

THIẾT KẾ TỐI ƯU ĐA MỤC TIÊU CHO KẾT CẤU MÓNG CỌC

ThS. **LÊ QUANG HÒA**

Trường Cao đẳng Kỹ nghệ II

ThS. NCS. **VÕ DUY TRUNG**, GS. TS. **NGUYỄN THỜI TRUNG**

Viện Khoa học Tính toán, Trường Đại học Tôn Đức Thắng

Tóm tắt: Nghiên cứu được thực hiện nhằm thiết kế tối ưu đa mục tiêu cho kết cấu móng cọc. Bài toán tối ưu đa mục tiêu được thành lập với hai hàm mục tiêu là thể tích và độ lún của móng cọc. Biến thiết kế là chiều dài cọc và đường kính cọc. Hàm ràng buộc là các ràng buộc về ứng xử kết cấu gồm khả năng chịu tải, độ lún của móng cọc và giới hạn của biến thiết kế. Để giải bài toán thiết kế tối ưu đa mục tiêu cho kết cấu móng cọc, phương pháp được sử dụng trong bài báo là giải thuật NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II).

Từ khóa: Móng cọc, NSGA - II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm - II), tối ưu hóa đa mục tiêu, tối ưu hóa nền móng.

Chỉ số phân loại: 2.1

Abstract: The paper aims to design multi-objective optimization problems for the pile foundation. The multi-objective optimization problems are established with two objective functions: volume and settlement of the pile foundation. The design variables are pile length and pile diameter. The constraint functions are the behavior constraints of structures including the load-bearing capacity, settlement of pile foundation and the limits of the design variables. To solve multi-objective design optimization problems for the pile foundation, the method used in the paper is NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II).

Keywords: Foundation Optimization, multi-objective optimization, NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II), pile foundation.

Classification number: 2.1

1. Giới thiệu

Do có những đặc điểm vượt trội, móng cọc đã được sử dụng rộng rãi trong ngành Xây dựng dân dụng và công nghiệp như căn hộ cao cấp, cao ốc văn phòng, chung cư,... Một trong những ưu điểm chính của kết cấu móng cọc là khả năng chịu tải lớn, so với các loại móng khác như móng nông. Ngoài ra, độ ổn định khi sử dụng móng cọc cũng tốt hơn so với móng nông. Tuy nhiên, nhược điểm của

kết cấu móng cọc là có giá thành xây dựng khá cao, và chiếm một tỷ trọng lớn trong tổng giá thành công trình. Vì vậy trong thực tế, để việc thiết kế và thi công móng cọc vừa đảm bảo độ bền, độ ổn định, cũng như đảm bảo giá thành cạnh tranh, thì việc thiết lập và giải các bài toán tối ưu thiết kế cho kết cấu móng cọc là một vấn đề quan trọng và nhận được sự quan tâm của các nhà nghiên cứu trên thế giới.

Tổng quát, một bài toán tối ưu có thể có một hay nhiều hàm mục tiêu. Tuy nhiên trong thực tế, hầu hết các trường hợp ra quyết định luôn xem xét sự hòa hợp giữa hai hay nhiều mục tiêu cùng lúc. Do đó, việc áp dụng tối ưu hóa đa mục tiêu để tính toán cho kết cấu là thiết thực và mang lại nhiều lợi ích. Lời giải của bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu này sẽ là một tập hợp nghiệm tối ưu, thỏa mãn các mục tiêu đặt ra theo các tỉ lệ ưu tiên hỗn hợp từ 0 đến 1 và tập hợp nghiệm này được gọi là tập nghiệm Pareto [1]. Dạng bài toán tối ưu đa mục tiêu này ta có thể tìm thấy trong một số nghiên cứu điển hình cho các dạng kết cấu, lĩnh vực khác [2] - [5].

Riêng với kết cấu móng cọc, cho đến nay phần lớn các công bố nghiên cứu liên quan đến tính toán tối ưu hóa chỉ giải quyết cho bài toán tối ưu đơn mục tiêu, ví dụ các nghiên cứu [6]–[8], nhằm chọn phương án thiết kế móng cọc có hàm mục tiêu thể tích nhỏ nhất hoặc có độ lún thấp nhất; hoặc có một số nghiên cứu về bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu, ví dụ như thiết kế tối ưu mô hình làm việc giữa cọc cũ và cọc mới [2], sử dụng giải thuật tiến hóa khác biệt DE hay thiết kế tối ưu đa mục tiêu cho kết cấu cột đá trên nền đất yếu [4]. Điều này cho thấy, việc thiết kế tối ưu hóa đa mục tiêu cho kết cấu móng cọc vẫn chưa được quan tâm đúng mức. Vì vậy, nghiên cứu hiện tại sẽ tập trung vào khe hẹp nghiên cứu này nhằm thành lập và giải bài toán thiết kế tối ưu đa mục tiêu cho kết cấu móng cọc, trong đó hàm mục tiêu bao gồm cực tiểu thể tích móng cọc (gồm: cọc và đài cọc) và độ lún của móng cọc. Biến thiết kế bao gồm chiều dài cọc L_c và đường kính cọc D_c . Ràng buộc về giới hạn khả năng chịu tải P_{max} và ràng buộc về giới hạn độ lún S_{max} . Giải thuật di truyền sắp xếp không trội (Non-dominated Sorting

Genetic Algorithm-II, NSGA-II) được trình bày bởi Kalyanmoy Deb vào năm 2002 [9], sẽ được sử dụng trong bài báo để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu được thành lập. Đây là một phương pháp có thời gian tính toán khá nhanh và không có nhiều tham số điều khiển.

2. Tính toán khả năng chịu tải của móng cọc

2.1 Khả năng chịu tải của cọc theo cường độ vật liệu

Sức chịu tải của cọc theo vật liệu được tính theo công thức [10]:

$$Q_{vl} = R_u A_b + R_{an} A_a \quad (1)$$

2.2 Khả năng chịu tải của cọc theo chỉ tiêu cường độ đất nền

Sức chịu tải của cọc gồm hai thành phần: ma sát bên (hay sức kháng hông) và sức chống dưới mũi cọc (hay sức chịu mũi). Ước lượng sức chịu tải Q_u của cọc được tính bởi phương trình [11]:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2)$$

trong đó: Q_u (kN) - khả năng chịu tải cực hạn của cọc, Q_s (kN) - khả năng ma sát bên, Q_p (kN) - khả năng chịu mũi của cọc và được lấy theo công thức:

$$Q_p = A_p (c N_c + q' N_q + \gamma D_b N_\gamma) \quad (3)$$

trong đó: N_c , N_q , N_γ - các hệ số sức chịu tải, lấy theo Vesic (1973) [11].

Khả năng ma sát bên Q_s (kN) được tính tương tự như cọc đóng, cọc ép theo công thức:

$$Q_s = u \sum f_{si} l_i \quad (4)$$

Lực ma sát đơn vị f_s được tính dựa trên nguyên lý sức chống cắt của đất, sức kháng hông đơn vị có thể xác định bởi:

$$f_s = c_a + \sigma'_v K \tan \delta \quad (5)$$

trong đó: c_a là lực dính giữa đất và cọc; đối với cọc đóng bê tông cốt thép $c_a = c$; đối với cọc thép $c_a = 0,7c$, với c là lực dính của đất; δ là góc ma sát giữa đất và cọc; đối với cọc đóng bê tông hạ bằng phương pháp đóng $\delta = \varphi$; đối với cọc ma sát $\delta = 0,7\varphi$, với φ là góc ma sát của đất; K là hệ số áp lực ngang của đất, $K \approx K_0 = 1 - \sin \varphi$; σ'_v là

ứng suất có hiệu theo phương thẳng đứng ở độ sâu Z .

Chọn hệ số an toàn và tính sức chịu tải cho phép: Hệ số an toàn đối với sức chịu ma sát bên chọn $FS_s = 1,5 \rightarrow 2,0$; hệ số an toàn đối với sức chịu mũi chọn $FS_p = 2,0 \rightarrow 3,0$. Hệ số an toàn chung: FS .

Sức chịu tải cho phép của cọc tính theo công

$$\text{thức: } Q_a = \frac{Q_s}{FS_s} + \frac{Q_p}{FS_p} = \frac{Q_u}{FS} \quad (6)$$

Chọn sức chịu tải tính toán của cọc P_c phải

$$\text{thỏa mãn điều kiện: } \begin{cases} P_c^{tk} \leq Q_{vl} \\ P_c^{tk} \leq Q_a \end{cases} \quad (7)$$

Xác định sơ bộ kích thước đài cọc:

Ứng suất trung bình sơ bộ dưới đáy móng:

$$\sigma_{tb}^{sb} = \frac{P_c^{tk}}{(3D_c)^2} \quad (8)$$

Diện tích sơ bộ của đáy đài:

$$F^{sb} = \frac{N^{tt}}{\sigma_{tb}^{sb} - \gamma_{tb} H_d} \quad (9)$$

Trọng lượng đài và đất phủ lên đài:

$$W^{sb} = 1,1 F^{sb} \gamma_{tb} H_d \quad (10)$$

Xác định số lượng cọc sơ bộ trong đài cọc:

Tổng lực dọc tính toán sơ bộ ở đáy đài: $N^{t1} = N^{tt} + W^{sb}$. Số lượng cọc chọn sơ bộ [10]:

$$n = \kappa \frac{N^{t1}}{P_c^{tk}}, \text{ trong đó } \kappa \text{ là hệ số xét đến ảnh hưởng}$$

của mô-men tác động lên móng cọc, $\kappa = 1,0 \rightarrow 1,5$.

Cấu tạo và tính toán đài cọc: Khoảng cách giữa các tim cọc: $C \geq 3D_c$. Khoảng cách giữa mép cọc và đài: $C' \geq 0,3D_c$ và $C' \geq 0,15$ m. Chiều dài đài cọc:

$$A_{dai} = (n_1 - 1)C + D_c + 2C'. \text{ Chiều rộng đài cọc:}$$

$$B_{dai} = (n_2 - 1)C + D_c + 2C'. \text{ Diện tích đáy đài thực}$$

$$\text{tế: } F_{dc} = A_{dai} B_{dai}. \text{ Chiều cao làm việc của đài:}$$

$$H_{ld} = H_{dc} - a_{bv}.$$

Kiểm tra lực tác dụng lên đầu cọc: Trọng lượng đài và đất phủ lên đài: $W_{dc} = 1,1 F_{dc} \gamma_{tb} H_{dc}$. Tổng lực dọc tính toán đáy đài: $N^{t2} = N^{tt} + W_{dc}$. Mô-men:

$$\sum M_{dx,dy} = M_{x,y} + Q_{y,x} H_{dc}.$$

Xác định lực tác dụng lên đầu cọc lớn nhất p_{max} và lực tác dụng lên đầu cọc nhỏ nhất p_{min} . Các giá trị p_{max} và p_{min} phải thỏa mãn điều kiện (12).

Tải trọng tác dụng lên đầu cọc:

$$P_i^{tt} = \frac{\sum N^{tt}}{n} \pm \frac{M_x^{tt}}{\sum y_i^2} |y_i| \pm \frac{M_y^{tt}}{\sum x_i^2} |x_i|, \text{ với } x_i, y_i \text{ là tọa độ các đầu cọc.} \quad (11)$$

$$\text{Lực tác dụng vào đầu cọc phải thỏa: } \begin{cases} P_{\max} \leq P_c^{tk} \\ P_{\min} > 0 \end{cases} \quad (12)$$

Kiểm tra điều kiện ổn định: Theo nghiên cứu [10], sức chịu tải tính toán theo trạng thái giới hạn thứ R_{II} của đất nền, được tính bởi công thức:

$$R_{II} = \left(\frac{m_1 m_2}{k_{tc}} \right) (Ab\gamma_{II} + BD_f\gamma'_{II} + Dc_{II}) \quad (13)$$

trong đó m_1, m_2 lần lượt là hệ số điều kiện làm việc của đất nền và nhà hoặc công trình có tác dụng qua lại với nền [12], hoặc được tính theo công thức sau [10]:

$$A = \frac{0,25\pi}{\cotan(\varphi) + \varphi - \frac{\pi}{2}}; B = 1 + \frac{\pi}{\cotan(\varphi) + \varphi - \frac{\pi}{2}}; D = \frac{\pi \cotan(\varphi)}{\cotan(\varphi) + \varphi - \frac{\pi}{2}} \quad (14)$$

$$\text{Vậy điều kiện đất nền được thỏa mãn khi: } \begin{cases} \sigma_{\max}^{tc} \leq 1,2R_{II} \\ \sigma_{\min}^{tc} \geq 0 \\ \sigma_{tb}^{tc} \leq R_{II} \end{cases} \quad (15)$$

3. Tính toán độ lún của móng cọc

$$\text{Xác định áp lực đáy móng: } \sigma_{tb}^{tc} \leq R_{II} \quad (16)$$

Tính áp lực gây lún chính:

$$\sigma'_{gl} = \sigma'_{tb} - D_f\gamma'_{II} \quad (17)$$

Chiều dày vùng nén lún được xác định một cách quy ước, kể từ đáy móng quy ước dưới móng cọc đến chiều sâu z , thỏa điều kiện: $\sigma'_{gl(z)} \leq 0,2\sigma'_{bt(z)}$, đối với đất nền có mô-đun biến dạng $E \geq 5 \text{ MPa}$; $\sigma'_{gl(z)} \leq 0,1\sigma'_{bt(z)}$, đối với đất

nền có mô-đun biến dạng $E \leq 5 \text{ MPa}$. Để bài toán tính lún đạt độ chính xác cao, vùng nén lún được chia thành nhiều lớp nhỏ, mỗi lớp phân tử có bề dày nhỏ hơn 0,4 bề rộng móng.

Xác định ứng suất gây lún do trọng lượng bản thân tại đáy móng khối quy ước $p_{bt} = D_f\gamma'_{II}$. Ứng suất gây lún do tải trọng tại đáy móng quy ước $p_{tt} = k_0 p_{gl}$, với $p_{gl} = \sigma'_{gl}$ và hệ số k_0 [12] được tính theo công thức sau:

$$k_0 = \frac{2}{\pi} \left[\arctan \frac{b_1 l_1}{z \sqrt{b_1^2 + l_1^2 + z^2}} + \frac{b_1 l_1 z (b_1^2 + l_1^2 + 2z^2)}{(b_1^2 + z^2)(l_1^2 + z^2) \sqrt{b_1^2 + l_1^2 + z^2}} \right] \quad (18)$$

$$\text{Độ lún móng: } S_{\max} = \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n \frac{0,8}{E_i} \Delta p_i h_i \leq [S]_{gh} \quad (19)$$

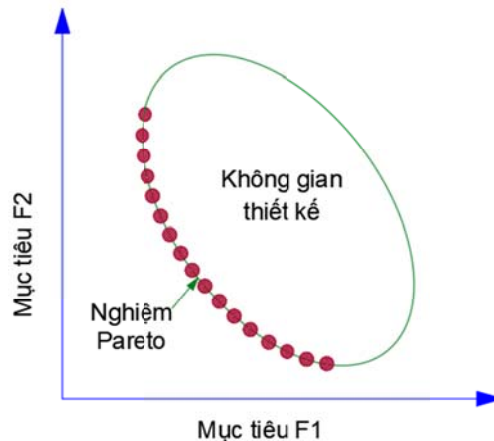
trong đó: $S_{\max}$ là độ lún lớn nhất của đất nền dưới đáy móng khối quy ước; $[S]_{gh}$ là độ lún giới hạn của nền móng công trình [12], $[S]_{gh} = 8 \text{ cm}$.

$$\text{Vậy độ lún của móng cọc phải thỏa điều kiện: } S_{\max} \leq [S]_{gh} \quad (20)$$

4. Giải thuật tối ưu hóa đa mục tiêu NSGA – II [9]

4.1 Khái niệm đường Pareto

Bài toán tối ưu đa mục tiêu có nghiệm là một chuỗi nghiệm và tập hợp nghiệm này gọi là nghiệm Pareto [13]. Minh họa đường Pareto được thể hiện như hình 1.



Hình 1. Mô tả tập hợp nghiệm Pareto

4.2 Khái niệm về sự trội (Domination)

Hầu hết các thuật toán tối ưu đa mục tiêu đều sử dụng khái niệm về sự trội. Trong các giải thuật này, hai cá thể (nghiệm) được lấy để so sánh với nhau.

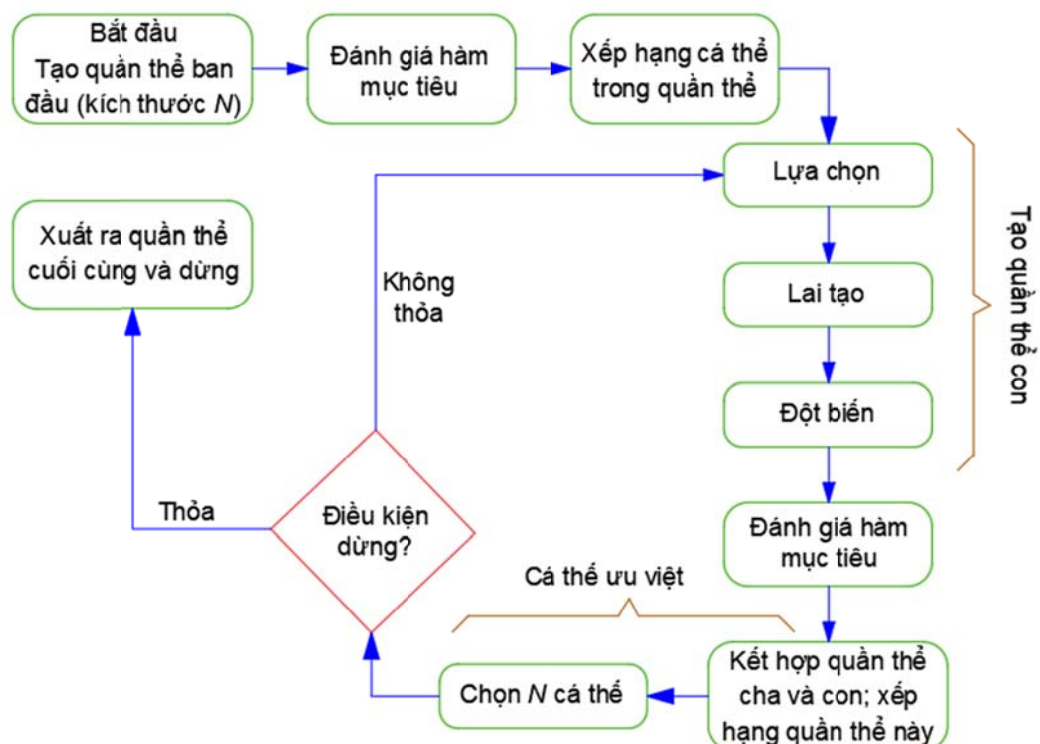
Định nghĩa: Một nghiệm $x^{(1)}$ được xem là trội so với nghiệm $x^{(2)}$, nếu cả hai điều kiện *a* và *b* sau đều thỏa:

- Nghiệm $x^{(1)}$ không xấu hơn nghiệm $x^{(2)}$ trong tất cả các giá trị của hàm mục tiêu, hoặc $f_j(x^{(1)}) \leq f_j(x^{(2)})$ với $j = 1, 2, \dots, M$.
- Nghiệm $x^{(1)}$ phải tốt hơn nghiệm $x^{(2)}$ trong ít nhất một mục tiêu, hoặc $f_{\bar{j}}(x^{(1)}) < f_{\bar{j}}(x^{(2)})$ với ít nhất một $\bar{j} \in \{1, 2, \dots, M\}$.

Nếu bất kì các điều kiện ở trên bị vi phạm, nghiệm $x^{(1)}$ không trội so với nghiệm $x^{(2)}$.

4.3 Giải thuật NSGA – II [9]

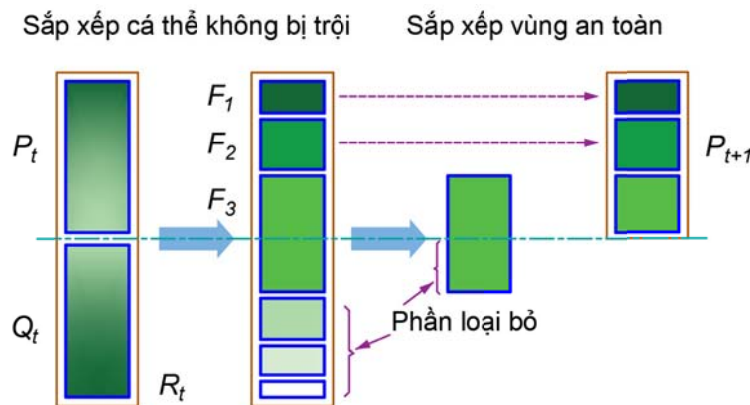
Giải thuật NSGA – II được hình thành và phát triển dựa trên phương pháp NSGA (Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm) và GA (Genetic Algorithm). Do vậy giải thuật này không những khắc phục được những hạn chế của NSGA mà còn đảm bảo sự đa dạng và duy trì được các cá thể tốt qua các thế hệ. Quá trình lựa chọn số lượng cá thể mới của giải thuật NSGA – II được thực hiện theo trình tự như sơ đồ giải thuật trong hình 2.



Hình 2. Sơ đồ giải thuật NSGA - II [14]

Trong giải thuật NSGA-II, để tạo quần thể ban đầu, trước tiên quần thể con Q_t sẽ được tạo bằng cách kết hợp quần thể bố mẹ P_t . Tuy nhiên, thay vì chỉ tìm các cá thể không bị trội của quần thể con Q_t thì hai quần thể P_t và Q_t sẽ được kết hợp với nhau, để tạo ra quần thể R_t có kích thước $2N$. Sau đó, sử dụng phương pháp sắp xếp cá thể không bị trội để phân loại toàn bộ dân số của quần thể R_t . Khi thực hiện phân loại các cá thể trên Q_t , giải thuật NSGA-II cho phép kiểm tra cá thể không bị trội trong toàn bộ cá thể bao gồm tập hợp các cá thể

con và cha mẹ. Sau khi phân loại được cá thể không bị trội tốt nhất ta thu được lớp 1. Tiếp tục sắp xếp không bị trội và phân loại các cá thể còn lại của R_t ta thu được lớp 2 và cứ thế tiếp tục ta thu được lớp 3... Nhưng vì kích thước dân số của R_t là $2N$, nên không phải tất cả các lớp sẽ nằm trong dân số mới có kích thước là N . Do đó, những lớp mà không nằm trong dân số mới thì sẽ bị loại bỏ. Quá trình phân loại cá thể để tạo ra bộ dân số mới của giải thuật NSGA-II được thực hiện theo trình tự như hình 3.



Hình 3. Sơ đồ phân loại cá thể của giải thuật NSGA-II [9]

Vì vậy điểm quan trọng trong giải thuật là nếu số lượng cá thể trong F_1 là N cá thể, thì quần thể P_{t+1} sẽ bao gồm tất cả các cá thể của F_1 , không bổ sung thêm cá thể từ lớp $F_2, F_3, \dots$ nữa. Như vậy số lần tính toán của giải thuật sẽ giảm đi đáng kể.

Sau khi có được quần thể dân số ban đầu, việc đánh giá hàm mục tiêu và xếp hạng các cá thể trong quần thể sẽ được thực hiện, thông qua việc lựa chọn, lai tạo và đột biến trong quần thể con. Từ đó tìm được những cá thể ưu việt nhất. Để minh họa cụ thể cho giải thuật NSGA – II, các ví dụ số sẽ được trình bày ở phần kế tiếp.

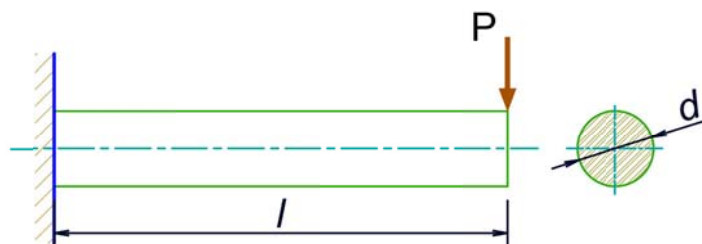
5. Ví dụ số

Phần này trình bày kết quả tính toán số cho ba bài toán, trong đó bài toán 1 nhằm kiểm chứng code lập trình Matlab cho giải thuật NSGA-II; bài toán 2

nhằm tính toán khả năng chịu tải của móng cọc; bài toán 3 nhằm thiết kế tối ưu đa mục tiêu kết cấu móng cọc sử dụng giải thuật NSGA-II.

Bài toán 1: Kiểm tra code lập trình matlab:

Để chứng minh sự đúng đắn của code Matlab cho phương pháp NSGA-II và minh họa cụ thể đường nghiệm Pareto ở mục 4.1. Phần này trình bày một ví dụ điển hình cho kết cấu dầm [13] được thể hiện như hình 4. Hàm mục tiêu của bài toán lần lượt là cực tiểu trọng lượng và cực tiểu chuyển vị cho kết cấu dầm; hàm ràng buộc yêu cầu ứng suất lớn nhất phải nhỏ hơn ứng suất cho phép và chuyển vị lớn nhất phải nhỏ hơn chuyển vị cho phép; biến thiết kế là đường kính d và chiều dài l . Thông số chi tiết của bài toán được trình bày như bảng 1.



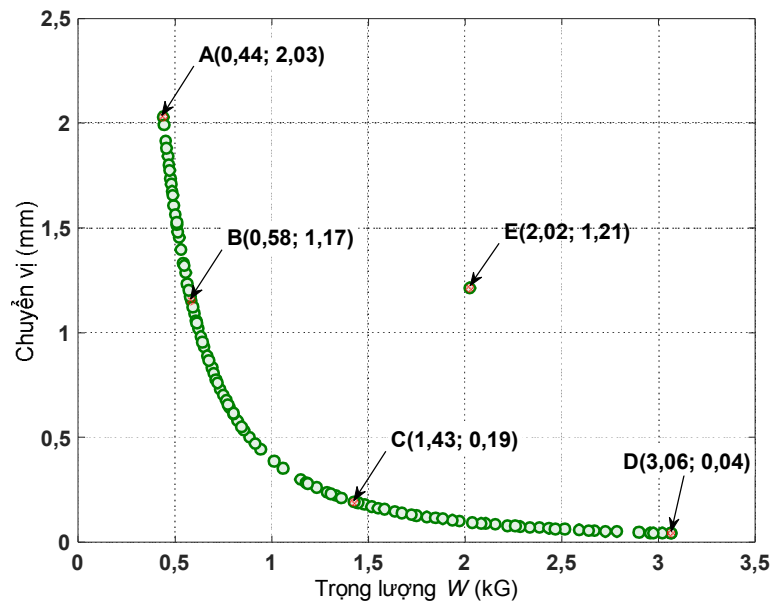
Hình 4. Sơ đồ chịu lực kết cấu dầm

Bảng 1. Thông số đầu vào của bài toán

Hàm mục tiêu	$\text{Min } f_1(d, l) = \frac{\rho \pi d^2}{4} l; \text{Min } f_2(d, l) = \frac{64Pl^3}{3E\pi d^4}$
Hàm ràng buộc	$\sigma_{\max} = \frac{32Pl}{\pi d^3} \leq [\sigma]; \delta = \frac{64Pl^3}{3E\pi d^4} \leq [\delta]$ $10 \leq d \leq 50 \text{ mm}; 200 \leq l \leq 1000 \text{ mm}$
Biến thiết kế	$\mathbf{x} = (d, l)$
Số lượng cá thể	100
Số lượng thế hệ	100

Các thông số vật liệu bài toán được lấy như sau: $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$; $P = 1 \text{ kN}$; $E = 207 \text{ GPa}$; $[\sigma] = 300 \text{ MPa}$; $[\delta] = 5 \text{ mm}$.

Kết quả giải bài toán tối ưu được thể hiện như hình 5. Kết quả này cho thấy nghiệm pareto tối ưu trong ví dụ tương đồng với kết quả tham khảo của Kalyanmoy Deb [20]. Điều này cho thấy code matlab của giải thuật NSGA-II được sử dụng trong bài báo là đáng tin cậy.



Hình 5. Kết quả nghiệm Pareto tối ưu

Mặt khác để làm rõ hơn về khái niệm trội trong giải thuật NSGA – II ở mục 1.1, bài báo sẽ sử dụng 5 nghiệm nằm trên đường Pareto được thể hiện ở hình 5 để so sánh. Kết quả cho thấy nghiệm A có trọng lượng $W_{\min}$ (kG) và chuyển vị $\Delta_{\max}$ (mm), nghiệm D có trọng lượng $W_{\max}$ (kG) và chuyển vị $\Delta_{\min}$ (mm). Điều này có nghĩa không có nghiệm nào vượt trội hoặc tốt hơn giữa hai nghiệm này. Khi xảy ra điều này, hai nghiệm A và D gọi là nghiệm không bị trội. Tương tự xét cho hai nghiệm kế tiếp là B – D và C – D. Như vậy cả 4 nghiệm A, B, C, D đều có thể so sánh trong cả 2 mục tiêu. Ngoài ra, khi so sánh nghiệm E với C, ta thấy rằng nghiệm C tốt hơn cả hai mục tiêu so với

nghiệm E, nên ta nói nghiệm C trội hơn nghiệm E hoặc nghiệm E bị trội bởi nghiệm C. Tiếp tục so sánh nghiệm D với E, ta thấy mục tiêu thứ hai của nghiệm D tốt hơn nghiệm E, nhưng ngược lại mục tiêu thứ nhất của nghiệm E lại tốt hơn nghiệm D. Như vậy trong trường hợp nếu không có các nghiệm A, B, C và bất kỳ nghiệm không bị trội nào khác, thì nghiệm E sẽ thuộc cùng nhóm với nghiệm D. Nhưng thực tế cho thấy nghiệm C và D là không bị trội với nhau, mà nghiệm E là một nghiệm bị trội bởi C. Vì vậy nghiệm E chưa tối ưu và là một nghiệm bị trội. Điều này đúng với khái niệm của nghiệm tối ưu đa mục tiêu như đã trình bày.

Bảng 2. So sánh kết quả nghiệm tối ưu của bài toán

Nghiệm	Đường kính d (mm)		Chiều dài l (mm)		Khối lượng (kg)		Chuyển vị (mm)	
	Tham khảo [20]	Bài báo	Tham khảo [20]	Bài báo	Tham khảo [20]	Bài báo	Tham khảo [20]	Bài báo
A	18,94	18,95	200	200	0,44	0,44	2,04	2,03
B	21,24	21,84	200	200	0,58	0,58	1,18	1,15
C	34,19	34,14	200	200	1,43	1,43	0,19	0,19
D	50,00	50,00	200	200	3,06	3,06	0,04	0,04
E	33,02	33,52	362,49	302,43	2,42	2,02	1,31	1,21

Bài toán 2: Thiết kế khả năng chịu tải của móng cọc:

Trong phần này, các thông số đầu vào của bài toán sẽ dựa trên số liệu địa chất thực tế của Dự án Riverside Thủ Đức đã được nghiên cứu trước đó [15]. Móng cọc trong bài báo được tính

toán dựa trên nền đất của hố khoan 1 (HK1). Mức nước tĩnh đo được tại hố khoan HK1 là $-0,4$ m. Các thông số về đặc điểm địa chất và đặc trưng cơ lý của các lớp đất được trình bày trong các bảng 3 và bảng 4.

Bảng 3. Thông số dữ liệu địa chất

Lớp	Lớp đất	Bề dày lớp (m)	Giá trị xuyên tiêu chuẩn SPT-N.
Lớp A	Đất san nền, xà bần	2,2	0
Lớp 1	Bùn sét xám xanh đen, trạng thái chảy	15,6	0÷14
Lớp 2	Cát pha, trạng thái dẻo	13,0	11÷31
Lớp 3	Sét pha, trạng thái dẻo mềm	3,9	13÷29
Lớp 4	Sét, trạng thái nửa cứng	>23,7	14÷33

Bảng 4. Đặc trưng cơ lý của các lớp đất

Chỉ tiêu cơ lý	Lớp đất			
	Lớp 1	Lớp 2	Lớp 3	Lớp 4
Dung trọng tự nhiên γ_{unsat} (kN/m ³)	14,6	19,5	19,5	19,0
Dung trọng đẩy nổi γ' (kN/m ³)	4,8	10,1	10,0	9,1
Mô-đun đàn hồi E (kN/m ²)	800	8050	26070	43650
Lực dính c (kN/m ²)	5,7	9,0	20,0	26,5
Góc nội ma sát φ (°)	3°39'	22°20'	10°47'	12°10'

Các thông số về tải trọng và vật liệu được thể hiện ở bảng 5 và bảng 6.

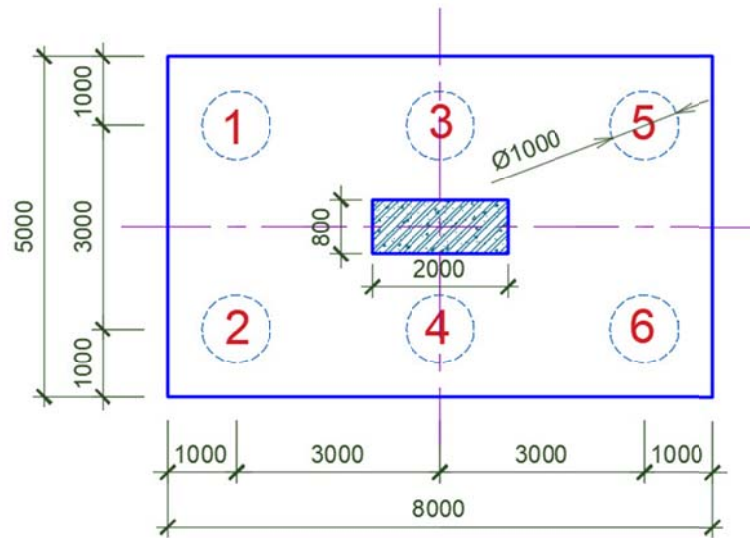
Bảng 5. Thông số tải trọng

Lực dọc N (kN)	Mô-men M_x (kNm)	Mô-men M_y (kNm)	Lực cắt Q_x (kNm)	Lực cắt Q_y (kNm)
29600	1500	390	150	90

Bảng 6. Thông số vật liệu bê tông - cốt thép của cọc

Đặc tính	Cường độ tính toán		Mô-đun đàn hồi
	R_b (MPa)	R_{bt} (MPa)	$E_b \times 10^3$ (MPa)
Bê tông cọc nhồi B30 (M400)	17	1,2	32,5
Cốt thép CIII, AIII $\varnothing 10 \div \varnothing 40$	Cường độ chịu kéo		Cường độ chịu nén
	Thép dọc R_s (MPa)	Thép ngang R_{sw} (MPa)	R_{sc} (MPa)
	365	290	365

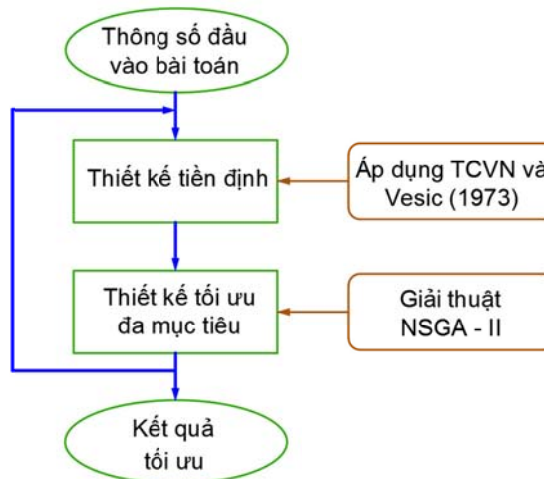
Thiết kế sơ bộ cho móng cọc gồm 6 cọc, có đường kính $D_c = 1,0$ m và các thông số kích thước hình học của đài cọc được minh họa như hình 6.



Hình 6. Mặt bằng móng cọc điển hình (Block C)

Các thông số của bài toán như chỉ tiêu cơ lý và cường độ đất nền (γ , c , φ) hoặc tải trọng tác động (N , M , Q) được xem là các giá trị tiền định khi giải bài toán thiết kế. Trong nghiên cứu này, dựa trên điều kiện thi công thực tế, các tác giả đã chọn hai loại đường kính 1,0 m và 1,2 m để thiết kế ban đầu cho cọc khoan nhồi điển hình. Tuy nhiên, khi thiết kế tối ưu đa mục tiêu, tác giả sẽ khảo sát cho tất cả các trường hợp của đường kính cọc $D_c = \{0,6 \text{ m} \rightarrow 1,2 \text{ m}\}$, để giúp cho người thiết kế có nhiều cơ sở lựa chọn và đánh giá các phương án thiết kế.

Sơ đồ tính toán:



Hình 7. Sơ đồ khối tính toán kết quả số

Bảng 7. Bảng tổng hợp kết quả sức chịu tải cọc theo cường độ vật liệu

Đường kính cọc D_c (m)	Cấu tạo cốt thép chịu lực	Sức chịu tải Q_{vl} (kN)		Sự khác biệt (%)
		Tham khảo [15]	Bài báo	
1,2	18Ø20	8030	8029,91	0,001
1,0	22Ø25	7090	7088,22	0,025
0,8	12Ø22	4020	4019,48	0,013
0,6	10Ø18	2260	2256,29	0,164

Bảng 8. Bảng tổng hợp kết quả sức chịu tải cọc theo đất nền

Chiều dài cọc L_c (m)	Đường kính cọc D_c (m)	Q_s (kN)	Q_p (kN)	Q_u (kN)	Q_a (kN)
55	1,2	1,2877e + 4	1745,78	1,4623e + 4	7020,63
	1,0	1,0731e + 4	1209,88	1,1941e + 4	5768,88
58	1,2	1,4178e + 4	1792,03	1,5970e + 4	7686,24
	1,0	1,1815e + 4	1242,00	1,3057e + 4	6321,41
63	1,2	1,6461e + 4	1869,12	1,8330e + 4	8853,43
	1,0	1,3717e + 4	1295,54	1,5013e + 4	7290,50

Bảng 9. Bảng tổng hợp kết quả tính toán kiểm tra đài móng cọc

Loại cọc	A_{dai} (m)	B_{dai} (m)	Q_a (kN)	P_{max} (kN)	R_{tc} (kN/m ²)	σ_{tb} (kN/m ²)	σ_{max} (kN/m ²)	S_{max} (m)
Tham khảo [15]								
$D_c = 1,2$; $L_c = 55$ m	9,4	5,8	7020	5550	2844,2	696,3	721,3	0,0396
$D_c = 1,0$; $L_c = 63$ m	8,0	5,0	7290	5490	3221,7	768,4	797,1	0,0397
Bài báo								
$D_c = 1,2$; $L_c = 55$ m	9,4	5,8	7020,63	5559	2844,7	690,5	714,4	0,0391
$D_c = 1,0$; $L_c = 63$ m	8,0	5,0	7290,50	5471	3221,6	768,2	796,9	0,0397

Kết quả tính toán trong bảng 7, bảng 8 và bảng 9 cho thấy, việc tính toán bài toán thiết kế tiền định trong bài báo hoàn toàn tương đồng với kết quả của nghiên cứu trong tài liệu [15]. Sự sai lệch kết quả là không đáng kể. Cụ thể, sức chịu tải của cọc theo vật liệu có sự khác biệt nhỏ nhất là 0,001% và lớn nhất 0,164%, còn sức chịu tải theo đất nền có sự khác biệt chưa đến 0,1%. Vì vậy sức chịu tải của cọc được chọn theo thiết kế là $Q_a = 7000$ kN (kết quả

này phù hợp với kết quả kiểm tra bằng thử tĩnh tại hiện trường do Công ty Vista - Hà Nội cung cấp). Kết quả này một lần nữa cho thấy phương pháp tính toán thiết kế móng cọc trong bài báo là đáng tin cậy và sẽ được sử dụng để tìm nghiệm tối ưu cho bài toán thiết kế tối ưu đa mục tiêu kết cấu móng cọc.

Bài toán 3: Thiết kế tối ưu đa mục tiêu kết cấu móng cọc:

Bài toán thiết kế tối ưu đa mục tiêu cho kết cấu móng cọc được trình bày như sau:

Hàm mục tiêu	$\text{Min } f_1(D_c, L_c) = \min \{V(\mathbf{X})\}; \text{Min } f_2(D_c, L_c) = \min \{S(\mathbf{X})\}$
Hàm ràng buộc	$g_1(D_c, L_c) = P_{max} - Q_u < 0; g_2(D_c, L_c) = S(\mathbf{X}) - 0,08 \leq 0; -P_{min} < 0;$ $0,6 \text{ m} \leq D_c \leq 1,2 \text{ m}; 30 \text{ m} \leq L_c \leq 100 \text{ m}.$
Biến thiết kế	$\mathbf{X} = (D_c, L_c)$

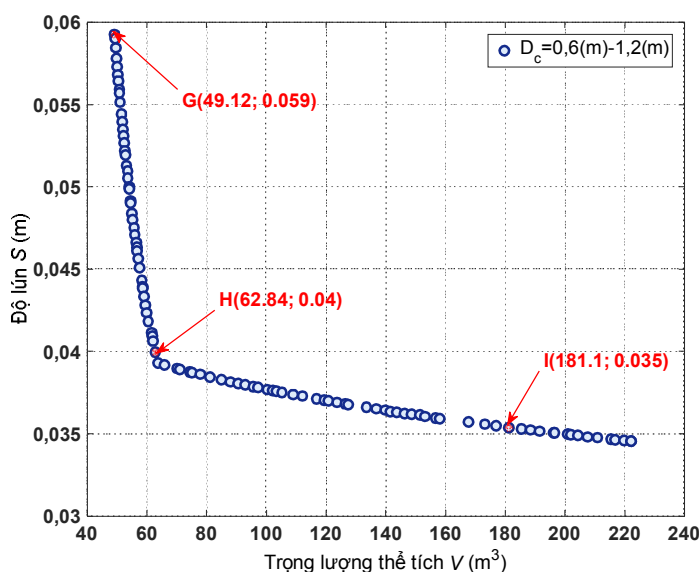
Trong phần này, các tác giả sẽ giải bài toán tối ưu đa mục tiêu cho móng cọc gồm 6 cọc, với số lượng cá thể/ thế hệ là 100/1000. Hàm mục tiêu là cực tiểu thể tích $V(\mathbf{X})$ và cực tiểu độ lún móng cọc

$S(\mathbf{X})$; hàm ràng buộc gồm các ràng buộc về khả năng chịu tải, độ lún và giới hạn biến thiết kế. Trong đó biến thiết kế chiều dài $[L_c]$ được khảo sát trong khoảng (30 m; 100 m) và đường kính được khảo

sát trong khoảng (0,6 m; 1,2 m).

Kết quả tính toán trong hình 8 cho thấy, nghiệm bài toán không chỉ là một nghiệm duy nhất như bài toán thiết kế tối ưu đơn mục tiêu, mà sẽ là một tập hợp các điểm thiết kế tối ưu nằm trên đường pareto. Kết quả này vì vậy sẽ giúp cho người thiết kế có thêm nhiều sự lựa chọn trong quá trình tính toán thiết kế. Dựa vào nghiệm tối ưu trên

đường cong pareto này, người thiết kế có thể chọn các điểm thiết kế thiên về an toàn hoặc thiên về tiết kiệm chi phí. Kết quả chi tiết được thể hiện ở bảng 10. Kết quả cho thấy rằng nếu chọn phương án thiết kế thiên về an toàn thì nên chọn điểm thiết kế I, hoặc phương án thiên về tiết kiệm chi phí thì nên chọn điểm thiết kế G, hoặc phương án cân đối giữa chi phí và an toàn thì nên chọn điểm thiết kế H.



Hình 8. Nghiệm tối ưu đa mục tiêu cho kết cấu móng cọc

Bảng 10. Tổng hợp nghiệm tối ưu đa mục tiêu cho kết cấu móng cọc

Điểm	G	H	I
Đường kính D_c (m)	0,6	0,6	1,1
Chiều dài L_c (m)	48,7	97,2	100
Thể tích V (m ³)	49,12	62,84	181,1
Độ lún S (m)	0,059	0,04	0,035

6. Kết luận

Chúng tôi đã tiến hành nghiên cứu, thiết lập và giải bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu cho kết cấu móng cọc bằng phương pháp giải thuật di truyền phân loại không trội NSGA-II. Bài toán tối ưu đa mục tiêu được thành lập với hai hàm mục tiêu đối lập nhau là cực tiểu thể tích móng cọc và cực tiểu độ lún. Biến thiết kế là chiều dài cọc L_c và đường kính cọc D_c . Điều kiện ràng buộc bài toán tối ưu gồm có ràng buộc về khả năng chịu tải, ràng buộc về độ lún móng cọc và ràng buộc về độ ổn định của đất nền. Các kết quả đạt được cho thấy lời giải tối ưu đạt được là một tập hợp các nghiệm tối ưu nằm trên đường nghiệm Pareto. Kết quả của nghiên cứu

là nền tảng quan trọng giúp cho người thiết kế có cái nhìn tổng quan và có nhiều phương án thiết kế tối ưu để chọn lựa, tùy theo yêu cầu của chủ đầu tư.

Lời cảm ơn: *Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 107.02-2017.08. Chúng tôi xin trân trọng cảm ơn.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] P. Ngatchou, A. Zarei, and A. El-Sharkawi (2005), "Pareto Multi Objective Optimization," *Proc. 13th Int. Conf. on, Intell. Syst. Appl. to Power Syst.*, 6-10 Nov. 2005, pp. 84–91.

- [2] K. S. Y. F. Leung and A. Klar (2011), "Multi-objective Foundation Optimization and its Application to Pile Reuse," *Geo-Frontiers 2011* © ASCE 2011, 397(9), pp. 75–84.
- [3] M. F. Ashby, "Multi-objective optimization in material design and selection," *Acta Mater.*, vol. 48, no. 1, pp. 359–369, 2000.
- [4] K. Deb and A. Dhar (2011), "Optimum design of stone column-improved soft soil using multiobjective optimization technique," *Comput. Geotech.*, 38(1), pp. 50–57, 2011.
- [5] L. Wang, C. H. Juang, S. Atamturktur, W. Gong, S. Khoshnevisan, and H. S. Hsieh (2014), "Optimization of design of supported excavations in multi-layer strata," *J. Geoengin.*, 9(1), pp. 1–10.
- [6] X. Liu, G. Cheng, B. Wang, and S. Lin (2012), "Optimum Design of Pile Foundation by Automatic Grouping Genetic Algorithms," *ISRN Civ. Eng.*, 2012, pp. 1–16.
- [7] Vũ Anh Tuấn and Nguyễn Quốc Cường (2007), "Thiết kế tối ưu kết cấu thép bằng thuật tiến hóa," *Tạp chí khoa học và công nghệ*, 45(4), tr. 111–118.
- [8] Y. F. Leung, A. Klar, and K. Soga (2010), "Theoretical Study on Pile Length Optimization of Pile Groups and Piled Rafts," *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, 136(2), pp. 319–330.
- [9] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan (2002), "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, 6(2), pp. 182–197.
- [10] Châu Ngọc Ân (2012), *Nền móng công trình*, Nhà xuất bản xây dựng Hà Nội.
- [11] Braja M. Das (2016), *Principles of Foundation Engineering*, Cengage Learning.
- [12] TCVN 9362:2012 (2013), *Tiêu chuẩn thiết kế nền nhà và công trình*, Bộ khoa học và Công nghệ.
- [13] Kalyanmoy Deb (2001), "Multi Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms." John Wiley & Sons, Ltd.
- [14] A. Starkey, H. Hagras, S. Shakya, and G. Owusu (2016), "A multi-objective genetic type-2 fuzzy logic based system for mobile field workforce area optimization," *Inf. Sci. (Ny)*, 329, pp. 390–411.
- [15] Nguyễn Minh Thọ (2015), *Tối ưu hóa dựa trên độ tin cậy bài toán thiết kế móng cọc sử dụng vòng lặp kép*, Luận văn thạc sỹ, Đại học Hutech, Trường Đại học Công nghệ TP. Hồ Chí Minh.
- Ngày nhận bài: 27/7/2018.**
- Ngày nhận bài sửa lần cuối: 26/8/2018.**