

# LỰA CHỌN CÔNG NGHỆ PHÁT TRIỂN NĂNG LƯỢNG BỀN VỮNG BẰNG KỸ THUẬT RA QUYẾT ĐỊNH ĐA TIÊU CHÍ

ELECTRICITY PRODUCTION TECHNOLOGY SELECTION FOR SUSTAINABILITY  
BASED ON MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING TECHNIQUES

Trương Nam Hưng<sup>1,\*</sup>

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.255>

## TÓM TẮT

Hiện nay, các quốc gia đang xây dựng chính sách năng lượng nhằm thúc đẩy phát triển nguồn năng lượng tái tạo để đáp ứng nhu cầu năng lượng và giảm phát thải khí nhà kính. Tuy nhiên, việc lựa chọn công nghệ sản xuất điện bền vững cần phải xem xét sự cân bằng giữa các yếu tố các yếu tố xung đột nhau như sản lượng điện, bảo vệ môi trường, độ tin cậy, tính bền vững cũng như lợi ích kinh tế và các tác động xã hội. Do đó, đòi hỏi một quá trình ra quyết định ưu tiên lựa chọn công nghệ sản xuất điện. Nghiên cứu này sử dụng các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí (multi-criteria decision-making - MCDM) để ưu tiên các giải pháp dựa trên 17 chỉ số bền vững, bao gồm các khía cạnh kinh tế, xã hội, môi trường và kỹ thuật. Ngoài ra, phương pháp tính trọng số CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) được sử dụng để đánh giá khách quan các giải pháp lựa chọn. Kết quả cho thấy, công nghệ quang điện mặt trời đạt điểm đánh giá cao nhất với các phương pháp MAIRCA (Multi-Attribute Ideal-Real Comparative Analysis) (0,0313), EDAS (Evaluation Based on Distance from Average Solution) (0,8485) và COPRAS (Complex Proportional Assessment) (1,0). Công nghệ thủy điện và năng lượng gió cũng đạt điểm cao trong đánh giá. Những phát hiện của nghiên cứu cung cấp thông tin quan trọng cho các nhà hoạch định chính sách và nhà đầu tư dự án năng lượng trong việc phát triển năng lượng tái tạo bền vững.

**Từ khóa:** Năng lượng bền vững; MCDM; phương pháp trọng số; chính sách năng lượng.

## ABSTRACT

Currently, nations are formulating energy strategies aimed at fostering the advancement of renewable energy sources to fulfill energy demands while mitigating greenhouse gas emissions. Yet, making choices regarding sustainable power generation technologies necessitates a careful consideration of various competing factors like power output, environmental conservation, reliability, sustainability, profitability, economic advantages, and social repercussions. Consequently, a decision-making framework that prioritizes the selection of power generation technologies is essential. This research employs multi-criteria decision-making (MCDM) techniques to rank solutions based on 17 sustainability metrics encompassing economic, social, environmental, and technical dimensions. Furthermore, the CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) weighting method is utilized to impartially assess the chosen solutions. The findings reveal that solar photovoltaic technology received the highest evaluation scores with the MAIRCA (Multi-Attribute Ideal-Real Comparative Analysis) (0.0313), EDAS (Evaluation Based on Distance from Average Solution) (0.8485), and COPRAS (Complex Proportional Assessment) (1.0) methodologies. Hydropower and wind energy technologies also performed admirably in the evaluation. The outcomes of this study offer vital insights for policymakers and renewable energy project investors striving to develop sustainable energy ventures.

**Keywords:** Sustainable energy; MCDM; weighting method; energy policy.

<sup>1</sup>Khoa Điều khiển và tự động hóa, Trường Đại học Điện Lực

\*Email: hungtn@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 14/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/5/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/7/2024

## 1. GIỚI THIỆU

Phát triển điện bền vững đóng vai trò then chốt trong việc giải quyết các thách thức toàn cầu về biến đổi khí hậu, bởi nó góp phần giảm thiểu phát thải khí nhà kính thông qua việc chuyển đổi sang các nguồn năng lượng tái tạo. Hơn nữa, phát triển điện bền vững còn đảm bảo an ninh năng lượng cho các quốc gia bằng cách đa dạng hóa các nguồn cung cấp năng lượng. Với tầm quan trọng này, lĩnh vực này đã trở thành một hướng nghiên cứu đầy triển vọng. Tuy nhiên, cách tiếp cận truyền thống trong việc ra quyết định trong phát triển năng lượng bền vững tập trung vào việc tối đa hóa hoặc giảm thiểu một yếu tố cụ thể, chỉ phù hợp với các nghiên cứu ở quy mô nhỏ. Việc lựa chọn chính sách năng lượng ngày nay đòi hỏi phải xem xét nhiều mục tiêu và tiêu chí bền vững, khiến việc lựa chọn trở nên khó khăn hơn. Để giải quyết những vấn đề quy hoạch năng lượng phức tạp này, việc ra quyết định đa tiêu chí (MCDM) đã được chứng minh là một công cụ hiệu quả để lựa chọn các phương án phát triển năng lượng [1, 2]. Kỹ thuật MCDM đã được áp dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau, bao gồm sản xuất công nghiệp, nông nghiệp, giáo dục, giao thông vận tải, môi trường, quốc phòng và chăm sóc sức khỏe [3, 4]. Nhiều phương pháp MCDM đã được đề xuất để tối ưu hóa các phương án dựa trên nhiều tiêu chí và đã chứng minh tính hiệu quả của chúng. Trong [5], các tác giả đã sử dụng PSI (Preference Selection Index), MABAC (Multi-Attributive Border Approximation area Comparison) và phương pháp MAIRCA (Multi-Attribute Ideal-Real Comparative Analysis) để đánh giá các thông số hiệu suất của polyme bán tinh thể. Trong một nghiên cứu khác [6], các tác giả đã so sánh TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), MAIRCA và EAMR (Evaluation by Area-based Method of Ranking) để xác định cách tiếp cận tốt nhất để đạt được độ nhám bề mặt tối thiểu và tốc độ loại bỏ vật liệu tối đa trong quá trình mài. Ngoài ra, phương pháp EDAS đã được so sánh với các phương pháp MCDM khác và chứng minh được tính chính xác trong việc xếp hạng các robot được chọn, qua đó khẳng định hiệu quả của nó trong việc hỗ trợ ra quyết định sản xuất theo thời gian thực [7]. Phương pháp EDAS cũng được áp dụng trong việc đánh giá các nguồn năng lượng tái tạo [8]. Trong bối cảnh sản xuất xanh [9], phương pháp COPRAS (Complex Proportional Assessment) được sử dụng để chọn chất lỏng cất xanh tốt nhất dựa trên chi phí, tác động môi trường và chất lượng. Phương pháp MCDM đã chứng tỏ là một công cụ hiệu quả trong lĩnh vực kỹ thuật bền vững, bao gồm cả năng lượng tái tạo [10]. Các

phương pháp MCDM đã được sử dụng để giải quyết các vấn đề từ việc chọn lựa vị trí xây dựng nhà máy điện mặt trời đến việc lựa chọn loại công nghệ năng lượng tái tạo phù hợp nhất cho từng khu vực. Ngoài ra, nghiên cứu [11] đã sử dụng MCDM kết hợp với GIS để lựa chọn vị trí cho các hệ thống năng lượng mặt trời, trong đó phương pháp AHP được sử dụng để đánh giá trọng số của các tiêu chí liên quan. Nghiên cứu này chỉ ra rằng việc lựa chọn đúng vị trí có thể giảm chi phí dự án và tối ưu hóa sản xuất điện năng. Tuy nhiên, hạn chế của nghiên cứu là việc phụ thuộc quá nhiều vào dữ liệu GIS có thể dẫn đến sai lệch nếu dữ liệu không chính xác hoặc không đầy đủ. Một nghiên cứu khác [12], các tác giả sử dụng TOPSIS và phương pháp trọng số để lựa chọn nguồn năng lượng tái tạo tối ưu. Kết quả cho thấy hệ thống năng lượng mặt trời là giải pháp tốt nhất. Tuy nhiên, hạn chế của nghiên cứu này là sự phức tạp trong việc tích hợp và xử lý dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau, dẫn đến khả năng xảy ra sai sót trong quá trình phân tích. Mặc dù các phương pháp kể trên mang lại nhiều lợi ích trong việc ra quyết định, chúng cũng có những hạn chế nhất định. Chẳng hạn, việc xác định trọng số cho các tiêu chí có thể mang tính chủ quan, phụ thuộc vào đánh giá của các chuyên gia và có thể không phản ánh đầy đủ tình hình thực tế. Thêm vào đó, việc áp dụng MCDM đòi hỏi kiến thức chuyên sâu và kỹ năng phân tích, điều này có thể gây khó khăn cho các nhà quản lý không chuyên về lĩnh vực này.

Trong nghiên cứu này, mục tiêu là lựa chọn công nghệ sản xuất điện bền vững. Chúng tôi sử dụng các phương pháp MCDM để ưu tiên các giải pháp dựa trên 17 chỉ số bền vững, bao gồm các khía cạnh kinh tế, xã hội, môi trường và kỹ thuật. Với nhiều chỉ số bền vững được đánh giá, chúng tôi sử dụng các phương pháp MCDM là MAIRCA, EDAS và COPRAS để đảm bảo tính khách quan, toàn diện cũng như tăng độ tin cậy, giảm thiểu sai sót trong việc đánh giá các chỉ số bền vững. Bằng cách đánh giá khả năng kinh tế, các nhà hoạch định chính sách có thể đảm bảo rằng các khoản đầu tư vào các dự án năng lượng tái tạo bền vững về mặt tài chính. Các chỉ số xã hội giúp các nhà hoạch định chính sách hiểu được lợi ích và tác động xã hội tiềm tàng của các dự án này. Các chỉ số môi trường đánh giá lợi ích môi trường của công nghệ năng lượng tái tạo, bao gồm khả năng giảm thiểu phát thải khí nhà kính, giảm ô nhiễm không khí và bảo tồn tài nguyên thiên nhiên. Ngoài ra, các chỉ số kỹ thuật đánh giá độ tin cậy, hiệu quả và khả năng mở rộng của công nghệ sản xuất điện, đảm bảo chúng có thể đáp ứng nhu cầu năng lượng của dân số ngày càng tăng. Phương pháp

trọng số CRITIC đảm bảo đánh giá tin cậy và khách quan về các lựa chọn.

**2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP**

**2.1. Phương pháp MAIRCA**

Trong phương pháp MAIRCA, việc xếp hạng các lựa chọn được thực hiện thông qua các bước sau [13]:

Bước 1: Xây dựng ma trận quyết định:

$$X = [x_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \tag{1}$$

trong đó:  $x_{ij}$  đại diện cho phần tử của ma trận quyết định tương ứng với thuộc tính thay thế thứ  $i$  và thứ  $j$ ,  $n$  biểu thị số lượng phương án và  $m$  đại diện cho số lượng tiêu chí đánh giá.

Bước 2: Tính toán  $G_{A_i}$  theo phương trình sau:

$$G_{A_i} = \frac{1}{n}; \sum_{i=1}^n G_{A_i} = 1, i = 1, \dots, n \tag{2}$$

Bước 3: Tính các phần tử  $f_{p_{ij}}$  của ma trận xếp hạng lý thuyết theo công thức sau:

$$f_p = \begin{bmatrix} f_{p11} & f_{p12} & \dots & f_{p1m} \\ f_{p21} & f_{p22} & \dots & f_{p2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{pn1} & f_{pn2} & \dots & f_{pnm} \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$= \begin{bmatrix} G_{A_1} w_1 & G_{A_1} w_2 & \dots & G_{A_1} w_m \\ G_{A_2} w_1 & G_{A_2} w_2 & \dots & G_{A_2} w_m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ G_{A_n} w_1 & G_{A_n} w_2 & \dots & G_{A_n} w_m \end{bmatrix}$$

trong đó:  $w_j$  là trọng số của tiêu chí thứ  $j$ .

Bước 4: Tạo ma trận đánh giá thực theo công thức sau:

Nếu  $j$  là tiêu chí càng lớn càng tốt:

$$f_{rij} = f_{p_{ij}} \left( \frac{x_{ij} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j} \right) \tag{4}$$

Nếu  $j$  là tiêu chí càng nhỏ càng tốt:

$$f_{rij} = f_{p_{ij}} \left( \frac{x_{ij} - \max x_j}{\min x_j - \max x_j} \right) \tag{5}$$

Bước 5: Ma trận tổng khoảng cách  $e_{ij}$  được tính theo phương trình sau:

$$e_{ij} = f_{p_{ij}} - f_{rij} \tag{6}$$

Bước 6: Tính toán giá trị  $S_i$ :

$$S_i = \sum_{i=1}^m e_{ij} \tag{7}$$

Sau bước 6 của phương pháp MAIRCA, các phương án được xếp hạng theo nguyên tắc giá trị  $S_i$  nhỏ nhất sẽ được xếp hạng cao nhất.

**2.2. Phương pháp EDAS**

Các bước thực hiện phương pháp EDAS được thực hiện như sau [14]:

Bước 1: Tương tự như bước đầu tiên của phương pháp MAIRCA.

Bước 2: Tính nghiệm trung bình dựa trên tất cả các tiêu chí:

$$AX = [AX_j]_{1 \times m} = AX_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \tag{8}$$

Bước 3: Tính khoảng cách dương từ trung bình (PDA) và khoảng cách âm từ trung bình (NDA) theo công thức sau:

Nếu  $j$  là tiêu chí càng lớn càng tốt,

$$PDA = [PDA_{ij}]_{n \times m} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AX_j))}{AX_j} \tag{9}$$

$$NDA = [NDA_{ij}]_{n \times m} = \frac{\max(0, (AX_j - x_{ij}))}{AX_j} \tag{10}$$

Nếu  $j$  là tiêu chí càng nhỏ càng tốt,

$$PDA = [PDA_{ij}]_{n \times m} = \frac{\max(0, (AX_j - x_{ij}))}{AX_j} \tag{11}$$

$$NDA = [NDA_{ij}]_{n \times m} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AX_j))}{AX_j} \tag{12}$$

Bước 4: Xác định tổng PDA và NDA cho tất cả các phương án bằng công thức sau:

$$SUP_i = \sum_{j=1}^m w_j PDA_{ij} \tag{13}$$

$$SUN_i = \sum_{j=1}^m w_j NDA_{ij} \tag{14}$$

Bước 5: Chuẩn hóa tổng PDA và NDA:

$$NSP_i = \frac{SUP_i}{\max_i(SUP_i)} \tag{15}$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SUN_i}{\max_i(SUN_i)} \tag{16}$$

Bước 6: Tính điểm thẩm định (AS) cho tất cả các phương án:

$$AS_i = \frac{1}{2}(NSP_i + NSN_i) \tag{17}$$

Xếp hạng các phương án dựa trên tiêu chí phương án có  $AS_i$  cao nhất được coi là tốt nhất.

**2.3. Phương pháp COPRAS**

Phương pháp COPRAS được tiến hành qua các bước sau [15]:

Bước 1: Tương tự như bước đầu tiên của phương pháp MAIRCA.

Bước 2: Tính toán ma trận chuẩn hóa bằng công thức sau:

$$u_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \tag{18}$$

Bước 3: Tính  $h_{ij}$  theo công thức sau:

$$h_{ij} = u_{ij} w_j \tag{19}$$

Bước 4: Xác định tổng các giá trị chuẩn hóa:

$$Ph_i = \sum_{j=1}^k h_{ij}, \text{ cho tiêu chí lợi ích} \tag{20}$$

$$Nh_i = \sum_{j=k+1}^n h_{ij}, \text{ cho tiêu chí chi phí} \tag{21}$$

trong đó:  $k$  đại diện cho số lượng thuộc tính cần được tối đa hóa.

Bước 5: Tính  $M_i$  theo công thức:

$$M_i = Ph_i + \frac{Nh_{\min} \sum_{i=1}^m Nh_i}{Nh_i \sum_{i=1}^m \frac{Nh_{\min}}{Nh_i}} \tag{22}$$

Bước 6: Xếp hạng cuối cùng được thực hiện theo giá trị  $L_i$ :

$$L_i = \frac{M_i}{M_i^{\max}} \tag{23}$$

Giá trị  $L_i$  càng cao cho thấy các lựa chọn càng tốt.

**2.4. Phương pháp trọng số CRITIC**

Trọng số của các tiêu chí trong nghiên cứu này được thiết lập thông qua phương pháp CRITIC [16]:

Bước 1: Tương tự bước 1 của phương pháp MAIRCA.

Bước 2: Chuẩn hóa số liệu:

$$s_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \tag{24}$$

Bước 3: Tính hệ số tương quan giữa chỉ tiêu thứ  $j$  và thứ  $k$ :

$$p_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (s_{ij} - AVs_j)(s_{ik} - AVs_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (s_{ij} - AVs_j)^2 \sum_{i=1}^m (s_{ik} - AVs_k)^2}} \tag{25}$$

trong đó:  $AVs_j$  được tính bằng công thức (26). Tương tự như vậy,  $AVs_k$  được tạo ra thông qua công thức tương đương:

$$AVs_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \tag{26}$$

Bước 4: Tính độ lệch chuẩn cho từng chỉ tiêu:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - AVs_{ij})^2} \tag{27}$$

$$T_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - p_{jk}) \tag{28}$$

Bước 5: Tính trọng số bằng công thức dưới đây:

$$w_j = \frac{T_j}{\sum_{k=1}^n T_k} \tag{29}$$

**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

Bảng 1. Tiêu chí đánh giá sự phát triển công nghệ điện

Tiêu chí	Tiêu chí con	Ký hiệu	Đơn vị	Kiểu tiêu chí
Kinh tế	Chi phí vốn	CC	USD/kW	Min
	Chi phí O&M cố định	FC	USD/kW-yr	Min
	Chi phí O&M biến đổi	VC	USD/MWh	Min
Kỹ thuật	Độ tin cậy	R	-	Max
	Công suất	CF	%	Max
	Mức độ trưởng thành của công nghệ	TM	-	Max
	Khả năng sẵn có của tài nguyên	RA	TWh/year	Max
	Khả năng đáp ứng tải	ARPL	-	Max
Môi trường	Diện tích đất	LR	m <sup>2</sup> /kW	Min
	Phát thải CO <sub>2</sub>	COE	g/kWh	Min
	Phát thải NO <sub>x</sub>	NE	g/kWh	Min
	Phát thải SO <sub>2</sub>	SE	g/kWh	Min
	Phát thải CH <sub>4</sub>	CHE	g/GJ	Min
	Tiêu thụ nước	WC	kg/kWh	Min
Xã hội	Tạo việc làm	JC	Total job-years/GWh	Max
	Rủi ro về an toàn	SR	Fatalities/GWeyr	Min
	Chấp nhận xã hội	SA	%	Max

Bảng 2. Ma trận quyết định các chỉ tiêu

Phương án	Tiêu chí																
	Tiêu chí theo chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật								Tiêu chí theo chỉ tiêu môi trường và xã hội								
	CC	FC	VC	R	CF	TM	RA	ARPL	LR	COE	NE	SE	CHE	WC	JC	SR	SA
HP	2000	40	2	4	50	5	25	2	750	12	0,03	0,015	0	68	0,27	0,945	68
SPV	880	12	0	2	27	4	23000	-1	35	49,174	0,178	0,257	0	1	0,87	0,000245	94
CSP	8000	77	0	2	52	3	15400	1	40	16	0,065	0,04	0	3,02	0,23	0,000245	94
WP	1250	34	0	4	45	5	1800	-1	100	25	0,06	0,05	0	0	0,17	0,00189	69
GP	5200	13,5	17	5	85	4	87,6	1	18	18,913	0,28	0,02	0	150	0,25	0,00174	56
BP	2800	50	10	4	82,5	4	3,61	0	5000	70	0,9	0,5	40	135	0,21	0,0149	56
CO	800	16	3,5	4	70	3	162,82	0	2,5	800	2	3,5	5,5	78	0,11	1,08	32
OLP	600	10	10	4	55	5	65,09	2	2,5	700	1	4,5	8	78	0,11	1,69	30

Để giải quyết các mục tiêu phát triển bền vững, Cơ quan Năng lượng Nguyên tử Quốc tế (IAEA) đã giới thiệu một bộ toàn diện gồm 30 chỉ số năng lượng tập trung vào các khía cạnh xã hội, môi trường, kỹ thuật và kinh tế [17]. Danh sách các chỉ số này cũng đã được áp dụng rộng rãi trong nhiều nghiên cứu khác nhau. Tuy nhiên, việc lựa chọn các chỉ số cụ thể có thể khác nhau tùy theo khu vực, mức độ áp dụng và đánh giá của chuyên gia [18, 19]. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã sử dụng 17 chỉ số được sử dụng phổ biến nhất [20, 21] và đã được các chuyên gia nhất trí nhất trí. Các tiêu chí và ký hiệu tương ứng của chúng được trình bày trong bảng 1. Ngoài ra, nghiên cứu này xem xét một loạt các công nghệ phát điện dựa trên mức độ phổ biến của chúng [21]. Do đó, tám công nghệ đã được đưa vào nghiên cứu này, đó là: Thủy điện (HP), Năng lượng địa nhiệt (GP), Năng lượng sinh khối (BP), Năng lượng gió (WP), Năng lượng mặt trời (SPV), Năng lượng mặt trời tập trung (CSP), Công nghệ than (CO) và nhà máy điện chạy dầu (OPL).

Dữ liệu về các chỉ số được sử dụng trong nghiên cứu này được thu thập từ các tài liệu được xuất bản trên thế giới, chẳng hạn như IRENA, cũng như từ các nghiên cứu tương tự được thực hiện ở các quốc gia khác. Dựa trên các số liệu, việc phân tích, đánh giá được thực hiện bởi các chuyên gia năng lượng. Kết quả cuối cùng sau đó được trình bày thông qua ma trận quyết định (bảng 2).

Phương pháp CRITIC là một phương pháp dựa trên dữ liệu, không phụ thuộc vào đánh giá chủ quan của các chuyên gia. Nó sử dụng thông tin từ dữ liệu để xác định tầm quan trọng của các tiêu chí, do đó giảm thiểu sự thiên vị và tăng độ tin cậy của kết quả. Phương pháp CRITIC không chỉ dựa trên độ biến thiên của từng tiêu chí mà còn

tính đến mối tương quan giữa các tiêu chí. Điều này giúp phản ánh mối quan hệ và sự ảnh hưởng lẫn nhau giữa 17 tiêu chí được xem xét. CRITIC tính toán trọng số dựa trên độ lệch chuẩn và hệ số tương quan giúp cung cấp một cái nhìn toàn diện và chính xác hơn về tầm quan trọng của chúng. Kết quả trọng số của các tiêu chí có thể được thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Trọng số của các tiêu chí

Tiêu chí	Ký hiệu	Trọng số
Chi phí vốn	CC	0,062
Chi phí O&M cố định	FC	0,058
Chi phí O&M biến đổi	VC	0,053
Độ tin cậy	R	0,065
Công suất	CF	0,069
Mức độ trưởng thành của công nghệ	TM	0,061
Khả năng sẵn có của tài nguyên	RA	0,075
Khả năng đáp ứng tải	ARPL	0,072
Diện tích đất	LR	0,059
Phát thải CO2	COE	0,056
Phát thải NOx	NE	0,054
Phát thải SO2	SE	0,043
Phát thải CH4	CHE	0,053
Tiêu thụ nước	WC	0,052
Tạo việc làm	JC	0,066
Rủi ro về an toàn	SR	0,055
Chấp nhận xã hội	SA	0,047

Sử dụng các trọng số đã xác định, nghiên cứu sử dụng ba phương pháp khác nhau (MAIRCA, EDAS, COPRAS) để đánh giá các giải pháp phát triển công nghệ điện bền vững. Bảng xếp hạng các phương án dựa trên các phương pháp này được trình bày trong bảng 4.

Bảng 4. Bảng xếp hạng các phương án

STT	Các phương án	MAIRCA		EDAS		COPRAS	
		Xếp hạng	Giá trị $S_i$	Xếp hạng	Giá trị $AS_i$	Xếp hạng	Giá trị $L_i$
1	HP	2	0,0396	3	0,6903	4	0,442
2	SPV	1	0,0313	1	0,8485	1	1,0
3	CSP	5	0,0491	2	0,7249	3	0,468
4	WP	3	0,0399	4	0,5936	2	0,627
5	GP	4	0,0455	5	0,5777	5	0,356
6	BP	7	0,0675	8	0,0789	7	0,195
7	CO	8	0,0703	7	0,2355	8	0,186
8	OLP	6	0,0616	6	0,3546	6	0,313

Dựa trên kết quả từ bảng 4, ta thấy rằng thứ hạng được xác định một cách khách quan thông qua việc đánh giá các tiêu chí khác nhau bằng phương pháp CRITIC. Ngoài ra, chúng tôi tính hệ số tương quan xếp hạng Spearman cho: thấy hệ số tương quan giữa MAIRCA và EDAS là 0,8333; hệ số tương quan giữa MAIRCA và COPRAS là 0,7857; hệ số tương quan giữa EDAS và COPRAS là 0,881. Kết quả này cho thấy các xếp hạng của ba phương pháp có sự tương đồng khá cao, đặc biệt là giữa EDAS và COPRAS, cho thấy tính ổn định và độ tin cậy của các phương pháp MCDM được sử dụng trong nghiên cứu. Các phát hiện chứng minh rằng cả ba phương pháp MCDM đều xếp hạng công nghệ quang điện mặt trời là cao nhất. Điều này cho thấy điện mặt trời là phương án bền vững nhất để phát triển điện. Thứ hạng khác nhau đối với các lựa chọn tiếp theo, tùy thuộc vào phương pháp đánh giá được sử dụng. Ví dụ, công nghệ năng lượng mặt trời tập trung nhận được đánh giá thuận lợi từ COPRAS và EDAS, trong khi MAIRCA đánh giá nó kém hiệu quả hơn. Công nghệ thủy điện và năng lượng gió luôn nhận được thứ hạng cao trong tất cả các phương pháp đánh giá, trong khi năng lượng địa nhiệt được coi là trung bình. Ba công nghệ còn lại là điện sinh khối, than và nhiệt điện dầu được đánh giá là kém bền vững nhất. Đáng chú ý, nhà máy điện chạy dầu đứng ở vị trí thứ 6, trong khi hai công nghệ còn lại xếp hạng thấp nhất. Những kết quả nghiên cứu này có ý nghĩa quan trọng trong việc đề xuất các giải pháp và làm tài liệu tham khảo có giá trị cho công nghệ điện bền vững và chiến lược phát triển của các quốc

gia. Tuy nhiên, nghiên cứu còn những hạn chế về sự sẵn có của các chuyên gia và tiêu chí đánh giá, cũng như sự thiếu vắng các lĩnh vực ứng dụng cụ thể. Do đó, trong tương lai, sẽ rất thuận lợi nếu kết hợp các tiêu chí bổ sung và tiến hành đánh giá toàn diện hơn các phương án.

#### 4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, tác giả đã tiến hành đánh giá các lựa chọn bằng 17 tiêu chí bao gồm các chỉ số kinh tế, môi trường, kỹ thuật và xã hội. Kết quả cho thấy rằng:

- Ba phương pháp đánh giá được sử dụng (MAIRCA, EDAS, COPRAS) đã kết quả tương đối nhất quán.
- Phân tích đa tiêu chí chỉ ra rằng công nghệ quang điện mặt trời là lựa chọn bền vững nhất, trong khi năng lượng sinh khối và than được xếp hạng là những công nghệ kém bền vững nhất.
- Những kết quả này nhấn mạnh khả năng đánh giá toàn diện của phương pháp được sử dụng và cũng là tài liệu tham khảo có giá trị cho việc phát triển các công nghệ bền vững và thân thiện với môi trường.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Manirambona E., Talai S. M., Kimutai S. K., "Sustainability evaluation of power generation technologies using multi-criteria decision making: The Kenyan case," *Energy Reports*, 8, 14901–14914, 2022.
- [2]. Dwivedi A., Goel V., Kumar Pathak S., Kumar A. "Prioritization of potential barriers to the implementation of solar drying techniques using MCDM tools: A case study and mapping in INDIA," *Solar Energy*, 253, 199–218, 2023.
- [3]. Tran N. T., "Application of the multi-criteria analysis method MAIRCA, SPOTIS, COMET for the optimization of sustainable electricity technology development," *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 180–188, 2024.
- [4]. Dua T. V., "Combination of design of experiments and simple additive weighting methods: a new method for rapid multi-criteria decision making," *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 120–133, 2023.
- [5]. Haoues S., Yallese M. A., Belhadi S., Chihaoui S., Uysal A., "Modeling and optimization in turning of PA66-GF30% and PA66 using multi-criteria decision-making (PSI, MABAC, and MAIRCA) methods: a comparative study," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 124(7-8), 2401-2421, 2023.
- [6]. Huy T. Q., Hien B. T., Danh T. H., Lam P. D., Linh N. H., Khoa V. V., Hung L. X., Pi V. N. "Application of topsis, mairca and eamr methods for multi-criteria decision making in cubic boron nitride grinding," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(1 (117)), 58-66, 2022.
- [7]. Rashid T., Ali A., Chu Y. M. "Hybrid BW-EDAS MCDM methodology for optimal industrial robot selection," *Plos One*, 16(2), e0246738, 2021.

- [8]. Yazdani M., Torkayesh A. E., Santibanez-Gonzalez, E. D., Otaghsara S. K., "Evaluation of renewable energy resources using integrated Shannon Entropy - EDAS model," *Sustainable Operations and Computers*, 1, 35-42. (2020)
- [9]. Goswami S. S., Behera D. K., "Implementation of COPRAS and ARAS MCDM Approach for the Proper Selection of Green Cutting Fluid," In *Current Advances in Mechanical Engineering: Select Proceedings of ICRAMERD 2020*, 975-987, 2021.
- [10]. Stojčić M., Zavadskas E. K., Pamučar D., Stević Ž., Mardani A., "Application of MCDM methods in sustainability engineering: A literature review 2008-2018," *Symmetry*, 11(3), 350, 2019.
- [11]. Al Garni H. Z., Awasthi A., "Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia," *Applied energy*, 206, 1225-1240, 2017.
- [12]. Wu Y., Xu C., Zhang T., "Evaluation of renewable power sources using a fuzzy MCDM based on cumulative prospect theory: A case in China," *Energy*, 147, 1227-1239, 2018.
- [13]. Haq R. S. U., Saeed M., Mateen N., Siddiqui F., Ahmed S., "An interval-valued neutrosophic based MAIRCA method for sustainable material selection," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 123, 106177, 2023.
- [14]. Torkayesh A. E., Deveci M., Karagoz S., Antucheviciene J., "A state-of-the-art survey of evaluation based on distance from average solution (EDAS): Developments and applications," *Expert systems with applications*, 221, 119724, 2023.
- [15]. Kumar R., Kumar S., Ağbulut Ü., Gürel A. E., Alwetaishi M., Shaik S., Lee D., "Parametric optimization of an impingement jet solar air heater for active green heating in buildings using hybrid CRITIC-COPRAS approach" *International Journal of Thermal Sciences*, 197, 108760, 2024.
- [16]. Tuş A., Adalı E. A., "The new combination with CRITIC and WASPAS methods for the time and attendance software selection problem," *Opsearch*, 56(2), 528-538, 2019.
- [17]. IAEA, 2005. *Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies*. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1222\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1222_web.pdf).
- [18]. Brand B., Missaoui R., "Multi-criteria analysis of electricity generation mix scenarios in Tunisia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 251-261, 2014.
- [19]. Shaaban M., Scheffran J., Böhner J., Elsobki M. S., "Sustainability assessment of electricity generation technologies in Egypt using multi-criteria decision analysis," *Energies*, 11(5), 1117, 2018.
- [20]. Strantzali E., Aravossis K., "Decision making in renewable energy investments: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 885-898. (2016).
- [21]. Manirambona E., Talai S. M., Kimutai S. K., "Sustainability evaluation of power generation technologies using Multi-Criteria Decision Making: The Kenyan case," *Energy Reports*, 8, 14901-14914.

---

**AUTHOR INFORMATION****Truong Nam Hung**

Faculty of Control and Automation, Electric Power University, Vietnam