

Bài báo nghiên cứu

TÍCH HỢP GIS, TRỌNG SỐ ENTROPY VÀ CHỈ SỐ GWQI ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG NƯỚC DƯỚI ĐẤT Ở ĐẢO PHÚ QUỐC, TỈNH AN GIANG

Nguyễn Ngọc Yến Vy¹, Châu Hồng Thắng^{1*},
Lê Thị Thuý Vân², Phạm Thị Ngoan¹, Nguyễn Thị Hải Ý¹

¹Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Tác giả liên hệ: Châu Hồng Thắng – Email: thangch@hcmue.edu.vn

Ngày nhận bài: 19-3-2026; Ngày nhận bài sửa: 20-4-2026; Ngày duyệt đăng: 22-4-2026

TÓM TẮT

Cùng với sự phát triển kinh tế xã hội, nhu cầu sử dụng nước ở đảo Phú Quốc không ngừng gia tăng. Trong khi nước mặt không đáp ứng đủ nhu cầu sử dụng, nước dưới đất hiện vẫn chưa được đánh giá đầy đủ, nhất là về chất lượng. Nghiên cứu này kết hợp GIS, phương pháp trọng số Entropy và chỉ số chất lượng nước dưới đất GWQI để đánh giá chất lượng nước dưới đất ở đảo Phú Quốc dựa trên Tiêu chuẩn chất lượng nước của Việt Nam và của WHO. Kết quả nghiên cứu cho thấy nước thuộc kiểu Na-Cl, có chất lượng khá tốt, hầu hết các thông số nằm trong phạm vi giới hạn của các Tiêu chuẩn. pH là thông số có trọng số Entropy cao nhất trong 12 thông số được đưa vào tính chỉ số GWQI. Kết quả tính GWQI cho thấy nước đạt mức từ tốt đến rất tốt. Nghiên cứu này gợi ý nước dưới đất ở Phú Quốc cơ bản đạt tiêu chuẩn sử dụng trong sinh hoạt, đồng thời nhấn mạnh tính khách quan của phương pháp Entropy trong đánh giá chất lượng nước dưới đất.

Từ khóa: entropy; GIS; nước dưới đất; GWQI; đảo Phú Quốc

1. Giới thiệu

Với lợi thế về tài nguyên thiên nhiên và cảnh quan du lịch, Phú Quốc từ lâu đã được biết đến như một trung tâm du lịch quan trọng của vùng biển Tây Nam Việt Nam. Trong những năm gần đây, cùng với sự gia tăng dân số và sự phát triển mạnh mẽ của ngành du lịch, nhu cầu sử dụng nước trên đảo ngày càng tăng. Hiện nay, nguồn cung cấp nước ở Phú Quốc chủ yếu từ hai nguồn chính là nước mặt và nước dưới đất. Nước mặt được khai thác thông qua hệ thống cấp nước từ các hồ chứa trên đảo, chủ yếu phục vụ cho các khu đô thị và khu dân cư tập trung. Trong khi đó, nước dưới đất được khai thác từ các giếng đào và giếng khoan vẫn là nguồn cung cấp nước sinh hoạt cho người dân ở các khu vực nông thôn và

Cite this article as: Nguyen, N. Y. V., Chau, H. T., Le, T. T. V., Pham, T. N., & Nguyen, T. H. Y. (2026). Integrating GIS, entropy weighting, and groundwater quality index (GWQI) to assess groundwater quality on Phu Quoc Island, An Giang Province. *Ho Chi Minh City University of Education Journal of Science*, 23(5), 1041-1052. [https://doi.org/10.54607/hcmue.js.23.5.5646\(2026\)](https://doi.org/10.54607/hcmue.js.23.5.5646(2026))

vùng ven đô thị. Trong khi chất lượng nước từ các hồ chứa được kiểm soát thông qua hệ thống xử lý và giám sát trước khi cấp nước, chất lượng nước dưới đất tại nhiều khu vực vẫn chưa được đánh giá một cách đầy đủ. Do đó, việc đánh giá chất lượng nước dưới đất là cần thiết nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho việc quản lý và khai thác bền vững nguồn tài nguyên nước trên đảo Phú Quốc.

Trong những thập niên gần đây, chất lượng nước thường được đánh giá thông qua chỉ số chất lượng nước (Water Quality Index – WQI). WQI được đề xuất bởi Horton (1965) và được phát triển bởi Brown và cộng sự (1970). Nhiều quốc gia sau đó đã phát triển các mô hình WQI khác nhau và dần trở thành công cụ hữu ích trong đánh giá chất lượng nước mặt. Đối với nước dưới đất, do có sự khác biệt về nguồn gốc và các quá trình địa hóa so với nước mặt, nhiều nghiên cứu đã phát triển chỉ số chất lượng nước dưới đất (Groundwater Quality Index – GWQI). Chỉ số này cho phép tổng hợp nhiều thông số chất lượng nước thành một giá trị duy nhất, giúp đánh giá và so sánh chất lượng nước một cách trực quan. Tuy nhiên, một hạn chế của các mô hình GWQI truyền thống là việc xác định trọng số của các thông số thường mang tính chủ quan, có thể ảnh hưởng đến độ tin cậy của kết quả đánh giá.

Để giảm tính chủ quan trong việc xác định trọng số của các thông số, phương pháp trọng số Entropy được nhiều nghiên cứu áp dụng trong xây dựng chỉ số chất lượng nước (Abdus-Salam et al., 2024; Ahmad et al., 2022). Phương pháp này do Claude Shannon đề xuất, là một kỹ thuật khách quan được sử dụng rộng rãi trong phân tích đa tiêu chí để xác định mức độ quan trọng của các biến dựa trên lượng thông tin mà chúng cung cấp. Trong phương pháp Entropy, biến có sự biến thiên càng lớn giữa các mẫu sẽ có Entropy thấp và do đó được gán trọng số cao hơn, thể hiện khả năng phân biệt thông tin tốt hơn. Ngược lại, các biến ít biến động sẽ có trọng số thấp vì đóng góp thông tin hạn chế sẽ có Entropy cao. Nhờ tính khách quan và không phụ thuộc vào đánh giá chủ quan của chuyên gia, phương pháp này được ứng dụng rộng rãi trong đánh giá chất lượng nước, môi trường và tài nguyên (Shannon, 1948; Xu, 2020; Zeleny, 1982).

Ở Việt Nam, nhiều nghiên cứu đã sử dụng chỉ số GWQI để đánh giá chất lượng nước dưới đất, như các nghiên cứu của (Duong et al., 2025; Truong & Nguyen, 2025; Trinh et al., 2022; Than et al., 2022). Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu đã kết hợp sử dụng phương pháp nội suy không gian IDW để thành lập bản đồ chất lượng nước, tiêu biểu như (Truong & Nguyen, 2025; Tran & Nguyen, 2025). Các nghiên cứu đã cho thấy sự hiệu quả của việc kết hợp phương pháp chỉ số GWQI và nội suy IDW trong việc đánh giá chất lượng nước dưới đất. Về mặt trọng số, một số nghiên cứu đã kết hợp chỉ số chất lượng nước với phương pháp trọng số Entropy nhằm xác định trọng số của các thông số, góp phần nâng cao tính khách quan trong đánh giá chất lượng nước (Nguyen et al., 2021; Pham et al., 2024). Ở đảo Phú Quốc, gần đây có nghiên cứu của (Tran et al., 2025) sử dụng chỉ số DRASTIC để đánh giá mức độ tổn thương của nước dưới đất. Tuy nhiên, các nghiên cứu đánh giá chất lượng nước

dưới đất vẫn còn hạn chế, trong khi đây là một nguồn cung cấp nước quan trọng cho sinh hoạt và phát triển kinh tế – xã hội trên đảo.

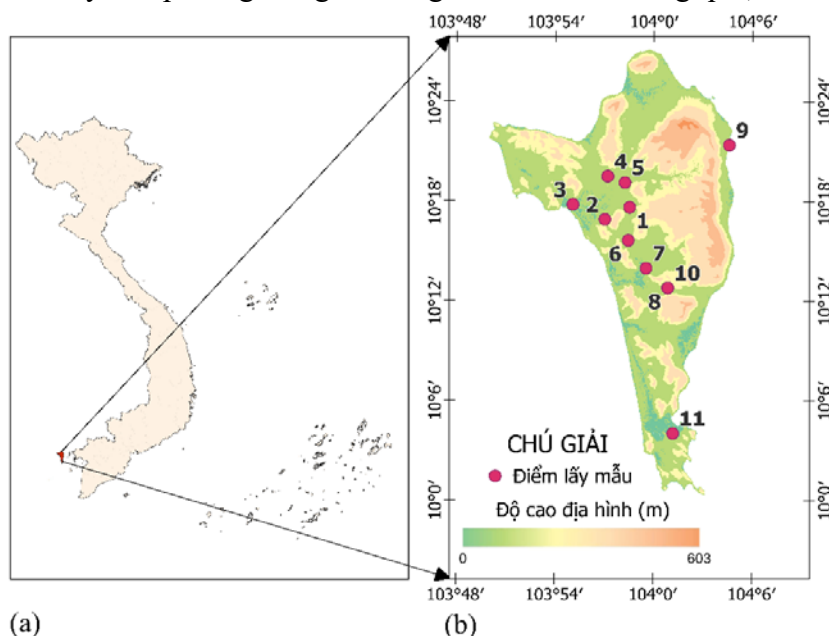
Do đó, nghiên cứu này ứng dụng chỉ số chất lượng nước dưới đất (GWQI) kết hợp với phương pháp trọng số Entropy và hệ thống thông tin địa lí (GIS) nhằm (i) đánh giá chất lượng nước dưới đất tại đảo Phú Quốc, (ii) xác định trọng số của các thông số chất lượng nước một cách khách quan thông qua phương pháp trọng số Entropy và (iii) xây dựng bản đồ phân bố không gian của chất lượng nước dưới đất trong khu vực nghiên cứu.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khái quát đảo Phú Quốc

Phú Quốc có tọa độ địa lí từ 9°53' đến 10°28' vĩ độ Bắc và 103°49' đến 104°05' kinh độ Đông, cách Rạch Giá khoảng 120km về phía Tây, cách Hà Tiên khoảng 45 km về phía Tây Nam. Địa hình Phú Quốc đặc trưng bởi dãy đồi núi thoai thoải chạy từ Bắc xuống Nam, cao nhất là đỉnh núi Chúa (603 m), xen kẽ là các đồng bằng nhỏ hẹp ven biển. Phú Quốc nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa cận xích đạo, có hai mùa rõ rệt: mùa mưa từ tháng 5-11 và mùa khô từ tháng 11-4 năm sau. Lượng mưa trung bình năm của đảo đạt khoảng 2800-3000 mm. Nhiệt độ trung bình năm dao động từ 26,5°C đến 27,5°C (Department of Natural Resources and Environment of Kien Giang Province, 2022).

Về thủy văn, đảo Phú Quốc có mạng lưới sông suối ngắn, dốc và phân bố không đều, tiêu biểu như suối Đá Bàn, suối Tranh, suối Đá Ngọn, suối Tiên và suối Cửa Cạn. Về địa chất thủy văn, nguồn nước dưới đất ở Phú Quốc phân bố chủ yếu trong hai tầng chứa nước chính: tầng chứa nước lỗ hổng trong trầm tích Đệ Tứ (Holocen, qh) và tầng chứa nước trong các thành tạo lục nguyên Miocen muộn (n_1^3). Tổng trữ lượng nước dưới đất ước tính khoảng 198,4 triệu m^3 , chủ yếu tập trung trong các tầng chứa nước lỗ hổng qh (Tran et al., 2025).



Hình 1. (a) Vị trí đảo Phú Quốc, và (b) Sơ đồ vị trí lấy mẫu nước dưới đất

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp thực địa, thu thập và xử lý mẫu

Nhóm nghiên cứu tiến hành thực địa tại đảo Phú Quốc từ ngày 10-12/11/ 2025 nhằm khảo sát hiện trạng khai thác và sử dụng nước dưới đất của người dân tại đây. Các thông tin về độ sâu giếng, mục đích sử dụng nước và hiện trạng kinh tế – xã hội khu vực xung quanh giếng đều được thu thập. Tổng số có 11 mẫu nước dưới đất từ 11 giếng có độ sâu 30-60 m được thu thập. Vị trí, độ sâu giếng được tóm tắt trong Hình 1.

Các mẫu nước sau khi thu thập được tiến hành đo đạc các chỉ tiêu hiện trường, bao gồm pH, độ dẫn điện (EC), tổng chất rắn hòa tan (TDS) và độ kiềm, nhằm phản ánh nhanh đặc trưng hóa học ban đầu của nước dưới đất. Quá trình thu thập, bảo quản và xử lý mẫu nước được thực hiện theo Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 6663-3:2016 (ISO 5667-3:2012).

2.2.2. Phương pháp phân tích trong phòng thí nghiệm

Các mẫu nước được đưa về phòng thí nghiệm để phân tích các thành phần hóa học chính và các chỉ tiêu chất lượng nước, bao gồm Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , Fe_{tc} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , NH_4^+ , SO_4^{2-} và NO_3^- . Các mẫu nước được phân tích theo các phương pháp tiêu chuẩn hiện hành. Nồng độ các cation Na^+ , K^+ được xác định bằng quang phổ hấp thụ nguyên tử (AAS). Hàm lượng Ca^{2+} và Mg^{2+} được xác định bằng phương pháp chuẩn độ EDTA. Hàm lượng HCO_3^- và Cl^- được xác định lần lượt bằng phương pháp chuẩn độ axit-bazơ với dung dịch H_2SO_4 chuẩn và phương pháp chuẩn độ bạc nitrat (AgNO_3) theo phương pháp Mohr. Hàm lượng sắt tổng (Fe_{tc}), Fe^{2+} được xác định bằng phương pháp trắc quang sử dụng thuốc thử 1,10-phenanthroline, còn Fe^{3+} được tính toán thông qua hiệu giữa Fe tổng và Fe^{2+} . Nồng độ NH_4^+ được xác định bằng phương pháp trắc quang với thuốc thử Nessler, PO_4^{3-} bằng phương pháp trắc quang với thuốc thử SnCl_2 , và NO_3^- bằng phương pháp trắc quang với thuốc thử Brucine.

Để đảm bảo độ chính xác cho mỗi bộ dữ liệu kết quả phân tích cho các mẫu nước, sai số cân bằng điện tích CBE (charge balance error) được tính toán sao cho $\% \text{CBE} < 5\%$ theo công thức (1):

$$\% \text{CBE} = \frac{\sum \text{Cation} - \sum \text{Anion}}{\sum \text{Cation} + \sum \text{Anion}} \times 100 \quad (1)$$

trong đó, Cation và Anion tính theo đơn vị meq/l.

Các mẫu nước được phân tích tại Phòng Thí nghiệm Địa hoá và Địa chất Môi trường, Khoa Địa chất Trường Đại học Khoa học Tự nhiên Thành phố Hồ Chí Minh.

2.2.3. Phương pháp chỉ số chất lượng nước dưới đất (GWQI)

- Tính trọng số Entropy qua các bước (Pham et al., 2024):

+ Xây dựng ma trận chất lượng nước dưới đất:

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

Trong đó: x_{mn} là chỉ số chất lượng nước của mẫu nước thứ m và thông số thứ n.

+ Chuẩn hoá ma trận theo công thức (2):

$$Y_{ij} = \frac{(x_{ij})_{\max} - x_{ij}}{(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}} \quad (2)$$

Ma trận chuẩn hoá có dạng như sau:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{m1} & Y_{m2} & \dots & Y_{mn} \end{bmatrix}$$

+ Tính tỉ lệ giá trị chỉ số của chỉ số j và trong mẫu i theo công thức (3):

$$P_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{j=1}^m y_{ij}} \quad (3)$$

+ Thông số Entropy thông tin được thể hiện bằng công thức (4):

$$e_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m P_{ij} \cdot \ln(P_{ij}) \quad (4)$$

+ Tính trọng số Entropy theo công thức (5):

$$\omega_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (5)$$

trong đó: ω_j là trọng số Entropy của thông số j.

- Tính GWQI:

+ Xác định thang đánh giá chất lượng (q_j) cho từng thông số theo công thức (6):

$$q_j = \frac{c_j}{s_j} \times 100 \quad (6)$$

trong đó: c_j là nồng độ của thông số j trong mẫu nước (tính bằng mg/L); s_j là tiêu chuẩn chất lượng nước cho thông số j (tính bằng mg/L). Trong nghiên cứu này cả Tiêu chuẩn chất lượng nước Việt Nam (QCVN 09-MT: 2015/BTNMT) và Tiêu chuẩn WHO được sử dụng để xác định s_j .

+ Tính GWQI theo công thức (7):

$$GWQI = \sum_{j=1}^n \omega_j q_j \quad (7)$$

Giá trị GWQI được xếp thành 5 loại từ I đến V như Bảng 1.

Bảng 1. Phân loại chất lượng nước dưới đất theo GWQI (Than et al., 2022)

Xếp loại	Chất lượng nước	Giá trị GWQI
I	Rất tốt	0 – 25
II	Tốt	25 – 50
III	Trung bình	50 – 75
IV	Xấu	75 – 100
V	Rất xấu	> 100

2.2.4. Phương pháp GIS – Bản đồ

Phương pháp GIS – Bản đồ được sử dụng để phân tích không gian và xây dựng bản đồ phân bố chất lượng nước dưới đất dựa trên kết quả tính GWQI. Giá trị GWQI của 11 điểm mẫu được tích hợp vào môi trường GIS để thực hiện nội suy không gian bằng phương pháp Inverse Distance Weighting (IDW) trên toàn đảo Phú Quốc, từ đó thành lập bản đồ

phân loại mức độ chất lượng nước dựa trên ngưỡng giá trị của GWQI. IDW là phương pháp nội suy không gian theo nguyên lí khoảng cách nghịch đảo, được nhiều nghiên cứu sử dụng trong đánh giá chất lượng nước (Duong et al., 2025; Tran & Nguyen, 2025), và là phương pháp hiệu quả để nội suy các thông số chất lượng nước (Tran & Nguyen, 2025).

Toàn bộ quá trình nội suy và thành lập bản đồ được thực hiện trên nền tảng Q-GIS.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc điểm hoá lí của nước dưới đất ở đảo Phú Quốc

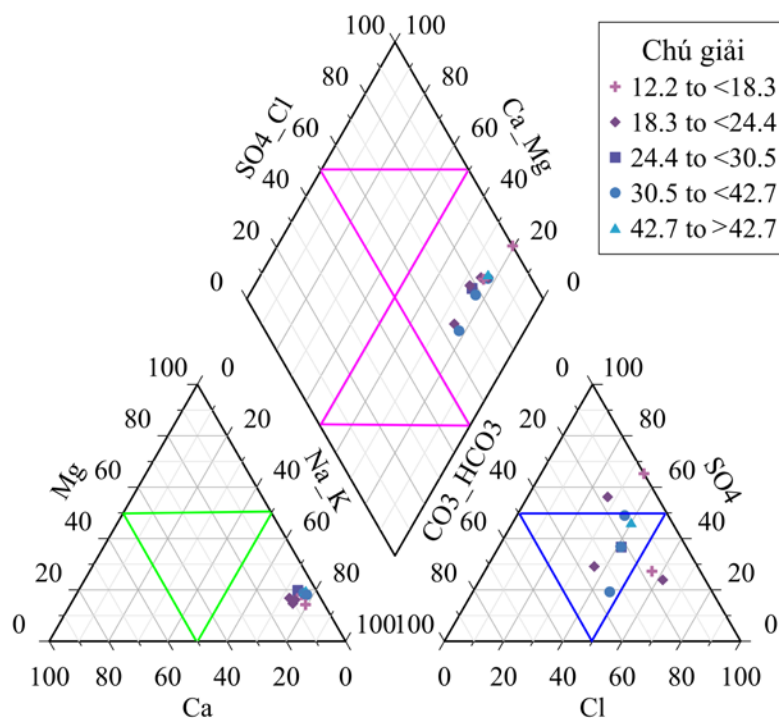
3.1.1. Thống kê mô tả các thông số chất lượng nước

Để đánh giá chất lượng nước, 11 mẫu nước từ 11 giếng khoan trên đảo Phú Quốc được thu thập. Giếng sâu nhất 60 m, giếng nông nhất 30 m. 12 thông số chất lượng nước được phân tích, trong đó NH_4^+ và NO_3^- là 2 thông số dùng đánh giá mức độ ô nhiễm hữu cơ, Cl^- và SO_4^{2-} đánh giá mức độ nhiễm mặn, và Fe tổng (Fe_c) đánh giá mức độ ô nhiễm kim loại nặng. Kết quả cho thấy các thông số chất lượng nước có sự biến thiên rõ rệt giữa các mẫu. Cụ thể, giá trị pH = 4,30 – 6,39, trung bình $5,74 \pm 0,69$; TDS = 43,01 – 121,09 mg/L, trung bình $77,68 \pm 27,40$ mg/L. Các cation chính như Na^+ (8,63 – 31,01 mg/L; $18,24 \pm 7,51$ mg/L), K^+ (0,77 – 2,77 mg/L; $1,63 \pm 0,67$ mg/L), Ca^{2+} (0,80 – 3,21 mg/L; $1,53 \pm 0,91$ mg/L) và Mg^{2+} (0,00 – 1,44 mg/L; $0,74 \pm 0,39$ mg/L). Các anion chính gồm HCO_3^- (12,20 – 42,70 mg/L; $23,29 \pm 9,38$ mg/L), Cl^- (4,86 – 34,00 mg/L; $14,35 \pm 8,58$ mg/L) và SO_4^{2-} (0,00 – 41,68 mg/L; $13,52 \pm 16,16$ mg/L). NH_4^+ dao động từ 0,10 – 1,03 mg/L, trung bình $0,52 \pm 0,29$ mg/L; NO_3^- biến thiên hẹp trong khoảng 1,19 – 2,31 mg/L, với trung bình $1,66 \pm 0,30$ mg/L; trong khi đó, Fe_c biến thiên khá lớn (0,24 – 5,88 mg/L), với giá trị trung bình $2,12 \pm 2,00$ mg/L.

3.1.2. Phân loại nước dưới đất khu vực đảo Phú Quốc

Các ion dương gồm Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ và các ion âm gồm Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} được đưa vào biểu đồ Piper để phân loại, đánh giá đặc điểm thủy địa hóa của các mẫu nước trong khu vực nghiên cứu (Hình 2). Qua biểu đồ có thể thấy các mẫu nước có sự đồng nhất cao về thành phần hóa học, tập trung chủ yếu vào nhóm nước kiềm với hàm lượng các ion dương Na^+ và K^+ chiếm ưu thế tuyệt đối (trên 80% tại tam giác cation). Ngược lại, hàm lượng Ca^{2+} và Mg^{2+} ở mức rất thấp, cho thấy đây là loại nước có độ cứng thấp. Về phía các ion âm (tam giác anion), các điểm dữ liệu phân bố tập trung ở vùng giữa nghiêng về phía Cl^- , chiếm tỉ trọng khoảng 50% đến 70%, theo sau là SO_4^{2-} .

Khi chiếu các giá trị này lên hình thoi trung tâm, các mẫu nước hội tụ rõ rệt tại khu vực phía bên phải, định danh đây là kiểu nước Na-Cl. Đặc điểm này phản ánh nguồn nước đã trải qua quá trình khoáng hóa mạnh hoặc có nguồn gốc từ trầm tích biển. Sự áp đảo của muối NaCl và sự thiếu hụt các ion gây độ cứng gợi ý rằng tầng chứa nước ở Phú Quốc có thể đang chịu tác động của hiện tượng xâm nhập mặn hoặc đã trải qua quá trình trao đổi ion sâu sắc trong lòng đất. Điều này gợi ý cần có thêm những nghiên cứu trong tương lai. Tổng độ khoáng hoá mặc dù có sự khác biệt (từ 12,2 đến 42,7 % meq) nhưng việc chúng đứng cùng một cụm trong hình thoi trung tâm chứng minh rằng bản chất hóa học của nước ở các điểm lấy mẫu là tương đồng và có cùng một cơ chế hình thành địa chất.



Hình 2. Biểu đồ phân loại nước dưới đất ở đảo Phú Quốc

3.2. Đánh giá chất lượng nước dưới đất ở đảo Phú Quốc

3.2.1. Đánh giá chung chất lượng nước

Bảng 2. So sánh các thông số chất lượng nước dưới đất với Tiêu chuẩn

Thông số	Đơn vị	Trung bình	Giới hạn
pH	-	5,74	5,5 – 8,5*
TDS	mg/L	77,68	1500*
Na ⁺	mg/L	18,24	100**
K ⁺	mg/L	1,63	12**
Ca ²⁺	mg/L	1,53	300**
Mg ²⁺	mg/L	0,74	200**
NH ₄ ⁺	mg/L	0,52	1*
Fe _{tc}	mg/L	2,12	5*
HCO ₃ ⁻	mg/L	23,29	500**
Cl ⁻	mg/L	14,35	250*
SO ₄ ²⁻	mg/L	13,52	400*
NO ₃ ⁻	mg/L	1,66	15*

* Giới hạn theo QCVN 09-MT: 2015/BTNMT (Ministry of Natural Resources and Environment, 2015); ** Giới hạn theo WHO (Abdus-Salam et al., 2024).

So với Tiêu chuẩn Việt Nam QCVN 09-MT: 2015/BTNMT và Tiêu chuẩn WHO (Bảng 2) cho thấy chất lượng nước khá tốt. Cụ thể:

- Giá trị pH (trung bình 5,74) cho thấy nước có tính axit nhẹ mặc dù nằm trong khoảng cho phép (5,5-8,5). Hàm lượng TDS trung bình 77,68 mg/L, thấp hơn rất nhiều so với giới hạn (1500 mg/L).

- Các ion chính như Na⁺, K⁺, Ca²⁺ và Mg²⁺ đều có nồng độ thấp, nhỏ hơn nhiều so với

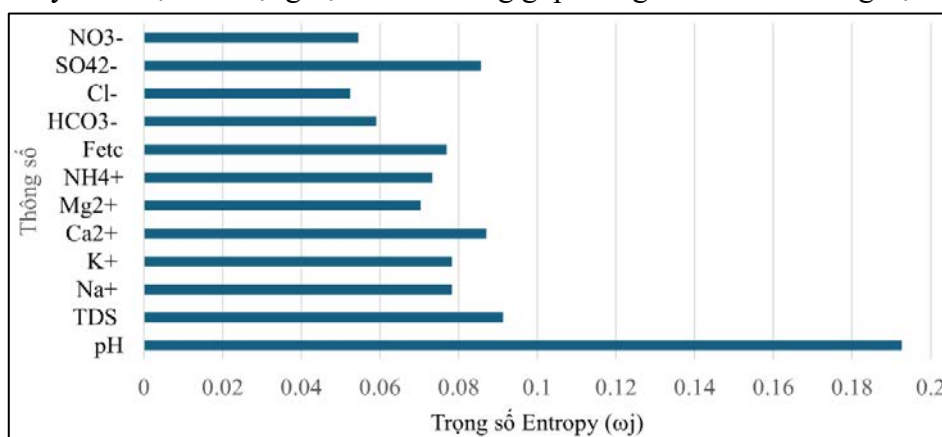
ngưỡng WHO, cho thấy nước có độ cứng thấp và ít khoáng. Nồng độ NH_4^+ trung bình 0,52 mg/L vẫn nằm trong giới hạn cho phép (1 mg/L). Tuy nhiên cần lưu ý do giá trị này tương đối cao so với nền tự nhiên, có thể liên quan đến quá trình phân hủy hữu cơ vì theo WHO, NH_4^+ thường rất thấp trong điều kiện chưa chịu tác động nhân sinh (WHO, 2017). Hàm lượng sắt tổng ($\text{Fe}_{\text{tc}} = 2,12 \text{ mg/L}$) nằm dưới ngưỡng quy định (5 mg/L) nhưng khá cao so với nước cấp sinh hoạt, cho thấy khả năng ảnh hưởng đến màu và mùi nước.

- Các anion như HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} và NO_3^- đều ở mức thấp, chưa có dấu hiệu nhiễm mặn hay ô nhiễm dinh dưỡng. Đặc biệt, NO_3^- rất thấp (1,66 mg/L), cho thấy ít chịu tác động từ nguồn ô nhiễm nông nghiệp hoặc sinh hoạt.

3.2.2. Đánh giá chất lượng nước dưới đất bằng GWQI

- *Trọng số Entropy*

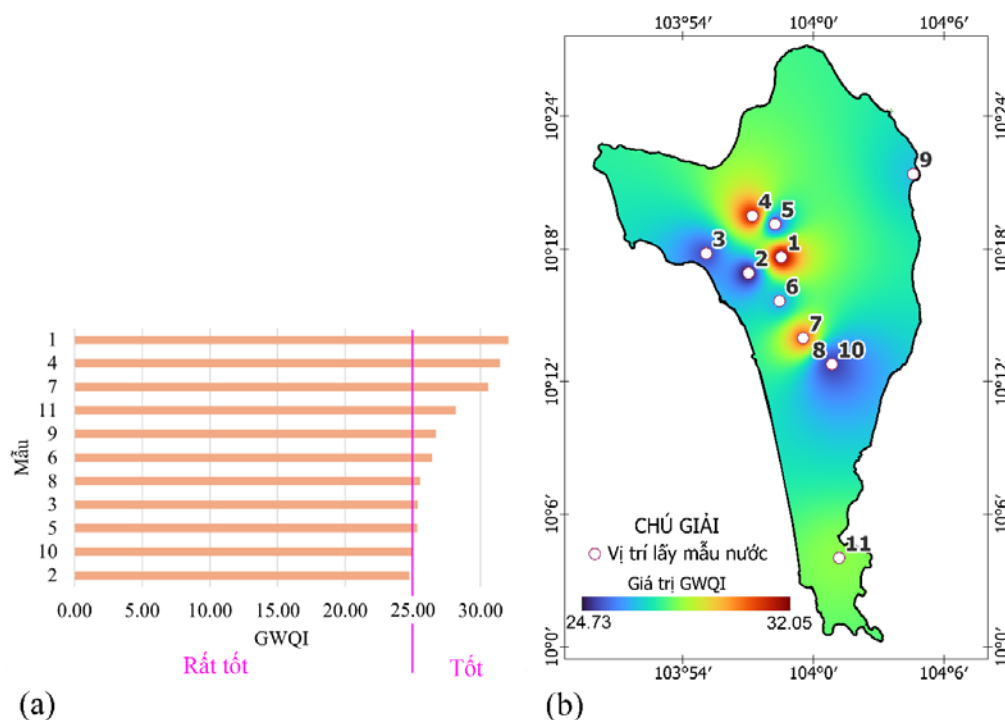
Áp dụng công thức (2) – (5), trọng số của 12 thông số chất lượng nước dưới đất khu vực đảo Phú Quốc được tính và được thể hiện trong Hình 3. Kết quả cho thấy pH có trọng số entropy cao nhất (0,193), phản ánh mức độ biến thiên lớn giữa các mẫu và đóng góp thông tin quan trọng trong đánh giá chất lượng nước. Các thông số như TDS (0,091), Ca^{2+} (0,087) và SO_4^{2-} (0,086) cũng có vai trò đáng kể. Ngược lại, Cl^- (0,052) và NO_3^- (0,055) có trọng số thấp hơn, cho thấy mức độ biến động hạn chế và đóng góp thông tin nhỏ hơn trong bộ dữ liệu.



Hình 3. Trọng số Entropy (ω_j) của các thông số chất lượng nước

- *Chỉ số GWQI*

Sau khi tính trọng số Entropy, áp dụng công thức (6) – (7) để tính chỉ số chất lượng nước dưới đất GWQI thu được giá trị GWQI và được trình bày trong Hình 4a. Phân bố không gian giá trị GWQI được thể hiện trong Hình 4b.



Hình 4. (a) Chỉ số chất lượng nước dưới đất GWQI, và (b) Phân bố không gian của chỉ số GWQI

Kết quả cho thấy, GWQI của các mẫu nằm trong khoảng giá trị từ 24,73-32,05. Hầu hết các mẫu vượt nhẹ ngưỡng 25 và được xếp vào mức “tốt”. Có 2 mẫu (mẫu 2 và 10) thấp hơn 25 và được xếp loại “rất tốt”. Điều này cho thấy chất lượng nước dưới đất trong khu vực nhìn chung khá tốt và chưa chịu ảnh hưởng ô nhiễm đáng kể. Tuy nhiên, sự chênh lệch giữa các mẫu vẫn tồn tại, phản ánh sự khác biệt cục bộ về điều kiện địa hóa hoặc nguồn tác động. Các giá trị GWQI cao tập trung ở khu vực phía Bắc đảo, phản ánh chất lượng nước kém hơn tương đối so với phía Nam. Sự khác biệt này có thể do ảnh hưởng của điều kiện địa chất và quá trình tương tác nước–đá mạnh hơn ở khu vực phía Bắc. Đồng thời, các khu vực ven biển phía Nam có khả năng được bổ cập tốt hơn và ít chịu tác động nhân sinh.

Theo (Tran & Nguyen, 2025; Li & Heap, 2014), IDW là phương pháp nội suy có độ chính xác cao đối với các thông số có hệ số biến thiên thấp, do tính liên tục không gian của dữ liệu tương đối đồng đều. Kết quả tính GWQI trên đảo Phú Quốc cho thấy, mặc dù tồn tại sự phân hóa không gian về chất lượng nước dưới đất trên đảo nhưng sự khác biệt là không lớn (24,73-32,05). Do đó, kết quả nội suy chỉ số GWQI trên toàn đảo trong nghiên cứu này có thể chấp nhận được. Điều này cũng gợi ý cho các nghiên cứu tiếp theo.

Tóm lại, nước trong khu vực nghiên cứu có chất lượng tương đối tốt với giá trị GWQI < 50, các thông số hầu hết nằm trong giới hạn của tiêu chuẩn, tuy nhiên cần lưu ý nước tính axit nhẹ và hàm lượng sắt tương đối cao, cần có biện pháp xử lý phù hợp trước khi sử dụng. Nhìn chung, nguồn nước có thể sử dụng cho mục đích sinh hoạt sau khi xử lý đơn giản.

4. Kết luận

Dựa trên 11 mẫu nước dưới đất thu thập ở đảo Phú Quốc, nghiên cứu ứng dụng GIS, kết hợp với phương pháp trọng số Entropy và chỉ số GWQI để đánh giá chất lượng nước và rút ra một số kết luận sau:

- Các thông số chất lượng nước có sự biến thiên rõ rệt giữa các mẫu, lớn nhất là tổng chất rắn hoà tan (TDS) và SO_4^{2-} , nhỏ nhất là NH_4^+ và NO_3^- . Sự biến động mạnh của TDS và SO_4^{2-} phản ánh sự khác nhau của quá trình địa hóa và sự tương tác với môi trường xung quanh giữa các giếng khoan.

- Nước dưới đất ở đảo Phú Quốc thuộc kiểu Na-Cl, phản ánh nguồn nước có thể đã trải qua quá trình khoáng hóa mạnh hoặc có nguồn gốc từ trầm tích biển hoặc chịu tác động của hiện tượng xâm nhập mặn.

- Chỉ số GWQI cho thấy nước dưới đất có chất lượng tốt đến rất tốt ($\text{GWQI} < 50$), cho thấy tiềm năng sử dụng cho mục đích sinh hoạt. Tuy nhiên, việc áp dụng các biện pháp xử lý phù hợp trước khi sử dụng là cần thiết.

Ngoài ra, nghiên cứu cũng cho thấy sự hiệu quả của phương pháp trọng số Entropy trong việc xác định trọng số của các thông số chất lượng nước một cách khách quan.

- ❖ **Tuyên bố về quyền lợi:** Các tác giả xác nhận hoàn toàn không có xung đột về quyền lợi.
- ❖ **Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh trong đề tài Sinh viên nghiên cứu khoa học năm học 2025-2026.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Abdus-Salam, M. O., Akinsanya, Y. O., Salami, I. O., Adeniji, T. W., Falana, A. O., Omotunde, V. B., Gbadebo, A., & Gbadamosi, M. O. (2024). Entropy-weighted water quality index assessment of groundwater in Ibadan metropolis, Southwestern Nigeria. *Discover Water*, 4(1), 121. <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00157-y>
- Ahmad, S., Umar, R., & Ahmed, I. (2022). Assessment of groundwater quality using entropy-weighted quality index (EWQI) and multivariate statistical techniques in Central Ganga plain, India. *Environment, Development and Sustainability*, 26. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02776-8>
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A water quality index – do we dare? *Water and Sewage Works*, 117(10), 339–343.
- Department of Natural Resources and Environment of Kien Giang Province. (2022). *Giới thiệu tỉnh Kiên Giang* [Introduction about Kien Giang]. Department of Natural Resources and Environment of Kien Giang Province. <https://nnmt.net.vn/so-tai-nguyen-va-moi-truong-kien-giang>

- Duong, T. N. T., Hong, M. H., Nguyen, H. T., Duong, T. T., & Van, P. D. T. (2025). Đánh giá sự thay đổi về chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Cà Mau [Assessment of groundwater quality changes in Ca Mau province]. *Can Tho University Journal of Science*, 61, 211–222. <https://doi.org/10.22144/ctujos.2025.071>
- Horton, R. K. (1965). An index number system for rating water quality. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 37(3), 300–306.
- Li, J., & Heap, A. D. (2014). *A review of spatial interpolation methods for environmental scientists*. Geoscience Australia.
- Ministry of Natural Resources and Environment. (2015). *QCVN 09-MT:2015/BTNMT – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước dưới đất* [National technical regulation on groundwater quality]. Ministry of Natural Resources and Environment.
- Nguyen, A. H., Pham, N. T. T., Tat, V. M. H., Truong, H. T., & Vo, P. L. (2021). Application of entropy weight in groundwater quality index (EWQI) and GIS for groundwater quality zoning in the Southeastern Coastal region, Vietnam. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Pham, Q. N., Tran, T. N. T., Tran, T. L., & Le, V. H. (2024). Ứng dụng trọng số Entropy tính toán chỉ số chất lượng nước (EWQI) vùng khan hiếm nước tỉnh Long An [Application of entropy weight to calculate water quality index (EWQI) in water-scarce areas of Long An Province]. *Journal of Resources and Environment*, (52), 26–35. <https://doi.org/10.63064/khtnmt.2024.599>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Than, V. H., Nguyen, C. V., Luong, S. D., Ngo, T. X., & Vu, T. Q. C. (2022). Đánh giá chất lượng nước ngầm tại một số đảo nổi thuộc Quần đảo Trường Sa [Assessment of groundwater quality on some emergent islands in the Spratly Islands]. *Journal of Chemical, Physical and Biological Analysis*, 27(3), 130–136.
- Tran, N. B. K., Le, T. T. V., Chau, H. T., Nguyen, T. D., & Nguyen, T. T. L. (2025). An evaluation of the groundwater vulnerability based on the enhanced DRASTIC index system: A case study in Phu Quoc, Kien Giang, Vietnam. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1540(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1540/1/012014>
- Tran, M. T., & Nguyen, T. T. (2025). So sánh một số phương pháp nội suy không gian trong xây dựng bản đồ chất lượng nước sông Tiền phục vụ nuôi cá tra thâm canh [Comparison of some spatial interpolation methods for mapping water quality of the Tien River for intensive Pangasius aquaculture]. *Industrial University Journal of Science*, 25(1), 120–129. https://doi.org/10.62985/j.huit_ojs.vol25.no1.159
- Trinh, T. T., Do, T. H., Nguyen, T. C., & Ngo, T. M. (2022). Assessment of groundwater quality in the Holocene aquifer in Duy Tien District, Ha Nam Province using groundwater quality index (GWQI). *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 38(1). <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4781>

- Truong, Q. D., & Nguyen, H. T. (2025). Đánh giá chất lượng nước dưới đất phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh bằng chỉ số GWQI và nội suy IDW [Assessment of groundwater quality in northern Ho Chi Minh City using the GWQI index and IDW interpolation]. *Thu Dau Mot University Journal of Science*, 6(79), 112–126. <https://vjol.info.vn/index.php/tdm>
- WHO. (2017). *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization.
- Xu, Z. (2020). Application of entropy weight method in water quality evaluation. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08215-8>
- Zeleny, M. (1982). *Multiple criteria decision making*. McGraw-Hill.

**INTEGRATING GIS, ENTROPY WEIGHTING, AND GROUNDWATER QUALITY
INDEX (GWQI) TO ASSESS GROUNDWATER QUALITY
ON PHU QUOC ISLAND, AN GIANG PROVINCE**

Nguyen Ngoc Yen Vy¹, Chau Hong Thang^{1},
Le Thi Thuy Van², Pham Thi Ngoan¹, Nguyen Thi Hai Y¹*

¹*Ho Chi Minh City University of Education, Vietnam*

²*University of Science, Viet Nam National University Ho Chi Minh City, Vietnam*

**Corresponding author: Chau Hong Thang – Email: thangch@hcmue.edu.vn*

Received: March 19, 2026; Revised: April 20, 2026; Accepted: April 22, 2026

ABSTRACT

With ongoing socio-economic development, water demand on Phu Quoc Island has been steadily increasing. While surface water resources are insufficient to meet this demand, groundwater has not yet been comprehensively assessed, particularly in terms of quality. This study integrates GIS, the entropy weighting method, and the groundwater quality index (GWQI) to evaluate groundwater quality on Phu Quoc Island, based on Vietnamese water quality standards and those of the World Health Organization (WHO). The results indicate that the groundwater is predominantly of the Na–Cl type and generally exhibits good quality, with most parameters falling within permissible limits. Among the 12 parameters used in the GWQI calculation, pH shows the highest entropy weight. The GWQI results reveal that groundwater quality ranges from good to very good. These findings suggest that groundwater on Phu Quoc Island is generally suitable for domestic use, while also highlighting the objectivity of the entropy method in groundwater quality assessment.

Keywords: entropy; GIS; groundwater; GWQI; Phu Quoc Island