

MÔ HÌNH RA QUYẾT ĐỊNH ĐA TIÊU CHÍ LỰA CHỌN VỊ TRÍ XÂY DỰNG NHÀ MÁY ĐIỆN RÁC Ở THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Nguyễn Quang Thuận¹, Trần Vũ Thùy Dương¹, Trần Thị Thu Hiền¹, Lê Thị Ngọc Quyên¹,
Nguyễn Thị Ngọc Đào¹, Huỳnh Phú Vinh¹ và Nguyễn Đức Duy²

¹Sinh viên Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh

Email: duy.nguyen@hcmut.edu.vn

Thông tin chung

Ngày nhận bài:

17/4/2025

Ngày nhận bài sửa:

20/5/2025

Ngày duyệt đăng:

22/5/2025

Từ khóa: AHP, biomass, ra quyết định đa tiêu chí, TOPSIS, Waste-to-Energy

TÓM TẮT

Sự phát triển kinh tế - xã hội kéo theo gia tăng lượng rác thải nhanh chóng, đặt ra thách thức lớn trong công tác quản lý chất thải cho nhiều quốc gia, bao gồm cả Việt Nam. Điều này đòi hỏi các phương pháp xử lý tiên tiến và bền vững thay thế chôn lấp truyền thống. Một trong những giải pháp được nhiều quốc gia ưu tiên là chuyển đổi rác thải thành năng lượng (Waste-to-Energy – WtE), giúp không chỉ giảm áp lực lên bãi chôn lấp, mà còn tạo ra năng lượng tái tạo và bảo vệ môi trường. Bài nghiên cứu này phân tích các vị trí tiềm năng để xây dựng nhà máy điện rác bằng phương pháp kết hợp AHP-TOPSIS. Dữ liệu được thu thập dựa trên sáu tiêu chí phụ thuộc ba nhóm tiêu chí chính: môi trường, kinh tế và xã hội tại thành phố Hồ Chí Minh. Kết quả phân tích 24 địa điểm cho thấy Củ Chi là vị trí tiềm năng tối ưu nhất, giúp giảm thiểu tác động môi trường và thúc đẩy phát triển bền vững cho thành phố.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự phát triển của dân số và các hoạt động sản xuất tạo ra nhiều rác thải gây sức ép lên môi trường tại các đô thị lớn ở Việt Nam, đặc biệt là thành phố Hồ Chí Minh. Theo Sở tài nguyên và môi trường, mỗi ngày, trên địa bàn thành phố Hồ Chí Minh thải ra khoảng 10.000 tấn chất thải rắn sinh hoạt, trong đó chất thải nhựa, chất thải khác có thể tái chế được chiếm tỷ trọng cao (chỉ sau rác hữu cơ), khoảng 1.800 tấn. Lượng chất thải này không chỉ là sản phẩm phụ của tiêu dùng và sản xuất, mà còn được xem là nguồn tài nguyên thứ cấp có giá trị, nếu được phân loại, thu gom và xử lý đúng quy trình.

Trong bối cảnh nhu cầu về năng lượng tăng cao, cùng với phát triển kinh tế - xã hội, thì việc tận dụng rác thải để sản xuất điện đã trở thành một giải pháp cấp thiết. Theo Quyết định số 2149/QĐ – TTG (2011), thành phố Hồ Chí Minh đang hướng tới việc giảm tỷ lệ

xử lý rác thải bằng phương pháp chôn lấp, với mục tiêu chỉ còn 20% vào năm 2025, và tiến tới 0% vào năm 2030. Để thực hiện điều này, nhiều đơn vị tiếp nhận và xử lý rác thải cho thành phố đã bắt đầu chuyển đổi công nghệ từ chôn lấp sang đốt rác để phát điện. Việc đầu tư vào các nhà máy xử lý rác để phát điện là giải pháp cần thiết, không chỉ giúp giải quyết vấn đề môi trường mà còn thúc đẩy phát triển kinh tế bền vững. Nhà máy điện rác không chỉ đóng vai trò quan trọng trong xử lý chất thải hiệu quả mà còn góp phần tạo ra năng lượng tái tạo, thúc đẩy kinh tế thông qua tạo công ăn việc làm và thu hút đầu tư vào địa phương. Quá trình chuyển đổi này phù hợp với xu hướng kinh tế tuần hoàn và giảm ô nhiễm môi trường ở thành phố Hồ Chí Minh. Tuy nhiên, để xây dựng nhà máy điện rác một cách hiệu quả, cần lựa chọn địa điểm phù hợp, đảm bảo nằm xa khu dân cư cũng như các khu vực bảo tồn nhằm hạn chế tối đa tác động xấu đến môi trường và đời sống của cộng đồng.

Nghiên cứu tập trung vào sàng lọc các tiêu chí nhằm đánh giá các vị trí tiềm năng để xây dựng nhà máy điện rác tại Thành phố Hồ Chí Minh. Phương pháp AHP được sử dụng để xác định trọng số của từng tiêu chí. Ngoài ra, danh sách các vị trí tiềm năng để xây dựng nhà máy điện rác được thu thập từ các tài liệu và các văn bản liên quan. Địa điểm tốt nhất để đặt nhà máy điện rác được xác định bằng cách áp dụng phương pháp AHP-TOPSIS. Tiếp theo, thảo luận, cũng như đề xuất các hướng phát triển hỗ trợ cho nhà máy điện rác trong tương lai. Nghiên cứu nhằm có những đóng góp trong việc phát triển năng lượng xanh tại khu vực đô thị ở Việt Nam, góp phần giảm thiểu tác động môi trường và phát triển bền vững. Bên cạnh đó, nghiên cứu còn chỉ ra những yếu tố tác động đến lựa chọn vị trí nhà máy điện rác thông qua lược khảo tài liệu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Các nghiên cứu liên quan

Chuyển đổi rác thải thành năng lượng (WtE) là một giải pháp lâu đời giúp giảm đáng kể khối lượng chất thải tới 90% và giảm thiểu tác động xấu môi trường của các bãi chôn lấp. Do đó, các cơ sở xử lý chất thải thành năng lượng đã đóng một vai trò ngày càng quan trọng trong việc quản lý chất thải rắn đô thị (MSW) trên toàn thế giới. Theo nghiên cứu của Chenlian Hu và cộng sự (2017), việc xem xét vị trí các cơ sở WtE luôn là một vấn đề được quan tâm, đặc biệt trong bối cảnh xem xét đến yếu tố bền vững. Lựa chọn địa điểm nhà máy WtE sẽ tác động sâu sắc đến hiệu quả chi phí, cuộc sống của cư dân và phát triển bền vững (Topaloglu, 2024). Đô thị hóa nhanh chóng và gia tăng dân số đặt ra những thử thách cho quản lý chất thải rắn hiệu quả ở những thành phố đang phát triển, Kang và cộng sự (2024) đã giải quyết vấn đề lựa chọn vị trí chôn lấp ở thành phố Kinshasa bằng phương pháp ra quyết định đa tiêu chí tích hợp GIS và AHP.

Theo Demetrious và Crossin (2019), vị trí của một nhà máy đốt rác có thể ảnh hưởng

đến các hệ thống môi trường, kinh tế và xã hội của khu vực ở quy mô toàn cầu hoặc địa phương và nhiều yếu tố cần được tính đến để đánh giá vị trí địa điểm, điều kiện hoạt động và hệ thống phù hợp nhất.

Nhiều thành phố ở khu vực Châu Á đã triển khai thành công hệ thống nhà máy đốt chất thải rắn thành điện năng, tạo triển vọng cho việc triển khai những nhà máy tương tự ở khu vực thành phố Hồ Chí Minh. Trường hợp tiêu biểu là nhà máy đốt chất thải TUAS SOUTH ở Singapore đã được hoàn thành vào tháng 6 năm 2000, với công suất thiết kế hơn 3.000 tấn rác thải/ngày, trường hợp tương tự cũng được thực hiện ở Tanaka, Nhật Bản. Những ví dụ này cho thấy tiềm năng áp dụng mô hình điện rác ở thành phố Hồ Chí Minh khả thi để đáp ứng với bối cảnh và điều kiện đặc thù của địa phương. Tại Việt Nam, vấn đề lựa chọn vị trí xây dựng nhà máy điện rác vẫn chưa được nghiên cứu toàn diện, đặc biệt trong việc tích hợp các yếu tố kỹ thuật như kinh tế, xã hội và môi trường.

2.2. Mô hình ra quyết định đa tiêu chí

Mô hình quyết định đa tiêu chí (MCDM) ngày càng đóng vai trò quan trọng trong việc ra quyết định trong lĩnh vực năng lượng bền vững, Wang và cộng sự (2009) chỉ ra rằng hệ thống cung cấp năng lượng được lựa chọn dựa trên sự xem xét các yếu tố đa chiều và phức tạp của các hệ thống các tiêu chí kỹ thuật, kinh tế, xã hội và môi trường. Các mô hình ra quyết định đa tiêu chí cung cấp một cách có cấu trúc để giải quyết vấn đề này bằng cách xem xét nhiều tiêu chí đồng thời (Taherdoost và Madanchian, 2023), là cách tiếp cận nhiều mặt cho phép đánh giá, lựa chọn và ưu tiên có hệ thống các lựa chọn thay thế dựa trên một loạt các tiêu chí mâu thuẫn và thường không tương xứng (Loken, 2007). Việc phân phối các nghiên cứu dựa trên các lĩnh vực chủ đề minh họa khả năng ứng dụng rộng rãi của các phương pháp MCDM trên một loạt các lĩnh vực.

Những công cụ ra quyết định đa tiêu chí được sử dụng rộng rãi nhất bao gồm AHP, ANP, lý thuyết hữu dụng đa thuộc tính (MAUT) như ELECTRE, PROMETHEE, là những phương pháp được sử dụng rộng rãi trong tiếp cận vấn đề môi trường liên quan của xử lý chất thải và trong các mô hình xếp hạng. Những phương pháp khác giúp tăng tính đồng nhất và chính xác có thể dùng các phương pháp kết hợp như AHP-TOPSIS, AHP-VIKOR, AHP-MARCOS hoặc DEMATEL, WASPAS, WSM, WPM, ... (Savva, 2012).

2.2.1. The Analytic Hierarchy Process (AHP)

Phương pháp phân tích thứ bậc - Analytic Hierarchy Process (AHP) là một phương pháp ra quyết định đa tiêu chí được Thomas Saaty phát triển vào năm 1970. AHP hỗ trợ quá trình ra quyết định bằng cách cấu trúc các vấn đề phức tạp thành một hệ thống phân cấp bao gồm mục tiêu, tiêu chí và các phương án lựa chọn. Thông qua so sánh cặp và gán trọng số tương đối, các nhà ra quyết định có thể định lượng các đánh giá mang tính chủ quan và xếp hạng các phương án dựa trên mức độ ưu tiên tổng thể.

AHP được áp dụng trong 16 công trình được lập bản đồ, chứng thực các nghiên cứu của Vlachokostas cũng chỉ ra trong nghiên cứu của họ về sự phổ biến của kỹ thuật này trong các dự án nhằm giúp ra quyết định về vị trí của các nhà máy sản xuất năng lượng từ chất thải (Vlachokostas, 2021).

2.2.2. Technique for Order Preference Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

TOPSIS là một kỹ thuật ra quyết định đa tiêu chí được sử dụng để sắp xếp các phương án tốt nhất từ những lựa chọn, được xây dựng bởi Hwang và Yoon (1981) có nhiều lợi thế so với các công nghệ MCDM khác. TOPSIS được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực bao gồm thương mại, kỹ thuật và khoa học sinh thái. Kỹ thuật TOPSIS xếp hạng các phương án thay thế dựa trên mức độ gần nhất

từ giải pháp lý tưởng dương và xa nhất từ giải pháp lý tưởng âm (Rani và Kaushal, 2022). TOPSIS là mô hình toán học đơn giản, cân bằng, rất linh hoạt và không yêu cầu tính độc lập của tiêu chí. Một số hạn chế của phương pháp này là cần chuẩn hóa để giải quyết vấn đề đa chiều và không thể kiểm tra tính nhất quán (Zoma, 2023).

2.2.3. The integrated Analytic Hierarchy Process - Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution approach (AHP-TOPSIS)

Hiện nay, nhiều học giả đã thảo luận về các phương pháp quyết định vị trí của các dự án WtE và áp dụng chúng vào thực tế. Theo Abdulvahitoglu (2022) đã quyết định sử dụng phương pháp tích hợp AHP-TOPSIS để loại bỏ những khuyết điểm của phương pháp AHP (thông tin quan trọng có thể bị mất do sử dụng tổng hợp tích lũy) và TOPSIS (khó để gán trọng số kiểm tra sự nhất quán) để tìm vị trí phù hợp cho canh tác hạt có dầu với mục tiêu giảm khí thải và phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch ở Thổ Nhĩ Kỳ. Zoma và Sawadogo (2023) sử dụng mô hình AHP-TOPSIS để phân tích ưu tiên nguồn lực sinh khối dựa trên các tiêu chí đã được xác định bởi chuyên gia và tham khảo từ nghiên cứu liên quan cho sản xuất năng lượng sinh học dựa trên 6 tiêu chí chính và 5 phương pháp sinh khối tiềm năng gồm thân cây bông, trấu, vỏ điều, vỏ xoài, hạt xoài.

Phương pháp AHP-TOPSIS cung cấp kết quả xếp hạng gần nhất với sở thích ban đầu của người ra quyết định và tiêu tốn ít thời gian hơn so với phương pháp AHP đơn lẻ. Bên cạnh đó, mặc dù TOPSIS với trọng số đồng đều thực hiện nhanh hơn, nhưng độ chính xác kém hơn khiến nó không phù hợp với các bài toán yêu cầu tính chính xác cao (Zoma, 2023).

2.2.4. Các mô hình khác để kiểm tra kết quả AHP-TOPSIS

Các mô hình đánh giá đa tiêu chí khác như WSM, WPM (Onajite và Oke, 2021) được dùng để so sánh kết quả so với mô hình AHP-

TOPSIS được đề xuất trong nghiên cứu, đồng thời bổ sung thêm cơ sở cho quyết định lựa chọn phương án cuối cùng thông qua đánh giá độ lệch của mô hình AHP-TOPSIS với kết quả của các mô hình tham khảo. Các mô hình trên được áp dụng trọng số từ kết quả của AHP thay vì sử dụng trọng số không ưu tiên (no priority) – giá trị các trọng số bằng nhau. Nghiên cứu chưa áp dụng thêm những phương pháp tính trọng số ưu tiên khác như CRITIC, Entropy. Cơ sở lý thuyết cho 3 mô hình:

Weighted Sum Method (WSM):

$$A_i^{WSM} = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij}$$

Weighted Product Model (WPM):

$$A_i^{WPM} = \prod_{j=1}^n r_{ij}^{w_j}$$

Trong đó:

- A_i^{WSM}, A_i^{WPM} là điểm số cuối cùng cho một phương án thứ i

- w_j là trọng số của thuộc tính thứ j

- r_{ij} là giá trị thuộc tính của thuộc tính thứ j

I, trong đó được tính thông qua chuẩn hóa ma trận thông số:

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} \end{bmatrix}$$

Tiêu chí lợi ích: $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\text{Max}(x_{ij})}$

Tiêu chí chi phí: $r_{ij} = \frac{\text{Min}(x_{ij})}{x_{ij}}$

Weighted Average Sum Product Assesment (WASPAS):

$$Q_i = \lambda A_i^{WSM} + (1 - \lambda) A_i^{WPM}$$

Trong đó:

- Q_i là điểm cuối cùng cho phương án thay thế

- A_i^{WSM}, A_i^{WPM} là điểm số phương án thứ i

- λ là hệ số trọng số ($0 \leq \lambda \leq 1$) dùng để điều chỉnh mức độ ảnh hưởng của WSM và WPM đến kết quả cuối cùng. λ được áp dụng cho nghiên cứu có giá trị là 0,5 (trọng số của A_i^{WSM} và A_i^{WPM} bằng nhau)

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Để xây dựng mô hình toán cho xây dựng vị trí WtE, khung phương pháp luận xem xét rằng mỗi địa điểm nhà máy điện rác thải phải đáp ứng các tiêu chí và đánh giá tầm quan trọng của chúng. MCDM áp dụng phương pháp AHP- TOPSIS được đề xuất cơ bản bao gồm bốn bước chính:

Bước 1: Xác định các tiêu chí lựa chọn vị trí xây dựng nhà máy điện rác

Theo Meng và cộng sự (2023), người ra quyết định tin rằng khu vực phù hợp để đặt nhà máy WtE là nơi ít gây ảnh hưởng nhất cho môi trường, được sự chấp thuận từ xã hội và giảm thiểu chi phí. Do đó, cần triển khai một nghiên cứu khả thi để khám phá các địa điểm tiềm năng. Một vị trí phù hợp cho việc xây dựng nhà máy là vừa giúp phát triển kinh tế và cung cấp cơ hội việc làm nhưng đồng thời việc vận chuyển rác cũng gây rất nhiều vấn đề. Vì thế, tiêu chí lựa chọn phải bao gồm các vấn đề về môi trường, xã hội và kinh tế liên quan đến việc tìm các địa điểm xây dựng.

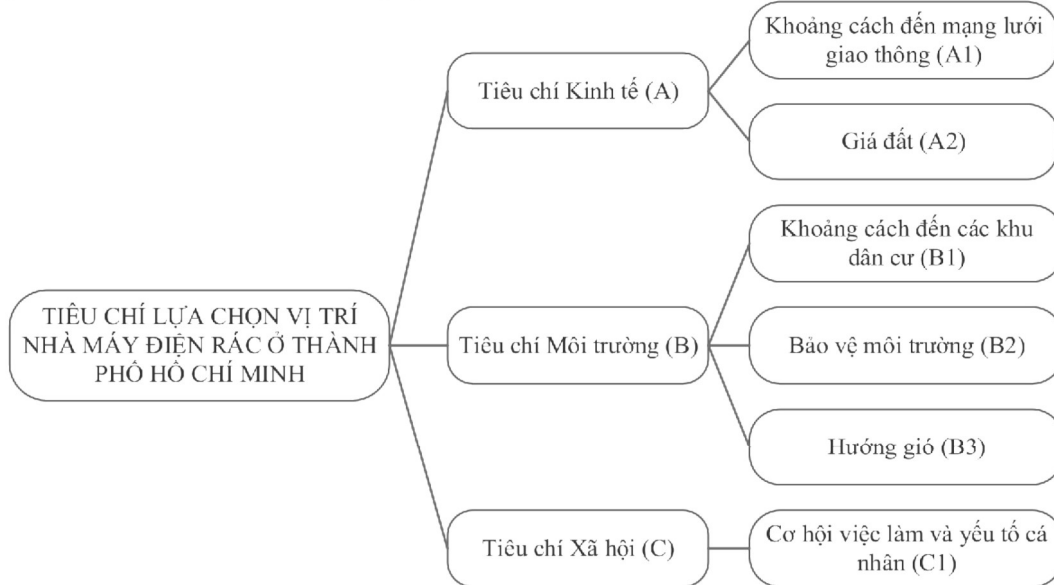
Thứ nhất, tiêu chí kinh tế bao gồm giá đất và khoảng cách đến các tuyến đường giao thông vì việc vận chuyển rác thải là một thách thức trong việc lựa chọn vị trí xây dựng nhà máy WtE, theo Vuppaladadiyam và cộng sự (2022). Bên cạnh đó, trong quyết định xây dựng nhà máy xử lý rác, chi phí đất đai là một trong những yếu tố quan trọng cần cân nhắc, bởi nó biến động đáng kể tùy theo vị trí địa lý, tốc độ phát triển của khu vực và khoảng cách đến các trung tâm dân cư hoặc khu công nghiệp.

Thứ hai, tiêu chí môi trường chủ yếu tập trung vào các yếu tố phụ: khoảng cách đến các khu dân cư, bảo vệ môi trường, hướng gió. Khoảng cách đến các khu dân cư được chấp nhận cho các nhà máy WtE thường tương đối thấp, với mối quan ngại chất độc hại sinh ra trong quá trình phân hủy và đốt không được loại bỏ một cách an toàn và đặt vấn đề liên quan đến sức khỏe của những cư dân trong khu vực (Feyzi, 2019). Xét hướng

gió, thành phố Hồ Chí Minh chịu ảnh hưởng bởi hai hướng gió chính và chủ yếu là gió mùa Tây - Tây Nam và Bắc - Đông Bắc. Gió Tây - Tây Nam từ Ấn Độ Dương thổi vào trong mùa mưa. Vì thế nên các ở quận ở phía Tây Nam - Đông Nam cần được hạn chế trong quá trình

ra quyết định chọn vị trí đặt nhà máy do hướng gió chính thổi trực tiếp khói đốt vào phía trung tâm đô thị.

Thứ ba, tiêu chí xã hội chủ yếu tập trung giải quyết về cơ hội việc làm và yếu tố cá nhân.



Hình 1. Khung tiêu chí cho lựa chọn vị trí nhà máy điện rác

Bước 2: Xác định trọng số các tiêu chí

Ở bước 2, AHP được dùng để so sánh các tiêu chí bằng cách so sánh theo từng cặp.

(1) *Xây dựng ma trận so sánh cặp*

Với n tiêu chí, ma trận so sánh cặp A có kích thước $n \times n$ được xây dựng. Mỗi phần tử a_{ji} biểu diễn mức độ quan trọng tương đối của tiêu chí C_j so với C_i . Mối quan hệ giữa các phần tử là đối xứng, tuân theo quy tắc $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ và mỗi phần tử trên đường chéo chính của ma trận đều bằng $a_{ii}=1$. Thang điểm so sánh cặp cho AHP theo các mức độ ưu tiên với các trọng số từ 1 – 9.

Ma trận so sánh cặp A được biểu diễn bởi $A = [a_{ij}] \forall i, j = 1, 2, \dots, n$ có thể xây dựng cho n tiêu chí ảnh hưởng đến việc lựa chọn một trong các phương án thay thế khả thi. Ma trận đánh giá A có thể trình bày như dưới đây trong đó a_{ij} là mức độ quan trọng tương đối

của tiêu chí A_i so với tiêu chí A_j :

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1(n-1)} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2(n-2)} & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{n(n-1)} & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

(2) *Chuẩn hóa ma trận*

Mỗi phần tử của ma trận được chuẩn hóa bằng cách chia nó cho tổng của cột tương ứng:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}}$$

Kết quả ta có ma trận chuẩn hóa:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

(3) *Tính trọng số vector*

Trọng số cho mỗi tiêu chí w_i là giá trị trung bình của các phần tử đã được chuẩn hóa trong hàng i :

Vector trọng số kết quả W là:
$$\begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix}$$

Vector trọng số này đại diện cho tầm quan trọng tương đối của mỗi tiêu chí.

(4) Kiểm tra sự nhất quán

Để đảm bảo rằng các so sánh cặp đôi là nhất quán về mặt logic, ta thực hiện kiểm tra tính nhất quán:

1/ Tính giá trị riêng lớn nhất:
$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n a_{ij} \times w_j) / w_i \quad (3)$$

2/ Tính Chỉ số Nhất quán (CI):
$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (4)$$

3/ Tính Tỷ số Nhất quán (CR):
$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Trong đó mức độ nhất quán có thể chấp nhận được được xác định bằng cách so sánh CI với chỉ số ngẫu nhiên (Random Index - RI) với n tiêu chí:

Bảng 1. Chỉ số ngẫu nhiên (RI)

n	2	3	4	5	6
RI	0	0,58	0,9	1,12	1,24

Hai chỉ số CI và RI được dùng để xác định tỷ số nhất quán theo công thức $CR=CI/RI$ và thể hiện tính nhất quán (chấp nhận) khi thỏa điều kiện $0 \leq CR \leq 0.1$.

Bước 3: Tính điểm của các vị trí khả thi bằng cách sử dụng TOPSIS

(1) Xây dựng ma trận quyết định

Gọi x_{ij} là điểm số của phương án i với tiêu chí j . Ma trận quyết định ban đầu được biểu diễn dưới dạng $X = (x_{ij})$

Ma trận quyết định ban đầu được biểu diễn như sau:
$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Trong đó:
- x_{ij} là điểm số của phương án i với tiêu chí j

- m là số phương án và n là số tiêu chí

(2) Chuẩn hóa ma trận quyết định

Để các tiêu chí có cùng thước đo, các giá trị trong ma trận được chuẩn hóa bằng cách sử dụng công thức:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (6)$$

Trong đó: r_{ij} là giá trị chuẩn hóa của phương án i theo tiêu chí j

(3) Xây dựng ma trận trọng số chuẩn hóa

Sau khi chuẩn hóa ma trận, trọng số của từng tiêu chí (được xác định bằng phương pháp AHP) được tích hợp để tạo ra ma trận trọng số chuẩn hóa: $v_{ij} = W_{ij} \times r_{ij} \quad (7)$, với W_{ij} là trọng số của tiêu chí j

(4) Xác định các điểm lý tưởng dương và lý tưởng âm

Điểm lý tưởng dương (A^+): Đây là các giá trị tốt nhất có thể đạt được cho từng tiêu chí:

$$A^+ = \{\max(v_{ij}) | j \in J, \min(v_{ij}) | j \in J'\}$$

Điểm lý tưởng âm (A^-): Đây là các giá trị xấu nhất có thể đạt được cho từng tiêu chí:

$$A^- = \{\min(v_{ij}) | j \in J, \max(v_{ij}) | j \in J'\}$$

Trong đó:

- J là tập hợp các tiêu chí cần tối đa hóa (hiệu suất, năng suất).

- J' là tập hợp các tiêu chí cần tối thiểu hóa (chi phí, tác động môi trường).

(5) Tính khoảng cách tới các điểm lý tưởng

Khoảng cách Euclid được sử dụng để tính khoảng cách từ mỗi phương án đến các điểm lý tưởng dương và âm:

Khoảng cách tới điểm lý tưởng dương:
$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (8)$$

Khoảng cách tới điểm lý tưởng âm:
$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (9)$$

(6) Tính độ gần gũi tương đối với giải pháp lý tưởng

Độ gần gũi tương đối của phương án với giải pháp lý tưởng được tính như sau:

$$\text{Với: } C_i^* = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (10)$$

- C_i^* nằm trong khoảng 0 đến 1

- Phương án có giá trị C_i^* cao nhất là phương án tối ưu nhất. Khi D_i^+ nhỏ (tức phương án gần điểm lý tưởng dương) và D_i^- lớn (xa điểm lý tưởng âm) thì C_i^* sẽ tiệm cận 1 (tốt nhất). Ngược lại, sẽ tiệm cận 0 (hạn chế nhất).

Bước 4: So sánh kết quả của AHP-TOPSIS với các mô hình WSM, WPM, WASPAS

Sau khi phân tích và xếp hạng các phương án bằng AHP-TOPSIS, nghiên cứu tiếp tục đánh giá mức độ ổn định, đồng nhất và tương

thích kết quả thông qua so sánh với các phương pháp MCDM kinh điển, đơn giản và đáng tin cậy như WSM, WPM và WASPAS. Các mô hình này sử dụng cùng tập trọng số từ AHP, đảm bảo tính nhất quán dữ liệu đầu vào và cho phép kiểm tra mức độ đồng thuận thứ hạng, từ đó nâng cao tính khách quan và độ tin cậy trong lựa chọn phương án tối ưu trong bối cảnh ra quyết định có nhiều đa tiêu chí phức tạp mâu thuẫn.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Sau khi xem xét tầm quan trọng theo thứ tự ưu tiên của các yếu tố đã phân tích ở *bước 1* và Hình 1 gồm ba tiêu chí chính: Kinh tế, Môi trường, Xã hội và các tiêu chí phụ liên quan, áp dụng phương pháp AHP để đánh giá trọng số cho các tiêu chí phụ và trọng số cho các tiêu chí chính ở Bảng 2, Bảng 3 và Bảng 4.

Bảng 2. So sánh Khoảng cách đến tuyến giao thông và Giá đất

Tiêu chí	A1	A2	Trọng số
A1	1	2	0,67
A2	1/2	1	0,33

Bảng 3. So sánh Khoảng cách đến khu dân cư, Bảo vệ môi trường, Hướng gió

Tiêu chí	B1	B2	B3	Trọng số
B1	1	2	1/2	0,312
B2	1/2	1	1/2	0,198
B3	2	2	1	0,490

Bảng 4. So sánh ba tiêu chí chính

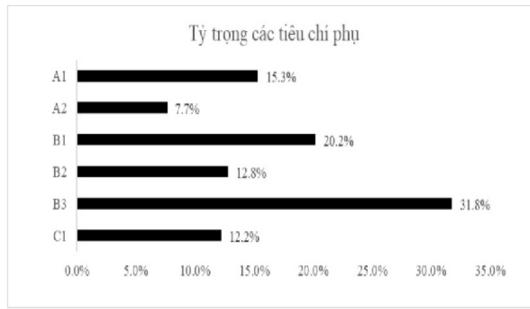
Tiêu chí	A	B	C	Trọng số
A	1	5	3	0,230
B	1/5	1	1/2	0,648
C	1/3	2	1	0,122

Trong *bước 2*, việc xác định trọng số từng tiêu chí chính và các tiêu chí phụ đồng thời phải đảm bảo tính nhất quán trong từng nhóm tiêu chí. Ví dụ, Bảng 4 - So sánh ba tiêu chí chính được tính toán dựa trên 3 tiêu chí. Dựa vào các hệ số từ bảng AHP trong Bảng 4 kết hợp với các công thức (3), (4) và (5), với 3 tiêu chí RI = 0,58:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3,004 - 3}{3 - 1} = 0,002$$

$$\Rightarrow CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,002}{0,58} = 0,003 < 0,1. \text{ Tương tự, chỉ số CR} = 0,05 \text{ ở Bảng 3.}$$

Tiếp theo chuẩn hóa trọng số các tiêu chí phụ dựa theo trọng số các tiêu chí được kết quả ở Hình 2.



Hình 2. Tỷ trọng các tiêu chí phụ

Tỷ trọng các tiêu chí lựa chọn nhà máy điện rác ở thành phố Hồ Chí Minh gồm 6 tiêu chí phụ và 3 tiêu chí chính được dùng để đánh giá cho mô hình TOPSIS và các mô hình WSM, WPM, WASPAS dùng để kiểm tra kết quả mô hình AHP-TOPSIS.

Dựa vào đánh giá những tiêu chí phụ ở bước 1, nhóm nghiên cứu tiến hành đo lường tham số tham khảo cho từng tiêu chí dựa trên số liệu từ các nghiên cứu đã được thực hiện và số liệu thực tế thu thập được ở khu vực thành phố Hồ Chí Minh. Phân tích xếp hạng phương theo bước 3 thông qua chuyển đổi dữ liệu đã

thu thập sang dạng chuẩn hóa theo thang điểm từ 1-10 lấy từ khảo sát thông số tham khảo cho các địa điểm ở các vị trí đã được chọn khảo sát (Bảng A – Phụ lục)

Tiếp theo tính lý tưởng dương (D_i^+) từ công thức (8) và giải pháp lý tưởng âm (D_i^-) từ công thức (9) của từng vị trí tiềm năng, cuối cùng xác định độ gần gũi tương đối của từng phương án so với giải pháp lý tưởng được tính từ công thức (10).

Kết quả trung bình được tính từ xếp hạng trung bình theo thứ tự của từng phương án ở bước 4 bằng Heatmap ở Bảng 5 xếp hạng được xây dựng từ bốn mô hình đánh giá khác nhau (TOPSIS, WSM, WPM và WASPAS), qua đó cho thấy mức độ tương đồng trong thứ tự ưu tiên của các vị trí. Các kết quả này cung cấp dữ liệu định lượng rõ ràng, giúp nhận biết được các vị trí có tiềm năng cao nhất cho dự án xây dựng nhà máy điện rác tại thành phố Hồ Chí Minh.

Bảng 5. Heatmap xếp hạng phương án theo TOPSIS, WSM, WPM, WASPAS

Phương án	Xếp hạng				
	TOPSIS	WSM	WPM	WASPAS	Trung bình
Thới Tam Thôn, Hóc Môn	1	2	2	2	2
Tân Thới Nhì, Hóc Môn	5	7	3	5	5
Phước Hiệp, Củ Chi	3	4	8	4	4
Phú Hòa Đông, Củ Chi	2	1	1	1	1
Trung An, Củ Chi	4	3	5	3	3

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu xác lập rõ vai trò then chốt của tiêu chí môi trường trong việc lựa chọn vị trí xây dựng nhà máy điện rác (WtE), phản ánh nhận thức ngày càng cao về phát triển bền vững tại các đô thị lớn như TP. Hồ Chí Minh. Với tỷ trọng lên đến 64,8%, môi trường vượt trội so với hai yếu tố còn lại là kinh tế và xã hội, cho thấy ưu tiên hàng đầu của các chuyên gia là giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường và cộng đồng. Điều này cũng cho thấy yêu cầu về quy hoạch không

gian và hạ tầng giao thông phải phù hợp với điều kiện tự nhiên – nhất là các yếu tố như hướng gió và khoảng cách đến khu dân cư.

Việc áp dụng AHP-TOPSIS không chỉ giúp lượng hóa tầm quan trọng tương đối giữa các tiêu chí, mà còn cung cấp một khung phương pháp có tính minh bạch cao trong xếp hạng các phương án địa điểm. Kết quả xếp hạng của mô hình AHP-TOPSIS có sự đồng thuận cao với các phương pháp MCDM khác (WSM, WPM, WASPAS), cho thấy tính ổn định và độ tin cậy của phương pháp tích hợp

này trong bối cảnh ra quyết định phức tạp, có nhiều ràng buộc xã hội – kỹ thuật.

Các vị trí được ưu tiên hàng đầu như Phú Hòa Đông, Thới Tam Thôn, Phước Hiệp và Trung An (đều thuộc huyện Củ Chi và Hóc Môn) có điểm chung là có điều kiện đất đai phù hợp, xa khu dân cư và thuận lợi về giao thông – cho thấy tiềm năng quy hoạch WtE ở các khu vực ngoại ô đô thị, nơi còn quỹ đất và khả năng phát triển hạ tầng.

Tuy nhiên, giới hạn về số lượng tiêu chí và dữ liệu khảo sát cũng là điểm cần cải thiện, nhóm dựa theo ý kiến và phân tích của các nghiên cứu để làm tiền đề cho đánh giá trọng số AHP chưa thật sự theo sát hoàn toàn với thực tế ở khu vực. Các nghiên cứu tương lai có thể mở rộng thêm các yếu tố định lượng khác như năng lực tiếp cận lưới điện, mức độ ủng hộ từ cộng đồng dân cư, hoặc kết hợp GIS và mô hình mô phỏng lan truyền ô nhiễm để tăng tính toàn diện.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được thực hiện nhờ sự hỗ trợ của Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

Tài liệu tham khảo

A. Abdulvahitoglu and M. Kilic (2022), “A new approach for selecting the most suitable oilseed for biodiesel production; the integrated AHP-TOPSIS method”, *Ain Shams Engineering Journal*, May 2022, pp. 101604.

A. Demetrious, and E. Crossin (2019), “Life cycle assessment of paper and plastic packaging waste in landfill, incineration, and gasification-pyrolysis”, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 15 August 2023, pp. 850–860.

A. K. Vuppala Kadiyam et al. (2022), “Biomass pyrolysis: A review on recent advancements and green hydrogen production”, *Bioresource Technology*, November 2022, pp. 128087.

C. Hu, X. Lu, and J. Lu (2017). “A bi-objective two-stage robust location model for waste-to-energy facilities under

uncertainty.”, *Decision Support Systems*, May 2017, pp. 37-50.

Ch. Vlachokostas, A. V. Michailidou, and Ch. Achillas (2021), “Multi-Criteria Decision Analysis towards promoting Waste-to-Energy Management Strategies: A critical review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, March 2021, vol. 138, p. 110563.

C. L. Hwang and K. Yoon (1981), “Multiple Attribute Decision Making,” *Methods and Applications a State-of-the-Art Survey*, vol. 186, p. 269.

E. Løken (2007), “Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, September 2007, pp. 1584–1595.

F. Topaloğlu (2024), “Analytic network process (ANP) based decision support tool for nuclear power plant location and reactor type selection.”, *Nuclear Engineering and Technology*, March 2025, pp. 1545-1557.

Q. Meng, N. Pang, S. Zhao, and J. Gao (2023), “Two-stage optimal site selection for waste-to-energy plant using single-valued neutrosophic sets and geographic information System based multi-criteria decision-making approach: a case study of Beijing, China,” *Waste Management*, February 2023, pp. 283–296.

J. J. Wang, Y. Y. Jing, C. F. Zhang, and J.H.Zhao. (2009), “Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, December 2009, pp. 2263–2278.

H. Taherdoost, and M. Madanchian (2023), “Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts”, *Encyclopedia*, 9 January 2023, pp. 77–87.

P. G. Savva, C. N. Costa, and A. G. Charalambides (2012), “Environmental, economical and marketing aspects of the operation of a waste-to-energy plant in the Kotsiatis landfill in Cyprus”, *Waste and Biomass Valorization*, 17 July 2012, pp. 259–269.

M. Rani and S. Kaushal (2022), “GeoClust: Feature engineering based

framework for location-sensitive disaster event detection using AHP-TOPSIS”, Expert Systems with Applications, 30 December 2022, pp. 118461.

F. Zoma and M. Sawadogo (2023), “A multicriteria approach for biomass availability assessment and selection for energy production in Burkina Faso: A hybrid AHP-TOPSIS approach”, Heliyon, October 2023, e20999.

O. Onajite, S.A. Oke (2021), “The Application of WSM, WPM and WASPAS Multicriteria Methods for Optimum Operating Conditions Selection in Machining

Operations”, Jurnal Rekayasa Sistem Industri, April 2021, pp. 1-14.

S. Feyzi, M. Khanmohammadi, N. Abedinzadeh, and M. Aalipour (2019), “Multi-criteria decision analysis FANP based on GIS for siting municipal solid waste incineration power plant in the north of Iran”, Sustainable Cities and Society, May 2019, pp. 101513.

Y. O. Kang, H. Yabar, T. Mizunoya, and Y. Higano (2024), “Optimal landfill site selection using ArcGIS Multi-Criteria Decision-Making,” Environmental Challenges, January 2024, pp. 100826.

Phụ lục

Bảng A. Thông số tham khảo cho các địa điểm tiềm năng dựa trên các tiêu chí

Tiêu chí	A		B			C
Điểm	A1 (m)	A2 (triệu đồng/m ²)	B1 (m)	B2 (m)	B3	C1
0	-	-	-	0-100	-	-
1	-	-	-	100-200	-	-
2	-	-	-	200-400	-	-
4	> 4.000	> 45	-	-	-	-
5	-	-	<1.000	400-500	-	Q.7, Q.8, Bình Chánh
6	> 3.000	> 40	1.000-2.000	-	-	Bình Chánh, Thủ Đức
7	2.000- 3.000	25-40	2.000-3.000	-	-	Tân Bình, Bình Tân, Tân Phú
8	1.000- 2.000	15-25	3.000-5.000	500-600	-	Q.12
9	500-1.000	15-25	-	-	-	Hóc Môn
10	< 500	< 15	>5.000	>600	-	Củ Chi

A MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING MODEL FOR SELECTING LOCATIONS FOR WASTE-TO-ENERGY PLANT IN HO CHI MINH CITY

ABSTRACT

The rapid socio-economic development has led to an increase in waste generation, posing a significant challenge for many countries, including Vietnam. This necessitates the adoption of advanced and sustainable waste management solutions to replace traditional landfill disposal. One widely adopted approach is Waste-to-Energy (WtE) technology, which not only alleviates pressure on existing landfills but also generates renewable energy, contributing to environmental protection and meeting the growing energy demand. This study analyzes and evaluates potential locations for WtE plant construction using the hybrid AHP-TOPSIS method. Data were collected based on six criteria categorized into three main groups: environmental, economic, and social factors, in Ho Chi Minh City. The analysis of 24 locations identifies Cu Chi as the most suitable site for a WtE plant, minimizing environmental impacts and promoting sustainable development in Ho Chi Minh City.

Keywords: AHP, Biomass, Multi-criteria Decision-making, TOPSIS, Waste-to-Ener