

DOI:10.22144/ctujos.2025.071

ĐÁNH GIÁ SỰ THAY ĐỔI VỀ CHẤT LƯỢNG NƯỚC DƯỚI ĐẤT Ở TỈNH CÀ MAU

Dương Thị Ngọc Tuyền^{1*}, Hồng Minh Hoàng², Nguyễn Hoàng Tấn², Dương Thị Trúc² và Văn Phạm Đăng Trí²

¹Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Cà Mau, Việt Nam

²Viện Nghiên cứu Biến đổi Khí hậu, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): tuyensotnmtcm@gmail.com

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 27/01/2025

Sửa bài (Revised): 02/03/2025

Duyệt đăng (Accepted): 10/04/2025

Title: Assessing the changes in groundwater quality in Ca Mau province

Author(s): Duong Thi Ngoc Tuyen^{1*}, Hong Minh Hoang², Nguyen Hoang Tan², Duong Thi Truc² and Van Pham Dang Tri²

Affiliation(s): ¹Department of Agriculture and Environment of Ca Mau, Viet Nam; ²Dragon Mekong Institute, Can Tho University, Viet Nam

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện với mục tiêu đánh giá sự biến động về chất lượng nước dưới đất tại tỉnh Cà Mau trong giai đoạn 2015 – 2023 dựa trên số liệu quan trắc từ 38 giếng khoan. Phương pháp phân tích thống kê mô tả được áp dụng để phân tích số liệu và so sánh với QCVN 09:2023/BTNMT về chất lượng nước dưới đất. Ngoài ra, các chỉ số đánh giá chất lượng nước còn được áp dụng trong nghiên cứu như: chỉ số chất lượng nước dưới đất GWQI, chỉ số ô nhiễm kim loại nặng HPI và chỉ số ô nhiễm tổng hợp CPI để đánh giá chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Cà Mau. Kết quả nghiên cứu cho thấy, chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Cà Mau có biến động theo tầng khai thác, theo mùa và đang có xu hướng cải thiện. Hầu hết các chỉ tiêu nằm trong giới hạn theo QCVN 09:2023/BTNMT, ngoại trừ chỉ tiêu $N-NH_4^+$ và tổng T.Coliform. Kết quả các chỉ số GWQI, CPI, HPI cho thấy, chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Cà Mau vẫn nằm trong ngưỡng an toàn, phù hợp cho sử dụng.

Từ khóa: Chỉ số CPI, chỉ số GWQI, chỉ số HPI, nước dưới đất, tỉnh Cà Mau

ABSTRACT

This study aims to evaluate the groundwater quality in period of 2015- 2023, based on data from 38 monitoring wells in Ca Mau province. Statistical analysis was conducted to analyze the data and compare it with QCVN 09:2023/BTNMT standards on groundwater quality. Additionally, the study applied various water quality indices, including the Groundwater Quality Index (GWQI), Heavy Pollution Index (HPI), and Comprehensive Pollution Index (CPI), to assess the fluctuations in groundwater quality in Ca Mau province. The study found that groundwater quality in Ca Mau province fluctuated according to extraction layers and seasons with a general trend of improvement over time. Most water quality indicators were within the limits of QCVN 09:2023/BTNMT, except for $N-NH_4^+$ and total T.Coliform. The results of the GWQI, CPI, and HPI indices indicated that the groundwater quality in Ca Mau province remained within safe thresholds and was suitable for use.

Keywords: Ca Mau province, CPI index, groundwater, GWQI index, HPI index

1. GIỚI THIỆU

Nguồn tài nguyên nước dưới đất có vai trò rất quan trọng trong việc khai thác để phục vụ sử dụng cho hoạt động phát triển kinh tế xã hội ở đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), đặc biệt là ở vùng ven biển thiếu nguồn nước mặt. Theo kết quả nghiên cứu của (Nguyen et al., 2019), nguồn tài nguyên nước dưới đất tại ĐBSCL có 7 tầng chứa nước chính và đang khai thác sử dụng ở 6 tầng chứa nước, trong đó, tầng chứa nước Pleistocen và phức hệ Pliocen có số lượng lỗ khoan khai thác nhiều nhất, chiếm 93,9% tổng số lỗ khoan khai thác. Đối với các vùng ven biển ĐBSCL, do thiếu nguồn tài nguyên nước mặt nên bắt buộc phải khai thác và sử dụng nguồn nước dưới đất để đáp ứng cho nhu cầu sinh hoạt và phát triển kinh tế - xã hội. Tuy nhiên, việc khai thác và sử dụng thiếu kiểm soát nguồn tài nguyên nước dưới đất (như khai thác phục vụ cho nuôi thủy sản và canh tác nông nghiệp) đã ảnh hưởng đáng kể đến sự suy giảm về chất lượng cũng như lưu lượng khai thác của nguồn tài nguyên nước dưới đất ở đây. Điều đáng quan tâm là nhận thức của người dân về tác động của việc khai thác đến sự bền vững nguồn tài nguyên nước dưới đất còn hạn chế, điều này gây ảnh hưởng đáng kể đến công tác quản lý nguồn tài nguyên nước dưới đất ở ĐBSCL, đặc biệt là ở các vùng ven biển (Phan et al., 2015; Tran et al., 2017).

Theo kết quả nghiên cứu của Nguyen et al. (2022) về các yếu tố quyết định đến quá trình xâm nhập mặn nước dưới đất ở ĐBSCL cho thấy, các yếu tố ảnh hưởng đến sự thay đổi chất lượng nước dưới đất ở ĐBSCL gồm:

(1) Yếu tố khí hậu, nước biển dâng: Yếu tố này ảnh hưởng và chi phối trực tiếp tới tầng chứa nước phân bố trên cùng, yếu tố khí hậu chi phối là các hình thái khí tượng thủy văn đến nước dưới đất tầng chứa nước Holocen,

(2) Yếu tố thấm xuyên: Nước dưới đất trong các tầng chứa nước trong khu vực ĐBSCL có xảy ra quá trình dịch chuyển vật chất do thấm xuyên gây ra,

(3) Yếu tố vận động của dòng ngầm: Kết quả mô hình mô phỏng và dự báo quá trình biến đổi mặn nhạt của các tầng chứa nước dưới đất được thực hiện dựa trên cơ sở của mô hình dòng chảy nước dưới đất vùng ĐBSCL cho thấy xu hướng tăng TDS hay mặn hóa các tầng chứa nước chiếm ưu thế gần như tuyệt đối, cho thấy yếu tố vận động của dòng ngầm gây ra bởi các hoạt động khai thác nước dưới đất đóng vai trò quan trọng và chủ đạo trong các yếu tố quyết định đến quá trình xâm nhập mặn nước dưới đất ở ĐBSCL.

Kết quả đó cho thấy tác động của biến đổi khí hậu (thay đổi lượng mưa, nhiệt độ và xâm nhập mặn), hoạt động phát triển kinh tế xã hội (như canh tác nông nghiệp, phát triển đô thị, xả thải,...) và hoạt động khai thác có ảnh hưởng đến chất lượng nguồn tài nguyên nước dưới đất. Về chất lượng dưới đất ở ĐBSCL qua kết quả từ các nghiên cứu cho thấy, chất lượng nước dưới đất biến động theo mùa và ở một số địa điểm ở vùng ven biển bị ô nhiễm ở các chỉ tiêu như: độ cứng, tổng chất rắn hòa tan, NH_4^+ , Cl^- , Fe, tổng vi khuẩn coliform và E. coli (Nguyen & Huynh, 2022). Một trong phát hiện quan trọng qua nghiên cứu Nguyen et al. (2022) là hàm lượng As vượt mức giới hạn sử dụng cho mục đích ăn uống, do vậy, việc sử dụng nguồn nước có chứa hàm lượng As cao sẽ gây ảnh hưởng đến sức khỏe của người dân ở khu vực nghiên cứu.

Thực tế, việc đánh giá chất lượng nước dưới đất thường được dựa vào quy chuẩn chất lượng nước dưới đất của Việt Nam (hiện hành là QCVN 09:2023/BTNMT) quy định các giá trị giới hạn của các chỉ tiêu chất lượng nước dưới đất. Tuy nhiên, việc dựa vào quy chuẩn để đánh giá chưa phản ánh đầy đủ khía cạnh khác nhau về chất lượng nước như các đặc tính lý, hoá, sinh của chất lượng nước. Do vậy, việc sử dụng các chỉ số đánh giá sẽ làm rõ hơn các khía cạnh khác nhau về chất lượng nước dưới đất. Hiện nay, các chỉ số đánh giá thường được áp dụng trong các nghiên cứu về chất lượng nước dưới đất như: chỉ số chất lượng nước dưới đất (GWQI) (Nguyen et al., 2020), chỉ số đánh giá kim loại nặng (HPI) (Do et al., 2017), chỉ số ô nhiễm tổng hợp (CPI) (Nguyen et al., 2020), phân tích thành phần chính (PCA) (Nguyen et al., 2018) và hồi quy đa biến (Tran et al., 2017).

Cà Mau là một trong các tỉnh thuộc vùng ven biển ĐBSCL với đặc trưng nguồn nước chính phục vụ cho hoạt động phát triển kinh tế - xã hội là từ nguồn tài nguyên nước dưới đất. Tỉnh Cà Mau có 6 tầng chứa nước chính trong đó, có 4 tầng chứa nước được khai thác sử dụng chủ yếu là tầng qp_{2-3} , qp_1 , n_2^2 và n_2^1 , hai tầng thứ yếu là tầng qp_3 và tầng n_1^3 (People's Committee of Ca Mau Province, 2019). Tuy nhiên, với áp lực khai thác liên tục phục vụ cho nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội ngày càng gia tăng và dưới sự tác động của BĐKH (Biến đổi khí hậu), nguồn tài nguyên nước dưới đất tại tỉnh Cà Mau đang có dấu hiệu bị suy giảm về chất lượng và lưu lượng khai thác (Nguyen et al., 2022). Kết quả nghiên cứu của Ha et al. (2021) cho thấy, nước dưới đất ở tỉnh Cà Mau đang phải đối mặt với nồng độ TDS, TH, Na^+ và Cl^- cao, trong đó, khoảng 61% số mẫu có nồng độ Na^+ vượt quá mức cho phép để uống

và khoảng 31% mẫu nước dưới đất trong tại khu vực nghiên cứu được phân loại kém và không phù hợp để phục vụ cho mục đích ăn uống mà cần được xử lý trước khi sử dụng. Theo kịch bản biến đổi khí hậu và phát triển kinh tế xã hội của tỉnh Cà Mau đến năm 2050 cho thấy có sự gia tăng về tác động và nhu cầu sử dụng nước (Ca Mau DONRE. 2020). Vì thế, tình trạng suy giảm về chất lượng cũng như lưu lượng khai thác nguồn tài nguyên nước dưới đất ngày càng gia tăng trong tương lai.

Việc đánh giá sự suy biến động chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Cà Mau được thực hiện thông qua việc so sánh giá trị phân tích thực tế hằng năm với quy chuẩn chất lượng nước dưới đất của Việt Nam. Tuy nhiên, việc đánh giá này chưa làm rõ được mức độ về chất lượng nước cũng như sự thay đổi về chất lượng nước theo thời gian. Như đề cập, hiện nay, việc đánh giá chất lượng nước dưới đất được thực hiện ở nhiều nơi trên thế giới thông qua các chỉ số đánh giá khác nhau ở các khía cạnh khác nhau như: GWQI, CPI, HPI,... Do vậy, nghiên cứu này được thực hiện với mục tiêu đánh giá và làm rõ sự thay đổi về chất lượng nước dưới đất trên địa bàn tỉnh Cà Mau theo các tầng khai thác chính để làm cơ sở cho việc đề xuất các giải pháp quản lý khai thác và sử dụng nguồn tài nguyên nước dưới đất ở tỉnh Cà Mau bền vững và đáp ứng được nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội cũng như thích ứng với tác động của BĐKH ở tỉnh Cà Mau trong tương lai.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

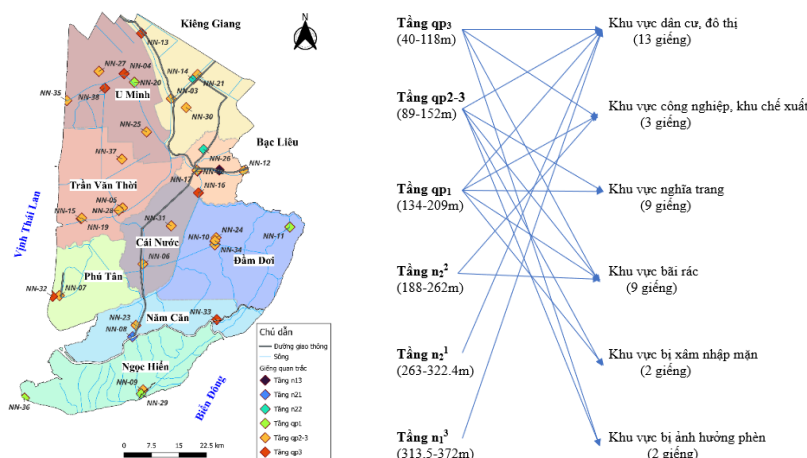
2.1. Số liệu nghiên cứu

Trong nghiên cứu, bộ số liệu quan trắc chất lượng nước dưới đất trên địa bàn tỉnh Cà Mau giai đoạn 2015 – 2023 đã được sử dụng, được cung cấp

từ Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Cà Mau, để đánh giá sự biến động về chất lượng nước dưới đất theo mùa, ở các tầng chứa nước đang khai thác cũng như tại các khu vực quan trắc khác nhau. Việc phân tầng giếng khoan trong nghiên cứu dựa trên báo cáo “Kết quả điều tra, đánh giá nguồn nước dưới đất tỉnh Cà Mau” thuộc dự án “Điều tra, đánh giá tài nguyên nước dưới đất vùng kinh tế trọng điểm đồng bằng sông Cửu Long”, do Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước miền Nam thực hiện, Quyết định số 2325/QĐ-UBND của Ủy ban Nhân dân tỉnh Cà Mau về phê duyệt danh mục và bản đồ phân vùng hạn chế khai thác nước dưới đất.

Cụ thể, tỉnh Cà Mau có 38 giếng khoan quan trắc chất lượng nước dưới đất (Hình 1) được phân bố theo 6 tầng chứa nước gồm qp3, qp2-3, qp1, n1³, n2², n2¹ và 6 khu vực gồm: khu vực dân cư, đô thị, khu vực công nghiệp, khu chế xuất, khu vực nghĩa trang, khu vực bãi rác, khu vực bị xâm nhập mặn và khu vực bị ảnh hưởng phèn. Độ tuổi của các giếng quan trắc được xác định trong nghiên cứu dao động từ 4 năm đến trên 10 năm. Trong đó, có 2 giếng thuộc nhóm tuổi từ 0 đến 5 năm, 22 giếng nằm trong khoảng 6 – 10 năm và 14 giếng đã được sử dụng trên 10 năm.

Các chỉ tiêu được phân tích nhằm đánh giá chất lượng nước dưới đất bao gồm: pH, tổng chất rắn hòa tan (TDS), độ cứng tổng, nhu cầu oxy hóa học (COD), amoni (N-NH₄⁺), nitrit (N-NO₂⁻), clorua (Cl⁻), sunfat (SO₄²⁻), sắt tổng (Fe), chì (Pb²⁺), thủy ngân (Hg), asen (As), vi khuẩn E.coli và tổng Coliform. Các thông số này được xác định theo các phương pháp tiêu chuẩn được trình bày trong Bảng 1.



Hình 1. Bản đồ vị trí các giếng khoan quan trắc và đặc điểm về các tầng giếng khoan và vị trí quan trắc chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Cà Mau

Bảng 1. Phương pháp phân tích các chỉ số chất lượng nước

Thông số phân tích	Đơn vị	Phương pháp thử
pH	-	TCVN 6492:2011
TDS	mg/L	SMEWW 2540 B:2012
Độ cứng	mg/L	TCVN 6224:1996
COD	mg/L	TCVN 6186:1996
Cl ⁻ (*)	mg/L	TCVN 6194:1996
N-NH ₄ ⁺ (*)	mg/L	SMEWW 4500-NH ₃ -F:2012
N-NO ₂ ⁻ (*)	mg/L	SMEWW 4500-NO ₂ -B:2012
SO ₄ ²⁻ (*)	mg/L	SMEWW 5220 C:2012
Tổng Fe	mg/L	TCVN 6177:1996
Tổng Pb	mg/L	SMEWW 3111 B:2012
As	mg/L	SMEWW 3114 B (C) :2012
Hg	mg/L	SMEWW 3112 B:2012
E.coli	MPN/100 ml	SMEWW 9222G:2012
T.Colifor m	MPN/100 ml	SMEWW 9221 B:2012

2.2. Xác định các chỉ số đánh giá chất lượng nước dưới đất

2.2.1. Chỉ số chất lượng nước - GWQI

Trong nghiên cứu, việc áp dụng chỉ số chất lượng nước dưới đất GWQI (Ground water quality index) được xác định theo CT 1 dựa trên phương pháp của Brown et al. (1972) và Trinh et al. (2021) để đánh giá chất lượng nước dưới đất trên địa bàn tỉnh Cà Mau. Các giá trị giới hạn của các chỉ tiêu chất lượng nước được áp dụng theo Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước dưới đất (QCVN 09:2023/BTNMT).

$$GWQI = \sum_{i=1}^{n=1} \left[\frac{W_i}{\sum_{i=1}^{n=1} W_i} \times \left(\frac{C_i}{S_i} \times 100 \right) \right] \quad \text{CT 1}$$

Trong đó:

C_i: Giá trị quan trắc của mỗi chỉ tiêu chất lượng nước. Các chỉ tiêu chất lượng nước áp dụng trong nghiên cứu này gồm: pH, TDS, độ cứng, COD, N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, Fe, T.Coliform;

S_i: Giá trị giới hạn của mỗi chỉ tiêu dựa theo QCVN 09-MT:2023/BTNMT,

W_i: là trọng số của mỗi chỉ tiêu. Trọng số *W_i* thể hiện vai trò của chỉ tiêu trong các chỉ tiêu quan trắc và được tính theo CT 2.

$$W_i = \frac{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{S_i} \right)}}{S_i} \quad \text{CT 2}$$

Kết quả đánh giá chất lượng nước dưới đất theo chỉ số GWQI được dựa trên thang điểm và biểu diễn chất lượng nước thông qua mã màu được trình bày trong Bảng 2 (Brown, 1972; Trinh et al., 2022).

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

Giá trị GWQI	Phân loại chất lượng nước	Màu biểu thị
< 50	Rất tốt	Xanh lục
50 - 100	Tốt	Xanh lá
100 - 200	Trung bình	Vàng
200 - 300	Xấu	Da cam
> 300	Rất xấu	Đỏ

2.2.2. Chỉ số ô nhiễm tổng hợp - CPI

Trong nghiên cứu, việc áp dụng chỉ số ô nhiễm tổng hợp CPI (Comprehensive Pollution Index) được xác định theo CT 3 (Nguyen et al., 2020) để đánh giá chất lượng nước dưới đất trên địa bàn tỉnh Cà Mau.

$$CPI = \left(\frac{1}{n} \right) \times \sum_{i=1}^n PI \quad \text{CT 3}$$

Trong đó:

n: Số lượng các chỉ tiêu chất lượng nước được tính toán,

PI: Chỉ số ô nhiễm của từng chỉ tiêu được tính theo CT 4.

$$PI = \frac{C_i}{S_i} \quad \text{CT 4}$$

Trong đó:

C_i: Nồng độ trung bình đo được của chỉ tiêu chất lượng nước thứ *i* bao gồm: pH, TDS, Độ cứng, COD, N-NH₄⁺, NO₂⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, Fe, Pb²⁺, Hg, As, E.coli, T.Coliform;

S_i: Giá trị giới hạn cho phép tương ứng của thông số chất lượng nước thứ *i* theo QCVN 09 :2023/BTNMT.

Chất lượng nước theo chỉ số CPI được đánh giá qua 05 mức độ theo nghiên cứu của Nguyen et al. (2020) và được thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 3. Thang đánh giá chất lượng nước theo chỉ số nhiễm tổng hợp CPI

Giá trị CPI	Phân loại chất lượng nước	Màu hiển thị
0 - 0,2	Tốt	Xanh lục
0,21 - 0,4	Khá tốt	Xanh lá
0,41 - 1,00	Ô nhiễm nhẹ	Vàng
1,01 - 2,00	Ô nhiễm trung bình	Da cam
≥ 2,01	Ô nhiễm nặng	Đỏ

2.2.3. Chỉ số kim loại nặng - HPI

Chỉ số kim loại nặng HPI (Heavy metal pollution index) trong nước dưới đất được xác định dựa theo nghiên cứu của Mohan (1996) và Do et al., (2017). Chỉ số HPI được xác định theo CT 5.

$$HPI = \frac{(\sum_{i=1}^n Wi \times Qi)}{\sum_{i=1}^n Wi} \quad \text{CT 5}$$

Trong đó:

- n: Số lượng thông số kim loại nặng được tính (nghiên cứu sử dụng các chỉ số Fe, Hg, Pb, As để đánh giá chỉ số kim loại nặng HPI),
- Wi: Được tính bằng $1/Si$, giá trị Si của kim loại i được lấy từ quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về chất lượng nước dưới đất (QCVN 09:2023/BTNMT),
- Qi: Hàm lượng kim loại thứ i được tính theo công thức $Qi = \frac{Ci}{Si} \times 100$, với Ci là giá trị đo được của kim loại nặng thứ i ($\mu\text{g/l}$).

Chỉ số HPI có giá trị > 100 là không tốt cho sức khỏe (Mohan et al., 1996).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Diễn biến về chất lượng nước dưới đất so với QCVN 09:2023/BTNMT

Diễn biến về chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Cà Mau ở giai đoạn 2015 – 2023 được so với Quy chuẩn Việt Nam (QCVN 09:2023/BTNMT) qua kết quả quan trắc được thể hiện ở Hình 2 cho thấy:

Đối với chỉ tiêu pH: Chỉ tiêu pH của nước dưới đất trong giai đoạn 2015 - 2023 ít biến động qua các năm cũng như theo mùa ở các tầng khai thác khác nhau và giá trị pH nằm trong giới hạn so với QCVN 09:2023/BTNMT về chất lượng nước dưới đất. Giá trị trung bình của chỉ số pH giao động trong khoảng 6,69 – 8,19, giá trị này khi được so sánh với QCVN 09:2023/BTNMT là phù hợp để làm cơ sở cho việc

sử dụng nước dưới đất sử dụng cho các mục tiêu khác nhau.

Đối với chỉ tiêu TDS (Total dissolved solid): Chỉ tiêu TDS của nước dưới đất trong giai đoạn 2015 - 2023 có sự biến động theo mùa, theo năm và theo tầng khai thác nhưng nhìn chung vẫn nằm trong giới hạn theo QCVN 09:2023/BTNMT. Ở giai đoạn 2015 – 2020, giá trị TDS có sự biến động lớn qua các năm, trong đó, tầng n_2^1 có giá TDS trị trung bình cao hơn với QCVN 09:2023/BTNMT ở các năm 2016, 2019 và 2020. Theo mùa, giá trị TDS có sự chênh lệch nhất định và giá trị TDS mùa khô thường cao hơn so với mùa mưa nhưng không đáng kể.

Đối với chỉ tiêu Độ cứng: Chỉ tiêu độ cứng của nước dưới đất trong giai đoạn 2015 - 2023 nhìn chung ít có sự biến động theo mùa, theo năm và theo tầng khai thác và giá trị độ cứng nằm trong giới hạn theo QCVN 09:2023/BTNMT. Giá trị trung bình về độ cứng của nước dưới đất ở tỉnh Cà Mau ở mức < 200 mg/l theo kết quả quan trắc chất lượng nước dưới đất.

Đối với chỉ tiêu COD: Chỉ tiêu COD của nước dưới đất trong giai đoạn 2015 – 2023 có xu hướng giảm, trong đó giai đoạn 2015 – 2020 có sự biến động mạnh, vượt so giá trị giới hạn theo QCVN 09:2023/BTNMT. Trong khi đó, giai đoạn 2021 – 2023 có sự biến động ít hơn và giá trị COD nằm trong giới hạn theo QCVN 09:2023/BTNMT. Việc đánh giá theo mùa cho thấy, giá trị trung bình COD trong mùa mưa cao hơn so với mùa khô ở các tầng khai thác khác nhau.

Đối với chỉ tiêu N-NH_4^+ : Chỉ tiêu N-NH_4^+ của nước dưới đất trong giai đoạn 2015 - 2023 có sự biến động theo mùa, theo năm và theo tầng khai thác. Hầu hết các tầng khai thác đều có chỉ số N-NH_4^+ vượt giới hạn theo QCVN 09:2023/BTNMT, ngoại trừ tầng n_1^3 . Tuy nhiên, ở hầu hết các tầng giai đoạn 2021 – 2023 đều có giá trị N-NH_4^+ nằm trong giới hạn theo QCVN 09:2023/BTNMT.

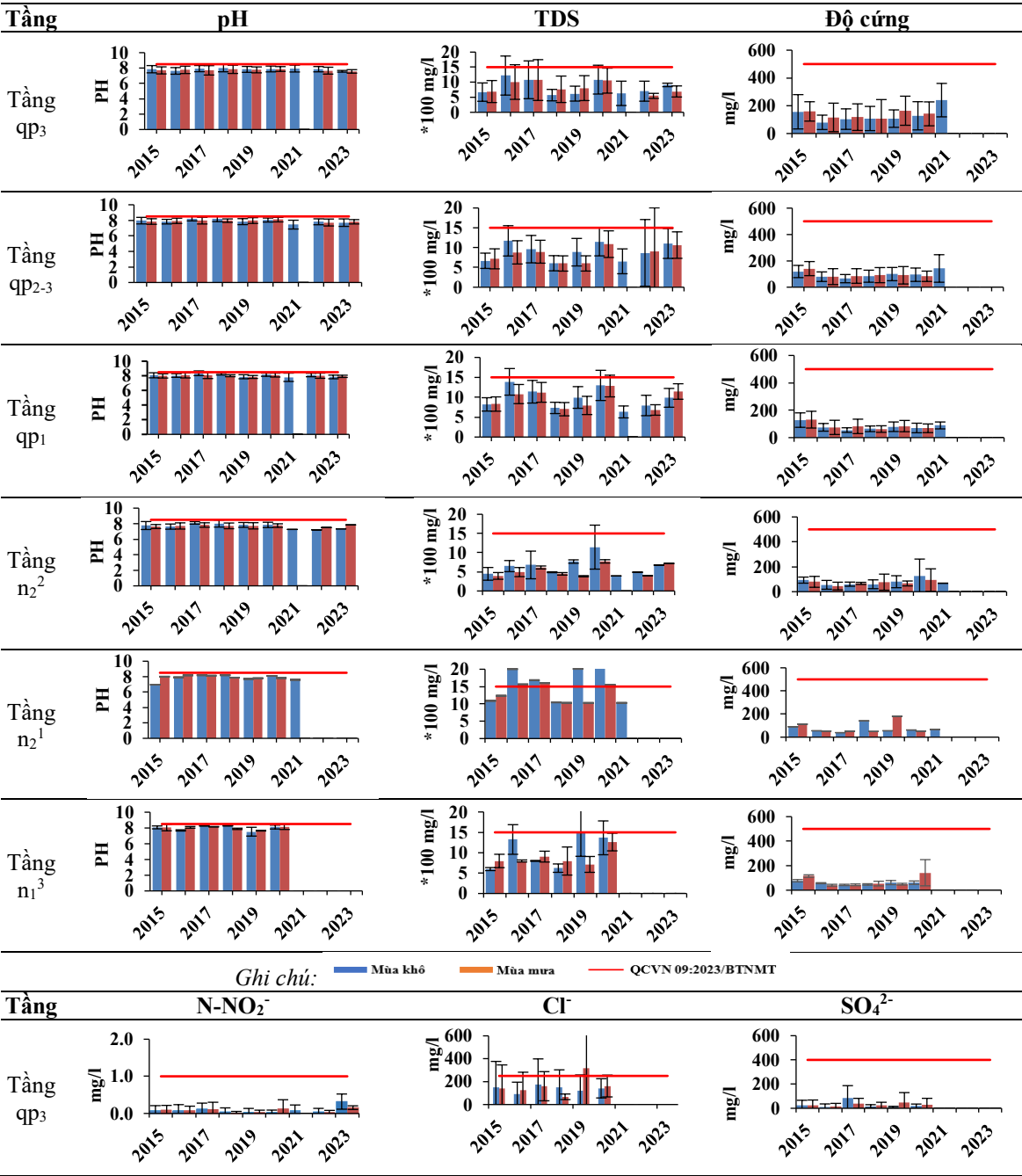
Đối với chỉ tiêu N-NO_2^- : Chỉ tiêu N-NO_2^- của nước dưới đất trong giai đoạn 2015 - 2023 nhìn chung ít có sự biến động theo mùa, theo năm và theo tầng khai thác và giá trị N-NO_2^- nằm trong giới hạn cho phép theo QCVN 09:2023/BTNMT. Giá trị trung bình về N-NO_2^- của nước dưới đất ở tỉnh Cà Mau nằm trong khoảng < 0,5 mg/l theo kết quả quan trắc chất lượng nước dưới đất.

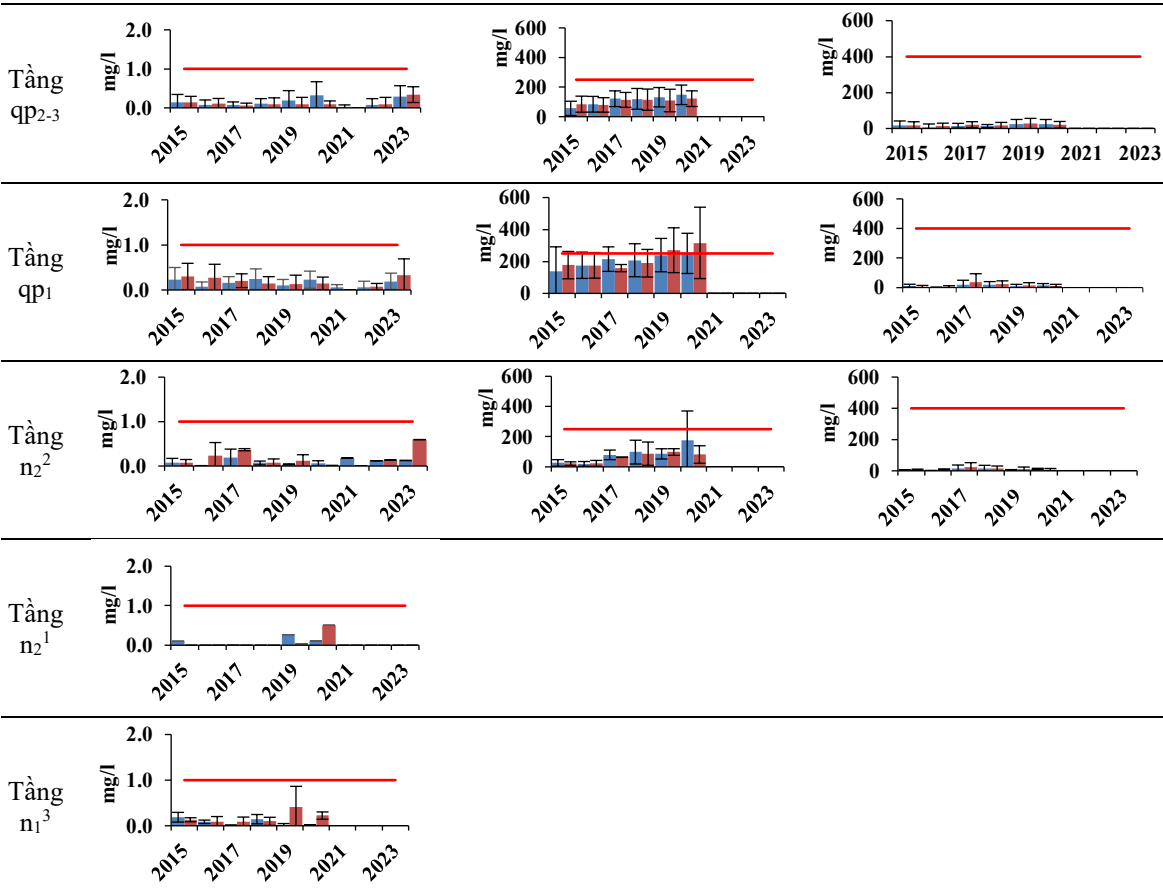
Đối với chỉ tiêu CL^- : Kết quả phân tích chỉ tiêu độ CL^- trong nước dưới đất cho thấy ít có sự biến động theo mùa, theo năm và theo tầng khai thác. Tầng qp_{2-3} và n_2^2 có giá trị CL^- tăng trong giai đoạn

2015 – 2020 và vượt giới hạn so với QCVN 09:2023/BTNMT. Các tầng khác có giá trị CL^- nằm trong giới hạn cho phép theo QCVN 09:2023/BTNMT, trong đó, tầng n_2^1 và n_1^3 không phân tích giá trị CL^- và các tầng còn lại thì không phân tích chỉ tiêu CL^- trong nước dưới đất ở tất cả

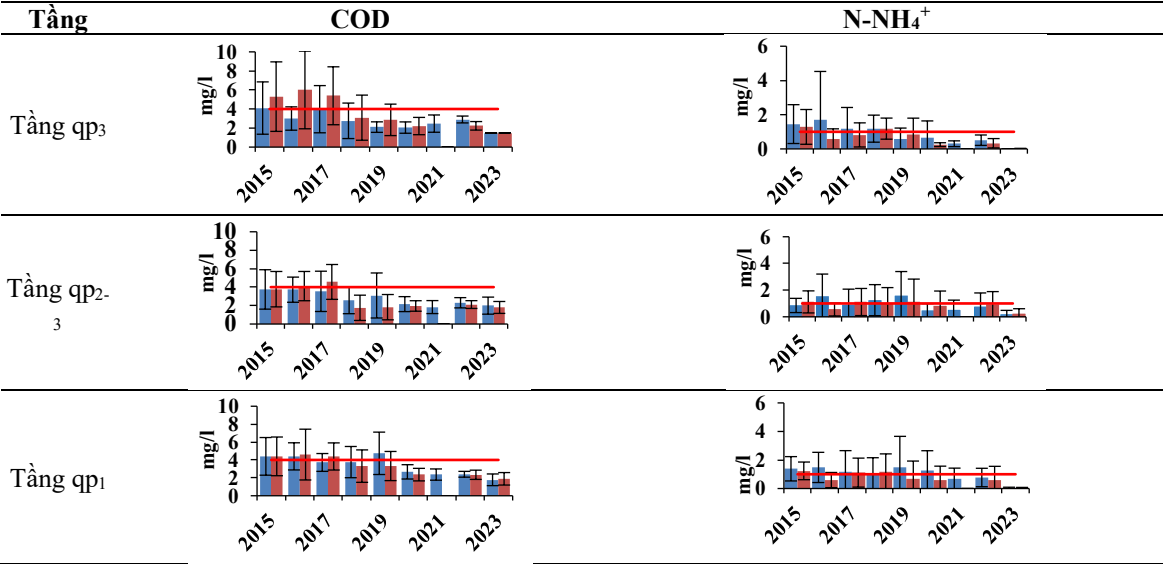
các giếng khoan trên địa bàn tỉnh Cà Mau trong giai đoạn 2021 – 2023.

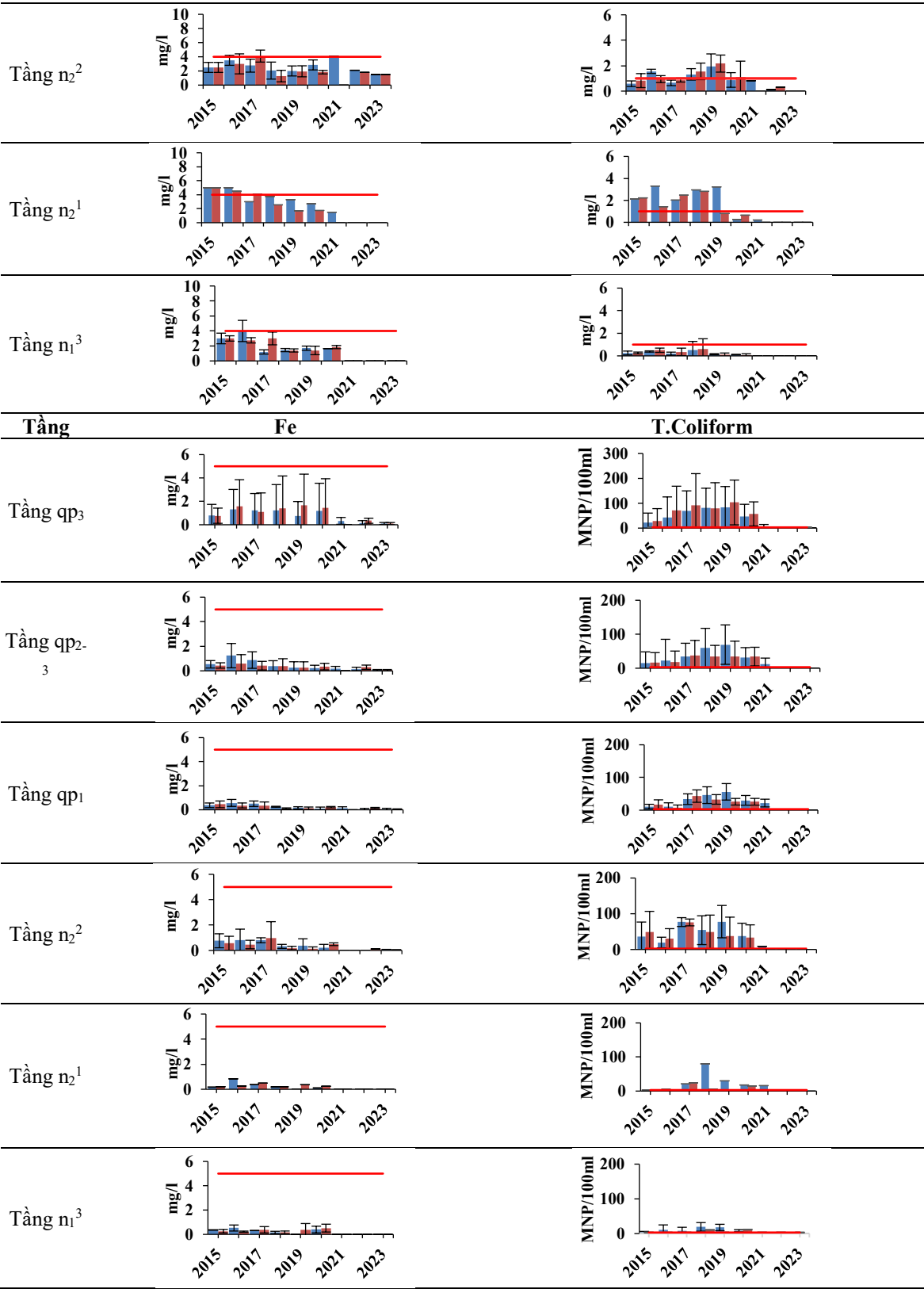
Đối với chỉ tiêu SO_4^{2-} : Kết quả phân tích chỉ tiêu độ SO_4^{2-} cho thấy, nồng độ SO_4^{2-} trong đất thấp hơn rất nhiều so với giới hạn cho phép theo QCVN 09:2023/BTNMT ở tất cả các tầng quan trắc.





Hình 2. Diễn biến chất lượng nước dưới đất trên địa bàn tỉnh Cà Mau giai đoạn 2015 – 2023





Hình 3. Diễn biến chất lượng nước dưới đất trên địa bàn tỉnh Cà Mau giai đoạn 2015 – 2023

Đối với chỉ tiêu Fe: Chỉ tiêu Fe của nước dưới đất trong giai đoạn 2015 - 2023 nhìn chung ít có sự biến động theo mùa, theo năm và theo tầng khai thác và nằm trong giới hạn cho phép theo QCVN 09:2023/BTNMT.

Đối với chỉ tiêu T.Coliform: Chỉ tiêu T.Coliform của nước dưới đất trong giai đoạn 2015 - 2023 nhìn chung vượt rất cao so với giá trị giới hạn theo QCVN 09:2023/BTNMT. Trong đó, tầng khai thác nông có giá trị T.Coliform cao hơn so với các tầng khai thác sâu và nguyên nhân có thể do ảnh hưởng từ hoạt động phát triển kinh tế xã hội của con người trên bề mặt ảnh hưởng đến chất lượng nước ở các tầng khai thác phía trên.

3.2. Diễn biến về chất lượng NDD so với các chỉ số đánh giá

3.2.1. Chỉ số chất lượng nước dưới đất - GWQI

Diễn biến chất lượng nước dưới đất giai đoạn 2015 – 2023 trên địa bàn tỉnh Cà Mau dựa trên chỉ số chất lượng nước dưới đất GWQI được thể hiện ở Bảng 4. Kết quả cho thấy, các tầng nước sâu (như: tầng n_2^1 và tầng n_1^3) có chất lượng nước tốt hơn so với các tầng nước nông. Các tầng chứa nước như: tầng qp₃, qp₂₋₃ và tầng qp₁ có chất lượng kém và trung bình ở giai đoạn 2017 – 2020 (trọng tâm vào giai đoạn 2018 - 2019), trong đó, chất lượng nước của tầng qp₃ kém nhất so với các tầng khác. Đặc biệt

ở giai đoạn 2021 – 2023, chất lượng nước dưới đất ở tất cả các tầng chất nước đều tốt và nguyên nhân là do trong giai đoạn 2021 – 2023 có sự giảm số lượng chỉ tiêu quan trắc chất lượng nước dưới đất ở tất cả các tầng và trong đó, tầng n_2^1 không có quan trắc trong giai đoạn 2022 - 2023 và tầng n_1^3 không có quan trắc trong giai đoạn 2021 – 2023.

Tầng qp₃ có chất lượng kém nhất trong các tầng quan trắc do có độ sâu thấp nhất (trung bình từ 40 đến 118 m) và được quan trắc tại các khu vực gồm khu vực bãi rác, khu vực đô thị và khu vực bị ảnh hưởng phen. Do vậy, chất lượng nước của tầng qp₃ có thể bị ảnh hưởng từ các hoạt động của các khu vực này đến chất lượng nước. Thêm vào đó, kết quả phân tích ở Bảng 5 cho thấy, có sự biến động về chất lượng nước dưới đất theo mùa, trong đó, chất lượng nước dưới đất vào mùa mưa tốt hơn hơn so với mùa khô và được cải thiện tốt hơn qua các năm. Nguyên nhân là vào mùa mưa, lượng nước khai thác nước dưới đất giảm (chủ yếu khai thác phục vụ sản xuất) do người dân sử dụng một phần nước mưa thay thế và có sự bổ cập từ nguồn nước mưa vào nước dưới đất. Xu hướng này tương đồng với nghiên cứu của Nguyen et al. (2020), khi chỉ số GWQI trong mùa khô dao động từ 14,39 đến 240,73 và giảm xuống còn 13,44 – 134,44 vào mùa mưa. Sự tương đồng này cho thấy chất lượng nước dưới đất có sự biến động theo mùa và do ảnh hưởng của mức độ khai thác nước dưới đất.

Bảng 4. Diễn biến chất lượng nước dưới đất theo chỉ số GQWI giai đoạn 2015 - 2023

STT	Tầng chứa nước	Mùa	Thời gian (năm)								
			2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	Tầng qp ₃	Mùa khô	151	240	325	361	353	212	36	29	18
		Mùa mưa	172	314	402	357	437	242		21	13
2	Tầng qp ₂₋₃	Mùa khô	105	157	176	284	337	158	66	38	24
		Mùa mưa	122	107	194	179	181	171		43	27
3	Tầng qp ₁	Mùa khô	112	108	187	232	283	175	111	38	15
		Mùa mưa	130	75	224	182	138	133		32	20
4	Tầng n ₂ ²	Mùa khô	172	140	333	263	375	186	76	16	11
		Mùa mưa	130	75	224	182	138	133		32	20
5	Tầng n ₂ ¹	Mùa khô	103	149	161	420	112	54	75		
		Mùa mưa	105	75	190	128	14	63			
6	Tầng n ₁ ³	Mùa khô	40	73	43	104	47	28			
		Mùa mưa	32	39	26	73	20	42			

3.2.2. Chỉ số ô nhiễm tổng hợp - CPI

Diễn biến chất lượng nước dưới đất giai đoạn 2015 – 2023 trên địa bàn tỉnh Cà Mau dựa trên chỉ số ô nhiễm tổng hợp – CPI được thể hiện ở Bảng 5. Kết quả cho thấy, các tầng đều có sự ô nhiễm nhẹ (màu vàng) và tương tự với chỉ số GWQI ở Bảng 4, các tầng nước sâu (như: tầng n_2^1 và tầng n_1^3) có chất

lượng nước tốt hơn so với các tầng nước cạn, trong đó, tầng qp₃ chất lượng nước kém nhất so với các tầng khác. Giai đoạn năm 2021 – 2023, chất lượng nước dưới đất của các tầng được cải thiện hơn do có sự giảm số lượng chỉ tiêu quan trắc chất lượng nước dưới đất ở tất cả các tầng trong giai đoạn này. Đặc biệt là không quan trắc chất lượng nước vào mùa mưa của năm 2021 ở tất cả các tầng và tầng n_2^1

không quan trắc trong giai đoạn 2022 - 2023 và tầng n_1^3 không quan trắc trong giai đoạn 2021 - 2023. Đối với chỉ số CPI, kết quả cho thấy có sự biến động về chất lượng nước dưới đất theo mùa nhưng không đáng kể. So với chỉ số GWQI, chỉ số CPI cho thấy

mức độ ô nhiễm tổng thể theo thời gian dựa trên giá trị trung bình của các chỉ số, trong khi GWQI phản ánh mức độ ô nhiễm dựa trên trọng số của các chỉ tiêu đánh giá.

Bảng 5. Diễn biến chất lượng nước dưới đất theo chỉ số CPI giai đoạn 2015 - 2023

STT	Tầng chứa nước	Mùa	Thời gian (năm)								
			2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	Tầng qp ₃	Mùa khô	1,0	1,5	2,2	2,4	2,4	1,5	0,5	0,4	0,3
		Mùa mưa	1,1	2,2	2,8	2,4	3,1	1,8		0,3	0,3
2	Tầng qp ₂₋₃	Mùa khô	0,7	1,0	1,2	1,8	2,2	1,1	0,7	0,4	0,4
		Mùa mưa	0,8	0,8	1,3	1,2	1,2	1,2		0,4	0,4
3	Tầng qp ₁	Mùa khô	0,7	0,7	1,3	1,5	1,9	1,2	1,0	0,4	0,3
		Mùa mưa	0,8	0,6	1,5	1,2	1,0	1,0		0,4	0,4
4	Tầng n ₂ ²	Mùa khô	1,2	0,8	2,3	1,7	2,4	1,3	0,6	0,3	0,3
		Mùa mưa	1,5	1,0	2,3	1,6	1,3	1,1		0,3	0,3
5	Tầng n ₂ ¹	Mùa khô	0,6	0,9	1,2	3,3	1,7	1,0	0,8		
		Mùa mưa	0,7	0,6	1,4	0,7	0,3	0,9			
6	Tầng n ₁ ³	Mùa khô	0,4	0,7	0,5	0,9	0,8	0,5			
		Mùa mưa	0,4	0,4	0,3	0,6	0,2	0,7			

3.2.3. Chỉ số ô nhiễm kim loại nặng – HPI

Diễn biến chất lượng nước dưới đất giai đoạn 2015 – 2023 trên địa bàn tỉnh Cà Mau dựa trên chỉ số kim loại nặng HPI được thể hiện ở Bảng 6. Kết quả cho thấy, ít có sự biến động giữa các tầng theo

mùa và đều nằm trong giá trị an toàn. Giai đoạn 2021 - 2023, giá trị trung bình của chỉ số HPI thấp hơn nhiều so với giai đoạn 2015 - 2020 ở tất cả các tầng, trong đó, tầng n_2^1 và n_1^3 có giá trị thấp hơn so với các tầng khác. Điều này cho thấy, chất lượng nước ở tầng sâu tốt hơn so với các tầng nông.

Bảng 6. Diễn biến chất lượng nước dưới đất theo chỉ số HPI giai đoạn 2015 - 2023

STT	Tầng chứa nước	Mùa	Thời gian (năm)									Ghi chú
			2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1	Tầng qp ₃	Mùa khô	82	83	83	83	82	83	37	29	27	An toàn
		Mùa mưa	82	84	83	84	84	84		38	26	
2	Tầng qp ₂₋₃	Mùa khô	82	83	83	82	82	81	30	29	24	An toàn
		Mùa mưa	82	82	82	82	82	82		35	24	
3	Tầng qp ₁	Mùa khô	82	82	82	81	81	81	27	24	24	An toàn
		Mùa mưa	82	82	82	81	81	81		28	23	
4	Tầng n ₂ ²	Mùa khô	82	82	82	82	82	81	21	21	25	An toàn
		Mùa mưa	82	82	83	81	81	82		27	23	
5	Tầng n ₂ ¹	Mùa khô	30	61	39	30	21	26	21			An toàn
		Mùa mưa	31	34	45	31	39	33				
6	Tầng n ₁ ³	Mùa khô	39	46	36	29	21	40				An toàn
		Mùa mưa	34	32	40	29	39	46				

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Chất lượng nước dưới đất trên địa bàn tỉnh Cà Mau giai đoạn 2015 – 2023 có xu hướng cải thiện tốt hơn qua các năm và nằm trong giới hạn theo QCVN 09:2023/BTNMT, ngoại trừ các chỉ tiêu NH_4^+ và tổng T.Coliform có giá trị vượt so với giới hạn theo QCVN 09:2023/BTNMT. Tuy nhiên, cần

chú ý ở khu vực đô thị và nghĩa trang, bãi rác có dấu hiệu nhiễm vi sinh và ô nhiễm hữu cơ. Trong giai đoạn 2021 – 2023, hoạt động quan trắc chất lượng nước dưới đất trên địa bàn tỉnh Cà Mau có sự thay đổi, cụ thể là giảm số lượng chỉ tiêu quan trắc và không quan trắc ở 2 tầng sâu. Do vậy, vấn đề này có ảnh hưởng đến kết quả đánh giá chất lượng nước dưới đất trên địa bàn tỉnh Cà Mau.

Qua các chỉ số đánh giá về chất lượng nước dưới đất như GWQI, CPI và HPI, kết quả cho thấy chất lượng nước dưới đất nằm trong ngưỡng an toàn và khá tốt để phục vụ cho nhu cầu sử dụng khác nhau. Tuy nhiên, cần phải xử lý để đáp ứng mục tiêu sử dụng trước khi sử dụng nước dưới đất.

Kết quả nghiên cứu cho thấy có sự biến động chất lượng nước theo mùa, theo năm và theo tầng khai thác. Cụ thể, chất lượng nước dưới đất có xu hướng ngày càng tốt hơn, chất lượng nước ở tầng khai thác sâu tốt hơn so với các tầng khai thác cạn và có sự biến động về chất lượng nước theo mùa. Điều này có thể ảnh hưởng do nguyên nhân từ vị trí quan trắc khác nhau và đặc điểm về cấu tạo địa chất của các tầng nước khai thác cũng như và do sự biến động về động thái nước dưới đất. Kết quả nghiên

cứu này cho thấy sự biến động về chất lượng nước dưới đất trên địa bàn ở tỉnh Cà Mau thông qua đánh giá các chỉ tiêu chất lượng nước khác nhau. Do vậy, kết quả của nghiên cứu này giúp làm cơ sở khoa học cho các nghiên cứu tiếp theo làm rõ hơn về sự biến động chất lượng nước dưới đất thông qua việc đánh giá tác động của yếu tố khác nhau (như: vị trí quan trắc, mức độ khai thác, thay đổi sử dụng đất đai, phát triển kinh tế - xã hội, ...).

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Đề tài cấp tỉnh về Nước dưới đất của Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Cà Mau và Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Cà Mau đã cung cấp số liệu và tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình nghiên cứu để nhóm tác giả có thể hoàn thành bài báo khoa học này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & O'Connor, M. F. (1972). A water quality index — Crashing the psychological barrier. In W. A. Thomas (Ed.), *Indicators of environmental quality* (Vol. 1, pp. 173–182). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2856-8_15
- Ca Mau Department of Natural Resources and Environment. (2020). *Summary report on climate assessment of Ca Mau province*. People's Committee of Ca Mau Province.
- Do, H. T., Vu, T. M., & Dinh, M. C. (2017). Assessment of water quality in Nuoc Xanh Lake, An Son Commune, Thuy Nguyen District, Hai Phong City using Water Quality Index (WQI), Trophic State Index (TSI), and Heavy Metal Pollution Index (HPI). *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 33(1S), 45–54.
<https://js.vnu.edu.vn/EES/article/view/4147/3871>
- Duong, Q. T., Pham, M. D., Nguyen, D. G. N., Nguyen, H. T., & Van, P. D. T. (2018). Impact of rainfall changes on groundwater recharge fluctuations in shallow aquifers - A case study in Hau Giang province. *Can Tho University Journal of Science*, 54(6A), 1-11 (in Vietnamese).
<https://ctujsvn.ctu.edu.vn/index.php/ctujsvn/article/view/3001/818>
- Ha, Q. K., Le, T. N. V., Vo, P. L., Nguyen, H. Q., & Mukherjee, A. (2021). An assessment of groundwater quality for drinking and agricultural purposes in Ca Mau Peninsula, Vietnamese Mekong Delta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 964.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/964/1/012008/pdf>
- Ministry of Natural Resources and Environment. (2023). *National technical regulation on groundwater quality (QCVN 09:2023/BTNMT)*.
<https://datafiles.chinhphu.vn/cpp/files/vbpq/2023/3/01-btnmt-qc09.pdf>
- Nguyen, H. A., Truong, N. H., Pham, T. T. N., Tat, V. H. M., Phan, N. N. H., & Nguyen, K. Q. (2018). Application of groundwater quality index and principal component analysis for groundwater quality assessment in the Pleistocene aquifer, Tan Thanh District, Ba Ria - Vung Tau Province. *Journal of Science and Technology Development: Earth and Environmental Sciences*, 2(2), 107-115 (in Vietnamese).
<https://vjol.info.vn/index.php/DHQGHCM-TDMT/article/view/49157/39983>
- Nguyen, M. K., Cu, T. N., Nguyen, T. Q. H., & Nguyen, C. M (2019). Study on groundwater recharge potential from rainwater in Di An Town, Binh Duong Province. *Can Tho University Journal of Science*, 55(Environment Special Issue), 96-104 (in Vietnamese).
<https://ctujsvn.ctu.edu.vn/index.php/ctujsvn/article/view/3535>
- Nguyen, M. A., Nguyen, T. H., Bui, T. H., Nguyen, H. M., Cao, T. H., & Cao, T. S. (2020). Đánh giá chất lượng nước hồ An Dương, tỉnh Hải Dương sử dụng chỉ số chất lượng và các chỉ số ô nhiễm nước. *TNU Journal of Science and Technology*, 225(09), 39-46.
<https://jst.tnu.edu.vn/jst/article/view/3349/pdf>
- Nguyen, L. D., Nguyen, T. V. K., Nguyen, V. D., Tran, A. T., Nguyen, T. H., Heidbüchel, I., Merz, B., & Apel, H. (2021). Groundwater dynamics in the Vietnamese Mekong Delta: Trends, memory effects, and response times. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 33, 100746.
<https://gfzpublic.gfz->

- potsdam.de/rest/items/item_5004613_4/component/file_5004687/content
- Nguyen, T. G., Phan, K. A., & Huynh, T. H. N. (2022). Groundwater quality assessment using groundwater quality index and multivariate statistical methods and human health risk assessment in a coastal region of the Vietnamese Mekong Delta. *Applied Environmental Research*, 44(2), 68–85.
<https://doi.org/10.35762/AER.2022.44.2.6>
- Nguyen, T. N., Nguyen, H. T., Luong, H. B. N., Tran, V. T., Le, A. T., & Huynh, V. T. M. (2022). Groundwater level and quality fluctuations: A study in the qp₂₋₃ aquifer in the Ca Mau Peninsula, Vietnam. *Vietnam Journal of Agriculture and Rural Development*, Issue 1, 80-88 (in Vietnamese).
<https://nsti.vista.gov.vn/publication/download/hE/qFqFZhPCjsUe.html>
- Nguyen, T. T. T., Duong, T. T. T., Doan, V. C., Nguyen, T. C., & Nguyen, P. C. (2019). Groundwater resource fluctuations and orientation for rational exploitation and protection in the Mekong Delta. *Journal of Mining and Geology Science and Technology*.
https://qlkh.humg.edu.vn/CongBo/Download/2868?FileName=Co%20NgThuy_DThuy_KH%20VietGeo.2019.pdf
- Mohan, S. V., Nithila, P., & Reddy, S. J. (1996). 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 & Toxicology*, 31(2), 283–289.
<https://doi.org/10.1080/10934529609376357>
- People's Committee of Ca Mau Province. (2021). *Decision No. 2325/QĐ-UBND on the approval of the list and zoning map of restricted groundwater exploitation areas in Ca Mau Province (in Vietnamese)*.
<https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Tai-nguyen-Moi-truong/Quyết-dinh-2325-QĐ-UBND-2021-Danh-muc-phan-vung-han-che-khai-thac-nuoc-duoi-dat-Ca-Mau-496432.aspx>
- People's Committee of Ca Mau Province. (2022). *A comprehensive report (draft) on the provincial planning of Ca Mau for the period 2021-2030, with a vision to 2050 (in Vietnamese)*.
<https://hdnd.camau.gov.vn/filedocument/3.-Bao-cao-tom-tat-co-dong-dau1.pdf>
- Phan, K. T., Van, P. D. T., Tran, T. L. H., & Nguyen, T. K. D. (2015). Current status of groundwater exploitation, usage, and management in Vinh Chau Town, Soc Trang Province. *Can Tho University Journal of Science, Special Issue: Environment and Climate Change*, 246-253 (in Vietnamese).
<https://ctujsvn.ctu.edu.vn/index.php/ctujsvn/article/view/2366/1453>
- Southern Division for Water Resources Planning and Investigation. (2019). *Investigation and assessment of groundwater resources in the key economic region of the Mekong Delta (in Vietnamese)*
- Tran, T. L. H., Tran, V. T., Nguyen, T. A., & Van, P. D. T. (2017). Impact of saltwater intrusion on groundwater management and usage in coastal areas of Soc Trang Province. *Can Tho University Journal of Science, Special Issue: Environment and Climate Change*, (2), 178-186.
<https://ctujsvn.ctu.edu.vn/index.php/ctujsvn/article/view/2997/822>
- 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), 95-104.
<https://js.vnu.edu.vn/EES/article/view/4781>