

DỰ BÁO KHẢ NĂNG CHỐNG CHỌC THÙNG SÀN BÊ TÔNG CỐT THÉP BỊ ĂN MÒN

PREDICTING THE PUNCHING SHEAR CAPACITY OF CORRODED REINFORCED CONCRETE FLAT SLAB

LÊ THẾ ANH^{a,*}, ĐẶNG VŨ HIỆP^a

^aTrường Đại học Kiến trúc Hà Nội

*Tác giả đại diện: Email: hiepdv@hau.edu.vn

Ngày nhận 15/11/2023, Ngày sửa 20/12/2023, Chấp nhận 29/12/2023

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2023.vi.vol4-2>

Tóm tắt: Sàn phẳng không dầm bằng bê tông cốt thép không những đem lại lợi ích về chiều cao thông thủy mỗi tầng, tính thẩm mỹ mà còn dễ dàng lắp dựng cốp pha, giảm thời gian thi công công trình. Tuy nhiên loại hình kết cấu sàn này nhạy cảm với kiểu phá hoại chọc thủng tại vị trí liên kết sàn-cột, có thể dẫn đến sụp đổ công trình. Khi ăn mòn cốt thép xảy ra càng làm cho ứng xử tại vị trí liên kết sàn-cột phức tạp. Dự báo khả năng chịu lực tại vùng này cần kể tới các nhân tố ảnh hưởng do ăn mòn gây ra. Bài báo này trình bày kết quả đánh giá khả năng chịu lực của sàn phẳng không dầm có cốt dọc bị ăn mòn thông qua 123 dữ liệu thực nghiệm thu thập được từ các nghiên cứu trước đây dựa trên 3 tiêu chuẩn ACI 318-19, Eurocode 2 và TCVN 5574:2018. So sánh các chỉ số thống kê cho thấy TCVN 5574:2018 cho kết quả dự báo an toàn nhất. Ngoài ra, một công thức thu được từ phân tích hồi quy phi tuyến được đề xuất để cải thiện độ chính xác khi dự báo khả năng chống chọc thủng của sàn phẳng không dầm bê tông bị ăn mòn cốt thép.

Từ khóa: khả năng chống chọc thủng, dữ liệu, tiêu chuẩn, ăn mòn, hồi quy phi tuyến

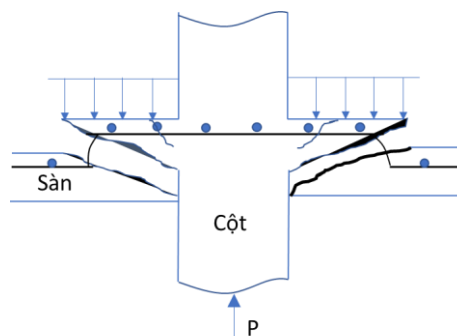
Abstract: Reinforced concrete (RC) flat slab not only provides benefits in terms of floor-to-floor height, aesthetics but also facilitates the installation of formwork, reducing construction time for the project. However, this type of floor structure is prone to punching failure at the slab-column connection, which can lead to the collapse of the structure. Corrosion of the steel reinforcement at the connection of the slab-column makes the behavior more complex. Predicting the load-bearing capacity in this zone needs to account for the factors caused by corrosion. This paper presents the results of evaluating the punching shear strength of corroded RC flat slabs through 123 experimental databases from previous publication based on three building codes: ACI 318-19, Eurocode 2, and TCVN 5574:2018. The statistical metrics indicate that TCVN

5574:2018 provides the safest prediction results. Additionally, a formula derived from nonlinear regression analysis is proposed to enhance the accuracy in predicting the punching shear strength of the corroded RC flat slabs.

Keywords: punching shear strength, database, building codes, corrosion, nonlinear regression.

1. Giới thiệu

Sàn phẳng không dầm bằng bê tông cốt thép (BTCT) là một trong những loại hình kết cấu sàn được sử dụng phổ biến trong công trình xây dựng. Tuy nhiên, hệ kết cấu sàn này dễ bị phá hoại kiểu chọc thủng do thiếu hệ dầm phía dưới đỡ sàn. Cơ chế phá hoại của sàn được minh họa như Hình 1. Kiểu phá hoại chọc thủng của liên kết sàn-cột bắt đầu từ sự hình thành vết nứt uốn quanh chu vi cột ở vùng kéo của sàn và lan dần xuống vùng nén. Khi tải trọng tiếp tục tăng lên bằng khoảng 2/3 tải trọng cực hạn, vết nứt cắt nghiêng xuất hiện thường ở gần giữa chiều dày sàn và phát triển lên vùng chịu kéo và xuống vùng chịu nén cho đến khi liên kết bị phá hoại [1].



Hình 1. Cơ chế phá hoại kiểu chọc thủng

Từ những năm 60 của thế kỷ trước, ứng xử phức tạp của liên kết sàn-cột đã được nhiều nhà nghiên cứu thực nghiệm quan tâm [2], [3], [4]. Dựa trên các kết quả thực nghiệm và lý thuyết cơ học khác nhau, những mô hình dự báo khả năng chống chọc thủng của sàn phẳng BTCT được phát triển [5], [6], [7].

Ngoài ra, trong một số tiêu chuẩn như TCVN 5574:2018 [8], ACI 318-19 [9], Eurocode 2 [10] cũng cung cấp các công thức bán thực nghiệm hoặc thực nghiệm để dự báo khả năng chịu chọc thủng của sàn có và không có cốt ngang. Tuy nhiên một số tham số ảnh hưởng đến kết quả dự báo bị bỏ qua hoặc cường độ cốt thép dọc hoặc hàm lượng cốt thép dọc hoặc hiệu ứng tỷ lệ [11], [12]. Điều này có thể dẫn đến kết quả dự báo quá thận trọng và biến động lớn từ các tiêu chuẩn như đã báo cáo trong [11], [13].

Ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép là vấn đề được quan tâm rộng rãi trên thế giới [14]. Đa phần các nghiên cứu tập trung vào ứng xử của dầm BTCT bị ăn mòn trong khi nghiên cứu ứng xử của sàn hai phương còn hạn chế. Các nghiên cứu thực nghiệm khả năng chống chọc thủng của sàn phẳng BTCT bị ăn mòn cốt thép gần đây đã được một số nhà nghiên cứu quan tâm. Said và Hussein [15] thí nghiệm 4 tấm sàn với kích thước 1900mm x 1900mm x 150mm (dài x rộng x dày) có mức độ ăn mòn cốt thép dọc (tính theo phần trăm khối lượng) lần lượt là 0%, 15%, 25% và 50%. Kết quả thực nghiệm cho thấy sự tăng mức độ ăn mòn cốt thép dọc làm giảm khả năng chống chọc thủng của sàn, giảm độ cứng nhưng tăng khả năng xoay của sàn. Qian và cộng sự [16] tiến hành nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của ăn mòn cốt thép dọc lên ứng xử chọc thủng của 12 sàn BTCT có kích thước mặt bằng 2200mm x 2200mm, chiều dày sàn 125mm và 150mm. Kết quả cho thấy vùng sàn bị chọc thủng rộng hơn so với sàn không bị ăn mòn. Gomaa và cộng sự [17] tiến hành nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng số để đánh giá khả năng chịu chọc thủng của sàn BTCT bị ăn mòn cốt thép từ mức độ 0% đến 30%. Kết quả cho thấy tỷ lệ ăn mòn cao dẫn đến thay đổi kiểu phá hoại của sàn từ uốn sang chọc thủng. Ngoài ra, trong nghiên cứu [17] đã chỉ ra tham số tỷ lệ cạnh dài/cạnh ngắn của cột có tiết diện chữ nhật có ảnh hưởng lớn đến khả năng chịu tải của sàn.

Từ tổng quan các nghiên cứu trên có thể nhận thấy rằng ăn mòn cốt thép dọc có ảnh hưởng lớn đến ứng xử cơ học cũng như độ bền của sàn phẳng không dầm BTCT. Khả năng biến dạng tại vị trí liên kết sàn-cột ảnh hưởng trực tiếp lên khả năng chống chọc thủng của sàn. Ăn mòn cốt thép dọc tại vị trí phía trên đầu cột trong phạm vi chu vi chọc thủng cũng ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của liên kết

sàn-cột. Cường độ chịu nén của bê tông còn lại sau khi cốt thép bị ăn mòn đóng vai trò quan trọng trong việc tăng sức kháng cắt của liên kết sàn-cột. Do đó, để dự báo chính xác khả năng chịu chọc thủng của sàn phẳng BTCT bị ăn mòn cần xem xét đến các tham số kể trên. Mô hình giải tích khó có thể tích hợp đầy đủ các tham số ảnh hưởng, trong khi phân tích bằng phương pháp phần tử hữu hạn đòi hỏi các kỹ sư thiết kế cần có kiến thức chuyên sâu và công cụ đủ mạnh. Để có thể áp dụng dễ dàng trong thực tế, bài báo này đề xuất một công thức hồi quy từ các dữ liệu đã công bố nhằm dự báo khả năng chịu chọc thủng của sàn phẳng BTCT bị ăn mòn. Kết quả dự báo được so sánh với một số tiêu chuẩn dựa trên các chỉ số như sai số phần trăm trung bình (MAPE), căn bậc hai sai số bình phương trung bình (RMSE), hệ số xác định (R^2).

2. Khả năng chịu chọc thủng của sàn phẳng BTCT theo một số tiêu chuẩn

2.1 TCVN 5574:2018 [8]

Khi không có cốt thép ngang, khả năng chống chọc thủng của sàn dưới tác dụng của lực tập trung được xác định theo công thức (1)

$$F_{b,u} = R_{bt} u h_o \quad (1)$$

trong đó: R_{bt} là cường độ chịu kéo tính toán của bê tông; u là chu vi đường bao tiết diện tính toán tính từ khoảng cách $h_o/2$ từ mặt cột; h_o là chiều cao làm việc quy đổi của sàn.

2.2 ACI 318-19 [9]

Khả năng chịu chọc thủng danh định của sàn bê tông nặng, không có cốt đai với các cột giữa trong nhà được xác định theo công thức (2).

$$V_{ACI} = \min \left[\frac{1}{3}, \frac{1}{6} \left(1 + \frac{2}{\beta_s} \right) \right] \lambda_s \sqrt{f'_c} b_o d \quad (2)$$

trong đó: β_s là tỷ lệ cạnh dài/cạnh ngắn của cột;

$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + 0.004d}} \leq 1$ là hệ số kể đến hiệu ứng kích cỡ; f'_c là cường độ chịu nén đặc trưng của bê tông mẫu trụ; b_o là chu vi tiết diện chịu cắt ở khoảng cách $d/2$ tính từ mặt cột; d là chiều cao làm việc của sàn.

2.3 Eurocode 2 [10]

Khả năng chống chọc thủng thiết kế danh nghĩa cho liên kết sàn-cột trong nhà xác định theo công thức (3).

$$V_{R,c} = 0.18\xi(100\rho f_{ck})^{1/3}u_1d \leq 0.035\xi^{3/2}\sqrt{f_{ck}}u_1d \quad (3)$$

trong đó: $\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$ là hệ số kể đến hiệu

ứng kích cỡ; $\rho = \sqrt{\rho_x \rho_y} \leq 0.02$ là hàm lượng cốt thép dọc; f_{ck} là cường độ chịu nén đặc trưng của bê tông; u_1 là chu vi tiết diện chịu chọc thủng ở khoảng cách 2d tính từ mặt cột; d là chiều cao làm việc của sàn.

3. Dữ liệu kiểm chứng và đánh giá kết quả

3.1 Thu thập dữ liệu

Dữ liệu thu thập bao gồm 123 kết quả nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng số trên các sàn phẳng bị ăn mòn được công bố trong các nghiên cứu [17], [18]. Cần lưu ý rằng phương pháp thúc đẩy ăn mòn bằng cách sử dụng dòng điện một chiều kết hợp dung dịch điện ly NaCl được sử dụng trong các nghiên cứu thực nghiệm. Mức độ ăn mòn của cốt thép dọc được tính dựa trên phần trăm mất mát khối lượng trung bình của thanh thép trước và sau khi bị ăn mòn, xác định theo công thức:

$$C\% = \frac{W_o - W}{W_o} \times 100 \quad (4)$$

trong đó: C là mức độ ăn mòn (%); W_o là khối lượng ban đầu của thanh thép; W là khối lượng còn lại của thanh thép sau khi bị ăn mòn.

Tất cả các mẫu thí nghiệm đều có mặt bằng sàn hình vuông, có liên kết gối tựa quanh chu vi, cột tiết diện chữ nhật/vuông ở chính giữa tấm sàn và chịu tải trọng tĩnh đúng tâm. Chỉ cốt thép dọc ở vùng kéo mới bị ăn mòn, do đó có thể coi cường độ chịu nén của bê tông ở vùng nén không bị ảnh hưởng bởi ăn mòn cốt thép. Các biến đầu vào bao gồm: chiều cao làm việc của sàn, d (mm); tỷ lệ nhịp/chiều cao làm việc, L/d ; cường độ chịu nén của bê tông mẫu trụ, f_c (MPa); hàm lượng cốt thép dọc, ρ (%); giới hạn chảy của cốt thép, f_y (MPa); tỷ lệ cạnh dài/cạnh ngắn cột, h/b ; diện tích tiết diện ngang của cột, A_c (mm²); mức độ ăn mòn cốt dọc, C (%). Biến đầu ra là khả năng chịu chọc thủng của sàn, V (kN). Bảng 1 mô tả một số thông số thống kê của tập dữ liệu.

Bảng 1. Phạm vi thay đổi của các tham số [17], [18]

Biến đầu vào	Giá trị Min.	Giá trị Max.	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn
d (mm)	29.7	170	104.8	35.65
L/d	6.3	20	11.2	3.64
f_c (MPa)	18.2	45.6	33.71	6.38
ρ (%)	0.2	2.3	1.05	0.42
f_y (MPa)	280	744	456.66	87.76
h/b	1	4	1.33	0.75
A_c (mm ²)	3025	160000	28256.93	20558.38
C (%)	0	30	5.89	8.52
Biến đầu ra, V (kN)	30.5	480	205.97	103.93

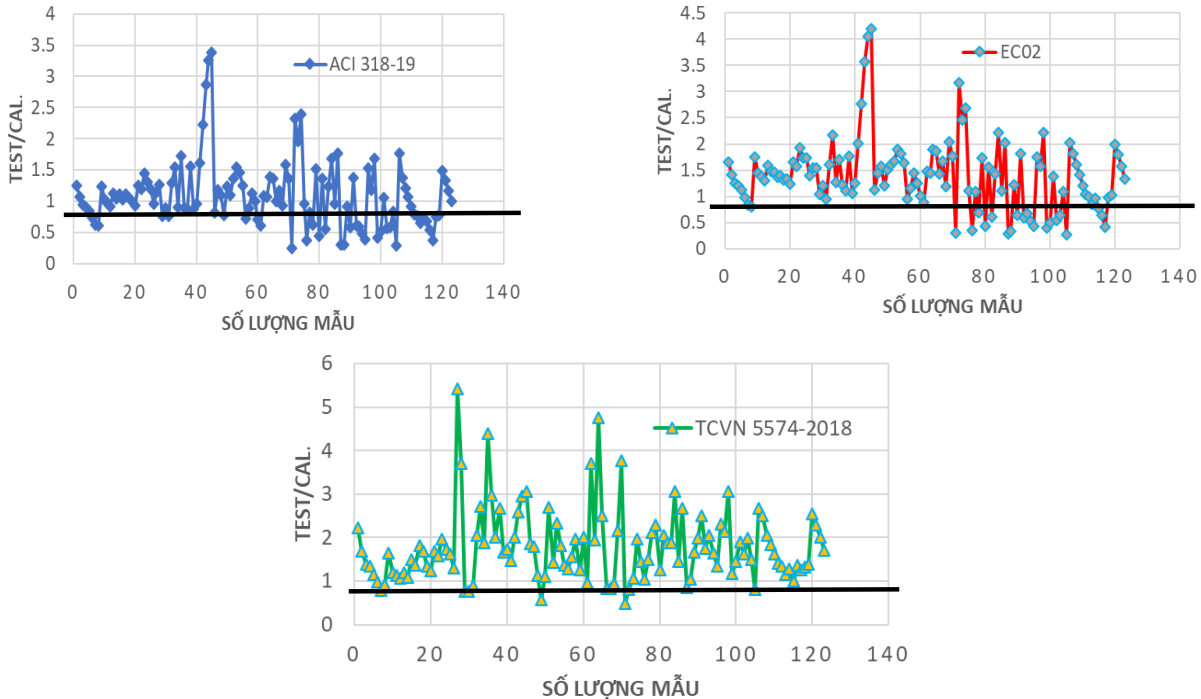
3.2 Kết quả dự báo từ các tiêu chuẩn

Hình 2 thể hiện sự thay đổi tỷ số lực chọc thủng từ các mẫu thí nghiệm (V_{test})/lực chọc thủng tính từ các tiêu chuẩn ACI 318-19, Eurocode 2 và TCVN 5574:2018 (V_{cal}). Bảng 2 thể hiện chất lượng dự báo khả năng chọc thủng của sàn không có cốt đai theo 03 tiêu chuẩn. Cần lưu ý rằng mỗi tiêu chuẩn sử dụng hệ số an toàn vật liệu khác nhau, do đó để so sánh kết quả dự báo trong bài báo này không tính đến các hệ số này. Từ Hình 2 và Bảng 2 cho thấy tiêu chuẩn Eurocode 2 cho kết quả dự báo với

sai số lớn nhất (46.4%) và chỉ có khoảng 26% kết quả dự báo được giải thích bởi các biến đầu vào. Tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 cho kết quả tốt nhất với sai số nhỏ nhất và hệ số xác định lớn nhất. Trong khi đó tiêu chuẩn ACI 318-19 cho kết quả dự báo ở mức trung gian giữa 2 tiêu chuẩn còn lại. Mặc dù TCVN 5574:2018 có hệ số xác định tốt nhất trong 3 tiêu chuẩn, nhưng có thể thấy giá trị này ở mức thấp, chỉ có khoảng 54.6% kết quả thực nghiệm có thể giải thích được bằng công thức cho trong tiêu chuẩn.

Bảng 2. Chỉ số phân tích thống kê của 3 tiêu chuẩn

Chỉ số	Tiêu chuẩn		
	ACI 318-19	Eurocode 2	TCVN 5574:2018
MAPE	42%	46.4%	40%
RMSE	94.347	105.541	106.597
R ²	42.1%	26.1%	54.6%



Hình 2. Tỷ số $V_{test}/V_{cal.}$ đạt được từ các tiêu chuẩn

Lima và Barros [19] đề nghị dùng thêm chỉ số $\chi = \frac{V_{Test}}{V_{Cal.}}$ để đánh giá phân loại cụ thể hơn về tính an toàn của các công thức dự báo. Chẳng hạn, số lượng các mẫu có tỷ số χ nhỏ hơn 0.75 được phân loại là dự báo rất nguy hiểm, trong khi nếu tỷ số χ từ

1.25 đến 1.75 được phân loại là dự báo thận trọng, $\chi > 3.0$ được xem là rất thận trọng. Với mỗi mức phân loại như vậy có một điểm phạt tương ứng với số điểm là 10, 5, 2, 0, 1, 2. Dựa vào cách phân loại trên, ta có bảng 3 thể hiện mức độ an toàn của 3 tiêu chuẩn dự báo thông qua số lượng các mẫu có tỷ số χ nằm trong từng khoảng xác định.

Bảng 3. Đánh giá chất lượng dự báo của 3 tiêu chuẩn

χ	Tiêu chuẩn/Số lượng mẫu			Điểm phạt	Phân loại
	ACI 318-19	Eurocode 2	TCVN 5574:2018		
<0.75	29	19	2	10	Rất nguy hiểm
0.75-1.0	30	11	13	5	Nguy hiểm
1.0-1.25	31	23	17	2	An toàn bị giảm
1.25-1.75	24	45	38	0	An toàn
1.75-3.0	7	21	44	1	Thận trọng
>3.0	2	4	9	2	Rất thận trọng

Dựa vào Bảng 3, có thể nhận thấy tiêu chuẩn ACI 318-19 nhận số điểm phạt cao nhất (513 điểm), nghĩa là chất lượng mô hình dự báo là kém an toàn nhất. Ngược lại tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 nhận số điểm phạt thấp nhất trong 3 tiêu chuẩn (181 điểm), điều này chứng tỏ độ an

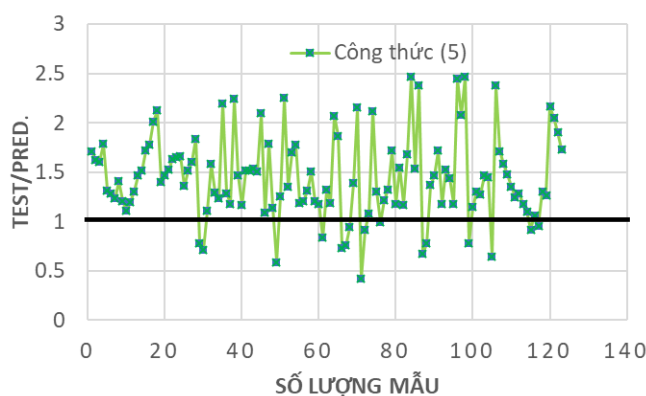
toàn của tiêu chuẩn này là cao nhất. Kết quả dự báo của cả 3 tiêu chuẩn cho sai số lớn (không an toàn hoặc quá thận trọng) là do hàm lượng cốt thép, mức độ ăn mòn cốt thép dọc và tỷ lệ nhịp/chiều cao hiệu quả của sàn chưa được tính đến trong các tiêu chuẩn này.

4. Công thức đề xuất

Những kết quả phân tích ở mục 3.2 chỉ ra rằng khả năng chọc thủng của sàn phẳng có cốt thép bị ăn mòn còn phụ thuộc vào hàm lượng, mức độ ăn mòn cốt thép dọc và tỷ lệ nhịp/chiều cao làm việc. Do vậy, công thức dự báo cần kể tới các nhân tố ảnh hưởng này. Để thiết lập công thức thực nghiệm,

$$V_{pred.} = 0.4 \times A_c^{0.22} \times d^{0.6} \times \left(\frac{L}{d}\right)^{0.45} \times \rho^{0.29} \times \left(\frac{f_c'}{40}\right)^{0.7} \times (1 - C\%)^{0.8}, \text{ kN} \quad (5)$$

Các đại lượng trong công thức (5) đã giải thích ở Bảng 1. Cần lưu ý hàm lượng cốt dọc trong công thức (5) là hàm lượng cốt thép dọc còn lại sau khi tính đến mất mát diện tích do ăn mòn gây ra.



MAPE= 32.2%
RMSE= 86.229
R²= 71%

X	Công thức (5)	Phân loại
<0.75	6	Rất nguy hiểm
0.75-1.0	10	Nguy hiểm
1.0-1.25	26	An toàn bị giảm
1.25-1.75	57	An toàn
1.75-3.0	24	Thận trọng
>3.0	0	Rất thận trọng

Hình 3. Kết quả dự báo từ công thức đề xuất

Kết quả cho thấy mặc dù số điểm phạt nhận được từ công thức (5) là 186 cao hơn TCVN 5574:2018 nhưng dự báo không tạo ra kết quả rất thận trọng như cả 3 tiêu chuẩn trên. Hơn nữa, kết quả dự báo cho thấy các chỉ số MAPE, RMSE và R² có chất lượng tốt hơn so với dự báo từ 3 tiêu chuẩn. Có đến 71% kết quả thực nghiệm được giải thích thông qua công thức (5), cao hơn đáng kể so với các tiêu chuẩn trên.

5. Kết luận

Bài báo trình bày kết quả đánh giá dự báo khả năng chống chọc thủng của sàn phẳng bê tông cốt thép dọc bị ăn mòn không sử dụng cốt đai theo 3 tiêu chuẩn ACI 318-19, Eurocode 2 và TCVN 5574:2018 dựa trên bộ dữ liệu thực nghiệm thu thập được. Sau đó một công thức được thiết lập dựa vào phân tích hồi quy phi tuyến tính đến các nhân tố ảnh hưởng đến khả năng chống chọc thủng của sàn phẳng bị ăn

phương pháp phân tích hồi quy phi tuyến được thực hiện. Đầu tiên dữ liệu được chuyển đổi thông qua hàm logarit để tính đến tính phi tuyến của bài toán. Sau đó thực hiện phân tích hồi quy tuyến tính trên tập dữ liệu mới sao cho chỉ số RMSE đạt giá trị nhỏ nhất. Kết quả thu được ở công thức (5) để dự báo khả năng chống chọc thủng của sàn phẳng bê tông có cốt thép dọc bị ăn mòn.

mòn cốt thép. Trong phạm vi bộ dữ liệu thực nghiệm cũng như các giải thiết khi tính toán, một số kết luận có thể rút ra như sau:

- Tiêu chuẩn ACI 318-19 dự báo khả năng chịu chọc thủng của sàn có số lượng mẫu nằm ở mức nguy hiểm/rất nguy hiểm cao nhất là 47.96%;
- Tiêu chuẩn Eurocode 2 mặc dù cho các chỉ số thống kê không tốt bằng tiêu chuẩn ACI 318-19 nhưng số lượng mẫu nằm ở vùng an toàn cao hơn với 75.6%;
- Tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 cho kết quả dự báo an toàn nhất, đồng thời các chỉ số thống kê MAPE và R² cũng tốt hơn 2 tiêu chuẩn còn lại;
- Công thức đề xuất so sánh với kết quả thực nghiệm cho chất lượng dự báo tốt hơn cả 3 tiêu chuẩn xét về các chỉ số thống kê MAPE, RMSE và R². Ngoài ra, chỉ có 13% số lượng mẫu dự báo nằm ở mức nguy hiểm/rất nguy hiểm.

Kết quả trong bài báo cho thấy khả năng chống chọc thủng của sàn bị ăn mòn không chỉ phụ thuộc vào mức độ ăn mòn mà còn phụ thuộc vào hàm lượng cốt thép dọc còn lại và tỷ lệ nhịp/chiều cao hiệu quả của sàn. Khi tính đến các nhân tố này, kết quả thu được từ dự báo sẽ gần tiệm cận với kết quả thực nghiệm hơn. Cũng cần lưu ý rằng, các kết quả phân tích trong bài báo này thu được dựa trên 123 quan sát thực nghiệm và mô phỏng số, chưa đại diện cho tất cả các tình huống trong thực tế kết cấu công trình sử dụng loại sàn không dầm. Công thức (5) vẫn có thể cải thiện tốt hơn nữa bằng cách sử dụng thêm các dữ liệu thực nghiệm mới và các thuật toán học máy hiệu quả khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Renaud Favre, J.-P.J., O. Burdet, Hazem Charif (1996), *Dimensionnement des structures en béton*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes editors: p. 352.
- [2] Kinnunen, S. and H. Nylander (1960), *Punching of concrete slabs without shear reinforcement*. Elander.
- [3] Zdenek, P.B. and C. Zhiping (1987), *Size Effect in Punching Shear Failure of Slabs*. ACI Structural Journal. 84(1): p. 44-53,1987.
- [4] Theodorakopoulos, D.D. and R.N. Swamy (2002), *Ultimate punching shear strength analysis of slab-column connections*. Cement and Concrete Composites, 24(6): p. 509-521.
- [5] Aurelio, M.(2008), *Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Slabs without Transverse Reinforcement*. ACI Structural Journal. 105(4): p. 440-450.
- [6] Park, H.-G., K.-K. Choi, and L. Chung (2011), *Strain-based strength model for direct punching shear of interior slab-column connections*. Engineering Structures, 33(3): p. 1062-1073.
- [7] Wu, L., et al (2002). *A Modified Compression Field Theory Based Analytical Model of RC Slab-Column Joint without Punching Shear Reinforcement*. Buildings. 12, DOI: 10.3390/buildings12020226.
- [8] *TCVN 5574:2018 Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*. Nhà Xuất bản Xây dựng, 2018.
- [9] *Building code requirements for structural concrete and commentary (ACI 318-9)*. ACI committee 318, Farmington. p. 519.
- [10] *Eurocode 2: Design of Concrete Structures: Part 1: General Rules and Rules for Buildings*, Brussels, Belgium.
- [11] Hamada, S., Q. Yang, and M. Mao (2008), *Evaluation of Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Slabs Based on Database*. Journal of Advanced Concrete Technology, 6(1): p. 205-214.
- [12] El-said, A., et al. (2023), *Code provisions evaluation for the punching shear capacity of R.C footings without reinforcement for punching shear*. Case Studies in Construction Materials, 18: p. e02182.
- [13] Sagaseta, J., et al. (2014), *Punching of flat slabs supported on rectangular columns*. Engineering Structures, 77: p. 17-33.
- [14] J. P. Broomfield (2023), *Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair*. Vol. Third Edition.: CRC press.
- [15] Said, M.E. and A.A. Hussein (2019), *Effect of bandwidth reinforcement corrosion on the response of two way slabs*. Construction and Building Materials,. 216: p. 137-148.
- [16] Qian, K., et al. (2022), *Punching shear strength of corroded reinforced concrete slab-column connections*. Journal of Building Engineering,. 45: p. 103489.
- [17] Gomaa, A.M., et al. (2023), *Experimental, numerical, and theoretical study of punching shear capacity of corroded reinforced concrete slab-column joints*. Engineering Structures,. 289: p. 116280.
- [18] Lotfy, E.M., et al. (2023), *Predicting of Punching Shear Capacity of Corroded Reinforced Concrete Slab-column Joints Using Artificial Intelligence Techniques*. MSA Engineering Journal,. 2(2): p. 384-407.
- [19] Lima, J. and J. Barros (2007), *Design models for shear strengthening of reinforced concrete beams with externally bonded FRP composites : a statistical vs reliability approach*. FRPRCS-8: Eighth International Symposium on Fibre-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures.

