

Phân tích so sánh các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí khi áp dụng cho bài toán lựa chọn phương án ván khuôn

Comparative analysis of multi criteria decision making methods in formwork system selection problem

> **NGUYỄN VIỆT HÙNG***, **NGUYỄN TUẤN ANH**, **ĐẶNG VĂN DỰA**

^{1*}Khoa KT và QLXD, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội; Email: hungnv6@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Ra quyết định đa tiêu chí (MCDM) hiện nay đã trở thành một phần quan trọng của quy trình ra quyết định trong nhiều lĩnh vực và cũng đang được sử dụng ngày càng phổ biến trong lĩnh vực xây dựng. Tuy nhiên, hiện nay mỗi bài toán MCDM thường chỉ được giải quyết bằng một phương pháp MCDM riêng lẻ chứ chưa có sự xem xét, so sánh kết quả khi áp dụng đồng thời nhiều phương pháp khác nhau. Điều này dẫn tới sự chính xác của việc lựa chọn phương án phụ thuộc rất nhiều vào phương pháp MCDM được áp dụng. Do vậy, nghiên cứu này chọn ra 04 phương pháp MCDM tiêu biểu bao gồm WPM, TOPSIS, COPRAS, ELECTRE đại diện cho 03 nhóm phương pháp MCDM khác nhau để áp dụng cho bài toán lựa chọn giải pháp công nghệ ván khuôn. Mặc dù kết quả của cả 04 phương pháp đều chỉ ra rằng ván khuôn nhôm là giải pháp ván khuôn được ưu tiên hàng đầu nhưng thứ tự xếp hạng của các phương án khi áp dụng các phương pháp MCDM khác nhau đã có sự không thống nhất. Do vậy, một phân tích độ nhạy đã được tiến hành nhằm xem xét độ nhạy của các phương pháp MCDM khi mà trọng số của các tiêu chí đánh giá bị thay đổi. Kết quả phân tích cũng chỉ ra rằng TOPSIS và COPRAS là 02 phương pháp phù hợp để áp dụng cho bài toán lựa chọn phương án ván khuôn nhờ vào một số ưu điểm nổi bật so với các phương pháp còn lại.

Từ khóa: Ra quyết định đa tiêu chí; lựa chọn phương án ván khuôn; AHP; WPM; TOPSIS; COPRAS; ELECTRE.

ABSTRACT

Multi-criteria decision-making (MCDM) has become increasingly pivotal in decision-making processes across various fields and it is also being used increasingly in the construction sector. However, currently, each MCDM problem tends to be solved using a single method without considering or comparing results from employing different methods simultaneously. This reliance on a single method may impact the accuracy of the selection. Thus, this study selects four prominent MCDM methods consist of WPM, TOPSIS, COPRAS, and ELECTRE to represent three categories of MCDM. These methods are applied to the problem of selecting a formwork system. Although all four methods suggest that aluminum formwork is the preferred option, the ranking results of different MCDM methods have been inconsistent. Therefore, a sensitivity analysis was conducted to examine the sensitivity of MCDM methods when the weights of criteria are changed. The analysis results also indicate that TOPSIS and COPRAS are two suitable methods for formwork system selection problem due to several prominent advantages over other methods.

Keywords: Multi-criteria decision-making; formwork system selection; AHP; WPM; TOPSIS; COPRAS; ELECTRE.

1. GIỚI THIỆU

Ra quyết định đa tiêu chí (Multi-Criteria Decision Making - MCDM) là một trong những vấn đề ra quyết định phổ biến nhằm xác định phương án tốt nhất trong số các phương án so sánh bằng cách xem xét trên nhiều tiêu chí đánh giá khác nhau [1]. Trên thế giới, các phương pháp MCDM đã nhận được sự quan tâm từ rất lâu và phát triển đáng kể qua những năm gần đây trong nhiều lĩnh vực. Trong lĩnh vực xây dựng, việc nghiên cứu áp dụng các phương pháp MCDM cũng đang có sự phát triển đáng kể. Các phương pháp

MCDM được áp dụng để hỗ trợ quyết định trong các quy trình quản lý dự án, lựa chọn nhà thầu, đánh giá tác động môi trường hay tối ưu hóa thiết kế công trình xây dựng [2] [3]. Tuy nhiên, tại Việt Nam, hiện mới chỉ có một số ít các bài báo và đề tài nghiên cứu vận dụng các phương pháp MCDM để giải quyết các vấn đề liên quan đến so sánh và lựa chọn phương án kỹ thuật [4][5]. Tuy nhiên, trong lĩnh vực xây dựng thì các phương pháp MCDM mới được áp dụng một cách rất hạn chế. Mới chỉ có một số nghiên cứu vận dụng phương pháp AHP để giải quyết các vấn đề như lựa chọn loại hợp đồng, lựa

chọn nhà cung cấp vật liệu,... [5][6]. Điểm chung của các nghiên cứu này là mới chỉ áp dụng riêng lẻ một phương pháp MCDM để giải quyết bài toán chứ chưa có sự so sánh kết quả lựa chọn phương án khi áp dụng đồng thời nhiều phương pháp khác nhau. Điều này dẫn tới sự chính xác của việc lựa chọn phương án phụ thuộc rất nhiều vào phương pháp MCDM được áp dụng và tính thuyết phục chưa cao.

Công tác ván khuôn là một trong những hạng mục chi phí lớn của quá trình thi công xây dựng [7]. Bên cạnh đó, giải pháp công nghệ ván khuôn được lựa chọn cũng sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến các khía cạnh quan trọng khác của dự án như năng suất, chất lượng và an toàn. Đa số các bài toán lựa chọn giải pháp công nghệ ván khuôn vẫn luôn được coi là một vấn đề ra quyết định đa tiêu chí tiêu biểu [8]. Do vậy, bài toán so sánh, lựa chọn giải pháp công nghệ ván khuôn trong quá trình thi công phần thân của công trình nhà cao tầng trên quan điểm của nhà thầu thi công sẽ được lựa chọn để phân tích, đánh giá trong nghiên cứu này thông qua các phương pháp MCDM tiêu biểu. Kết quả xếp hạng của các phương án so sánh sẽ được tổng hợp và phân tích nhằm nâng cao tính chính xác, khoa học và dễ dàng khi áp dụng của các phương pháp MCDM trong thực tế cũng như nghiên cứu khoa học.

2. PHƯƠNG PHÁP RA QUYẾT ĐỊNH ĐA TIÊU CHÍ

2.1. Các bước thực hiện bài toán ra quyết định đa tiêu chí

Quá trình ra quyết định đa tiêu chí bao gồm năm giai đoạn chính như sau [9]:

Bước 1. Xác định vấn đề, đưa ra các phương án so sánh và thiết lập các tiêu chí đánh giá: mọi bài toán MCDM cần bắt đầu bằng việc xác định rõ ràng vấn đề, lựa chọn các phương án so sánh. Sau đó là để xuất ra hệ tiêu chí đánh giá.

Bước 2. Xác định trọng số cho các tiêu chí đánh giá: trọng số cho thấy tầm quan trọng tương đối của các tiêu chí trong vấn đề đa tiêu chí đang được xem xét.

Bước 3. Xây dựng ma trận đánh giá (X): (X) là một ma trận cỡ $m \times n$, trong đó các phần tử x_{ij} của ma trận (X) là giá trị đánh giá được đưa ra cho phương án thứ i đối với tiêu chí thứ j ; n là số lượng tiêu chí; m là số lượng phương án.

Bước 4. Lựa chọn phương pháp phù hợp: một phương pháp MCDM phải được lựa chọn và áp dụng cho vấn đề đang được xem xét để xếp hạng các phương án.

Bước 5. Xếp hạng các phương án: thứ tự ưu tiên của các phương án được sắp xếp dựa theo kết quả của phương pháp MCDM.

2.2. Phân loại các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí

Có nhiều cách khác nhau để phân loại các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí. Tuy nhiên, để thấy rõ được những đặc điểm riêng biệt của từng nhóm phương pháp thì ta có thể phân loại theo 03 nhóm như sau [10]:

Nhóm các phương pháp cơ bản: đặc điểm chung của nhóm phương pháp này là thường được thiết kế đơn giản và dễ triển khai. Các phương pháp cơ bản này thường ưu tiên các giải pháp dựa trên một hàm tuyến tính, nghĩa là các đánh giá và trọng số được áp dụng một cách tuyến tính cho các tiêu chí và giải pháp. Ví dụ: phương pháp WSM, phương pháp WPM,...

Nhóm các phương pháp sử dụng chỉ tiêu tổng hợp: đặc điểm chung của nhóm này là việc ra quyết định sẽ được thực hiện thông qua 1 chỉ tiêu tổng hợp cụ thể. Các phương pháp này giúp mô hình hóa quyết định và tạo ra một cách tiếp cận hệ thống hóa, giúp tăng cường sự rõ ràng và minh bạch trong quá trình đưa ra quyết định. Ví dụ phương pháp AHP, TOPSIS, COPRAS,...

Nhóm các phương pháp xếp hạng thứ tự ưu tiên: đặc điểm chung của nhóm phương pháp này là việc ra quyết định sẽ được quyết

định theo sự ưu tiên giữa các phương án dựa trên nhiều tiêu chí khác nhau. Chúng thường đưa ra kết quả trong dạng so sánh mức độ ưu tiên giữa các cặp phương án. Ví dụ: phương pháp ELECTRE, PROMETHEE,...

2.3. Nội dung phương pháp ra quyết định đa tiêu chí phổ biến

Trong nghiên cứu này, tác giả sẽ lựa chọn ra các phương pháp MCDM được sử dụng phổ biến nhất của mỗi nhóm phương pháp để đưa vào tính toán và phân tích. Đồng thời, do giới hạn về độ dài của bài báo nên tác giả chỉ trình bày các nội dung cơ bản và một số đặc điểm nổi bật của các phương pháp. Còn lại, cơ sở lý luận chi tiết và phương pháp xử lý số liệu cụ thể của mỗi phương pháp có thể được tìm thấy thông qua phần tài liệu tham khảo được trích dẫn kèm theo.

a. Phương pháp tích trọng số (WPM)

Để so sánh giữa hai phương án A_K và A_L , ta có thể áp dụng công thức (1) [11]:

$$R_{(A_K/A_L)} = \prod_{j=1}^n (x_{Kj} / x_{Lj})^{W_j} \quad (1)$$

Trong đó: n là số tiêu chí; x_{Kj} và x_{Lj} lần lượt là giá trị thực của phương án thứ k và l theo tiêu chí thứ j ; w_j là trọng số của tiêu chí thứ j . Nếu $R_{(A_K/A_L)} \geq 1$, thì nó chỉ ra rằng A_K là phương án tốt hơn so với A_L (trong trường hợp hàm mục tiêu là tối đa hóa).

b. Phương pháp TOPSIS

Phương pháp TOPSIS lựa chọn phương án dựa trên việc xem xét khoảng cách của phương án đó tới phương án lý tưởng nhất và phương án tối tệ nhất theo một số ý nghĩa hình học qua các bước sau [12]:

Bước 1: Chuẩn hóa ma trận quyết định (R).

Bước 2: Xây dựng ma trận chuẩn hóa có trọng số: (V) = (W).(R).

Bước 3: Xác định phương án lý tưởng nhất (A^*) và phương án tối tệ nhất (A^-) theo công thức (2), (3).

$$A^* = \{(\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J')\} = \{v_{1*}, v_{2*}, \dots, v_{n*}\} \quad (2)$$

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J')\} = \{v_{1-}, v_{2-}, \dots, v_{n-}\} \quad (3)$$

Trong đó: J gắn với các chỉ tiêu về lợi ích; J' gắn với các chỉ tiêu về chi phí, thiệt hại.

Bước 4: Tính toán độ phân tán: khoảng cách của từng phương án với (A^*) và (A^-) theo công thức (4), (5).

$$S_{j*} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_{j*})^2} \quad (4)$$

$$S_{j-} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_{j-})^2} \quad (5)$$

Bước 5: Tính toán độ gần tương đối so với phương án tối tệ nhất và xếp hạng phương án: Độ gần tương đối của phương án A_i so với A^- được xác định theo công thức (6):

$$C_i^* = \frac{S_{i-}}{S_{i*} + S_{i-}} \quad (6)$$

Phương án tốt nhất là phương án có giá trị C_i^* lớn nhất.

c. Phương pháp COPRAS

Phương pháp COPRAS được đề xuất bởi các tác giả Zavadskas và Kaklauskas [13]. Hai bước đầu tiên của phương pháp này cũng được thực hiện tương tự với phương pháp TOPSIS, bao gồm Chuẩn hóa ma trận quyết định và Xây dựng ma trận chuẩn hóa có trọng số. Tiếp theo, các giá trị P_i và R_i được xác định theo công thức (7), (8) [13].

$$P_i = \frac{1}{|B|} \sum_{j \in B} V_{ij} \quad (7)$$

$$R_i = \frac{1}{|NB|} \sum_{j \in NB} V_{ij} \quad (8)$$

Trong đó, B tương ứng với số tiêu chí càng lớn càng tốt và NB tương ứng với số tiêu chí càng nhỏ càng tốt. Các phương án được xếp hạng theo nguyên tắc phương án tốt nhất là phương án có Q_i lớn nhất, với Q_i được xác định theo công thức (9) [13].

$$Q_i = P_i + \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{R_i \times \sum_{i=1}^m \frac{1}{R_i}} \quad (9)$$

d. Phương pháp ELECTRE

Khái niệm cơ bản của phương pháp ELECTRE là xử lý "mối quan hệ hơn cấp" bằng cách sử dụng so sánh theo cặp giữa các phương án theo từng tiêu chí riêng biệt qua các bước sau [14]:

Bước 1 và Bước 2: tương tự như phương pháp TOPSIS.

Bước 3: Xác định tập phù hợp và tập không phù hợp: tập phù hợp (C_{kl}) và tập không phù hợp (D_{kl}) được định nghĩa theo công thức (10) và (11).

$$C_{kl} = \{j, v_{kj} \geq v_{lj}\} \quad (10)$$

$$D_{kl} = \{j, v_{kj} < v_{lj}\} \quad (11)$$

Bước 4: Lập ma trận phù hợp (C) và không phù hợp (D): giá trị tương đối của các phần tử trong ma trận phù hợp (C) và ma trận không phù hợp (D) được xác định theo công thức (12), (13).

$$c_{kl} = \sum_{j \in C_{kl}} w_j \quad (12)$$

$$d_{kl} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} |v_{kj} - v_{lj}|}{\max_j |v_{kj} - v_{lj}|} \quad (13)$$

Bước 5: Xác định ma trận trội phù hợp và không phù hợp

Dựa trên ngưỡng giá trị $\underline{c}$, các thành phần của ma trận trội phù hợp (F) sẽ được xác định theo điều kiện: $f_{kl}=1$, nếu $c_{kl} \geq \underline{c}$ và $f_{kl}=0$, nếu $c_{kl} < \underline{c}$. Tương tự, ma trận trội không phù hợp (G) được xác định thông qua ngưỡng giá trị $\underline{d}$: $g_{kl}=1$, nếu $d_{kl} \leq \underline{d}$ và $g_{kl}=0$, nếu $d_{kl} > \underline{d}$.

Bước 6: Xác định ma trận trội tổng: ma trận trội tổng (E) xác định theo công thức (14).

$$e_{kl} = f_{kl} \times g_{kl} \quad (14)$$

Bảng 2. Ma trận chuẩn hóa có trọng số và tính toán khoảng cách theo phương pháp TOPSIS

								S*	S-	C*
A ₁	0,101	0,178	0,026	0,003	0,118	0,045	0,078	1,274	1,283	0,5017
A ₂	0,098	0,222	0,023	0,019	0,127	0,034	0,060	1,273	1,283	0,5021
A ₃	0,071	0,200	0,030	0,025	0,160	0,036	0,055	1,402	1,425	0,5041
A*	0,071	0,178	0,030	0,025	0,160	0,045	0,078	-	-	-
A-	0,101	0,222	0,023	0,003	0,118	0,034	0,055	-	-	-

Bước 7: Loại bỏ các phương án kém hiệu quả

Dựa trên ma trận trội tổng, người ta có thể rút ra thứ tự ưu tiên của các phương án. Nếu $e_{kl}=1$, thì điều này có nghĩa là phương án A_k được ưu tiên hơn so với phương án A_l bằng cách sử dụng cả tiêu chí phù hợp và không phù hợp.

3. ÁP DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP RA QUYẾT ĐỊNH ĐA TIÊU CHÍ CHO BÀI TOÁN LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN VÁN KHUÔN

3.1. Xác định vấn đề, đưa ra các phương án so sánh, hệ tiêu chí đánh giá và xây dựng ma trận đánh giá của bài toán

Nghiên cứu này áp dụng các phương pháp MCDM khác nhau để xử lý bài toán MCDM về so sánh, lựa chọn giải pháp công nghệ ván khuôn trong quá trình thi công phần kết cấu thân các công trình nhà cao tầng. Các số liệu đầu vào của bài toán đã được khảo sát và thu thập từ thực tế quá trình thi công tại các công trình xây dựng nhà cao tầng trong một nghiên cứu trước đây của tác giả [15]. Do đây là các thông tin đã có sẵn và do giới hạn về độ dài của bài báo nên tác giả sẽ chỉ trình bày tóm tắt lại các kết quả chính của nghiên cứu trước đó, bao gồm các phương án, hệ tiêu chí đánh giá và trọng số của các tiêu chí.

Trong nghiên cứu trên, tác giả đã thành lập một tổ chuyên gia gồm 08 thành viên. Sau khi xem xét các mục tiêu, ràng buộc và điều kiện cụ thể trong quá trình thi công nhà cao tầng hiện nay, tổ chuyên gia đề xuất các phương án so sánh bao gồm: Ván khuôn gỗ ép phủ phim (A₁); Ván khuôn thép (A₂) và Ván khuôn nhôm (A₃) [15]. Hệ tiêu chí đánh giá cuối cùng của bài toán bao gồm 07 tiêu chí: Chu kỳ chuyển tầng (C₁), Giá thành thi công (C₂), Sự an toàn trong thi công (C₃), Số lần luân chuyển (C₄), Chất lượng bề mặt hoàn thiện bê tông (C₅), Khả năng thích ứng và tính linh hoạt với kích thước cấu kiện (C₆), Sự sẵn có của ván khuôn (C₇) [15]. Cũng trong nghiên cứu trên, phương pháp AHP đã được tác giả vận dụng để xác định trọng số cho hệ tiêu chí đánh giá [15]. Vector trọng số của hệ tiêu chí là $W=(0,158; 0,349; 0,046; 0,032; 0,236; 0,067; 0,113)$ [15]. Cuối cùng, ma trận đánh giá của bài toán (X) được xây dựng và tổng hợp trong Bảng 1 [15].

Bảng 1. Ma trận đánh giá của bài toán

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
	ngày	điểm	điểm	lần	điểm	điểm	điểm
A ₁	7,3	73	86	8	71	96	98
A ₂	7,1	91	75	72	76	73	75
A ₃	5,1	82	98	98	96	76	69

3.2. Vận dụng các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí để xếp hạng phương án

a. Phương pháp WPM

Áp dụng công thức (1), ta có: $R_{(A_1/A_2)} = 1,043$; $R_{(A_2/A_3)} = 0,853$; $R_{(A_1/A-3)} = 0,889$. Qua đó, thứ tự ưu tiên của các phương án như sau: $A_3 > A_1 > A_2$.

b. Phương pháp TOPSIS

Áp dụng các công thức (2) ÷ (6), ta có kết quả tính toán được tổng hợp trong Bảng 2.

Thông qua chỉ tiêu C^* có thể thấy rằng thứ tự ưu tiên của các phương án như sau: $A_3 > A_2 > A_1$.

c. Phương pháp COPRAS

Áp dụng các công thức (7) ÷ (9), ta có kết quả tính toán được tổng hợp trong Bảng 3.

Thông qua chỉ tiêu Q_i có thể thấy rằng thứ tự ưu tiên của các phương án như sau: $A_3 > A_1 > A_2$.

Bảng 3. Tổng hợp kết quả tính toán theo phương pháp COPRAS

	P_i	R_i	Q_i
A_1	0,054	0,140	0,204
A_2	0,053	0,160	0,183
A_3	0,061	0,136	0,216

d. Phương pháp ELECTRE

Áp dụng các công thức (10) ÷ (14), ta có kết quả tính toán được tổng hợp trong Bảng 4.

Bảng 4. Tổng hợp các ma trận tính toán theo phương pháp ELECTRE

Ma trận phù hợp (C)			Ma trận không phù hợp (D)			Ma trận trội phù hợp (F)			Ma trận trội không phù hợp (G)			Ma trận trội tổng (E)		
-	0,575	0,529	-	0,378	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0
0,425	-	0,113	1	-	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0,471	0,887	-	0,557	0,144	-	0	1	0	1	1	1	0	1	0

Thông qua ma trận trội tổng hợp (E) có thể thấy rằng phương án A_1 và A_3 được đánh giá ưu tiên hơn so với phương án A_2 . Không có khẳng định nào về thứ tự ưu tiên giữa 2 phương án A_1 và A_3 . Do đó, tự ưu tiên của các phương án như sau: $A_3, A_1 > A_2$.

Kết quả xếp hạng các phương án được tổng hợp tại Bảng 5.

Bảng 5. Tổng hợp kết quả xếp hạng các phương án khi áp dụng các phương pháp MCDM khác nhau

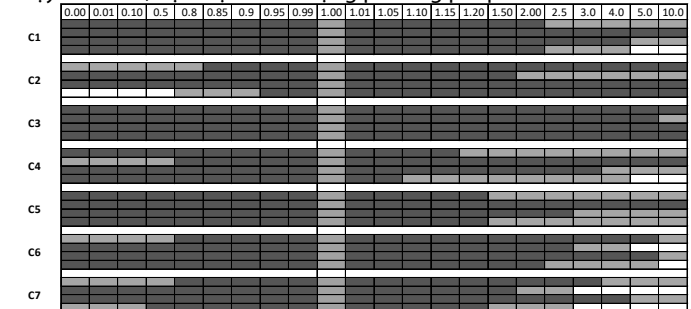
Phương án	WPM	TOPSIS	COPRAS	ELECTRE
A_1	2	3	2	1
A_2	3	2	3	3
A_3	1	1	1	1

4. PHÂN TÍCH ĐỘ NHAY

Kết quả xếp hạng của bài toán MCDM phụ thuộc rất nhiều vào bản chất của các tiêu chí và đặc biệt là sự phân bố trọng số giữa các tiêu chí. Trọng số của các tiêu chí thường được xác định dựa trên ý kiến của các chuyên gia nên nó thường mang nhiều ý nghĩa chủ quan và có thể thay đổi tương ứng. Do đó, các phân tích về độ nhạy cần được thực hiện.

Phân tích độ nhạy sẽ được thực hiện để xem xét sự thay đổi thứ hạng của các phương án tương ứng với sự thay đổi của trọng số. Đầu tiên, giá trị trọng số được điều chỉnh bằng cách tăng hoặc giảm n lần ($n=0 \div 10$). Kết quả phân tích độ nhạy của từng tiêu chí riêng lẻ được thể hiện trong Hình 1. Để đảm bảo tổng trọng số của các tiêu chí luôn bằng 1, trọng số của các tiêu chí còn lại sẽ phải giảm đi khi mà trọng số của tiêu chí đang phân tích được tăng lên và ngược lại. Trong Hình 1, các ô màu xanh đậm cho biết thứ hạng các phương án không thay đổi sau khi điều chỉnh trọng số, các thanh màu xanh nhạt cho biết thứ hạng của 2 phương án đã bị thay đổi. Còn lại, các thanh màu trắng cho biết thứ hạng của cả 3 phương án đã bị thay

đổi. Mỗi tiêu chí được phân tích lần lượt bằng bốn phương pháp WPM, TOPSIS, COPRAS và ELECTRE. Kết quả phân tích cho thấy tiêu chí C_3 có độ nhạy thấp nhất. Các tiêu chí C_1 và C_5 tương đối ổn định khi trọng số thay đổi. Trong khi đó, các tiêu chí C_2, C_4, C_6 và C_7 có độ nhạy lớn nhất, đặc biệt khi sử dụng phương pháp ELECTRE.



Hình 1. Phân tích độ nhạy khi trọng số của các tiêu chí thay đổi

Đối với các phương pháp MCDM, hệ số độ nhạy của các phương pháp được tính toán và tổng hợp trong Bảng 6. Trong đó, khi trọng số bị thay đổi nếu thứ hạng không thay đổi thì hệ số độ nhạy bằng 0, nếu thứ hạng của phương án này tăng thì thứ hạng của phương án khác sẽ giảm, do đó hệ số nhạy bằng 2. Cụ thể, khi tăng/ giảm trọng số của các tiêu chí 10%, kết quả phân tích cho thấy thứ tự xếp hạng các phương án không có bất kỳ thay đổi nào khi áp dụng phương pháp WSM, TOPSIS, COPRAS và có thay đổi nhỏ khi áp dụng phương pháp ELECTRE. Ngược lại, khi trọng số của các tiêu chí được tăng/ giảm 50% thì phương pháp WPM và phương pháp ELECTRE có thứ tự xếp hạng bị thay đổi nhiều nhất. Phương pháp COPRAS và TOPSIS cho thấy độ nhạy thấp với sự thay đổi của trọng số. Đặc biệt, kết quả xếp hạng hoàn toàn không bị thay đổi khi áp dụng phương pháp COPRAS.

Bảng 6. Hệ số độ nhạy của các phương pháp MCDM

Tỷ lệ thay đổi trọng số	-10%			+10%			-50%			+50%		
Hệ số độ nhạy	0	2	3	0	2	3	0	2	3	0	2	3
WPM	7	0	0	7	0	0	5	2	0	6	1	0
TOPSIS	7	0	0	7	0	0	6	1	0	7	0	0
COPRAS	7	0	0	7	0	0	7	0	0	7	0	0
ELECTRE	6	1	0	6	1	0	6	0	1	5	2	0

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bài báo đã sử dụng 04 phương pháp MCDM khác nhau để so sánh, xếp hạng các giải pháp công nghệ ván khuôn trong thi công nhà cao tầng. Các số liệu được khảo sát và thu thập từ các dự án nhà cao tầng đã và đang thi công. Kết quả tổng hợp cho thấy rằng 02

phương pháp WPM và COPRAS cho ra kết quả xếp hạng giống hệt nhau. Trong khi, phương pháp TOPSIS lại cho ra kết quả xếp hạng của phương án ưu tiên thứ 2 và thứ 3 khác với các phương pháp còn lại. Còn lại, phương pháp ELECTRE lại cho ra kết quả xếp hạng không đầy đủ. Điều này chứng tỏ rằng kết quả của bài toán hoàn toàn có

thể bị thay đổi tùy thuộc vào phương pháp MCDM được lựa chọn để áp dụng. Trong nghiên cứu này, khi mà số lượng phương án đưa vào so sánh còn nhỏ thì sự đồng nhất trong kết quả có thể được đảm bảo nhưng trong các bài toán khác, khi mà số lượng phương án so sánh tăng lên thì sự sai khác trong kết quả khi áp dụng các phương pháp MCDM khác nhau chắc chắn sẽ có sự gia tăng. Nguyên nhân của sự sai khác này có thể được giải thích là do phương pháp tiếp cận và xử lý số liệu khác nhau của mỗi phương pháp. Phương pháp WPM và nhóm các phương pháp cơ bản thường chỉ giải quyết bài toán dựa trên một hàm tuyến tính đơn giản giữa giá trị của các phương án theo từng tiêu chí và trọng số của các tiêu chí tương ứng. Trong khi đó, phương pháp TOPSIS, COPRAS và nhóm các phương pháp sử dụng chỉ tiêu tổng hợp lại so sánh các phương án thông qua một chỉ tiêu tổng hợp, bằng một cách tiếp cận được hệ thống hóa, rõ ràng và minh bạch. Cuối cùng, phương pháp ELECTRE và nhóm các phương pháp xếp hạng thứ tự ưu tiên lại đưa ra kết quả đánh giá bằng cách xếp hạng thứ tự ưu tiên cho các phương án bằng cách so sánh theo cặp các phương án theo từng tiêu chí đánh giá.

Quá trình vận dụng các phương pháp MCDM đã cho thấy rằng phương pháp Tích trọng số (WPM) và phương pháp COPRAS là hai phương pháp tương đối đơn giản, dễ sử dụng do số lượng bước tính toán ít, dễ dàng áp dụng công cụ hỗ trợ để tính toán tự động. Ngược lại, ELECTRE được coi là phương pháp phức tạp nhất do quá trình so sánh hơn cấp giữa từng tiêu chí và từng phương án làm cho số lượng bước tính toán rất lớn, khó có thể tự động hóa. Đặc biệt, khi mà số lượng các phương án so sánh tăng lên sẽ làm cho số lượng phép toán tăng lên tương ứng theo cấp số mũ, khiến cho việc xử lý số liệu rất vất vả và mà kết quả xếp hạng thu được đôi khi lại không đầy đủ. Sự phức tạp của một số phương pháp MCDM có thể gây khó khăn và cản trở trong việc áp dụng chúng vào thực tế. Hơn nữa, một số nghiên cứu cũng đã chỉ ra rằng các phương pháp đơn giản hơn lại thường có hiệu quả cao hơn so với các phương pháp phức tạp [16].

Đặc điểm chung của các bài toán lựa chọn phương án ván khuôn là thường có hệ tiêu chí đánh giá với số lượng lớn. Trong đó có nhiều tiêu chí không thể đo đếm trực tiếp bằng các đơn vị đo thông thường mà phải đánh giá một cách tương đối thông qua phương pháp cho điểm. Đồng thời, việc xác định chính xác trọng số của các tiêu chí cũng gặp nhiều khó khăn do mối liên hệ phức tạp và đôi khi không rõ ràng giữa các tiêu chí. Mặc dù có thể thấy rằng không có phương pháp nào trong số 04 phương pháp này cho thấy sự vượt trội đáng kể so với các phương pháp còn lại, nhưng qua quá trình vận dụng tính toán và phân tích độ nhạy có thể thấy rằng COPRAS và TOPSIS sẽ là những phương pháp phù hợp để áp dụng cho bài toán lựa chọn giải pháp công nghệ ván khuôn. Phân tích độ nhạy đã cho thấy rằng COPRAS và TOPSIS tương đối ổn định trước sự thay đổi của trọng số tiêu chí. Phương pháp COPRAS cho thấy sự minh bạch, dễ sử dụng và tính toán nhanh chóng. Trong khi đó, phương pháp TOPSIS lại có cơ sở lý luận rõ ràng, tin cậy và trực quan thông qua khoảng cách Euclide. Ngược lại, phương pháp WPM và ELECTRE lại cho thấy sự thiếu ổn định khi mà trọng số của các tiêu chí thay đổi. Đồng thời, WPM cho thấy độ tin cậy thấp và sự phụ thuộc quá lớn vào trọng số tiêu chí. Trong khi đó, ELECTRE lại có các bước xử lý số liệu quá phức tạp, đặc biệt là trong trường hợp có số lượng tiêu chí lớn như bài toán lựa chọn phương án ván khuôn.

Cả 04 phương pháp MCDM được áp dụng đều chỉ ra rằng ván khuôn nhôm là giải pháp công nghệ cần được ưu tiên lựa chọn khi so sánh với 02 giải pháp ván khuôn còn lại trong quá trình thi công phần thân của công trình nhà cao tầng. Trong đó, nếu chỉ đơn thuần đánh giá dựa trên trọng số của các tiêu chí thì *Giá thành thi công* được coi là tiêu chí có ảnh hưởng lớn nhất đến quyết định lựa chọn

giải pháp công nghệ ván khuôn. Kết quả này cũng hoàn toàn phù hợp với thực tế thi công khi mà chi phí vẫn luôn là khía cạnh được quan tâm hàng đầu trong quá trình đầu tư xây dựng. Ngoài ra hai yếu tố đại diện cho khía cạnh chất lượng (Chất lượng bề mặt bê tông) và khía cạnh thời gian (Chu kỳ chuyển tầng) cũng được đánh giá là có vai trò quyết định đến việc lựa chọn phương án. Tuy nhiên, khi tiến hành phân tích độ nhạy của các tiêu chí, ta lại thấy rằng một số tiêu chí mặc dù có trọng số nhỏ nhưng lại có độ nhạy rất lớn đối với kết quả của bài toán lựa chọn phương án ván khuôn đó là *Sự sẵn có của ván khuôn*, *Số lần luân chuyển*, *Khả năng thích ứng*, *tính linh hoạt với kích thước cấu kiện* và *Giá thành thi công*. Ngoài số lần luân chuyển lớn là ưu điểm đặc trưng chung của các loại ván khuôn kim loại thì có thể thấy rằng 03 tiêu chí còn lại đều là những nhược điểm của ván khuôn nhôm so với các loại ván khuôn truyền thống. Các hạn chế này xuất phát chủ yếu từ khía cạnh kỹ thuật và chuỗi cung ứng, đó là thiếu tính linh hoạt và nguồn cung ứng ván khuôn còn chưa đảm bảo.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Xây dựng Hà Nội trong đề tài mã số 39-2023/KHXD.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H. Taherdoost and M. Madanchian, "Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts," *Encyclopedia*, vol. 3, no. 1, pp. 77–87, 2023, doi: 10.3390/encyclopedia3010006.
- [2] P. Pangsi, "Application of the Multi Criteria Decision Making Methods for Project Selection," *Univers. J. Manag.*, vol. 3, no. 1, pp. 15–20, 2015, doi: 10.13189/ujm.2015.030103.
- [3] P. O. Akadiri, P. O. Olomolaiye, and E. A. Chinyio, "Multi-criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects," *Autom. Constr.*, vol. 30, pp. 113–125, 2013, doi: 10.1016/j.autcon.2012.10.004.
- [4] T. T. Thảm, "ỨNG DỤNG MÔ HÌNH FUZZY-TOPSIS ĐÁNH GIÁ CHIẾN LƯỢC QUẢN LÝ CHUỖI CUNG ỨNG: VÍ DỤ ĐIỂN HÌNH TẠI CÔNG TY BIA SÀI GÒN-MIỀN TÂY," *Tạp chí Khoa học công nghệ*, vol. 189, no. 13, pp. 121–128, 2018.
- [5] N. Q. Toàn and N. T. M. Hạnh, "Lựa chọn nhà cung cấp vật liệu cho nhà thầu xây dựng bằng phương pháp AHP," *Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng*, vol. 14, pp. 149–162, 2020.
- [6] N. T. Quân and V. Q. Thắng, "Áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) để lựa chọn loại hợp đồng dự án sử dụng trong dự án thực hiện theo hình thức đối tác công tư," *Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng*, 2015.
- [7] K. N. Jha, "Formwork for concrete structures," *Tata McGraw Hill Educ. Priv. Ltd.*, 2012.
- [8] T. Terzioglu and G. Polat, "Formwork System Selection in Building Construction Projects Using an Integrated Rough AHP-EDAS Approach: A Case Study," *Buildings*, vol. 12, no. 8, 2022, doi: 10.3390/buildings12081084.
- [9] J. R. S. C. Mateo, *Multi-Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry*. Springer London Dordrecht Heidelberg New York, 2012.
- [10] N. Hassan, Z. Kamal, A. S. Moniruzzaman, S. Zulkifli, and B. Yusop, "Weighting Methods and their Effects on Multi- Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management," pp. 1–116, 2015.
- [11] D. W. Miller and M. K. Starr, *Executive Decisions and Operations Research*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc., 1969.
- [12] C.-L. Hwang and K. Yoon, "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications," Springer-Verlag, pp. 16–57, 1981. doi: 10.1007/978-3-642-48318-9_2.
- [13] S. Kildiene, A. Kaklauskas, and E. K. Zavadskas, "COPRAS based comparative analysis of the European country management capabilities within the construction sector in the time of crisis," *J. Bus. Econ. Manag.*, vol. 12, no. 2, pp. 417–434, 2011, doi: 10.3846/16111699.2011.575190.
- [14] R. Benayoun, B. Roy, and N. Sussman, "Manual de Reference du Programme Electre," *Note Synth. Format.*, 1966.
- [15] Nguyễn Việt Hùng, N. T. Anh, V. T. Hòa, L. N. Anh, and T. P. Ninh, "So sánh các giải pháp công nghệ ván khuôn bằng cách vận dụng kết hợp phương pháp AHP và phương pháp TOPSIS," *Tạp chí Kinh tế xây dựng*, 2023.
- [16] M. R. Mahmoud and L. A. Garcia, "Comparison of different multicriteria evaluation methods for the Red Bluff diversion dam," *Environ. Model. Softw.*, vol. 15, no. 5, pp. 471–478, 2000, doi: 10.1016/S1364-8152(00)00025-6.