

Tích hợp phương pháp phân tích thứ bậc Fuzzy-AHP và phương pháp Fuzzy -GIS trong phân vùng phát triển điện gió tỉnh Bạc Liêu theo hướng bền vững

Hoàng Nhật Trường¹, Lý Thị Bích Trâm^{2,*}, Đỗ Thị Thu Huyền², Nguyễn Minh Hiếu²



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Dưới góc độ kinh tế, môi trường và xã hội, việc lựa chọn địa điểm dự án gió là một bài toán khó với nhiều tiêu chí cần xem xét. Nghiên cứu này đề xuất một bộ công cụ hỗ trợ ra quyết định thông qua việc tích hợp phương pháp phân tích thứ bậc Fuzzy-AHP nhằm xác định trọng số của các tiêu chí và phương pháp Fuzzy -GIS để chuẩn hóa dữ liệu và xây dựng bản đồ phân vùng khu vực tiềm năng, xác định các phương án bố trí tối ưu các nhà máy điện gió. Nghiên cứu đã đề xuất 02 bộ tiêu chí đánh giá, bao gồm bộ các tiêu chí loại trừ và bộ các tiêu chí đánh giá xếp hạng mức độ ưu tiên các khu vực phát triển điện gió. Nhóm bộ tiêu chí đánh giá được phân ra thành 3 nhóm tiêu chí cấp 1 và 10 tiêu chí cấp 2. Bên cạnh kết quả nghiên cứu cho thấy sự phù hợp với quy hoạch phát triển điện gió của tỉnh Bạc Liêu, một kết quả nổi bật của nghiên cứu là: Trong khi những nhà ra quyết định cho rằng các khu vực đất trồng lúa, chiếm 83,86% tổng diện tích của tỉnh, không thích hợp để phát triển điện gió thì nhóm nghiên cứu phát hiện ra rằng các khu vực ruộng lúa cần được đưa vào khu vực xem xét quy hoạch vì có tốc độ gió lớn cũng như các tác động tích cực của các trang trại gió mang lại cho năng suất cây trồng và giảm thiểu tác động tiêu cực lên môi trường tự nhiên.

Từ khoá: Fuzzy-AHP, Fuzzy -GIS, phân vùng, lựa chọn vị trí, điện gió

GIỚI THIỆU

Trong nhiều năm qua, đã có những nỗ lực to lớn trong việc giới thiệu các kỹ thuật ra quyết định đa tiêu chí (Multiple Criteria Decision Making -MCDM) để tìm ra các quyết định xếp hạng thứ bậc hiệu quả. MCDM giúp người ra quyết định đưa ra các quyết định mang tính khách quan và có tính định lượng hơn so với các phương pháp truyền thống chỉ mang tính định tính và chủ quan. Bên cạnh đó, việc ứng dụng phương pháp phân tích thứ bậc trong các kỹ thuật ra quyết định đa tiêu chí hoặc kết hợp các phương pháp này với nhau hoặc kết hợp một/nhiều phương pháp trong nhóm kỹ thuật này với GIS/Fuzzy logic trong GIS trong việc lựa chọn vị trí tối ưu, ngay cả trong lĩnh vực năng lượng tái tạo. Trên thế giới và cũng như tại Việt Nam, đã có nhiều nghiên cứu về phát triển công cụ hỗ trợ ra quyết định trong lựa chọn vị trí điện gió dựa trên đã sử dụng kết hợp phương pháp GIS và phương pháp phân tích quyết định đa tiêu chí. Trong đó, phương pháp phân tích thứ bậc (Analytic Hierarchy Process – AHP) và phương pháp phân tích thứ bậc mờ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process - FAHP) là phương pháp MCDM được sử dụng phổ biến nhất. Bảng 1 thể hiện tổng quan một số nghiên cứu trong 3 năm gần nhất đã được

thực hiện liên quan đến việc xác định vị trí đặt nhà máy điện gió.

Tại tỉnh Bạc Liêu, dựa trên quy hoạch phát triển điện gió tỉnh Bạc Liêu tại Quyết định số 1403/QĐ-BCT được Bộ Công Thương phê duyệt ngày 11/4/2016, tỉnh Bạc Liêu đã xác định 3 vùng quy hoạch phát triển điện gió. Mặc dù vậy, trong nội dung quy hoạch hiện tại chưa có một phương pháp cụ thể nào được đề cập và mức độ ảnh hưởng của từng tiêu chí đánh giá đối với nội dung được quy hoạch cũng chưa được thể hiện rõ ràng. Do đó, bộ công cụ hỗ trợ ra quyết định dựa trên Fuzzy AHP kết hợp với phương pháp Fuzzy logic-GIS trong nghiên cứu này sẽ đem lại một phương pháp khả thi nhằm xây dựng một bộ công cụ để xác định vị trí tối ưu trong lĩnh vực năng lượng tái tạo.

KHU VỰC NGHIÊN CỨU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU:

Khu vực nghiên cứu

Tỉnh Bạc Liêu nằm ở Tây Nam Bộ, thuộc khu vực Đồng bằng sông Cửu Long (Hình 1), có tọa độ từ 9⁰00'00" đến 9⁰37'30" vĩ độ Bắc và từ 105⁰15'00" đến 105⁰52'30" kinh độ Đông, địa hình tự nhiên thấp và

¹Trường Đại học Quốc tế, ĐHQG-HCM, Việt Nam

²Viện Môi trường và Tài nguyên, ĐHQG-HCM, Việt Nam

Liên hệ

Lý Thị Bích Trâm, Viện Môi trường và Tài nguyên, ĐHQG-HCM, Việt Nam

Email: bichtram@hcmier.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 07-12-2021
- Ngày chấp nhận: 05-01-2022
- Ngày đăng: 30-06-2022

DOI: 10.32508/stdjsec.v6i1.677



Bản quyền

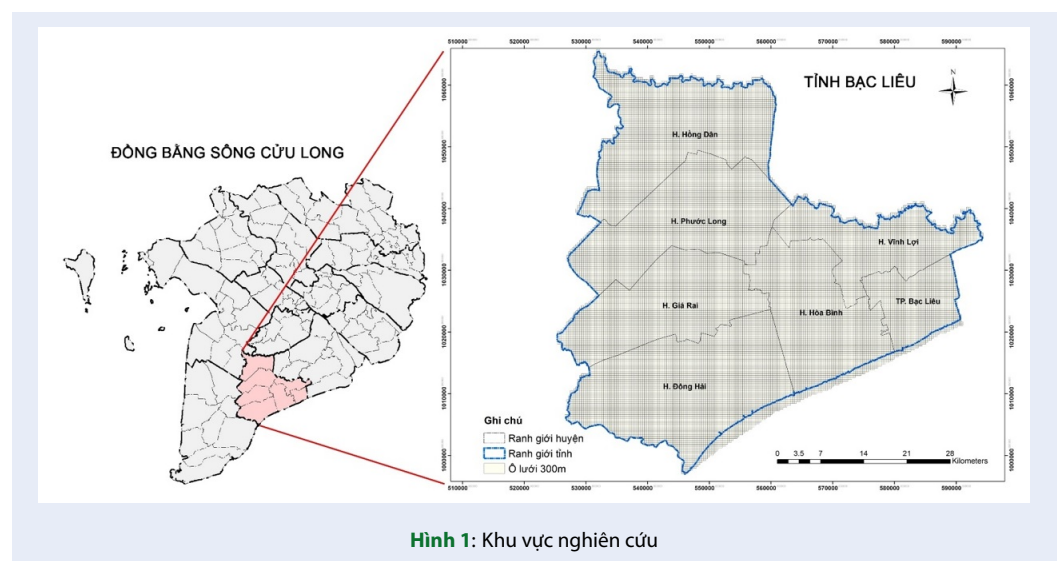
© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Trích dẫn bài báo này: Trường H N, Trâm L T B, Huyền D T T, Hiếu N M. **Tích hợp phương pháp phân tích thứ bậc Fuzzy-AHP và phương pháp Fuzzy -GIS trong phân vùng phát triển điện gió tỉnh Bạc Liêu theo hướng bền vững.** *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.* 2022; 6(1):493-506.

Bảng 1: Tổng quan một số nghiên cứu trong 3 năm gần nhất liên quan đến việc xác định vị trí đặt nhà máy điện gió

Phương pháp thực hiện	Khu vực nghiên cứu	Năm	Tài liệu tham khảo
GIS và AHP	Ấn Độ	2021	1
GIS và AHP	Thổ Nhĩ Kỳ	2021	2
GIS và FAHP	Morocco	2021	3
GIS và AHP	Governorate	2021	4
GIS và AHP	Virginia	2021	5
GIS và Phương pháp kết hợp có trọng số MDCM	Hy Lạp	2021	6
Grid GIS và Choquet Fuzzy Integral	Trung Quốc	2021	7
Các số mờ ngôn ngữ trực quan và toán tử IL-WAA	Trung Quốc	2020	8
TOPSIS	Saudi Arabia	2020	9
Phương pháp định lượng, GIS, và phân tích quyết định đa tiêu chí	Israel	2020	10
IAHP, VIKOR và GIS	Trung Quốc	2020	11
GIS- phân tích quyết định đa tiêu chí, Mô hình Deep-array wake	Saudi Arabia	2020	12
GIS và phương pháp đánh giá thứ bậc	Bồ Đào Nha, Tây Ban Nha và Pháp	2020	13
AHP- TOPSIS và Apogee tools - GIS	Hy Lạp	2020	14
AHP và TOPSIS	Hy Lạp	2019	15
GIS- Phân tích quyết định đa tiêu chí	Anh	2019	16
Phần mềm AHP- HGM-KURE	Thổ Nhĩ Kỳ	2019	17
GIS- Phân tích quyết định đa tiêu chí	Hong Kong	2019	18
PROMETHEE-GIS	-	2019	19
AHP-GIS	Thổ Nhĩ Kỳ	2019	20



Hình 1: Khu vực nghiên cứu

tương đối bằng phẳng, phía Bắc giáp tỉnh Hậu Giang và Kiên Giang; phía Đông và Đông Bắc giáp tỉnh Sóc Trăng; phía Tây và Tây Nam giáp tỉnh Cà Mau; phía Đông và Đông Nam giáp biển Đông.

Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đề xuất mô hình MCDM, bao gồm tích hợp phương pháp Fuzzy- GIS và phương pháp Fuzzy-AHP để lựa chọn vị trí tối ưu cho việc xây dựng nhà máy điện gió theo hướng bền vững. Có 04 giai đoạn trong nghiên cứu này, như thể hiện trong Hình 2.

- **Giai đoạn 1:** Xác định mục tiêu và tiêu chí. Trong bước này, các tiêu chí để lựa chọn vị trí tối ưu sẽ được xác định. Tất cả các tiêu chí đã được xây dựng thông qua tham khảo ý kiến các chuyên gia và tổng hợp, đánh giá tài liệu nghiên cứu trước đó.

Để xác định các khu vực tiềm năng phát triển điện gió, hai bộ tiêu chí gồm các tiêu chí loại trừ và các tiêu chí có trọng số được xác định dựa trên việc tham vấn ý kiến chuyên gia và tổng quan các tài liệu nghiên cứu đã có. Các tiêu chí loại trừ được sử dụng để xác định các vùng không phù hợp để phát triển điện gió và các tiêu chí có trọng số phục vụ việc phân loại hoặc xếp hạng mức độ phù hợp của các khu vực còn lại cho việc phát triển các dự án điện gió²¹. Các tiêu chí được phân loại và mô tả trong Bảng 2 và Bảng 3.

- **Giai đoạn 2:** Thu thập và xây dựng bộ cơ sở dữ liệu cho các tiêu chí đã xác lập. Các dữ liệu liên quan được chuyển thành các lớp bản đồ để xử lý ở các bước tiếp theo trong môi trường GIS.

Các dữ liệu liên quan được thu thập từ các nguồn uy tín, đã được công bố rộng rãi, trong đó:

- Dữ liệu gió tại độ cao 100m lấy từ cơ sở dữ liệu của The Global Wind Atlas, trong đó, số liệu đo gió tham khảo của bộ dữ liệu này xây dựng từ trạm đo gió Thạnh Hải (thuộc huyện Thạnh Phú, tỉnh Bến Tre), cách tỉnh Bạc Liêu khoảng 120km;
- Dữ liệu đo gió tại trạm đo gió Công Lý (tại Tp. Bạc Liêu) phục vụ hiệu chỉnh bản đồ tiềm năng gió;
- Dữ liệu sử dụng đất để tính hệ số ma sát mặt đất theo công thức Hellman.

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha$$

Trong đó: v là vận tốc gió ở độ cao H, v₀ là vận tốc gió ở độ cao H₀ và α hệ số ma sát bề mặt hay số mũ Hellman (Bảng 4).

Từ kết quả xây dựng từ dữ liệu gió toàn cầu, tốc độ gió tại độ cao 80m được xác định dao động từ 4,32 m/s đến 6,64 m/s và tốc độ gió trung bình toàn vùng là 5,49m/s.

Áp dụng Fuzzy để chuẩn hóa dữ liệu:

- Chuyển các định dạng dữ liệu vector thành raster với độ phân giải 300m x 300m.

- Chuẩn hóa dữ liệu: Phương pháp phân loại Fuzzy Logic là phương pháp dựa trên nguyên tắc mỗi pixel có thể thuộc về nhiều lớp phủ và mỗi lớp phủ sẽ chiếm tỷ lệ phần trăm tương ứng trong mỗi pixel. Dữ liệu trong các các lớp tiêu chí được phân loại lại hoặc chuyển đổi theo thang điểm từ 0 đến 1 dựa trên khả năng là thành viên của một tập hợp cụ thể. 0 được gán cho những vị trí chắc chắn không phải là thành viên của tập được chỉ định, 1 được gán cho những giá trị chắc chắn là thành viên của tập được chỉ định và toàn bộ phạm vi khả năng từ 0 đến 1 được gán cho một số mức có thể thành viên (số lượng càng lớn thì khả năng càng lớn). Việc chuẩn hóa các lớp bản đồ là cần thiết để chuyển đổi các đơn vị không đồng nhất thành các đơn vị tương tự và có thể so sánh được⁴⁰.

Trong nghiên cứu này, các lớp bản đồ đã được chuẩn hóa bằng logic mờ thông qua các hàm thuộc mờ thể hiện tại Bảng 5. Bảng 6 đưa ra các giá trị tham chiếu và ngưỡng cho phép đối với từng tiêu chí và tiêu chí phụ.

- Các tiêu chí có trọng số được chuẩn hóa bằng các hàm Fuzzy Logic tương ứng như sau:

Kết quả chuẩn hóa 10 tiêu chí được thể hiện trong Hình 3.

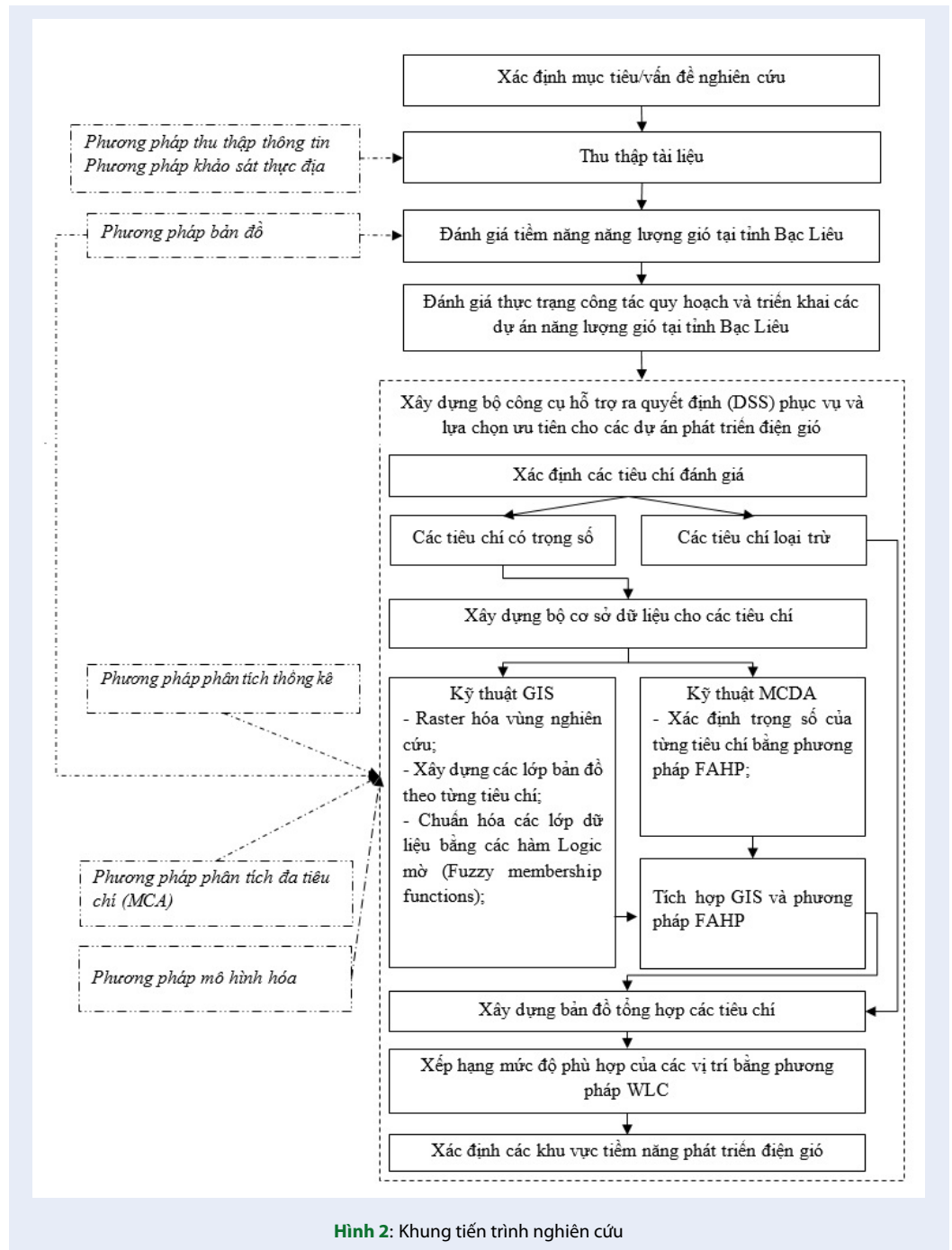
- **Giai đoạn 3:** Áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc Fuzzy-AHP nhằm xác định trọng số của các tiêu chí và phương pháp Fuzzy -GIS để chuẩn hóa dữ liệu và xây dựng bản đồ. Bản đồ các khu vực phù hợp để phát triển điện gió được xây dựng thông qua phương pháp Tổ hợp tuyến tính có trọng số (WLC) các lớp tiêu chí.

Trong phương pháp phân tích thứ bậc Fuzzy -AHP, thang đo chuyển đổi được áp dụng để chuyển đổi biến ngôn ngữ thành số Fuzzy. Nghiên cứu sử dụng thang đo từ 1 đến 9⁴³ với 5 khoảng chuyển đổi được thể hiện trong Bảng 7.

Từ đó, ma trận so sánh cặp Fuzzy được xây dựng như sau:

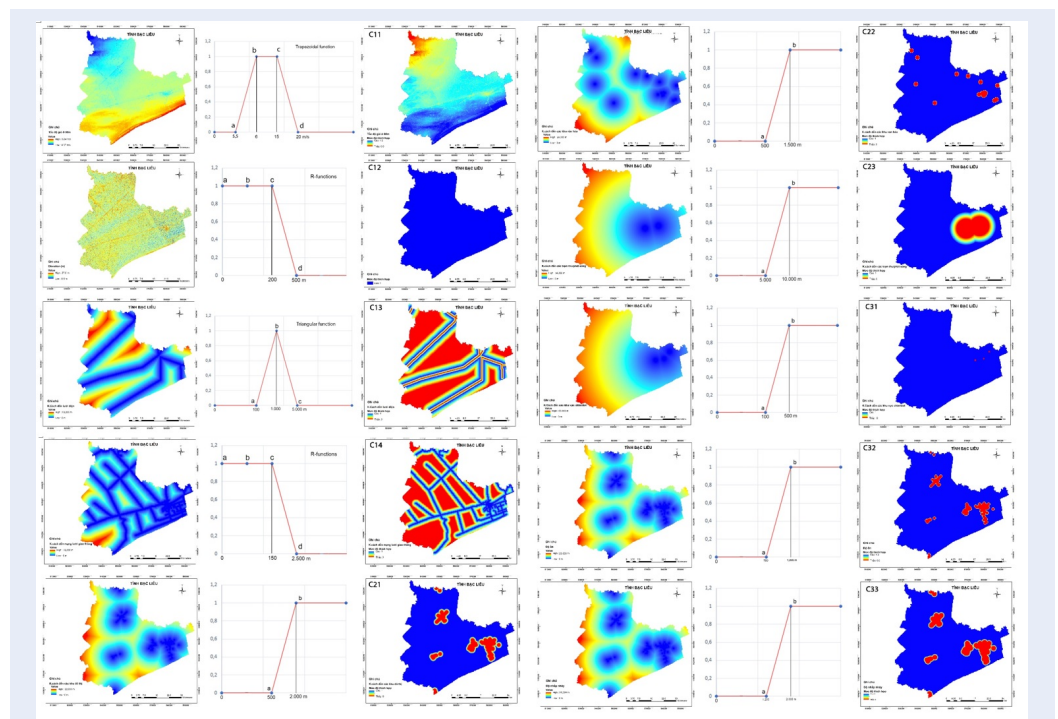
$$A = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ 1/\tilde{a}_{12} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{1n} & 1/\tilde{a}_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$



Bảng 2: Các tiêu chí loại trừ

Tên tiêu chí	Mô tả
Khu vực được bảo vệ theo luật	Các khu vực được bảo vệ theo luật gồm các khu bảo tồn thiên nhiên, khu sinh quyển, các di tích lịch sử và khảo cổ, các khu vực di sản văn hóa, khu vực an ninh- quốc phòng, các khu du lịch, rừng phòng hộ, các hành lang an toàn và các khu vực trong phạm vi đệm 500 m của các vùng này được phân loại là các khu vực không phù hợp. ²²⁻²⁴
Khu mặt nước chuyên dùng (sông, hồ) và các khu đất ngập nước	Các khu vực mặt nước chuyên dùng (sông, hồ tự nhiên, kênh thủy lợi) không phù hợp cho các nhà máy điện gió vì nó sẽ cản trở đường dẫn nước và chi phí xây dựng sẽ cao. Do đó, các khu vực trong vùng đệm 200 m của các con sông cấp 1 được phân loại là vùng loại trừ. ²⁵
Khu vực có tốc độ gió dưới 6,0 m/s	Theo tài liệu hướng dẫn đánh giá năng lượng gió, tốc độ gió 5-6m/s là tốc độ gió khả thi cho bơm nước và phát điện thương mại. Tốc độ gió 6m/s trở lên thì phù hợp cho phát triển điện gió ²⁶ . Do đó, trong nghiên cứu chọn loại trừ các khu vực có tốc độ gió dưới 6,0 m/s.



Hình 3: Các tiêu chí đã được chuẩn hóa theo từng lớp dữ liệu bản đồ

Tính toán trọng số Fuzzy cho từng tiêu chí.

Sử dụng phương pháp trung bình hình học để xác định số trung bình hình học Fuzzy và trọng số Fuzzy cho mỗi tiêu chí.

$$\tilde{r}_j = (\tilde{a}_{i1} \times \tilde{a}_{i2} \times \tilde{a}_{i3} \times \dots \times \tilde{a}_{in})^{1/n} \quad (2)$$

$$\tilde{w}_j = (\tilde{r}_1 \times \tilde{r}_2 \times \tilde{r}_3 \times \dots \times \tilde{r}_n)^{-1} \quad (3)$$

Trong đó: \tilde{r}_j là số trung bình hình học Fuzzy

\tilde{w}_j là trọng số Fuzzy của tiêu chí thứ j,

Với $\tilde{w}_j = (L_{wj}, M_{wj}, U_{wj})$, L_{wj}, M_{wj} và U_{wj} đại diện cho các giá trị thấp nhất, trung bình và cao nhất của trọng số Fuzzy của tiêu chí thứ j.

Giải mờ trọng số Fuzzy.

Vì \tilde{w}_j vẫn là số mờ nên tiến hành giải mờ bằng phương pháp khu vực trung tâm (Centre of Area method) theo công thức:

$$\bar{w}_j = \frac{L_{wj} + M_{wj} + U_{wj}}{3} \quad (4)$$

Với \bar{w}_j là trọng số thực của tiêu chí thứ j.

Bảng 3: Các tiêu chí có trọng số

Nhóm các tiêu chí (*)	Tiêu chí	Mô tả	Ký hiệu
Kỹ thuật	Tốc độ gió (m/s)	Tốc độ gió đóng vai trò rất quan trọng trong việc lựa chọn địa điểm xây dựng nhà máy điện gió và nó là một yếu tố chính để xác định sản lượng điện của nhà máy điện gió. ²⁷⁻²⁹	C ₁₁
	Cao độ địa hình (m)	Địa hình thấp, bằng phẳng sẽ thuận lợi cho việc xây dựng, vận hành và bảo trì nhà máy. ^{27,30,31}	C ₁₂
Kinh tế	Khoảng cách đến lưới điện (m)	Việc lựa chọn địa điểm gần với lưới điện là cần thiết để giảm chi phí đầu tư mạng lưới trung chuyển cũng như giảm thất thoát điện năng. ^{29,31,32}	C ₁₃
	Khoảng cách đến đường giao thông (m)	Vị trí nhà máy điện gió gần mạng lưới đường giao thông chính (huyện lộ trở lên) thì việc xây dựng và bảo trì thuận tiện. ^{23,31}	C ₁₄
Xã hội	Khoảng cách đến các khu dân cư đô thị (m)	Các trụ gió gần các khu đô thị có thể gây ra những tác động tiêu cực (tiếng ồn, độ nhấp nháy) đến người dân địa phương. Để giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường, vị trí xây dựng nên cách các khu đô thị ở khoảng cách xa nhất có thể, ít nhất là 2.000 m. ^{23,32}	C ₂₁
	Khoảng cách đến các công trình văn hóa, lịch sử, tôn giáo, tín ngưỡng	Khu vực quy hoạch nên được đặt xa các công trình văn hóa, tín ngưỡng (khu vực tập trung đông người) do các tác động tiêu cực về tiếng ồn, độ nhấp nháy và cảnh quang do các trụ gió gây ra. ^{33,34}	C ₂₂
	Khoảng cách đến các công trình hạ tầng thu phát sóng, tín hiệu	Các trụ gió có khả năng gây tác động đến hạ tầng thu phát tín hiệu, làm nhiễu hoặc gián đoạn tín hiệu thu phát sóng radio. ³⁵	C ₂₃
Môi trường	Khu vực sinh sống các loài của chim và dơi	Mặc dù nằm ngoài các khu bảo tồn, nhưng các trụ điện gió gây ra tiếng ồn và các tác động thị giác, ảnh hưởng đến môi trường sống của các loài chim và dơi khác. Cánh quạt của tuabin có thể gây va chạm, mất phương hướng với các loài chim và dơi. ^{22,31,32,36-38}	C ₃₁
	Tác động của tiếng ồn	Tiếng ồn di chuyển theo các tần số khác nhau và sự lan truyền của nó trong không gian bị ảnh hưởng bởi một số yếu tố: khoảng cách, số lượng tuabin hoạt động, tần số, vận tốc và hướng gió, tiếng ồn xung quanh cũng như các yếu tố địa lý khác và gây tác động lên con người và sinh vật.	C ₃₂
	Tác động do độ nhấp nháy bóng cánh quạt tuabin	Các cánh quay làm gián đoạn ánh sáng mặt trời, tạo ra hiện tượng nhấp nháy. Mặc dù nhấp nháy không gây nguy hiểm cho sức khỏe con người nhưng hiện tượng này thường xuyên sẽ gây tác động lên tâm lý, gây khó chịu cho người dân. Ngưỡng tác động được xác định không được vượt quá 30 giờ/năm, tương ứng với khoảng cách trên 1,2km từ tuabin theo kết quả đánh giá của mô hình	C ₃₃

Bảng 4: Số mũ Hellman theo từng loại địa hình³⁹

Dạng địa hình	Hệ số α	Phân theo loại đất tương ứng tại Bạc Liêu
Hồ, biển và các dạng địa hình nền cứng, bằng phẳng	0,10	Đất sông, hồ, mặt nước, đất làm muối, nuôi thủy sản (MNC, SON, LMC, TSL, TSN)
Đồng cỏ, địa hình thấp, ít vật cản	0,15	Đất trồng lúa (LUC, LUK, LUN), giao thông
Cây cao, hàng rào, cây bụi	0,20	Đất trồng cây hàng năm, lâu năm, cây công nghiệp, đất rừng phòng hộ, đất ở nông thôn (ONT, LNC, LNQ, LNK, RPT, RPN, RSX, RPH)
Khu vực có rừng rậm	0,25	N/A
Thị trấn nhỏ với một số cây cối và bụi rậm	0,30	Đất ở đô thị, đất công nghiệp, an ninh, dịch vụ
Khu vực thành phố có nhà cao tầng	0,40	N/A

Bảng 5: Các hàm thuộc mờ (Fuzzy membership functions) được sử dụng trong nghiên cứu này⁴¹

Hàm thuộc dạng tam giác	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & x \geq c \end{cases}$
Hàm thuộc dạng hình thang	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases}$
Hàm thuộc dạng L (Tuyến tính tăng)	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x > b \end{cases}$ <p style="text-align: center;">$c = d = +\infty$</p>
Hàm thuộc dạng R (Tuyến tính giảm)	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x > d \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 1, & x < c \end{cases}$ <p style="text-align: center;">$a = b = -\infty$</p>

Chuyển \bar{w}_j về dạng trọng số w_j theo công thức sau:

$$w_j = \frac{\bar{w}_j}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_j} \quad (5)$$

Giai đoạn 4: Tiến hành xếp hạng mức độ phù hợp của các vị trí và đưa ra đề xuất để giải quyết mục tiêu. Phương pháp WLC⁴⁴ được sử dụng để xếp hạng các khu vực phù hợp theo công thức sau:

$$V(x_i) = \sum_j w_j v_j(x_i) = \sum_j w_j r_{ij} \quad (6)$$

Trong đó: $V(x_i)$ là tổng điểm của phương án thứ i

W_j là trọng số của tiêu chí thứ j

$v_j(x_i)$ là giá trị thô của tiêu chí thứ j của phương án thứ i

r_{ij} là giá trị đã chuẩn hóa của tiêu chí thứ j của phương án thứ i

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu thực hiện khảo sát 05 chuyên gia có kinh nghiệm tư vấn điện gió và quy hoạch môi trường về mức độ ưu tiên của các tiêu chí cấp 1 với nhau theo thang điểm 1-9. Dựa vào kết quả đánh giá của những

Bảng 6: Chuẩn hóa dữ liệu các lớp tiêu chí bằng các hàm Fuzzy logic

Tiêu chí cấp 1	Tiêu chí cấp 2	Kiểu hàm Fuzzy	Tham số			Tham khảo	
			a	c	d		
Kỹ thuật (C1)	C ₁₁	Hình thang	3,0	6,0	15	20	23
	C ₁₂	Tuyến tính giảm	-	-	200	500	32
	C ₁₃	Tam giác	100	1.000	5.000	-	23
	C ₁₄	Tuyến tính giảm	-	-	150	2.500	33,38
Kinh tế - Xã hội (C2)	C ₂₁	Tuyến tính tăng	500	2.000	-	-	23,32
	C ₂₂	Tuyến tính tăng	500	1.500	-	-	33
	C ₂₃	Tuyến tính tăng	5.000	10.000	-	-	35
Môi trường (C3)	C ₃₁	Tuyến tính tăng	100	500	-	-	22
	C ₃₂	Tuyến tính tăng	700	1.000	-	-	42
	C ₃₃	Tuyến tính tăng	1.200	2.000	-	-	38

Bảng 7: Các biến ngôn ngữ và số mờ tương ứng

Biến ngôn ngữ	Thang điểm	Các số mờ tam giá tương ứng	Nghịch đảo số mờ tam giá ứng
Quan trọng như nhau	1	(1, 1, 3)	(1/3, 1/1, 1/1)
Quan trọng hơn	3	(1, 3, 5)	(1/5, 1/3, 1/1)
Quan trọng nhiều hơn	5	(3, 5, 7)	(1/7, 1/5, 1/3)
Rất quan trọng hơn	7	(5, 7, 9)	(1/9, 1/7, 1/5)
Vô cùng quan trọng hơn	9	(7, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/7)

chuyên gia và khảo sát mối quan hệ giữa các tiêu chí, áp dụng công thức (1) đến (5), kết quả đánh giá các tiêu chí được thể hiện tại Bảng 8.

Theo kết quả đánh giá cho thấy, tiêu chí Kỹ thuật đóng vai trò vô cùng quan trọng trong quyết định chọn vị trí quy hoạch điện gió ($=0,65$), trong khi các tiêu chí Kinh tế - Xã hội ít quan trọng hơn ($=0,25$) và tiêu chí Môi trường có vai trò ít quan trọng nhất ($=0,10$) vì theo đánh giá của các chuyên gia, các tác động môi trường từ các dự án điện gió là không lớn và có thể giảm thiểu hoặc khắc phục được. Đối với các tiêu chí cấp 2, tiêu chí tốc độ gió, hay tiềm năng năng lượng

gió là tiêu chí quan trọng nhất khi xem xét lựa chọn khu vực phát triển điện gió (chiếm 34,5% sức ảnh hưởng trong bộ tiêu chí) và tiêu chí ít quan trọng nhất trong quá trình xem xét là các tác động từ bóng nhấp nháy của cánh quạt tuabin, các tác động này không gây tác động lên sức khỏe và dễ dàng tránh được bằng nhiều biện pháp khác nhau.

Với các trọng số được xác định ở trên, giá trị các pixel của 10 lớp tiêu chí được chuẩn hóa trong khoảng 0-1, áp dụng phương pháp WLC và vùng loại trừ, các khu vực phù hợp phát triển điện gió tại tỉnh Bạc Liêu được xác định như trong Hình 4.

Bảng 8: Kết quả xác định trọng số của các tiêu chí đánh giá

Tiêu chí cấp 1	Trọng số tiêu chí cấp 1	Tiêu chí cấp 2	Trọng số tiêu chí cấp 2	Trọng số cuối cùng
Kỹ thuật (C1)	0,65	Tốc độ gió (m/s) - C11	0,53	0,345
		Cao độ địa hình (m) - C12	0,27	0,176
		Khoảng cách đến lưới điện (m) - C13	0,14	0,091
		Khoảng cách đến đường giao thông (m)- C14	0,07	0,046
Kinh tế - Xã hội (C2)	0,25	Khoảng cách đến các khu dân cư đô thị (m) - C21	0,57	0,143
		Khoảng cách đến các công trình văn hóa, lịch sử, tôn giáo, tín ngưỡng - C22	0,31	0,078
		Khoảng cách đến các công trình hạ tầng thu phát sóng, tín hiệu - C23	0,12	0,030
Môi trường (C3)	0,10	Khu vực sinh sống các loài của chim và dơi (được liệt trong sách đỏ) - C31	0,66	0,066
		Tác động của tiếng ồn - C32	0,21	0,021
		Tác động do độ nhấp nháy bóng cánh quạt tuabin - C33	0,13	0,013
Tổng				1

Trong đó, các khu vực phù hợp thể hiện trong Hình 4 được xếp hạng theo 05 cấp độ dựa trên tổng điểm tính được từ phương pháp WLC như trong Bảng 9.

Theo kết quả đánh giá, vùng không phù hợp phát triển điện gió chiếm 80,26% diện tích toàn tỉnh Bạc Liêu và vùng phù hợp chiếm 19,34% diện tích (Hình 5).

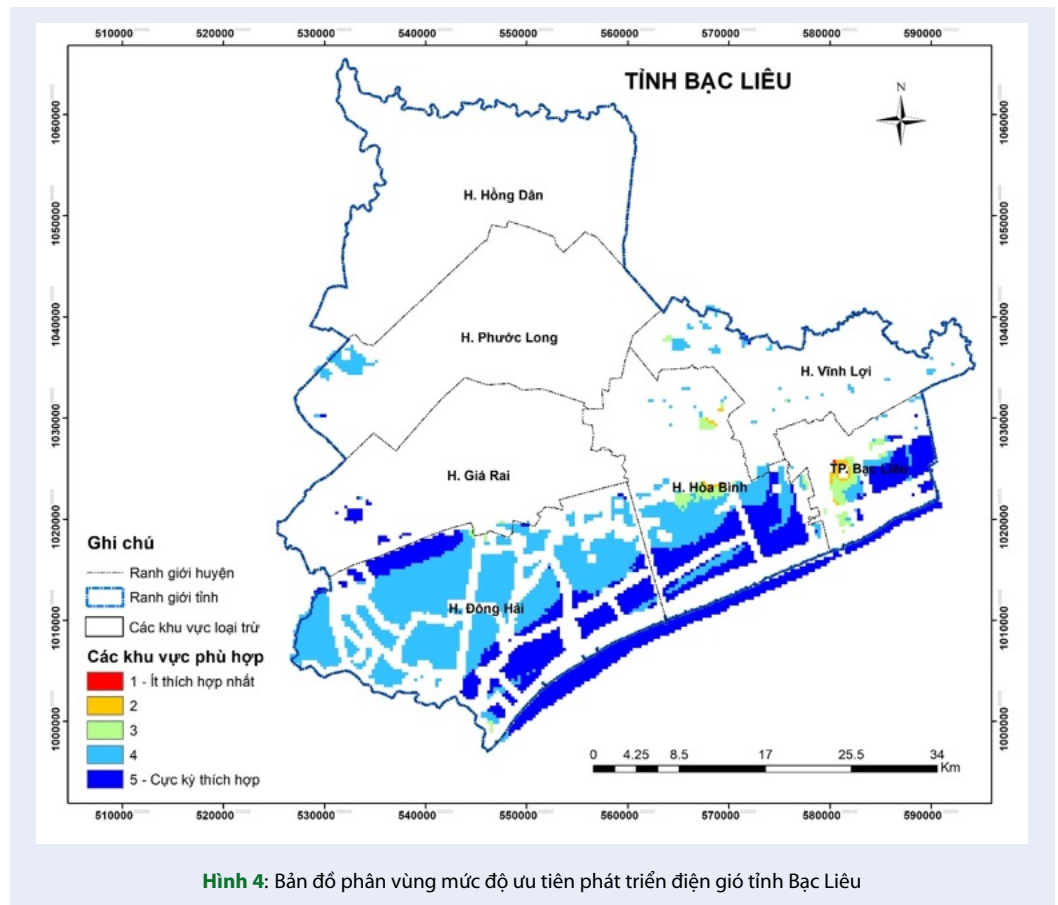
Kết quả đánh giá cho thấy, tổng diện tích phù hợp để phát triển điện gió ở Bạc Liêu là 52.677ha, trong đó tập trung chủ yếu ở huyện Đông Hải (chiếm 60%), huyện Hòa Bình (chiếm 25%) và TP. Bạc Liêu (chiếm 10%). Vùng phù hợp nhất để phát triển điện gió tập trung ở khu vực ven biển và khu bãi bồi thuộc ba huyện này, các huyện càng nằm sâu trong đất liền thì càng không phù hợp để phát triển điện gió. Bên cạnh đó, trong khi những nhà ra quyết định của tỉnh Bạc Liêu cho rằng các khu vực đất trồng lúa, chiếm 83,86% tổng diện tích của tỉnh, không thích hợp để phát triển điện gió thì nhóm nghiên cứu phát hiện ra rằng các khu vực ruộng lúa cần được đưa vào khu vực xem xét quy hoạch vì có tốc độ gió lớn cũng như các tác động tích cực của các trang trại gió mang lại cho năng suất cây trồng và giảm thiểu tác động tiêu cực lên môi trường tự nhiên. Do đó, kết quả của nghiên cứu này có thể được sử dụng làm tài liệu tham khảo trong việc lập và điều chỉnh quy hoạch phát triển năng lượng gió hiện có của tỉnh Bạc Liêu.

KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đề xuất một bộ công cụ hỗ trợ ra quyết định thông qua việc tích hợp phương pháp phân tích thứ bậc Fuzzy-AHP nhằm xác định trọng số của các tiêu chí và phương pháp Fuzzy -GIS để chuẩn hóa dữ liệu và xây dựng bản đồ phân vùng khu vực tiềm năng, xác định các phương án bố trí tối ưu các nhà máy điện gió. Trong đó, 02 bộ tiêu chí đánh giá đã được đề xuất, bao gồm bộ các tiêu chí loại trừ và bộ các tiêu chí đánh giá xếp hạng mức độ ưu tiên các khu vực phát triển điện gió. Kết quả nghiên cứu khi áp dụng thử nghiệm phương pháp luận này tại tỉnh Bạc Liêu cho thấy tổng diện tích phù hợp để phát triển điện gió ở Bạc Liêu là 52.677ha, vùng phù hợp nhất để phát triển điện gió tập trung ở khu vực ven biển, đồng thời, đề xuất xem xét các khu vực ruộng lúa được đưa vào quy hoạch phát triển điện gió của tỉnh. Kết quả của nghiên cứu này có thể được sử dụng làm tài liệu tham khảo trong việc lập và điều chỉnh quy hoạch phát triển năng lượng gió nói riêng và năng lượng tái tạo nói chung tại tỉnh Bạc Liêu và các tỉnh khác thuộc Vùng Đồng bằng sông Cửu Long.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

AHP : Phân tích thứ bậc (Analytic Hierarchy Process)
 BCT : Bộ Công thương



Bảng 9: Xếp hạng các khu vực phù hợp phát triển điện gió

Tổng điểm	Mức độ ưu tiên	Mô tả
Dưới 0,5	1	Ít phù hợp nhất
0,5 đến dưới 0,6	2	Hơi phù hợp
0,6 đến dưới 0,7	3	Phù hợp
0,7 đến dưới 0,8	4	Rất phù hợp
0,8 đến 1,0	5	Phù hợp nhất

DSS : Hệ thống hỗ trợ ra quyết định (Decision Support system)

FAHP : Phân tích thứ bậc mờ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process)

GIS : Hệ thống thông tin địa lý (Geographic Information System)

IAHP : Phương pháp phân tích thứ bậc theo khoảng thời gian (Interval Analytic Hierarchy Process)

LMC : Đất làm muối

LNC : Đất trồng cây công nghiệp lâu năm

LNK : Đất trồng cây lâu năm khác

LNQ : Đất trồng cây ăn quả lâu năm

LUC : Đất chuyên trồng lúa nước

LUK : Đất trồng lúa nước còn lại

LUN : Đất lúa nương

MCA : Phương pháp phân tích đa tiêu chí (Multi-criteria analysis)

MCDM : Kỹ thuật ra quyết định đa tiêu chí (Multiple Criteria Decision Making)

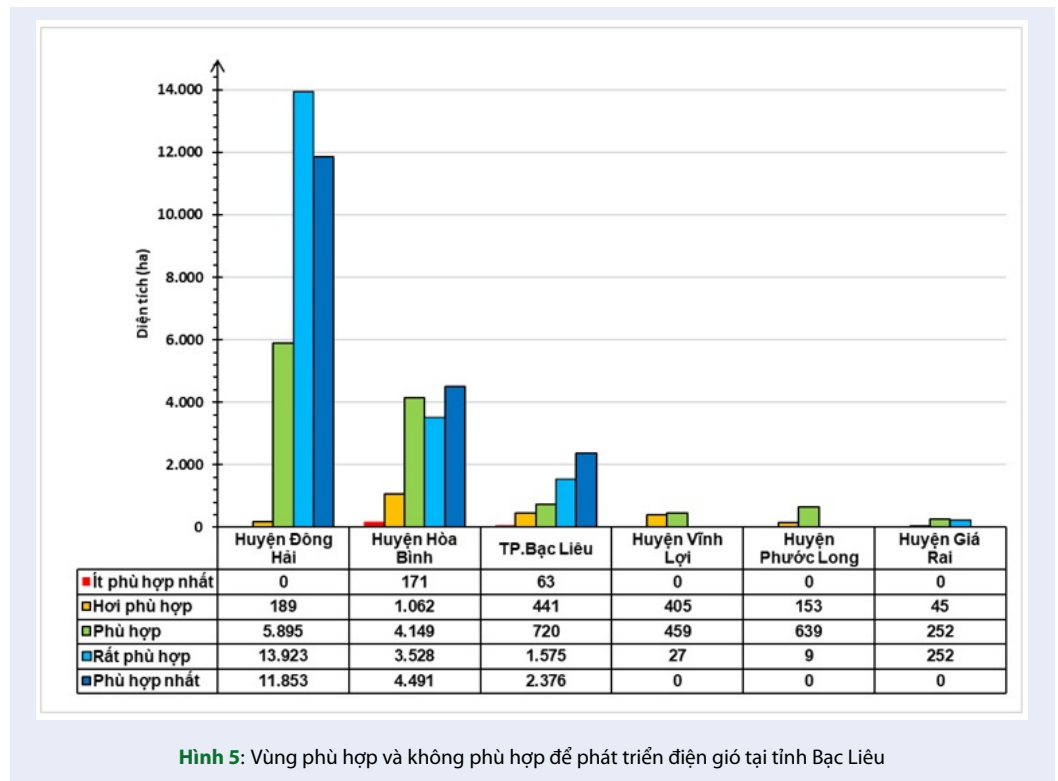
MNC : Đất có mặt nước chuyên dùng

ONT : Đất ở tại nông thôn

PROMETHEE : Phương pháp xếp hạng ưu tiên (Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations)

QĐ : Quyết định

RPN : Đất có rừng tự nhiên phòng hộ



Hình 5: Vùng phù hợp và không phù hợp để phát triển điện gió tại tỉnh Bạc Liêu

RPT : Đất có rừng trồng phòng hộ
 RPH : Đất rừng phòng hộ
 RSX : Đất rừng sản xuất
 SON : Đất sông, ngòi, kênh, rạch, suối
 TOPSIS : Kỹ thuật sắp xếp thứ tự ưu tiên tương tự với giải pháp lý tưởng (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)
 TSL : Đất nuôi trồng thủy sản nước lợ, mặn
 TSN : Đất nuôi trồng thủy sản nước ngọt
 VIKOR : Phương pháp hỗ trợ ra quyết định VIKOR (Viekriterijumsko KOMPromisno Rangiranje)
 WLC : Phương pháp tổ hợp tuyến tính có trọng số (weighted linear combination)

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả cam đoan rằng không có xung đột lợi ích trong bài báo “Tích hợp phương pháp phân tích thứ bậc Fuzzy-AHP và phương pháp Fuzzy-GIS trong phân vùng phát triển điện gió tỉnh Bạc Liêu theo hướng bền vững”.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Hoàng Nhật Trường, Lý Thị Bích Trâm, Đỗ Thị Thu Huyền, Nguyễn Minh Hiếu cùng thực hiện tất cả các bước và quy trình xây dựng kết quả của nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Saraswat SK, Dugalwar AK, Yadav SS, Kumar G. MCDM and GIS based modelling technique for assessment of solar and wind farm locations in India. *Renewable Energy*. 2021;169:865-84; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.056>.
- Genç MS, Karipoğlu F, Koca K, Azgın ŞT. Suitable site selection for offshore wind farms in Turkey's seas: GIS-MCDM based approach. *Earth Science Informatics*. 2021;14(3):1213-25; Available from: <https://doi.org/10.1007/s12145-021-00632-3>.
- Taoufik M, Fekri A. GIS-based multi-criteria analysis of offshore wind farm development in Morocco. *Energy Conversion and Management*. 2021;11:100103; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100103>.
- Gharai beh AA, Al-Shboul DA, Al-Rawabdeh AM, Jaradat RA. Establishing Regional Power Sustainability and Feasibility Using Wind Farm Land-Use Optimization. *Land*. 2021;10(5); Available from: <https://doi.org/10.3390/land10050442>.
- Ajanaku BA, Strager MP, Collins AR. GIS-based multi-criteria decision analysis of utility-scale wind farm site suitability in West Virginia. *GeoJournal*. 2021; Available from: <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10453-y>.
- Elhosiny AM, El-Ghareeb H, Shabana BT, AbouElfetouh A. A Hybrid Neutrosophic GIS-MCDM Method Using a Weighted Combination Approach for Selecting Wind Energy Power Plant Locations: A Case Study of Sinai Peninsula, Egypt. *IJFIS*. 2021;21(1):12-28; Available from: <https://doi.org/10.5391/IJFIS.2021.21.1.12>.
- Cui L, Xu Y, Xu L, Huang G. Wind Farm Location Special Optimization Based on Grid GIS and Choquet Fuzzy Integral Method in Dalian City, China. *Energies*. 2021;14(9); Available from: <https://doi.org/10.3390/en14092454>.
- Gao J, Guo F, Ma Z, Huang X, Li X. Multi-criteria group decision-making framework for offshore wind farm site selection based on the intuitionistic linguistic aggregation operators. *Energy*. 2020;204:117899; Available from: <https://doi.org/>

- 10.1016/j.energy.2020.117899.
9. Rehman S, Khan S, Alhems L. Application of TOPSIS Approach to Multi-Criteria Selection of Wind Turbines for On-Shore Sites. *Applied Sciences*. 2020;10:7595; Available from: <https://doi.org/10.3390/app10217595>.
 10. Peri E, Tal A. A sustainable way forward for wind power: Assessing turbines' environmental impacts using a holistic GIS analysis. *Applied Energy*. 2020;279:115829; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115829>.
 11. Xu Y, Li Y, Zheng L, Cui L, Li S, Li W, et al. Site selection of wind farms using GIS and multi-criteria decision making method in Wafangdian, China. *Energy*. 2020;207:118222; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118222>.
 12. Abdul Baseer M, Alhems L. GIS-Based Multi-Criteria Wind Farm Site Selection Methodology. *FME Transactions*. 2020;48:855-67; Available from: <https://doi.org/10.5937/fme2004855R>.
 13. Díaz H, Guedes Soares C. An integrated GIS approach for site selection of floating offshore wind farms in the Atlantic continental European coastline. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020;134:110328; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110328>.
 14. Spyridonidou S, Vagiona D. Spatial energy planning of offshore wind farms in Greece using GIS and a hybrid MCDM methodological approach. 2020;5; Available from: <https://doi.org/10.1007/s41207-020-00161-3>.
 15. Konstantinos I, Georgios T, Garyfalos A. A Decision Support System methodology for selecting wind farm installation locations using AHP and TOPSIS: Case study in Eastern Macedonia and Thrace region, Greece. *Energy Policy*. 2019;132:232-46; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.05.020>.
 16. Harper M, Anderson B, James P, Bahaj A. Assessing socially acceptable locations for onshore wind energy using a GIS-MCDA approach. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2019;14(2):160-9; Available from: <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz006>.
 17. Emekşiz C, Demirci B. The determination of offshore wind energy potential of Turkey by using novelty hybrid site selection method. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2019;36:100562; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100562>.
 18. Gavériaux L, Laverrière G, Wang T, Maslov N, Claramunt C. GIS-based multi-criteria analysis for offshore wind turbine deployment in Hong Kong. *Annals of GIS*. 2019;25:1-12; Available from: <https://doi.org/10.1080/19475683.2019.1618393>.
 19. Rehman AU, Abidi MH, Umer U, Usmani YS. Multi-Criteria Decision-Making Approach for Selecting Wind Energy Power Plant Locations. *Sustainability*. 2019;11(21); Available from: <https://doi.org/10.3390/su11216112>.
 20. Koç A, Turk S, Sahin G. Multi-criteria of wind-solar site selection problem using a GIS-AHP-based approach with an application in Igdir Province/Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26:1-13; PMID: 31598925. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06260-1>.
 21. Chaudhry R. Using multi-criteria evaluation to determine suitable sites for developing wind farms in Massachusetts. Project Report, Clark University, Worcester, USA. 2008:16;.
 22. Höfer T, Sunak Y, Siddique H, Madlener R. Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städteregion Aachen. *Applied Energy*. 2016;163:222-43; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.138>.
 23. Pamučar D, Gigović L, Bajić Z, Janošević M. Location Selection for Wind Farms Using GIS Multi-Criteria Hybrid Model: An Approach Based on Fuzzy and Rough Numbers. *Sustainability*. 2017;9(8); Available from: <https://doi.org/10.3390/su9081315>.
 24. Sánchez-Lozano JM, García-Cascales MS, Lamata MT. GIS-based onshore wind farm site selection using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making methods. Evaluating the case of Southeastern Spain. *Applied Energy*. 2016;171:86-102; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.030>.
 25. Baffoe PE, Sarpong D. Selecting Suitable Sites for Wind Energy Development in Ghana. *Ghana Mining Journal*. 2016;16(1); Available from: <https://doi.org/10.4314/gmj.v16i1.2>.
 26. Leary J, Delor M, Little M, Bellamy M, Williams A, Williamson S. *Engineering in Development: Energy: EWB-UK*; 2014;.
 27. Wang C-N, Huang Y-F, Chai Y-C, Nguyen V. A Multi-Criteria Decision Making (MCDM) for Renewable Energy Plants Location Selection in Vietnam under a Fuzzy Environment. *Applied Sciences*. 2018;8(11); Available from: <https://doi.org/10.3390/app8112069>.
 28. Ayodele TR, Jimoh AA, Munda JL, Agee JT. Wind distribution and capacity factor estimation for wind turbines in the coastal region of South Africa. *Energy Conversion and Management*. 2012;64:614-25; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.06.007>.
 29. Moradi S, Yousefi H, Noorollahi Y, Rosso D. Multi-criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: Case study of Alborz Province, Iran. *Energy Strategy Reviews*. 2020;29; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100478>.
 30. Rezaian S, Jozi SA. Application of Multi Criteria Decision-Making Technique in Site Selection of Wind Farm- a Case Study of Northwestern Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2016;44(5):803-9; Available from: <https://doi.org/10.1007/s12524-015-0517-6>.
 31. Feng J. Wind farm site selection from the perspective of sustainability: A novel satisfaction degree-based fuzzy axiomatic design approach. *International Journal of Energy Research*. 2020;45(11):1097-127; Available from: <https://doi.org/10.1002/er.6256>.
 32. Ayodele TR, Ogunjuyigbe ASO, Odigie O, Munda JL. A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria. *Applied Energy*. 2018;228:1853-69; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.051>.
 33. Tegou LI, Polatidis H, Haralambopoulos DA. Environmental management framework for wind farm siting: methodology and case study. *J Environ Manage*. 2010;91(11):2134-47; PMID: 20541310. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.05.010>.
 34. Solangi Y, Tan Q, Khan M, Mirjat N, Ahmed I. The Selection of Wind Power Project Location in the Southeastern Corridor of Pakistan: A Factor Analysis, AHP, and Fuzzy-TOPSIS Application. *Energies*. 2018;11(8); Available from: <https://doi.org/10.3390/en11081940>.
 35. Angulo I, de la Vega D, Cascón I, Cañizo J, Wu Y, Guerra D, et al. Impact analysis of wind farms on telecommunication services. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014;32:84-99; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.055>.
 36. Li M, Xu Y, Guo J, Li Y, Li W. Application of a GIS-Based Fuzzy Multi-Criteria Evaluation Approach for Wind Farm Site Selection in China. *Energies*. 2020;13(10); Available from: <https://doi.org/10.3390/en13102426>.
 37. Latinopoulos D, Kechagia K. A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece. *Renewable Energy*. 2015;78:550-60; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.041>.
 38. Peri E, Tal A. A sustainable way forward for wind power: Assessing turbines' environmental impacts using a holistic GIS analysis. *Applied Energy*. 2020;279; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115829>.
 39. Bañuelos-Ruedas F, Camacho CÁ, Rios-Marcuello S. Methodologies used in the extrapolation of wind speed data at different heights and its impact in the wind energy resource assessment in a region. *Wind farm-Technical regulations, potential estimation and siting assessment*. 2011:97-114; Available from: <https://doi.org/10.5772/20669>.
 40. Li Z, Ronald Eastman J. The Nature and Classification of Unlabelled Neurons in the Use of Kohonen's Self-Organizing Map for Supervised Classification.

- Transactions in GIS. 2006;10(4):599-613;Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2006.01014.x>.
41. Alonso SK. eMathTeacher: Mamdani's Fuzzy Inference Method Madrid, Spain: Department of Applied Mathematics, Polytechnic University of Madrid (UPM); 2015;Available from: http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/fuzzy_inferencia/funpert_en.htm.
 42. Ministry of Natural Resources and Environment. QCVN 26:2010/BTNMT - National Technical Regulation on Noise. In: Environment MoNRa, editor. Ha Noi. 2010;.
 43. Sodhi B, T V P. A simplified description of fuzzy TOPSIS. arXiv preprint arXiv:12055098. 2012;.
 44. Malczewski J. On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. Transactions in GIS. 2000;4(1):5-22;Available from: <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00035>.

Integrating Fuzzy-AHP and Fuzzy-GIS method in zoning wind power development in Bac Lieu province towards sustainability

Hoang Nhat Truong¹, Ly Thi Bich Tram^{2,*}, Do Thi Thu Huyen², Nguyen Minh Hieu²



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

From the perspective of economic, environmental, and social point of view, Wind project site selection is a difficult problem with many criteria to consider. In this study, a proposed decision support tool was developed by the integration of the Fuzzy Analytical Hierarchy Process Method (Fuzzy-AHP) and Fuzzy Geographic Information System (Fuzzy-GIS) methods. Fuzzy-AHP was used to determine the weights of the criteria and the Fuzzy-GIS was used to normalize the data and develop the maps for optimal option determination. The study has proposed two sets of evaluation criteria, including a set of exclusion criteria and a set of criteria for ranking priority of wind power plant locations. The set of evaluation criteria was divided into 3 criteria and 10 sub-criteria. Besides, the research results showing the suitability with the wind power development planning in Bac Lieu province, an outstanding result of the study is: While local decision-makers considered that the rice fields, which account for 83.86% of the total area of the province, were unsuitable for wind power development, we found that the rice fields should be included in the planning consideration area because of the high wind speed as well as the positive effects of wind farms on crop yields and minimizing negative impacts on the natural environment.

Key words: Fuzzy-AHP, Fuzzy -GIS, zoning, site selection, wind power

¹International University, VNU-HCM, Vietnam

²Institute for Environment and Resources, VNU-HCM, Vietnam

Correspondence

Ly Thi Bich Tram, Institute for Environment and Resources, VNU-HCM, Vietnam

Email: bichtram@hcmier.edu.vn

History

- Received: 07-12-2021
- Accepted: 05-01-2022
- Published: 30-06-2022

DOI : 10.32508/stdjsee.v6i1.677



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Truong H N, Tram L T B, Huyen D T T, Hieu N M. Integrating Fuzzy-AHP and Fuzzy-GIS method in zoning wind power development in Bac Lieu province towards sustainability. *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.*; 2022, 6(1):493-506.