

Đánh giá xu hướng biến động và tốc độ suy giảm mực nước dưới đất tại Phú Lợi, thành phố Cần Thơ giai đoạn 2000-2024

Nguyễn Hoàng Nhật^{1*}, Trần Đăng An², Triệu Ánh Ngọc², Đỗ Văn Quang²

¹*Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, 20B Phó Cơ Điều,*

phường Phước Hậu, tỉnh Vĩnh Long, Việt Nam

²*Phân hiệu Trường Đại học Thủy Lợi, 2 Trường Sa,*

phường Gia Định, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 23/3/2026; ngày chuyển phản biện 25/3/2026;

ngày nhận phản biện 20/4/2026; ngày chấp nhận đăng 29/4/2026

Tóm tắt:

Nghiên cứu nhằm đánh giá biến động mực nước dưới đất ở tất cả bảy tầng chứa nước tại phường Phú Lợi, thành phố Cần Thơ (Trung tâm TP. Sóc Trăng trước sáp nhập) dựa trên chuỗi dữ liệu quan trắc từ năm 2000 đến năm 2024. Áp dụng phương pháp kiểm định phi tham số Mann-Kendall và độ dốc Sen để xác định xu hướng biến động và tốc độ suy giảm của từng tầng. Kết quả cho thấy, ngoại trừ tầng qh không có xu hướng rõ ràng, sáu tầng còn lại có xu hướng giảm với biên độ dao động từ 0,38 đến 0,6 m/năm (có ý nghĩa $p < 0,001$). Trong giai đoạn nghiên cứu, tầng qp₂₋₃ và qp₁ ghi nhận tốc độ giảm nhanh đầu tiên. Tầng n₁³ có tốc độ suy giảm ngày càng nhanh. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc đánh giá hiện trạng tài nguyên nước dưới đất và nhận diện các tầng chứa nước có nguy cơ suy giảm mạnh.

Từ khóa: biến động mực nước, mực nước dưới đất, Phú Lợi, tốc độ suy giảm.

Chỉ số phân loại: 2.1, 2.7

Assessment of groundwater level trends and decline rates in Phu Loi ward, Can Tho city for the period 2000-2024

Hoang Nhat Nguyen^{1*}, Dang An Tran², Anh Ngoc Trieu², Van Quang Do²

¹*MienTay Construction University, 20B Pho Co Dieu Street,*

Phuoc Hau Ward, Vinh Long Province, Vietnam

²*Thuy Loi University - Southern Campus, 2 Truong Sa Street,*

Gia Dinh Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 23 March 2026; revised 20 April 2026; accepted 29 April 2026

*Tác giả liên hệ: Email: nguyenhoangnhat@mtu.edu.vn

Abstract:

This study aims to assess groundwater-level variations across all seven aquifers in Phu Loi ward, Can Tho city, based on a series of monitoring data from 2000 to 2024. The non-parametric Mann-Kendall test and Sen's slope estimator were applied to determine the trend and the decline rate of each aquifer. The results showed that except for the qh aquifer, which exhibited no significant trend, the remaining six aquifers showed a downward trend, with decline rates ranging from 0.38 to 0.6 m/year ($p < 0.001$). During the study period, the qp₂₋₃ and qp₁ aquifers recorded the earliest rapid declines in groundwater level. The n₁³ aquifer showed an increasingly rapid rate of groundwater-level decline. The results provide a scientific basis for evaluating groundwater-resource conditions and identifying aquifers at risk of severe depletion.

Keywords: decline rate, groundwater level, Phu Loi ward, water level variations.

Classification number: 2.1, 2.7

1. Đặt vấn đề

Nước dưới đất là một trong những nguồn tài nguyên chiến lược đảm bảo an ninh nguồn nước, thúc đẩy phát triển bền vững kinh tế - xã hội. Hiện nay, Việt Nam đang phải đối diện với nguy cơ suy giảm về lưu lượng và chất lượng nguồn nước mặt ở các khu vực ven biển, dẫn tới hiện trạng đầy mạnh khai thác nguồn nước dưới đất. Kết quả là trữ lượng nước dưới đất ngày suy giảm và mực nước dưới đất (MNĐĐ) đang hạ thấp dần theo thời gian, đặc biệt là các khu vực ven biển Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL).

ĐBSCL là đồng bằng phù sa sông có dân số 17,3 triệu người, diện tích 4 triệu ha, hơn một nửa được sử dụng để phát triển nông nghiệp, đảm bảo an ninh lương thực cho cả nước, chiếm khoảng trên 50% lương thực xuất khẩu [1, 2]. Do vậy, nguồn nước dưới đất tại khu vực này đã được khai thác từ rất lâu để phục vụ cho sản xuất. Trong những năm gần đây, thay đổi cơ cấu sử dụng đất, xây dựng hệ thống đê bao nhằm tăng vụ sản xuất cùng với các công trình thủy điện trên sông Mê Kông đã phá vỡ chế độ lũ tự nhiên, thay đổi cơ chế bổ cấp nguồn nước tự nhiên [3, 4]. Công tác quản lý khai thác còn nhiều bất cập, gây ra hiện trạng suy giảm MNĐĐ. Theo nhiều nghiên cứu, suy giảm MNĐĐ là nguyên nhân chính dẫn đến hiện trạng sụt lún đất, ước tính tỷ lệ sụt lún trung bình do khai thác nước dưới đất lên tới 1,1 cm/năm, sụt lún trung bình 18 cm trong 25 năm tại khu vực ĐBSCL [5].

Tài nguyên nước dưới đất của ĐBSCL được nghiên cứu từ rất sớm. Các nghiên cứu tập trung vào đánh giá chất lượng nguồn nước [6], tình trạng xâm nhập mặn ở các tầng chứa nước ven biển [7], mối quan hệ giữa nước dưới đất và nước mặt [8, 9], hiệu ứng nhớ và thời gian vận chuyển của nước dưới đất [10, 11]. Các công bố phần lớn đánh giá chung cho cả khu vực, tuy đã bao gồm cả khu vực phường Phú Lợi nhưng chưa được chi tiết. Bên cạnh đó, rất ít các công trình nghiên cứu về đánh giá biến động MNĐĐ trong chuỗi thời gian lớn, đặc biệt là trong giai đoạn gần đây khi nhu cầu khai thác tăng mạnh.

Đánh giá biến động MNĐĐ áp dụng phương pháp phân tích xu hướng kết hợp phân tích chuỗi thời gian bằng kiểm định phi tham số Mann-Kendall và ước lượng độ dốc của Sen [12-14]. Kiểm định phi tham số Mann-Kendall là một trong những phương pháp phát hiện xu hướng được sử dụng rộng rãi nhất trong việc đánh giá các thông số môi trường, không bị ảnh hưởng bởi phân phối chuẩn và giá trị ngoại lai [15]. Mục đích nghiên cứu này tìm ra xu hướng biến động và tốc độ suy giảm của bẫy tầng nước dưới đất trong giai đoạn từ năm 2000 đến 2024. Kết quả này phục vụ cho công tác quản lý cấp phép khai thác và góp phần xây dựng bản đồ quy hoạch sử dụng tài nguyên nước.

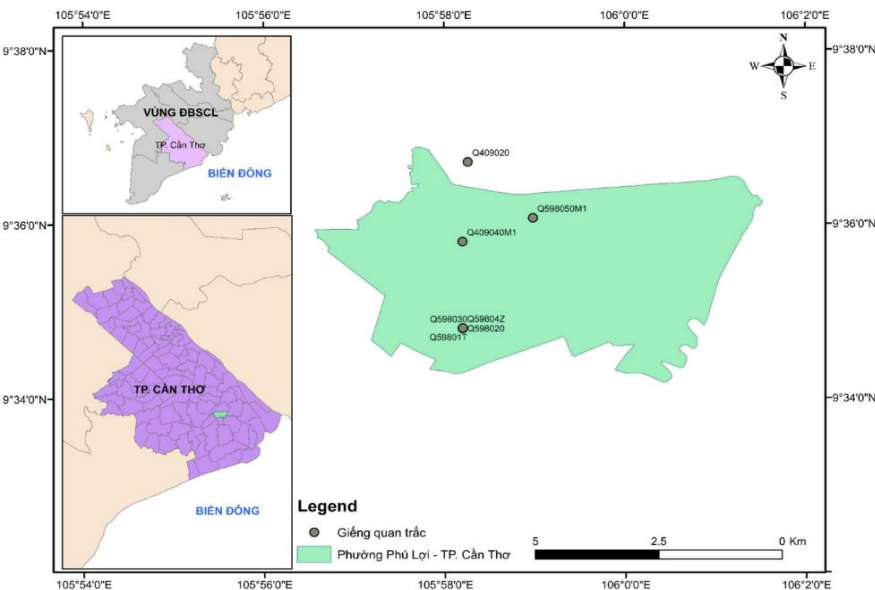
2. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu thuộc phường Phú Lợi, nằm ở phía nam của TP. Cần Thơ (từng là trung tâm của TP. Sóc Trăng trước sáp nhập), thuộc lưu vực sông Hậu vùng ĐBSCL (hình 1). Vùng này có khí hậu nhiệt đới (nhiệt độ 26°C , lượng mưa 2.100 mm/năm), thuận lợi cho sản xuất và sinh hoạt, nhất là sản xuất nông nghiệp [16]. Địa hình bao gồm phần đất bằng xen kẽ những vùng trũng và các gò cát với độ cao trung bình từ 0,4 đến 1 m so với mực nước biển [17].

Khu vực phường Phú Lợi có đầy đủ các tầng chứa nước dưới đất đặc trưng của ĐBSCL, phù hợp cho việc đánh giá xu hướng biến động MNĐĐ theo chiều sâu. Các tầng chứa nước gồm: tầng chứa nước Holocen (qh), tầng chứa nước Pleistocen trên (qp_3), tầng chứa nước Pleistocen giữa - trên (qp_{2-3}), tầng chứa nước Pleistocen dưới (qp_1), tầng chứa nước Pliocen giữa (n_2^2), tầng chứa nước Pliocen dưới (n_2^1) và tầng chứa nước Miocen trên (n_1^3). Năm 2024, tại khu vực nghiên cứu, ghi nhận MNĐĐ suy giảm 0,54 m ở tầng qp_3 và 0,9 m ở tầng qp_{2-3} , các tầng nước dưới đất còn lại cũng ghi nhận xu hướng giảm [18]. Hiện nay, do còn nhiều khó khăn trong công tác thu thập số liệu, nên các nghiên cứu chỉ phân tích trong chuỗi thời gian ngắn, vì thế nghiên cứu tốc độ suy giảm MNĐĐ trong một giai đoạn kéo dài tại khu vực này là hết sức cần thiết.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Thu thập dữ liệu



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu và các điểm quan trắc nước dưới đất.

Nghiên cứu sử dụng chuỗi số liệu quan trắc MNĐĐ tại khu vực Phước Lợi, từ tháng 1 năm 2000 đến tháng 12 năm 2024. Bộ dữ liệu được thu thập từ bảy giếng quan trắc đại diện cho bảy tầng chứa nước. Vị trí các giếng được xác định theo hệ tọa độ địa lý WGS84 và được thể hiện trong bảng 1 và hình 1.

Toàn bộ dữ liệu được kiểm tra nhằm đánh giá tính đầy đủ, tính liên tục và độ tin cậy của chuỗi số liệu. Các giá trị khuyết thiếu chiếm tỷ lệ nhỏ, được xử lý bằng phương pháp nội suy tuyến tính theo chuỗi thời gian để đảm bảo tính liên tục của dữ liệu. Để giảm ảnh hưởng của các dao động ngắn hạn và làm nổi bật xu hướng dài hạn, số liệu được tổng hợp dưới dạng giá trị trung bình tháng và trung bình năm trước khi thực hiện các phân tích thống kê.

Bảng 1. Tổng hợp các vị trí thu thập dùng cho phân tích.

STT	Tầng	Mã hiệu	Vĩ độ (N)	Kinh độ (E)
1	qh	Q59801T	9°34'48.347" N	105°58'11.796" E
2	qp ₃	Q409020	9°36'42.842" N	105°58'14.546" E
3	qp ₂₋₃	Q598020	9°34'48.181" N	105°58'12.848" E
4	qp ₁	Q598030	9°34'48.347" N	105°58'11.796" E
5	n ₂ ²	Q409040M1	9°35'47.960" N	105°58'11.175" E
6	n ₂ ¹	Q59804Z	9°34'48.444" N	105°58'11.996" E
7	n ₁ ³	Q598050M1	9°36'4.203" N	105°58'58.646" E

3.2. Phân tích xu hướng

Để xác định xu hướng biến động MNĐĐ, nghiên cứu đã áp dụng phương pháp kiểm định phi tham số Mann-Kendall và độ dốc Sen [9-11]. Đây là phương pháp hiệu quả trong phân tích môi trường và ít chịu tác động của các yếu tố nhiễu. Phương pháp Mann-Kendall kiểm tra xu hướng đơn trong chuỗi dữ liệu mực nước trung bình hàng tháng ở mỗi tầng chứa nước. Xác định hệ số Kendall Tau và giá trị thống kê Z để đánh giá mối liên hệ giữa thời gian và sự biến đổi của mực nước. Kết quả cho ra ba thông số chính: (i) xu hướng (tăng, giảm hoặc không có xu hướng rõ ràng), (ii) giá trị p-value để xác định mức độ ý nghĩa thống kê và (iii) hệ số Tau cho biết mức độ mạnh yếu của xu hướng.

Phương pháp kiểm định phi tham số Mann-Kendall so sánh từng phần tử dữ liệu với các điểm dữ liệu tiếp theo theo thời gian. Nếu dữ liệu $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ được sắp xếp ngẫu nhiên và độc lập, thì giả thuyết vô hiệu được chấp nhận. Nếu phân phối của x_i và x_j không giống hệt nhau với mọi $i, j \leq n$ với $i \neq j$, tồn tại xu hướng trong chuỗi thời gian.

Chỉ số thống kê Mann-Kendall được tính bởi:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

trong đó, n là số điểm dữ liệu, x_i và x_j lần lượt là điểm dữ liệu thứ i và thứ j ($j > i$). Giá trị $S > 0$ cho thấy xu hướng tăng, $S < 0$ cho thấy xu hướng giảm.

Với $n > 10$, phương sai của S được tính như sau:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^m t_k(t_k-1)(2t_k+5)}{18} \quad (2)$$

trong đó, n là tổng số điểm dữ liệu, m là số nhóm có giá trị giống nhau và t_i là số phần tử trong nhóm giống nhau thứ i .

Để xác định ý nghĩa của xu hướng dùng thống kê kiểm định Z:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & (S > 0) \\ 0 & (S = 0) \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & (S < 0) \end{cases} \quad (3)$$

Phương pháp độ dốc Sen dùng để xác định tốc độ hay mức độ giảm hoặc tăng trung bình của MNĐĐ, đơn vị m/tháng (hoặc quy đổi m/năm khi nhân với 12). Phương pháp này tính toán trung vị của tất cả các độ dốc giữa các cặp điểm dữ liệu trong chuỗi thời

gian và được xem là một cách tiếp cận ổn định khi dữ liệu có sự nhiễu. Công thức ước tính độ dốc cho n cặp dữ liệu:

$$\beta = \frac{x_i - x_k}{j - k} \quad (4)$$

$$(i=1, 2, \dots, n)$$

trong đó, x_j và x_k lần lượt là giá trị dữ liệu tại thời điểm j và k ($j > k$). Ước lượng độ dốc của Sen bằng trung vị của β_i cho n cặp điểm dữ liệu. Xu hướng tăng khi $\beta_i > 0$ và xu hướng giảm khi $\beta_i < 0$. Ước lượng của Sen về giá trị độ dốc cho số nguyên lẻ n :

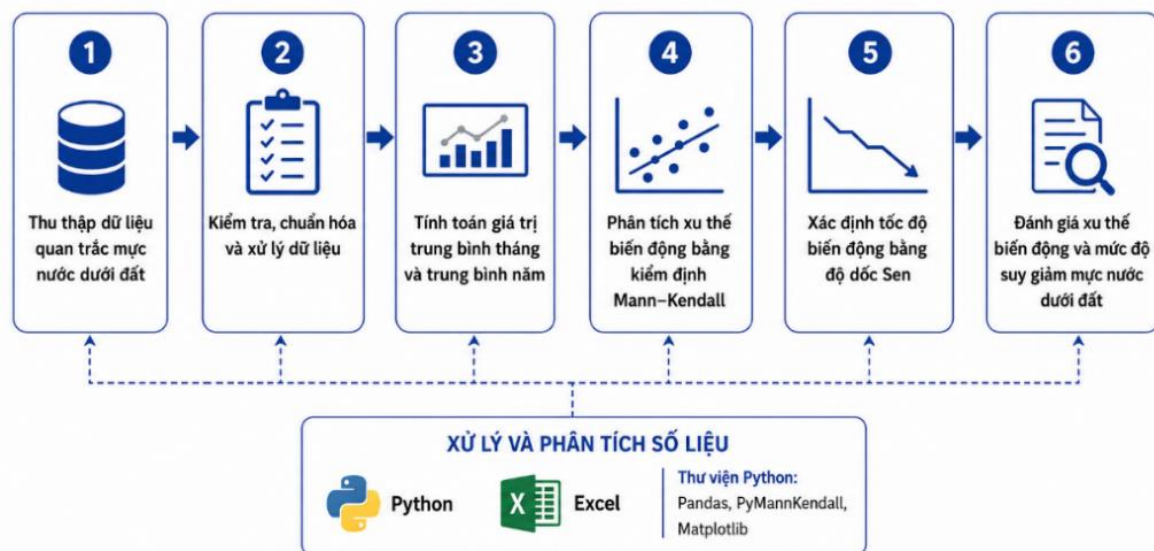
$$\beta_m = \beta \left[\frac{(n+1)}{2} \right] \quad (5)$$

Đối với số n chẵn, ước lượng độ dốc của Sen được tính như sau:

$$\beta_m = \frac{1}{2} \left[\beta \left(\frac{n}{2} \right) + \beta \left(\frac{(n+2)}{2} \right) \right] \quad (6)$$

Phân tích dữ liệu bằng ngôn ngữ lập trình Python (thông qua IDE PyCharm). Dữ liệu đầu vào được lưu trữ dưới dạng tệp bảng tính gồm bảy tầng nước, mỗi tầng được phân tích độc lập. Chuỗi số liệu mực nước trung bình hàng tháng bao gồm 300 tháng.

3.3. Quy trình nghiên cứu



Hình 2. Sơ đồ quy trình nghiên cứu.

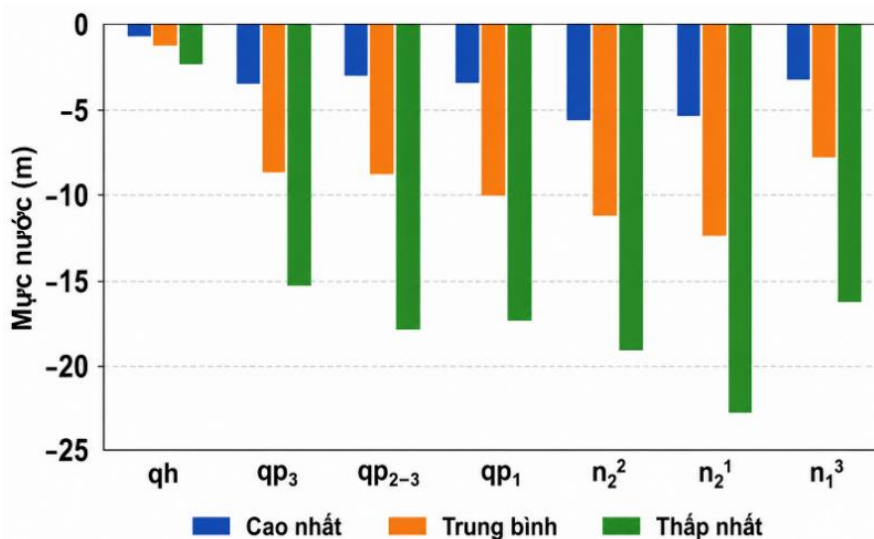
Quy trình nghiên cứu được thực hiện theo sáu bước chính (hình 2). Dữ liệu MNĐĐ được thu thập từ các giếng quan trắc, kiểm tra, chuẩn hóa và xử lý nhằm bảo đảm tính liên tục và độ tin cậy của chuỗi số liệu. Các giá trị trung bình tháng và trung bình năm

được tính toán trên phần mềm Microsoft Excel để phục vụ phân tích xu thế dài hạn. Chuỗi số liệu sau xử lý được thực hiện kiểm định Mann-Kendall và ước lượng độ dốc Sen bằng ngôn ngữ lập trình Python. Kết quả phân tích được sử dụng để xác định xu hướng biến động, đánh giá tốc độ suy giảm MNĐĐ tại từng tầng chứa nước.

4. Kết quả và bàn luận

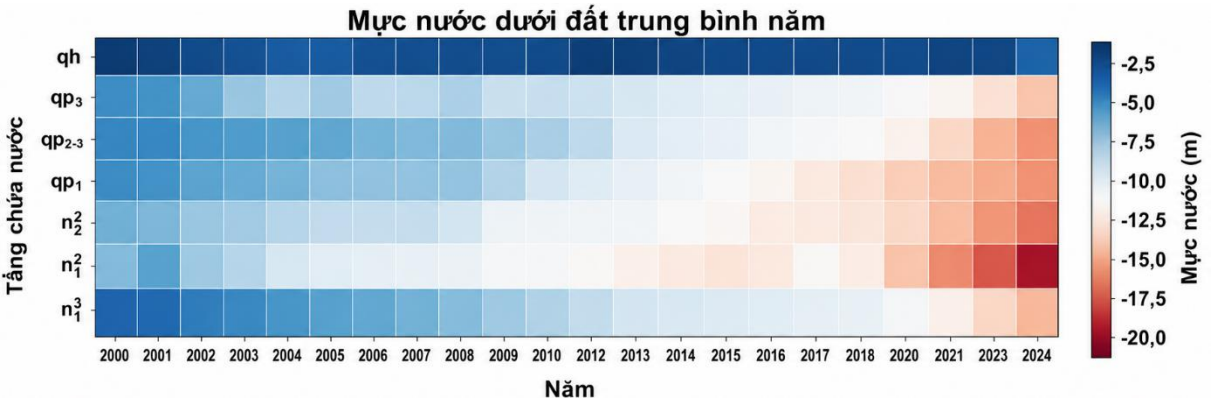
4.1. Đặc điểm biến động mực nước dưới đất

Đặc điểm MNĐĐ tại khu vực nghiên cứu được thể hiện thông qua giá trị lớn nhất, trung bình và nhỏ nhất của các tầng chứa nước trong giai đoạn 2000-2024 (hình 3). Kết quả cho thấy, mực nước có sự phân hóa rõ rệt theo chiều sâu phân bố của các tầng chứa nước.



Hình 3. Giá trị mực nước cao nhất, trung bình và thấp nhất.

Tầng qh có giá trị mực nước dao động từ -2,43 đến -0,57 m, giá trị trung bình đạt khoảng -1,28 m. Biên độ dao động tương đối nhỏ, phản ánh khả năng bổ cấp thường xuyên từ nguồn nước mưa và nước mặt. Các tầng chứa nước sâu mực nước thấp đáng kể. Trong đó, tầng n₂¹ có giá trị thấp nhất đạt -22,38 m và giá trị trung bình khoảng -12,29 m. Các tầng qp₁, qp₂₋₃, n₂² và n₁³ đều có giá trị cực tiểu thấp hơn -15 m, cho thấy mực nước suy giảm rõ rệt. Biên độ dao động giữa giá trị cực đại và cực tiểu tăng dần theo chiều sâu. Điều này phản ánh quá trình hạ thấp mực nước diễn ra liên tục trong thời gian dài, đặc biệt tại các tầng chứa nước sâu.



Hình 4. Mức nước của bảy tầng nước dưới đất trong giai đoạn nghiên cứu.

Diễn biến mức nước trung bình năm cho thấy, xu hướng hạ thấp mức nước xuất hiện ở hầu hết các tầng chứa nước trong giai đoạn nghiên cứu (hình 4). Các dải màu có sự chuyển đổi rõ rệt từ tông lạnh sang nóng. Mức nước có xu hướng chuyển từ nhóm giá trị cao sang nhóm giá trị thấp theo thời gian.

4.2. Xu thế biến động mức nước dưới đất

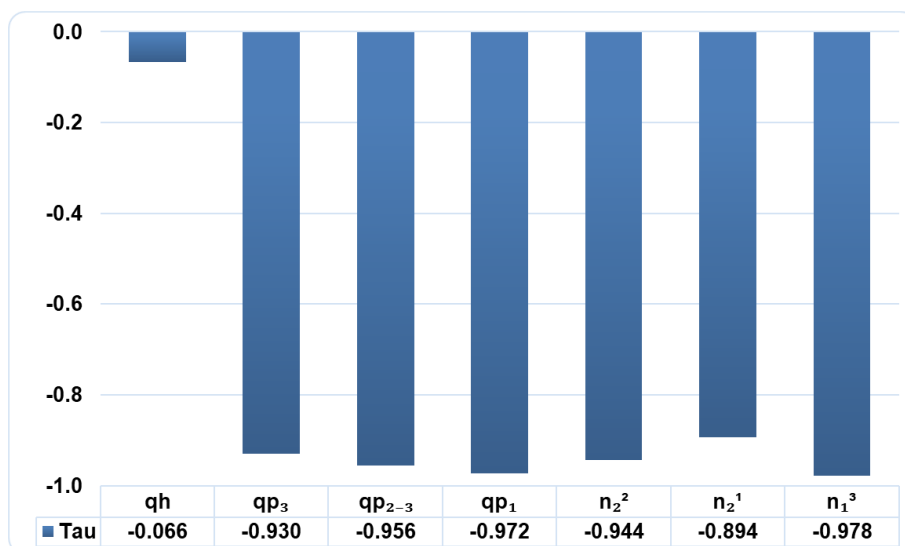
Kết quả kiểm định Mann-Kendall và ước lượng độ dốc Sen cho thấy, sáu trong bảy tầng chứa nước ghi nhận xu thế giảm có ý nghĩa thống kê ($p\text{-value}<0,001$) (bảng 2). Riêng tầng qh có $p\text{-value}=0,0886$ nên chưa đủ cơ sở để khẳng định sự tồn tại của quy luật biến động.

Bảng 2. Kết quả phân tích Mann-Kendall và độ dốc Sen.

Tầng	Xu hướng	Z	p-value	Tau	Độ dốc Sen (m/tháng)	Hệ số chặn	Kết luận
qh	không rõ ràng	-1,703	0,0886	-0,066	-0,00064	-1,119	không ý nghĩa
qp ₃	giảm	-24,013	<0,001	-0,930	-0,03188	-3,508	có ý nghĩa
qp ₂₋₃	giảm	-24,682	<0,001	-0,956	-0,04562	-0,640	có ý nghĩa
qp ₁	giảm	-25,102	<0,001	-0,972	-0,05026	-2,131	có ý nghĩa
n ₂ ²	giảm	-24,394	<0,001	-0,944	-0,03673	-5,485	có ý nghĩa
n ₂ ¹	giảm	-23,098	<0,001	-0,894	-0,04105	-5,287	có ý nghĩa
n ₁ ³	giảm	-25,265	<0,001	-0,978	-0,04121	-0,850	có ý nghĩa

Giá trị $p\text{-value}<0,001$ được ghi thay cho 0 vì $p\text{-value}$ không bao giờ bằng 0 tuyệt đối. Độ dốc Sen có đơn vị m/tháng; khi nhân 12 sẽ quy đổi thành m/năm.

Giá trị thống kê Z của các tầng chứa nước dao động từ -23,098 đến -25,265. Theo kiểm định Mann-Kendall, khả năng xuất hiện xu thế giảm do ngẫu nhiên là rất thấp. Điều này khẳng định sự suy giảm MNĐĐ tại các tầng chứa nước trung bình và sâu là một xu thế thực sự tồn tại trong chuỗi số liệu quan trắc.



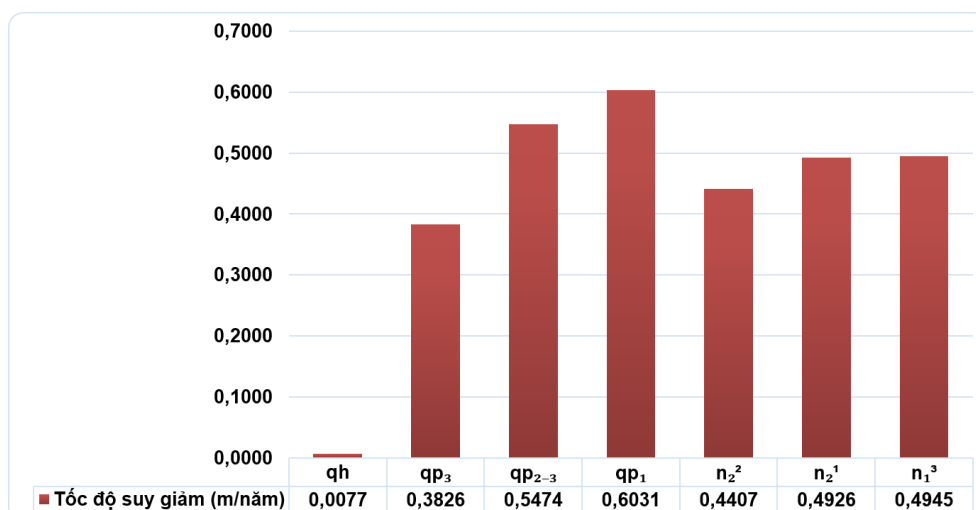
Hình 5. Hệ số Kendall Tau của các tầng chứa nước.

Mức độ mạnh yếu của xu thế được thể hiện thông qua hệ số Kendall Tau (hình 5). Các tầng chứa nước sâu đều có giá trị Tau lớn hơn 0,89. Giá trị lớn nhất được ghi nhận tại tầng n₁³ (0,978), các giá trị này tiệm cận 1, phản ánh mối tương quan đơn điệu rất mạnh giữa thời gian và sự hạ thấp mực nước. Tầng qh chỉ đạt giá trị Tau khoảng 0,066, phù hợp với kết quả kiểm định cho thấy chưa xuất hiện xu thế biến động có ý nghĩa thống kê.

Sự thống nhất giữa kết quả thống kê mô tả và diễn biến chuỗi thời gian cho thấy hiện tượng suy giảm MNĐĐ không phải là biến động cục bộ trong một vài năm riêng lẻ mà là quá trình diễn ra liên tục trong suốt thời gian nghiên cứu.

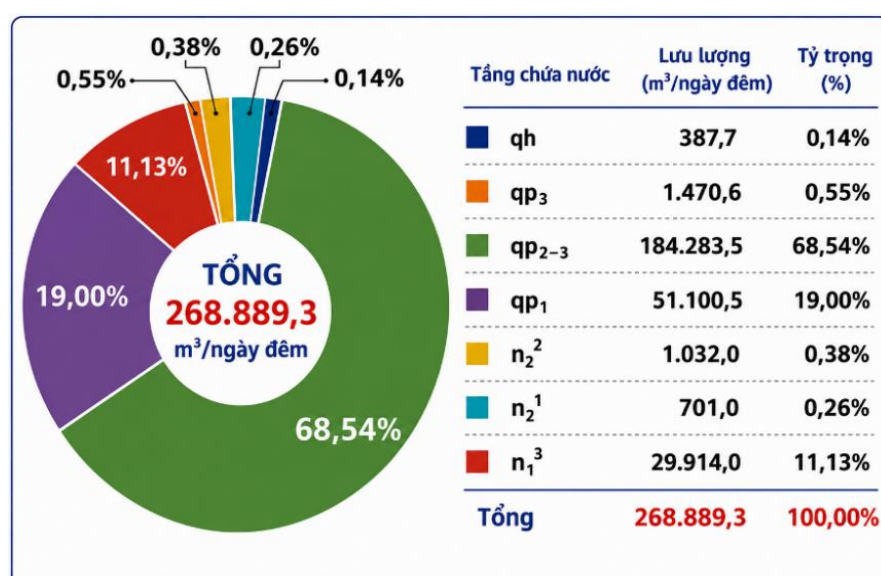
4.3. Tốc độ suy giảm mực nước dưới đất

Kết quả ước lượng độ dốc Sen cho thấy, MNĐĐ có xu hướng hạ thấp với tốc độ khác nhau giữa các tầng chứa nước (hình 6). Tầng qp₁ ghi nhận tốc độ suy giảm lớn nhất, khoảng 0,60 m/năm, tiếp theo là tầng qp₂₋₃ với khoảng 0,55 m/năm. Các tầng n₂², n₂¹ và n₁³ có tốc độ suy giảm dao động từ 0,44 đến 0,49 m/năm. Trong khi đó, tầng qh chỉ ghi nhận mức biến động rất nhỏ và không có ý nghĩa thống kê.



Hình 6. Tốc độ suy giảm mực nước theo tầng.

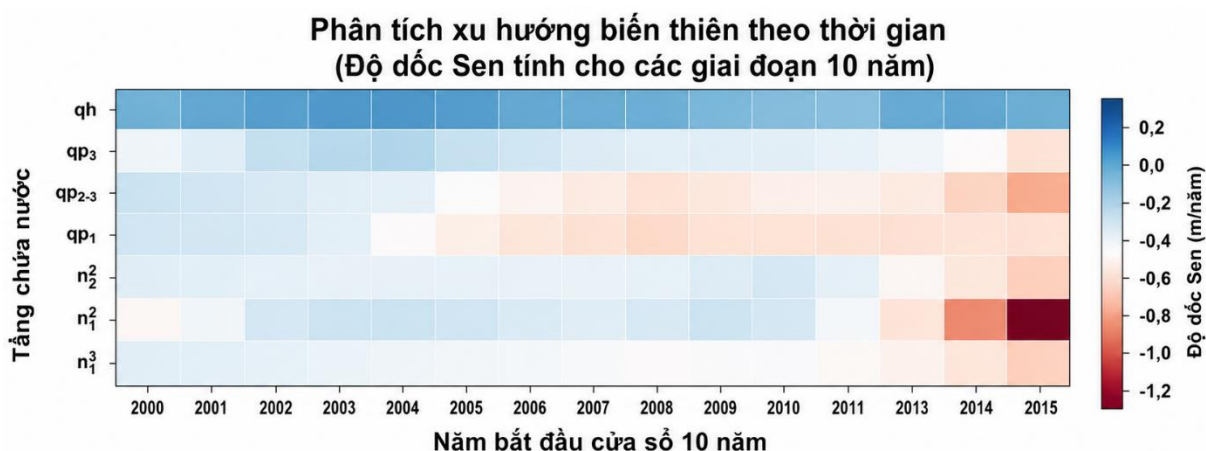
Kết quả này tương đối phù hợp với hiện trạng khai thác nước dưới đất tại khu vực nghiên cứu. Các tầng qp₂₋₃, qp₁ và n₁³ hiện được khai thác với lưu lượng lớn để phục vụ nhu cầu sinh hoạt và sản xuất (hình 7). Sự tương đồng giữa phân bố lưu lượng khai thác và tốc độ suy giảm mực nước cho thấy hoạt động khai thác là một trong những nguyên nhân quan trọng dẫn đến hiện tượng hạ thấp MNĐĐ trong khu vực.



Hình 7. Lưu lượng khai thác theo tầng chứa nước tại tỉnh Sóc Trăng (trước sáp nhập) năm 2023 [16].

Phân tích trên các cửa sổ thời gian giai đoạn 10 năm với bước tăng một năm cho thấy, xu hướng suy giảm không xuất hiện đồng thời giữa các tầng chứa nước mà có sự khác biệt theo từng giai đoạn (hình 8). Tại các tầng qp₁ và qp₂₋₃, xu hướng hạ thấp mực nước đã được ghi nhận từ giữa những năm 2000 và duy trì tương đối liên tục đến cuối

giai đoạn nghiên cứu. Mức độ suy giảm ở tầng n_2^1 trong các năm gần đây trở nên rõ rệt hơn, phản ánh sự gia tăng áp lực khai thác đối với tầng chứa nước sâu.



Hình 8. Xu thế biến động theo cửa sổ thời gian 10 năm.

Giới hạn mực nước khai thác của tầng chứa nước tại khu vực nghiên cứu từ 30 đến 35 m. Hiện trạng suy giảm mực nước kéo dài ảnh hưởng đến khả năng khai thác của các công trình hiện hữu. Để khai thác bền vững tài nguyên nước dưới đất, cần duy trì mạng lưới quan trắc, kiểm soát lưu lượng khai thác và thường xuyên cập nhật thông tin về diễn biến mực nước.

5. Kết luận và kiến nghị

Nghiên cứu sử dụng kiểm định phi tham số Mann-Kendall và độ dốc Sen để đánh giá xu thế biến động MNĐĐ tại phường Phú Lợi, TP. Cần Thơ trong giai đoạn 2000-2024. Kết quả cho thấy, MNĐĐ có xu hướng hạ thấp ở hầu hết các tầng chứa nước được quan trắc. Trong bảy tầng chứa nước được phân tích, sáu tầng xuất hiện xu thế giảm có ý nghĩa thống kê ($p\text{-value} < 0,001$), trong khi tầng qh chưa ghi nhận xu thế biến động rõ ràng.

Các tầng qp_1 , qp_{2-3} và n_1^3 ghi nhận tốc độ suy giảm mạnh (từ 0,49 đến 0,60 m/năm) và hệ số Kendall Tau lớn hơn 0,95. Điều này phản ánh tình trạng suy giảm kéo dài của các tầng chứa nước đang được khai thác chủ yếu trong khu vực nghiên cứu. Tầng qp_{2-3} chiếm tỷ trọng khai thác lớn nhất và cũng ghi nhận tốc độ suy giảm cao, cho thấy áp lực khai thác có liên quan chặt chẽ đến quá trình hạ thấp MNĐĐ.

Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho đánh giá hiện trạng nguồn nước, góp phần xây dựng bản đồ quy hoạch và khai thác tài nguyên nước trong khu vực. Mạng lưới quan trắc cần được duy trì nhằm theo dõi diễn biến MNĐĐ trong dài hạn.

Nghiên cứu được thực hiện trên cơ sở chuỗi số liệu quan trắc MNĐĐ và tập trung đánh giá xu hướng biến động theo thời gian. Các yếu tố tác động như mùa vụ, lượng mưa và địa chất thủy văn chưa được đề cập. Trong các nghiên cứu tiếp theo, cần phân

tích sâu nguyên nhân và mở rộng phạm vi nghiên cứu, góp phần làm rõ cơ chế suy giảm mực nước, nâng cao khả năng dự báo và hỗ trợ xây dựng các giải pháp quản lý phù hợp cho khu vực nghiên cứu.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo này là sản phẩm của đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ Nông nghiệp và Môi trường: “Nghiên cứu ứng dụng công nghệ thu, lọc, lưu trữ nước mưa bổ cập nước ngầm các giồng cát ven biển (ASR) và công nghệ thu nước ngọt trong sông vùng ảnh hưởng triều (FCFS) phục vụ nhu cầu sinh hoạt và nuôi trồng thủy sản vùng Đồng bằng sông Cửu Long”, mã số ĐTKHCN.54/29/25. Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn cơ quan quản lý, cơ quan chủ trì và các đơn vị phối hợp đã hỗ trợ thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] P. Thuan (2020), “Population structure change in the Mekong delta: Current and policy implications”, *VNU Journal of Science: Policy and Management Studies*, **36(1)**, DOI: 10.25073/2588-1116/vnupam.4221.

[2] T.D. Hoa (2018), “Some key trends and strategic perspectives for sustainable development and climate change adaptation in the Mekong delta”, *Journal of Water Resources Science and Technology*, **42** (in Vietnamese).

[3] D. Li, D. Long, J. Zhao, et al. (2017), “Observed changes in flow regimes in the Mekong river basin”, *Journal of Hydrology*, **551**, pp.217-232, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.05.061.

[4] J.S. Hecht, G. Lacombe, M.E. Arias, et al. (2019), “Hydropower dams of the Mekong river basin: A review of their hydrological impacts”, *Journal of Hydrology*, **568**, pp.285-300, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.10.045.

[5] P.S.J. Minderhoud, G. Erkens, V.H. Pham, et al. (2017), “Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam”, *Environmental Research Letters*, **12(6)**, DOI: 10.1088/1748-9326/aa7146.

[6] N.D.G. Nam, G. Akira, O. Kazutoshi, et al. (2019), “Assessment of groundwater quality and its suitability for domestic and irrigation use in the coastal zone of the Mekong delta, Vietnam”, *Advances in Global Change Research*, **64**, Springer International Publishing, pp.173-185, DOI: 10.1007/978-3-319-90400-9_10.

[7] T.D. An, T.A. Ngoc, N.T.P. Mai (2016), “Mechanism of seawater intrusion in coastal aquifers of Soc Trang province, Vietnam”, *Journal of Water Resources & Environmental Engineering*, **53**, pp.31-38.

[8] T.D. An, M. Tsujimura, V.L. Phu, et al. (2014), “Chemical characteristics of surface water and groundwater in coastal watershed, Mekong delta, Vietnam”, *Procedia Environmental Sciences*, **20**, pp.712-721, DOI: 10.1016/j.proenv.2014.03.085.

[9] N.T. Thu (2017), *Groundwater and Surface Water Cycle System in Mekong Delta, Vietnam*, Doctoral Thesis, University of Tsukuba.

[10] N.L. Duy, N.V. Dung, I. Heidbüchel, et al. (2019), “Identification of groundwater mean transit times of precipitation and riverbank infiltration by two-component lumped parameter models”, *Hydrological Processes*, **33(24)**, pp.3098-3118, DOI: 10.1002/hyp.13549.

[11] N.L. Duy, T.V.K. Nguyen, D.V. Nguyen, et al. (2021), “Groundwater dynamics in the Vietnamese Mekong delta: Trends, memory effects, and response times”, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, **33**, DOI: 10.1016/j.ejrh.2020.100746.

[12] P.K. Sen (1968), “Estimates of the regression coefficient based on Kendall’s Tau”, *Journal of The American Statistical Association*, **63(324)**, pp.1379-1389, DOI: 10.1080/01621459.1968.10480934.

[13] H.B. Mann (1945), “Nonparametric tests against trend”, *Econometrica*, **13**, pp.245-259, DOI: 10.2307/1907187.

[14] M.G. Kendall (1948), *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin & Company Ltd., 160pp.

[15] Z. Hu, S. Liu, G. Zhong, et al. (2020), “Modified Mann-Kendall trend test for hydrological time series under the scaling hypothesis and its application”, *Hydrological Sciences Journal*, **65(14)**, pp.2419-2438, DOI: 10.1080/02626667.2020.1810253.

[16] Department of Natural Resources and Environment of Soc Trang Province (2023), *Comprehensive Report on The Investigation and Assessment of The Current Status of Groundwater Exploitation and Utilisation in Soc Trang Province in 2023* (in Vietnamese).

[17] L.T.T. Dang, H. Ishidaira, K.P. Nguyen, et al. (2025), “Short-term salinity prediction for coastal areas of the Vietnamese Mekong delta using various machine learning algorithms: A case study in Soc Trang province”, *Applied Water Science*, **15(79)**, DOI: 10.1007/s13201-025-02419-z.

[18] Vietnam National Centre for Water Resources Planning and Investigation (2025), *Groundwater Resources Bulletin: Information, Forecasting and Warning for Soc Trang Province, 2025*.