111,3	458,6	2297,7	3057,34	1,33	2528,11	1,10
	S12-10-140	300	100	10	3	0	128,1	458,6	2498,5	3193,04	1,28	2672,24	1,07
	S13-14-100	300	100	14,2	3	0	89,2	468,6	3106,7	3472,44	1,12	2999,65	0,97
	S14-14-120	300	100	14,2	3	0	100,3	468,6	3119,5	3564,69	1,14	3094,61	0,99
	S15-14-140	300	100	14,2	3	0	111,3	468,6	3274,3	3652,04	1,12	3192,44	0,98
	S16-18-140	300	100	18,5	3	0	128,1	444,6	3441,4	4022,98	1,17	3819,58	1,11
	S1	450	150	8	2	0	152,3	846	6536	8398,67	1,28	6823,01	1,04
	S2	450	150	8	2	0	157,2	846	6715	8500,25	1,27	6935,17	1,03
	S3	450	150	8	2	0	147	846	6616	8288,07	1,25	6702,60	1,01
	S4	450	150	8	2	0	164,1	846	7276	8642,29	1,19	7094,46	0,98
	S5	450	150	8	2	0	148	846	6974	8309,00	1,19	6725,25	0,96
	S6	450	150	12	2	0	152,3	825	8585	10190,02	1,19	8586,93	1,00
	S7	450	150	12	2	0	157,2	825	8452	10289,77	1,22	8719,55	1,03
	S8	450	150	12	2	0	147	825	8687	10081,07	1,16	8444,39	0,97
	S9	450	150	12	2	0	164,1	825	8730	10428,77	1,19	8907,65	1,02
	S10	450	150	12	2	0	148	825	8912	10101,72	1,13	8471,22	0,95
	S11	450	150	12,5	2	0	152,3	565	5953	8057,78	1,35	6096,68	1,02
	S12	450	150	12,5	2	0	157,2	565	5911	8148,20	1,38	6190,67	1,05
	S13	450	150	12,5	2	0	147	565	6039	7959,25	1,32	5995,93	0,99
	S14	450	150	12,5	2	0	164,1	565	6409	8274,54	1,29	6324,37	0,99

Tác giả	Tên mẫu	L	B (mm)	t	r	e	fcu	$\sigma_{0,2}$	N_{cu}^{exp}	N_{cu}^{GB} (kN)	$\frac{N_{cu}^{GB}}{N_{cu}^{exp}}$	N_{cu}^{ML} (kN)	$\frac{N_{cu}^{ML}}{N_{cu}^{exp}}$
		(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	(kN)				
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y					
	S15	450	150	12,5	2	0	148	565	6285	7977,90	1,27	6014,87	0,96
T, Fujimoto [3]	ER4-A-4-57	648	148	4,38	2	45	40,5	262	823	868,18	1,05	904,16	1,10
	ER4-C-2-56	648	214	4,38	2	60	25,4	262	1141	1284,36	1,13	1386,39	1,22
	ER4-C-4-51	648	215	4,38	2	60	40,5	262	1369	1645,57	1,20	1503,36	1,10
	ER4-C-8-33	648	214	4,38	2	100	77	262	1448	1837,83	1,27	1461,25	1,01
	ER4-C-8-46	648	215	4,38	2	60	77	262	2014	2461,14	1,22	1798,69	0,89
	ER4-D-4-60	648	323	4,38	2	60	40,5	262	3306	3859,40	1,17	2648,25	0,80
	ER6-A-4-61	648	144	4,38	2	45	40,5	618	1701	1380,26	0,81	1275,54	0,75
	ER6-C-2-58	648	210	6,36	2	60	25,4	618	2393	2662,92	1,11	2463,24	1,03
	ER6-C-4-44	648	210	6,36	2	100	40,5	618	2092	2301,22	1,10	2094,63	1,00
	ER6-C-4-57	648	209	6,36	2	60	40,5	618	2694	3036,81	1,13	2652,75	0,98
	ER6-C-8-24	648	210	6,36	2	200	77	618	1486	1805,23	1,21	1594,16	1,07
	ER6-C-8-54	648	210	6,36	2	60	77	618	3396	3901,00	1,15	3212,58	0,95
	ER6-D-4-47	648	319	6,36	2	100	40,5	618	4045	5306,35	1,31	3784,66	0,94
Zhang [20]	SS4-1	360	120,4	3,82	2	0	145,9	430,6	2576	3055,62	1,19	2366,79	0,92
	SS4-2	360	120,4	3,82	2	0	145,9	430,6	2701	3055,62	1,13	2366,79	0,88
	SS4-S-30	600	120,4	3,82	2	30	145,9	430,6	1401	1637,32	1,17	1361,90	0,97
	SS4-S-50	600	120,4	3,82	2	50	145,9	430,6	1052	1250,40	1,19	1011,24	0,96
	SS4-L-30	1200	120,4	3,82	2	30	145,9	430,6	1212	1637,32	1,35	1252,03	1,03
	SS6-1	360	120,6	5,88	2	0	145,9	430,3	3089	3518,25	1,14	2680,61	0,87
	SS6-2	360	120,6	5,88	2	0	145,9	430,3	3003	3518,25	1,17	2680,61	0,89
	SS6-S-30	600	120,6	5,88	2	30	145,9	430,3	1752	1854,41	1,06	1629,55	0,93
	SS6-S-50	600	120,6	5,88	2	50	145,9	430,3	1317	1409,90	1,07	1260,78	0,96
	SS6-L-30	1200	120,6	5,88	2	30	145,9	430,3	1468	1854,41	1,26	1519,17	1,03
P, Dai [21]	SHS-t6C30-0	600	200,2	5,8	5	0	30	433	3119,7	3849,80	1,23	2985,33	0,96
	SHS-t6C30-0.2	600	199,4	5,8	5	38	30	433	2404,6	2307,94	0,96	2090,36	0,87
	SHS-t6C30-0.3	600	199,3	5,9	5	55	30	670	2068,1	2669,99	1,29	2466,43	1,19
	SHS-t6C30-0.4	600	199,5	5,8	5	80	30	433	1740,7	1605,50	0,92	1605,47	0,92
	SHS-t6C30-0.5	600	199,4	5,9	5	93	30	460	1566,4	1540,71	0,98	1561,63	1,00
	SHS-t6C60-0.3	600	199,6	5,7	5	54	60	430	2453,4	2577,57	1,05	2132,40	0,87
	SHS-t10C30-0.3	600	200,4	10	5	55	30	693	3187,3	3897,60	1,22	3502,90	1,10
	SHS-t10C60-0.3	600	199,6	9,9	5	56	60	693	3650,8	4555,32	1,25	3968,33	1,09
D, Liu [22]	S1	360	120	4	3	15	60	495	1294	1469,44	1,14	1313,74	1,02
	S2	360	120	4	3	25	60	495	1125	1222,06	1,09	1096,67	0,97
	S3	360	120	4	3	30	60	495	949	1127,18	1,19	1006,48	1,06
	S4	360	120	4	3	45	60	495	810	914,24	1,13	792,28	0,98
	S13	390	130	4	3	15	60	495	1472	1695,86	1,15	1505,44	1,02
	S14	390	130	4	3	25	60	495	1305	1424,39	1,09	1282,75	0,98
	S15	390	130	4	3	40	60	495	1022	1148,60	1,12	1032,47	1,01

Tác giả	Tên mẫu	L (mm)	B (mm)	t (mm)	r (mm)	e (mm)	f _{cu} (MPa)	σ _{0,2} (MPa)	N _{cu} ^{exp} (kN)	N _{cu} ^{GB} (kN)	$\frac{N_{cu}^{GB}}{N_{cu}^{exp}}$	N _{cu} ^{ML} (kN)	$\frac{N_{cu}^{ML}}{N_{cu}^{exp}}$
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y				
	S16	390	130	4	3	55	60	495	789	962,28	1,22	853,94	1,08
Bonet [23]	S100.100.4_90.275_20.10	2135	100	4	3	20	93,9	280	525,7	856,68	1,63	556,41	1,06
	S100.100.4_90.275_20.0	2135	100	4	3	20	89,5	363,2	652,6	943,61	1,45	615,80	0,94
	S100.100.4_30.275_20.-10	2135	100	4	3	0	34,1	346,9	526,2	1052,58	2,00	691,68	1,31
M. Dundu [24]	101.6x101.6x3.0	1000	101,6	3	3	0	31,2	483,9	718,88	1094,39	1,52	947,17	1,32
	101.6x101.6x3.0	1500	101,6	3	3	0	31,2	483,9	691,38	1094,39	1,58	857,20	1,24
	120.0x120.0x3.5	1000	120	3,5	3	0	31,2	401	1164,16	1339,50	1,15	1174,50	1,01
	120.0x120.0x3.5	1500	120	3,5	3	0	31,2	401	997,19	1339,50	1,34	1058,50	1,06
	120.0x120.0x3.5	2000	120	3,5	3	0	31,2	401	899,65	1339,50	1,49	942,50	1,05
	120.0x120.0x3.5	2500	120	3,5	3	0	31,2	401	729,1	1339,50	1,84	826,50	1,13
	150.0x150.0x3.5	1000	150	3,5	3	0	31,2	405	1516,26	1850,08	1,22	1610,39	1,06
	150.0x150.0x3.5	1500	150	3,5	3	0	31,2	405	1330,13	1850,08	1,39	1451,23	1,09
	150.0x150.0x3.5	2000	150	3,5	3	0	31,2	405	1307,61	1850,08	1,41	1292,07	0,99
	150.0x150.0x3.5	2500	150	3,5	3	0	31,2	405	1198,25	1850,08	1,54	1132,92	0,95
Trung bình											1.21		1,02
Giá trị lớn nhất											0.81		0,75
Giá trị nhỏ nhất											2.00		1,37
Phương sai											0.0237		0,0109

Tài liệu tham khảo

- [1]. Phạm Văn Nam, Nguyễn Hoàng Quân, Trần Hùng, Đỗ Văn Linh (2019), “Mô phỏng ứng xử chịu nén đúng tâm của cột liên hợp ống thép hình e lấp nhồi bê tông”. Hội thảo khoa học cán bộ trẻ lần thứ XV. Phần 2: Kết cấu – công nghệ xây dựng, trang 191-199.
- [2]. Y.-J. Li, B.-H. Zhang, Z.-B. Wang, and Y.-M. Zhao, “Biaxially eccentric compression behaviors of concrete-filled square stainless steel tubular columns,” *Structures*, vol. 71, p. 108145, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.istruc.2024.108145.
- [3]. T. Fujimoto, A. Mukai, I. Nishiyama, and K. Sakino, “Behavior of Eccentrically Loaded Concrete-Filled Steel Tubular Columns,” *J. Struct. Eng.*, vol. 130, no. 2, pp. 203–212, Feb. 2004, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:2(203).
- [4]. Q. Shan, J. Cai, X. Li, and J. Tan, “Analysis of Concrete-Filled Square Steel Tube Short Columns under Eccentric Loading,” *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2019, no. 1, p. 8420181, Jan. 2019, doi: 10.1155/2019/8420181.
- [5]. G. Almasabha and M. Ramadan, “Finite Element Modelling of Circular Concrete-Filled Steel Tubular Columns Under Quasi-Static Axial Compression Loading,” *J. Compos. Sci.*, vol. 8, no. 11, p. 472, Nov. 2024, doi: 10.3390/jcs8110472.
- [6]. AS/NZS 2327. Composite structures: Composite Steel-Concrete Construction in Buildings. Standards Australia; 2017.
- [7]. ANSI/AISC 360-10, Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction (AISC), Chicago, USA, 2010.
- [8]. Eurocode 4, EN 1994-1-1 Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1.1. General Rules and Rules for Buildings, British Standards Institution, 2004.
- [9]. GB50936-2014, Technical Code for Concrete Filled Steel Tubular Structures, Standard Press of China, Beijing, 2014.
- [10]. M. Zarringol, H.-T. Thai, S. Thai, and V. Patel, “Application of ANN to the design of CFST columns,” *Structures*, vol. 28, pp. 2203–2220, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.istruc.2020.10.048.
- [11]. C. Wang and T.-M. Chan, “Machine learning (ML) based models for predicting the ultimate strength of rectangular concrete-filled steel tube (CFST) columns under eccentric loading,” *Engineering Structures*, vol. 276, p. 115392, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.engstruct.2022.115392.
- [12]. K. R. Brolos et al. (2021), “An Approach to Symbolic Regression Using Feyn.” *arXiv*, Apr. 12. Accessed: Jul. 14, 2024. Available: <http://arxiv.org/abs/2104.05417>.
- [13]. H. Tang, L. Hou, Z. Yuan, Y. Jia, and Y. Wang, “Eccentric compressive behavior of square concrete-filled stainless-steel tube (CFSST) stub columns,” *Structures*, vol. 55, pp. 1920–1935, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.istruc.2023.06.114.
- [14]. G. Li, Q. Zhang, and C. Fang, “Performance of eccentrically loaded ultra-high-strength concrete-filled Q770 steel tubular columns with varying slenderness ratios: Experimental and numerical investigations,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 213, p. 108412, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.jcsr.2023.108412.
- [15]. H. Tang, X. Zou, and Y. Liu, “Eccentric compression performance of UHPC-filled square stainless steel tube stub columns,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 215, p. 108515, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.jcsr.2024.108515.

- [16]. J.-B. Yan, A. Chen, and J.-S. Zhu, "Behaviours of square UHPFRC-filled steel tubular stub columns under eccentric compression," *Thin-Walled Structures*, vol. 159, p. 107222, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.tws.2020.107222.
- [17]. T.-T. Nguyen, H.-T. Thai, D. Li, J. Wang, B. Uy, and T. Ngo, "Behaviour and design of eccentrically loaded CFST columns with high strength materials and slender sections," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 188, p. 107004, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.jcsr.2021.107004.
- [18]. Rubieyat Bin Ali, "Strength and Deformation Behaviour of Eccentrically Loaded Square Concrete Filled Steel Tubular Columns", Master Of Science In Civil Engineering (Structural), Department Of Civil Engineering, Bangladesh University Of Engineering And Technology, Dhaka, Bangladesh, 2019.
- [19]. H. Tang, J. Qin, Y. Liu, and J. Chen, "Axial compression behaviour of circular and square UHPC-filled stainless steel tube columns," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 211, p. 108111, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.jcsr.2023.108111.
- [20]. R. Zhang, S. Chen, P. Gu, and Y. Huang, "Structural behavior of UHPC filled steel tubular columns under eccentric loading," *Thin-Walled Structures*, vol. 156, p. 106959, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.tws.2020.106959.
- [21]. P. Dai, L. Yang, X. Yun, F. Wang, and L. Zhang, "Experimental study of concrete-filled stainless steel tubular stub columns with circular and square cross-sections subjected to combined compression and bending," *Engineering Structures*, vol. 305, p. 117773, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.engstruct.2024.117773.
- [22]. D. Liu, "Behaviour of eccentrically loaded high-strength rectangular concrete-filled steel tubular columns," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 62, no. 8, pp. 839–846, Aug. 2006, doi: 10.1016/j.jcsr.2005.11.020.
- [23]. D. Hernández-Figueirido, M. L. Romero, J. L. Bonet, and J. M. Montalvá, "Ultimate capacity of rectangular concrete-filled steel tubular columns under unequal load eccentricities," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 68, no. 1, pp. 107–117, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.jcsr.2011.07.014.
- [24]. M. Dundu, "Column buckling tests of hot-rolled concrete filled square hollow sections of mild to high strength steel," *Engineering Structures*, vol. 127, pp. 73–85, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.engstruct.2016.08.039.
- [25]. Lê Bá Anh, Lê Đăng Dũng, Nguyễn Quang Sĩ, Nguyễn Xuân Huy, "Dự báo sức kháng cắt của dầm bê tông cốt thép có lỗ khoét", Tạp chí Khoa học công nghệ Giao thông vận tải, tập 13 - số 1, trang 65-78, 2024.