



Original Article

Assessment of Groundwater Quality in Water-Scarce Areas of Tay Ninh Province Using Water Quality Indices

Le Viet Hung, Phung Thi Linh*, Tran Quoc Viet

Hanoi University of Natural Resources and Environment, 41A Phu Dien, Phu Dien Ward, Hanoi, Vietnam

Received 8th April 2026

Revised 24th July 2026; Accepted 19th August 2026

Abstract: Water quality indices are widely used around the world and in Vietnam to assess the quality of water for domestic use and industrial use. In this paper, we apply the Groundwater Quality Index (GWQI), the Composite Pollution Index (CPI), and the Heavy Metal Pollution Index (HPI) to assess groundwater quality in the Early Pliocene aquifer (n_2^1) in water-scarce communes in Tay Ninh province for domestic use (including parameters: pH, TDS, hardness, Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , Fe, As, Pb, Mn, and coliform). The results of a study on 49 groundwater samples, conducted from October 26, 2022, to November 20, 2022, indicate that groundwater quality according to the GWQI is classified into two categories: medium (accounting for 6.1% of the total samples) and good (93.9%); according to the CPI, groundwater quality is classified as clean (6.1%) and very clean (93.9%); according to the HPI, the results show that 100% of the samples are not contaminated by heavy metals. In most boreholes, the groundwater is good quality for domestic use; however, some sampling locations have TDS and coliform levels exceeding the standards and therefore require treatment before use. The study also demonstrates that water quality indices can provide a relatively reliable indicator of groundwater quality, thereby supporting improved planning, management, and exploitation of water resources and contributing to sustainable water resource development.

Keywords: Water - scarce area, water quality index, GWQI, CPI, HPI, Tay Ninh province.

* Corresponding author.

E-mail address: ptlinh.tnn@hunre.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuces.5499>

Đánh giá chất lượng nước dưới đất vùng khan hiếm nước tỉnh Tây Ninh bằng sử dụng các chỉ số chất lượng nước

Lê Việt Hùng, Phùng Thị Linh*, Trần Quốc Việt

Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, 41A Phú Diễn, phường Phú Diễn, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 8 tháng 4 năm 2026

Chỉnh sửa ngày 24 tháng 7 năm 2026; Chấp nhận đăng ngày 19 tháng 8 năm 2026

Tóm tắt: Chỉ số chất lượng nước được sử dụng nhiều trên thế giới và ở Việt Nam nhằm đánh giá chất lượng nước phục vụ sinh hoạt, sản xuất. Trong bài báo này, chúng tôi áp dụng các chỉ số đánh giá chất lượng nước dưới đất GWQI, chỉ số ô nhiễm tổng hợp CPI và chỉ số ô nhiễm kim loại nặng HPI để đánh giá chất lượng nước dưới đất tầng chứa nước Pliocen sớm (n_2^1) của các xã khan hiếm nước tỉnh Tây Ninh phục vụ cho mục đích sinh hoạt (gồm các thông số pH, TDS, độ cứng, Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , Fe, As, Pb, Mn, coliform). Kết quả nghiên cứu 49 mẫu nước dưới đất, từ ngày 26/10/2022 - 20/11/2022, cho thấy, chất lượng nước theo GWQI ở 2 mức, trung bình (chiếm 6,1% tổng số mẫu thu thập) và tốt (chiếm 93,9% tổng số mẫu); theo CPI ở 2 mức sạch (chiếm 6,1% tổng số mẫu thu thập) và rất sạch (chiếm 93,9% tổng số mẫu); theo HPI cho thấy 100% các mẫu nước chưa bị ô nhiễm kim loại nặng. Phần lớn khu vực, nước dưới đất có chất lượng tốt, tuy nhiên, một số vị trí mẫu có TDS, coliform vượt quy chuẩn cần xử lý trước khi sử dụng. Nghiên cứu cũng cho thấy chỉ số chất lượng nước có thể cung cấp một chỉ báo tương đối chính xác về chất lượng nước giúp quá trình quy hoạch, quản lý và khai thác tài nguyên nước được tốt hơn, phục vụ phát triển bền vững tài nguyên nước.

Từ khóa: Vùng khan hiếm nước, chỉ số chất lượng nước, GWQI, CPI, HPI, Tây Ninh

1. Mở đầu

Nước dưới đất trong cung cấp nguồn nước sạch quan trọng cho sinh hoạt, nông nghiệp, công nghiệp, duy trì dòng chảy sông hồ mùa khô, ổn định địa chất, ngăn ngừa sụt lún, sạt lở... Trên thế giới có khoảng 2,5 tỷ người phụ thuộc vào nguồn nước dưới đất để đáp ứng các nhu cầu sinh hoạt, sản xuất cơ bản, đặc biệt là những người sống ở vùng nông thôn, vùng khô hạn, vùng khan hiếm nước với nguồn nước hạn chế [1]. Trong khi đó, dưới tác động của biến đổi khí hậu (hạn hán, thiếu mưa,...) cùng với sự phát triển kinh tế (công nghiệp hóa, đô thị hóa, thay đổi cơ cấu cây trồng, thủy sản,...) dẫn đến nhu cầu về tài nguyên

nước nói chung và nước dưới đất nói riêng đã tăng lên đáng kể trong những thập kỷ gần đây [2]. Do đó, việc khai thác nước dưới đất không kiểm soát, bất hợp lý sẽ gây suy thoái nguồn nước dưới đất cả về số lượng và chất lượng [3].

Hiện nay để đánh giá chất lượng nước dưới đất ở một khu vực nhằm xác định mức độ phù hợp của nguồn nước phục vụ cho công tác quản lý và khai thác sử dụng nước đúng mục đích, nhu cầu của địa phương,... các nhà nghiên cứu đã áp dụng nhiều phương pháp đánh giá chất lượng như phương pháp phân tích nhân tố, phương pháp phân tích thứ bậc, phương pháp so sánh với quy chuẩn chất lượng nước, phương pháp sử

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: ptlinh.tnn@hunu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5499>

dụng các chỉ số chất lượng nước, phương pháp mô hình (Mike 11, Ecolab, SWAT),... [4].

Trên thế giới cũng như ở Việt Nam nói chung và đồng bằng sông Cửu Long nói riêng, các chỉ số chất lượng nước được sử dụng rộng rãi trong nhiều nghiên cứu của Phạm Quý Nhân (2024) ở Trà Vinh; Bùi Xuân Dũng (2020) ở Xuân Mai, Hà Nội; Nguyễn Thanh Giao (2023) ở Đồng bằng sông Cửu Long, Dương Thị Ngọc Tuyền (2025) ở Cà Mau; R. Reza (2010) ở Orissa, Ấn Độ; Qiyang Zhang (2021) ở Jiaokou, Trung Quốc [5-10],... nhằm đánh giá chất lượng nước dưới đất phục vụ cho các mục đích sử dụng khác nhau. Bên cạnh đó, một số nghiên cứu cũng sử dụng mô hình để đánh giá chất lượng nước dưới đất như Đặng Đình Phúc (2025); Xin Wang (2026), Konare Mahamadou (2024) [11-13],... Tuy nhiên, các nghiên cứu trên thường chỉ sử dụng một hoặc hai phương pháp với một số thông số chất lượng nước chung như TDS, coliform, pH, độ cứng, Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ để đánh giá. Do đó, chỉ số chất lượng nước tổng hợp có thể không phản ánh chính xác tình trạng thực tế của nguồn nước. Một giá trị xấu của một thông số duy nhất có thể làm thay đổi toàn bộ cái nhìn tổng quan về chất lượng nước. Thêm vào đó, việc sử dụng chỉ số chất lượng nước đơn giản hơn so với các phương pháp khác do số lượng thông số cần thiết để đánh giá ít hơn (so với phương pháp so sánh, phân tích nhân tố, phân tích thứ bậc) và ít mang tính bất định hơn (so với phương pháp mô hình) [14].

Các chỉ số chất lượng nước (WQI) là cần thiết để đơn giản hóa việc báo cáo thông tin chất lượng nước phức tạp và mang tính kỹ thuật. Các chỉ số chất lượng nước không nhằm mục đích thay thế phân tích chi tiết chất lượng nước mà là các công cụ nhằm cung cấp hướng dẫn nhanh chóng để hỗ trợ các chuyên gia về chất lượng nước, các nhà hoạch định chính sách và cộng đồng bằng cách truyền đạt dữ liệu chất lượng nước một cách nhất quán và liên tục hơn [14].

Một số chỉ số đánh giá chất lượng nước được sử dụng rộng rãi hiện nay như chỉ số chất lượng nước dưới đất GWQI - Ground Water Quality Index [15]; phân tích thành phần chính PCA - Principal Component Analysis [16]; chỉ số

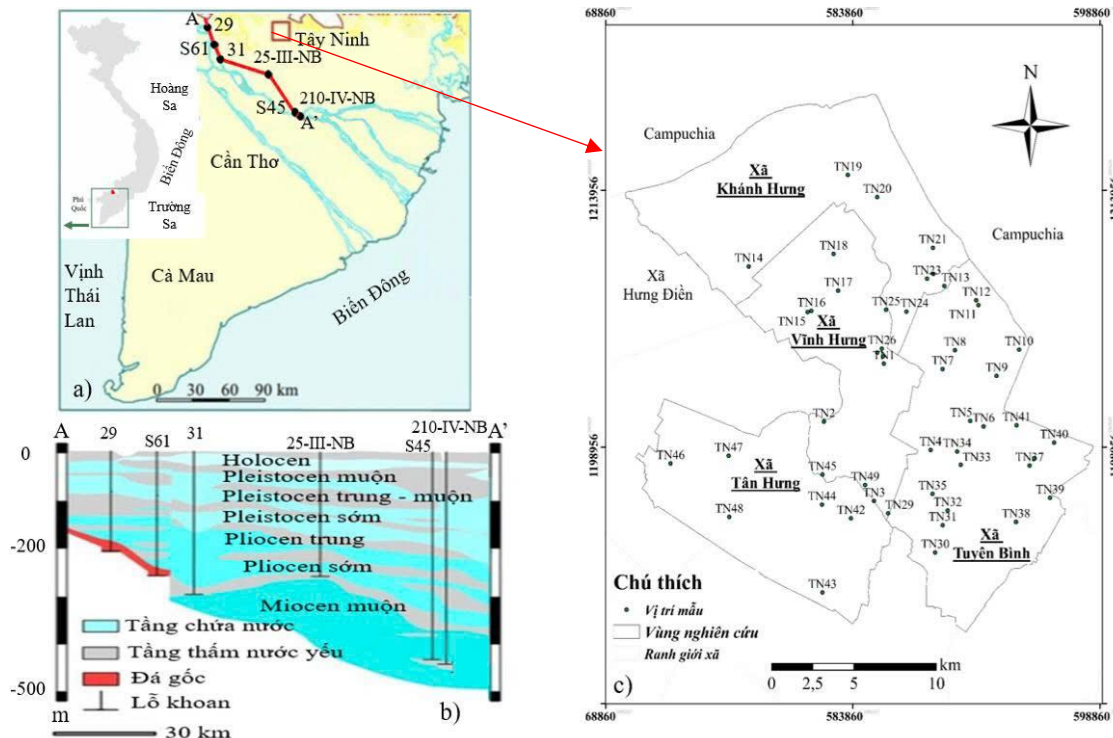
nhễm tổng hợp CPI - Comprehensive Pollution Index [17, 18]; chỉ số ô nhiễm kim loại nặng HPI - Heavy Metal Pollution Index [19] và trọng số Entropy [20].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng 2 phương pháp là sử dụng các chỉ số chất lượng nước tổng hợp GWQI, CPI, HPI và sử dụng các chỉ số tiêu thụ cụ thể, so sánh chúng với quy chuẩn để đánh giá chất lượng nước dưới đất tầng Pliocen sớm (n_2^1) từ đó xác định các vị trí có nguy cơ suy giảm chất lượng nước phục vụ cấp nước sinh hoạt và so sánh ưu nhược điểm giữa phương pháp chỉ số tổng hợp với phương pháp đánh giá theo từng thông số. Khu vực nghiên cứu là bốn xã khan hiếm nước Tân Hưng, Vĩnh Hưng, Khánh Hưng, Tuyên Bình tỉnh Tây Ninh (huyện Vĩnh Hưng tỉnh Long An cũ) (Hình 1). Về vị trí địa lý, khu vực này có phía Bắc giáp Campuchia, phía Đông giáp Campuchia và xã Bình Hiệp, phía Tây giáp các xã Vĩnh Thanh, Hưng Điền, phía Nam giáp các xã Tuyên Thanh, Vĩnh Châu (các xã đều thuộc tỉnh Tây Ninh). Vùng nghiên cứu có diện tích tự nhiên gần 490 km^2 , dân số khoảng 81.000 người, đây là các xã thuộc vùng khan hiếm nước theo Quyết định số 1553/QĐ-TTg ngày 08 tháng 11 năm 2019 của Thủ tướng Chính phủ [21].

Theo Phạm Quý Nhân (2025) [4], khu vực nghiên cứu có địa hình bằng phẳng bị chia cắt bởi hệ thống sông ngòi dày đặc, nổi bật là sông Cổ Chiên. Khí hậu mang đặc trưng nhiệt đới gió mùa với hai mùa mưa - nắng rõ rệt. Nước dưới đất trong khu vực được phân chia thành 7 tầng chứa nước gồm tầng chứa nước lỗ hổng không áp Holocen (qh) và các tầng chứa nước lỗ hổng có áp gồm Pleistocen muộn (qp₃), Pleistocen trung muộn (qp₂₋₃), Pleistocen sớm (qp₁), Pliocen sớm (n_2^1), Pliocen trung (n_2^2), Miocen muộn (n_1^3) (Hình 1). Nước dưới đất phục vụ cho sinh hoạt của các cụm khu dân cư trong khu vực được khai thác chủ yếu trong tầng chứa nước Pliocen sớm (n_2^1). tầng chứa nước này có diện tích phân bố rộng khắp vùng nghiên cứu, không lộ ra trên mặt, chiều dày từ 2,5 m đến 112,5 m, lưu lượng từ 3,52 l/s đến 27,78 l/s, tổng chất rắn hoà tan nhỏ, nước nhạt [4]. Tuy nhiên, ranh giới mặn nhạt của tầng chứa nước rất gần [4] và tốc độ hạ

thấp mực nước dưới đất tương đối cao, trung bình giai đoạn 2005 - 2023 thay đổi từ khoảng 0,2 m/năm đến hơn 1 m/năm [22] nên cần có sự quản lý khai thác nước dưới đất một cách hợp lý tránh xâm nhập mặn và suy thoái, ô nhiễm tầng chứa nước. Việc đánh giá chất lượng nước dưới

đất tại khu vực là cần thiết để làm cơ sở cho việc đề xuất các giải pháp quản lý, khai thác và sử dụng nguồn tài nguyên nước dưới đất bền vững, đáp ứng được nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội cũng như thích ứng với tác động của biến đổi khí hậu trong tương lai.



Hình 1. a) Đồng bằng sông Cù Long và mặt cắt AA'; b) Mặt cắt địa chất thủy văn AA' theo hướng TB-ĐN (Nguồn: Phạm Văn Hùng và nnk, 2019 [23]) và (c) Vùng nghiên cứu và vị trí lấy mẫu.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp lấy và phân tích mẫu

Thông số chất lượng nước dưới đất được phân tích và đánh giá qua 49 mẫu nước dưới đất trong tầng chứa nước Pliocen sớm (n_2^1) (Bảng 1), được thu thập vào cuối mùa mưa đầu mùa khô từ 26/10/2022 đến 20/11/2022. Mẫu nước dưới đất được lấy tuân theo tiêu chuẩn quốc gia TCVN 6663-11:2011 (ISO 5667-11:2009) [24]. Trong quá trình bơm thau rửa, các chỉ tiêu pH, Eh, Ec được đo đến khi đạt giá trị ổn định mới tiến hành lấy mẫu. Trước khi lấy mẫu phải đo mực nước tĩnh tại từng lỗ khoan lấy mẫu. Do vị trí khảo sát nằm xa phòng thí nghiệm, các mẫu nước dưới

đất sau khi thu thập được lưu giữ và bảo quản theo các tiêu chuẩn TCVN 6663-3:2016 (ISO 5667-3:2012) [25], TCVN 6663-1:2011 (ISO 5667-1:2006) [26], TCVN 6663-14:2000 (ISO 5667-14:1998) [27] trước khi phân tích để đảm bảo kết quả phân tích đại diện được cho các điều kiện ở thời điểm lấy mẫu.

2.2. Phương pháp sử dụng các chỉ số chỉ tiêu cụ thể

Sử dụng các chỉ số chất lượng nước cụ thể và so sánh các giá trị với QCVN 09:2023/BTNMT – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước dưới đất (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2023) [28].

Bảng 1. Bảng vị trí lấy mẫu nước dưới đất khu vực nghiên cứu

TT	Ký hiệu	X	Y	Xã	TT	Ký hiệu	X	Y	Xã
1	LA01	647280	1090508	Vĩnh Hưng	26	LA26	641946	1086239	Vĩnh Hưng
2	LA02	646272	1090044	Vĩnh Hưng	27	LA27	641222	1086273	Vĩnh Hưng
3	LA03	645637	1089349	Vĩnh Hưng	28	LA28	648700	1089051	Vĩnh Hưng
4	LA04	645788	1088864	Tuyên Bình	29	LA29	648620	1088766	Vĩnh Hưng
5	LA05	646214	1087893	Tuyên Bình	30	LA30	648508	1088455	Tuyên Bình
6	LA06	646950	1088075	Tuyên Bình	31	LA31	648485	1088313	Tuyên Bình
7	LA07	648167	1087232	Tuyên Bình	32	LA32	648757	1087824	Tuyên Bình
8	LA08	648103	1088394	Tuyên Bình	33	LA33	648684	1087910	Tuyên Bình
9	LA09	646117	1086264	Tuyên Bình	34	LA34	648752	1087212	Tuyên Bình
10	LA10	646835	1086432	Tuyên Bình	35	LA35	648748	1087001	Tuyên Bình
11	LA11	647637	1085128	Tuyên Bình	36	LA36	648181	1090472	Tuyên Bình
12	LA12	646954	1084432	Tuyên Bình	37	LA37	648212	1090249	Tuyên Bình
13	LA13	646377	1084386	Khánh Hưng	38	LA38	647070	1091363	Tuyên Bình
14	LA14	645731	1084486	Khánh Hưng	39	LA39	646505	1091463	Tuyên Bình
15	LA15	645294	1084690	Vĩnh Hưng	40	LA40	646724	1091729	Tuyên Bình
16	LA16	645004	1084857	Vĩnh Hưng	41	LA41	646952	1091921	Tuyên Bình
17	LA17	642623	1085737	Vĩnh Hưng	42	LA42	648143	1089499	Tân Hưng
18	LA18	642595	1085863	Vĩnh Hưng	43	LA43	647177	1092758	Tân Hưng
19	LA19	642504	1086133	Khánh Hưng	44	LA44	647572	1092570	Tân Hưng
20	LA20	642446	1087890	Khánh Hưng	45	LA45	647539	1091294	Vĩnh Hưng
21	LA21	642727	1087955	Khánh Hưng	46	LA46	572803	1197996	Tân Hưng
22	LA22	642948	1087996	Khánh Hưng	47	LA47	576331	1198448	Tân Hưng
23	LA23	643169	1088037	Khánh Hưng	48	LA48	576364	1194873	Tân Hưng
24	LA24	642066	1087523	Khánh Hưng	49	LA49	584611	1196736	Vĩnh Hưng
25	LA25	642340	1086204	Vĩnh Hưng					

2.3. Phương pháp sử dụng chỉ số chất lượng nước chung

2.3.1. Theo chỉ số chất lượng nước dưới đất GWQI

Chỉ số GWQI được xây dựng qua 4 bước theo hướng dẫn Quyết định số 1460/QĐ-TCMT của Tổng cục Môi trường, Bộ Tài nguyên và Môi trường (nay là Cục Bảo vệ môi trường, Bộ Nông nghiệp và Môi trường) [29]:

- Lựa chọn các thông số chất lượng nước;
- Tính chỉ số phụ thông qua việc chuyển nồng độ quan trắc được của mỗi thông số thành giá trị không có đơn vị theo thang chất lượng chuẩn hóa;
- Xác định trọng số của mỗi thông số;
- Tổ hợp các chỉ số phụ và trọng số thành giá trị GWQI. Cuối cùng, đánh giá chất lượng nước dựa vào thang điểm phân loại GWQI.

• Tính trọng số W_i của từng thông số: được xác định dựa trên tầm quan trọng của nó đối với sức khỏe con người và môi trường. Tổng của tất cả các trọng số phải bằng 1:

$$W_i = \frac{K}{S_i} \quad (1)$$

Trong đó:

S_i là giới hạn tiêu chuẩn của thông số i theo Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước dưới đất - QCVN 09:2023/BTNMT);

K là hệ số chuẩn hóa sao cho tổng trọng số của các thông số về 1:

$$K = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i}} \quad (2)$$

• Tính chỉ số chất lượng nước của từng thông số Q_i theo Robert M. Brown và nnk (1972) [30]:

$$Q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad (3)$$

Trong đó:

C_i : là giá trị thực tế đo được của thông số i ;

S_i : là giới hạn tiêu chuẩn của thông số i theo

Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước dưới đất - QCVN 09:2023/BTNMT).

• Tính GWQI tổng hợp theo công thức:

$$GWQI = \sum_{i=1}^n Q_i \times W_i \quad (4)$$

• Đánh giá và phân loại chất lượng nước dưới đất dựa trên GWQI theo mức độ ô nhiễm như Bảng 2.

Bảng 2. Bảng phân loại đánh giá chất lượng nước theo chỉ số chất lượng nước GWQI

GWQI	Chất lượng nước	Mức độ sử dụng	Màu sắc
≤ 50	Tốt	Có thể uống trực tiếp, sau xử lý nhẹ	Xanh lục
50 - 100	Trung bình	Có thể sử dụng, sau khi có biện pháp xử lý phù hợp	Xanh lá
100 - 200	Kém	Cần xử lý trước khi sử dụng	Vàng
200 - 300	Rất kém	Hạn chế sử dụng	Da cam
> 300	Không phù hợp	Không sử dụng được	Đỏ

2.3.2. Theo chỉ số ô nhiễm tổng hợp CPI

Mỗi chất ô nhiễm sẽ được tính toán một chỉ số thành phần (S. Liu và nnk, 1999) [17]:

$$CI_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (5)$$

Trong đó:

CI_i : là chỉ số ô nhiễm của thông số i ;

C_i : là nồng độ thực tế của thông số ô nhiễm i ;

S_i : là giới hạn tiêu chuẩn của thông số i theo Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước dưới đất - QCVN 09:2023/BTNMT).

Sau khi có các chỉ số thành phần, chỉ số ô nhiễm tổng hợp CPI được tính bằng cách kết hợp các chỉ số thành phần theo S. Liu và nnk (1999) [17]:

$$CPI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n CI_i \quad (6)$$

Trong đó:

CI_i : là chỉ số của chất ô nhiễm i ;

n : là số chỉ tiêu chất lượng nước theo dõi.

Chất lượng nước theo chỉ số CPI được đánh giá qua các mức độ (Nguyễn Thị Hà và nnk, 2020) [22] và được thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 3. Bảng xác định giá trị CPI tương ứng với mức đánh giá chất lượng nước

Giá trị	Mức độ ô nhiễm	Chất lượng nước	Màu sắc
$\leq 0,5$	Rất sạch	Nước chưa bị ô nhiễm	Xanh lục
0,51 - 1,0	Sạch	Nước tốt, đáp ứng cấp nước sinh hoạt	Xanh lá
1,01 - 2,0	Ô nhiễm nhẹ	Bắt đầu có dấu hiệu ô nhiễm, cần theo dõi	Vàng
2,01 - 4,0	Ô nhiễm trung bình	Dùng cho giao thông thủy hoặc tưới tiêu	Da cam
$> 4,0$	Ô nhiễm nặng	Nước bị suy thoái nghiêm trọng	Đỏ

2.3.3. Theo chỉ số kim loại nặng - HPI

Chỉ số HPI được xác định theo công thức (Mohan và nnk, 1996) [19]:

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \times W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (7)$$

Trong đó:

n : là số lượng thông số kim loại nặng được tính (nghiên cứu sử dụng các chỉ số Fe, Pb, As, Mn để đánh giá chỉ số kim loại nặng HPI);

W_i : được tính bằng $1/S_i$. Giá trị S_i là giới hạn tiêu chuẩn của kim loại i được lấy từ Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước dưới đất - QCVN 09:2023/BTNMT.

Q_i là hàm lượng kim loại thứ i :

$$Q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad (8)$$

Trong đó: C_i là giá trị đo được của kim loại nặng i (mg/l).

Giá trị HPI nhỏ hơn 100 cho biết nước có nguy cơ ô nhiễm kim loại nặng thấp; ngược lại giá trị lớn hơn 100 là không tốt cho sức khỏe.

2.4. Phương pháp nội suy và lập bản đồ

Sử dụng phần mềm ArcGIS 10.5 và phương pháp nội suy IDW trong hệ tọa độ VN2000, chúng tôi xác định được các giá trị GWQI, CPI và thành lập bản đồ phân vùng các thông số này tầng chứa nước Pliocen sớm (n_2^1). Phương pháp nội suy IDW là phương pháp xác định giá trị của các điểm chưa biết bằng cách tính trung bình trọng số khoảng cách các giá trị đã biết trong vùng lân cận của mỗi pixel. Khi cần xác định giá trị tại một vị trí chưa có dữ liệu, IDW sẽ lấy thông tin từ các điểm quan trắc xung quanh vị trí đó để tính toán. Giá trị nội suy tại vị trí chưa biết sẽ được xác định theo công thức của phương pháp IDW (George Y. Lu và nkk, 2018) [31]:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i \frac{1}{d^k}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d^k}} \quad (9)$$

Trong đó:

Z: là giá trị được dự đoán tại vị trí cần xác định;

Z_i : là giá trị đo thực tế tại điểm thứ i;
d: là khoảng cách giữa điểm đang xét và các điểm đã có dữ liệu;

k: là hệ số điều chỉnh mức độ ảnh hưởng của khoảng cách đến trọng số.

Để xác định phạm vi hoặc số lượng điểm lân cận xung quanh một vị trí để đưa vào tính toán giá trị cho vị trí đó, chúng tôi sử dụng phương pháp bán kính thay đổi, với số lượng điểm tối thiểu/tối đa cần lấy là 12.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Đánh giá theo phương pháp sử dụng chỉ tiêu cụ thể

Kết quả phân tích mẫu nước được thống kê trong Bảng 4. Sự phân bố các thông số chất lượng nước dưới được đánh giá bằng cách xác định giá trị lớn nhất, giá trị nhỏ nhất, giá trị trung bình của tập dữ liệu quan trắc đối với các thông số. Kết quả thấy được xu hướng biến động của các thông số chất lượng nước được lấy ở 49 mẫu nước giếng quan trắc tầng chứa nước Pliocen sớm (n_2^1) của khu vực nghiên cứu.

Bảng 4. Thống kê giá trị các thông số chất lượng nước dưới đất khu vực nghiên cứu

STT	Thông số	Đơn vị	Lớn nhất	Nhỏ nhất	Trung bình	QCVN 09:2023/BTNMT
1	Nhiệt độ	°C	21,9	21,3	21,6	-
2	pH	-	6,8	6,4	6,6	5,8-8,5
3	Chất rắn hoà tan (TDS)	mg/l	2928	264	733,8	1500
4	Độ cứng	mg/l	1634,0	98,0	362,3	500
5	Amoni (NH_4^+)	mg/l	0,2	0,0	0,1	1,0
6	Nitrit (NO_2^-)	mg/l	1,2	0,0	0,1	1,0
7	Nitrat (NO_3^-)	mg/l	7,2	0,1	3,3	15
8	Sunfat (SO_4^{2-})	mg/l	385,0	33,0	104,7	400
9	Clorua (Cl^-)	mg/l	1015,3	46,2	180,3	250
10	Arsenic (As)	mg/l	0,035	0,004	0,014	0,05
11	Sắt (Fe)	mg/l	1,34	0,05	0,172	5,0
12	Chì (Pb)	mg/l	0,005	0,0	0,003	0,01
13	Mangan (Mn)	mg/l	0,13	0,0	0,07	0,5
14	Coliform	MPN/100 ml	110,0	2,0	6,0	3,0

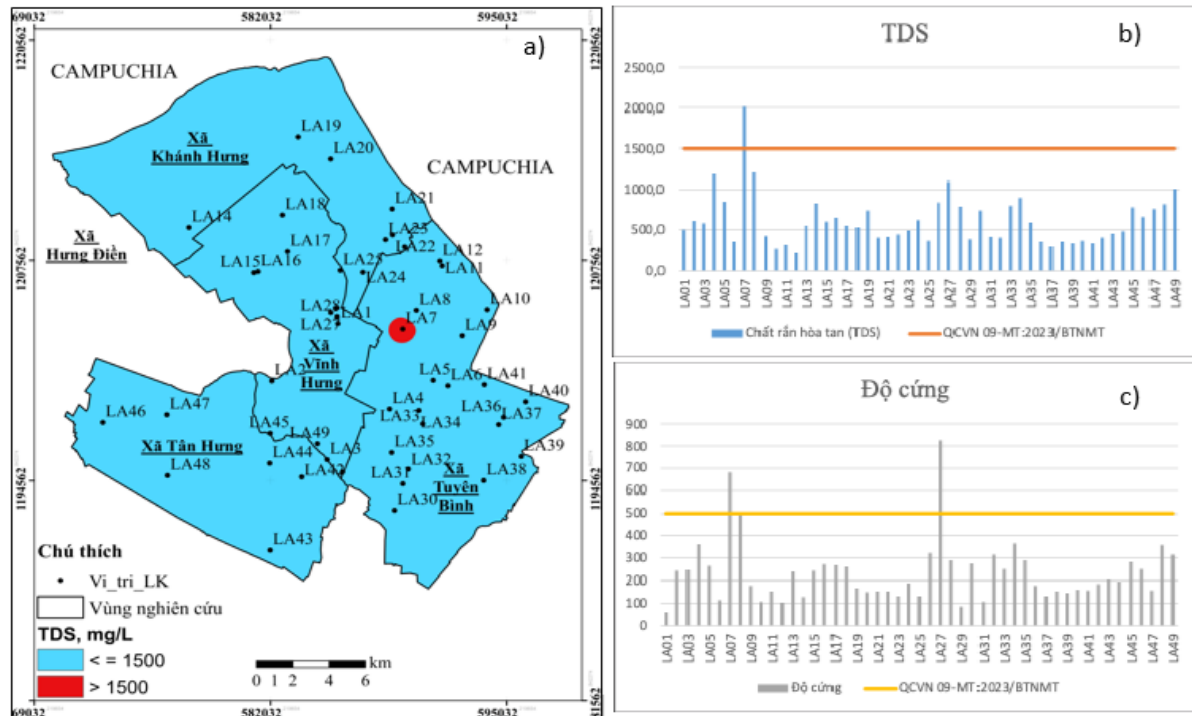
Giá trị TDS của các điểm quan trắc hầu hết đều nằm trong giới hạn cho phép của quy chuẩn,

riêng vị trí LA07 giá trị này là 2012 mg/l, cao gấp 1,3 lần so với quy chuẩn. Vị trí LA07 có dấu

hiệu bị nhiễm mặn nhẹ, hàm lượng chất rắn hòa tan cao có thể làm nước có bị mặn, không phù hợp để phục vụ sinh hoạt lâu dài và có nguy cơ ảnh hưởng cho đất, cây trồng nếu dùng để tưới (Hình 2a, b).

Giá trị độ cứng nằm trong khoảng từ 60 mg/l đến 826 mg/l, trung bình là 236,34 mg/l. Tại vị

trí LA27 có độ cứng cao hơn 1,7 lần so với quy chuẩn, không phù hợp để dùng trực tiếp cho sinh hoạt lâu dài nếu không qua xử lý, có thể gây đóng cặn mạnh trong thiết bị và làm giảm chất lượng nước ăn uống (Hình 2c).



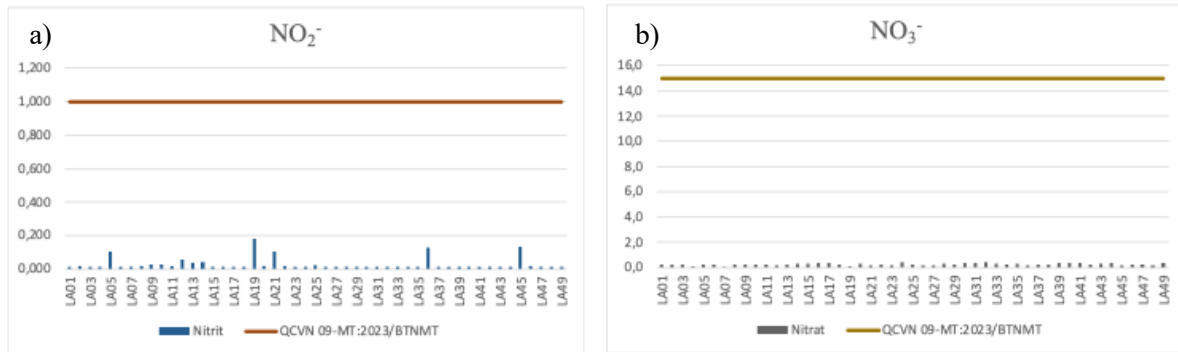
Hình 2. a, b) Hàm lượng TDS; c) Giá trị Độ cứng.

Các điểm quan trắc có giá trị nitrat (NO_3^-), nitrit (NO_2^-) đều đáp ứng QCVN 09:2023/BTNMT (Hình 3). Cụ thể, hàm lượng NO_3^- trong nước dưới đất tại vùng khan hiếm nước tỉnh Tây Ninh nằm trong khoảng từ 0,05 mg/l đến 0,42 mg/l, trung bình là 0,256 mg/l. Hàm lượng NO_2^- nằm trong khoảng từ 0,013 mg/l đến 0,18 mg/l, trung bình là 0,028 mg/l.

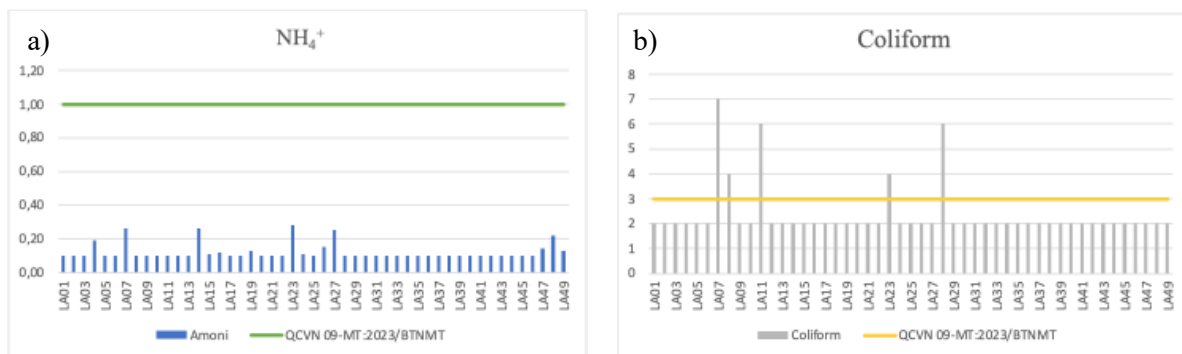
Tại các điểm quan trắc, giá trị amoni (NH_4^+) có sự biến đổi và không vượt quá QCVN 09:2023/BTNMT (Hình 4a). Hàm lượng NH_4^+ trong nước dưới đất tại vùng khan hiếm nước tỉnh Tây Ninh nằm trong khoảng từ 0,11 mg/l đến 0,28 mg/l, trung bình là 0,12 mg/l. Kết quả quan trắc cho thấy nguồn nước dưới đất tại đây

chưa có dấu hiệu ô nhiễm amoni, ít chịu tác động của các nguồn thải hữu cơ như nước thải sinh hoạt hoặc chất thải chăn nuôi.

Đối với chỉ tiêu vi sinh, hàm lượng coliform dao động trong khoảng từ 2 MPN/100 ml đến 7 MPN/100 ml, trung bình là 2,34 MPN/100 ml (Hình 4b). Các vị trí LA07, LA08, LA11, LA08, LA23, LA28 có giá trị lớn hơn quy chuẩn cho phép cho thấy vị trí này có dấu hiệu ô nhiễm vi sinh. Tại điểm LA07 có hàm lượng coliform cao gấp 2,33 lần so với quy chuẩn, có thể liên quan đến sự xâm nhập của nước thải sinh hoạt hoặc nguồn ô nhiễm hữu cơ từ bề mặt xuống tầng chứa nước do hư hỏng lỗ khoan khai thác.



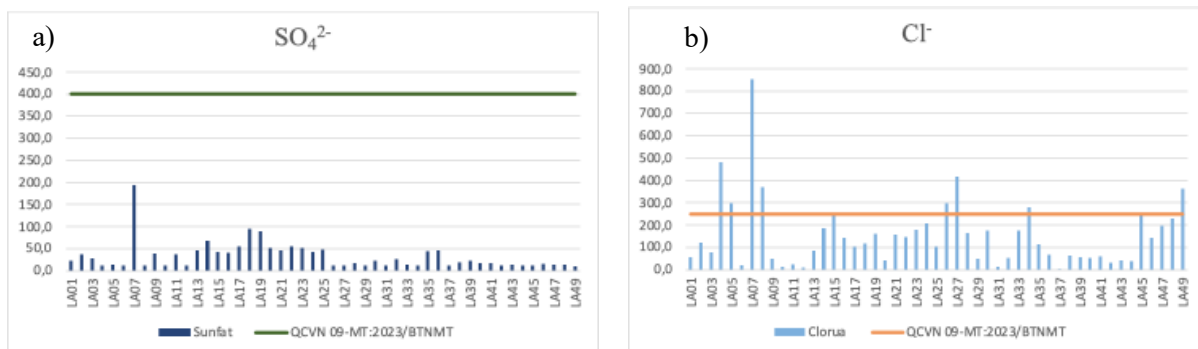
Hình 3. Biểu đồ biểu diễn a) Giá trị NO_2^- ; b) Giá trị NO_3^- .



Hình 4. Biểu đồ biểu diễn a) Giá trị NH_4^+ ; b) Giá trị Coliform.

Hàm lượng sunfat (SO_4^{2-}) tại các điểm quan trắc đều không vượt quá quy chuẩn cho phép (Hình 5a). Vị trí lấy mẫu nước LA07 có giá trị SO_4^{2-} cao nhất là 194 mg/l. Kết quả quan trắc chứng tỏ nguồn nước chưa bị ảnh hưởng đáng kể bởi các nguồn thải chứa sunfat như nước thải công nghiệp hoặc từ các hoạt động nông nghiệp.

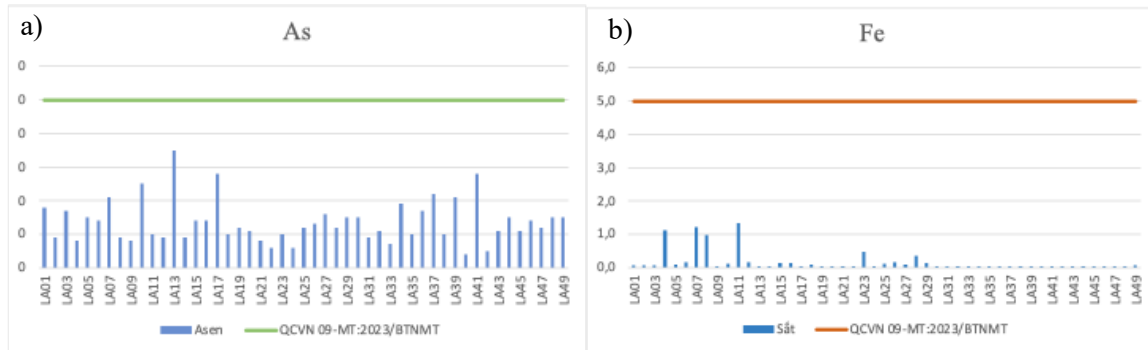
Hàm lượng clorua (Cl^-) trong nước dưới đất tại khu vực nằm trong khoảng từ 3,55 mg/l đến 852 mg/l, trung bình là 158,898 mg/l (Hình 5b). Các vị trí LA04, LA05, LA07, LA08, LA26, LA27, LA34, LA49 có giá trị lớn hơn quy chuẩn, đặc biệt tại vị trí LA07, hàm lượng clorua cao hơn 3,41 lần so với quy chuẩn, vị trí LA07 có dấu hiệu bị nhiễm mặn nhẹ.



Hình 5. Biểu đồ biểu diễn a) Giá trị SO_4^{2-} ; b) Giá trị Cl^- .

Hàm lượng asen (As) và sắt (Fe) có sự biến đổi và đều không vượt quá quy chuẩn cho phép (Hình 6). Hàm lượng asen trong nước dưới đất nằm trong khoảng từ 0,004 mg/l đến 0,035 mg/l,

trung bình là 0,014 mg/l. Hàm lượng sắt dao động từ 0,05 mg/l đến 1,34 mg/l, trung bình là 0,172 mg/l. Kết quả cho thấy nước dưới đất khu vực quan trắc chưa bị ô nhiễm kim loại (Hình 6).



Hình 6. Biểu đồ biểu diễn a) Giá trị As; b) giá trị Fe.

Kết quả phân tích các chỉ số chất lượng nước trên cho ta thấy chất lượng nước dưới đất trong vùng nghiên cứu tại các vị trí giếng LA04, LA07, LA08, LA27, LA28 có chất lượng nước thấp hơn so với các giếng còn lại trong khu vực. Đặc biệt là chất lượng nước tại vị trí LA07, có nhiều chỉ tiêu (5/11 chỉ tiêu) vượt quy QCVN 09:2023/BTNM. Hàm lượng các ion hòa tan cao, đặc biệt là TDS, độ cứng, coliform, Cl^- cho thấy

mức độ khoáng hóa mạnh, nguồn nước bị ô nhiễm vi sinh cục bộ.

3.2. Đánh giá theo phương pháp chỉ số chất lượng nước chung

Kết quả tính theo chỉ số chất lượng nước GWQI, CPI, HPI cho nước dưới đất khu vực nghiên cứu được thể hiện trong Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả tính chỉ số GWQI, CPI, HPI cho nước dưới đất vùng nghiên cứu

STT	Ký hiệu	GWQI	CPI	HPI	STT	Ký hiệu	GWQI	CPI	HPI
1	LA01	34	0,26	47	26	LA26	25	0,38	46
2	LA02	18	0,30	44	27	LA27	51	0,54	45
3	LA03	32	0,29	46	28	LA28	25	0,46	46
4	LA04	17	0,47	44	29	LA29	29	0,25	45
5	LA05	29	0,39	46	30	LA30	29	0,34	44
6	LA06	27	0,24	46	31	LA31	18	0,24	43
7	LA07	64	0,89	48	32	LA32	22	0,30	44
8	LA08	51	0,51	44	33	LA33	14	0,32	43
9	LA09	16	0,27	44	34	LA34	36	0,40	45
10	LA10	46	0,27	50	35	LA35	20	0,32	45
11	LA11	22	0,40	45	36	LA36	33	0,30	46
12	LA12	18	0,24	44	37	LA37	41	0,26	47
13	LA13	43	0,34	52	38	LA38	20	0,27	45
14	LA14	19	0,33	44	39	LA39	39	0,29	48
15	LA15	27	0,36	46	40	LA40	9	0,25	43
16	LA16	27	0,33	46	41	LA41	31	0,30	51
17	LA17	19	0,34	51	42	LA42	11	0,25	43
18	LA18	20	0,32	45	43	LA43	22	0,26	45

STT	Ký hiệu	GWQI	CPI	HPI	STT	Ký hiệu	GWQI	CPI	HPI
19	LA19	24	0,34	45	44	LA44	29	0,27	46
20	LA20	22	0,27	44	45	LA45	22	0,37	45
21	LA21	17	0,31	43	46	LA46	27	0,36	46
22	LA22	13	0,30	44	47	LA47	23	0,37	45
23	LA23	22	0,40	43	48	LA48	29	0,43	46
24	LA24	13	0,33	45	49	LA49	28	0,48	46
25	LA25	23	0,29	45					

3.2.1. Theo chỉ số chất lượng nước dưới đất GWQI

Đối với các mẫu nước dưới đất, thực hiện phương pháp tính trọng số W_i và hệ số chuẩn hóa K để phân tích 10 thông số khác nhau của nước dưới đất. Thực hiện theo trình tự các bước tính

toán GWQI. Kết quả tính trọng số của các thông số được thể hiện ở Bảng 6 và Bảng 7. Từ Bảng 6 tính được hệ số $K = 0,043$ theo công thức (2). Giá trị $K = 0,043$ là một giá trị rất nhỏ, phản ánh đúng vì tổng $1/S_i$ khá lớn (22,79) nên khi chuẩn hoá K sẽ nhỏ.

Bảng 6. Bảng tính toán giá trị $1/S_i$ đối với từng thông số chất lượng nước

Thông số	pH	Độ cứng	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	Fe	As	Coliform
$1/S_i$	0,182	0,002	0,004	0,003	0,067	1,0	1,0	0,200	20	0,333

Bảng 7. Giá trị trọng số W_i của từng thông số chất lượng nước

Thông số	pH	Độ cứng	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	Fe	As	Coliform
W_i	0,005176	0,000088	0,000176	0,000110	0,002933	0,044000	0,044000	0,008800	0,880000	0,014667

Phân bố trọng số W_i trong Bảng 7 cho thấy sự chênh lệch rất rõ rệt giữa các thông số chất lượng nước. Các thông số có trọng số W_i lớn hơn 0,1 (tức là chiếm hơn 10% tổng trọng lượng trong công thức) sẽ có ảnh hưởng lớn đến giá trị GWQI cuối cùng. Sự thay đổi nồng độ của các thông số này làm thay đổi đáng kể kết quả đánh giá chất lượng nước. Trong đó, As chiếm ưu thế với giá trị 0,88. Các thông số còn lại có trọng số thấp hơn nhiều, trong đó nhóm NO_2^- và NH_4^+ đóng vai trò trung bình, còn các ion như Cl^- , SO_4^{2-} và độ cứng gần như không ảnh hưởng đến kết quả cuối cùng. Sự chênh lệch giữa As và các thông số còn lại (phần lớn $< 0,05$) cho thấy nguy cơ lệch trọng số khiến chỉ số GWQI có xu hướng bị chi phối gần như hoàn toàn bởi một thông số đơn lẻ. Do đó, nghiên cứu thực hiện so sánh ưu nhược điểm giữa phương pháp chỉ số tổng hợp với phương pháp đánh giá theo từng thông số.

Bản đồ phân vùng chất lượng nước theo chỉ số GWQI được thể hiện trong Hình 7a. Kết quả

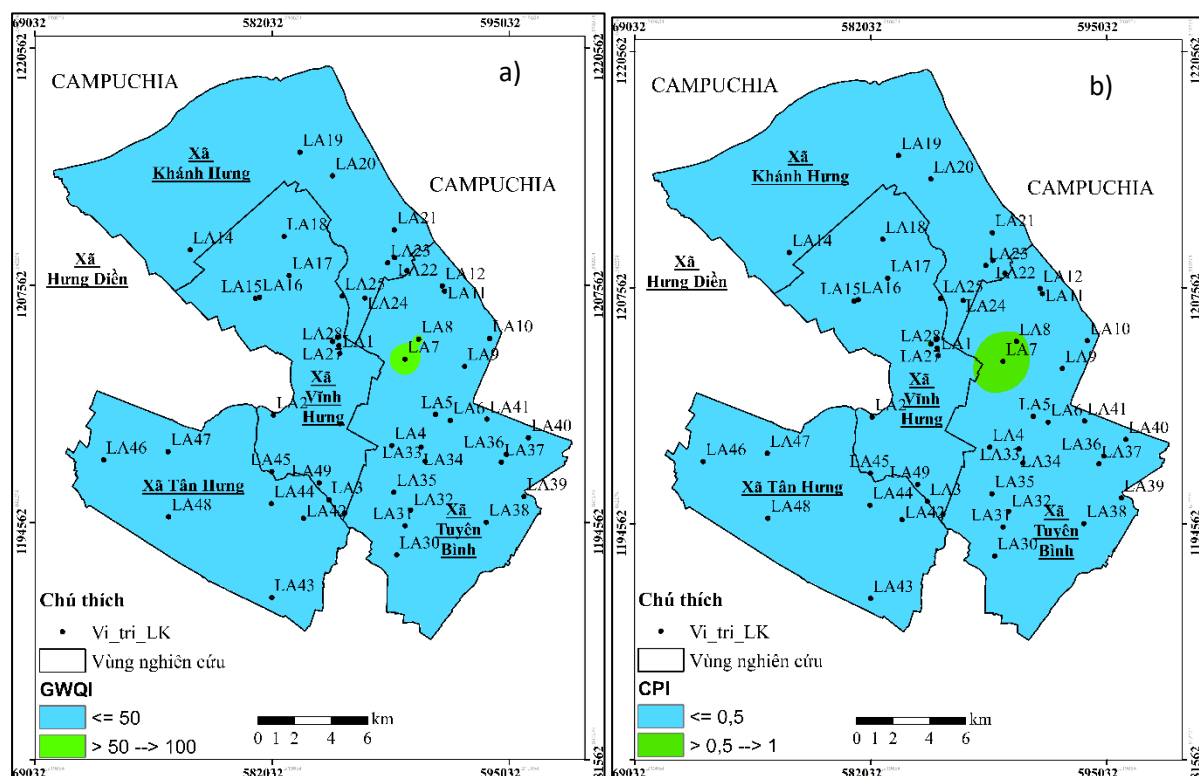
có 46/49 mẫu có $GWQI \leq 50$, thuộc loại chất lượng nước ở mức tốt, chiếm 93,9% tổng số mẫu thu thập. 3/49 mẫu LA07, LA08, LA27 có $50 < GWQI < 100$, thuộc loại chất lượng nước trung bình, chiếm 6,1% tổng số mẫu thu thập. Các mẫu nước có chất lượng tốt phân bố rộng trong khu vực nghiên cứu cho thấy nguồn nước dưới đất nhìn chung vẫn đảm bảo chất lượng, có thể khai thác và sử dụng cho mục đích sinh hoạt sau khi xử lý thông thường. Mặt khác, cần tiếp tục thực hiện quan trắc định kỳ và kiểm tra tình trạng lỗ khoan khai thác nước nhằm theo dõi sự biến động của các thông số chất lượng nước theo thời gian từ đó hạn chế nguy cơ ô nhiễm tầng chứa nước.

3.2.2. Theo chỉ số ô nhiễm tổng hợp CPI

Các thông số sử dụng để tính toán CPI trong nghiên cứu này gồm: pH, TDS, độ cứng, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , As, Fe và coliform. Kết quả tính toán giá trị CPI được thể hiện trong Bảng 5. Bản đồ phân vùng chất lượng nước theo

chỉ số CPI được thể hiện trong Hình 7b. Kết quả tính toán chỉ số CPI cho thấy phần lớn các mẫu nước dưới đất trong khu vực nghiên cứu có chất lượng tốt. Cụ thể, trong tổng số 49 mẫu nước được phân tích, có 46 mẫu được xếp vào loại nước rất sạch, nước chưa bị ô nhiễm, chiếm 93,9%. Nguồn nước dưới đất tại khu vực nhìn chung vẫn duy trì được chất lượng tốt và ít chịu tác động của các nguồn ô nhiễm từ môi trường

xung quanh. Bên cạnh đó, 3 vị trí gồm LA07, LA08 và LA27 thể hiện mức độ sạch, nước tốt, đáp ứng mục đích cấp nước sinh hoạt, chiếm 6,1%. Các mẫu nước tại các vị trí còn lại cho thấy chất lượng nước tại đây đã có dấu hiệu biến động, thể hiện qua sự gia tăng của một số thông số chất lượng nước như hàm lượng muối hòa tan, độ cứng hoặc các ion trong nước.



Hình 7. Biểu đồ biểu diễn a) Giá trị GWQI; b) giá trị CPI.

3.2.3. Theo chỉ số kim loại nặng HPI

Thông số chất lượng nước dưới đất theo chỉ số kim loại nặng HPI được thể hiện ở Bảng 5. Từ kết quả tính toán chỉ số kim loại nặng thông qua 4 thông số Fe, Pb, As, Mn cho thấy chất lượng nước dưới đất tại đây chưa bị ảnh hưởng bởi ô nhiễm kim loại nặng. Cụ thể, 100% các mẫu nước phân tích đều có giá trị HPI nằm trong giới hạn cho phép, hàm lượng các kim loại trong nước dưới đất vẫn ở mức an toàn, có thể sử dụng cho mục đích sinh hoạt sau khi xử lý phù hợp. Điều này cũng cho thấy điều kiện địa hóa của tầng

chứa nước tương đối ổn định và chưa xảy ra hiện tượng tích tụ kim loại nặng trong nước dưới đất.

3.3. Thảo luận

Kết quả tính toán khi sử dụng các chỉ số chất lượng nước tổng hợp (gồm GWQI, CPI, HPI) cho thấy chất lượng nước trên khu vực nghiên cứu ở mức: trung bình - nước sạch (chiếm 6,1% tổng số mẫu), tốt - nước rất sạch (chiếm 93,9% tổng số mẫu), hàm lượng kim loại nặng trong giới hạn cho phép. Khi sử dụng phương pháp chỉ

tiêu cụ thể và so sánh với Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước dưới đất phục vụ mục đích sinh hoạt, có thể thấy một số lỗ khoan có các thông số vượt giá trị giới hạn cho phép như TDS (LA07), độ cứng (LA07, LA27), coliform (LA07, LA08, LA11, LA23, LA28) hay hàm lượng Cl^- (LA04, LA05, LA07, LA08, LA26, LA27, LA34, LA49). Điều này cho thấy nguy cơ nhiễm mặn/khoáng hóa cục bộ hoặc ô nhiễm vi sinh do nước từ bề mặt xâm nhập qua cấu trúc lỗ khoan bị hỏng, đặc biệt tại lỗ khoan LA07. Do đó, cần có các biện pháp xử lý cũng như khai thác sử dụng phù hợp để hạn chế nguy cơ ô nhiễm tầng chứa nước. Một điểm cần lưu ý là mẫu nước dưới đất được lấy trong tháng 10 là mùa nước nổi nhưng nước dưới đất thường có độ trể pha hơn so với nước mặt nên các giá trị TDS, độ cứng, coliform, hàm lượng Cl^- có thể cao hơn thực tế. Mặt khác, các giá trị phân tích chỉ phản ánh được chất lượng nước cục bộ tại các lỗ khoan đang khai thác sử dụng trong khu vực nên kết quả có thể chưa phản ánh đầy đủ chất lượng nước của toàn bộ khu vực. Từ kết quả đánh giá bằng các chỉ số chất lượng nước tổng hợp (GWQI, CPI, HPI) và chỉ số chỉ tiêu cụ thể cho thấy, việc sử dụng các chỉ số chỉ tiêu cụ thể và so sánh với quy chuẩn sẽ làm rõ hơn các khía cạnh khác nhau về tính chất lý, hoá, sinh của nước dưới đất. Trong khi đó, việc sử dụng chỉ số chất lượng nước tổng hợp sẽ đơn giản hơn so với các phương pháp chỉ tiêu cụ thể do giảm số lượng thông số cần xem xét, đồng thời hỗ trợ các nhà hoạch định chính sách và cộng đồng tiếp cận thông tin chất lượng nước một cách tổng thể, trực quan và thuận tiện hơn trong công tác đánh giá và quản lý. Tuy nhiên, chỉ số chất lượng nước tổng hợp có thể không phản ánh chính xác tình trạng chất lượng nước thực tế. Một giá trị xấu của thông số duy nhất có thể làm thay đổi toàn bộ cái nhìn tổng quan về chất lượng nước. Việc bỏ qua hoặc quá nhấn mạnh một giá trị xấu của thông số duy nhất có thể làm lu mờ hoặc nhấn mạnh quá mức chất lượng nước. Mặt khác, sẽ có một hoặc nhiều thông số chất lượng nước khác không được xem xét trong phương pháp chỉ số tổng hợp này. Nhìn chung, chỉ số chất lượng nước có thể cung cấp một chỉ báo tương đối

chính xác về chất lượng nước, hỗ trợ hiệu quả cho công tác quy hoạch, quản lý, khai thác tài nguyên nước được tốt hơn, góp phần hướng tới phát triển bền vững tài nguyên nước.

Bản quyền phần mềm

Tác giả cam kết dữ liệu của nghiên cứu được phân tích bằng phần mềm ArcGIS 10.3 cho Window 11 phiên bản Home. Tác giả đã sử dụng giấy phép cá nhân hợp lệ để thực hiện các phân tích này.

Tài liệu tham khảo

- [1] E. Shaji, M. Santosh, K. V. Sarath, P. Prakash, V. Deepchand, B. V. Divya, Arsenic Contamination of Groundwater: A Global Synopsis with Focus on the Indian Peninsula, *Geoscience Frontiers*, Vol. 12, Iss. 3, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.08.015>.
- [2] WMO - World Meteorological Organization, Report: State of Global Water Resource 2023, WMO-No 1362. ISBN 978-92-63-11362-7, 2024.
- [3] L. T. T. Tam, D. X. Phong, T. P. Dung, The Current State of Degradation, Pollution of Groundwater in Quaternary Sediments in the Thai Binh Province, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, Vol. 35, Iss. 4, 2013, pp. 387-394.
- [4] P. Q. Nhan (Principal Investigator), Research on Solutions to Restore Saline-Intruded Groundwater Exploitation Works to Supply Domestic Water for Water-Scarce Regions in the Southern Delta, Independent State-level Research Project, Code: ĐTDL.CN-65/21, 2025 (in Vietnamese).
- [5] P. Q. Nhan, T. T. N. Tram, Study Water Quality Assessment in a Water-scarce Area in Chau Thanh District, Tra Vinh Province, *Journal of Water Resources*, Iss. 01, 2024, pp. 38-49 (in Vietnamese).
- [6] B. X. Dung, D. T. K. Thanh, K. T. Quynh, D. T. T. Phuc, Seasonal Variation of Groundwater Level and Quality in Xuan Mai, Hanoi, Vietnam, *Journal of Forestry Science and Technology*, Iss. 9, 2020, pp. 80-90.
- [7] N. T. Giao, H. T. H. Nien, P. K. Anh, P. Thupitmdang, Groundwater Quality Assessment for Drinking Purposes: A Case Study in the Mekong Delta, Vietnam, *Scientific Reports*,

- Vol. 13, Iss. 1, 2023,
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-31621-9>.
- [8] D. T. N. Tuyen, H. M. Hoang, N. H. Tan, D. T. Truc, V. P. D. Tri, Assessing the Changes in Groundwater Quality in Ca Mau Province, Can Tho University Journal of Science, Vol. 61, 2025, pp. 211-222,
<https://doi.org/10.22144/ctujos.2025.071>
 (in Vietnamese).
- [9] R. Reza, G. Singh, Assessment of Groundwater Quality Status by Using Water Quality Index Method in Orissa, India, World Applied Sciences Journal, Vol. 9, Iss. 12, 2010, pp. 1392-1397.
- [10] Q. Zhang, H. Qian, P. Xu, K. Hou, F. Yang, Groundwater Quality Assessment Using a New Integrated-weight Water Quality Index (IWQI) and Driver Analysis in the Jiaokou Irrigation District, China, Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 212, 2021,
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111992>.
- [11] D. D. Phuc, N. T. Tuan, Using the VISUAL MODFLOW Model to Determine the Flow Rates and Operational Regimes of Injection and Extraction Wells, Environment Magazine, Iss. 4, 2025, pp. 52-57 (in Vietnamese).
- [12] X. Wang, X. B. Gu, H. Zhang, The Water Quality Assessment of Groundwater Based on the TOPSIS-GRA, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 35, Iss. 2, 2026, pp. 2859-2870,
<https://doi.org/10.15244/pjoes/202604>.
- [13] K. Mahamadou, T. Adama, C. Wendpagnagda, Z. I. Eulodie, B. O. Y. L. Ibrahim, A. M. Hassan, Groundwater Quality Assessment and Modeling Using Water Quality Index and Mathematical Models: Case Study of Bam Province, Burkina Faso, International Journal of Environment and Climate Change, Vol. 14, Iss. 12, 2024, pp. 740-756,
<https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i124659>.
- [14] T. Poonam, B. Tanushree, C. Sukalyan, Water Quality Indices - Important Tools for Water Quality Assessment: A Review, International Journal of Advances in Chemistry, Vol. 1, Iss. 1, 2013, pp. 15-28.
- [15] P. Li, Abbasi T and Abbasi SA: Water Quality Indices, Environmental Earth Sciences, Vol. 71, Iss. 10, 2014, pp. 4625-4628,
<https://doi.org/10.1007/s12665-014-3141-9>.
- [16] R. Z. Ahmadmahmoodi, S. Bayati, K. Abdollahi, N. Gharahi, A. R. Isa-Abadi, A. Chamani, Investigating Spatial and Temporal Trend of Groundwater Quality in Relation to Water Balance in 2007–2017: A Case Study of Chaharmahal va Bakhtiari Province, Iran, Applied Water Science, Vol. 13, 2023, <https://doi.org/10.1007/s13201-023-01996-1>.
- [17] S. Liu, J. P. Zhu, H. H. Jiang, Comparison of Several Methods of Environment Quality Evaluation Using Complex Indices, Environmental Monitoring in China, Vol. 15, Iss. 4, 1999, pp. 33-37.
- [18] N. M. Anh, N. T. Hang, B. T. Huyen, N. H. My, C. T. Hue, C. T. Son, Assessment of An Duong Lake Water Quality in Hai Duong Province Using a Water Quality Index and Water Pollution Indices, TNU Journal of Science and Technology, Vol. 225, Iss. 9, 2020, pp. 39-46 (in Vietnamese).
- [19] S. V. Mohan, P. Nithila, S. J. Reddy, Estimation of Heavy Metals in Drinking Water and Development of Heavy Metal Pollution Index, Journal of Environmental Science and Health, Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology, Vol. 31, Iss. 2, 1996, pp. 283–289,
<https://doi.org/10.1080/10934529609376357>.
- [20] S. Tavassoli, F. Mohammadi, Groundwater Quality Assessment Based on WQI and Its Vulnerability to Saltwater Intrusion in a Coastal City, Iran, Journal of Geoscience and Environmental Protection, Vol. 5, Iss. 6, 2017, pp. 88-98,
<https://doi.org/10.4236/gep.2017.56010>.
- [21] Prime Minister of the Socialist Republic of Vietnam, Decision No. 1553/QĐ-TTg dated November 8, 2019, The Program for Investigation and Exploration of Groundwater Resources to Provide Domestic Water Supply for High Mountainous and Water-scarce Areas, 2019 (in Vietnamese).
- [22] N. T. Ha, T. V. Hoan, N. T. Thao, N. T. Hoa, M. C. Thanh, Decline Trend of Groundwater Level in the Mekong River Delta Plain, Journal of Climate Change Science, Iss. 16, 2020, pp. 25-34 (in Vietnamese).
- [23] P. V. Hung, F. C. Van Geer, T. B. Vuong, W. Dubelaar, G. H. P. Oude Essink, Paleo-Hydrogeological Reconstruction of the Fresh-Saline Groundwater Distribution in the Vietnamese Mekong Delta Since the Late Pleistocene, Journal of Hydrology: Regional Studies, Vol. 23, 2019,
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100594>.
- [24] Vietnam National Standard 6663-11:2011 (ISO 5667-11:2009), Water Quality - Sampling - Part 11: Guidance on Sampling of Groundwaters, 2011 (in Vietnamese).
- [25] Vietnam National Standard 6663-3:2016 (ISO 5667-3:2012), Water Quality - Sampling - Part 3: Preservation and Handling of Water Samples, 2016 (in Vietnamese).

- [26] Vietnam National Standard 6663-1:2011 (ISO 5667-1:2006), Water Quality - Sampling - Part 1: Guidance on the Design of Sampling Programmes and Sampling Techniques, 2011 (in Vietnamese).
- [27] Vietnam National Standard 6663-14:2000 (ISO 5667-14:1998), Water Quality – Sampling - Part 14: Guidance on Quality Assurance of Environmental Water Sampling and Handling, 2000 (in Vietnamese).
- [28] Ministry of Natural Resources and Environment, Vietnam National Technical Regulation 09:2023/BTNMT - National Technical Regulation on Groundwater Quality, 2023 (in Vietnamese).
- [29] General Department of Environment, Ministry of Natural Resources and Environment, Decision Number 1460/QĐ-TCMT dated 12/11/2019 Regarding the Issuance of the Technical Guidelines for Calculating and Publishing the Vietnam Water Quality Index (VN_WQI), 2019 (in Vietnamese).
- [30] R. M. Brown, N. I. McClelland, R. A. Deininger, M. F. O'Connor, A Water Quality Index - Crashing the Psychological Barrier, In W. A. Thomas (Ed.), Indicators of environmental quality, Vol. 1, 1972, pp. 173-182, https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2856-8_15.
- [31] G. Y. Lu, D. W. Wong, An Adaptive Inverse-Distance Weighting Spatial Interpolation Technique, Computers & Geosciences, Vol. 34, Iss. 9, 2008, pp. 1044-1055, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.07.010>.