

ÁP DỤNG MÔ HÌNH ANN TRONG MÁI DỐC HÌNH NÓN KHÔNG CHỐNG ĐỔ TRÊN NỀN SÉT KHÔNG ĐỒNG NHẤT VÀ KHÔNG ĐẲNG HƯỚNG

Nguyễn Đăng Khoa*, Nguyễn Đình Du, Trần Hoàn Duy Tùng,
Ngô Công Danh, Nguyễn Đình Bình
Trường Đại học Lạc Hồng, số 10, Huỳnh Văn Nghệ, Bửu Long, Biên Hòa, Đồng Nai, Việt Nam
*Liên hệ tác giả: dangkhoa@lhu.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận: 12/5/2023
Ngày hoàn thiện: 22/6/2023
Ngày chấp nhận: 12/9/2023
Ngày đăng: 20/9/2023

TỪ KHÓA

Mái dốc hình nón không biện pháp chống đỡ;
Sét không đẳng hướng;
mô hình ANN;
Trí tuệ nhân tạo;
Học máy.

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất hàm số tương quan trong việc xác định hệ số ổn định của mái dốc hình nón không có biện pháp chống đỡ trên nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng bằng chương trình máy học dựa trên mô hình mạng thần kinh nhân tạo Artificial Neural Network - ANN. Việc phân tích hệ số ổn định (N) của mái dốc hình nón không có biện pháp chống đỡ trên nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng có xét đến các thông số bao gồm: thông số thể hiện tính không đồng nhất (m), hệ số thể hiện sự không đẳng hướng (r_e), góc dốc của mái hình nón (β), và tỷ lệ giữa chiều cao và bán kính đáy (H/B). Mô hình mô phỏng số bằng phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để xác định sự thay đổi hệ số ổn định N khi các thông số r_e , m , H/B và β thay đổi. Từ kết quả của bài toán mô hình số, mô hình mạng thần kinh nhân tạo Artificial Neural Network được áp dụng để đề xuất hàm số tương quan giữa hệ số N từ các giá trị đầu vào r_e , m , H/B và β . Kết quả cho thấy, hàm số tương quan có tính chính xác cao với giá trị từ mô phỏng số, có thể áp dụng trong bài toán thiết kế, nghiên cứu.

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK IN UNSUPPORTED CONICAL SLOPE IN ANISOTROPIC AND INHOMOGENEOUS CLAYS

Nguyen Dang Khoa*, Nguyen Dinh Du, Tran Hoang Duy Tung,
Ngo Cong Danh, Nguyen Dinh Binh
Lac Hong University, No.10, Huynh Van Nghe St., Bui Long ward, Bien Hoa, Dong Nai, Vietnam
*Corresponding Author: dangkhoa@lhu.edu.vn

TITLE INFO

Received: May 12, 2023
Revised: Jun 22, 2023
Accepted: Sep 12, 2023
Published: Sep 20, 2023

KEYWORDS

Unsupported Conical Slopes;
Anisotropic Clays;
ANN model;
Artificial Intelligent;
Machine learning.

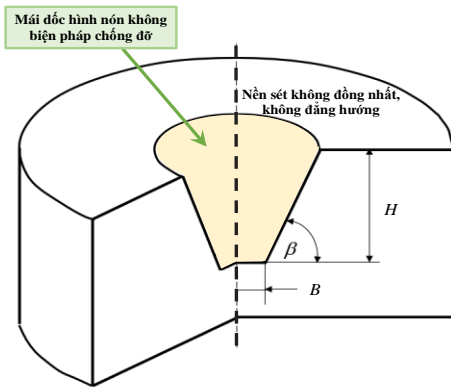
TÓM TẮT

The paper proposed a correlation equation to determine the stability number of unsupported conical slopes on anisotropic and non-homogenous clays using Machine Learning applications based on the Artificial Neural Network model - ANN. The stability number (N) of unsupported conical slopes on anisotropic and non-homogenous clays was investigated by considering the effects of raising undrained shear strength (m), anisotropic strength ratio (r_e), the dip angle of slopes (β), and the ratio of slope height and radius at the bottom (H/B). The numerical method based on the finite element techniques was applied to investigate N variation due to changes of r_e , m , H/B and β . The results of numerical models are used as the data for the Artificial Neural Network model to propose the correlation equation between N and input parameters of r_e , m , H/B and β . The results show that the proposed correlation equation is well in agreement with the results of N from numerical models.

Doi: <https://doi.org/10.61591/jslhu.15.329>
Available online at: <https://js.lhu.edu.vn/index.php/lachong>

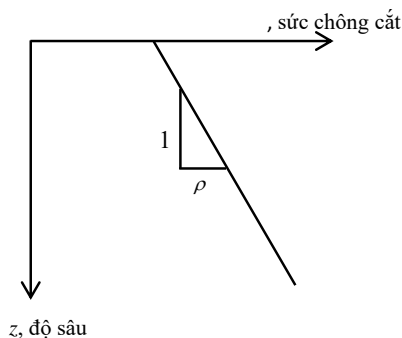
1. GIỚI THIỆU

Hố đào tròn và hố đào trụ đứng không có biện pháp chống đỡ [1-5], hố đào hình nón hay còn gọi là mái dốc hình nón không chống đỡ, được trình bày ở hình 1, rất cần thiết cho hầu hết dự án như là hố pít móng, hệ thống cấp thoát nước, lỗ mở ngầm, chân cầu, lỗ cống. Keawsawasvong và Ukritchon [6] lần đầu đề cập và phân tích mái dốc hình nón không biện pháp chống đỡ trên nền sét không đồng hướng, sau đó Ukritchon và Keawsawasvong [7] đã bổ sung thêm một nghiên cứu của mái dốc hình nón không chống đỡ này trên nền cát. Gần đây, các nghiên cứu của Yodsomjai et al. [8, 9] cũng nghiên cứu về độ ổn định của mái dốc này trên khối đất gồm hai lớp sét và đá. Do đó có thể thấy bài toán hố đào hình nón rất được quan tâm trong ứng dụng và nghiên cứu. Tuy nhiên, vẫn chưa có nhiều nghiên cứu về hố đào hình nón trong nền đất sét không đồng nhất, không đẳng hướng.

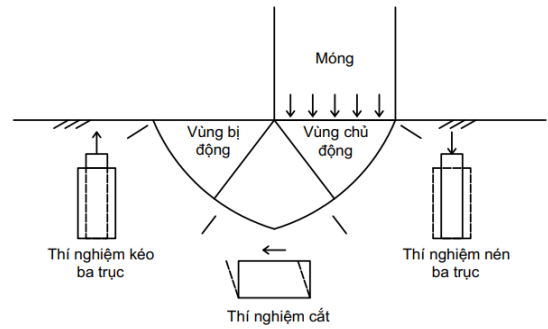


Hình 1: Định nghĩa bài toán của mái dốc hình nón không biện pháp chống đỡ trên nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng

Một nền sét có sức chống cắt tăng tuyến tính theo độ sâu, thể hiện ở hình 2, được xem là một nền sét không đồng nhất về sức chịu tải và điều này rất phổ biến trong phân tích địa kỹ thuật [10-12]. Bên cạnh đó, trong những nghiên cứu gần đây, sức chống cắt của đất sét cũng được xem như có ảnh hưởng bởi phương của những ứng suất chính, được thể hiện ở hình 3. Nhìn chung, sức chống cắt của đất sét được xem như không đẳng hướng. Casagrande và Carillo [13], Lo [14], Davis và Christian [15], Krabbenhoft et al. [16] và Ukritchon và Keawsawasvong [17] là những người tiên phong đề cập đến lý thuyết phá hoại cho việc mô tả những tác nhân của sức chống cắt của nền sét không đẳng hướng được trình bày trong tài liệu [18-22].



Hình 2: Sức chống cắt tăng theo độ sâu trong nền sét không đồng nhất về sức chống cắt.[16]



Hình 3. Sự thay đổi sức chống cắt theo các phương chịu lực khác nhau trong bài toán nền sét không đẳng hướng về sức chịu tải. [16]

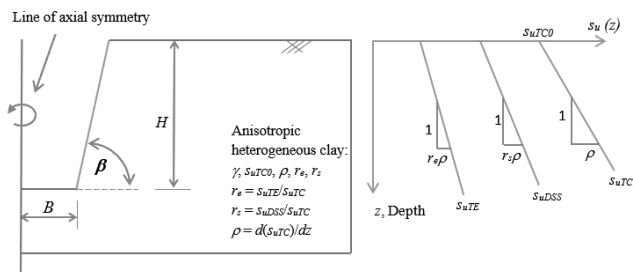
Đi kèm với sự phát triển của những phần mềm trí tuệ nhân tạo (AI) trong mọi lĩnh vực hiện nay, việc thực hành AI, i.e., học máy, trong lĩnh vực địa kỹ thuật càng trở nên phổ biến, Keawsawasvong et al. [23] đã sử dụng mạng trí tuệ thần kinh nhân tạo (ANN) để phân tích hệ số ổn định của đường hầm có dạng hình vuông, Lai et al [24] ứng dụng mô hình Hồi qui thích ứng đa chiều Splines (MARS) để đề xuất một công thức mới nhằm dự đoán hệ số sức chịu tải của móng vành khăn trên nền sét không đẳng hướng. Tuy nhiên, việc áp dụng phương pháp học máy trong dự đoán hệ số ổn định của hố đào hình nón trong nền đất sét không đồng nhất, không đẳng hướng vẫn chưa được đề cập.

Trong nghiên cứu này, mô hình mạng thần kinh nhân tạo ANN được ứng dụng để đưa ra hàm tương quan dự đoán hệ số ổn định của mái dốc hình nón không có biện pháp chống đỡ trên nền sét không đồng nhất và không đẳng hướng.

2. THÔNG TIN VỀ MÔ HÌNH SỐ

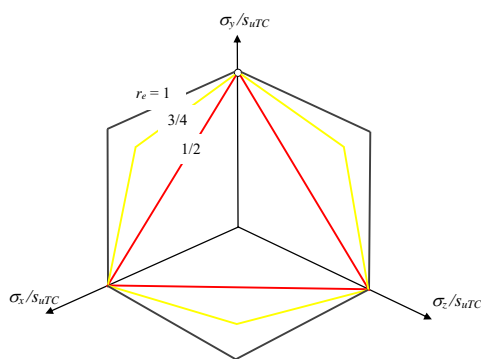
Mô tả sơ bộ về hố đào hình nón không biện pháp chống đỡ trên nền sét không đồng nhất và không đẳng hướng được thể hiện ở Hình 4. Mái dốc được nghiên cứu có độ sâu (H), bán kính đáy (B) và góc nghiêng của mái dốc (β). Mô hình vật liệu của nền sét không đẳng hướng được sử dụng trong bài toán này là mô hình đất sét không thoát nước, không đẳng hướng (AUS) được đề xuất bởi Krabbenhoft et al. [16]. Ba thành phần sức chống cắt không thoát nước, không đẳng hướng đạt được từ thí nghiệm kéo ba trục (s_{ue}), thí nghiệm nén ba trục (s_{uc}) và thí nghiệm cắt trực tiếp (s_{us}) là sức chống cắt đầu vào của tiêu chuẩn phá hoại này. Tương ứng với ba sức chống cắt đầu vào này, có hai tỷ lệ sức chống cắt không đẳng hướng cho nền sét không đẳng hướng có thể được đề nghị là $r_e = s_{ue}/s_{uc}$ và $r_s = s_{us}/s_{uc}$. Những tham số đầu vào của ba sức chống cắt này có thể được đơn giản bởi việc sử dụng mối quan hệ giữa r_e và r_s đã được đề nghị trong tài liệu của Krabbenhoft et al. [16], được trình bày bằng công thức dưới đây:

$$r_s = \frac{2r_e}{1+r_e} \quad (1)$$



Hình 4. Định nghĩa bài toán của mái dốc hình nón không biện pháp chống đỡ trên nền sét không đồng nhất không đẳng hướng trong điều kiện đối xứng trục 2D

Được trình bày trong Công thức (1), để chỉ ra ứng xử của đất sét không đẳng hướng mà có thể sử dụng chỉ một hệ số sức chịu cắt không đẳng hướng r_e . Nhấn mạnh rằng dãy số của r_e là 0.5 đến 1 [16, 17]. Thay đổi hệ số r_e có thể dẫn đến ảnh hưởng đến sự phản hồi của bề mặt phá hoại trong tiêu chuẩn phá hoại AUS, được trình bày ở Hình 5. Hơn nữa, tiêu chuẩn phá hoại AUS được thay thế bằng tiêu chuẩn phá hoại Tresca cho trường hợp nền sét đẳng hướng bằng cách đặt $r_e = 1$ hoặc $s_{uc} = s_{ue} = s_{us}$. Chi tiết tiêu chuẩn phá hoại được chứng minh trong tài liệu của Krabbenhoft và Lyamin [16] và Krabbenhoft et al. [16]



Hình 5. Mặt Tresca suy rộng được dùng dùng trong tiêu chuẩn phá hoại sức chống cắt không thoát nước không đẳng hướng (AUS). [19]

Sự gia tăng sức chống cắt theo độ sâu, hay nói cách khác là tính không đồng nhất của nền sét, được kể đến trong nghiên cứu này bởi thông số ρ , như thể hiện ở Hình 2. Do vậy, với mô hình đất sét không đẳng hướng, ba giá trị sức chống cắt không thoát nước cũng tăng tuyến tính theo độ sâu và được xác định bằng công thức 2, 3, 4.

$$s_{uc}(z) = s_{uc0} + \rho z \quad (2)$$

$$s_{ue}(z) = s_{ue0} + r_e \rho z \quad (3)$$

$$s_{us}(z) = s_{us0} + r_s \rho z \quad (4)$$

Tại s_{uc0} , s_{ue0} , và s_{us0} là sức chống cắt không thoát nước không đẳng hướng tại bề mặt đất; z biểu thị cho chiều sâu tính toán từ mặt đất.

Từ Hình 4, có 7 thông số thiết kế cần khảo sát bao gồm H , B , β , s_{uc} , s_{ue} , s_{us} , và ρ . Để đơn giản hóa số lượng thông số đầu vào cần phân tích, phương pháp không thứ nguyên được đề nghị bởi Butterfield [25] được áp dụng. Hệ số ổn định của một hồ đào hình nón không có biện pháp chống đỡ trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng về sức

chịu tải được xác định thông qua 4 thông số không thứ nguyên như sau:

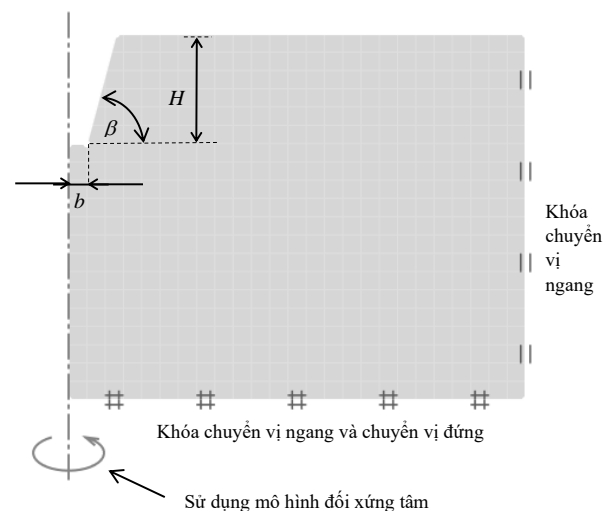
$$N = f\left(\frac{H}{b}, \beta, r_e, m = \frac{\rho H}{s_{uc0}}\right) \quad (5)$$

Trong đó H/B là tỷ lệ của độ sâu mái dốc; β là độ nghiêng của mái dốc; r_e và m hoặc $\rho H/s_{uc0}$ lần lượt là tỷ lệ sức chịu cắt không đẳng hướng và gradient vô hướng của sức chịu tải; và N là hệ số ổn định của mái dốc hình nón.

3. KẾT QUẢ MÔ HÌNH SỐ

3.1 Các trường hợp được phân tích

Mô hình số dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn được thực hiện bằng phần mềm Optum G2 và thể hiện ở hình 6. Để phân tích ảnh hưởng của các thông số không thứ nguyên bao gồm β là độ nghiêng của mái dốc; r_e và m hoặc $\rho H/s_{uc0}$ đến hệ số ổn định N được thể hiện ở công thức số (5), 576 trường hợp đã được phân tích. Các trường hợp phân tích bao gồm:



Hình 6. Mô hình số được sử dụng để phân tích

Phân tích ảnh hưởng của sự đồng đẳng hướng của nền sét đến hệ số ổn định của mái dốc thông qua sự thay đổi của hệ số r_e . Các hệ số r_e được sử dụng để phân tích gồm $r_e = 0.5, 0.7, 0.9, 1$. Các hệ số này được tham khảo trong các phân tích về nền đất sét không đẳng hướng sử dụng mô hình NGI-ADP từ các nghiên cứu trước đây.

Phân tích ảnh hưởng của nền sét không đồng nhất đến hệ số ổn định của mái dốc thông qua sự thay đổi của hệ số m . Các hệ số m được sử dụng để phân tích gồm $m = 0, 0.4, 0.8, 1, 2, 5$.

Phân tích ảnh hưởng của hệ số không thứ nguyên – tỷ lệ độ sâu mái dốc và đường kính đáy của mái dốc đến hệ số ổn định của mái dốc thông qua sự thay đổi của hệ số H/B . Các hệ số H/B được sử dụng để phân tích gồm $H/B = 0.5, 1, 2, 4, 6, 10$.

Phân tích ảnh hưởng của độ nghiêng mái dốc đến hệ số ổn định của mái dốc thông qua sự thay đổi của hệ số β . Các hệ số β được sử dụng để phân tích gồm $\beta = 45, 60, 75, 90$ độ.

3.2 Kết quả phân tích

Các kết quả phân tích từ 576 trường hợp trong nghiên cứu trước được tổng hợp và trình bày trong Bảng 1, 2, 3, 4.

Do mục tiêu bài báo này là áp dụng mạng trí tuệ thần kinh nhân tạo (ANN) để phân tích hệ số ổn định hồ đào hình nón không có biện pháp chống đỡ trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng, nên tác giả không tập trung đi sâu vào phân tích mô hình số và kết quả đạt được của mô hình số đạt được mà chỉ ứng dụng kết quả đạt được vào bài toán áp dụng mạng trí tuệ thần kinh nhân tạo (ANN). Xin nói thêm rằng, việc phân tích mô hình số và kết quả đạt được của bài toán mô hình số được thực hiện trong một nghiên cứu khác của tác giả.

Bảng 1. Phân tích kết quả trường hợp $r_e = 1$

r_e	H/B	β	m					
			0	0.4	0.8	1	2	5
1	0.5	45.00	6.38	7.51	8.53	9.02	11.37	18.19
		60.00	5.88	6.68	7.45	7.83	9.68	15.11
		75.00	5.19	5.82	6.44	6.74	8.23	12.61
		90.00	4.47	4.96	5.45	5.69	6.88	10.38
	1	45.00	6.97	9.19	11.20	12.18	16.94	30.82
		60.00	6.41	8.09	9.68	10.47	14.32	25.55
		75.00	5.72	7.07	8.38	9.02	12.18	21.39
		90.00	5.00	6.10	7.17	7.69	10.28	17.83
	2	45.00	7.62	12.11	16.14	18.12	27.81	55.89
		60.00	7.13	10.65	14.00	15.63	23.63	46.95
		75.00	6.48	9.43	12.26	13.64	20.41	40.06
		90.00	5.82	8.36	10.78	11.97	17.78	34.63
	4	45.00	8.32	17.20	25.28	29.24	48.50	104.08
		60.00	7.89	15.30	22.16	25.50	41.64	87.44
		75.00	7.41	13.91	19.95	22.89	37.12	75.80
		90.00	6.96	13.00	18.64	21.38	34.70	69.96
	6	45.00	8.69	21.85	33.84	39.69	68.28	149.85
		60.00	8.30	19.57	29.80	34.76	58.68	125.49
		75.00	7.99	18.15	27.36	31.76	52.64	109.14
		90.00	7.77	17.87	27.13	31.58	52.24	104.94
	10	45.00	9.07	30.51	49.98	59.46	105.90	238.75
		60.00	8.81	27.39	43.91	52.01	90.37	198.50
		75.00	8.68	25.98	40.93	47.98	81.17	172.10
		90.00	8.90	28.15	45.03	52.73	87.07	174.90

Bảng 2. Phân tích kết quả trường hợp $r_e = 0.9$

r_e	H/B	β	m					
			0	0.4	0.8	1	2	5
0.9	0.5	45.00	5.84	6.97	7.98	8.44	10.66	17.02
		60.00	5.44	6.26	6.99	7.34	9.08	14.16
		75.00	4.87	5.46	6.04	6.32	7.73	11.82
		90.00	4.19	4.66	5.11	5.34	6.47	9.74
	1	45.00	6.39	8.51	10.44	11.35	15.80	28.68
		60.00	5.92	7.55	9.04	9.78	13.37	23.81

2	0.5	75.00	5.34	6.61	7.83	8.43	11.37	19.96
		90.00	4.68	5.71	6.71	7.20	9.61	16.63
	2	45.00	7.01	11.23	15.02	16.86	25.84	51.82
		60.00	6.56	9.92	13.03	14.55	21.96	43.29
		75.00	6.01	8.79	11.41	12.70	18.95	36.84
		90.00	5.42	7.79	10.04	11.14	16.51	31.74
	4	45.00	7.67	15.96	23.45	27.10	44.88	95.36
		60.00	7.28	14.20	20.53	23.61	38.47	79.88
		75.00	6.85	12.91	18.47	21.17	34.06	69.40
		90.00	6.47	12.08	17.26	19.78	31.77	63.32
	6	45.00	8.02	20.25	31.32	36.72	62.91	137.43
		60.00	7.69	18.13	27.54	32.09	53.90	114.84
75.00		7.38	16.79	25.23	29.26	48.18	99.48	
90.00		7.21	16.55	25.02	29.07	47.66	94.98	
10	45.00	8.38	28.24	46.21	54.96	97.49	219.65	
	60.00	8.15	25.31	40.51	47.82	82.96	182.30	
	75.00	8.03	23.96	37.57	43.99	74.25	157.40	
		90.00	8.25	26.00	41.33	48.34	79.45	158.35

Bảng 3. Phân tích kết quả trường hợp $r_e = 0.7$

r_e	H/B	β	m					
			0	0.4	0.8	1	2	5
0.7	0.5	45.00	4.78	5.87	3.78	7.18	9.04	14.49
		60.00	4.53	5.31	5.93	6.24	7.74	12.02
		75.00	4.13	4.63	5.14	5.36	6.55	10.01
		90.00	3.56	3.95	4.34	4.55	5.51	8.25
	1	45.00	5.21	7.14	8.82	9.59	13.34	24.18
		60.00	4.88	6.38	7.65	8.26	11.30	20.05
		75.00	4.51	5.58	6.60	7.12	9.62	16.78
		90.00	3.96	4.83	5.68	6.09	8.12	13.97
	2	45.00	5.75	9.39	12.59	14.13	21.58	43.15
		60.00	5.39	8.33	10.92	12.17	18.32	35.98
		75.00	5.01	7.36	9.56	10.62	15.78	30.53
		90.00	4.56	6.55	8.41	9.30	13.73	26.21
	4	45.00	6.33	13.31	19.51	22.52	37.21	79.78
		60.00	6.00	11.82	16.98	19.55	31.77	66.76
		75.00	5.68	10.75	15.29	17.49	28.00	57.54
		90.00	5.41	10.07	14.29	16.32	25.95	52.06
	6	45.00	6.63	16.84	25.97	30.42	52.15	115.41
		60.00	6.35	15.04	22.75	26.48	44.54	96.36
		75.00	6.11	13.90	20.75	24.02	39.61	83.19
		90.00	6.00	13.73	20.53	23.75	38.74	78.09
	10	45.00	6.94	23.41	38.25	45.51	81.07	185.45
		60.00	6.75	20.90	33.29	39.44	68.81	153.80
		75.00	6.66	19.69	30.80	36.08	61.26	132.30
		90.00	6.84	21.39	33.63	39.26	64.56	130.15

Bảng 4: Phân tích kết quả trường hợp $r_e = 0.5$

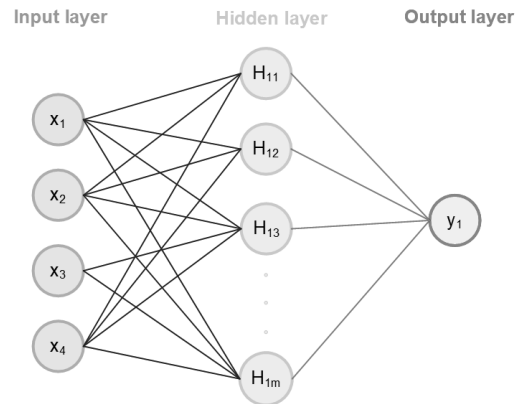
r_e	H/B	β	m					
			0	0.4	0.8	1	2	5
0.5	0.5	45.00	3.67	4.61	5.26	5.56	7.16	11.48
		60.00	3.52	4.09	4.63	4.89	6.08	9.55
		75.00	3.22	3.59	3.98	4.22	5.07	7.83
		90.00	2.76	3.12	3.37	3.58	4.26	6.54
	1	45.00	3.99	5.55	6.81	7.38	10.41	18.99
		60.00	3.78	4.97	6.01	6.46	8.80	15.66
		75.00	3.47	4.38	5.18	5.59	7.50	13.09
		90.00	3.07	3.78	4.45	4.78	6.33	10.93
	2	45.00	4.41	7.34	9.74	10.95	16.79	33.89
		60.00	4.15	6.48	8.48	9.45	14.30	28.08
		75.00	3.91	5.72	7.41	8.23	12.29	23.88
		90.00	3.56	5.08	6.51	7.23	10.62	20.46
	4	45.00	4.87	10.35	15.13	17.42	29.05	62.66
		60.00	4.62	9.20	13.17	15.15	24.77	51.64
		75.00	4.39	8.29	11.82	13.51	21.72	44.68
		90.00	4.22	7.78	10.98	12.58	20.02	40.52
	6	45.00	5.13	13.09	20.11	23.59	40.76	90.36
		60.00	4.90	11.62	17.59	20.50	34.76	75.15
		75.00	4.72	10.73	16.00	18.55	30.71	64.35
		90.00	4.66	10.59	15.72	18.16	29.75	60.75
	10	45.00	5.37	18.13	29.67	35.45	63.50	146.00
		60.00	5.23	16.11	25.87	30.66	53.79	119.85
		75.00	5.15	15.11	23.78	27.95	47.52	102.65
		90.00	5.29	16.35	25.37	29.61	49.58	101.15

4. PHÂN TÍCH HỆ SỐ ỔN ĐỊNH BẰNG CHƯƠNG TRÌNH MÁY HỌC DỰA TRÊN MÔ HÌNH MẠNG THẦN KINH NHÂN TẠO (ARTIFICIAL NEURONS NETWORK -ANN)

Trong phần này, bài báo sẽ sử dụng chương trình máy học sử dụng thuật toán trí tuệ nhân tạo (Artificial neurons network – ANN), để phân tích tương quan giữa các thông số đầu vào phân tích ($r_e, m, H/B, \beta$) và thông số đầu ra (N hệ số ổn định của mái dốc).

Mô hình ANN dựa trên một tập hợp các nút được kết nối được gọi là tế bào thần kinh nhân tạo (Artificial neurons – NNs) tương tự mô hình hóa các tế bào thần kinh trong não sinh học. Mỗi kết nối, giống như khớp thần kinh trong não sinh học, có thể truyền tín hiệu đến các tế bào thần kinh khác. Một tế bào thần kinh nhân tạo nhận một tín hiệu sau đó xử lý nó và có thể phát tín hiệu cho các tế bào thần kinh kết nối với nó. "Tín hiệu" tại một kết nối là một số thực và đầu ra của mỗi neuron được tính bằng một số hàm phi tuyến tính của tổng các đầu vào của nó. Các kết nối được gọi là "Edges". Các NNs và các "Edges" thường có trọng lượng "Weight" được điều chỉnh khi quá trình học tập diễn ra. Trọng lượng "Weight" làm tăng hoặc giảm cường độ của

tín hiệu tại một kết nối. Tế bào thần kinh có thể có ngưỡng sao cho tín hiệu chỉ được gửi đi khi tín hiệu tổng hợp vượt qua ngưỡng đó. Thông thường, các tế bào thần kinh được tập hợp thành các lớp. Các lớp khác nhau có thể thực hiện các phép biến đổi khác nhau trên các đầu vào của chúng. Tín hiệu đi từ lớp đầu tiên (Input layer), đến lớp cuối cùng (Output layer), có thể sau khi đi qua nhiều lớp khác (Hidden layer) [26]. Cấu trúc của một mô hình ANN được thể hiện ở Hình 7. Chi tiết hơn về mô hình ANN có thể tham khảo tại [27-30].

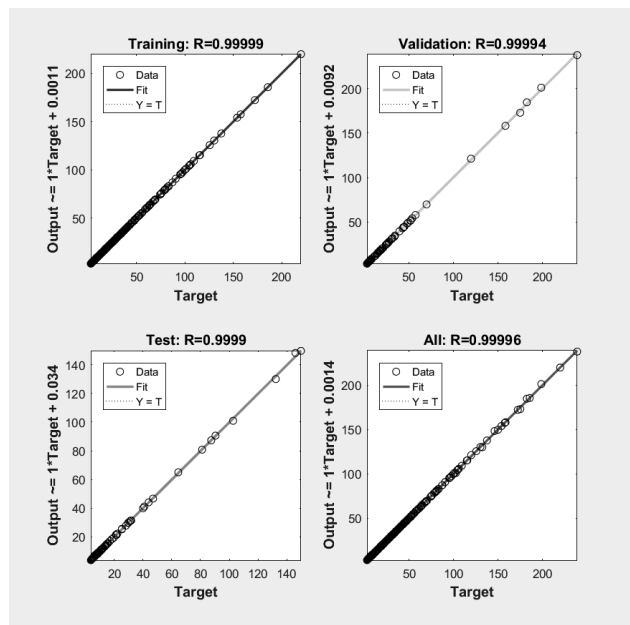


Hình 7. Kiến trúc mô hình ANN

Mô hình ANN đã được sử dụng trong các nghiên cứu về lĩnh vực địa kỹ thuật [27-32]. Trong bài báo này, 576 kết quả phân tích hệ số sức chịu tải N của tấm neo trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng tương ứng với 576 bộ thông số đầu vào ($r_e, m, H/B, \beta$) được thể hiện ở Bảng 1-4 sẽ được sử dụng là dữ liệu phục vụ cho mô hình ANN.

Cấu trúc mô hình ANN tương ứng được sử dụng trong nghiên cứu này là 4 – 22 – 1 (tương ứng là 4 NNs ở input layer, 22 NNs ở hidden layer và 1 NN ở output layer). 4 NNs ở input layer tương đương với 4 thông số đầu vào ($r_e, m, H/B, \beta$) và 1 NN ở output layer tương ứng với thông số đầu ra N . Trong quá trình mô hình ANN, dựa trên các nghiên cứu trước đây về sử dụng mô hình ANN [27-32] 576 bộ thông số đầu vào được chia thành 70% cho "Training data", 15% cho "Validation data", 15% cho "Testing data" và thuật toán được dùng để áp dụng trong mô hình ANN đề xuất là Levenberg-Marquardt.

Kết quả phân tích bằng mô hình ANN được thể hiện ở Hình 8 và Bảng 5. Trong đó, Hình 8 thể hiện tương quan kết quả giữa dự đoán và mong muốn và Bảng 5 thể hiện trọng lượng "Weight" và "Bias" của các neuron sau quá trình phân tích. Từ Hình 5, có thể thấy rằng, mô hình ANN đề xuất cho kết quả khả quan với hệ số R^2 của 70% dữ liệu "Training", 15% dữ liệu Validation, 15% dữ liệu "Testing" và 100% dữ liệu lần lượt là 99.979%; 99.824%; 99.627%; 99.899%. Điều này có ý nghĩa là mô hình ANN đề xuất để dự đoán thông số đầu ra cho kết quả rất sát với kết quả tính toán từ mô hình mô phỏng số. Do đó, hoàn toàn có thể sử dụng mô hình này trong dự đoán sức chịu tải nhỏ của tấm neo trong nền sét không đồng nhất, không đẳng với khoảng thay đổi của thông số như bài toán phân tích bằng Plaxis đã đề cập trước đó.

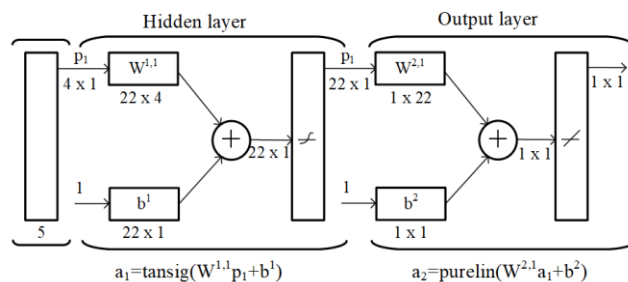


Hình 8. Kết quả phân tích dữ liệu của mô hình ANN được dùng trong nghiên cứu này

Với giá trị “Weight” và “Bias” của các neuron, có thể xác lập được công thức tính toán giá trị sức chịu tải N của tấm neo trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng dựa trên mô hình công thức ở Hình 9. Chi tiết về việc thực hiện công thức tính toán thể hiện ở Hình 9, có thể tham khảo thêm trong tài liệu [28, 29].

Bảng 5. Weight và Bias của các Neuron

Neuron	W^{12}				b^{12}	W^{23}		b^{23}
	Input variables					Output	N	
	r_e	H/B	β	m				
1	0.1717	0.1787	-0.0527	0.1460	-0.9446	4.3155	-0.6506	
2	3.6274	4.0285	1.3224	-4.1122	-6.6394	-0.0032		
3	-0.2038	0.4616	0.1585	-0.3280	2.1074	2.7704		
4	5.2490	2.5559	0.2178	-4.1541	-5.5521	-0.0032		
5	-0.0675	-0.9270	-2.8972	-0.1978	2.3084	0.3875		
6	-0.0321	-0.8448	-2.8054	-0.0964	2.3379	-0.4365		
7	-0.0525	-0.1339	-0.7565	0.8301	1.7280	0.9546		
8	0.1558	-1.4093	4.8065	-1.0158	-0.1706	-0.0089		
9	0.0755	0.2336	0.5998	-0.8212	-1.5708	1.1012		
10	-0.5289	1.6768	5.7875	-0.0573	-0.5880	0.0082		
11	-1.2970	-3.2260	-7.0989	-2.1295	0.7827	0.0024		
12	2.8064	-1.3927	1.8465	-3.2148	-4.2229	0.0012		
13	2.8510	-1.2812	-0.1025	3.1610	2.7277	0.0043		
14	0.1065	5.1324	0.3301	0.6923	1.4520	0.0049		
15	-0.1654	0.3458	-0.0258	0.3580	1.6248	-1.4228		
16	-0.5308	-0.4791	-0.3487	0.2114	0.0398	0.0726		
17	-0.6117	0.2162	0.0602	0.0739	0.1235	0.3134		
18	-1.9077	0.2915	0.0863	0.5146	2.3028	0.0646		
19	-0.1167	-0.6000	0.0364	0.6957	1.9377	3.3274		
20	-0.1655	-0.4459	0.8747	-0.6324	2.2814	-0.4450		
21	-0.0937	-1.0062	0.0727	0.9740	2.2519	-0.9143		
22	-3.8649	-0.5607	0.2356	2.8417	-4.2834	-0.0154		



Hình 9. Thuật toán xác lập hàm tương quan giữa thông số đầu vào và kết quả đầu ra

5. KẾT LUẬN

Bài báo áp dụng mạng trí tuệ thần kinh nhân tạo (ANN) để phân tích hệ số ổn định hố đào hình nón không có biện pháp chống đỡ trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng. Kết quả cho thấy mô hình ANN với cấu trúc 4 – 22 – 1 cho kết quả dự đoán rất chính xác so với kết quả mô phỏng số với hệ số $R^2 = 99.996\%$. Bằng các kết quả về giá trị “Weight” và “Bias” của các neuron, có thể xác lập hàm tương quan giữa 4 thông số đầu vào ($r_e, m, H/B, \beta$) và thông số đầu ra (N hệ số ổn định của mái dốc). Hàm tương quan này có ý nghĩa thiết thực trong việc xác định hệ số ổn định hố đào hình nón không có biện pháp chống đỡ trong nền sét không đồng nhất, không đẳng hướng.

6. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Britto, A. M., Kusakabe, O.: Stability of unsupported axisymmetric excavation in soft clay. Geotechnique 32(3), 261–270 (1982)
- [2] Pastor J, Turgeman S.: Limit analysis in axisymmetrical problems Numerical determination of complete statistical solutions. International Journal of Mechanical Sciences, 24(2):95–117 (1982)
- [3] Lyamin, A.V., Sloan, S.W.: Lower bound limit analysis using non-linear programming. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 55:573–611 (2002)
- [4] Kumar J, Chakraborty D.: s for an unsupported vertical circular excavation in c– ϕ soil. Computers and Geotechnics, 39:79–84 (2012).
- [5] Kumar J, Chakraborty M, Sahoo J.P.: Stability of unsupported vertical circular excavations. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 140(7): 04014028 (2014)
- [6] Keawsawasvong S, Ukritchon B.: Stability of unsupported conical excavations in non-homogeneous clays. Computers and Geotechnics, 81:125–136 (2017)
- [7] Ukritchon B, Keawsawasvong S.: A new design equation for drained stability of conical slopes in cohesive–frictional soils. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 10(2):358–366 (2018)
- [8] Yodsomjai, W., Keawsawasvong, S., Likitlersuang, S.: Stability of unsupported conical slopes in Hoek–Brown rock masses. Transportation Infrastructure Geotechnogy (2020).
- [9] Yodsomjai, W., Keawsawasvong, S., Thongchom, C., Lawongkerd, J.: Undrained stability of unsupported conical slopes in two-layered clays. Innovative Infrastructure Solutions 6:15 (2021)
- [10] Keawsawasvong S, Lai V.Q.: End bearing capacity factor for annular foundations embedded in clay considering the effect of the adhesion factor. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, 7(1):1–0. (2021)
- [11] Ukritchon, B., Keawsawasvong, S.: Undrained stability of unlined square tunnels in clays with linearly increasing anisotropic shear strength. Geotech. Geol. Eng. 2020b; 38(1): 897–915.
- [12] Ukritchon B, Yoang S, Keawsawasvong S.: Undrained stability of unsupported rectangular excavations in non-

- homogeneous clays. *Computers and Geotechnics*, 117:103281 (2020).
- [13] Casagrande, A., Carillo, N.: Shear failure of anisotropic soils. *Contributions to Soil Mechanics (BSCE) 1941–1953(4):122–135* (1994).
- [14] Lo, K.Y.: Stability of slopes in anisotropic soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division* 31: 85–106 (1965).
- [15] Davis, E.H., Christian, J.T.: Bearing capacity of anisotropic cohesive soil. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division* 97(5): 753–769 (1971)
- [16] Krabbenhoft, K., Lyamin, A.V.: Generalised Tresca criterion for undrained total stress analysis. *Geotechnique Letters*, 5:313–317 (2015).
- [17] Krabbenhoft K, Galindo-Torres SA, Zhang X, Krabbenhoft J. AUS: Anisotropic undrained shear strength model for clays. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics* 43(17):2652–2666 (2019).
- [18] Nguyen, D.K., Nguyen, T.P., Keawsawasvong, S. and Lai, V.Q.: Vertical uplift capacity of circular anchors in clay by considering anisotropy and non-homogeneity”, *Transportation Infrastructure Geotechnology*, (2021).
- [19] Lai VQ, Nguyen DK, Banyong R, Keawsawasvong S.: Limit analysis solutions for stability number of unsupported conical slopes in clays with heterogeneity and anisotropy. *International Journal of Computational Materials Science and Engineering*, 2150030 (2021)
- [20] Sirimontree, S., Jearsiripongkul, T., Lai, V.Q., Eskandarinejad, A., Lawongkerd, J., Seehavong, S., Thongchom, C., Nuaklong, P. and Keawsawasvong, S.: Prediction of Penetration Resistance of a Spherical Penetrometer in Clay Using Multivariate Adaptive Regression Splines Model. *Sustainability*, 14(6), p.3222, (2022)
- [21] Keawsawasvong, S., Shiau, J., Ngamkhanong, C., Lai, V.Q., Thongchom, C.: Undrained Stability of Ring Foundations: Axisymmetry, Anisotropy, and Nonhomogeneity. *International Journal of Geomechanics*, 22(1), 04021253 (2022).
- [22] Lai, V.Q., Banyong, R. and Keawsawasvong, S.: Stability of Limiting Pressure Behind Soil Gaps in Contiguous Pile Walls in Anisotropic Clays. *Engineering Failure Analysis*, p.106049 (2022).
- [23] Keawsawasvong, S., S. Seehavong, and C. Ngamkhanong.: Application of Artificial Neural Networks for Predicting the Stability of Rectangular Tunnels in Hoek–Brown Rock Masses. *Front. Built Environ*, 8, 837745 (2022).
- [24] Lai V.Q., Shiau J, Keawsawasvong S, Tran D.T. Bearing Capacity of Ring Foundations on Anisotropic and Heterogenous Clays ~ FEA, NGI–ADP, and MARS. *Geotechnical and Geological Engineering* (2022), DOI 10.1007/s10706–022–02117–6
- [25] Butterfield, R.: Dimensional analysis for geotechnical engineering. *Géotechnique*, 49(2):357–366 (1999).
- [26] https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_neural_network
- [27] Juwaied, Nabeel S. "Applications of artificial intelligence in geotechnical engineering." *ARPN J Eng Appl Sci* 13, no. 8, 2018: 2764-2785.
- [28] Pirnia, Pouyan, François Duhaime, and Javad Manashti. "Machine learning algorithms for applications in geotechnical engineering." In *Proc. GeoEdmonton*, pp. 1-37. 2018.
- [29] British Standards Institution. Pirnia, P., Duhaime, F. and Manashti, J., 2018, September. Machine learning algorithms for applications in geotechnical engineering. In *Proc. GeoEdmonton* (pp. 1-37), 2018
- [30] Mishra, Pratishta, and Pijush Samui. "Reliability Analysis of Retaining Wall Using Artificial Neural Network (ANN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)." In *Proceedings of the Indian Geotechnical Conference 2019*, pp. 543-557. Springer, Singapore, 2021.
- [31] Khajehzadeh, Mohammad, Suraparb Keawsawasvong, and Moncef L. Nehdi. "Effective hybrid soft computing approach for optimum design of shallow foundations." *Sustainability* 14, no. 3 (2022): 1847.