

NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC THEO THỜI GIAN CỦA TƯỜNG CHẮN ĐẤT SỬ DỤNG CỐT MẠ KẼM TỰ CHẾ TẠO

Nguyễn Thu Hà^a, Châu Trường Linh^{a,*}

^aKhoa Xây dựng Cầu đường, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng,
số 54 Nguyễn Lương Bằng, phường Hòa Khánh, TP. Đà Nẵng, Việt Nam

Nhận ngày 10/12/2025, Sửa xong 05/02/2026, Chấp nhận đăng 24/02/2026

Tóm tắt

Tường chắn đất có cốt (tường MSE) sử dụng cốt mạ kẽm tự chế tạo (SGSM) từ cốt thép xây dựng của các doanh nghiệp trong nước đang được quan tâm nghiên cứu. Theo thời gian, cốt bị ăn mòn, giảm yếu cường độ, ảnh hưởng đến sự an toàn của tường. Bài báo nghiên cứu phát triển chương trình MSE-ANT để dự đoán mức độ an toàn của tường theo thời gian thông qua giá trị ăn mòn cốt (COR), lực kéo còn lại trong cốt (F_{res}), thời gian phục vụ của tường (t'), “cảnh báo sớm phá hoại tường” và tối ưu chiều dày cốt (e'_0). Chương trình MSE-ANT tính toán đối với tường MSE sử dụng SGSM: Môi trường không bị xâm thực, tính đến năm khai thác thứ 120, COR nhỏ hơn 200 μm , F_{res} lớn hơn 92% lực kéo ban đầu, $t' = 310,44$ năm, lớn hơn nhiều so với tuổi thọ thiết kế; Môi trường bất lợi nhất (công trình ven bờ biển), $t' = 36,71$ năm, không đảm bảo tuổi thọ thiết kế. Nghiên cứu này giúp đánh giá sự làm việc theo thời gian của tường để chọn chiều dày cốt phù hợp, đảm bảo xây dựng tường đạt hiệu quả về kỹ thuật và kinh tế.

Từ khoá: tường chắn đất có cốt; cốt mạ kẽm tự chế tạo; MSE-ANT; ăn mòn cốt; lực kéo còn lại trong cốt; thời gian phục vụ của tường.

STUDY ON THE WORKING OVER TIME OF MECHANICALLY STABILIZED EARTH WALLS THAT UTILIZE SELF-MADE GALVANIZED STEEL MESH

Abstract

Mechanically stabilized earth walls that utilize self-made galvanized steel mesh from domestic construction steel are currently the focus of research. Over time, this reinforcement can become corroded, leading to a reduction in strength and potentially compromising the safety of the wall. The article studies to develop the MSE-ANT program. The program predicts the safety level of the wall over time through the value corrosion of reinforcement (COR), the remaining tensile strength in the reinforcement (F_{res}), the service life of the wall (t'), “early warning of wall failure”, and the optimization of reinforcement thickness (e'_0). MSE-ANT calculated for the MSE wall using SGSM shows a non-erosive environment, extending to the 120th year of operation, COR less than 200 μm , F_{res} greater than 92% of the initial tensile force. The resulting t' is 310.44 years, which is significantly larger than the design life. However, under the most unfavorable conditions, specifically the direct impact from ocean waves, t' drops to 36.71 years, which does not meet the design life requirements. This study aids in assessing the time performance of walls, enabling the selection of suitable reinforcement thickness to ensure that wall construction is both technically sound and economically efficient.

Keywords: mechanically stabilized earth walls; self-made galvanized steel mesh; MSE-ANT; corrosion of reinforcement; remaining tensile strength in reinforcement; service life of the wall.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce2026-20\(1V\)-10](https://doi.org/10.31814/stce.huce2026-20(1V)-10) © 2026 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, tường chắn đất có cốt (Mechanically stabilized earth walls - viết tắt là tường MSE) ngày càng được ứng dụng nhiều vào các công trình xây dựng ở Việt Nam và các nước trên thế giới. Xây dựng kết cấu tường MSE đạt hiệu quả thì phải xem xét cả về kỹ thuật và kinh tế. Về kỹ thuật: yêu cầu tường làm việc ổn định dưới tác dụng của tải trọng và an toàn trong suốt vòng đời thiết kế [1, 2]. Về kinh tế: yêu cầu chi phí xây dựng thấp [1]. Nhằm giảm chi phí đầu tư xây dựng tường MSE, đồng thời giúp các nhà đầu tư xây dựng ở Việt Nam tự chủ động trong thiết kế, thi công, và góp phần thúc đẩy sự phát triển của các doanh nghiệp sản xuất cốt thép xây dựng ở trong nước. Nhóm nghiên cứu chúng tôi đề xuất sử dụng cốt thép mạ kẽm tự chế tạo (self-made galvanized steel mesh - viết tắt là SGSM)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: ctlinh@dut.udn.vn (Linh, C. T.)

làm cốt cho tường MSE. SGSM được chế tạo từ cốt thép xây dựng thông thường CB 300V, $\Phi 10$ có gờ, mạ kẽm dày 70 μm [3, 4]. Sau khi đã nghiên cứu về sự làm việc của tường MSE sử dụng SGSM, chịu tác dụng của tải trọng. SGSM kết hợp các loại vật liệu đắp đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật dùng cho tường MSE. Những nghiên cứu này cho thấy, tường MSE làm việc ổn định dưới tác dụng của tải trọng. Tường bị phá hoại khi tải trọng tác dụng gấp 15-20 lần tải trọng thiết kế [3-5]. Bên cạnh đó, những nghiên cứu, đánh giá về chi phí xây dựng tường MSE khi sử dụng SGSM cũng đã được thực hiện. Sử dụng SGSM thì chi phí xây dựng thấp hơn so với sử dụng các loại cốt khác [4, 5]. Về sự an toàn của tường trong suốt vòng đời thiết kế sẽ được trình bày trong bài báo này thông qua nghiên cứu sự làm việc theo thời gian của tường MSE sử dụng SGSM nói riêng và các loại cốt kim loại nói chung.

Theo thời gian, cốt kim loại trong tường MSE bị ăn mòn và giảm yếu cường độ làm giảm mức độ an toàn của tường. Những nghiên cứu về sự làm việc theo thời gian của tường MSE được các nhà khoa học thực hiện nghiên cứu từ những năm 1960. Darbin và cs. [6], Li và cs. [7], giám sát tốc độ ăn mòn cốt kim loại trong tường bằng các phép đo trực tiếp trên máy theo dõi điện trở cực thông qua cảm biến điện trở. Trong các nghiên cứu trên, yếu tố môi trường bao gồm độ ẩm, SO_3 , độ mặn, nhiệt độ và yếu tố thời gian ảnh hưởng đến tốc độ ăn mòn cốt. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chưa xét ảnh hưởng của tính chất vật liệu đắp và cốt đến tốc độ ăn mòn. Phát triển các nghiên cứu trên, Hu và cs. [8], Kolay và cs. [9], Bozorgzadeh và cs. [10], Arriba-Rodríguez và cs. [11] khoan khảo sát đối với các công trình đang sử dụng và dùng lý thuyết độ tin cậy hoặc các mô hình hồi qui đa biến để xây dựng mô hình dự đoán ăn mòn cốt và đánh giá ảnh hưởng của tính chất vật liệu, ảnh hưởng của chiều dày mạ kẽm đến độ bền theo thời gian của kết cấu tường MSE. Các nghiên cứu này vẫn còn nhiều hạn chế ở trong các mô hình dự đoán ăn mòn cốt: các tham số môi trường không được xem xét đồng thời, chưa xét đến tính chất hóa của vật liệu đắp và yếu tố môi trường [8], chưa xét đến tính chất của vật liệu cốt [9], mô hình áp dụng trong phạm vi hẹp với các tham số đầu vào bao gồm trở kháng, nhiệt độ, sự kết tủa kẽm, độ ẩm của đất, pH, thời gian, và tổn thất khối lượng do cốt bị ăn mòn [10, 11]. Bên cạnh đó, Padila và cs. [12], Khiêm và Linh [13], Chau và cs. [14], Mirmirani và Rrokaj [15] sử dụng mô hình số để dự đoán tốc độ ăn mòn của cốt mạ kẽm và tuổi thọ của tường MSE. Mô hình xây dựng có xét đến tính chất của vật liệu đắp, tuy nhiên mới chỉ kể đến 5 tham số đầu vào (trở kháng, pH, tỉ trọng, nhiệt độ và độ ẩm) và cơ sở dữ liệu để dự đoán còn ít, chưa đánh giá được hiệu suất của mô hình [12], chưa xem xét một cách đầy đủ các yếu tố môi trường, tính chất của vật liệu ảnh hưởng đến ăn mòn [15]. Ngoài ra, các nghiên cứu theo tài liệu [13, 14] mới chỉ xét trong trường hợp ăn mòn cục bộ mà chưa xem xét trong trường hợp ăn mòn đều trên tiết diện cốt thép.

Gần như các nghiên cứu về sự làm việc theo thời gian của tường chỉ được thực hiện trên các phép đo đạc, khảo sát, phân tích số liệu theo các lý thuyết xác suất thống kê truyền thống hoặc xây dựng mô hình số dựa trên công thức thực nghiệm. Có rất ít nghiên cứu sử dụng lý thuyết mạng nơ-ron nhân tạo (Artificial Neural Network - viết tắt là ANN) hoặc học máy, học sâu để ước lượng chiều dày ăn mòn cốt và nghiên cứu sự làm việc theo thời gian của tường MSE. Hơn nữa, với các nghiên cứu trước đều chưa xem xét đồng thời các yếu tố bao gồm vật liệu đắp, cốt và môi trường ảnh hưởng đến ăn mòn cốt và sự làm việc theo thời gian của tường. Vì vậy, bài báo này sử dụng lý thuyết ANN kết hợp lập trình bằng ngôn ngữ Python để xây dựng chương trình MSE-ANT (Mechanically Stabilized Earth Walls-Artificial Neural Network-Service Time). Chương trình MSE-ANT được xây dựng với đầy đủ các tính chất cơ-lý-hóa của vật liệu đắp, cốt và môi trường xâm thực nhằm nghiên cứu sự làm việc theo thời gian của tường MSE sử dụng cốt kim loại.

Sự làm việc theo thời gian của tường thể hiện ở mức độ an toàn khác nhau tương ứng các mốc thời gian khai thác. Thời gian khai thác tăng lên, mức độ an toàn của tường bị suy giảm do cốt kim

loại trong tường MSE bị ăn mòn và giảm yếu cường độ do các tác nhân trong môi trường xâm thực. Trong bài báo này, nghiên cứu sự làm việc theo thời gian của tường bao gồm: Ước lượng chiều dày ăn mòn cốt trong tường theo thời gian; Dự đoán thời gian phục vụ của tường.

2. Dữ liệu nghiên cứu

2.1. Dữ liệu từ khảo sát thực tế về tính chất của vật liệu đắp và cốt theo thời gian

Các dữ liệu được thu thập từ thực tế khảo sát ở các tường MSE đang khai thác, trích xuất từ 125 công trình, bao gồm các dữ liệu về tính chất cơ - lý - hóa của 770 mẫu cốt và đất trên hệ thống đường cao tốc nước Pháp trong những năm 2004-2007 [14]. Khi xử lý dữ liệu nhận thấy rằng trong 770 mẫu trên, có những mẫu không đủ số liệu hoặc dữ liệu bị phân tán. Vì vậy, chọn lọc ra 498 mẫu (chiếm 64,68% tổng số mẫu ban đầu) có đầy đủ số liệu tính chất cơ - lý - hóa của vật liệu đắp và cốt để phân tích, ước lượng giá trị chiều dày ăn mòn cốt trong tường.

Bảng 1. Các tham số thống kê của dữ liệu trong mô hình ước lượng chiều dày ăn mòn cốt

Giá trị	t (năm)	W (%)	R_{es} (Ω .cm)	pH	Cl^- (mg/kg)	SO_4^{2-} (mg/kg)
Trị trung bình	21,09	8,02	6451,31	8,06	75,04	128,07
Độ lệch chuẩn	6,57	3,11	4088,24	0,61	67,65	91,18
Giá trị nhỏ nhất	5,00	1,40	414,36	5,0	0,50	0,89
Giá trị lớn nhất	36,00	16,59	18382,00	9,66	290,00	933,00

Giá trị	b (mm)	E_0 (mm)	N (MPa)	F (N)	ε (%)	E_{zn} (μ m)	COR (μ m)
Trị trung bình	57,32	4,41	422,78	94768,65	25,98	36,46	82,24
Độ lệch chuẩn	11,17	1,04	64,97	18121,07	7,44	12,55	51,26
Giá trị nhỏ nhất	39,53	2,84	198,77	41296,23	2,18	7,00	2,05
Giá trị lớn nhất	81,69	6,12	611,70	146772,00	44,01	73,17	243,00

Trong mô hình ước lượng, các biến đầu vào là 11 tính chất của vật liệu đắp - cốt và thời gian thăm khám công trình. Biến đầu ra là giá trị chiều dày ăn mòn cốt trong tường. Các tham số thống kê của dữ liệu đầu vào và đầu ra được trình bày trong Bảng 1 và bao gồm:

- Tính chất của vật liệu đắp: độ ẩm - W (%), trở kháng - R_{es} (Ω .cm), pH, ion clorua - Cl^- (mg/kg), ion sunfat - SO_4^{2-} (mg/kg). Độ ẩm được xác định theo tiêu chuẩn NFP 94-050 [16], trở kháng và pH được xác định theo AFNOR A05-250 [17], ion Cl^- được xác định theo NF T90-014 [18], ion SO_4^{2-} được xác định theo NF T90-009 [19].

- Kích thước ban đầu của cốt kim loại: chiều rộng trung bình - b (mm), chiều dày trung bình - E_0 (mm), giới hạn cường độ kéo - N (MPa), lực kéo trong cốt - F (N), độ giãn dài - ε (%), chiều dày mạ kẽm - E_{zn} (μ m).

- Thời gian thăm khám công trình để trích xuất mẫu đất và cốt làm thí nghiệm xác định các tính chất lý hóa - t (năm).

- Chiều dày ăn mòn cốt trong tường MSE - COR (μ m). Giá trị COR (Corrosion Of Reinforcement) là tổn thất chiều dày xét trên một mặt của cốt kim loại trong tường MSE được biểu thị bằng μ m. Đối với các mẫu cốt bị ăn mòn, giá trị COR được xác định theo tiêu chuẩn AFNOR A05-252 [20].

2.2. Dữ liệu từ lý thuyết cơ bản, tiêu chuẩn thiết kế và kế thừa các nghiên cứu trước

Các dữ liệu được tổng hợp, phân tích từ các lý thuyết cơ bản, tiêu chuẩn thiết kế tường MSE hiện hành và tham khảo kết quả của các nghiên cứu trước. Sử dụng các dữ liệu này để dự đoán thời gian phục vụ của tường MSE.

Thời gian phục vụ của tường (t') được tính từ lúc đưa tường vào khai thác cho tới lúc giá trị lực kéo còn lại trong cốt (F_{res}) nhỏ hơn 50% so với giá trị ban đầu của nó [21]. Setra [21] đã khuyến nghị, cần kiểm tra sửa chữa bảo trì kết cấu tường tại những mốc thời gian tương ứng với F_{res} khi chịu ăn mòn như Bảng 2.

Bảng 2. Dự báo mức độ an toàn của kết cấu tường MSE theo F_{res} [21]

TT	F_{res} (N)	Dự báo mức độ an toàn	Thời gian bảo trì, sửa chữa
1	$F_{res} \geq 0,85F$	Vẫn đạt an toàn, cần giám sát quản lý chất lượng.	Kiểm tra chất lượng trong vòng 5 năm
2	$0,65F \leq F_{res} < 0,85F$	Giảm mức độ an toàn, nhất là các vị trí ăn mòn cục bộ, tăng cường giám sát.	Sửa chữa chậm nhất là trong vòng 5 năm
3	$0,5F \leq F_{res} < 0,65F$	Có vấn đề nghiêm trọng về mức độ an toàn dẫn đến phá hoại, giám sát chặt chẽ.	Sửa chữa càng sớm càng tốt
4	$F_{res} < 0,5F$	Kết cấu hư hỏng, phá hoại.	Sửa chữa ngay

Kết quả nghiên cứu của Setra [21], Chau và cs. [14] đã chỉ ra rằng tỉ lệ ăn mòn cốt và khả năng chịu kéo trong cốt có quan hệ bậc nhất như công thức (1):

$$\frac{\Delta F}{F} = k \left(\frac{\Delta e}{e_0} \right) \quad (1)$$

$$F_{res} = F - \Delta F \quad (2)$$

$$F_{res} = F \left(1 - k \frac{\Delta e}{e_0} \right) \quad (3)$$

trong đó e_0 , Δe (hay COR) lần lượt là chiều dày ban đầu và chiều dày tổn thất trung bình trên một mặt cốt (μm); F , ΔF lần lượt là lực kéo ban đầu và tổn thất lực kéo trong cốt (N); k là hệ số, $k = 1,8$ [21] hoặc $k = 2$ [14]; F_{res} là lực kéo còn lại trong cốt.

Theo tiêu chuẩn FHWA-NHI-10-025:2009 [1] và tiêu chuẩn AFNOR EN P94-270:2020 [22] thì chiều dày tổn thất trung bình trên một mặt cốt do ăn mòn điện hóa của cốt chôn vùi trong đất được tính theo công thức của Romanoff (4):

$$\Delta e = At^n \quad (4)$$

trong đó A là tổn thất vật liệu cốt trong năm đầu tiên (μm); t là thời gian kể từ lúc đưa công trình vào khai thác đến thời điểm tính ăn mòn (năm); n là hệ số nhỏ hơn 1 và đại diện cho sự giảm tốc độ ăn mòn của vật liệu theo thời gian. A , n phụ thuộc điều kiện tự nhiên, môi trường xâm thực và các đặc trưng của cốt.

Ở công thức (4) thì tiêu chuẩn FHWA-NHI-10-025:2009 [1] và AFNOR EN P94-270:2020 [22] chỉ quy định giá trị của A , n trong điều kiện thông thường, không bị xâm thực. Tuy nhiên, mỗi vùng miền khác nhau thì đặc điểm khí hậu và tính chất xâm thực khác nhau. Ở Việt Nam có khí hậu nhiệt đới, độ ẩm cao, mưa nhiều, bờ biển dài hơn 3200 km, môi trường ảnh hưởng của đô thị hóa và công nghiệp, nhiều khu vực có nước ngầm và nước ngầm nhiễm mặn, chu kỳ ướt-khô do thời tiết gây ra lặp lại sau một năm. Nghiên cứu của Linh và cs. [23], Hà [4] đã đề xuất các kịch bản ăn mòn tùy theo mức độ xâm thực của môi trường như Bảng 3. Các kịch bản này phù hợp với đặc điểm thời tiết, khí hậu và điều kiện tự nhiên của Việt Nam.

Bảng 3. Đề xuất kích bản ăn mòn ảnh hưởng đến sự làm việc theo thời gian của tường MSE

Kích bản	Mô tả	A (μm)	n
1	Ăn mòn đều trên toàn bộ cốt thép (cốt thép bị ăn mòn do tính chất cơ lý của vật liệu đắp, công trình khô ráo)	30	0,65
2	Một phần cốt thép có tốc độ ăn mòn lớn hơn		
3	- Phần cốt bị xâm thực do thấm nước bề mặt - Phần cốt bị ăn mòn do xâm thực ẩm (vật liệu đắp bị xâm thực ẩm)	50 40	0,65 0,65
4	Các lớp cốt phía dưới có tốc độ ăn mòn lớn hơn - Phần cốt bị xâm thực do tường ngập nước (vật liệu đắp bị xâm thực lâu dài, ngập trong nước ngọt)	50	0,65
5	Tốc độ ăn mòn cốt thép gần vỏ tường lớn hơn do tác động sóng biển đối với các công trình ven biển - Phần cốt bị ăn mòn do công trình gần với biển	55	0,7
6	- Phần cốt bị ăn mòn do tác động trực tiếp từ sóng biển	70	0,8

3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

3.1. Mô hình ước lượng chiều dày ăn mòn cốt trong tường MSE

Mô hình được xây dựng dựa vào lý thuyết ANN, trình tự xây dựng mô hình đã được trình bày như nghiên cứu của Hà và cs. [24]. Mô hình thiết lập mối quan hệ giữa giá trị *COR* trong tường MSE và 12 biến đầu vào bao gồm độ ẩm, trở kháng, pH, ion clorua, ion sunfat, chiều rộng cốt, chiều dày cốt, giới hạn cường độ kéo của cốt, lực kéo của cốt, độ giãn dài của cốt, chiều dày mạ kẽm và thời gian.

Công thức toán học của mô hình:

$$y = f_R \left\{ \sum_{k=1}^m w_{kh} \cdot f_R \left[\sum_{j=1}^n w_{jk} \cdot f_R \left(\sum_{i=1}^{12} w_{ij} x_i + \theta_j \right) + \theta_k \right] + \theta_h \right\} \quad (5)$$

trong đó y là biến đầu ra (*COR*); tham số x_i là biến đầu vào thứ i ($i = 1 \div 12$); n, m lần lượt là số nơ-ron của lớp ẩn thứ nhất và lớp ẩn thứ 2; và f_R là hàm truyền (hàm kích hoạt); θ_j (bias) là giá trị ngưỡng của lớp ẩn thứ nhất ($j = 1 \div n$); θ_k là giá trị ngưỡng của lớp ẩn thứ 2 ($k = 1 \div m$); θ_h là giá trị ngưỡng của lớp đầu ra ($h = 1$); w_{ij} là trọng số kết nối giữa nơ-ron đầu vào thứ i với nơ-ron ẩn thứ j của lớp ẩn thứ nhất; w_{jk} là trọng số kết nối giữa nơ-ron ẩn thứ j của lớp ẩn thứ nhất với nơ-ron ẩn thứ k của lớp ẩn thứ 2; w_{kh} là trọng số kết nối giữa nơ-ron ẩn thứ k của lớp ẩn thứ 2 với nơ-ron của lớp đầu ra.

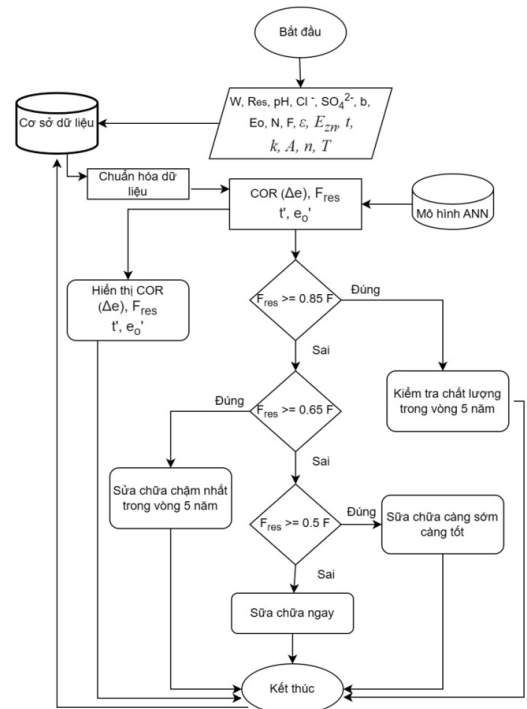
Mô hình ước lượng được đánh giá là đáng tin cậy với 2 lớp ẩn, lớp ẩn thứ nhất gồm 20 nơ-ron, lớp ẩn thứ 2 gồm 18 nơ-ron, hệ số tương quan cao $R = 0,878$ và sai số thấp $RMSE = 0,06737 \mu m$, $MSE = 0,00454 \mu m^2$ [24]. Do đó, mối quan hệ ước lượng giữa các biến đầu vào với đầu ra là chính xác và đáng tin cậy, mô hình ước lượng tốt [25, 26], có thể ứng dụng mô hình vào thực tế [24].

3.2. Chương trình MSE-ANT nghiên cứu sự làm việc theo thời gian của tường MSE

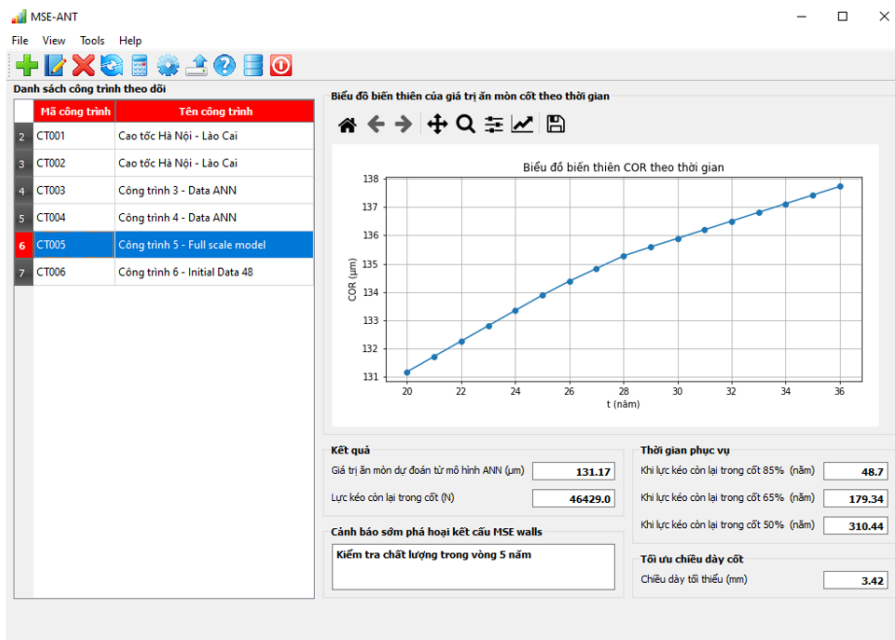
Nghiên cứu này dùng ngôn ngữ lập trình Python để xây dựng chương trình MSE-ANT. Python là ngôn ngữ lập trình bậc cao đa hướng đối tượng, ra đời từ khá lâu nhưng vẫn có nhiều ứng dụng thực tế và được sử dụng nhiều nhất hiện nay. Ngôn ngữ lập trình này có ưu điểm dễ đọc, dễ nhớ, cấu trúc rõ ràng và ngắn gọn, tương thích trên nhiều nền tảng hệ điều hành khác nhau như Windows, Mac OS và Linux. Python với nhiều tính năng thuận lợi để phát triển mô hình ứng dụng trên nền tảng Website và phù hợp để sử dụng trong các bài toán dự đoán bằng lý thuyết ANN [27].

Chương trình MSE-ANT được xây dựng phát triển từ mô hình ước lượng chiều dày ăn mòn cốt trong tường và có các chức năng: Ước lượng chiều dày ăn mòn cốt (COR) trong tường MSE từ mô hình ANN và xuất biểu đồ quan hệ giữa COR với thời gian (t); Ước lượng lực kéo còn lại trong cốt (F_{res}); Cảnh báo sớm phá hoại tường (theo 4 mức độ an toàn ở Bảng 2); Dự đoán thời gian phục vụ (t') của tường; Tính chiều dày tối ưu của cốt (e'_0). Sơ đồ khối của chương trình được thể hiện như Hình 1. Tổ chức giao diện của chương trình được thể hiện như Hình 2.

Với những chức năng nêu trên, chương trình giúp cho người dùng dự đoán mức độ an toàn theo thời gian của tường MSE. Từ đó, sớm có các biện pháp phòng tránh, sửa chữa kịp thời để không xảy ra sự cố công trình. Ngoài ra, chương trình còn tính toán được chiều dày tối ưu của cốt (e'_0) giúp giảm chi phí vật liệu cốt. Chương trình MSE-ANT tích hợp đầy đủ các thông số ảnh hưởng đến sự làm việc theo thời gian của tường MSE bao gồm tính chất của vật liệu đắp, tính chất của cốt và môi trường xâm thực. Vì vậy, kết quả tính toán sát với thực tế và độ chính xác cao [4].



Hình 1. Sơ đồ khối của chương trình MSE-ANT



(a) Khai báo công trình và hiển thị kết quả

(b) Nhập thông số đầu vào:

Mã công trình: CT005 Tên công trình: Công trình 5 - Full scale model

Thông số vật liệu đắp:

- Độ ẩm (%): 13.7
- Trở kháng (Ωcm): 11270
- pH: 5.9
- Cl (mg/kg): 94
- SO₄ (mg/kg): 497
- Thời gian thẩm thấu: 20 (năm)
- Tuổi thọ thiết kế: 100 (năm)
- Hệ số K: 2

Thông số cốt:

- Loại cốt: Cốt tròn
- Đường kính (mm):
- Chiều rộng trung bình (mm): 15.7
- Chiều dày trung bình (mm): 5
- Giới hạn cường độ kéo (MPa): 624.2
- Lực kéo trong cốt (N): 49000
- Độ dẫn dài (%): 18.98
- Chiều dày mạ kẽm (μm): 70
- Lực kéo ban đầu trong cốt (N): 49000

(*) Yêu cầu bắt buộc phải nhập để tính toán độ ăn mòn

(c) Chọn kịch bản tính:

Chọn	Mô tả	A (μm)	n
☒	Ăn mòn đều trên toàn bộ cốt thép (cốt thép bị ăn mòn do tính chất cơ lý của vật liệu đắp, công trình khô ráo)	30.0	0.65
☐	Một phần cốt thép có tốc độ ăn mòn lớn hơn	50.0	0.65
☐	- Phần cốt bị xâm thực do thẩm thấu nước - Phần cốt bị ăn mòn do xâm thực ẩm (vật liệu đắp bị xâm thực)	40.0	0.65
☐	Các lap cốt phía dưới có tốc độ ăn mòn lớn hơn	50.0	0.65
☐	- Phần cốt bị xâm thực do tường ngập nước (vật liệu đắp bị xâm thực lâu dài, ngập trong nước ngọt)		
☐	Tốc độ ăn mòn cốt thép gần với vỏ tường lớn hơn do tác động sóng biển đối với các công trình ven biển	55.0	0.7
☐	- Phần cốt bị ăn mòn do công trình gần với biển - Phần cốt bị ăn mòn do tác động trực tiếp từ sóng biển	70.0	0.8

(b) Nhập thông số đầu vào

(c) Chọn kịch bản tính

Hình 2. Giao diện nhập dữ liệu và hiển thị kết quả

3.3. Ứng dụng chương trình MSE-ANT nghiên cứu sự làm việc theo thời gian của tường MSE sử dụng SGSM

a. Các thông số vật liệu đắp, cốt và môi trường xâm thực

Vật liệu đắp và cốt: Vật liệu đắp là đất đồi ở mỏ Xuân Phú - Hòa Ninh - Đà Nẵng, đạt các yêu cầu để sử dụng làm vật liệu đắp cho tường MSE [3, 4]. Sử dụng SGSM từ cốt thép CB 300V, $\Phi 10$ có gờ, mạ kẽm dày 70 μm [3, 4]. Tính chất của vật liệu đắp và tính chất của cốt sử dụng trong tường như Bảng 4.

Môi trường xâm thực: Giả thiết tường làm việc và bị ảnh hưởng bởi các môi trường xâm thực khác nhau. Tính toán lần lượt với các kịch bản ăn mòn trong Bảng 3.

Bảng 4. Thông số đặc tính của vật liệu đắp và cốt sử dụng trong tường

Tính chất của vật liệu đắp						
Độ ẩm W (%)	Giới hạn dẻo W_d (%)	Giới hạn nhão W_{nh} (%)	Chỉ số dẻo IP	Chỉ số nhóm IG	Thành phần hạt	Hệ số đồng đều C_u
13,7	34,58	43,13	8,55	0	đạt	5,3
φ (độ)	R_{es} (Ω cm)	pH	Cl ⁻ (mg/kg)	SO ₄ ²⁻ (mg/kg)	Hàm lượng hữu cơ (%)	
34,3	11270	5,9	94	497	0,411	
Tính chất của cốt						
Φ (mm)	N (MPa)	F (N)	ε (%)	E_{zn} (μm)		
10	624,2	49000	18,98	70		

b. Kết quả tính toán từ chương trình MSE-ANT và bàn luận

* *Chiều dày ăn mòn cốt, lực kéo còn lại trong cốt và cảnh báo sớm phá hoại tường*

Bảng 5 là kết quả tính trong trường hợp kết cấu tường làm việc trong môi trường khô ráo, không bị xâm thực ẩm hoặc xâm thực mặn (kịch bản 1). Tính toán ở thời gian khảo sát giả thiết là $t = 20$ năm,

các mốc tuổi thọ thiết kế của tường là 60, 120 năm [2] và 75, 100 năm [1, 22, 28] thì giá trị chiều dày ăn mòn cốt đều rất nhỏ, $COR < 200 \mu m$ và lực kéo còn lại trong cốt lớn, $F_{res} > 0,92F$ nên tường làm việc ổn định theo thời gian. Cảnh báo: “kiểm tra chất lượng trong vòng 5 năm” [21].

Bảng 5. Ước lượng chiều dày ăn mòn cốt và tính lực kéo còn lại trong cốt

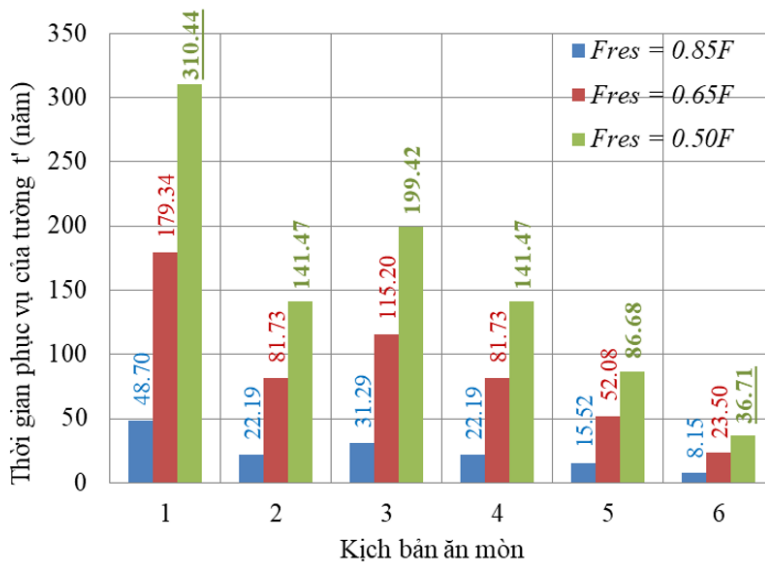
t (năm)	20	60	75	100	120
COR hay Δe (μm)	131,17	140,56	151,7	171,7	198,5
F_{res} (N)	46429 (94,75% F)	46245,05 (94,37% F)	46026,68 (93,93% F)	45634,68 (93,13% F)	45109,4 (92,05% F)
Cảnh báo	Kiểm tra chất lượng trong vòng 5 năm				

* Thời gian phục vụ của tường (t')

Từ công thức (3) và (4), khi F_{res} lần lượt bằng $0,85F$; $0,65F$ và $0,5F$ thì thời gian phục vụ của tường (t') được xác định như công thức trong Bảng 6 và kết quả dự đoán giá trị t' theo 6 kịch bản ăn mòn như Hình 3.

Bảng 6. Công thức tính thời gian phục vụ của tường MSE sử dụng cốt kim loại

F_{res} (N)	$0,85F$	$0,65F$	$0,50F$
t' (năm)	$\sqrt[n]{\frac{150.e_0}{k.A}}$	$\sqrt[n]{\frac{350.e_0}{k.A}}$	$\sqrt[n]{\frac{500.e_0}{k.A}}$



Hình 3. Dự đoán thời gian phục vụ của tường theo các kịch bản ăn mòn

Kịch bản 1 (an toàn nhất): ăn mòn đều trên toàn bộ cốt thép, cốt thép bị ăn mòn do tính chất cơ - lý - hóa của vật liệu đắp, công trình khô ráo, thời gian phục vụ của tường dự đoán là $t' = 310,44$ năm. Kịch bản 6 (bất lợi nhất): cốt bị ăn mòn do tác động trực tiếp từ sóng biển, $t' = 36,71$ năm. Sử dụng SGSM trong điều kiện môi trường bất lợi nhất thì không đảm bảo tuổi thọ thiết kế của tường theo tiêu chuẩn hiện hành [1, 2, 22, 28]. Trong điều kiện môi trường khô ráo thì thời gian phục vụ quá lớn so với tuổi thọ thiết kế, dẫn đến lãng phí vật liệu cốt.

Kịch bản 2 và kịch bản 4 thì thời gian phục vụ của tường dự đoán đều là $t' = 141,47$ năm, kịch bản 3 thì $t' = 199,42$ năm. Tường MSE cho mô cầu thì thời gian phục vụ này vượt qua tuổi thọ thiết kế từ 20 đến 40 năm (kịch bản 2 và 4) và 80 năm (kịch bản 3). Tường MSE cho công trình nền đường thì t' này lớn hơn khoảng 2 đến 3 lần so với tuổi thọ thiết kế của tường. Kịch bản 5, $t' = 86,68$ năm. Trường hợp này tường MSE cho công trình nền đường thì tường làm việc an toàn trong suốt vòng đời thiết kế, nhưng tường MSE cho mô cầu thì không đảm bảo tuổi thọ thiết kế của tường.

* *Chiều dày tối ưu của cốt (e'_0)*: là chiều dày tối thiểu để tại thời điểm tường đạt tuổi thọ thiết kế mà vẫn chưa bị phá hoại nhưng đạt đến cảnh báo “giảm mức độ an toàn, nhất là các vị trí ăn mòn cục bộ, tăng cường giám sát” [21]. Khi đó, khả năng chịu kéo còn lại trong cốt tối thiểu bằng 65% khả năng chịu kéo ban đầu.

$$e'_0 = k \left(\frac{A \cdot T^n}{350} \right) \quad (6)$$

Bảng 7. Chiều dày tối thiểu của cốt tương ứng tuổi thọ thiết kế

Tường MSE cho công trình	Tuổi thọ thiết kế T (năm)	Chiều dày tối thiểu của cốt e'_0 (mm) theo kịch bản					
		1	2	3	4	5	6
Dài hạn (nền đường)	60 [2]	2,45	4,09	3,27	4,09	5,52	10,58
	75 [1, 22, 28]	2,84	4,73	3,78	4,73	6,45	12,65
Mô cầu	100 [1, 22, 28]	3,42	5,7	4,56	5,7	7,89	15,92
	120 [2]	3,85	6,42	5,13	6,42	8,97	18,42

Bảng 7, ứng với kịch bản 1, để đạt tuổi thọ thiết kế là 60 đến 75 năm thì chỉ cần sử dụng cốt có chiều dày từ 2,45 đến 2,84 mm (theo [22], quy đổi ra cốt $\Phi 6$ mm), để đạt tuổi thọ thiết kế là 100 đến 120 năm thì chỉ cần sử dụng cốt có chiều dày từ 3,42 đến 3,85 mm (theo [22], quy đổi ra cốt $\Phi 8$ mm). Đối với các kịch bản ăn mòn bất lợi hơn thì đường kính cốt thép tăng lên như Bảng 7, trong những trường hợp này thì nên xem xét tăng cường chiều dày mạ kẽm để bảo vệ ăn mòn cốt trong tường để giảm chiều dày tối thiểu của cốt.

4. Kết luận

Bài báo đã sử dụng lý thuyết ANN kết hợp lập trình bằng ngôn ngữ Python, xây dựng được chương trình MSE-ANT. Chương trình có nhiều tính năng ưu việt và tính chính xác cao, tích hợp đầy đủ các thông số ảnh hưởng đến sự làm việc theo thời gian của tường MSE sử dụng cốt kim loại. Chương trình tự động hóa các bước tính toán, dự đoán mức độ an toàn theo thời gian của tường giúp người dùng sớm có các biện pháp phòng tránh để không xảy ra sự cố công trình. Bên cạnh đó, chương trình còn tính được chiều dày tối ưu của cốt, giúp giảm chi phí vật liệu cốt trong quá trình thiết kế, thi công tường.

Các kết quả tính của chương trình MSE-ANT đối với tường MSE sử dụng SGSM và vật liệu đắp là đất đồi ở mỏ Xuân Phú - Hòa Ninh - Đà Nẵng đã cho thấy sự làm việc theo thời gian của tường trong các điều kiện môi trường xâm thực khác nhau. Kịch bản 1 đến kịch bản 4 thì tường làm việc an toàn trong suốt vòng đời thiết kế. Kịch bản 6 thì không đảm bảo tuổi thọ thiết kế của tường trong tất cả các ứng dụng cho công trình nền đường hay mô cầu. Kịch bản 5 đối với tường chắn công trình nền đường thì tường làm việc an toàn trong suốt vòng đời thiết kế, nhưng đối với tường chắn mô cầu thì không đảm bảo tuổi thọ thiết kế của tường.

Nghiên cứu sự làm việc theo thời gian của tường MSE sử dụng cốt mạ kẽm tự chế tạo giúp đánh giá tính bền vững, an toàn của tường suốt vòng đời thiết kế. Nghiên cứu này kết hợp các nghiên cứu

đánh giá về sự làm việc của tường dưới tác dụng của tải trọng và nghiên cứu về chi phí đầu tư xây dựng tường, để lựa chọn phương án thiết kế cốt (đường kính cốt, kích thước lưới cốt, chiều dày mạ kẽm...) đảm bảo việc xây dựng tường đạt hiệu quả cả về kỹ thuật và kinh tế.

Tài liệu tham khảo

- [1] FHWA-NHI 10-025:2009. *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes*. Department of Transportation Federal Highway Administration, Washington, DC, USA.
- [2] BS 8006-1:2010. *Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills*. ISBN 978 0 580 53842 1, British Standard, London, UK.
- [3] Chau, T.-L., Nguyen, T.-H., Pham, V.-N. (2024). [Physical and Numerical Models of Mechanically Stabilized Earth Walls Using Self-Fabricated Steel Reinforcement Grids Applied to Cohesive Soil in Vietnam](#). *Applied Sciences*, 14(3):1283.
- [4] Hà, N. T. (2024). [Nghiên cứu ứng dụng tường chắn đất dùng cốt mạ kẽm tự chế tạo phù hợp vật liệu đắp khu vực miền Trung có xét thời gian phục vụ](#). PhD Thesis, Trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng.
- [5] Hà, N. T., Linh, C. T., Quang, T. T. (2025). [Evaluation of the application effectiveness of self-made galvanized steel mesh when applying the construction of retaining walls at the Tran Thi Ly overpass intersection in Da Nang city](#). *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, 23(9D): 41–46.
- [6] Darbin, M., Jailloux, J.-M., Montuelle, J. (1988). [Durability of Reinforced Earth Structures: The Results of a Long Term Study Conducted on Galvanized Steel](#). *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 84(5):1029–1057.
- [7] Li, S., Kim, Y.-G., Jung, S., Song, H.-S., Lee, S.-M. (2007). [Application of Steel Thin Film Electrical Resistance Sensor for In Situ Corrosion Monitoring](#). *Sensors and Actuators B: Chemical*, 120(2):368–377.
- [8] Hu, B., Luo, Z. (2018). [Life-Cycle Reliability-Based Assessment of Internal Stability for Mechanically Stabilized Earth Walls in a Heavy Haul Railway](#). *Computers and Geotechnics*, 101:141–148.
- [9] Kolay, P. K., Tajhya, D., Mondal, K. (2019). [Corrosion of Steel in MSE Walls Due to Deicers and Backfill Aggregates](#). *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(3):2493–2507.
- [10] Bozorgzadeh, N., Bathurst, R. J., Allen, T. M. (2020). [Influence of corrosion on reliability-based design of steel grid MSE walls](#). *Structural Safety*, 84:101914.
- [11] Arriba-Rodríguez, L.-D., Ortega-Fernández, F., Villanueva-Balsera, J. M., Rodríguez-Montequín, V. (2021). [Corrosion Predictive Model in Hot-Dip Galvanized Steel Buried in Soil](#). *Complexity*, 2021(1):9275779.
- [12] Padila, V., Ghods, P., Alfantazi, A. (2014). [Parametric Studies and Application of a Practical Model for Corrosion of Galvanized Steel in Soil](#). *Corrosion*, 70(12):1189–1202.
- [13] Khiêm, T. T., Linh, C. T. (2015). Nghiên cứu trạng thái ứng suất - biến dạng, tải trọng giới hạn của tường chắn đất có cốt có xét sự ăn mòn cốt kim loại trên mô hình thực nghiệm và mô hình số. *Tạp chí Giao thông Vận tải*, (5):28–31.
- [14] Chau, T.-L., Corfdir, A., Bourgeois, E. (2016). *Corrosion des armatures sur le comportement des murs en terre armée – Effect of reinforcement corrosion on the behavior of earth walls reinforced by steel elements*. Éditions Universitaires Européennes (EUE). ISBN 978-3-8417-2710-7. Sous-titre: Scénarios de corrosion des armatures métalliques et les dégradations du mur en terre armée.
- [15] Mirmirani, S., Rrokaj, T. (2018). A Study in Practice: Evaluating the Life Expectancy of an MSE Wall with Steel Strip Reinforcement. *Conference of the Transportation Association of Canada*.
- [16] NFP 94-050 (1995). *Sols: Reconnaissance et Essais – Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux – Méthode par étuvage*. Association Française de Normalisation.
- [17] AFNOR A05-250 (1990). *Corrosion par les sols – Évaluation de la corrosivité – Canalisations enterrées en matériaux ferreux non ou peu alliés*. Association Française de Normalisation.
- [18] NF T90-014 (2017). *Essais des eaux – Dosage des ions chlore*. Association Française de Normalisation.
- [19] NF T90-009 (2008). *Essais des eaux – Dosage des ions sulfate – Méthode gravimétrique*. Association Française de Normalisation.

- [20] A05-252 (1990). *Corrosion dans les sols – Aciers galvanisés ou non mis au contact de matériaux naturels de remblai (sols)*. Association Française de Normalisation.
- [21] Setra (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes) (1994). *Les ouvrages en Terre Armée*. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, France.
- [22] AFNOR EN P94-270:2020. *Calcul géotechnique – Ouvrages de soutènement*. Association Française de Normalisation.
- [23] Linh, C. T., Hà, N. T., Phụng, V. Đ. (2021). [Đánh giá tường chắn đất có cốt dùng cốt mạ kẽm tự chế tạo bằng mô hình thực nghiệm và mô phỏng có xem xét vật liệu đắp tại miền Trung Việt Nam](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 15(7V):94–108.
- [24] Nguyen, T.-H., Chau, T.-L., Hoang, T., Nguyen, T. (2022). [Developing artificial neural network models to predict corrosion of reinforcement in mechanically stabilized earth walls](#). *Neural Computing and Applications*, 35(9):6787–6799.
- [25] Moayedi, H., Mosallanezhad, M., Rashid, A. S. A., Jusoh, W. A. W., Muazu, M. A. (2019). [A systematic review and meta-analysis of artificial neural network application in geotechnical engineering: theory and applications](#). *Neural Computing and Applications*, 32(2):495–518.
- [26] Kim, Y., Oh, H. (2021). [Comparison between Multiple Regression Analysis, Polynomial Regression Analysis, and an Artificial Neural Network for Tensile Strength Prediction of BFRP and GFRP](#). *Materials*, 14(17):4861.
- [27] Hà, B. V. (2023). *Python cơ bản*. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội.
- [28] TCVN 11823-11:2017. *Thiết kế cầu đường bộ – Phần 11: Mố, trụ và tường chắn*. Bộ Khoa học và Công nghệ.