



Nghiên cứu lựa chọn robot hàn hồ quang sử dụng phương pháp trọng số Entropy

Tạ Việt Cường¹, Nguyễn Đức Minh², Trương Công Giang¹, Trần Ngọc Tiến^{2*}

¹ Khoa Cơ khí, Trường Cao đẳng Kỹ thuật - Công nghệ Vĩnh Phúc

² Trường Cơ khí - Ô tô, Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: tientn@hau.edu.vn

Tóm tắt

Sự phát triển của công nghệ sản xuất tiên tiến khiến robot công nghiệp trở thành một yếu tố không thể thiếu trong nhiều quy trình, đặc biệt trong các nhiệm vụ phức tạp như hàn hồ quang. Việc lựa chọn robot hàn hồ quang phù hợp có ý nghĩa quan trọng, bởi nó ảnh hưởng trực tiếp đến năng suất, chất lượng mối hàn và chi phí vận hành. Tuy nhiên, bài toán lựa chọn này thường gặp khó khăn do sự tồn tại đồng thời của nhiều tiêu chí xung đột. Trước bối cảnh đó, nghiên cứu này đề xuất một khung đánh giá hệ thống dựa trên các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí (MCDM) để hỗ trợ quá trình lựa chọn robot hàn hồ quang. Ba phương pháp MCDM gồm TOPSIS, CODAS và VIKOR được áp dụng để xếp hạng các phương án robot, trong khi trọng số tiêu chí được xác định khách quan bằng kỹ thuật entropy. Kết quả cho thấy ba phương pháp đều cung cấp khả năng phân biệt tốt giữa các lựa chọn, đồng thời mang lại tính nhất quán và độ tin cậy cao trong đánh giá. So sánh kết quả xếp hạng giúp làm rõ những khác biệt trong cơ chế tính toán của từng phương pháp, đồng thời khẳng định tính hữu ích của MCDM trong việc lựa chọn robot hàn hồ quang phù hợp cho từng bối cảnh sản xuất. Nghiên cứu đóng góp về việc ưu tiên lựa chọn robot thông qua phân tích bằng kỹ thuật MCDM, cung cấp cơ sở tham khảo cho các nhà quản lý và kỹ sư trong sử dụng robot công nghiệp.

Từ khóa: Robot công nghiệp, robot hàn hồ quang, phương pháp MCDM, trọng số entropy.

Abstract

The development of advanced manufacturing technologies has made industrial robots an indispensable element in many processes, especially in complex tasks such as arc welding. Selecting an appropriate arc welding robot is of great importance, as it directly affects productivity, weld quality, and operating costs. However, this selection problem is often challenging due to the simultaneous presence of multiple conflicting criteria. In this context, this study proposes a systematic evaluation framework based on multi-criteria decision-making (MCDM) methods to support the selection of arc welding robots. Three MCDM methods (TOPSIS, CODAS, and VIKOR) are applied to rank the robot alternatives, while the criteria weights are objectively determined using the entropy technique. The results show that all three methods provide good discriminatory power among the alternatives and deliver high consistency and reliability in the evaluation. A comparison of the ranking results helps clarify the



differences in the computational mechanisms of each method and confirms the usefulness of MCDM in selecting suitable arc welding robots for specific manufacturing contexts. This study contributes to prioritizing robot selection through MCDM-based analysis, providing a valuable reference for managers and engineers in the application of industrial robots.

Keywords: *Industrial robots, arc welding robots, MCDM methods, entropy weighting.*

1. MỞ ĐẦU

Hàn là một trong những ứng dụng quan trọng nhất trong các ngành sản xuất và robot hàn công nghiệp đang trở thành lựa chọn phổ biến trong bối cảnh tự động hóa ngày càng phát triển. Trong đó, robot hàn hồ quang được sử dụng rộng rãi trong chế tạo kết cấu thép và sản xuất công nghiệp nhờ khả năng thực hiện các đường hàn dài, liên tục và có độ chính xác cao [1]. Các robot này có thể được lập trình để xử lý những cấu trúc hình học phức tạp, giúp cải thiện đáng kể năng suất, độ ổn định và chất lượng môi hàn so với phương pháp truyền thống. Hơn nữa, sự đa dạng về chủng loại, thông số kỹ thuật và hiệu năng của các loại robot hàn trên thị trường hiện nay đặt ra nhu cầu cấp thiết về một phương pháp đánh giá và lựa chọn mang tính hệ thống. Điều này đặc biệt quan trọng trong bối cảnh các nhà sản xuất phải cân nhắc đồng thời nhiều tiêu chí như độ chính xác, tốc độ hàn, khả năng lặp lại, chi phí đầu tư, tuổi thọ thiết bị và tính tương thích với dây chuyền sản xuất [2]. Vì vậy, việc áp dụng các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí (MCDM) trở thành giải pháp phù hợp để hỗ trợ lựa chọn robot hàn hồ quang tối ưu cho từng điều kiện sản xuất cụ thể [3]. Các kỹ thuật MCDM khác nhau đã được áp dụng để giải quyết sự phức tạp trong việc lựa chọn đối tượng [4]. Phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) [5], PROMETHEE [6] và VIKOR [7] là những phương pháp đã được sử dụng, đặc biệt trong các nhiệm vụ nhất và đặt với nhiều phương án và tiêu chí được đánh giá [8]. Những phương pháp này giúp người ra quyết định so sánh một cách hệ thống các robot khác nhau dựa trên cấu trúc thứ bậc của các tiêu chí và tiêu chí con, cho phép quá trình lựa chọn trở nên thông tin hơn và hợp lý hơn. Các phương pháp dựa trên khoảng cách như kỹ thuật xếp hạng ưu tiên theo tương đồng với giải pháp lý tưởng (TOPSIS) [9] và đánh giá dựa trên khoảng cách kết hợp (CODAS) [10] cũng đã được phát triển để chọn robot công nghiệp tốt nhất bằng cách xem xét các khía cạnh như hiệu suất, chất lượng và chi phí. Những phương pháp này xếp hạng các lựa chọn dựa trên



khoảng cách của chúng đến giải pháp lý tưởng, cung cấp một chỉ số rõ ràng để so sánh. Mặc dù có nhiều nghiên cứu về việc lựa chọn robot sử dụng các kỹ thuật MCDM, việc áp dụng các phương pháp này trong việc lựa chọn robot cụ thể cho hàn hồ quang còn ít được khám phá. Hàn hồ quang đặt ra những thách thức và yêu cầu như độ chính xác, khả năng thích ứng, độ lặp lại,... Các phương pháp ra quyết định phù hợp với những nhu cầu cụ thể này là cần thiết để xác định robot phù hợp nhất cho các ứng dụng hàn hồ quang. Bên cạnh đó, phương pháp trọng số entropy là một công cụ có giá trị khác trong quá trình ra quyết định, vì nó tính toán trọng số tiêu chí dựa trên tính biến thiên của dữ liệu mà không dựa vào đầu vào chủ quan từ người ra quyết định [11]. Cách tiếp cận trọng số khách quan này đảm bảo tầm quan trọng của mỗi tiêu chí được xác định bởi thông tin vốn có trong dữ liệu, giảm thiểu các thiên vị tiềm ẩn.

Trong nghiên cứu này, các phương pháp TOPSIS, CODAS, VIKOR kết hợp với phương pháp trọng số entropy được sử dụng để chọn robot hàn hồ quang phù hợp nhất. Cách tiếp cận này cho phép đánh giá toàn diện các robot có sẵn bằng cách xem xét nhiều tiêu chí hiệu suất và xác định một cách khách quan trọng số của các tiêu chí. Bằng cách áp dụng phương pháp này, các nhà quyết định có thể đưa ra lựa chọn thông tin robot phù hợp với yêu cầu cụ thể của quá trình hàn hồ quang, cuối cùng dẫn đến cải thiện chất lượng hàn và hiệu quả hoạt động.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Phương pháp trọng số entropy

Các bước của phương pháp được mô tả như sau:

Bước 1: Chuẩn hoá ma trận quyết định. Giả sử ma trận quyết định có m phương án và n tiêu chí:

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} \quad (1)$$

Ta chuẩn hóa dữ liệu bằng cách sau. Nếu tiêu chí là dạng lợi ích (càng lớn càng tốt):

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2)$$

Nếu tiêu chí là dạng chi phí (càng nhỏ càng tốt):



$$p_{ij} = \frac{1/x_{ij}}{\sum_{i=1}^m (1/x_{ij})} \quad (3)$$

Kết quả p_{ij} là ma trận phân phối xác suất cho từng tiêu chí.

Bước 2: Tính giá trị entropy của từng tiêu chí. Ta có công thức entropy:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (4)$$

Trong đó:

$$k = \frac{1}{\ln(m)} \quad (5)$$

Lưu ý: nếu $p_{ij} = 0$ quy ước $p_{ij} \ln(p_{ij}) = 0$. Khi E_j càng lớn thì dữ liệu càng đồng đều dẫn đến thông tin thấp. Ngược lại, khi E_j càng nhỏ thì độ phân tán lớn dẫn đến thông tin cao.

Bước 3: Tính mức độ đa dạng thông tin.

$$d_j = 1 - E_j \quad (6)$$

Bước 4: Tính trọng số entropy.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (7)$$

Trọng số w_j thỏa mãn: $0 \leq w_j \leq 1, \sum w_j = 1$.

2.2. Phương pháp TOPSIS

Các bước của phương pháp TOPSIS được thực hiện như sau:

Bước 1: Xây dựng ma trận quyết định.

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} \quad (8)$$

Trong đó: m là số phương án, n là số tiêu chí, x_{ij} là giá trị phương án i theo tiêu chí j .

Bước 2: Chuẩn hóa ma trận quyết định.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (9)$$

Bước 3: Tạo ma trận quyết định có trọng số. Giả sử trọng số tiêu chí được cho bởi:



$$w = (w_1, w_2, \dots, w_n), \sum w_j = 1 \quad (10)$$

Khi đó ma trận trọng số:

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (11)$$

Bước 4: Xác định nghiệm lý tưởng dương (PIS) và âm (NIS). Nếu tiêu chí là dạng lợi ích:

$$A^+ = \{\max (v_{ij}) \mid j = 1..n\} \quad (12)$$

$$A^- = \{\min (v_{ij}) \mid j = 1..n\} \quad (13)$$

Nếu tiêu chí là dạng chi phí:

$$A^+ = \{\min (v_{ij}) \mid j = 1..n\} \quad (14)$$

$$A^- = \{\max (v_{ij}) \mid j = 1..n\} \quad (15)$$

Bước 5: Tính khoảng cách Euclid đến nghiệm lý tưởng. Khoảng cách tới PIS và NIS lần lượt được cho bởi:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^+)^2} \quad (16)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^-)^2} \quad (17)$$

Bước 6: Tính chỉ số tương đối (độ gần gũi). Độ gần gũi của phương án i được cho bởi:

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (18)$$

Trong đó: $C_i \in [0,1]$, C_i càng gần 1 thì phương án đó càng tốt.

Bước 7: Xếp hạng các phương án. Sắp xếp các phương án theo thứ tự giảm dần của C_i . Phương án có giá trị C_i lớn nhất là phương án tốt nhất theo TOPSIS.

2.3. Phương pháp CODAS

Phương pháp CODAS được thực hiện theo các bước dưới đây.

Bước 1: Xây dựng ma trận quyết định. Thực hiện tương tự như phương pháp TOPSIS.

Bước 2: Chuẩn hóa ma trận quyết định:



$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})}, & \text{tiêu chí lợi ích} \\ \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}}, & \text{tiêu chí chi phí} \end{cases} \quad (19)$$

Bước 3: Tạo ma trận có trọng số. Ma trận trọng số được cho bởi:

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (20)$$

Bước 4: Xác định giải pháp lý tưởng. Đối với tiêu chí lợi ích:

$$A_j^* = \begin{cases} \max(v_{ij}), & \text{tiêu chí lợi ích} \\ \min(v_{ij}), & \text{tiêu chí chi phí} \end{cases} \quad (21)$$

Bước 5: Tính khoảng cách Euclidean theo (22) và Taxicab theo (23).

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (A_j^* - v_{ij})^2} \quad (22)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^n |A_j^* - v_{ij}| \quad (23)$$

Bước 6: Ma trận đánh giá tương quan giữa các phương án:

$$H_{ij} = (E_i - E_j) + \tau \cdot \text{sgn}(T_i - T_j) \quad (24)$$

Trong đó: $\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & x > \tau \\ 0 & |x| \leq \tau \text{ và lấy giá trị } \tau = 0.02 \\ -1 & x < -\tau \end{cases}$

Bước 7: Tính điểm tổng hợp CODAS

$$H_i = \sum_{j=1}^m H_{ij} \quad (25)$$

Phương án có H_i lớn nhất là phương án tốt nhất.

2.4. Phương pháp VIKOR

Các bước của VIKOR được thực hiện như sau:

Bước 1: Xác định giá trị lý tưởng và phản lý tưởng. Trong trường hợp lý tưởng (tốt nhất) ta tính:

$$f_j^* = \begin{cases} \max(x_{ij}), & \text{tiêu chí lợi ích} \\ \min(x_{ij}), & \text{tiêu chí chi phí} \end{cases} \quad (26)$$

Phản lý tưởng (tồi nhất):



$$f_j^- = \begin{cases} \min(x_{ij}), & \text{tiêu chí lợi ích} \\ \max(x_{ij}), & \text{tiêu chí chi phí} \end{cases} \quad (27)$$

Bước 2: Tính khoảng cách tổng hợp (S) theo công thức (28) và khoảng cách lớn nhất theo tiêu chí (R) theo công thức (29):

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (28)$$

$$R_i = \max_j [w_j \cdot \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-}] \quad (29)$$

Bước 3: Tính chỉ số tổng hợp Q

$$Q_i = v \cdot \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \cdot \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \quad (30)$$

Trong đó: $S^* = \min(S_i)$, $S^- = \max(S_i)$, $R^* = \min(R_i)$, $R^- = \max(R_i)$, $v \in [0,1]$ (thường chọn $v = 0.5$). v mô tả mức độ ưu tiên lợi ích nhóm còn $(1 - v)$ mô tả mức độ ưu tiên lợi ích cá nhân.

Bước 4: Xếp hạng các lựa chọn. Phương án tốt nhất là phương án có Q_i nhỏ nhất.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trong việc ra quyết định, tiêu chí lợi ích thường đề cập đến giá trị cao hơn, ví dụ: khả năng tải của robot (bài toán tối đa hóa nghĩa là giá trị càng cao càng tốt). Ngược lại, tiêu chí chi phí (không có lợi) áp dụng cho giá trị thấp hơn, chẳng hạn như mức tiêu thụ điện của robot (bài toán tối thiểu hóa nghĩa là giá trị càng thấp càng có lợi). Trong nghiên cứu này, năm tiêu chí quan trọng được xem xét để lựa chọn robot hàn hồ quang được mô tả như sau:

- Trọng lượng cơ học của robot tính bằng kg (C1): Đây là trọng lượng vật lý của robot, người mua thường ưa chuộng robot có trọng lượng nhẹ hơn, do đó đây là tiêu chí không có lợi.

- Độ lặp lại tính bằng mm (C2): Đây là khả năng của robot trong việc thực hiện lặp lại một nhiệm vụ nhiều lần. Độ lặp lại thường được ưu tiên cao hơn, vì vậy đây là tiêu chí có lợi.

- Khả năng tải của robot tính bằng kg (C3): Đây là tổng trọng lượng tối đa mà robot có thể nâng trong một lần. Thường được ưu tiên cao hơn, nên đây là tiêu chí có lợi.



Bảng 1. Danh sách các tiêu chí lựa chọn

| STT | Tiêu chí | Đơn vị | Ký hiệu |
|-----|-----------------------------------|----------|---------|
| 1 | Trọng lượng cơ học | kg | C1 |
| 2 | Độ lặp lại | (+/-) mm | C2 |
| 3 | Khả năng tải | kg | C3 |
| 4 | Tầm với tối đa | mm | C4 |
| 5 | Mức tiêu thụ điện năng trung bình | kw | C5 |

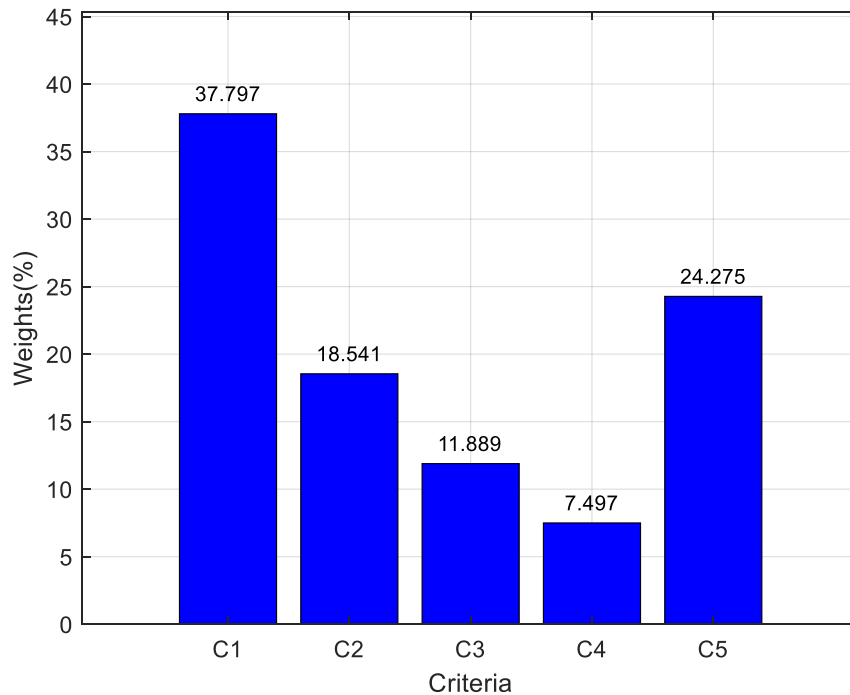
- Tầm với tối đa của robot tính bằng mm (C4): Đây là trung bình của khoảng cách tối đa theo chiều dọc và ngang mà robot có thể vươn cánh tay để thực hiện công việc. Thường mong muốn cao hơn; do đó, đây là tiêu chí có lợi.

Bảng 2. Ma trận quyết định

| Robot | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|---------|-----|-------|----|------|------|
| Robot-1 | 145 | 0.02 | 12 | 1441 | 1 |
| Robot-2 | 27 | 0.018 | 7 | 911 | 0.5 |
| Robot-3 | 170 | 0.05 | 4 | 1500 | 0.6 |
| Robot-4 | 272 | 0.04 | 20 | 1650 | 3.4 |
| Robot-5 | 250 | 0.02 | 25 | 2409 | 2 |
| Robot-6 | 230 | 0.05 | 10 | 1925 | 5.6 |
| Robot-7 | 501 | 0.15 | 6 | 4368 | 2.5 |
| Robot-8 | 215 | 0.08 | 8 | 1801 | 5.05 |

- Mức tiêu thụ điện năng trung bình của robot tính bằng kilowatt (C5): Đây là số đơn vị điện năng trung bình mà robot tiêu thụ. Thông thường mong muốn robot có mức tiêu thụ điện năng thấp hơn, nên đây là tiêu chí không có lợi.

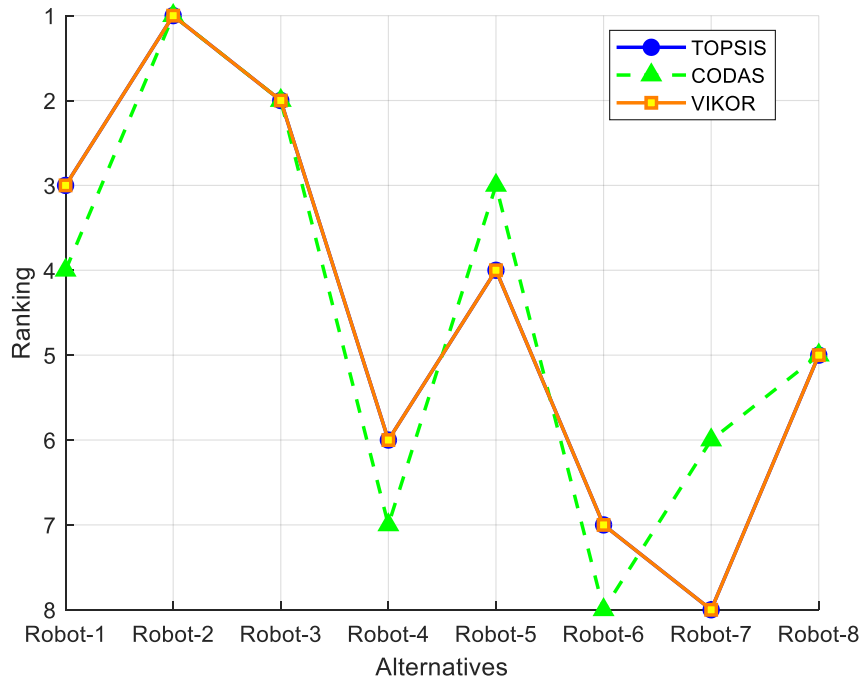
Các tiêu chí khác nhau để lựa chọn robot hàn hồ quang được liệt kê trong Bảng 1. Thông tin về tám robot hàn hồ quang với năm tiêu chí C1, C2, C3, C4 và C5 được tổng hợp trong Bảng 2, thể hiện ma trận quyết định. Thông qua tính toán entropy ta được trọng số giữa các tiêu chí lựa chọn robot được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Trọng số entropy của các tiêu chí

Ta thấy rằng tiêu chí C2 có trọng số cao nhất là 37.797% và tiêu chí C5 có trọng số cao thứ hai là 24.275%. Trong trường hợp này, các tiêu chí có lợi bao gồm C2, C3, C4, trong khi các tiêu chí không có lợi là C1 và C5. Hình 2 là kết quả so sánh thứ hạng giữa các robot được thực hiện thông qua 3 phương pháp TOPSIS, CODAS và VIKOR. Kết quả cho thấy Robot-2 đạt vị trí hàng đầu trong cả 3 phương pháp, Robot-3 cũng được cả 3 phương pháp đánh giá là lựa chọn thứ hai. Trong khi đó, Robot-6 và Robot-7 được đánh giá là phương án tệ nhất. Thứ hạng đạt được bằng 3 phương pháp TOPSIS, CODAS, VIKOR có tính nhất quán. Đặc biệt mức độ tương đồng cao giữa TOPSIS và VIKOR, khi hai đường biểu diễn gần như trùng khớp trên toàn bộ các phương án. Điều này phản ánh bản chất tương tự của hai phương pháp trong việc đánh giá khoảng cách đến nghiệm lý tưởng, từ đó dẫn đến kết quả xếp hạng ổn định. Ngược lại, phương pháp CODAS có sự khác biệt tại Robot-1, Robot-4, Robot-5, Robot-6 và Robot-7. Sự sai lệch này bắt nguồn từ cơ chế kết hợp khoảng cách Euclidean và Taxicab, khiến CODAS nhạy hơn với độ chênh lệch tuyệt đối giữa các tiêu chí. Mặc dù tồn tại khác biệt cục bộ, cả ba phương pháp đều thống nhất xếp Robot-2 là phương án tốt nhất và Robot-7 là phương

án kém nhất, cho thấy hai phương án này thể hiện ưu, nhược điểm rất rõ rệt so với phần còn lại của tập dữ liệu.



Hình 2. Kết quả xếp hạng các lựa chọn

Các phương án thuộc nhóm trung bình (hạng 2 đến 6) có sự dao động không lớn giữa các phương pháp, phản ánh sự khác biệt trong mức độ đóng góp của các tiêu chí đối với từng mô hình MCDM. Sự đồng thuận về phương án tốt nhất và kém nhất giữa ba phương pháp khẳng định độ tin cậy cao của kết quả ra quyết định thu được.

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đề xuất và triển khai một khung ra quyết định đa tiêu chí nhằm lựa chọn robot hàn hồ quang công nghiệp phù hợp thông qua việc kết hợp phương pháp trọng số entropy với ba kỹ thuật MCDM gồm TOPSIS, CODAS và VIKOR. Trọng số của các tiêu chí được xác định khách quan dựa trên mức độ biến thiên của dữ liệu, hạn chế ảnh hưởng của yếu tố chủ quan. Kết quả phân tích từ ba phương pháp MCDM cho thấy sự nhất quán cao trong quá trình xếp hạng, đặc biệt khi cả TOPSIS và VIKOR đều cho kết quả trùng khớp trên hầu hết các phương án. Đáng chú ý, cả ba phương pháp đều thống nhất lựa chọn Robot-2 là phương án tối ưu, trong khi Robot-7 được xác định là phương án kém hiệu quả nhất. Điều này chứng tỏ mức độ ổn định và độ tin cậy của mô



hình đánh giá được xây dựng. Nhóm phương án có thứ hạng trung bình thể hiện sự dao động nhỏ giữa các phương pháp cho thấy việc lựa chọn cuối cùng trong nhóm này cần cân nhắc thêm các yếu tố thực tiễn như chi phí đầu tư, khả năng tích hợp hệ thống và điều kiện vận hành cụ thể tại nơi sản xuất. Trong tương lai, mô hình có thể được phát triển theo hướng tích hợp trọng số chủ quan từ chuyên gia, sử dụng dữ liệu mờ để xử lý tính không chắc chắn hoặc mở rộng tập tiêu chí nhằm phù hợp hơn với các yêu cầu của các ngành sản xuất khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Biber, A., Sharma, R., & Reisinger, U. (2024). Robotic welding system for adaptive process control in gas metal arc welding. *Welding in the World*, 68(9), 2311-2320.
- [2] Rout, A., Mahanta, G. B., Champatiray, C., Deepak, B. B. V. L., & Biswal, B. B. (2025). Optimal setting of arc welding robot and laser sensor variables for getting maximal weld quality, positional accuracy, and smooth trajectory. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 1-16.
- [3] Singh, D. P., Avikal, S., Singh, H., Monga, S., & Sharma, A. (2024, January). A MCDM-Based Approach for the Selection of Industrial Robots for Arc Welding Process. In *International Conference on Futuristic Advancements in Materials, Manufacturing and Thermal Sciences* (pp. 389-399). Singapore: Springer Nature Singapore.
- [4] Tran, N. T., Trinh, V. L., & Chung, C. K. (2024). An integrated approach of fuzzy AHP-TOPSIS for Multi-Criteria Decision-Making in industrial robot selection. *Processes*, 12(8), 1723.
- [5] Tešić, D., Božanić, D., Milić, A., & Puška, A. (2025). Selection of Ice Crossing Point location using hybrid MCDM model Fuzzy AHP-EWAA-Fuzzy CoCoSo. *Spectrum of Mechanical Engineering and Operational Research*, 2(1), 280-295.
- [6] Luu, V.H., Tran, N.T. (2025). A Study on MCDM for Evaluating Li-Ion Batteries in Electric Vehicles: A Comparative. In *Proceedings of the 4th Annual International Conference on Material, Machines, and Methods for Sustainable*



Development (MMMS2024). MMMS 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham.

[7] Gul, R. (2025). An extension of VIKOR approach for MCDM using bipolar fuzzy preference δ -covering based bipolar fuzzy rough set model. *Spectrum of Operational Research*, 2(1), 72-91.

[8] Khan, N. A., Kumar, A., & Rao, N. (2024, September). Hybrid Decision-Making Program for Optimal Robot Selection Using MCDM. In *2024 International Conference on Artificial Intelligence and Emerging Technology (Global AI Summit)* (pp. 173-177). IEEE.

[9] Deepa, D., Suresh, S., Saravanan, K. G., & Naik, R. D. (2024). A Topsis Method for Industrial Service Robot Selection with Different Weight Approach. In *Robotics and Automation in Healthcare* (pp. 169-185). Apple Academic Press.

[10] Goswami, S. S., Tapankumar, T., Naik, N. C. K., Gowrishankar, J., Bhosle, N., Singh, A., ... & Santhosh, A. J. (2025). Multi-model MCDM framework for sustainable renewable energy selection in India: integrating CRITIC-EDAS-CODAS-CoCoSo. *Discover Sustainability*, 6(1), 500.

[11] Erbey, A., Fidan, Ü., & Gündüz, C. (2025). A Robust Hybrid Weighting Scheme Based on IQRBOW and Entropy for MCDM: Stability and Advantage Criteria in the VIKOR Framework. *Entropy*, 27(8), 867.