

ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG NƯỚC DƯỚI ĐẤT PHÍA BẮC THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH BẰNG CHỈ SỐ GWQI VÀ NỘI SUY IDW

Trương Quang Duy ⁽¹⁾, Nguyễn Hiền Thân ⁽²⁾

(1) Viện Công nghệ Xanh và Bền vững, Trường đại học Thủ Dầu Một

(2) Trung tâm tư vấn Trung hòa Carbon, Trường đại học Thủ Dầu Một

Ngày nhận bài: 15/11/2025; Chấp nhận đăng: 30/12/2025

Email tác giả liên hệ: thanh@tdmu.edu.vn

Tóm tắt

Nước dưới đất giữ vị trí then chốt trong việc cung cấp nước cho sinh hoạt và thúc đẩy phát triển kinh tế – xã hội. Khu vực phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh hiện đang đối mặt với áp lực ngày càng lớn do công nghiệp hóa, khiến nhu cầu khai thác nước tăng mạnh, trong khi nguồn nước mặt lại giảm sút cả về lượng lẫn chất. Nghiên cứu này sử dụng chỉ số đánh giá chất lượng nước dưới đất kết hợp nội suy không gian dựa trên khoảng cách ngược để tiến hành phân tích, phân vùng và xác lập các mức độ chất lượng của nước dưới đất. Dữ liệu nghiên cứu được thu thập từ Sở Nông nghiệp và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh trong giai đoạn từ 2019 đến 2023. Kết quả cho thấy phần lớn chỉ số chất lượng nước dưới đất ở Phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh được ghi nhận mức khá tốt đến rất tốt (từ 146,7 đến 41). Chất lượng nước dưới đất duy trì ở mức tốt đến rất tốt tại ba tầng chứa nước chính: Pleistocen giữa – trên (qp_{2-3}), Pleistocen dưới (qp_1) và Pliocen giữa (n_2^2). Các tầng chứa nước này ít bị ảnh hưởng bởi các nguồn ô nhiễm do hoạt động của con người. Đặc biệt, trong giai đoạn 2021 đến 2023, chất lượng nước dưới đất tại đa số khu vực đã được cải thiện đáng kể, góp phần nâng cao chất lượng nguồn nước dưới đất trong phạm vi nghiên cứu.

Từ khóa: Bắc Thành phố Hồ Chí Minh, Bình Dương, chất lượng nước, GWQI, IDW, nước dưới đất.

Abstract

ASSESSMENT OF GROUNDWATER QUALITY IN NORTH HO CHI MINH CITY USING GWQI INDEX AND IDW INTERPOLATION

Groundwater plays a crucial role as a resource, providing water for domestic use and supporting socioeconomic development. The northern region of Ho Chi Minh City (HCMC) is under significant pressure from industrialisation, which has required to a growing demand for water, while surface water sources are declining in both quantity and quality. This study applies a Groundwater Quality Index in conjunction with the Inverse Distance Weighting spatial interpolation method to assess, zone, and determine the quality level of groundwater. Research data were collected from the HCMC Department of Agriculture and Rural Development over the period of 2019 - 2023. The results indicate that the majority of monitoring points have a mean water quality index ranging from medium to very good (146.7-41). Groundwater quality remains good to very good across the three main aquifers: the Middle-Upper Pleistocene (qp_{2-3}), Lower Pleistocene (qp_1),

and Middle Pliocene (n_2^2). These aquifers are generally less affected by anthropogenic pollution sources. From 2021 to 2023, groundwater quality in most areas showed marked improvement, thereby contributing to overall improvement in the study area.

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh khai thác quá mức và ô nhiễm ngày càng gia tăng, nhiều nghiên cứu đã thực hiện đánh giá chất lượng nước dưới đất thông qua các chỉ số tổng hợp và phân tích không gian. Nước dưới đất là nguồn nước nằm trong các lớp chứa nước ở khu vực đất liền, trên các đảo và bên dưới đáy biển. D. Barwa Road đã tiến hành nghiên cứu về quá trình tạo thành các thành phần hòa tan và đánh giá chất lượng nước phục vụ cho sinh hoạt cũng như tưới tiêu. Nghiên cứu đã thu thập 55 mẫu nước cho thấy nước dưới đất có tính kiềm, chủ yếu chứa các ion HCO_3^- , Cl^- , Mg_2^+ , Na^+ và Ca_2^+ , chịu ảnh hưởng bởi phong hóa khoáng vật, hoạt động nông nghiệp và con người. Tuy nhiên, vẫn phù hợp cho tưới tiêu nhưng cần quản lý tốt độ mặn và các chỉ số Natri để đảm bảo sử dụng bền vững (Road & Dhanba, 2014). Rania Soula A. C. và nnk đã chỉ ra vùng ven biển khô hạn Mahdia, miền Đông Tunisia, hoạt động khai thác nước dưới đất thiếu kiểm soát đã tác động tiêu cực đến nguồn nước, gia tăng nguy cơ xâm nhập mặn và ô nhiễm bề mặt. Kết quả cho thấy độ mặn và Nitrat tăng cao trong năm khô hạn, chịu ảnh hưởng bởi việc dùng phân bón quá mức, xử lý nước thải kém, xả thải công nghiệp và xâm nhập mặn (Soula et al., 2025). Ababakr và cộng sự đã thu thập mẫu nước từ 61 giếng trong giai đoạn 2015 – 2017 để đánh giá chất lượng của nước dưới đất, sự thay đổi không gian và biến động theo thời gian tại thành phố Erbil, Iraq. Kết quả cho thấy sức khỏe môi trường nước dưới đất đang suy giảm, đặc biệt trong năm 2017, khi giá trị WQI tăng từ 1,64% lên 11,47%, phản ánh sự ô nhiễm ngày càng tăng. Nguồn thải từ hoạt động thải sinh hoạt và hoạt động công nghiệp chưa được xử lý hoặc giám sát chặt chẽ đã gây ảnh hưởng tiêu cực các tầng chứa nước (Ababakr et al., 2024). Đánh giá chất lượng nước dưới đất chủ yếu sử dụng chỉ số tổng hợp. Mỗi một nghiên cứu sử dụng dữ liệu, thông số và phương pháp sử dụng đa dạng và khác nhau.

Ở Việt Nam, nhóm nghiên cứu của Nguyễn Thành Giao đã tiến hành đánh giá chất lượng nước dưới đất tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long sử dụng phương pháp phân tích thống kê đa biến kết hợp chỉ số IWQI. Nghiên cứu dựa trên 8 chỉ tiêu gồm pH, độ cứng, Nitrat, Fe, Pb, Hg, As và Coliform, lấy mẫu tại 64 giếng thuộc vùng nghiên cứu. Kết quả ghi nhận phần lớn mẫu nước đáp ứng tiêu chuẩn sử dụng, tuy nhiên vẫn tồn tại một số mẫu có độ cứng và hàm lượng sắt vượt ngưỡng cho phép, đồng thời trên 80% mẫu bị nhiễm Coliform. Phân tích cho thấy chất lượng nước phụ thuộc điều kiện địa chất (Nguyễn Thành Giao và nnk., 2023). Bên cạnh đó, Nguyễn Bách Thảo và cộng sự đã nghiên cứu hiện trạng xâm nhập mặn nước dưới đất tầng chứa nước lỗ hổng tại thành phố Đà Nẵng, dự báo diễn biến xâm nhập mặn giai đoạn 2020 – 2050. Kết quả cho thấy nước dưới đất ở các tầng Holocen và Pleistocen đều bị nhiễm mặn, chịu ảnh hưởng mạnh của thủy triều sông Hàn, sông Cu Đê và quá trình xâm nhập mặn từ biển Đông. Diện tích nhiễm mặn có xu hướng giảm dần theo thời gian, đặc biệt ở tầng Holocen nhờ bổ cập từ mưa, nhưng vẫn tăng cục bộ tại khu vực ven biển và dọc sông (Nguyễn Bách Thảo và nnk., 2018).

Các nghiên cứu trong và ngoài nước đã chứng minh hiệu quả của việc sử dụng các chỉ số tổng hợp như WQI, IWQI hay GWQI kết hợp với phân tích thống kê và nội suy không gian trong đánh giá chất lượng nước dưới đất. Những kết quả này là cơ sở khoa học quan trọng, giúp xác định xu thế biến đổi, nguyên nhân ô nhiễm và định hướng quản

lý tài nguyên nước. Tuy nhiên, chỉ số chất lượng nước dưới đất khác nhau ở các cách tiếp cận. Việc xác định trọng số và không có trọng số cũng là một trong những nhân tố quyết định đến kết quả đánh giá. Trong nghiên cứu này sẽ sử dụng phương pháp trọng số linh động, chỉ số chất lượng nước kết hợp nội suy IDW nhằm đánh giá khách quan và trực quan chất lượng nước dưới đất khu vực phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh. Việc kết hợp chỉ số GWQI với phương pháp nội suy không gian IDW cho phép xây dựng bản đồ phân vùng chất lượng nước dưới đất một cách trực quan, làm rõ đặc điểm phân bố không gian, xác định và dự đoán được các khu vực có nguy cơ suy giảm chất lượng. Kết quả nghiên cứu này bổ sung dữ liệu và cơ sở khoa học về nước dưới đất cho khu vực phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh, hỗ trợ công tác quản lý, giám sát và định hướng khai thác, bảo vệ tài nguyên nước dưới đất theo hướng bền vững.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp thu thập tài liệu

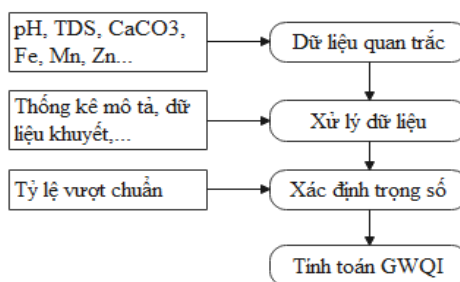
Tài liệu nghiên cứu được thu thập từ nhiều nguồn, trong đó bao gồm báo cáo hiện trạng môi trường nước dưới đất của Sở Nông nghiệp và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh.

- + Thời gian dữ liệu: số liệu quan trắc từ năm 2019 đến 2023.
- + Tần suất quan trắc: 02 lần/năm (năm 2019); 04 lần/ năm (từ năm 2020 đến năm 2023).
- + Vị trí quan trắc: 55 điểm phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh.
- + Các thông số chất lượng sử dụng trong nghiên cứu: pH, TDS, CaCO₃, SO₄²⁻, NH₃-H, NO₃-N, NO₂-N, Cl⁻, Fe, Mn, Zn.

P phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh có 05 tầng chứa nước gồm 04 tầng lỗ hổng (qp₂₋₃, qp₁, n₂², n₂¹) và 01 tầng khe nứt Jura (MZ). Trong nghiên cứu này tập trung đánh giá chất lượng nước dưới đất tại 03 tầng chứa nước thuộc qp₂₋₃, qp₁ và n₂². Vì đây là các tầng phân bố nông đến trung bình, được khai thác phổ biến và chịu tác động mạnh từ hoạt động kinh tế xã hội. Mặt khác, tầng n₂¹ và tầng khe nứt Jura (MZ) có chiều sâu lớn hơn, phạm vi khai thác hạn chế và mức độ chịu tác động thấp hơn nên không được lựa chọn làm đối tượng phân tích chính.

2.2. Chỉ số chất lượng nước dưới đất

Trong nghiên cứu này, chỉ số chất lượng nước dưới đất (Groundwater Quality Index – GWQI) được kế thừa và cải tiến dựa theo công bố của Zhang et al. (2021). Quy trình tính toán chỉ số GWQI được thể hiện như sau:



Hình 1. Quy trình tính toán chỉ số WQI

Nguồn: Tác giả, 2025

Công thức tính toán được trình bày như sau:

$$Q_j = \frac{C_j - C_{jp}}{S_j - C_{jp}} \cdot 100\% ; \quad IWQI = \sum_{j=1}^m W_j Q_j \quad (1)$$

Trong đó, C_j là nồng độ của thông số chất lượng nước, C_{jp} là nồng độ lý tưởng của thông số chất lượng nước trong nước tinh khiết (xem $C_{jp} = 0$) và S_j là giới hạn nồng độ của thông số chất lượng nước theo QCVN 09:2023/BTNMT (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2023).

Trọng số các thông số tham gia tính toán chỉ số GWQI được tính toán bằng phương pháp tỷ lệ vượt chuẩn. Nguyên tắc xác định trọng số là mức độ vượt chuẩn càng lớn của giá trị quan trắc thì tỉ lệ đóng góp vào sự ô nhiễm càng lớn, trọng số càng cao. Chi tiết các bước tính toán khái quát như sau:

Bước 1: Tính toán mức độ vượt chuẩn

Các chất ô nhiễm càng lớn càng ô nhiễm (BOD₅, COD, NH₃...) được tính theo công thức:

$$I_i = C_i / S_i$$

Các chất ô nhiễm càng nhỏ càng ô nhiễm được xác định bằng công thức sau:

$$I_i = S_i / C_i$$

Trong đó:

C_i là giá trị quan trắc của chất i

S_i là giá trị trung bình của giới hạn nồng độ thông số chất lượng.

Bước 2: Xác định trọng số của các chất ô nhiễm

Trọng số cho các tham số tham gia tính GWQI theo công thức:

$$W_i = \frac{I_i}{\sum_{i=1}^n I_i} \quad (\text{Li et al., 2009})$$

Chỉ số GWQI sau khi được tính toán được phân loại thành các nhóm sau:

Bảng 1. Chỉ số chất lượng nước trong vùng nghiên cứu

Chỉ số GWQI	Xếp loại
<50	Rất tốt
50-100	Tốt
100-200	Khá tốt
200-300	Trung bình
>300	Ô nhiễm cao

Nguồn: Tác giả, 2025

2.3. Phương pháp nội suy không gian IDW

Thuật toán nội suy IDW, hay còn gọi là nội suy theo trọng số khoảng cách nghịch đảo, là một phương pháp phổ biến dùng để ước lượng giá trị tại các vị trí phân tán dựa

trên dữ liệu đã biết. Phương pháp này dựa trên giả định rằng các điểm gần nhau sẽ có giá trị gần giống nhau hơn so với các điểm ở xa. 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 (Nguyễn Quang Huy, 2025).

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i \frac{1}{d^k}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d^k}} \quad (2)$$

Ở đây, Z đại diện cho 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.

Chỉ số chất lượng nước dưới đất được sử dụng để nội suy không gian. Các điểm được phân nhóm theo từng điểm. Nghiên cứu sử dụng 55 điểm quan trắc nước dưới đất phân bố trên khu vực phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh làm dữ liệu đầu vào cho quá trình nội suy không gian.

3. Kết quả, thảo luận

3.1 Xử lý dữ liệu

Dữ liệu khuyết là một trong những nhân tố ảnh hưởng đến kết quả tính toán. Sử dụng phương pháp kiểm tra dữ liệu khuyết cho thấy tập dữ liệu có một số thông số có dữ liệu khuyết. Số mẫu bị khuyết không nhiều, dao động từ 4 - 122 mẫu tại một số thông số như: TDS, CaCO₃, SO₄²⁻, NH₃-H, NO₃-N, NO₂-N, Cl⁻, Fe, Mn, Zn được trình bày tại Bảng 2.

Bảng 2. Thống kê dữ liệu khuyết của tập dữ liệu quan trắc nước dưới đất

STT	Thông số	Đơn vị	N	Số mẫu bị khuyết	Số mẫu không khuyết	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Trung bình	Độ lệch
1	pH		954	0	954	3,20	7,00	5,00	0,71
2	TDS	mg/L	954	4	950	0,50	52,10	20,25	9,61
3	CaCO ₃	mg/L	954	114	840	1,04	30,00	8,84	4,20
4	SO ₄ ²⁻	mg/L	954	6	948	0,02	29,50	3,71	4,33
5	NH ₃ -H	mg/L	954	122	832	0,01	1,84	0,10	0,08
6	NO ₃ -N	mg/L	954	108	846	0,01	0,90	0,39	0,21
7	NO ₂ -N	mg/L	954	73	881	0,00	0,24	0,01	0,01
8	Cl ⁻	mg/L	954	31	923	0,01	21,30	7,32	4,58
9	Fe	mg/L	954	12	942	0,01	2,78	0,19	0,23
10	Mn	mg/L	954	70	884	0,01	0,96	0,05	0,07
11	Zn	mg/L	954	16	938	0,01	0,44	0,08	0,05

Nguồn: Tác giả, 2025

Tổng số mẫu thu được là 954 mẫu cho 11 thông số chất lượng nước. Trong đó, pH là thông số duy nhất không có dữ liệu khuyết, dữ liệu khuyết lớn nhất ghi nhận ở thông số H-NH₃ (122 mẫu) và thấp nhất là TDS (4 mẫu). Có nhiều nguyên nhân dẫn đến khuyết dữ liệu như sai sót người nhập liệu, không lấy mẫu, lỗi đánh máy, lỗi thiết bị quan trắc... Phương pháp Nearest Neighbour là lựa chọn hợp lý cho dữ liệu không gian như

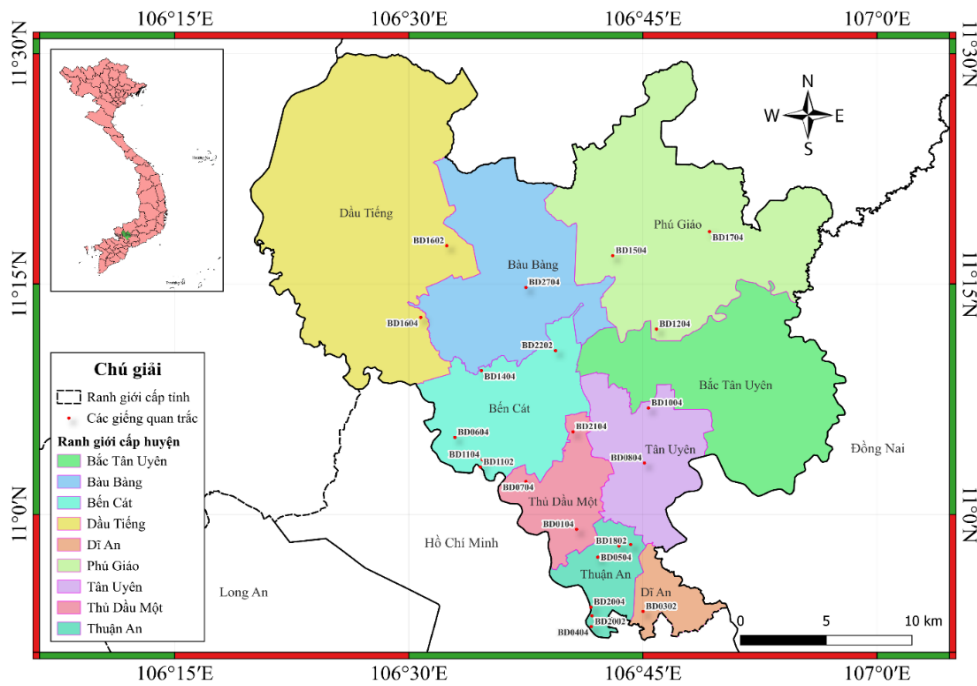
nước dưới đất, vì nó tận dụng sự tương đồng địa lý giữa các giếng quan trắc ở khu vực phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh.

Bảng 3. Tóm tắt thống kê sau xử lý dữ liệu khuyết

STT	Thông số	N	Số mẫu bị khuyết	Số mẫu không khuyết	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Trung bình	Độ lệch
1	pH	954	0	954	3,20	7,00	5,00	0,71
2	TDS	954	0	954	0,50	52,10	20,27	9,65
3	CaCO ₃	954	0	954	1,04	30,00	9,18	4,41
4	PO ₄ ³⁻	954	0	954	0,01	1,40	0,07	0,08
5	SO ₄ ²⁻	954	0	954	0,02	29,50	3,72	4,34
6	NH ₃ -H	954	0	954	0,01	1,84	0,10	0,08
7	NO ₃ – N	954	0	954	0,01	0,90	0,39	0,22
8	NO ₂ – N	954	0	954	0,00	0,24	0,01	0,01
9	Cl ⁻	954	0	954	0,01	21,30	7,31	4,58
10	Fe	954	0	954	0,01	2,78	0,19	0,23
11	Mn	954	0	954	0,01	0,96	0,05	0,07
12	Zn	954	0	954	0,01	0,44	0,08	0,05

Nguồn: Tác giả, 2025

Như đã đề cập, phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh có 05 tầng chứa nước chính, trong đó 04 tầng thuộc tầng lỗ hổng và 01 tầng khe nứt. Các tầng chứa nước lỗ hổng là tầng Pleistocen giữa – trên (qp₂₋₃), tầng Pleistocen dưới (qp₁), tầng Pliocen giữa (n₂²), tầng Pliocen dưới (n₂¹) và tầng chứa nước khe nứt jura (MZ) được phân bố trong Hình 1 (Sở Tài nguyên và Môi trường, 2010).



Hình 1. Vị trí quan trắc nước dưới đất
 Nguồn: Sở Tài nguyên và Môi trường, 2010

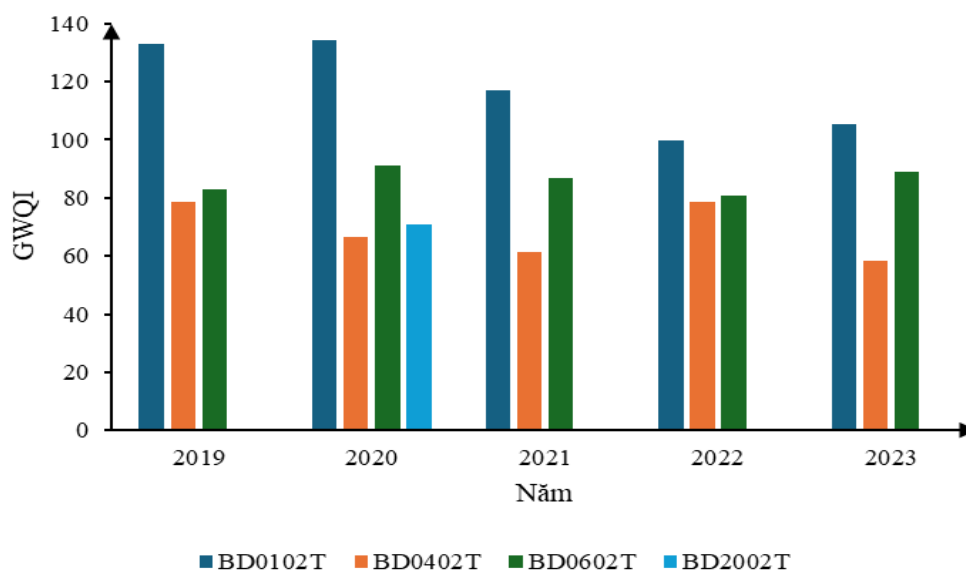
Bảng 4. Các điểm quan trắc nước dưới đất trong nghiên cứu

STT	Tầng chứa nước	Công trình quan trắc	Vị trí	Chiều sâu (m)	Tọa độ	
					X	Y
1	Pleistocen giữa – trên (qp ₂₋₃)	BD0102T	UBND Phú Hòa, TP. TDM	26	106°40'45''	10°59'02''
		BD2002T	Trạm Thủy Văn Lái Thiêu	51	106°41'33"	10°53'58"
		BD0402T	UBND xã Vĩnh Phú, Thuận An	65	106°41'41"	10°52'42"
		BD0602T	Trường tiểu học An Tây A, Bến Cát	30	106°32'57"	11°05'01"
		BD0102Z	UBND phường Phú Hòa, TP.TDM	42	106°40'45''	10°59'02''
		BD0202Z	Công ty TNHH Đông Đô, An Phú	36	106°44'13"	10°58'2,5"
		BD0302Z	KCN Sóng Thần 1, Dĩ An	20	106°45'0,4"	10°53'41"
2	Pleistocen dưới (qp ₁)	BD0402Z	UBND phường Vĩnh Phú, TP. Thuận An	78	106°41'41"	10°52'42"
		BD0502Z	UBND phường Thuận Giao, TP. Thuận An	36	106°42'06"	10°57'13"
		BD0602Z	Trường tiểu học An Tây A, Bến Cát	62	106°32'57"	11°05'01"
		BD11020	Xã Phú An, TP Bến Cát	45	106°34'35"	11°02'58"
		BD1802Z	VP KP1, An Phú, TP. Thuận An	39	106°43'28"	10°57'57"
		BD2002Z	Trạm Thủy Văn Lái Thiêu	75	106°41'33"	10°53'58"
		BD21020	Thành Phố Mới, Bình Dương	25	106°40'31"	11°05'23"
		BD22020	CN XLCT Môi Trường Bình Dương	36	106°39'24"	11°10'40"
		BD27020	KCN Bàu Bàng, Bình Dương	39	106°37'30"	11°14'47"
		BD16020	Dầu Tiếng, Bình Dương	32	106°30'46"	11°12'50"
3	Pliocen giữa (n ₂ ²)	BD0104T	UBND phường Phú Hòa, TP. TDM	64	106°40'45''	10°59'02''
		BD0204T	Công ty TNHH Đông Đô, An Phú	78	106°44'13"	10°58'2,5"
		BD0304T	KCN Sóng Thần 1, Dĩ An	34	106°45'0,4"	10°53'41"
		BD0404T	UBND phường Vĩnh Phú, Thuận An	95	106°41'41"	10°52'42"
		BD0504T	UBND phường Thuận Giao, Thuận An	68	106°42'06"	10°57'13"
		BD0604T	Trường tiểu học An Tây A, TP. Bến Cát	82	106°32'57"	11°05'01"
		BD0704T	Phường Hiệp An, TP. Thủ Dầu Một	69,96	106°37'30"	11°02'09"
		BD0804T	Phường Khánh Bình, TP. Tân Uyên	38	106°45'06"	11°03'21"
BD1004T	Xã Hội Nghĩa, TP. Tân Uyên	64	106°45'21"	11°06'56"		
BD1204T	Xã Phước Hòa, huyện Phú Giáo	19,76	106°45'52"	11°12'04"		
BD1504T	Xã Tân Long, huyện Phú Giáo	22,3	106°43'04"	11°16'51"		

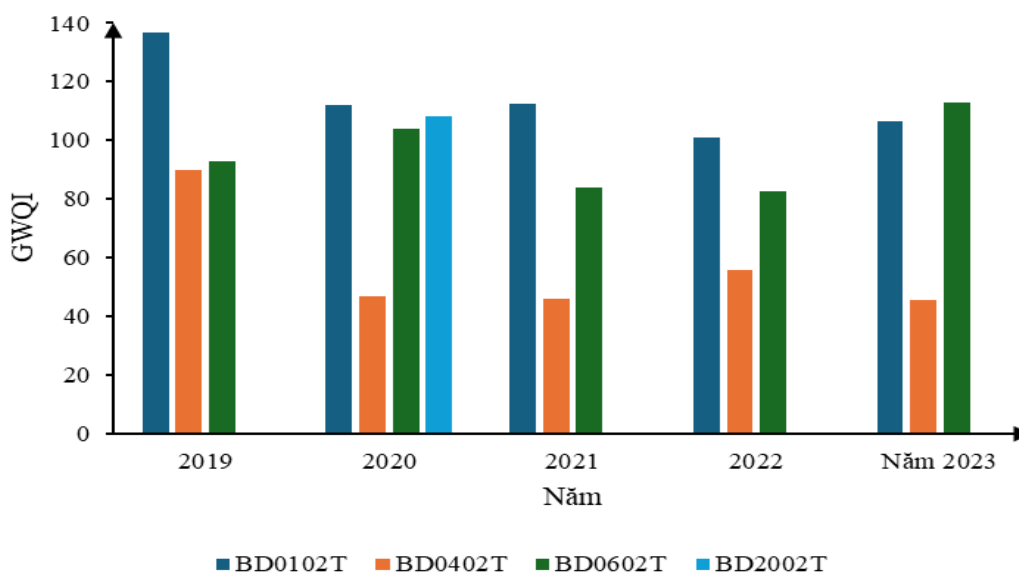
		BD1704T	Thị trấn Phước Vĩnh, huyện Phú Giáo	37,66	106°49'16"	11°18'25"
		BD1404T	Phường Mỹ Phước, TP. Bến Cát	51,5	106°34'39"	11°09'22"
		BD1104T	Xã Phú An, TP. Bến Cát	78,3	106°34'35"	11°02'58"
		BD2004T	Trạm Thủy văn Lái Thiêu	98	106°41'33"	10°53'58"
		BD2104T	Thành Phố Mới, Bình Dương	45	106°40'31"	11°05'23"
		BD2704T	KCN Bàu Bàng, huyện Bàu Bàng	60	106°37'30"	11°14'47"
		BD1604T	Xã An Lập, huyện Dầu Tiếng	77	106°30'46"	11°12'50"
		BD0104Z	UBND phường Phú Hòa, TP. TDM	111	106°40'45''	10°59'02''
		BD0204Z	Công ty TNHH Đông Đô, TP. Thuận An	108	106°44'13"	10°58'2,5"
		BD0304Z	KCN Sóng Thần 1, TP. Dĩ An	84	106°45'0,4"	10°53'41"
		BD0404Z	UBND phường Vĩnh Phú, TP. Dĩ An	110	106°41'41"	10°52'42"
		BD0504Z	UBND phường Thuận Giao, TP. Thuận An	100	106°42'06"	10°57'13"
4	Pliocen dưới (n_2^1)	BD0604Z	Trường tiểu học An Tây A, TP. Bến Cát	130	106°32'57"	11°05'01"
		BD0704Z	Phường Hiệp An, TP. Thủ Dầu Một	108,86	106°37'30"	11°02'09"
		BD0804Z	Phường Khánh Bình, TP. Tân Uyên	50,32	106°45'6"	11°03'21"
		BD1404Z	Phường Mỹ Phước, TP. Bến Cát	79,72	106°34'39"	11°09'22"
		BD1104Z	Phường Phú An, TP. Bến Cát	130,95	106°34'35"	11°02'58''
		BD1604Z	Xã Long Tân, huyện Dầu Tiếng	76,66	106°32'26"	11°17'30"
		BD2004Z	Trạm Thủy văn Lái Thiêu	110	106°41'33"	10°53'58"
		BD2104Z	Thành Phố Mới, Bình Dương	80	106°40'31"	11°05'23"
		BD2704Z	KCN Bàu Bàng, huyện Bàu Bàng	87	106°37'30"	11°14'47"
5	Jura (MZ)	BD09060	Xã Lạc An, huyện Tân Uyên	79,28	106°54'18"	11°07'45"
		BD13060	Xã Tam Lập, huyện Phú Giáo	77,43	106°55'36"	11°18'19"

Nguồn: Trung tâm Quan trắc – Kỹ thuật Tài nguyên và Môi trường, 2023

Tầng Pleistocen giữa – trên (qp₂₋₃) giai đoạn 2019 – 2023.



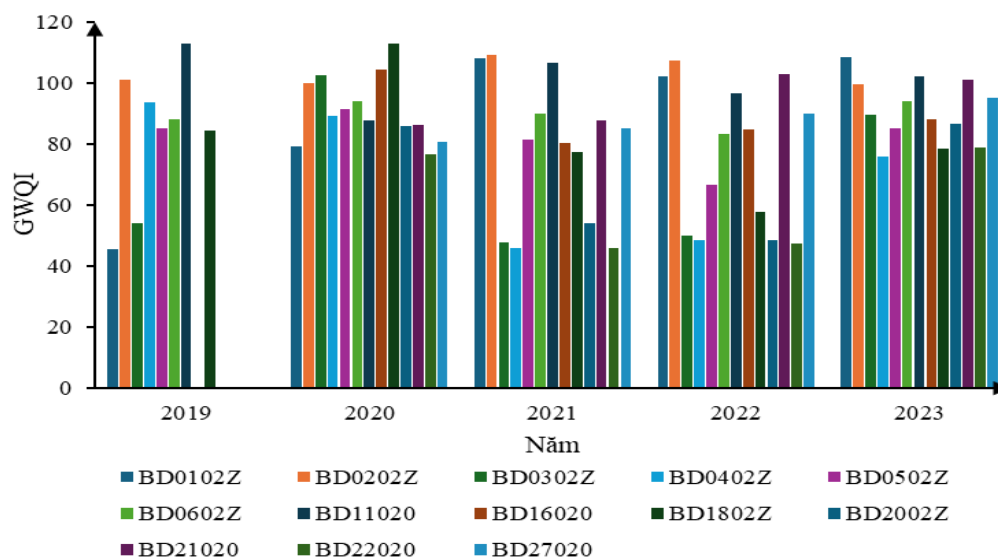
Hình 2. Diễn biến chất lượng nước dưới đất tầng Pleistocen giữa – trên (qp₂₋₃) vào mùa khô



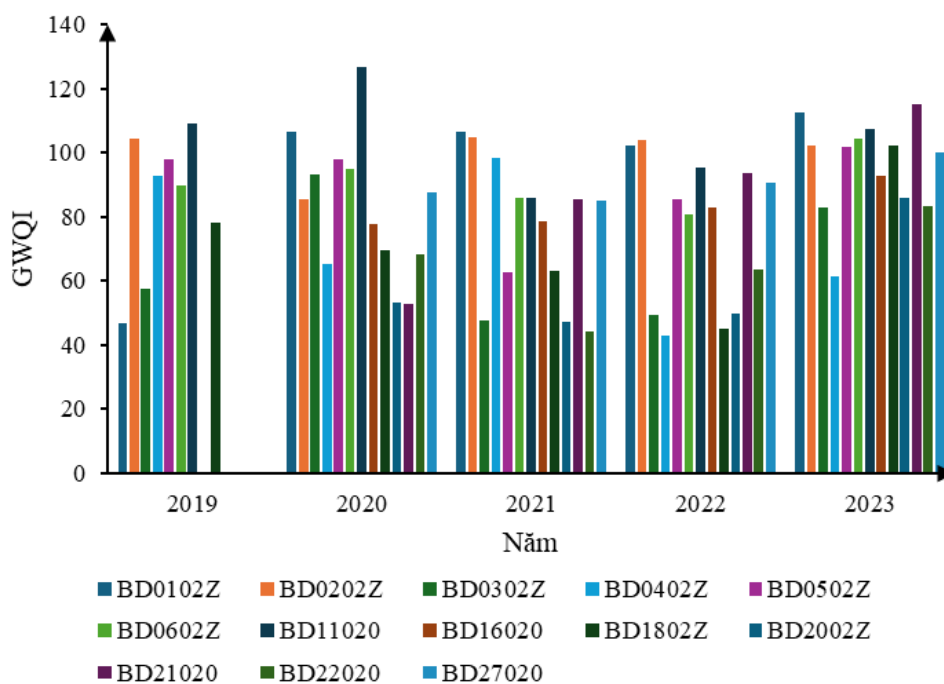
Hình 3. Diễn biến chất lượng nước dưới đất tầng Pleistocen giữa - trên (qp₂₋₃) vào mùa mưa

Chất lượng nước dưới đất tầng tầng Pleistocen giữa – trên (qp₂₋₃) tại khu vực phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 2019-2023: các điểm quan trắc Phú Hoà (BD0102T), Vĩnh Phú (BD0402T) và An Tây (BD0602T) trong giai đoạn 2019–2023 duy trì chủ yếu ở mức tốt đến ô nhiễm nhẹ. Sự biến động giữa các mùa không quá lớn, trong đó điểm Vĩnh Phú cho thấy xu hướng cải thiện rõ rệt theo thời gian. Ngược lại, Phú Hoà và An Tây vẫn xuất hiện dao động nhẹ giữa các năm, đặc biệt trong mùa mưa.

Tầng Pleistocen dưới (qp_1) giai đoạn 2019 – 2023.



Hình 4. Diễn biến chất lượng nước dưới đất tầng Pleistocen dưới (qp_1) vào mùa khô

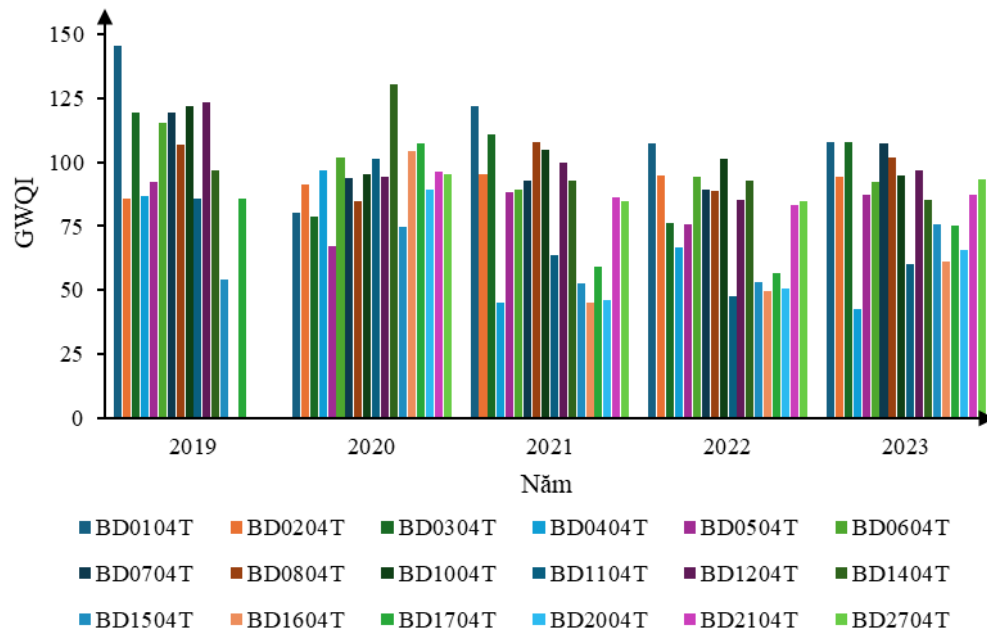


Hình 5. Diễn biến chất lượng nước dưới đất tầng Pleistocen dưới (qp_1) vào mùa mưa

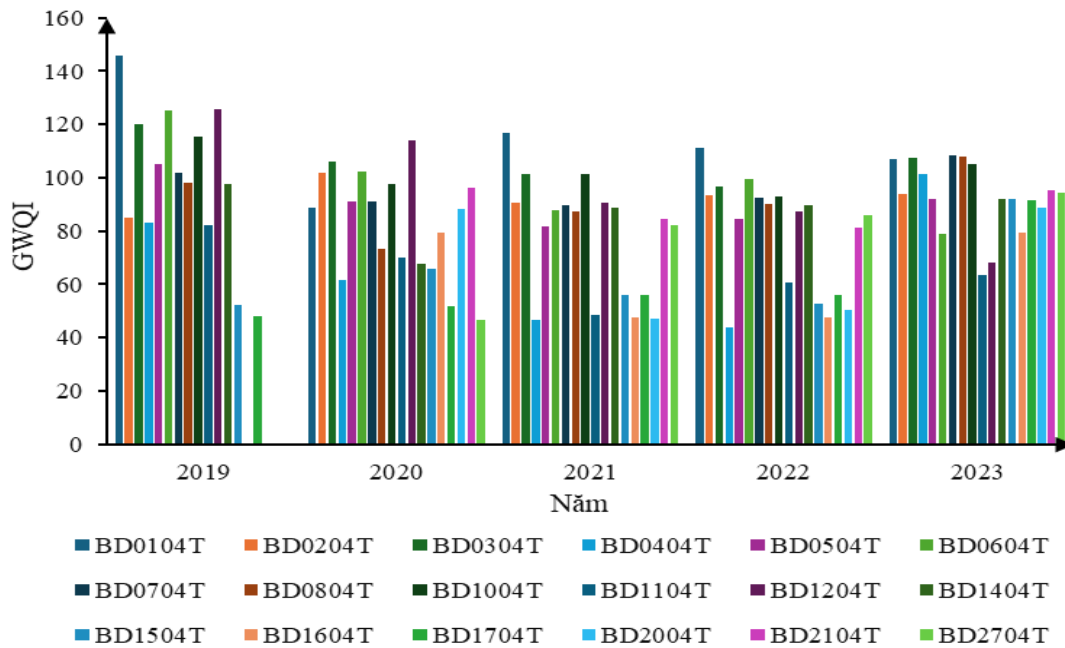
Chất lượng nước dưới đất tầng Pleistocen dưới (qp_1) tại khu vực phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 2019-2023 nhìn chung duy trì ở mức tốt đến ô nhiễm nhẹ, với phần lớn giá trị GWQI dưới 120 ở cả mùa khô và mùa mưa. Cụ thể, các điểm Phú Hoà (BD0102Z), An Phú (BD0202Z), Sóng Thần (BD0302Z) và Vĩnh Phú (BD0402Z) cho thấy xu hướng ổn định hoặc cải thiện nhẹ theo thời gian. Một số điểm như Thuận Giao

(BD0502Z), An Tây (BD0602Z) và Phú An (BD1102Z) ghi nhận dao động nhẹ qua các năm, đặc biệt vào giai đoạn 2022–2023. Các điểm Long Tân (BD1602Z), An Phú (BD1802Z), Lái Thiêu (BD2002Z), VSip2 (BD2102Z), Bãi rác (BD2202Z) và Bàu Bàng (BD2702Z) cũng duy trì trong khoảng chất lượng tương tự, mặc dù một số năm có giá trị tăng nhẹ, cho thấy cần tiếp tục quan trắc để theo dõi xu thế dài hạn.

Tầng Pliocen giữa (n_2^2) giai đoạn 2019 – 2023.

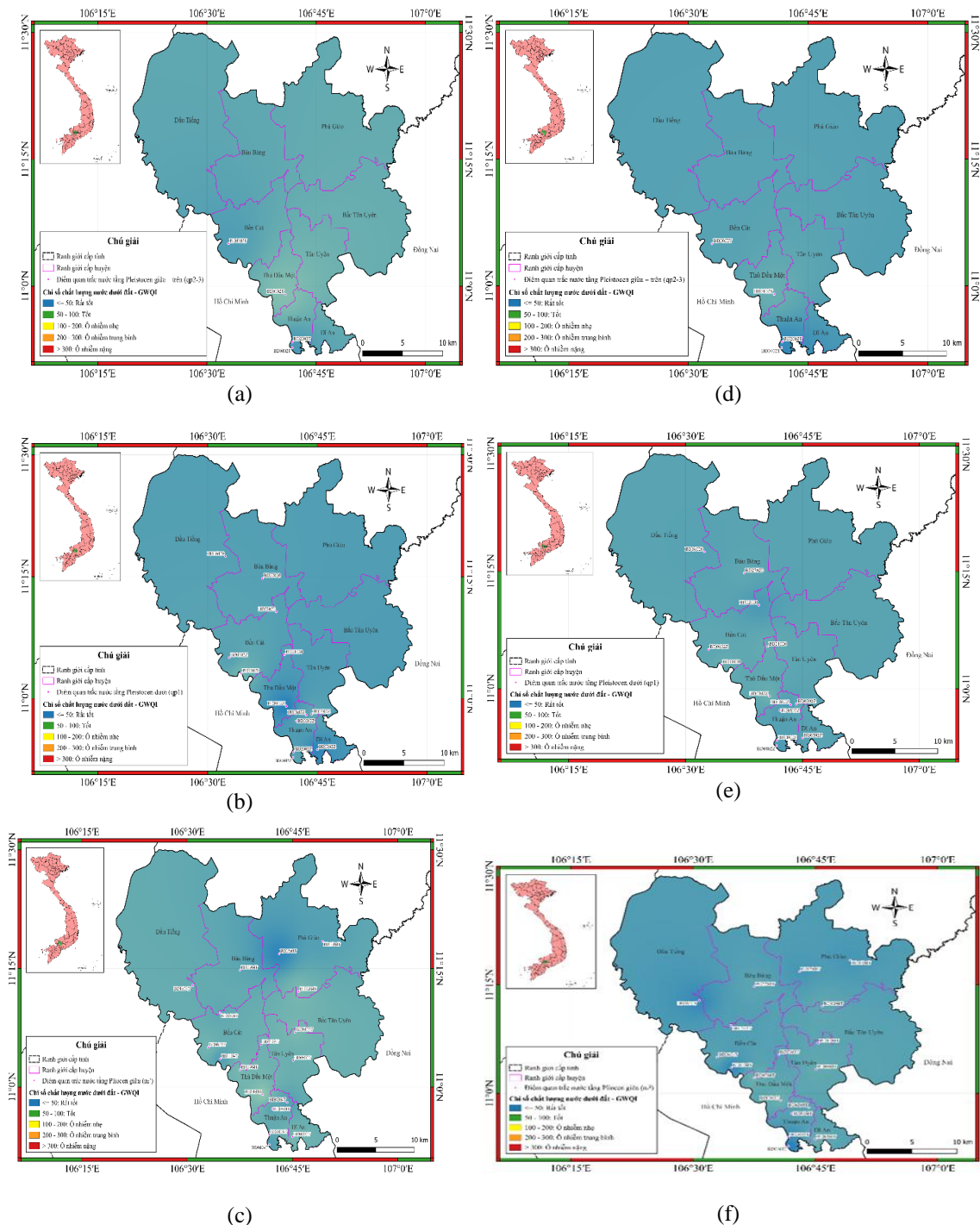


Hình 6. Diễn biến chất lượng nước dưới đất tầng Pliocen giữa (n_2^2) vào mùa khô

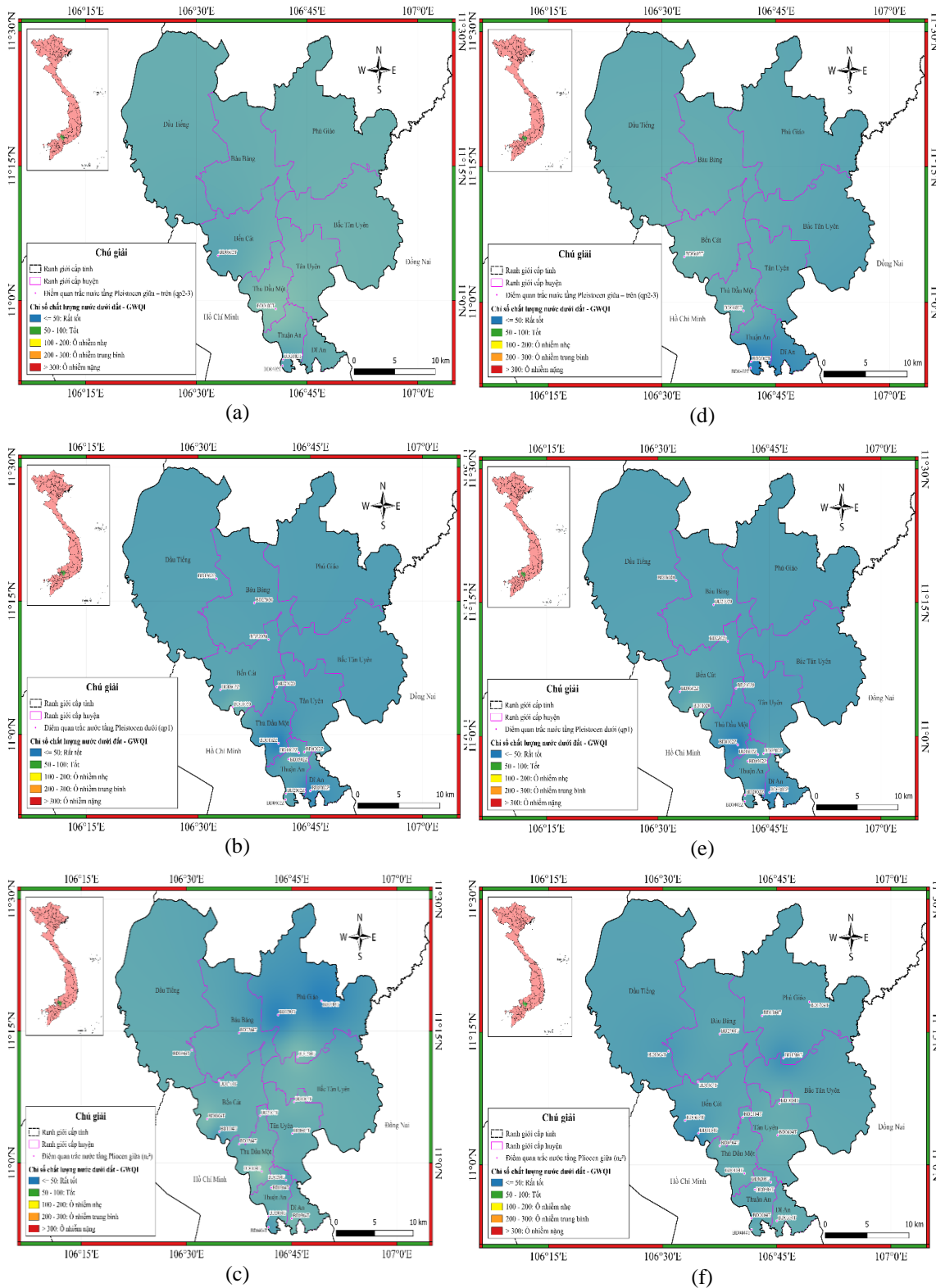


Hình 7. Diễn biến chất lượng nước dưới đất tầng Pliocen giữa (n_2^2) vào mùa mưa

Chất lượng nước dưới đất tầng Pliocen giữa (n_2^2) tại khu vực phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 2019–2023 nhìn chung duy trì ở mức ô nhiễm nhẹ đến ô nhiễm trung bình. Qua các năm, nhiều điểm quan trắc như Phú Hoà (BD0104T), Sóng Thần (BD0304T), Hiệp An (BD0704T) và Hội Nghĩa (BD1004T) cho thấy xu hướng ổn định hoặc cải thiện nhẹ. Sự biến động theo mùa thể hiện mùa khô thường ổn định hơn mùa mưa, trong khi một số điểm như Vĩnh Phú (BD0404T) và An Tây (BD0604T) ghi nhận dao động giữa các năm.



Hình 8. Bản đồ nội suy phân vùng chất lượng nước dưới đất thứ tự các tầng q_{2-3} , q_{p1} , n_2^2 vào mùa khô năm 2019 (a, b, c); năm 2023 (d, e, f)



Hình 9. Bản đồ nội suy phân vùng chất lượng nước dưới đất thứ tự các tầng qp_{2-3} , qp_1 , n_2^2 vào mùa mưa năm 2019 (a, b, c); năm 2023 (d, e, f)

Kết quả phân vùng cho thấy chất lượng nước dưới đất tại các tầng qp_{2-3} , qp_1 và n_2^2 biến động theo mùa và có xu hướng suy giảm nhẹ theo thời gian. Nhìn chung, chất lượng nước dưới đất vào mùa mưa tốt hơn mùa khô, trong đó thể hiện rõ nhất ở tầng qp_{2-3} do

chịu tác động trực tiếp từ khai thác phục vụ cho hoạt động sản xuất. Trong thời kỳ dịch COVID-19, khi hoạt động sản xuất và khai thác bị gián đoạn, chất lượng nước dưới đất ở cả ba tầng có xu hướng ổn định hơn, phản ánh rõ tác động từ các hoạt động kinh tế - xã hội đối với sự biến đổi chất lượng nước tại khu vực này.

3.2. Thảo luận

Phân vùng nước dưới đất theo chỉ số GWQI đối với các tầng qp_{2-3} , qp_1 và n_2^2 trong giai đoạn 2019–2023 cho thấy chất lượng nước nhìn chung duy trì ổn định, với phần lớn giá trị GWQI nằm trong mức từ tốt đến ô nhiễm trung bình. Kết quả này tương tự các nghiên cứu đánh giá chất lượng nước dưới đất ở các vùng khác tại Việt Nam như nghiên cứu ở tầng chứa nước Holocene và Pleistocene tại tỉnh Ninh Thuận cũ (sau sáp nhập là tỉnh Khánh Hòa), trong đó một phần lớn mẫu nước được xếp vào nhóm chất lượng thấp đến trung bình do các ion hòa tan vượt ngưỡng mặc dù phân bố theo không gian khác nhau (Nguyễn Bách Thảo và nnk., 2018). So sánh theo không gian cho thấy các khu vực đô thị hóa và công nghiệp như Tp. Thủ Dầu Một, Tp. Tân Uyên, Tp. Thuận An, Tp. Dĩ An và Bến Cát có mức biến động GWQI lớn hơn so với các vùng ngoại thành, phản ánh ảnh hưởng của hoạt động xây dựng, giao thông và sinh hoạt đô thị do đó kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu chất lượng nước dưới đất tại thành phố Biên Hòa cũ cũng nêu ra tác động các hoạt động kinh tế - xã hội đối với chất lượng nước dưới đất tại khu vực đô thị (Trương Quang Duy và Nguyễn Hiền Thân, 2022). Về yếu tố mùa, xu hướng chất lượng kém hơn vào mùa mưa đã được ghi nhận trong nhiều nghiên cứu quốc tế sử dụng WQI kết hợp GIS để phân tích biến động theo mùa, cho thấy lượng nước mưa có thể rửa trôi các chất hòa tan vào tầng chứa nước, làm thay đổi các chỉ tiêu hóa – lý (Patil & Saraf, 2024).

Trong thời kỳ thực hiện các biện pháp giãn cách xã hội do ảnh hưởng của đại dịch COVID-19, chất lượng nước dưới đất ở một số khu vực đô thị đã có dấu hiệu cải thiện nhẹ, chủ yếu nhờ sự giảm thiểu các nguồn ô nhiễm xuất phát từ hoạt động sản xuất công nghiệp và giao thông. Điều này phản ánh mối quan hệ mật thiết giữa mức độ phát triển kinh tế - xã hội và chất lượng nước dưới đất. Tuy vậy, nhìn tổng thể, chất lượng nước dưới đất tại địa bàn nghiên cứu vẫn duy trì ở mức tương đối ổn định, song vẫn tồn tại xu hướng suy giảm cục bộ theo từng thời điểm và theo mùa. Do đó, cần tiếp tục thực hiện công tác quan trắc định kỳ và tăng cường các giải pháp quản lý nhằm bảo vệ nguồn nước dưới đất trong bối cảnh quá trình đô thị hóa và phát triển công nghiệp ngày càng mạnh mẽ.

4. Kết luận

Nguồn nước dưới đất đóng vai trò thiết yếu trong việc thúc đẩy sự phát triển kinh tế - xã hội. Sử dụng chỉ số GWQI dựa theo QCVN 09:2023/BTNMT, những phát hiện từ nghiên cứu chất lượng nước dưới đất phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh chỉ ra rằng chất lượng nước chịu chi phối mạnh mẽ bởi quá trình đô thị hóa và yếu tố mùa vụ. Chỉ số GWQI đối với các tầng qp_{2-3} , qp_1 và n_2^2 trong giai đoạn 2019–2023 duy trì ổn định, từ trung bình đến rất tốt.

Từ kết quả nghiên cứu, cần tiếp tục mở rộng quan trắc theo hướng tích hợp mô hình dự báo biến động GWQI trong bối cảnh biến đổi khí hậu và gia tăng khai thác nước dưới đất. Việc ứng dụng mô hình thủy địa hóa và các thuật toán học máy cũng được khuyến nghị nhằm nâng cao khả năng dự báo xu hướng suy thoái hoặc phục hồi chất lượng nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ababakr, F. A., Ahmed, K. O., Amini, A., Moghadam, M. K., & Gökçekuş, H. (2024). Spatio-temporal variations of groundwater quality index using geostatistical methods and GIS. *Applied Water Science*, 13, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s13201-023-02010-4>
- [2] Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2023). QCVN 09:2023/BTNMT Quy chuẩn Kỹ thuật Quốc gia về Chất lượng nước dưới đất. In. Việt Nam: Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường.
- [3] Li, Z., Fang, Y., Zeng, G., Li, J., Zhang, Q., Yuan, Q., Wang, Y., & Ye, F. (2009). Temporal and spatial characteristics of surface water quality by an improved universal pollution index in red soil hilly region of South China: a case study in Liuyanghe River watershed. *Environmental Geology*, 58(1), 101-107. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1497-4>
- [4] Nguyễn Bách Thảo, Cao Việt Anh, Nguyễn Diệu Trinh, Hoàng Thanh Sơn, & Nguyễn Văn Duyên. (2018). Hiện trạng xâm nhập mặn nước dưới đất vùng thành phố Đà Nẵng và giải pháp khai thác hợp lý. *Tap chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, 59.
- [5] Nguyễn Quang Huy. (2025). Nghiên cứu đánh giá độ chính xác của các phương pháp nội suy bề mặt trong biên tập dữ liệu đo sâu phục vụ thành lập bản đồ biển. *Tap chí Khoa học Công nghệ Hàng hải*, 83(83), 190-194. <https://doi.org/https://jmst.vimaru.edu.vn/index.php/jmst/article/view/642>
- [6] Nguyễn Thành Giao, Huỳnh Thị Hồng Nhiên, Phan Kim Anh, & Thuptim dang, P. (2023). Groundwater quality assessment for drinking purposes: a case study in the Mekong Delta, Vietnam. *Scientific Reports*, 13(4380), 1-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-023-31621-9>
- [7] Patil, V. B., & Saraf, V. (2024). Review of groundwater mapping and water quality assessment using GIS and water quality index (WQI). *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 12(21s), 4612–4618.
- [8] Luật số 28/2023/QH15 luật tài nguyên nước, (2023).
- [9] Road, B., & Dhanba. (2014). Hydrogeochemical Investigation and Groundwater Quality Assessment of Pratapgarh District, Uttar Pradesh. *Journal of the Geological Society of India*, 83, 329-343. <https://doi.org/10.1007/s12594-014-0045-y>
- [10] Soula, R., Chebilb, A., Cetinc, M., & Majdouba, R. (2025). Assessing groundwater salinity and nitrate variability due to drought in Mahdia's aquifers. *Water Supply*, 25. <https://doi.org/10.2166/ws.2025.076>
- [11] Sở Tài nguyên và Môi trường. (2010). *Báo cáo phân vùng khai thác Nam Bình Dương*.
- [12] Trung tâm Quan trắc – Kỹ thuật Tài nguyên và Môi trường. (2023). *Báo cáo kết quả quan trắc nước dưới đất tỉnh Bình Dương năm 2023*.
- [13] Trương Quang Duy, & Nguyễn Hiền Thân. (2022). Ứng dụng phân tích đa biến và chỉ số chất lượng nước đánh giá chất lượng nước dưới đất Tp. Biên Hòa. *Tap chí phát triển Khoa học và Công nghệ Trái đất và Môi trường*, 5(SI3), 54-66.
- [14] Zhang, Q., Qian, H., Xu, P., Hou, K., & Yang, F. (2021). Groundwater quality assessment using a new integrated-weight water quality index (IWQI) and driver analysis in the Jiaokou Irrigation District, China. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 212, 111992.