

Phân tích ảnh hưởng khí tượng – hải văn đến biến động mực nước tầng chứa nước Pleistocen trên (qp₃) tại thành phố Vũng Tàu, tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu

Phạm Thị Tuyết Nhi, Võ Nguyễn Quang Khải, Lưu Khánh Linh, Tất Hồng Minh Vy, Nguyễn Hải Âu*



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Nghiên cứu phân tích biến động mực nước dưới đất tầng Pleistocen trên (qp₃) tại giếng VT8A, thành phố Vũng Tàu, từ tháng 7/2020 đến tháng 11/2023, nhằm đánh giá tác động của lượng mưa và mực nước triều đến đặc tính tự điều chỉnh của tầng chứa nước. Dữ liệu mưa, triều, mực nước dưới đất được quy đổi về tần suất ngày, xử lý bằng phương pháp khoảng tứ phân vị (IQR) và nội suy tuyến tính. Các phương pháp phân tích bao gồm tương quan Pearson, hồi quy tuyến tính, hàm tương quan chéo (CCF), kiểm định Granger, phân tích tự hồi quy (ACF/PACF) và kiểm tra tính dừng bằng kiểm định Dickey-Fuller mở rộng (ADF). Kết quả cho thấy lượng mưa trung bình là 4,18 mm/ngày, tập trung vào mùa mưa, với mực nước dưới đất dao động mạnh từ -109,2 cm đến 82,86 cm (trung bình -5,83 cm), thể hiện biến động lớn và không đối xứng. Mực nước triều ổn định hơn, dao động từ 214,83 cm đến 340,46 cm (trung bình 274,45 cm), với biên độ đều đặn. Tương quan giữa mực nước dưới đất và lượng mưa rất yếu ($r = -0,0188$, $p = 0,5165$), cho thấy tác động trực tiếp của mưa bị suy giảm, có thể do lớp phủ Holocen hoặc độ trễ thẩm nước dài. Ngược lại, mực nước triều có tương quan yếu nhưng ý nghĩa thống kê ($r = 0,0692$, $p = 0,0155$), phản ánh ảnh hưởng đáng kể của thủy triều, đặc biệt là dao động ngắn hạn, phù hợp với liên thông thủy lực của tầng qp₃ với biển. Phân tích CCF và Granger chỉ ra mưa ảnh hưởng mực nước dưới đất sau 2–5 ngày, trong khi triều có tác động tức thời, kéo dài 1–5 ngày, thể hiện đặc tính thẩm chậm của tầng qp₃ với mưa và liên kết thủy lực mạnh với biển. Phân tích tự hồi quy cho thấy mực nước dưới đất phụ thuộc vào giá trị quá khứ, đặc biệt 1–2 ngày trước (ACF lag 1 = 0,491, lag 2 = 0,26), thể hiện khả năng tự điều chỉnh. Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho quản lý tài nguyên nước và thích ứng biến đổi khí hậu tại khu vực ven biển.

Từ khoá: Biến động mực nước, tầng Pleistocen trên, mưa, thủy triều, thành phố Vũng Tàu

Viện Môi Trường và Tài Nguyên, Đại học Quốc gia TP HCM, Việt Nam

Liên hệ

Nguyễn Hải Âu, Viện Môi Trường và Tài Nguyên, Đại học Quốc gia TP HCM, Việt Nam

Email: haiau@hcmier.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 15-05-2025
- Ngày sửa đổi: 10-06-2025
- Ngày chấp nhận: 07-07-2025
- Ngày đăng: 28-06-2026

DOI: <https://doi.org/10.32508/vnuhcmj-ees.v10i1.818>



Bản quyền

© Tập chí ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

GIỚI THIỆU

Nước dưới đất là một trong những nguồn tài nguyên thiết yếu, đặc biệt quan trọng trong đảm bảo an ninh nguồn nước và hỗ trợ phát triển bền vững cho các khu vực ven biển. Tại đây, tài nguyên nước đang chịu nhiều áp lực từ biến đổi khí hậu, khai thác gia tăng và đô thị hóa¹. Việc đánh giá, dự báo biến động mực nước tại các tầng chứa nước là cơ sở khoa học quan trọng để nhận diện nguy cơ suy thoái, đồng thời phục vụ xây dựng các giải pháp quản lý, khai thác hợp lý và thích ứng với các tác động môi trường trong tương lai².

Quan trắc mực nước dưới đất thường bắt đầu từ phương pháp thủ công, sử dụng thước đo hoặc thiết bị cầm tay đo định kỳ theo ngày hoặc tháng. Phương pháp này đơn giản, chi phí thấp, nhưng hạn chế lớn nhất là tần suất đo thấp và dễ sai số do phụ thuộc vào thao tác con người³. Các chương trình quan trắc quốc gia đã được triển khai nhằm khắc phục hạn chế

này, xây dựng mạng lưới quan trắc rộng khắp theo quy trình kỹ thuật, như tại Thông tư số 19/2013/TT-BTNMT, yêu cầu tần suất đo ít nhất 1 giờ/lần tại các khu vực ven biển bằng thiết bị tự động⁴. Để theo dõi xu thế dài hạn trên diện rộng, nhiều quốc gia đã xây dựng mạng lưới quan trắc quốc gia, như Mỹ, Úc và Hàn Quốc, với hàng trăm trạm quan trắc vận hành định kỳ theo tháng hoặc mùa⁵. Sự phát triển của công nghệ cảm biến đã cho phép triển khai thiết bị tự ghi mực nước, ghi nhận dữ liệu liên tục theo phút hoặc giờ, hỗ trợ theo dõi dao động nhanh do triều và khai thác^{6,7}. Sự phát triển của công nghệ viễn thông đã thúc đẩy ứng dụng hệ thống quan trắc trực tuyến, cho phép truyền dữ liệu thời gian thực về trung tâm quản lý, hỗ trợ giám sát liên tục và cảnh báo từ xa⁸.

Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đã tập trung khai thác dữ liệu mực nước dưới đất kết hợp với các yếu tố khí tượng thủy văn như mưa và triều để làm rõ động thái của các tầng chứa nước chịu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và khai thác. Tại Thái Lan đã

Trích dẫn bài báo này: Nhi P T T, Khải V N Q, Linh L K, Vy T H M, Âu N H. **Phân tích ảnh hưởng khí tượng – hải văn đến biến động mực nước tầng chứa nước Pleistocen trên (qp₃) tại thành phố Vũng Tàu, tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu.** VNUHCMJ. Environ. Earth Sci. 2026; 10(1):1339-1346.

sử dụng mô hình hồi quy trễ để đánh giá ảnh hưởng của lượng mưa và điều tiết sông đến mực nước dưới đất, nhấn mạnh tầm quan trọng của việc xác định độ trễ thời gian⁹. Các nghiên cứu tại Trung Quốc và Úc đã áp dụng phương pháp học máy và chuỗi thời gian để xây dựng mô hình tương quan giữa mực nước dưới đất với mưa và triều, nâng cao độ chính xác dự báo^{8,10}.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu liên quan cho thấy các kỹ thuật phân tích chuỗi thời gian như hồi quy tuyến tính bậc 1, CCF, ACF và PACF được sử dụng phổ biến nhằm làm rõ mối quan hệ giữa các yếu tố khí tượng-thủy văn và động thái mực nước. Nghiên cứu của Tạ Quang Chiêu và cộng sự¹¹ đã áp dụng các mô hình hồi quy hiện đại như SVR và MLP để dự báo mực nước sông Kiến Giang theo dữ liệu mưa và mực nước quá khứ, cho thấy tiềm năng ứng dụng các phương pháp này trong điều kiện dữ liệu theo giờ. Nghiên cứu khác của Huỳnh Vương Thu Minh và cộng sự¹² đã phân tích ACF cho thấy mức độ phụ thuộc tuyến tính giữa các quan sát theo độ trễ. Trong khi PACF cho thấy số lượng bậc tự hồi quy cần thiết để mô hình phản ánh tốt cấu trúc chuỗi thời gian nhằm xây dựng mô hình dự báo lượng mưa bằng SARIMA cho khu vực Đồng bằng sông Cửu Long. Nguyễn Lê Duy và cộng sự¹³ cũng đã sử dụng kỹ thuật phân tích CCF để xác định thời gian phản hồi giữa mực nước sông và mực nước dưới đất tại 88 giếng quan trắc từ năm 1996 đến 2017 và phát hiện rằng các tầng chứa nước nông có thời gian phản hồi ngắn hơn so với các tầng sâu, phản ánh mức độ kết nối thủy lực khác nhau.

Tuy nhiên, các nghiên cứu trước chưa tập trung phân tích độ trễ ngắn hạn giữa mưa, triều, và mực nước dưới đất, cũng như chưa xem xét tính tự hồi quy của mực nước dưới đất tại khu vực ven biển đặc thù như Vũng Tàu, nơi tầng chứa nước qp₃ chịu tác động kép từ nước mưa thấm xuống và thủy triều/xâm nhập mặn từ biển. Sự thiếu hụt dữ liệu quan trắc dài hạn và hạn chế trong khai thác nước dưới đất tại khu vực này tạo ra thách thức trong việc hiểu rõ cơ chế động thái mực nước dưới đất. Nghiên cứu tập trung phân tích động thái mực nước dưới đất tại giếng VT8A, nằm trong vùng hạn chế khai thác nước dưới đất theo quy định địa phương, sử dụng các phương pháp phân tích chuỗi thời gian, bao gồm hàm tương quan chéo (CCF) và kiểm định nhân quả Gra nger, để xác định độ trễ giữa mực nước dưới đất với mưa và triều, đồng thời áp dụng hàm tự tương quan (ACF) và tự tương quan một phần (PACF) để đánh giá tính tự hồi quy của mực nước dưới đất. Đây là nghiên cứu đầu tiên tại Vũng Tàu áp dụng tiếp cận tích hợp này để làm rõ cơ chế tác động ngắn hạn và đặc tính tự điều chỉnh của tầng chứa nước qp₃. Kết quả kỳ vọng sẽ cung cấp bằng

chứng thực nghiệm về độ trễ ngắn hạn và tính tự hồi quy, góp phần nâng cao hiệu quả quản lý và bảo vệ tài nguyên nước dưới đất tại khu vực ven biển.

TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

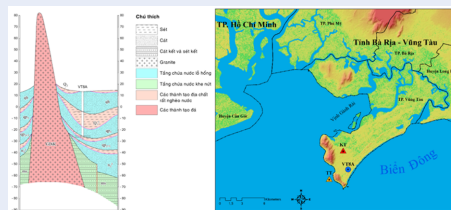
Mô tả vùng nghiên cứu

Thành phố Vũng Tàu, nằm ở cực Nam tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu, tiếp giáp với Biển Đông ở ba phía và cách Thành phố Hồ Chí Minh khoảng 120 km về phía Đông Nam, có diện tích đất tự nhiên là 14.442 ha với 17 đơn vị hành chính. Đây là đô thị ven biển phát triển mạnh về du lịch, công nghiệp và dầu khí, đồng thời là trung tâm kinh tế trọng điểm của vùng Đông Nam Bộ. Thành phố Vũng Tàu có địa hình thấp ven biển, chịu ảnh hưởng của khí hậu nhiệt đới gió mùa với hai mùa rõ rệt, mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 10 và mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau. Khu vực chịu ảnh hưởng của biển, có khí hậu ôn hoà, ít gió bão, nhiệt độ trung bình từ 25°C đến 27°C với lượng mưa trung bình từ 1.300mm đến 1.700mm, số giờ nắng từ 2.300 đến 2.800 giờ trong năm.

Thành phố Vũng Tàu tồn tại 5 tầng chứa nước lỗ hổng chính, gồm Holocen (qh), Pleistocen trên (qp₃), Pleistocen giữa-trên (qp₂₋₃), Pleistocen dưới (qp₁), và Pliocen (n₂). Trong đó, tầng chứa nước Pleistocen trên (qp₃) đóng vai trò quan trọng nhất, có nguồn cung cấp chính là nước mưa và nước mặt thấm trực tiếp từ trên xuống, miền thoát hướng ra biển và các sông rạch trũng thấp. Hướng vận động của nước khá phức tạp, phụ thuộc vào dạng địa hình nhưng nhìn chung nước vận động từ đỉnh phân thủy xuống các thung lũng sông suối, từ nơi có địa hình cao xuống nơi có địa hình thấp. Tầng Pleistocen trên được bổ cập chủ yếu từ nước mưa thấm từ trên xuống và tác động của triều từ phía biển. Thành phần chủ yếu được cấu tạo từ cát mịn đến cát trung bình, đôi khi lẫn sạn, chiều dày dao động từ 20 đến 56 m với hệ số thấm từ 0,5 – 21,33 m/ngày, thể hiện khả năng truyền dẫn nước rất tốt, do cấu trúc hạt rời, ít bị phong hóa hay gắn kết, nằm dưới lớp phủ Holocen nghèo nước hoặc lộ thiên ở một số khu vực¹⁴. Cấu trúc này giúp tầng qp₃ có khả năng chứa và truyền dẫn nước tốt, nhưng cũng dễ bị ảnh hưởng bởi thủy triều và xâm nhập mặn do vị trí ven biển và địa hình thấp¹⁵. Tuy nhiên tầng qp₃ bị phủ bởi một lớp sét mỏng, có khả năng làm chậm quá trình thấm từ mặt đất xuống tầng chứa nước, dẫn đến sự xuất hiện của độ trễ ngắn từ vài ngày đối với tác động của mưa. Đồng thời, do đặc điểm liên kết thủy lực với biển, tầng qp₃ tại đây cũng chịu tác động nhanh và rõ rệt của thủy triều.

Tài liệu nghiên cứu

Dữ liệu phục vụ cho nghiên cứu được thu thập từ ngày 25/7/2020 đến 30/11/2023 bao gồm ba nhóm dữ liệu chính, được thu thập từ các nguồn đo đạc thực tế tại khu vực nghiên cứu nhằm đảm bảo tính liên tục và độ chính xác của chuỗi thời gian. Dữ liệu mực nước dưới đất theo giờ được thu thập tại giếng quan trắc VT8A được bố trí tại tầng qp₃ ở độ sâu khoảng 35 m dưới mặt đất, sử dụng thiết bị đo tự động Van Essen Micro-Diver. Thiết bị được lắp đặt trực tiếp trong giếng và ghi nhận liên tục dữ liệu mực nước với tần suất 1 giờ/lần, giúp theo dõi chi tiết sự thay đổi mực nước dưới đất trong ngày và giữa các thời điểm khác nhau. Thiết bị được hiệu chuẩn và cài đặt theo đúng quy trình của nhà sản xuất, đảm bảo độ chính xác cao trong suốt quá trình ghi nhận dữ liệu. Dữ liệu mực nước triều theo giờ được lấy từ trạm quan trắc thủy triều Vũng Tàu, dữ liệu được thu thập liên tục với tần suất tương đương, phản ánh chính xác tác động của thủy triều tại khu vực ven biển Vũng Tàu đến mực nước dưới đất. Dữ liệu lượng mưa theo ngày được thu thập từ trạm khí tượng thủy văn Vũng Tàu, cung cấp thông tin về các sự kiện mưa trong khu vực, phục vụ phân tích ảnh hưởng của mưa đến biến động mực nước dưới đất. Việc kết hợp ba nguồn dữ liệu này giúp xây dựng chuỗi dữ liệu đồng bộ, hỗ trợ phân tích mối liên hệ giữa mực nước dưới đất và các yếu tố khí tượng thủy văn như mưa và thủy triều. Vị trí các điểm quan trắc được trình bày trong Hình 1.



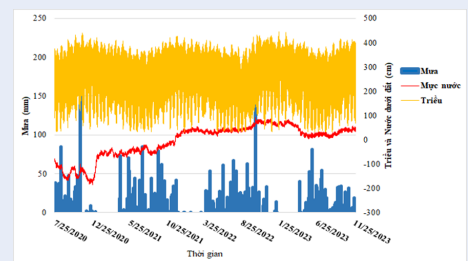
Hình 1: Vị trí quan trắc TP. Vũng Tàu, tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu [Nguồn: tác giả]

Phương pháp nghiên cứu

Phân tích diễn biến mực nước, triều và mưa

Dữ liệu đầu vào bao gồm mực nước dưới đất theo giờ tại giếng VT8A, mực nước triều theo giờ tại trạm thủy triều Vũng Tàu, và lượng mưa theo ngày tại trạm đo mưa khu vực. Tất cả dữ liệu được thu thập liên tục từ tháng 7/2020 đến tháng 11/2023 đã được quy đổi về tần suất ngày để xử lý. Các giá trị nhiễu được kiểm tra và loại bỏ bằng phương pháp khoảng tứ phân vị (IQR - Interquartile Range), sau đó các giá trị bị thiếu

được nội suy tuyến tính dựa trên các giá trị lân cận để duy trì tính liên tục của chuỗi thời gian, giảm thiểu mất mát thông tin và đảm bảo độ chính xác cho các phân tích tiếp theo. Dữ liệu sau khi xử lý được trực quan hóa dưới dạng biểu đồ diễn biến theo thời gian, thể hiện sự thay đổi của mực nước dưới đất, mực nước triều, và lượng mưa trong giai đoạn nghiên cứu. Hình 2 minh họa sự biến động của mực nước dưới đất tại giếng VT8A cùng với mực nước triều và lượng mưa tại thành phố Vũng Tàu, biểu đồ cho thấy mực nước dưới đất có xu hướng đồng bộ với dao động ngắn hạn của mực nước triều, đồng thời gia tăng rõ rệt trong các đợt mưa lớn, cung cấp cơ sở ban đầu để phân tích mối quan hệ và độ trễ.



Hình 2: Diễn biến mực nước dưới đất, mực nước triều và lượng mưa [Nguồn: tác giả]

Xây dựng và phân tích mối tương quan giữa mực nước dưới đất với triều và mưa

Động thái của mực nước dưới đất tại khu vực ven biển thường chịu ảnh hưởng đồng thời của các yếu tố tự nhiên như thủy triều và lượng mưa. Để làm rõ mối liên hệ này tại giếng VT8A, nghiên cứu tiến hành phân tích tương quan Pearson và hồi quy tuyến tính giữa mực nước dưới đất với mực nước triều và lượng mưa trong giai đoạn nghiên cứu. Phân tích tương quan không chỉ giúp nhận diện các yếu tố tác động chính mà còn cung cấp thông tin về mức độ đồng biến giữa các yếu tố theo thời gian. Quy trình phân tích hồi quy được thực hiện bằng cách đối chiếu mực nước dưới đất với mực nước triều và lượng mưa theo chuỗi thời gian quan trắc, xác định hệ số tương quan bằng phương trình hồi quy tuyến tính đơn để hỗ trợ đánh giá xu hướng biến động theo công thức:

$$WL_t = a + bX_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Trong đó WL_t là giá trị mực nước dưới đất, X_t là giá trị mực nước triều hoặc lượng mưa tại thời điểm t , a là hệ số chặn, b là các hệ số hồi quy, ε_t là sai số ngẫu nhiên.

Xác định độ trễ giữa mực nước dưới đất với mưa và triều.

Để hiểu rõ hơn về mối quan hệ giữa mực nước dưới đất và các yếu tố như thủy triều và lượng mưa, nghiên cứu áp dụng hai phương pháp phân tích chuỗi thời gian: hàm tương quan chéo (Cross-Correlation Function – CCF) và kiểm định nhân quả Granger (Granger Causality Test). CCF giúp xác định khoảng thời gian mà một yếu tố đầu vào có ảnh hưởng mạnh nhất đến mực nước dưới đất bằng cách dịch chuyển chuỗi thời gian của thủy triều và mưa so với mực nước dưới đất và tính hệ số tương quan tại mỗi bước dịch chuyển. Việc áp dụng CCF giúp làm rõ động thái phản ứng của tầng chứa nước đối với các tác động bên ngoài¹⁶. Kiểm định nhân quả Granger được sử dụng để đánh giá liệu các yếu tố này có thực sự tác động đến mực nước dưới đất hay không¹⁷.

Phân tích tính tự hồi quy

Tính tự hồi quy của mực nước dưới đất được phân tích để đánh giá khả năng tự điều chỉnh của tầng chứa nước qđ3, sử dụng hàm tự tương quan (ACF) và tự tương quan một phần (PACF). Trước tiên, tính dừng của chuỗi mực nước dưới đất được kiểm tra bằng kiểm định Dickey-Fuller mở rộng (ADF)¹⁸. Nếu chuỗi không dừng, thực hiện sai phân bậc 1 (differencing) để đảm bảo tính dừng. Sau đó, ACF và PACF được tính với số độ trễ tối đa là 30 ngày, nhằm xác định các độ trễ tự hồi quy (lag tại đó ACF/PACF vượt ngưỡng tin cậy 95%). Phân tích này giúp hiểu mức độ phụ thuộc của mực nước dưới đất vào các giá trị trước đó.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Thống kê mô tả dữ liệu

Để đảm bảo tính đồng bộ về mặt thời gian giữa các yếu tố đầu vào, dữ liệu mưa theo ngày được kết hợp với chuỗi dữ liệu mực nước và triều được tính trung bình theo ngày. Việc chuẩn hóa về cùng một đơn vị thời gian này giúp thuận tiện cho việc so sánh, đánh giá mối liên hệ và thực hiện các phân tích tương quan, hồi quy và xác định độ trễ giữa các yếu tố khí tượng - thủy văn tại khu vực nghiên cứu. Thống kê mô tả các đặc trưng cơ bản của chuỗi dữ liệu mưa, mực nước dưới đất và triều theo ngày trong toàn bộ giai đoạn nghiên cứu được trình bày trong bảng 1.

Hình 2 và Bảng 1 trình bày tổng quan diễn biến và đặc trưng thống kê của các yếu tố mưa, mực nước dưới đất và triều tại khu vực nghiên cứu từ tháng 7/2020 đến tháng 11/2023. Lượng mưa tập trung rõ rệt vào mùa mưa (tháng 5 đến tháng 10) với giá trị cực đại lên đến 196,3 mm/ngày, trong khi mùa khô gần như

Bảng 1: Thống kê mô tả dữ liệu mưa, mực nước và triều theo ngày [Nguồn: Nhóm tác giả]

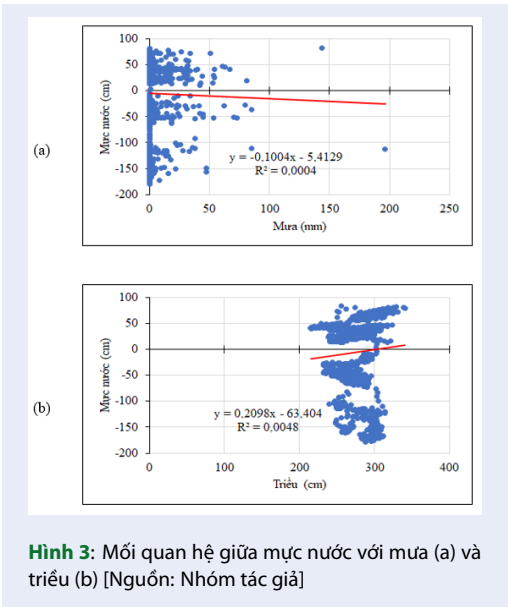
	Mưa (mm)	Mực nước (cm)	Triều (cm)
Mean	4,18	-5,83	274,45
Std	12,52	66,94	22,08
Min	0	-109,2	214,83
Max	196,3	82,86	340,46
Giá trị phân vị	25%	0	-50,87
	50%	0	22,69
	75%	1,6	41,39

không ghi nhận mưa đáng kể. Giá trị trung bình của lượng mưa là 4,18 mm/ngày. Tuy nhiên, giá trị phân vị thứ ba (75%) chỉ đạt 1,6 mm, cho thấy 75% số ngày có lượng mưa thấp hoặc không mưa, phản ánh chế độ mưa ngắn hạn, tập trung vào một số sự kiện cực đoan. Mực nước dưới đất dao động trong khoảng từ -109,2 cm đến 82,86 cm, với giá trị trung bình -5,83 cm. Phân vị thứ ba (75%) đạt 41,39 cm, nghĩa là 25% số ngày có mực nước dưới đất cao hơn mức này, thường trùng với các giai đoạn mưa lớn hoặc triều dâng. Sự chênh lệch lớn giữa các phân vị (25%: -50,87 cm; 75%: 41,39 cm) cho thấy sự phân bố không đối xứng và biến động rộng của mực nước dưới đất theo thời gian. Mực nước triều có mức dao động nhỏ hơn, với giá trị trung bình 274,45 cm, dao động từ 214,83 cm đến 340,46 cm. Phân vị thứ nhất và thứ ba lần lượt là 256,69 cm và 290,6 cm, sát với trung bình, cho thấy triều có biên độ ổn định, diễn ra đều đặn quanh giá trị trung bình mà không có các dao động bất thường lớn.

Mối quan hệ tương quan giữa mực nước với mưa và triều

Kết quả hồi quy tuyến tính giữa mực nước dưới đất và lượng mưa (Hình 3a) cho thấy hệ số R^2 rất nhỏ (0,0004), với hệ số góc âm ($y = -0,1004x - 5,4129$), cho thấy gần như không có mối liên hệ tuyến tính đồng thời giữa hai biến. Điều này phù hợp với thực tế rằng tác động của mưa đến mực nước dưới đất thường không tức thời mà cần có độ trễ nhất định để nước mưa thấm xuống tầng chứa nước. Ngược lại, hồi quy giữa mực nước dưới đất và mực nước triều (Hình 3b) cho thấy R^2 vẫn thấp (0,0048) với hệ số góc dương nhỏ ($y = 0,2098x - 63,404$), phản ánh một xu hướng tăng nhẹ nhưng yếu của mực nước dưới đất khi mực nước triều tăng. Những giá trị R^2 rất nhỏ này khẳng định rằng hồi quy tuyến tính đơn tại cùng thời điểm không

đủ để phản ánh đầy đủ mối liên hệ giữa các yếu tố, từ đó đặt ra nhu cầu phân tích độ trễ bằng các phương pháp chuỗi thời gian như CCF và kiểm định Granger. Phân tích tương quan pearson tại Bảng 2 cho thấy mối quan hệ tuyến tính giữa mực nước dưới đất và lượng mưa rất yếu ($r = -0,0188$) và không có ý nghĩa thống kê ($p = 0,5165 > 0,05$), ám chỉ rằng tác động trực tiếp của mưa đến mực nước dưới đất tại giếng VT8A có thể bị suy giảm do nằm dưới lớp phủ Holocen hoặc độ trễ thấm nước dài hơn. mối quan hệ giữa mực nước dưới đất và mực nước triều là yếu nhưng có ý nghĩa thống kê ($r = 0,0692$, $p = 0,0155 < 0,05$), cho thấy sự ảnh hưởng đáng kể của thủy triều, đặc biệt là các dao động ngắn hạn, phù hợp với đặc điểm liên thông thủy lực của tầng chứa nước qp₃ với biển. Những kết quả này cung cấp cơ sở ban đầu để phân tích độ trễ chi tiết bằng hàm tương quan chéo (CCF) và kiểm định nhân quả Granger.



Hình 3: Mối quan hệ giữa mực nước với mưa (a) và triều (b) [Nguồn: Nhóm tác giả]

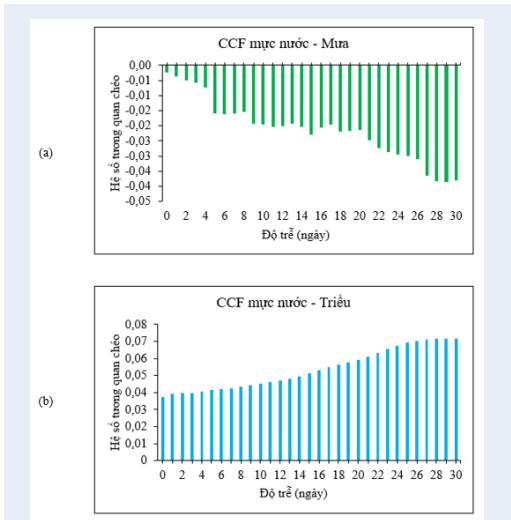
Bảng 2: Tương quan giữa mực nước với mưa và triều [Nguồn: Nhóm tác giả]

	Mực nước (mưa)	Mực nước (triều)
Tương quan (r)	-0,018	0,07
P-value	0,51	0,017

Phân tích độ trễ

Kết quả phân tích CCF (Hình 4a) cho thấy, mưa có tương quan thấp nhưng rõ xu hướng cực đại tại độ trễ

khoảng 3–4 ngày với mực nước dưới đất, phản ánh quá trình thấm chậm từ mặt đất qua các lớp đất phủ đến tầng chứa nước qp₃. Kết quả kiểm định Granger tại (Hình 5a) cho thấy các p-value tại độ trễ từ 2 đến 5 ngày đều $< 0,05$, khẳng định mưa có ảnh hưởng ý nghĩa thống kê đến mực nước dưới đất trong khoảng thời gian này. Nghiên cứu tại Hungary cũng phát hiện mưa ảnh hưởng đến mực nước dưới đất sau 3–4 ngày ở các giếng nông không bị khai thác mạnh¹⁹. Với độ trễ của triều, kết quả CCF (Hình 4b) cho thấy triều có mức tương quan cao và ổn định trong khoảng độ trễ từ 0 đến 30 ngày, đạt cực đại tại 22–26 ngày, phản ánh tác động dài hạn và bền vững. Tuy nhiên, kiểm định Granger (Hình 5b) chỉ ra rằng mức độ ảnh hưởng rõ rệt và có ý nghĩa thống kê cao nhất nằm trong khoảng độ trễ 1–5 ngày, cho thấy triều có tác động tức thời rõ nét, mặc dù vẫn duy trì ảnh hưởng lâu dài. Cho thấy tầng chứa nước qp₃ có khả năng phản ứng nhanh với sự biến động của triều, đồng thời vẫn bị chi phối bởi xu thế dao động dài hạn.

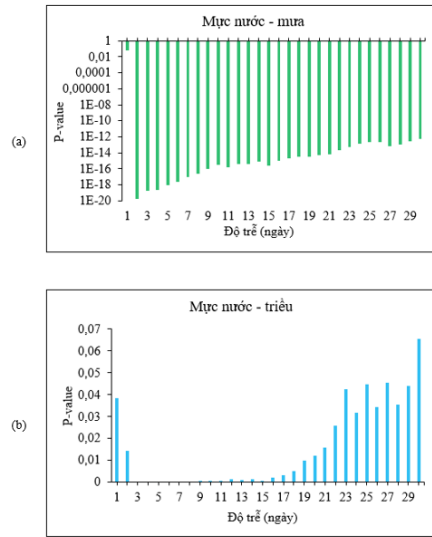


Hình 4: Hệ số tương quan chéo giữa mực nước với mưa (a) và triều (b) [Nguồn: Nhóm tác giả]

Mưa tác động đến mực nước dưới đất sau 2–5 ngày, với hệ số tương quan ở mức thấp nhưng kiểm định Granger cho thấy các giá trị p đều nhỏ hơn 0,05, khẳng định mối liên hệ có ý nghĩa thống kê. Điều này phù hợp với quá trình thấm chậm qua lớp đất phủ đến tầng chứa nước qp₃. Triều tác động tức thời và kéo dài đến 5 ngày cho thấy tầng chứa nước có thể liên thông thủy lực với biển hoặc hệ thống thủy văn ven biển.

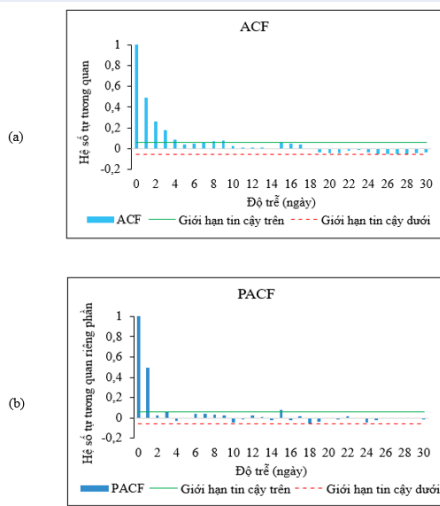
Phân tích tính tự hồi quy

Tính dừng của chuỗi mực nước dưới đất tại giếng VT8A được kiểm tra bằng kiểm định Dickey-Fuller



Hình 5: Kiểm định Granger giữa mực nước với mưa (a) và triều (b) [Nguồn: Nhóm tác giả]

mở rộng (ADF). Kết quả ban đầu cho thấy chuỗi không đạt tính dừng (ADF = -1,37, $p = 0,6 > 0,05$). Sau sai phân bậc 1, chuỗi đạt tính dừng (ADF = -20,41, $p < 0,01$). Phân tích ACF và PACF được thực hiện trên chuỗi đã dừng, với kết quả trình bày trong Hình 6.



Hình 6: Hàm tự tương quan (ACF) và hàm tự tương quan một phần (PACF) của mực nước dưới đất tại giếng VT8A [Nguồn: Nhóm tác giả]

Kết quả cho thấy chuỗi mực nước dưới đất có tính phụ thuộc mạnh vào giá trị ngày trước đó, với ACF (Hình 6a) tại lag 1 đạt 0,491 và lag 2 đạt 0,26 (cả hai vượt giới hạn tin cậy 95%), sau đó giảm dần về gần 0 từ lag

3. PACF (Hình 6b) có ý nghĩa mạnh tại lag 1 (0,492, vượt giới hạn tin cậy 95%), nhưng gần 0 tại các lag sau, thể hiện mối liên hệ trực tiếp chủ yếu giữa mực nước ngày hiện tại và 1 ngày trước. Điều này phản ánh khả năng tự điều chỉnh của tầng qp₃ trong 1-2 ngày, phù hợp với CCF từ triều. Điều này cho thấy chuỗi lượng mưa hàng năm tại trạm đo có đặc điểm không dừng và tồn tại tự hồi quy mạnh tại các độ trễ đầu tiên¹⁴.

KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phân tích dữ liệu quan trắc mực nước dưới đất, lượng mưa và triều tại giếng VT8A (TP. Vũng Tàu) trong giai đoạn từ tháng 7/2020 đến tháng 11/2023 nhằm đánh giá động thái của tầng chứa nước qp₃. Kết quả cho thấy mực nước dưới đất chịu ảnh hưởng đồng thời từ mưa và triều, với mối tương quan tuyến tính yếu ($r = -0,0188$ với mưa, $r = 0,0692$ với triều), nhưng có ý nghĩa thống kê với triều ($p = 0,017$). Phân tích độ trễ thông qua CCF và kiểm định Granger cho thấy mưa ảnh hưởng đến mực nước dưới đất sau 2–5 ngày, trong khi triều có tác động tức thời và duy trì kéo dài trong khoảng 1–5 ngày. Điều này phản ánh đặc tính thấm chậm của tầng qp₃ đối với mưa, đồng thời thể hiện mối liên kết thủy lực mạnh với biển. Phân tích tính tự hồi quy cho thấy mực nước dưới đất phụ thuộc đáng kể vào các giá trị trong quá khứ, đặc biệt là 1–2 ngày trước (ACF lag 1 = 0,491, lag 2 = 0,26; PACF lag 1 = 0,492), thể hiện khả năng tự điều chỉnh của tầng chứa nước. Kết quả này góp phần cung cấp cơ sở khoa học phục vụ công tác quản lý khai thác nước dưới đất bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu tại các khu vực ven biển. Hạn chế chính là dữ liệu theo ngày không ghi nhận dao động ngắn hạn. Định hướng trong tương lai, nghiên cứu mở rộng theo hướng sử dụng dữ liệu quan trắc theo giờ và tích hợp các mô hình học máy (như SVR, LSTM) hoặc các mô hình hồi quy đa biến với các biến đầu vào bao gồm mưa, triều, áp suất khí quyển, và nhiệt độ nhằm nâng cao độ chính xác trong dự báo mực nước dưới đất.

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

ACF: Autocorrelation Function - Hàm tự tương quan
ADF: Augmented Dickey-Fuller - kiểm định Dickey-Fuller mở rộng

CCF: Cross-Correlation Function - Hàm tương quan chéo

Granger: Kiểm định nhân quả Granger

IQR: Interquartile Range - khoảng tứ phân vị

LSTM: Long Short-Term Memory - Bộ nhớ dài-ngắn hạn

MLP: Multilayer Perceptron (Mạng nơ-ron đa lớp)

PACF: Partial Autocorrelation Function - Hàm tự tương quan một phần

SARIMA: Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average - Mô hình tự hồi quy tích hợp trung bình trượt có yếu tố mùa vụ

SVR: Support Vector Regression - Hồi quy vectơ hỗ trợ

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số C2024-24-02.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Phạm Thị Tuyết Nhi: Quản lý dữ liệu, Xử lý số liệu, Phân tích dữ liệu, Viết – thảo thảo gốc.

Võ Nguyễn Quang Khải: Phương pháp luận, Tính toán kết quả, Viết – thảo thảo gốc.

Lưu Khánh Linh: Xử lý số liệu, Phân tích dữ liệu.

Tất Hồng Minh Vy: Quản lý dữ liệu, Viết – rà soát và biên tập.

Nguyễn Hải Âu: Khái niệm hóa, Phương pháp luận, Viết – rà soát và chỉnh sửa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Kundzewicz ZW, et al. The Implications of Projected Climate Change for Freshwater Resources and Their Management. *Hydrological Sciences Journal*. 2009;53:3–10. Available from: <https://doi.org/10.1623/hysj.53.1.3>.
- Taylor RG. Groundwater and Climate Change: Recent Advances and a Look Forward. *Nature Climate Change*. 2013;3:322–329.
- Nguyen AH, Pham KQ, Le QH. Assessment of Pleistocene Aquifer Vulnerability to Saline Intrusion in the Coastal Region of Ba Rịa-Vung Tau Province Using GIS and Entropy-GALDIT. *Sustainability*. 2023;15. Available from: <https://doi.org/10.3390/su15108107>.
- Bộ Tài nguyên và Môi trường. Thông tư số 19/2013/TT-BTNMT ngày 23/7/2013 về Quy trình kỹ thuật quan trắc tài nguyên nước dưới đất. Hà Nội: Bộ Tài nguyên và Môi trường; 2013.
- Foster SS, Chilton PJ. Groundwater: The Processes and Global Significance of Aquifer Degradation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*. 2003;358:57–72. Available from: <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1380>.
- Turner IL, Coates BP, Acworth RL. Tides, Waves and the Super-Elevation of Groundwater. *Journal of Coastal Research*. 1997;13.
- Erkens G, Bux T, Dam R, de Lange G, Lambert J. Sinking Coastal Cities. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*. 2015;372:189–198. Available from: <https://doi.org/10.5194/piahs-372-189-2015>.
- Zhang X, Dong F, Chen G, Dai Z. Advance Prediction of Coastal Groundwater Levels with Temporal Convolutional and Long Short-Term Memory Networks. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2023;27:83–96. Available from: <https://doi.org/10.5194/hess-27-83-2023>.
- Seeboonruang U. An Application of Time-Lag Regression Technique for Assessment of Groundwater Fluctuations in a Regulated River Basin: A Case Study in Northeastern Thailand. *Environmental Earth Sciences*. 2014;73:6511–6523.
- Liu W, Yu H, Yang L, Yin Z, Zhu M, Wen X. Deep Learning-Based Predictive Framework for Groundwater Level Forecast in Arid Irrigated Areas. *Water*. 2021;13(18). Available from: <https://doi.org/10.3390/w13182558>.
- Chieu TQ, Thao NTP, Hue DT, Huong NTT. Prediction of the Water Level at the Kien Giang River Based on Regression Techniques. *River*. 2024;3:59–68. Available from: <https://doi.org/10.1002/rvr.2.71>.
- Minh HVT. Modelling and Predicting Annual Rainfall over the Vietnamese Mekong Delta (VMD) Using SARIMA. *Discover Geoscience*. 2024;2.
- Duy NL, et al. Groundwater Dynamics in the Vietnamese Mekong Delta: Trends, Memory Effects, and Response Times. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2021;33. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100746>.
- Ngọc PNH, Thủy HTT, Âu NH. Ứng dụng phương pháp phân tích cụm và phân tích biệt số đánh giá nhiễm mặn tầng chứa nước Pleistocen ở huyện Tân Thành, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 2017;p. 129–136. Available from: <https://doi.org/10.22144/ctu.jsi.2017.061>.
- Âu NH, Trường HN, Nhi PTT, Vy THM, Ngọc PNH, Quyết NK. Ứng dụng chỉ số chất lượng nước dưới đất và phân tích thành phần chính đánh giá chất lượng nước tầng chứa nước Pleistocen, huyện Tân Thành, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. *Tạp chí Phát triển Khoa học Công nghệ: Chuyên san Khoa học Trái đất Môi trường*. 2018;2:107–115.
- Wang C, Dai F, Liu Y, Wang Y, Li H, Qu W. Shallow Groundwater Responses to Rainfall Based on Correlation and Spectral Analyses in the Heilonggang Region, China. *Water*. 2023;15. Available from: <https://doi.org/10.3390/w15061100>.
- Granger CWJ. Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Methods. *Econometrica*. 1969;37:424–438. Available from: <https://doi.org/10.2307/1912791>.
- Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC, Ljung GM. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2015. Available from: <https://doi.org/10.2307/3008255>.
- Ilyés C, Tóth M, Szűcs P. Calculating the Connection between Precipitation and Shallow Groundwater. *Multidisciplinary Tudományok*. 2023;13:292–299. Available from: <https://doi.org/10.35925/j.multi.2023.3.29>.

Analysis of Hydro-Meteorological influences on groundwater level fluctuations in the Upper Pleistocene aquifer (qp₃) in Vung Tau City, Ba Ria - Vung Tau Province

Pham Thi Tuyet Nhi, Vo Nguyen Quang Khai, Luu Khanh Linh, Tat Hong Minh Vy, Nguyen Hai Au*



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

The study analyzes groundwater level fluctuations in the upper Pleistocene aquifer (qp₃) at well VT8A, Vung Tau City, from July 2020 to November 2023, to assess the impact of rainfall and tidal levels on the aquifer's self-regulatory characteristics. Rainfall, tidal, and groundwater data were converted to daily values and processed using the Interquartile Range (IQR) method and linear interpolation. Analytical methods included Pearson correlation, linear regression, cross-correlation function (CCF), Granger causality test, autocorrelation function (ACF/PACF) analysis, and stationarity tests using the Augmented Dickey-Fuller (ADF) test. Results indicate average rainfall of 4.18 mm/day, concentrated in the rainy season, with groundwater levels varying widely from -109.2 cm to 82.86 cm (mean -5.83 cm), indicating pronounced, asymmetric variability. Tidal levels were more stable, ranging from 214.83 cm to 340.46 cm (mean 274.45 cm), with uniform amplitude. The correlation between groundwater levels and rainfall was negligible ($r = -0.0188$, $p = 0.5165$), suggesting limited direct impact from rainfall, possibly due to the Holocene cover or prolonged infiltration lag. Conversely, tidal levels showed a weak but statistically significant correlation ($r = 0.0692$, $p = 0.0155$), reflecting notable tidal influence, particularly short-term fluctuations, aligned with the qp₃ aquifer's hydraulic connectivity to the sea. CCF and Granger analyses indicate rainfall affects groundwater levels after 2–5 days, while tidal levels exert immediate and sustained effects lasting 1–5 days, highlighting the aquifer's slow infiltration response to rainfall and strong hydraulic linkage with the sea. Autocorrelation analysis reveals groundwater levels strongly depend on values from 1–2 days earlier (ACF lag 1 = 0.491, lag 2 = 0.26), demonstrating self-regulating ability. The study provides scientific evidence for water resource management and adaptation to climate change in coastal areas.

Key words: Groundwater level fluctuations, the Upper Pleistocene aquifer, rainfall, tides, Vung Tau city

Institute for Environment and Resources,
VNUHCM, Vietnam

Correspondence

Nguyen Hai Au, Institute for
Environment and Resources, VNUHCM,
Vietnam

Email: haiau@hcmier.edu.vn

History

- Received: 15-05-2025
- Revised: 10-06-2025
- Accepted: 07-07-2025
- Published Online: 28-06-2026

DOI : <https://doi.org/10.32508/vnuhcmj-ees.v10i1.818>



Check for updates

Copyright

© VNUHCM Journal. This is an
open-access article distributed
under the terms of the
Creative Commons Attribution
4.0 International license.

Cite this article : Nhi P T T, Khai V N Q, Linh L K, Vy T H M, Au N H. **Analysis of Hydro-Meteorological influences on groundwater level fluctuations in the Upper Pleistocene aquifer (qp₃) in Vung Tau City, Ba Ria - Vung Tau Province** .VNUHCMJ. Environ. Earth Sci. 2026; 10(1):1339-1346.