

Tối ưu đa mục tiêu nhà thép công nghiệp một tầng theo tiêu chuẩn TCVN 5575:2012

Trần Trung Hiếu^{1,*}, Nguyễn Ngọc Thắng²

¹ Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc Hà nội

² Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi

TỪ KHOẢ

Tối ưu
Đa mục tiêu
Nhà thép công nghiệp
TCVN 5575:2012
NSGA-II

TÓM TẮT

Nhà thép công nghiệp được ưa chuộng trong xây dựng vì tiết kiệm chi phí, thi công nhanh và khả năng vượt nhịp lớn. Tuy nhiên, việc lựa chọn kích thước cột và dầm phù hợp là một thách thức do thiết kế phức tạp. Trong nghiên cứu này, chúng tôi trình bày một phương pháp tối ưu đa mục tiêu nhằm cải thiện kích thước mặt cắt ngang của nhà khung thép công nghiệp. Mục tiêu là giảm thiểu tổng trọng lượng và chuyển vị đỉnh cột, đồng thời đảm bảo an toàn và khả năng sử dụng theo tiêu chuẩn TCVN 5575:2012. Bài toán tối ưu được giải quyết bằng thuật toán di truyền sắp xếp các nghiệm không trội NSGA-II, cho thấy hiệu quả cao trong việc đạt được các mục tiêu tối ưu đã đề ra. Kết quả tính toán minh chứng rằng phương pháp này có khả năng tối ưu hóa hiệu quả trong thiết kế nhà khung thép.

KEYWORDS

Optimization
Multi-objectives
Industrial steel buildings
TCVN 5575:2012
NSGA-II

ABSTRACT

Industrial steel structures are preferred in construction due to their cost-effectiveness, rapid construction, and large span capabilities. However, selecting appropriate dimensions for columns and beams is a challenge due to complex design requirements. In this study, we present a multi-objective optimization method aimed at improving the cross-sectional dimensions of industrial steel frames. The goal is to minimize the total weight and the top displacement of the columns while ensuring safety and usability according to the TCVN 5575:2012 standards. The optimization problem is solved using the NSGA-II genetic algorithm, demonstrating high efficiency in achieving the established optimization goals. The results indicate that this method effectively optimizes the design of steel frames.

1. Giới thiệu

Nhà công nghiệp 1 tầng là loại công trình được xây dựng chủ yếu bằng khung thép, mang lại không gian rộng rãi và liên tục để phục vụ cho các nhu cầu sản xuất và lưu trữ. Đặc điểm nổi bật của loại nhà này là khả năng mở rộng dễ dàng và không giới hạn bởi các bức tường, giúp tối ưu hóa quy trình hoạt động [1]. Ưu điểm của nhà công nghiệp 1 tầng bao gồm khả năng chịu tải lớn, chi phí xây dựng thấp, và thời gian thi công nhanh nhờ vào các bộ phận được chế tạo sẵn. Bên cạnh đó, tính linh hoạt trong thiết kế cho phép lắp đặt và sắp xếp dây chuyền sản xuất hiệu quả. Tuy nhiên, sự phức tạp trong tính toán thiết kế của nhà công nghiệp 1 tầng không thể bị xem nhẹ. Việc xác định kích thước tiết diện cột và dầm phù hợp là thách thức lớn, khi cần phải đảm bảo an toàn và khả năng làm việc theo tiêu chuẩn. Cùng với đó, các điều kiện ràng buộc về môi trường và tải trọng cần được xem xét kỹ lưỡng để đạt được sự bền vững và hiệu quả. Do đó, việc tối ưu hóa thiết kế là rất quan trọng để đạt được kết quả mong muốn. Việt Nam đã ban hành tiêu chuẩn TCVN 5575:2012 [2] thiết kế cho các kết cấu thép, quy định rằng nhà thép công nghiệp phải chịu được nhiều loại tải trọng, bao gồm

tĩnh tải, hoạt tải, tải trọng cần trục, tải trọng gió, và các tải trọng đặc biệt như động đất. Phương pháp thử và sai thường được các kỹ sư sử dụng, nhưng với những bài toán phức tạp, phương pháp này không hiệu quả do tốn thời gian và công sức. Việc áp dụng các kỹ thuật tối ưu metaheuristic hiện đại có thể xử lý tốt các bài toán phi tuyến, mang lại thiết kế tối ưu hơn.

Thông thường, bài toán tối ưu cho thiết kế công trình được áp dụng với một hàm mục tiêu là tối thiểu hóa khối lượng/giá thành của toàn bộ công trình với điều kiện ràng buộc về khả năng chịu tải và chuyển vị. Lớp bài toán này được gọi là bài toán tối ưu đơn mục tiêu. Để giải quyết bài toán tối ưu đơn mục tiêu, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện phần lớn dựa trên việc phát triển và ứng dụng các thuật toán tối ưu đơn mục tiêu như là: thuật toán di truyền (GA), phân tích vi phân (DE) và thuật toán bầy đàn (PSO). Sự phát triển nhanh chóng của khoa học máy tính gần đây đã mở ra kỷ nguyên mới cho các thuật toán metaheuristic, với một số lượng lớn thuật toán mới được đề xuất, chẳng hạn như: tiến hóa vi phân cải tiến [3-4], tiến hóa vi phân kết hợp với học máy [5], các kỹ thuật phân tích trực tiếp kết cấu thép [6-7], etc. Một số nghiên cứu đơn mục tiêu điển hình cho khung thép công nghiệp

*Liên hệ tác giả: hieutt@hau.edu.vn

Nhận ngày 24/10/2024, sửa xong ngày 03/12/2024, chấp nhận đăng ngày 06/12/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2024.814>

một tầng như là: Kravanja và Zula [8] năm 2010, Phan và cộng sự [9], Vũ Anh Tuấn [10], Hiếu và cộng sự [11].

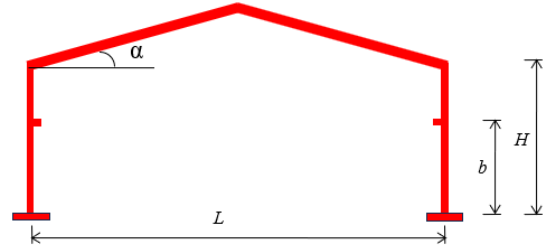
Trong thực tế, các nhà thiết kế thường phải đối mặt với nhiều mục tiêu tối ưu, và đôi khi những mục tiêu này lại mâu thuẫn với nhau. Chẳng hạn, họ có thể cần giảm thiểu khối lượng công trình trong khi vẫn đảm bảo độ an toàn tối đa. Tình huống này dẫn đến việc ngày càng nhiều chuyên gia áp dụng các thuật toán tối ưu đa mục tiêu trong thiết kế công trình. Lúc này, nhiều hàm mục tiêu sẽ được xem xét đồng thời trong bài toán tối ưu. Kết quả tìm được không chỉ là một nghiệm tối ưu duy nhất như trong bài toán tối ưu đơn mục tiêu, mà là một tập hợp các nghiệm không trội, thường được gọi là tập nghiệm Pareto. Mục tiêu của các bài toán tối ưu đa mục tiêu là xác định tập nghiệm Pareto, từ đó cung cấp cơ sở cho các nhà quản lý trong quá trình ra quyết định và lựa chọn giải pháp thiết kế phù hợp. Tương ứng với bài toán tối ưu đa mục tiêu, ta có lớp thuật toán metaheuristic đa mục tiêu. Thông thường các thuật toán này được phát triển dựa trên nền tảng của các thuật toán tối ưu đơn mục tiêu, ví dụ như là: Thuật toán di truyền sắp xếp các nghiệm không trội (NSGA-II) được phát triển từ thuật toán GA, thuật toán tối ưu đa mục tiêu bầy đàn (OMOPSO) được xây dựng từ PSO, v.v. Dựa trên thuật toán tối ưu đa mục tiêu, nhiều bài toán tối ưu đa mục tiêu cho kỹ thuật công trình đã được thực hiện, ví dụ như: kết cấu giàn [12-13], kết cấu khung thép [14], móng cọc [15], v.v. Các nghiên cứu này cho thấy sự gia tăng ứng dụng của các bài toán tối ưu đa mục tiêu trong việc tính toán và thiết kế công trình. Tuy nhiên, theo kiến thức của tác giả, vẫn chưa có nghiên cứu nào được thực hiện tại Việt Nam liên quan đến bài toán thiết kế khung thép cho nhà công nghiệp 1 tầng, đặc biệt là khi áp dụng theo tiêu chuẩn TCVN 5575:2012.

Trong nghiên cứu này, các tác giả xem xét bài toán tối ưu đa mục tiêu cho tối ưu tiết diện khung thép tiền chế một tầng có cầu trục theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5575:2012. Mục tiêu của nghiên cứu là xác định kích thước mặt cắt ngang tối ưu cho cột và dầm chữ I, nhằm giảm thiểu tổng trọng lượng và chuyển vị đỉnh cột, đồng thời đảm bảo an toàn và khả năng sử dụng theo tiêu chuẩn TCVN 5575:2012 với tải trọng được xác định theo TCVN 2737:2023. Các biến thiết kế được coi là biến liên tục trong một khoảng nhất định. Để giải quyết bài toán tối ưu đa mục tiêu này, thuật toán di truyền không trội NSGA-II được áp dụng, giúp sắp xếp các nghiệm một cách hiệu quả và đạt được các mục tiêu thiết kế đã đề ra.

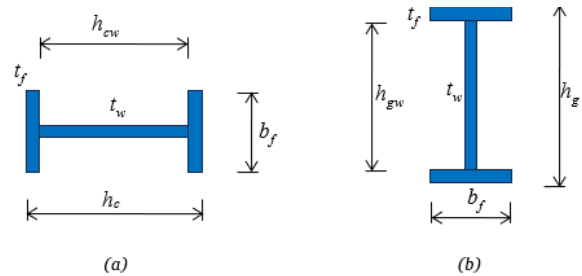
2. Thiết kế nhà thép tiền chế 1 tầng theo TCVN 5575:2012

Khung ngang của nhà thép công nghiệp 1 tầng với cầu trục có sơ đồ điển hình như Hình 1, trong đó các kích thước cơ bản bao gồm cả nhịp khung và cao trình. Nhịp khung (L) xác định khoảng cách giữa các cột chính, ảnh hưởng đến khả năng chịu tải và không gian làm việc bên trong. Cao trình đỉnh ray cầu trục (b) là chiều cao nơi cầu trục di chuyển, và cao trình đỉnh cột (H) giúp xác định tổng chiều cao của công trình. Góc dốc mái (α) cũng được xem xét để đảm bảo thoát nước và khả năng chịu lực. Dầm và cột thường được sử dụng thép hình tổ hợp tiết diện I, với các kích thước tiết diện ngang điển hình như Hình 2.

Các kích thước của tiết diện cột và dầm được thiết kế theo yêu cầu kỹ thuật để đảm bảo tính bền vững và hiệu quả trong việc nâng đỡ khung bao gồm các điều kiện về độ bền và biến dạng được quy định trong các tiêu chuẩn thiết kế.



Hình 1. Kích thước cơ bản khung ngang nhà thép công nghiệp một tầng.



Hình 2. Kích thước cơ bản tiết diện của (a) Cột và (b) Dầm.

Để xác định nội lực trong kết cấu của nhà thép công nghiệp 1 tầng, phân tích kết cấu cần được thực hiện nhằm tính toán mômen uốn, lực cắt và lực dọc trục tại các tiết diện của cột và dầm. Phân tích cũng bao gồm việc xác định chuyển vị ngang của đỉnh cột. Có nhiều phương pháp tính toán khác nhau như phương pháp giải tích và phương pháp phần tử hữu hạn. Trong nghiên cứu này, phương pháp phần tử hữu hạn được lựa chọn để phân tích. Tính toán nội lực tại các tiết diện của các phần tử, như chân cột, dưới và trên bầu cột, và đỉnh cột, được thực hiện cho từng trường hợp tải trọng. Cuối cùng, các lực bên trong tới hạn tại mỗi tiết diện được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 2737:2023, đảm bảo độ an toàn và hiệu quả cho kết cấu.

Theo TCVN 5575:2012, hai tổ hợp tải trọng cơ bản được xem xét là:

Tổ hợp cơ bản 1: Bao gồm tải trọng thường xuyên (tải trọng thường xuyên, độ lún chênh lệch) và một tải trọng hoạt tải.

Tổ hợp cơ bản 2: Bao gồm tải trọng thường xuyên và một vài tải trọng hoạt tải bất lợi.

Chuyển vị ngang tại đỉnh cột được tính toán cho 03 tổ hợp tải trọng danh định theo TCVN 5575:2012 (tải trọng thường xuyên với tải trọng gió, tải trọng thường xuyên với tải trọng cầu trục, tải trọng thường xuyên với 0.5 tải trọng gió và tải trọng cầu trục).

Chiều dài tính toán của một phần tử bao gồm chiều dài tính toán trong mặt phẳng l_x và chiều dài tính toán ngoài mặt phẳng l_y . Đối với cột, $l_x = \mu l$ với μ là hệ số chiều dài tính toán. μ được xác định theo công

thức (52) - Bảng 19 của TCVN 5575:2012. l là chiều dài hình học của cột. Bên cạnh đó, l_y được lấy bằng khoảng cách giữa các giằng ngang. Chiều dài tính toán của dầm trong mặt phẳng uốn được xác định bởi chiều dài hình học của dầm. Chiều dài tính toán của dầm khi tính toán ngoài mặt phẳng uốn bằng khoảng cách giữa hai điểm đặt giằng.

Cột và dầm sau khi tính toán nội lực sẽ được kiểm tra theo 2 trạng thái làm việc:

- Trạng thái giới hạn I: Dầm và cột được mô hình là cấu kiện như cấu kiện chịu nén uốn theo TCVN 5575:2012. Trong trường hợp độ lệch tâm tính đối $m_e > 20$, các cấu kiện này được kiểm tra như một phần tử chịu uốn.

- Trạng thái giới hạn II: Khung được kiểm tra về chuyển vị ngang. Chuyển vị ngang được kiểm tra tại cao trình đỉnh cột. Trong trường hợp sử dụng cầu trục nặng, giá trị giới hạn của chuyển vị ngang của cột được lấy theo TCVN 5575:2012. Đối với cầu trục nhẹ và trung bình, chuyển vị ngang giới hạn không vượt quá 1/300.

3. Xây dựng bài toán tối ưu đa mục tiêu

Dựa trên các kích thước mô tả trong Hình 1 và 2, hàm mục tiêu của bài toán tối ưu là tổng khối lượng của khung được xác định như sau:

Hàm mục tiêu 1:

$$F_1(x) = 2\rho \left[(h_{cw}t_w + 2t_f b_f)H + (h_{gw}t_w + 2t_f b_f) \frac{L}{2\cos\alpha} \right] \quad (1)$$

Hàm mục tiêu 2:

$$F_2(x) = \Delta_{\text{đỉnh cột}} \quad (2)$$

Điều kiện ràng buộc:

$$\begin{cases} \sigma_i \leq [\sigma]; \lambda_i \leq [\lambda] \\ \Delta_{\text{đỉnh cột}} \leq [\Delta] \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó: $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ là biến thiết kế, ρ là khối lượng riêng của thép, σ_i và λ_i lần lượt là ứng suất và độ mảnh của cấu kiện thứ i , $\Delta_{\text{đỉnh cột}}$ là chuyển vị ngang tại đỉnh cột, $[\sigma]$, $[\lambda]$ và $[\Delta]$ là các giá trị giới hạn cho các tham số trên. Năm biến thiết kế được xem xét là: chiều cao vách tiết diện cột h_{cw} , chiều cao vách tiết diện dầm h_{gw} , bề rộng bản cánh dầm và cột b_f , chiều dày vách dầm và cột t_w và chiều dày bản cánh dầm và cột t_f .

Phương pháp hàm phạt được áp dụng để xử lý điều kiện ràng buộc (3) như sau:

Hàm mục tiêu 1:

$$F'_1(x) = F_1(x) \times (1 + \alpha \cdot \text{vipham}) \quad (4)$$

Hàm mục tiêu 2:

$$F'_2(x) = F_2(x) \times (1 + \alpha \cdot \text{vipham}) \quad (5)$$

Với:

$$\text{vipham} = \max \left((\sigma_i - [\sigma])/[\sigma]; (\lambda_i - [\lambda])/[\lambda], (\Delta_{\text{đỉnh cột}} - [\Delta])/[\Delta] \right) \quad (6)$$

Trong đó: α là hệ số phạt, được lấy bằng 10000 nếu $\text{vipham} > 0$ và bằng 0 trong trường hợp còn lại.

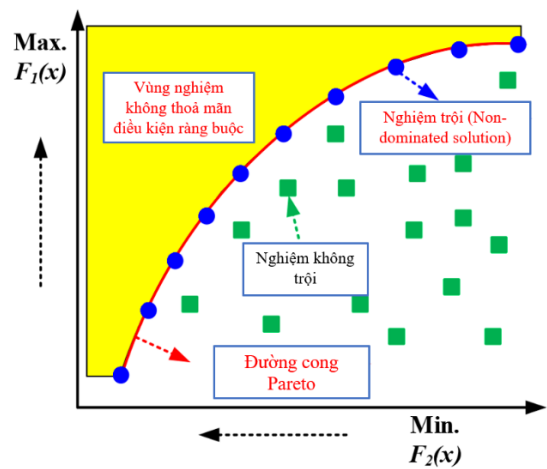
4. Thuật toán di truyền không trội NSGA-II

4.1. Tập nghiệm Pareto

Trong tối ưu hóa đa mục tiêu, tập nghiệm Pareto (còn gọi là tập Pareto, Pareto front, hay biên Pareto) là một khái niệm quan trọng nhằm tìm kiếm các giải pháp tối ưu khi có nhiều mục tiêu xung đột lẫn nhau. Một nghiệm thuộc tập Pareto khi không thể cải thiện một mục tiêu nào mà không làm giảm hiệu quả của ít nhất một mục tiêu khác. Nghĩa là, các nghiệm trong tập Pareto là "không thể bị chi phối" theo nghĩa là không có giải pháp nào khác tốt hơn trên tất cả các tiêu chí. Trong biểu đồ hai (Hình 3) hoặc nhiều chiều, tập nghiệm Pareto thường được thể hiện dưới dạng một đường cong hoặc bề mặt, thể hiện sự đánh đổi (trade-off) giữa các mục tiêu khác nhau.

Trong tối ưu hóa đa mục tiêu, khái niệm nghiệm trội hơn (dominance) là cơ sở để so sánh và đánh giá các giải pháp. Một nghiệm được coi là trội hơn một nghiệm khác nếu nó không kém hơn về tất cả các mục tiêu và tốt hơn ít nhất một mục tiêu. Cụ thể, với hai nghiệm A và B trong một bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu, nghiệm A được coi là trội hơn nghiệm B (đôi khi viết là $A > B$) nếu, với mọi mục tiêu, A có giá trị ít nhất là bằng B và có ít nhất một mục tiêu mà A có giá trị tốt hơn B. Ví dụ đơn giản: Giá sử có hai mục tiêu cần tối ưu hóa là giảm chi phí và tăng chất lượng. Nghiệm A có chi phí thấp hơn B và chất lượng cũng cao hơn, thì A trội hơn B. Tuy nhiên, nếu A có chi phí thấp hơn nhưng chất lượng thấp hơn hoặc bằng, thì không thể nói A trội hơn B hoàn toàn.

Khái niệm nghiệm trội hơn rất quan trọng trong việc xác định tập Pareto như đã đề cập trước đó, vì chỉ những nghiệm không bị bất kỳ nghiệm nào khác trội hơn thì mới nằm trong tập Pareto. Điều này giúp cho việc tối ưu hóa đa mục tiêu trở nên rõ ràng và có cấu trúc hơn, hướng tới việc tìm kiếm các giải pháp tốt nhất theo nhiều tiêu chí khác nhau mà không có sự ưu tiên rõ ràng ngay từ đầu.



Hình 3. Minh họa đường cong Pareto.

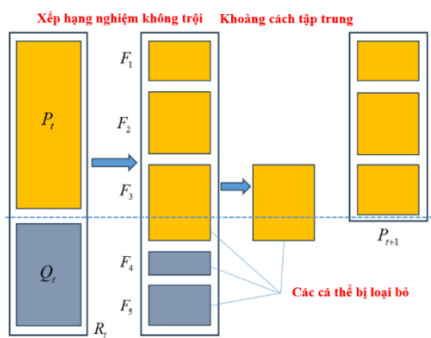
4.2. Thuật toán tối ưu NSGA-II

Thuật toán tối ưu NSGA-II được Deb và cs. [16] đề xuất năm 2002 dựa trên việc cải tiến thuật toán di truyền GA áp dụng cho bài toán tối ưu đa mục tiêu. Hai kỹ thuật căn bản trong NSGA-II là xếp hạng nghiệm

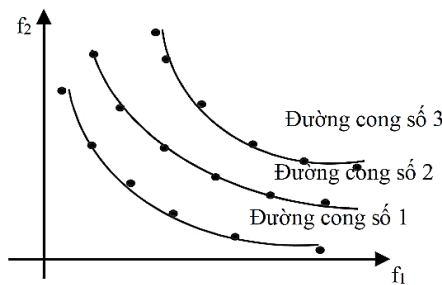
không trội (Nondominated Sorting) và khoảng cách tập trung (crowding distance) được kết hợp để xây dựng quần thể mới trong mỗi vòng tiến hoá như minh hoạ trên Hình 4. Trong đó, tại mỗi vòng tiến hoá, một quần thể cá thể con Q_i được tạo ra bằng việc sử dụng các kỹ thuật đột biến và lai tạo trong quần thể bố mẹ P_i như trong thuật toán GA. Một quần thể mới U_i được tạo ra từ hợp lại giữa quần thể bố mẹ và quần thể con. Kỹ thuật xếp hạng nghiệm không trội được áp dụng cho tập U_i để phân loại các cá thể thành các hạng (rank) khác nhau, như được minh hoạ trong Hình 5. Các cá thể tốt hơn sẽ nhận được hạng cao hơn, trong khi những cá thể không thể so sánh sẽ được coi là ngang nhau và xếp vào cùng một hạng. Phương pháp này còn được gọi là xếp hạng Pareto. Các cá thể trong cùng một hạng sẽ hình thành một đường cong ưu thế (đường cong Pareto). Quần thể mới P_{i+1} được hình thành bằng cách chọn lấy các cá thể trên các đường ưu thế xếp hạng tốt hơn. Lúc này, trong nhiều trường hợp, số lượng cá thể còn lại của quần thể mới ít hơn so với số lượng trên một đường cong ưu thế đang được xem xét. Để lựa chọn một số cá thể trên cùng một đường cong ưu thế như vậy, kỹ thuật khoảng cách tập trung sẽ được áp dụng. Trong kỹ thuật khoảng cách tập trung (còn gọi là khoảng cách mật độ), giá trị khoảng cách phân bố được áp dụng để đánh giá mật độ của các cá thể trong một quần thể. Những cá thể nằm xa nhau hơn sẽ có giá trị này lớn hơn. Phương pháp này giúp đánh giá sơ bộ chất lượng của các cá thể ở cùng một hạng. Cụ thể, cá thể nào có giá trị khoảng cách phân bố thấp hơn sẽ được xem là tốt hơn. Công thức xác định khoảng cách tập trung của X_i :

$$D(X_i) = D(X_{i-1}) + \frac{f_j(X_{i+1}) - f_j(X_{i-1})}{f_j(X_N) - f_j(X_1)} \quad (7)$$

Trong đó, N là số cá thể nằm trên cùng một đường cong ưu thế, được sắp xếp theo thứ tự tăng dần của giá trị hàm mục tiêu; $f_j(X_i)$ là giá trị hàm mục tiêu thứ j của X_i .



Hình 4. Mô tả thuật toán NSGA-II.



Hình 5. Các đường cong ưu thế.

Các bước chính của thuật toán NSGA-II như sau:

Bước 1: Quần thể ban đầu P_0 được tạo ngẫu nhiên trong khoảng giá trị cho trước của các biến thiết kế. Thực hiện tính toán các hàm mục tiêu cho các cá thể. Áp dụng kỹ thuật xếp hạng nghiệm không trội và khoảng cách mật độ cho quần thể P_0 .

Bước 2: Áp dụng các kỹ thuật đột biến và lai tạo cho quần thể P_0 để tạo ra quần thể cá thể con Q_0 .

Bước 3: Áp dụng kỹ thuật xếp hạng nghiệm không trội và khoảng cách mật độ cho quần thể $S = P_0 \cup Q_0$ để tạo ra quần thể mới P_1 .

Bước 4: Tiến hành lặp lại các bước từ 1 đến 3 cho đến khi điều kiện dừng được thỏa mãn. Trong nghiên cứu này, điều kiện dừng được xác định là khi số vòng tiến hóa đạt đến một giá trị nhất định.

Bước 5: Tập nghiệm Pareto cần tìm là quần thể cuối cùng của quá trình tối ưu.

5. Ví dụ nghiên cứu

Trong phần này, chúng ta sẽ xem xét một ví dụ tối ưu khung nhà công nghiệp 1 tầng có nhịp 24 m với các thông số tính toán cho trong Bảng 2 [17]. Năm biến thiết kế được xem xét là: chiều cao vách tiết diện cột h_{cw} , chiều cao vách tiết diện dầm h_{gw} , bề rộng bản cánh dầm và cột b_f , chiều dày vách dầm và cột t_w và chiều dày bản cánh dầm và cột t_f được lựa chọn trong khoảng giá trị ở Bảng 2. Các thông số cho thuật toán NSGA-II được lấy như sau: số lượng cá thể trong quần thể: 100, số vòng tiến hóa: 100, kỹ thuật đột biến: kỹ thuật Polynomial với tỉ lệ đột biến là 20 %, kỹ thuật lai ghép: toán tử SBX (Simulated Binary Crossover) với tỉ lệ 90 %.

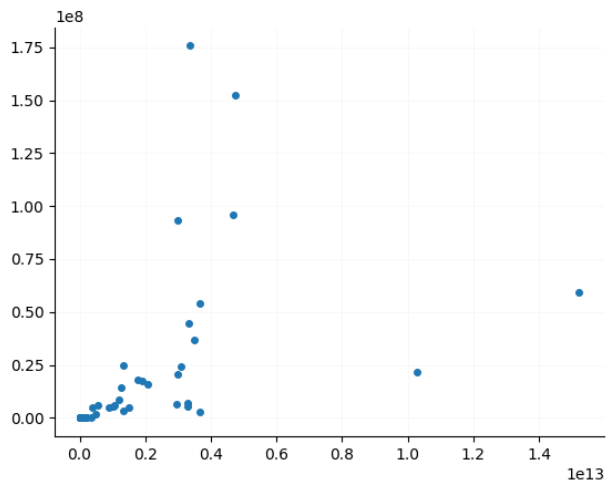
Bảng 1. Thông số tính toán [17].

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Chiều dài nhịp khung	L	m	24
Chiều cao của khung	H	m	10
Khoảng cách các khung	B	m	6
Cao trình đỉnh cầu trục	b	m	6,3
Độ dốc của mái	α	Độ	5,71
Giá trị mô đun đàn hồi của thép	E	kN/m ²	$2,1 \cdot 10^8$
Giới hạn chảy của thép	f	kN/m ²	$2,1 \cdot 10^5$
Khối lượng riêng của thép	ρ	Tấn/m ³	7,85
Tĩnh tải mái	q_0	kN/m ²	0,31
Hoạt tải mái	p_0	kN/m ²	0,3
Áp lực gió	w_0	kN/m ²	0,95
Tải trọng cầu trục	Q	Ton	10
Biến dạng chân cột	Z	m	0,08
Độ xoay chân cột	φ	Degree	0,5

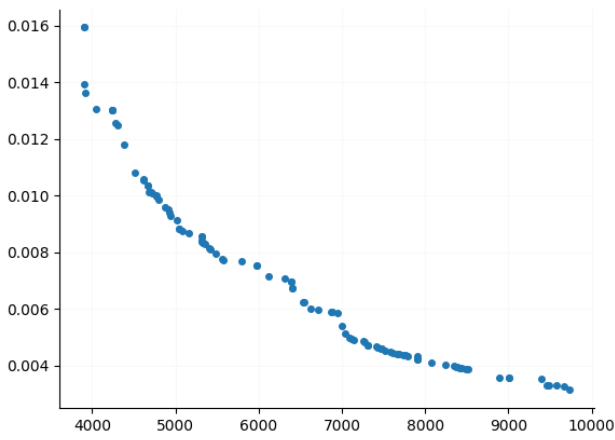
Bảng 2. Thông số biến thiết kế.

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Chiều cao vách tiết diện cột	h_{cw}	m	[0,3; 0,8]
Chiều cao vách tiết diện dầm	h_{gw}	m	[0,3; 0,8]
Bề rộng bản cánh dầm và cột	b_f	m	[0,2; 0,4]
Chiều dày vách dầm và cột	t_w	m	[0,005; 0,02]
Chiều dày bản cánh dầm và cột	t_f	m	[0,005; 0,02]

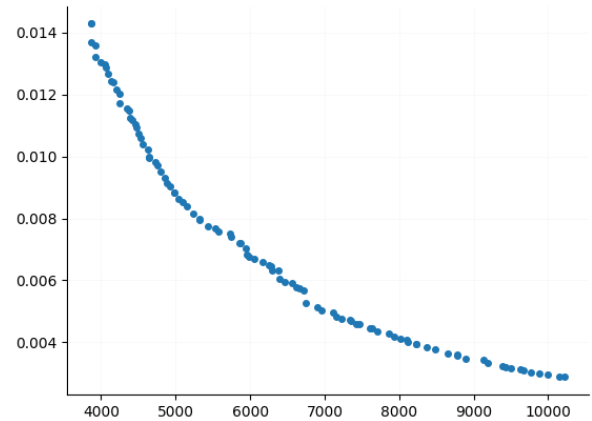
Quá trình tối ưu sử dụng thuật toán NSGA-II được minh họa trong Hình 6. Như có thể thấy, trong giai đoạn đầu tiên (Hình 6a), các cá thể phân tán khá rộng và vi phạm nhiều điều kiện ràng buộc, điều này được phản ánh qua giá trị hàm mục tiêu có hàm phạt rất cao. Tuy nhiên, nhờ vào hiệu quả của thuật toán NSGA-II, quần thể nhanh chóng hội tụ và đáp ứng các điều kiện ràng buộc (như Hình 6b cho thấy quần thể ở vòng tiến hóa thứ 10). Chất lượng của quần thể được cải thiện khi số vòng tiến hóa tăng lên, cho đến khi điều kiện dừng được thỏa mãn (Hình 6c-d). Bên cạnh đó, Hình 6 cũng chỉ ra sự mâu thuẫn giữa hai hàm mục tiêu, điều này nhấn mạnh rằng việc áp dụng bài toán tối ưu đa mục tiêu trong trường hợp này là rất cần thiết.



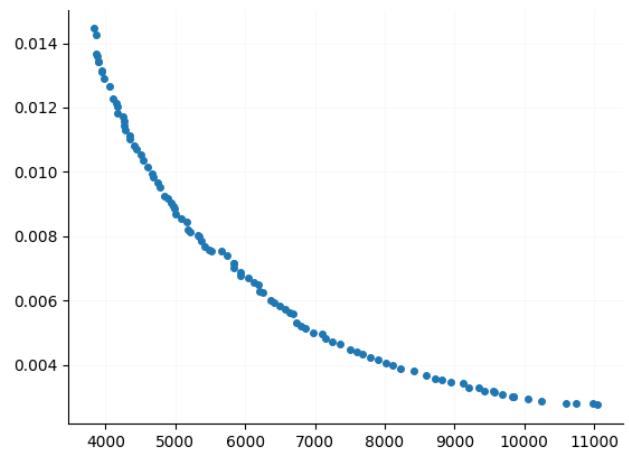
(a) Vòng tiến hoá đầu tiên



(b) Vòng tiến hoá thứ 10



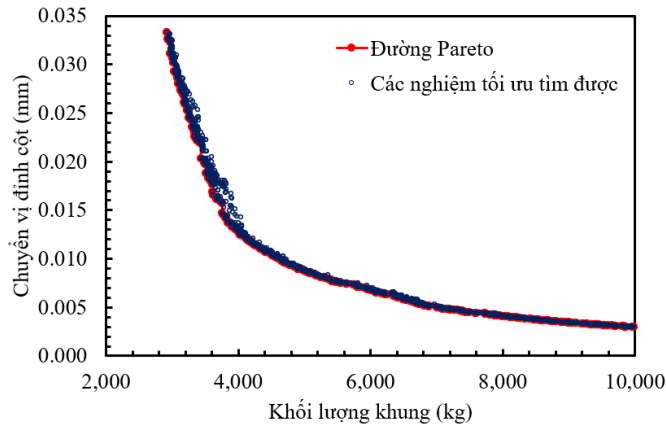
(c) Vòng tiến hoá thứ 50



(d) Vòng tiến hoá cuối cùng

Hình 6. Minh họa quá trình tối ưu nhà công nghiệp sử dụng NSGA-II.

Do thuật toán NSGA-II hoạt động dựa nhiều vào tính ngẫu nhiên, việc đánh giá sự ổn định của thuật toán là cần thiết. Để thực hiện việc này, thuật toán NSGA-II đã được chạy với 10 lần độc lập. Đường Pareto tìm được sẽ lấy gần đúng từ bộ nghiệm tối ưu thu được từ cả 10 lần chạy độc lập ở trên. Dựa trên đường Pareto tìm được này, 4 chỉ số đánh giá hiệu quả của thuật toán tối ưu đa mục tiêu được xác định, bao gồm: GD – thước đo đánh giá mức độ hội tụ của quần thể tới tập tối ưu Pareto, GD+ - là một biến thể của chỉ số GD có xem xét cả số lượng các mục tiêu mà được cải thiện trong quần thể, IGD+ - phản ánh cách mà các nghiệm trong quần thể có thể trải đều qua không gian mục tiêu, HV: đo lường kích thước của khu vực trong không gian mục tiêu mà các nghiệm trong quần thể chiếm giữ so với một điểm tham chiếu nhất định. Kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 3. Dựa vào kết quả trong Bảng 3, ta có thể thấy rằng giá trị độ lệch chuẩn của các chỉ số GD, GD+ khá bé. Điều đó chứng tỏ bộ nghiệm tối ưu mà NSGA-II tìm được khắt sát với đường Pareto. Giá trị IGD+ còn khá lớn cho thấy sự phân bố nghiệm tối ưu tìm được của NSGA-II vẫn chưa thực sự tốt, tạo ra tiềm năng có thể cải thiện nâng cao hiệu suất thuật toán này. Ngoài ra, hai điểm neo tìm được (tương ứng với giá trị nhỏ nhất của 2 hàm mục tiêu) cũng có sự ổn định khá tốt trong các lần chạy.



Hình 7. Minh họa quá trình tối ưu nhà công nghiệp sử dụng NSGA-II.

Bảng 4 nêu rõ kết quả tối ưu cho ba xu hướng trong thiết kế phương án. Phương án 1 được lựa chọn dựa trên tiêu chí tối thiểu tổng khối lượng kết cấu. Giải pháp thiết kế này có tổng khối lượng công trình là 2927.0 kg. Trong khi đó, phương án 2 tập trung vào việc giảm chuyển vị ngang tại đỉnh cột. Phương án này có giá trị chuyển vị ngang của đỉnh cột thấp nhất, đạt 0.00276 m. Tuy nhiên, để đạt được mục tiêu này, khối lượng của khung trong phương án 2 đã tăng đáng kể so với phương án 1, lên tới 10992.61 kg. Để tạo ra sự cân bằng giữa hai phương án trên, phương án 3 được xây dựng, kết hợp các ưu điểm của cả hai phương án 1 và 2. Trong phương án này, cả khối lượng khung và chuyển vị ngang của đỉnh cột đều nằm ở mức trung gian so với hai phương án trước. Ngoài ra, Bảng 4 cũng trình bày các giá trị của các biến thiết kế tương ứng với ba phương án được xem xét, cung cấp thông tin đầy đủ cho quá trình phân tích thiết kế.

Bảng 3. Kết quả tối ưu.

	Giá trị lớn nhất	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn
GD	5,69E-01	1,83E-01	2,62E-01	0,117934
GD +	3,60E-01	1,45E-04	5,74E-02	0,118828
IGD +	1,66E + 01	3,85E-04	1,83E + 00	4,938866
HV	2,71E + 02	2,67E + 02	2,70E + 02	1,195443
Điểm neo 1	3,44E + 03	2,93E + 03	3,02E + 03	143,147
Điểm neo 2	2,86E-03	2,76E-03	2,80E-03	3,7E-05

Bảng 4. Các phương án tối ưu điển hình.

	PA 1	PA 2	PA 3
Khối lượng khung (kg)	2927,00	10992,61	5122,30
Chuyển vị đỉnh cột (m)	0,0333	0,00276	0,00855
b_f (m)	0,253803	0,399668	0,225949
t_f (m)	0,011486	0,019983	0,013841
t_w (m)	0,006678	0,019717	0,013686
h_{gw} (m)	0,373262	0,79949	0,53627
h_{cw} (m)	0,41564	0,799817	0,728976

6. Kết luận

Trong nghiên cứu này, chúng tôi giới thiệu một phương pháp tối ưu hóa đa mục tiêu nhằm cải thiện kích thước mặt cắt ngang của các cấu trúc khung thép công nghiệp. Mục đích chính là giảm thiểu tổng trọng lượng và chuyển vị tại đỉnh cột, đồng thời bảo đảm an toàn và tính khả thi theo tiêu chuẩn TCVN 5575:2012. Để giải quyết bài toán tối ưu này, chúng tôi đã áp dụng thuật toán di truyền NSGA-II, chuyên sắp xếp các nghiệm không trội. Kết quả tính toán từ việc tối ưu hóa khung nhà công nghiệp một tầng với nhịp 24 m đã chứng minh tính hiệu quả của thuật toán NSGA-II trong việc xác định các nghiệm tối ưu cho bài toán này. Đặc biệt, thuật toán cho thấy sự ổn định cao qua nhiều lần chạy và các nghiệm thu được khá gần với tập nghiệm Pareto. Những

phát hiện ban đầu này khẳng định tính khả thi của việc áp dụng tối ưu hóa trong thiết kế khung thép tiền chế. Hướng phát triển tiếp theo cho nghiên cứu này sẽ tập trung vào: (1) Khảo sát hệ thống khung thép tiền chế không gian chịu tải phức tạp và (2) Xem xét dầm và cột có mặt cắt thay đổi.

7. Tài liệu tham khảo

- [1]. Thuật, Đ. V., Hòa, N. Đ., Cường, N. V., Hùng, T. V., „Ảnh hưởng của động đất tác dụng dọc nhà đối với kết cấu thép nhà công nghiệp một tầng có cầu trục“, *Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng (TCKHCNXD) – ĐHXDHN* 2020, 14(3V), 23-35.
- [2]. TCVN 5575:2012 – Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế.

- [3]. Truong, V. H., Hung, H. M., Anh, P. H., Hoc, T. D., „Optimization of steel moment frames with panel-zone design using an adaptive differential evolution“, *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (JSTCE) – HUCE* 2020, 14(2), 65-75.
- [4]. Pham, H. A., Nguyen, D. X., Truong, V. H., „An efficient differential-evolution-based moving compensation optimization approach for controlling differential column shortening in tall buildings“, *Expert Systems with Applications* 2021, 169, 114531.
- [5]. Truong, V. H., Tangaramvong, S., Papazafeiropoulos, G., „An efficient LightGBM-based differential evolution method for nonlinear inelastic truss optimization“, *Expert Systems with Applications* 2024, 237 (Part B), 121530.
- [6]. Truong, V. H., Pham, H. A., Huynh Van, T., Tangaramvong, S., „Evaluation of machine learning models for load-carrying capacity assessment of semi-rigid steel structures“, *Engineering Structures* 2022, 273, 115001.
- [7]. Truong, V. H., Pham, H. A., „Support Vector Machine for Regression of Ultimate Strength of Trusses: A Comparative Study“, *Engineering Journal* 2021, 25(7), 157-166.
- [8]. Kravanja, S., Zula, T., „Cost optimization of industrial steel building structures“, *Advances in Engineering Software* 2010, 41, 442-450.
- [9]. Phan, D. T., Mojtabaei, S. M., Hajirasouliha, I., Ye, J., Lim, J. B. P., „Coupled element and structural level optimisation framework for cold-formed steel frames“, *Journal of Constructional Steel Research* 2020, 168, 105867.
- [10]. Tuấn, V. A., „Tối ưu trọng lượng khung thép nhà tiền chế sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân“, *Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng (TCKHCNXD) – ĐHXDH* 2010, 4(1), 50-56.
- [11]. Hiếu, N. T., Tuấn, V. A., Cường, N. Q., „Tối ưu trọng lượng khung thép cột đặc dàn và kèo sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân“, *Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng (TCKHCNXD) – ĐHXDH* 2019, 13(5V), 55-64.
- [12]. Cao, T. S., Pham, H. A., Truong, V. H., „An efficient algorithm for multi-objective structural optimization problems using an improved pbest-based differential evolution algorithm“, *Advances in Engineering Software* 2024, 197, 103752.
- [13]. Truong, V. H., Cao, T. S., Tangaramvong, S., „A robust machine learning-based framework for handling time-consuming constraints for bi-objective optimization of nonlinear steel structures“, *Structures* 2024, 62, 106226.
- [14]. Hùng, M.S., „Nghiên cứu bài toán tối ưu đa mục tiêu khung thép sử dụng phân tích trực tiếp“, *Tạp chí Xây dựng* 2023, 05/2023, 86-89.
- [15]. Hòa, L.Q., Trung, V.D., Trung, N.T., „Thiết kế tối ưu đa mục tiêu cho kết cấu móng cọc“, *Tạp chí KHCN Xây dựng* 2018, số 3/2018, 50-60.
- [16]. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T., „A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II“, *IEEE Trans. Evol. Computation* 2002, 6(2):182-197.
- [17]. Hiếu, T.T., Đức, T.A., Hùng, T.V., „Tối ưu tiết diện nhà thép công nghiệp một tầng với biến rời rạc bằng thuật toán tiến hóa vi phân cải tiến“, *Tạp chí KHCN Xây dựng* 2024, số 3/2024, 31-37.