

Ứng dụng tích hợp GIS và mô hình GALDIT đánh giá nguy cơ tổn thương do nhiễm mặn nước dưới đất tầng chứa nước Pleistocens (giữa – trên) trên địa bàn TX. Phú Mỹ, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu

Nguyễn Hải Âu^{1,*}, Phạm Thị Tuyết Nhi¹, Tất Hồng Minh Vy¹, Lưu Khánh Linh¹, Trần Ngọc Thanh²



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

TÓM TẮT

Tầng chứa nước lỗ hổng Pleistocens (giữa – trên) được khai thác sử dụng ngày càng nhiều trên địa bàn thị xã Phú Mỹ, tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu, trong đó chủ yếu là nhà máy khai thác nước tập trung Phú Mỹ - Mỹ Xuân với công suất khai thác 15.000 m³/ngày đêm. Kết quả nghiên cứu gần đây cho thấy tầng chứa nước này có tổng độ khoáng hóa cao, ranh giới mặn nhạt lấn sâu vào nội đồng nên gây nguy cơ tổn thương chất lượng tầng chứa nước. Trong nghiên cứu này, ứng dụng tích hợp GIS và mô hình GALDIT (G, A, L, D, I, T tương ứng với kiểu tầng chứa nước, hệ số thấm của tầng chứa nước, cốt cao mực nước dưới đất, khoảng cách từ điểm nghiên cứu tới đường bờ biển, tác động của xâm nhập mặn và chiều dày tầng chứa nước) đánh giá và phân vùng mức độ nguy cơ tổn thương do xâm nhập mặn của tầng chứa nước Pleistocens (giữa – trên) tại thị xã Phú Mỹ. Kết quả nghiên cứu phân vùng nguy cơ tổn thương được chia thành 02 vùng: Vùng I (nguy cơ tổn thương cao) có diện tích 5.809 ha (chiếm tới 25,45% diện tích vùng tính toán); Vùng II (nguy cơ tổn thương trung bình) có diện tích 17.020 ha (chiếm 74,55% diện tích vùng tính toán) và không tồn tại vùng có nguy cơ tổn thương thấp. Dựa vào kết quả trên và bản đồ phân vùng mức độ tổn thương tầng chứa nước dưới đất Pleistocens giữa – trên (qp₂₋₃) cần hạn chế xây dựng mới và khai thác nước dưới đất để tránh xảy ra hiện tượng xâm nhập mặn của tầng chứa nước.

Từ khóa: GIS, GALDIT, chất lượng nước dưới đất, đánh giá tính dễ bị tổn thương, nhiễm mặn, TX. Phú Mỹ

GIỚI THIỆU

Các vấn đề về chất lượng, mức độ tổn thương của nước dưới đất đã và đang thu hút sự chú ý của các nhà nghiên cứu phát triển, thực hành và quy hoạch trên khắp thế giới do mực nước ngầm bị suy giảm và sự ô nhiễm ngày càng gia tăng gây nguy hại nghiêm trọng đến môi trường¹. Ngoài các yếu tố có nguồn gốc địa chất và nhân sinh tác động đến chất lượng nước dưới đất thì biến đổi khí hậu cũng là tác nhân gây ảnh hưởng đối với khu vực ven biển. Biến đổi khí hậu gây giảm lượng mưa, tăng nhiệt độ và tăng độ mặn của nước dưới đất ở các tầng chứa nước ven biển^{2,3}. Bên cạnh đó, biến đổi khí hậu còn gây ra mực nước biển dâng, dẫn đến nước mặn có xu hướng lấn sâu vào các cửa sông, khiến các tầng chứa nước dưới đất ven biển bị mặn hóa, gây nguy cơ khan hiếm các nguồn nước ngọt phục vụ nhu cầu sinh hoạt, sản xuất công nghiệp và tưới tiêu nông nghiệp². Xâm nhập mặn được quan tâm đối với các vùng ven biển trên thế giới trong những năm gần đây⁴. Sự xâm nhập của nước biển vào các tầng chứa nước, khai thác quá mức các tầng chứa nước cùng với lượng bổ cập khan hiếm góp phần dẫn đến hiện tượng nước biển xâm thực,

suy giảm chất lượng nước dưới đất của các tầng chứa nước ven biển⁵.

Hiện nay, đánh giá mức độ phù hợp của nguồn nước, nhiều kỹ thuật đánh giá chất lượng nước như phương pháp chỉ số chất lượng nước (WQI – Water Quality Index) và chỉ số ô nhiễm nước dưới đất (PIG – Pollution Index of Groundwater) được sử dụng rộng rãi trên thế giới nhằm xác định sự phù hợp của nước cho mục đích cấp nước, cung cấp sự ảnh hưởng tổng hợp của từng thông số chất lượng trên toàn bộ chất lượng nước. Phương pháp chỉ số chất lượng nước (WQI) được ứng dụng tại Ấn Độ⁶, đánh giá chất lượng nước tại hồ Loktak cho thấy chất lượng không phù hợp để uống, bao gồm cả người và động vật, góp phần cung cấp thông tin cho dân chúng cũng như những người ra quyết định, tại México⁷, Thổ Nhĩ Kỳ⁸, Iran⁹, chỉ số WQI được dùng để đánh giá mức độ phù hợp của chất lượng nước dưới đất phục vụ cho mục đích ăn uống trong khu vực. Ngoài ra, tại Trung Quốc¹⁰, Pakistan¹¹, Bangladesh¹², chỉ số WQI được ứng dụng nhằm chỉ ra các mẫu nước có chất lượng kém, từ đó làm tiền đề cho các phân tích sâu hơn, giúp giải thích các nguyên nhân làm giảm chất lượng nước. Bên cạnh

¹Viện Môi trường và Tài nguyên, ĐHQG-HCM, Việt Nam

²Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu, Việt Nam

Liên hệ

Nguyễn Hải Âu, Viện Môi trường và Tài nguyên, ĐHQG-HCM, Việt Nam

Email: haiavutn@gmail.com

Lịch sử

- Ngày nhận: 25-7-2021
- Ngày chấp nhận: 28-10-2021
- Ngày đăng: 20-11-2021

DOI: 10.32508/stdjsec.v5iSI1.606



Bản quyền

© 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.



Trích dẫn bài báo này: Âu N H, Nhi P T T, Vy T H M, Linh L K, Thanh T N. Ứng dụng tích hợp GIS và mô hình GALDIT đánh giá nguy cơ tổn thương do nhiễm mặn nước dưới đất tầng chứa nước Pleistocens (giữa – trên) trên địa bàn TX. Phú Mỹ, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.*; 5(2):SI37-SI46.

các nghiên cứu ứng dụng chỉ số chất lượng nước để đánh giá mức độ phù hợp với mục đích sử dụng thì phương pháp chỉ số ô nhiễm nước dưới đất (PIG) cũng được đề xuất và phát triển để đánh giá sự thay đổi chất lượng nước ngầm do các yếu tố địa chất và con người. Cũng tại Ấn Độ¹³, Nigeria^{14,15} và các nghiên cứu đã ứng dụng chỉ số PIG nhằm giám sát và đánh giá tính phù hợp trong chất lượng nước uống. Ngoài ra, chỉ số ô nhiễm nước dưới đất còn được ứng dụng tại Ấn Độ¹⁶, Maharashtra¹⁷ nhằm làm sáng tỏ các ảnh hưởng của yếu tố tự nhiên và nhân sinh đến chất lượng nước ngầm. Các nghiên cứu này đã đánh giá chất lượng nước dưới đất thông qua chỉ số được tính toán bằng phương pháp đại số dựa vào các thông số đặc trưng để tiến hành phân vùng, giám sát và quản lí nguồn nước.

Ngoài các chỉ số trên, để đánh giá tính dễ bị tổn thương, trên thế giới đã sử dụng phương pháp DRASTIC với mục đích nghiên cứu sâu vào các yếu tố khách quan, làm rõ các yếu tố tự nhiên, địa chất gây ảnh hưởng đến chất lượng của nước dưới đất, ước tính mức độ dễ bị tổn thương tiềm tàng của tầng chứa nước¹⁸. Các nghiên cứu tại Jordan¹⁹, Ấn Độ²⁰, mô hình DRASTIC được ứng dụng nhằm lập bản đồ chỉ số nhiễm bẩn để đánh giá tính dễ bị tổn thương của nước dưới đất đã chỉ ra yếu tố vật lý yếu tố vật lý (độ dốc thoải và mực nước nông) có ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng di chuyển của các chất gây ô nhiễm vào tầng chứa nước.

Tuy nhiên, để đánh giá riêng về ảnh hưởng của xâm nhập mặn đến các tầng chứa nước ven biển, trên thế giới đã sử dụng phương pháp GALDIT do Chachadi và Lobo Ferreira phát triển từ năm 2001 và được hiệu chỉnh vào năm 2005²¹ với mục đích nghiên cứu sâu vào các yếu tố địa chất thủy văn ảnh hưởng đến tính dễ bị tổn thương đối với sự xâm nhập của nước biển của tầng chứa nước ven biển. Nhằm phân tích và trực quan hóa không gian dữ liệu, hỗ trợ quá trình ra quyết định trong nhiều lĩnh vực nghiên cứu thì Hệ thống Thông tin Địa lý (GIS) cung cấp môi trường hiệu quả, nhanh chóng để tổ chức, định lượng và giải thích khối lượng lớn dữ liệu không gian²². Hiện nay, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá tính dễ bị tổn thương của các tầng chứa nước dưới đất hiệu quả bằng cách kết hợp mô hình GALDIT trên nền tảng công nghệ GIS^{5,21,23-26}. Mô hình GALDIT (G-Groundwater occurrence: kiểu tầng chứa nước, A-Aquifer hydraulic conductivity: hệ số thấm của tầng chứa nước, L-Height of groundwater level above sea level: cốt cao mực nước dưới đất, D-Distance from the shore: khoảng cách từ điểm nghiên cứu tới đường bờ biển, I-Impact of existing status of

seawater intrusion: tác động của xâm nhập mặn, T-Thickness of aquifer: chiều dày tầng chứa nước) được nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước sử dụng để đánh giá mức độ dễ bị tổn thương của các tầng chứa nước ven biển. Các nhà hoạch định chính sách và chính quyền địa phương có thể sử dụng kết quả này như một công cụ hữu hiệu để quản lý, khoanh vùng bảo vệ nước dưới đất và kiểm soát sự xâm nhập mặn dưới tác động của biến đổi khí hậu.

Nghiên cứu của Saliha NAJIB và cộng sự²¹ đã ứng dụng mô hình GALDIT tích hợp với công cụ GIS để lập bản đồ tính dễ bị tổn thương của tầng chứa nước do nước biển xâm thực ở khu vực bờ biển Chaouia, thuộc Morocco, nơi tập trung các hoạt động nông nghiệp và có mực nước ngầm nông. Kết quả nghiên cứu cho thấy mức độ dễ bị tổn thương tăng dần từ thượng nguồn đến vùng hạ lưu do xâm thực ở khu vực bờ biển. Giúp các nhà quản lý giám sát, khoanh vùng bảo vệ các khu vực có khả năng ô nhiễm cao trong khu vực. Ngoài ra, R. Pedreira và cộng sự²⁵ cũng áp dụng chỉ số GALDIT kết hợp với GIS để đánh giá tính dễ bị tổn thương của tầng chứa nước đối với sự xâm nhập mặn ở vùng đồng bằng phía đông sông Nestos, thuộc Hy Lạp. Kết quả cho thấy khoảng cách từ mực nước ngầm đến mực nước biển là một yếu tố rất quan trọng để đánh giá mức độ dễ bị tổn thương đối với sự xâm thực biển. Ngoài ra, 2 yếu tố khoảng cách từ bờ biển đến điểm nghiên cứu và tác động của xâm nhập mặn cho thấy sự lấn sâu của nước biển vào đất liền, chỉ ra nguyên nhân do việc bơm mở rộng các giếng, khai thác quá mức tầng chứa nước ven biển phục vụ nông nghiệp. Nghiên cứu khác của Boula-beiz Mahrez và cộng sự⁵ thiết lập mô hình GALDIT dựa trên GIS để đánh giá tính dễ bị tổn thương của tầng chứa nước ven biển đối với sự xâm nhập mặn tại đồng bằng Collo, thuộc Algeria. Nghiên cứu đã chỉ ra yếu tố khoảng cách từ bờ đến điểm nghiên cứu và hệ số thấm của tầng chứa nước có ý nghĩa quan trọng đối với kết quả mô hình phân tích. Kết quả nghiên cứu còn cung cấp một cơ sở ước lượng cho các nhà quản lý trong tương lai để xác định vị trí, thiết kế các giếng bơm nước ngầm phù hợp với đặc điểm khu vực. Nghiên cứu của Lappas I. và cộng sự²³ đã ứng dụng mô hình GALDIT được Chachadi và Lobo Ferreira phát triển dựa trên nền tảng GIS để xác định các khu vực dễ bị tổn thương của tầng chứa nước ven biển Atalanti, thuộc Hy Lạp đối với sự xâm nhập mặn. Nghiên cứu này đã chỉ ra kiểu tầng chứa nước liên quan chính đến mức độ nhạy cảm của tầng chứa nước với sự xâm nhập của nước biển. Tương tự, tại Hy Lạp, Zografina Mavriou và cộng sự²⁴ cũng áp dụng phương pháp GALDIT trên hệ thống thông tin địa lý (GIS) để đánh giá tính dễ bị tổn thương của nước dưới đất đối với sự

xâm nhập mặn. Kết quả cho thấy nguyên nhân chính gây tổn thương tầng chứa nước là do khai thác quá mức khiến nước ngầm bị nhiễm mặn do nước biển xâm thực sâu vào đất liền.

Ở Việt Nam, việc nghiên cứu sử dụng mô hình GALDIT đánh giá mức độ dễ tổn thương với nhiễm bẩn của tầng chứa nước ven biển được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm²⁷⁻³¹. Nghiên cứu của Trần Thanh Cảnh và cộng sự [28] đã sử dụng phương pháp GALDIT thành lập được bản đồ phân vùng mức độ nguy cơ tổn thương do nhiễm mặn nước dưới đất tại Tiền Giang. Kết quả của nghiên cứu đã cho thấy khu vực có nguy cơ tổn thương rất cao nằm gần ranh giới mặn và có phễu hạ thấp mực nước lớn, đại diện là các thông số “cốt cao mực nước dưới đất”, “khoảng cách từ điểm nghiên cứu tới ranh giới mặn - nhạt” và “tác động của hiện trạng xâm nhập mặn”. Tương tự, Phan Nam Long và Huỳnh Tiến Đạt²⁷ cũng ứng dụng GALDIT trên nền tảng GIS đánh giá tổn thương do xâm nhập mặn tại Quảng Nam, Đà Nẵng. Kết quả cho thấy các vùng có nguy cơ dễ bị tổn thương cao phân bố dọc bờ biển và các khu dân cư đông đúc, gần sông.

Trong bài báo này tích hợp GIS và mô hình GALDIT được sử dụng nhằm đánh giá mức độ nguy cơ tổn thương do nhiễm mặn tầng chứa nước Pleistocens giữa – trên (qp₂₋₃) trên địa bàn thị xã Phú Mỹ, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. Kết quả nghiên cứu là tài liệu tham chiếu và cung cấp thông tin cho các nhà quản lý trong quá trình cấp phép khai thác và sử dụng.

TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Vùng nghiên cứu

Thị xã Phú Mỹ thuộc tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu giáp huyện Châu Đức về phía Đông, huyện Cần Giuộc về phía Tây, thành phố Vũng Tàu và thành phố Bà Rịa về phía Nam và huyện Long Thành và huyện Nhơn Trạch về phía Bắc. Thị xã Phú Mỹ có 3 tầng chứa nước lỗ hổng chính (gồm tầng chứa nước Pleistocens trên (qp₃), Pleistocens giữa-trên (qp₂₋₃) và Pleistocens dưới (qp₁)) có diện phân bố trải rộng, là nguồn nước được người dân khai thác sử dụng khoảng 21.550 m³/ngày. Trong đó, nhà máy nước Phú Mỹ - Mỹ Xuân đang khai thác quy mô công nghiệp với công suất hiện nay khoảng trên 15.000 m³/ngày³².

Tài liệu nghiên cứu

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã tổng hợp rất nhiều nguồn tài liệu về đặc điểm địa chất thủy văn, thông số các tầng chứa nước từ các nghiên cứu trước đây của tại 09 giếng quan trắc (NB2A, NB2B, NB1A, VT2B,

NB4, QT11, QT7A, QT5A, VT4A) trên địa bàn thị xã Phú Mỹ của Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu. Vị trí các giếng quan trắc được trình bày trong sơ đồ vị trí ở Hình 1. Số liệu chất lượng nước được sử dụng gồm 04 thông số (Cl⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻, TDS) tại 09 giếng trên được sử dụng từ đề tài nghiên cứu khoa học loại C2018-24-1 do Nguyễn Hải Âu chủ trì thực hiện³³. Ranh giới mặn – nhạt được sử dụng từ kết quả dự án “Điều tra, đánh giá nhiễm mặn các tầng chứa nước do tác động của biến đổi khí hậu, mực nước biển dâng tại các khu vực ven biển tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu” do Sở Tài nguyên và Môi trường chủ quản và Nguyễn Hải Âu chủ trì thực hiện.

Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp GALDIT

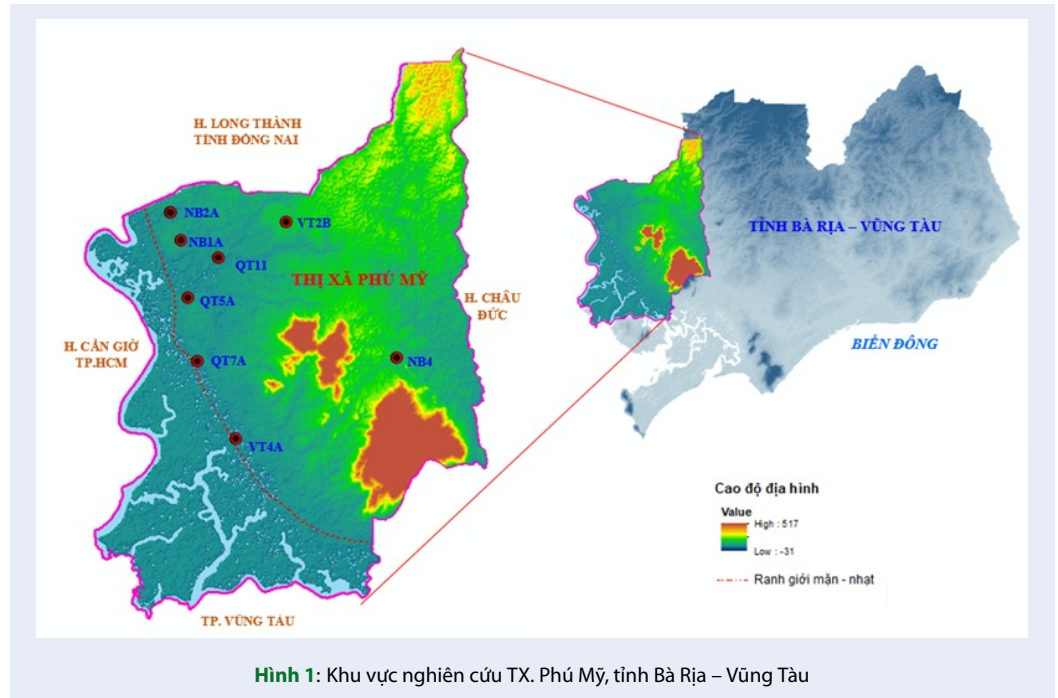
Tính dễ bị tổn thương của tầng chứa nước Pleistocens (giữa trên) do sự xâm nhập của nước biển đã được đánh giá bằng phương pháp GALDIT của Chachadi và Lobo-Ferreira (năm 2005)³⁴. GALDIT là một phương pháp lập bản đồ chỉ số. Phương pháp GALDIT là một phương pháp cơ bản về áp dụng giá trị điểm số, trọng số và phân vùng chỉ số tổn thương. Ở đây có thể nói rõ ràng rằng chỉ số cung cấp một công cụ ước lượng đầu tiên thay vì cung cấp các câu trả lời tuyệt đối. Do đó, việc xác định chỉ số tổn thương của nước dưới đất liên quan đến xâm nhập nước biển dựa trên sự kết hợp của 6 tham số chính (G, A, L, D, I, T tương ứng với kiểu tầng chứa nước, hệ số thấm của tầng chứa nước, cốt cao mực nước dưới đất, khoảng cách từ điểm nghiên cứu tới đường bờ biển, tác động của xâm nhập mặn và chiều dày tầng chứa nước), được coi là yếu tố quan trọng nhất kiểm soát sự xâm nhập. Chỉ số GALDIT được tính toán theo công thức sau:

$$GALDIT = \frac{\sum_{i=1}^6 W_i \times R_i}{\sum_{i=1}^6 W_i} \quad (1)$$

Trong đó:

W_i : Trọng số của các trọng số thứ i , R_i : Điểm số đánh giá cho giá trị của thông số i . Giá trị chỉ số GALDIT cao hơn tương ứng với khả năng nhiễm bẩn cao hơn và ngược lại.

- *Kiểu tầng chứa nước (G-Groundwater occurrence)*: Sự xuất hiện của nước ngầm liên quan đến loại tầng nước ngầm có thể rơi vào một trong ba nhóm: tầng chứa nước không áp, tầng chứa nước có áp, tầng chứa nước thấm xuyên.
- *Hệ số thấm của tầng chứa nước (A-Aquifer hydraulic conductivity)*: Hệ số thấm của tầng chứa nước phản ánh mức độ di chuyển của nước biển vào tầng chứa nước nhạt. Hệ số thấm của tầng



- chứa nước càng lớn thì nguy cơ gây tổn thương cho tầng chứa nước càng lớn và ngược lại.
- **Cốt cao mực nước dưới đất (L-Height of groundwater level above sea level):** Cốt cao mực nước cho biết khả năng nước mặn sẽ xâm nhập vào tầng chứa nước hay tầng chứa nước đẩy nước mặn đi ra. Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng thang điểm của nhóm tác giả (Trần Thanh Cảnh, Nguyễn Bách Thảo, Bùi Trần Vượng)²⁸ đã điều chỉnh phù hợp với tầng chứa nước sâu.
 - **Khoảng cách từ điểm nghiên cứu tới đường bờ biển (D-Distance from the shore):** Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng thang điểm của nhóm tác giả (Trần Thanh Cảnh, Nguyễn Bách Thảo, Bùi Trần Vượng)²⁸. Tham số này được điều chỉnh là khoảng cách từ giếng quan trắc đến ranh giới mặn nhạt của tầng chứa nước do Nguyễn Hải Âu chủ trì thực hiện năm 2020.
 - **Tác động của xâm nhập mặn (I-Impact of existing status of seawater intrusion):** Tác động của xâm nhập mặn trong tầng chứa nước được đánh giá theo tỷ lệ $Cl^-/[HCO_3^- + CO_3^{2-}]$. Trong nước biển hàm lượng ion clorua chiếm ưu thế, còn trong tầng chứa nước nhạt hàm lượng ion bicarbonat thường chiếm ưu thế.
 - **Chiều dày tầng chứa nước (T-Thickness of aquifer):** Theo quan điểm của Chachadi độ dày tầng nước ngầm càng lớn thì mức độ xâm nhập của nước biển càng lớn và ngược lại. Khả năng

xâm nhập mặn theo chiều thẳng đứng là không đáng kể, do vậy chiều dày tầng chứa nước càng lớn thì thể tích nước tích trữ trong tầng càng lớn, khả năng mặn xâm nhập theo chiều ngang vào tầng chứa nước càng nhỏ và ngược lại.

Khoảng chia điểm số của các tham số GALDIT được lấy theo Chachadi và Lobo-Ferreira (năm 2005)³⁴ dựa vào đặc điểm của từng thông số phân tích trên (Bảng 1) và phân vùng nguy cơ tổn thương (Bảng 2).

Thuật toán nội suy IDW

Từ số liệu tính toán các tham số (G, A, L, D, I, T), thuật toán nghịch đảo có trọng số khoảng cách (IDW) được sử dụng để tạo các bản đồ nội suy không gian thông qua phần mềm ArcGIS. Phương pháp nội suy IDW là một phương pháp phổ biến và dễ ứng dụng, xác định các giá trị điểm chưa biết thông qua việc thực hiện tính trung bình trọng số khoảng cách giá trị của các điểm đã biết của mỗi pixel. Những điểm gần, giá trị trọng số lớn ảnh hưởng rất nhiều đến giá trị tính toán, ngược lại những điểm càng cách xa điểm cần tính thì giá trị ít bị ảnh hưởng, từ đó khoanh vùng bán kính xác định có thể được sử dụng để xác định giá trị đầu ra cho mỗi vị trí.

Sau khi dữ liệu được tính toán thông qua phương pháp IDW sẽ được chồng lớp lên nhau thông qua công cụ calculator trong ArcGIS nhằm đưa ra kết quả chính xác về phân vùng tổn thương khu vực nghiên cứu.

Bảng 1: Khoảng chia điểm số của thông số GALDIT³⁴

Thông số	Trọng số	Điểm - khoảng giá trị			
		2,5	5	7	10
Loại tầng chứa nước	1		Thấm xuyên	Không áp	Có áp
Hệ số thấm (m/ngày)	3	<5	5 - 10	10 - 40	> 40
Cốt cao mực nước (m)	4	>-8	-8 ÷ -11	-11 ÷ -14	<-14
Khoảng cách tới ranh mặn (m)	4	>1000	700 - 1000	500 - 700	<500
[Cl ⁻ /(HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ²⁻)] (mgđl/l)	1	<1	1 - 1,5	1,5 - 2	>2
Chiều dày tầng chứa nước (m)	2	>70	50 - 70	30 - 50	<30

Bảng 2: Bảng phân vùng nguy cơ tổn thương

TT	Dải chỉ số GALDIT	Phân vùng
1	>7,5	Vùng nguy cơ tổn thương rất cao
2	5 - 7,5	Vùng nguy cơ tổn thương cao
3	2,5 - 5	Vùng nguy cơ tổn thương trung bình

Trọng số của mỗi điểm được tính theo công thức sau:

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i \cdot d_i^{-n}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-n}} \quad (2)$$

Trong đó:

Z_0 : giá trị ước tính của biến z tại điểm i

Z_i : giá trị mẫu tại điểm i.

d_i : khoảng cách điểm mẫu để ước tính điểm.

N: hệ số xác định trọng lượng dựa trên một khoảng cách.

Các thông số được nội suy, xây dựng các lớp bản đồ cho từng tham số, sau đó chồng các lớp đã nội suy lên theo công thức tổng thể của GALDIT²³.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

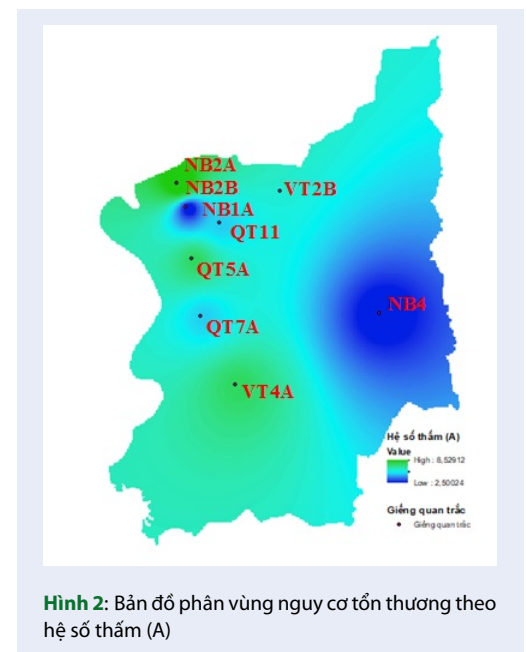
Kiểu tầng chứa nước (G)

Như đã trình bày ở trên, tổng hợp từ nhiều nguồn tài liệu khác nhau, tầng chứa nước Pleistocens (giữa – trên) khu vực nghiên cứu thuộc kiểu tầng chứa nước có áp được xác định cho tất cả các giếng quan trắc, tra Bảng 1 ta có giá trị G = 10.

Hệ số thấm (A)

Hệ số thấm (A) của tầng chứa nước Pleistocens tại 9 giếng quan trắc được tổng hợp từ tài liệu bơm nước thí nghiệm được hiện năm 2012³⁵. Giá trị hệ số thấm của tầng chứa nước Pleistocen (giữa – trên) trung bình 13,81 m/ngày. Từ các giá trị của hệ số thấm đã xác định số điểm (R_i) tương ứng và được tổng hợp trong Bảng 3. Dựa vào kết quả tính toán, bản đồ phân vùng

nguy cơ tổn thương theo hệ số thấm (A) được thành lập ở Hình 2, cho thấy tại các vùng có giá trị hệ số thấm càng lớn thì nguy cơ tổn thương càng lớn.



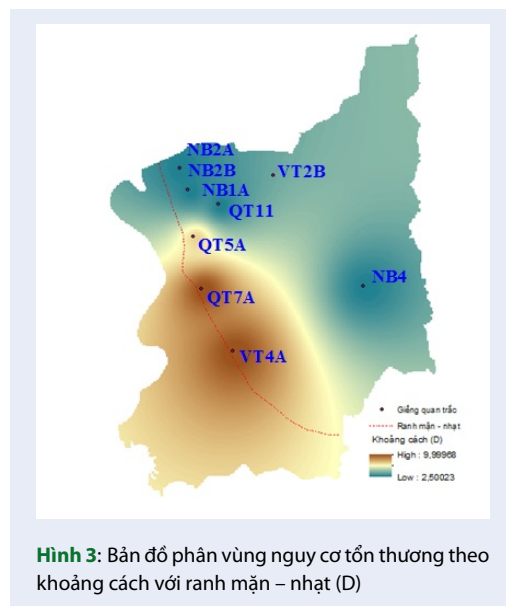
Hình 2: Bản đồ phân vùng nguy cơ tổn thương theo hệ số thấm (A)

Cốt cao mực nước dưới đất (L)

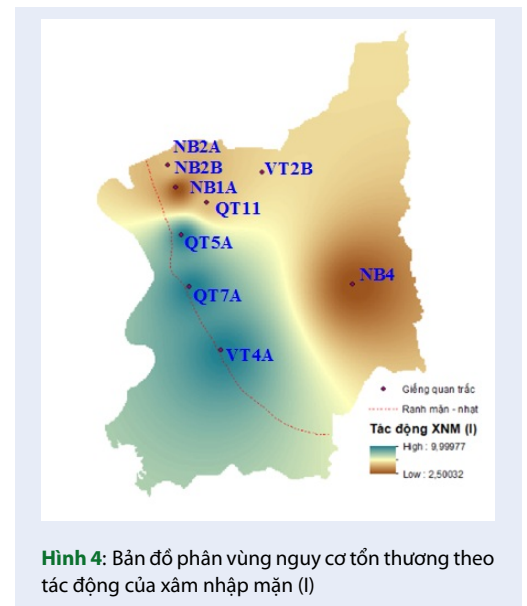
Giá trị mực nước trung bình tại các giếng thay đổi 0,7 đến 10,9 nằm trong khoảng giá trị >-8m nên điểm số được chọn là 2,5 tại tất cả các điểm quan trắc và được

Bảng 3: Giá trị tính toán các tham số và chỉ số GALDIT theo từng giếng quan trắc

Công trình	Kiểu tầng chứa nước (Tham số G)	Hệ số thấm (Tham số A)	Mức nước (Tham số L)	Khoảng cách (Tham số D)	Tham số I	Chiều dày chứa nước (tham số T)	Điểm theo chỉ số GALDIT
	Loại	Điểm	Giá trị (m/ngày)	Điểm	Giá trị (m)	Điểm	Giá trị (mgdl/)
NB1A	Có áp	10	3,44	2,5	5,00	2,5	1.177
NB2A	Có áp	10	21,33	7,0	10,90	2,5	1.154
NB2B	Có áp	10	42,67	10,0	5,00	2,5	1.154
NB4	Có áp	10	1,93	2,5	1,50	2,5	8.895
QT11	Có áp	10	7,16	5,0	4,00	2,5	2.579
QT7A	Có áp	10	7,16	5,0	1,68	2,5	265
QT5A	Có áp	10	22,91	7,0	1,06	2,5	605
VT4A	Có áp	10	13,53	7,0	0,71	2,5	158
VT2B	Có áp	10	4,20	2,5	6,00	2,5	6.400



Hình 3: Bản đồ phân vùng nguy cơ tổn thương theo khoảng cách với ranh mặn – nhạt (D)



Hình 4: Bản đồ phân vùng nguy cơ tổn thương theo tác động của xâm nhập mặn (I)

lấy chung cho toàn vùng nghiên cứu.

Khoảng cách từ điểm nghiên cứu tới ranh mặn – nhạt (D)

Từ số liệu tính toán và tổng hợp tại Bảng 3, về phân bố không gian thì các giếng nằm phía trong biên mặn – nhạt, khoảng cách của giếng gần nhất đến giếng là 158m, lớn nhất 8,9km và trung bình 1,4km. Dựa vào kết quả tính toán, bản đồ phân vùng nguy cơ tổn thương theo khoảng cách (D) được thành lập ở Hình 3, cho thấy tại các giếng quan trắc càng ngày biên giới ranh mặn nhạt thì nguy cơ tổn thương càng lớn.

Tác động của xâm nhập mặn (I)

Từ số liệu về hóa lý toàn diện tại 09 giếng quan trắc thu thập có tỷ số $[Cl^- / (HCO_3^- + CO_3^{2-})]$ thay đổi từ 0,2 đến 4,7 và trung bình cho cần chứa nước là 1,92. Trên cơ sở điểm số thu được tại các điểm nghiên cứu tiến hành lập bản đồ phân vùng mức độ nguy cơ tổn thương đối với tham số I như Hình 4.

Chiều dày tầng chứa nước (T)

Bề dày tầng chứa nước tại 09 giếng quan trắc thu thập có giá trị thay đổi từ 3 đến 24 m và trung bình bề dày tầng chứa là 13,5m, tất cả đều nhỏ hơn khoảng giá trị 30m nên giá trị điểm số được chọn là 10.

Tính toán chỉ số GALDIT

Chồng lớp các bản đồ điểm số của từng tham số (G, A, L, D, I, T) ta được bản đồ phân vùng mức độ tổn thương tầng chứa nước Pleistocens do nhiễm mặn theo chỉ số GALDIT được thành lập. Giá trị chỉ số GALDIT của tầng chứa nước Pleistocens (giữa – trên) nằm trong khoảng từ $4 \div 7,4$. Như vậy tính từ ranh giới mặn nhạt về phía đông của vùng nghiên cứu có diện tích 22.829 ha (gọi là diện tích vùng tính toán), thì phân vùng nguy cơ tổn thương (Hình 5) được chia thành 02 vùng: Vùng I (nguy cơ tổn thương cao) có diện tích 5.809 ha (chiếm tới 25,45% diện tích vùng tính toán); Vùng II (nguy cơ tổn thương trung bình) có diện tích 17.020 ha (chiếm 74,55% diện tích vùng tính toán) và không tồn tại vùng có nguy cơ tổn thương thấp.

KẾT LUẬN

Từ kết quả tổng hợp tài liệu và tính toán cho thấy mức độ nguy cơ tổn thương tầng chứa nước dưới đất Pleistocens giữa – trên (qp_{2-3}) theo chỉ số GALDIT trên nền tảng công nghệ GIS là tài liệu trực quan cung cấp thông tin quan trọng cho các nhà quản lý tham chiếu trong quá trình cấp phép khai thác hoặc giám sát xâm

nhập mặn trên địa bàn thị xã Phú Mỹ, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. Kết quả nghiên cứu phân vùng nguy cơ tổn thương được chia thành 02 vùng: Vùng I (nguy cơ tổn thương cao) có diện tích 5.809 ha (chiếm tới 25,45% diện tích vùng tính toán); Vùng II (nguy cơ tổn thương trung bình) có diện tích 17.020 ha (chiếm 74,55% diện tích vùng tính toán) và không tồn tại vùng có nguy cơ tổn thương thấp. Dựa vào kết quả trên và bản đồ phân vùng mức độ tổn thương tầng chứa nước dưới đất Pleistocens giữa – trên (qp_{2-3}) cần hạn chế xây dựng mới và khai thác nước dưới đất để tránh xảy ra hiện tượng xâm nhập mặn của tầng chứa nước và các công trình quan trắc hiện nay chưa đáp ứng được nhu cầu quan trắc nhiễm mặn. Vì vậy, cần đề xuất quy hoạch mạng quan trắc tài nguyên nước dưới đất nhằm phục vụ cho việc khai thác và sử dụng hiệu quả nguồn nước cấp.

GALDIT cho phép phân vùng nguy cơ tổn thương tầng chứa nước do xâm nhập mặn, tuy nhiên hạn chế trong nghiên cứu này là các giá trị trọng số được lấy theo nghiên cứu của Chachadi và Lobo-Ferreira (năm 2005)³⁴ nên chưa khách quan với đặc điểm của vùng nghiên cứu. Đồng thời, số lượng giếng quan trắc còn ít, nên kết quả nội suy IDW có thể tiềm ẩn các sai số.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM).

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

GALDIT (G-Groundwater occurrence; A-Aquifer hydraulic conductivity; L-Height of groundwater level above sea level; D-Distance from the shore; I-Impact of existing status of seawater intrusion; T-Thickness of aquifer).

EWQI (Entropy Water Quality Index): Chỉ số chất lượng nước trọng số Entropy.

WQI (Water Quality Index): Chỉ số chất lượng nước

TH (Total Hardness): Tổng độ cứng.

TDS (Total dissolved solids): Tổng chất rắn hòa tan.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

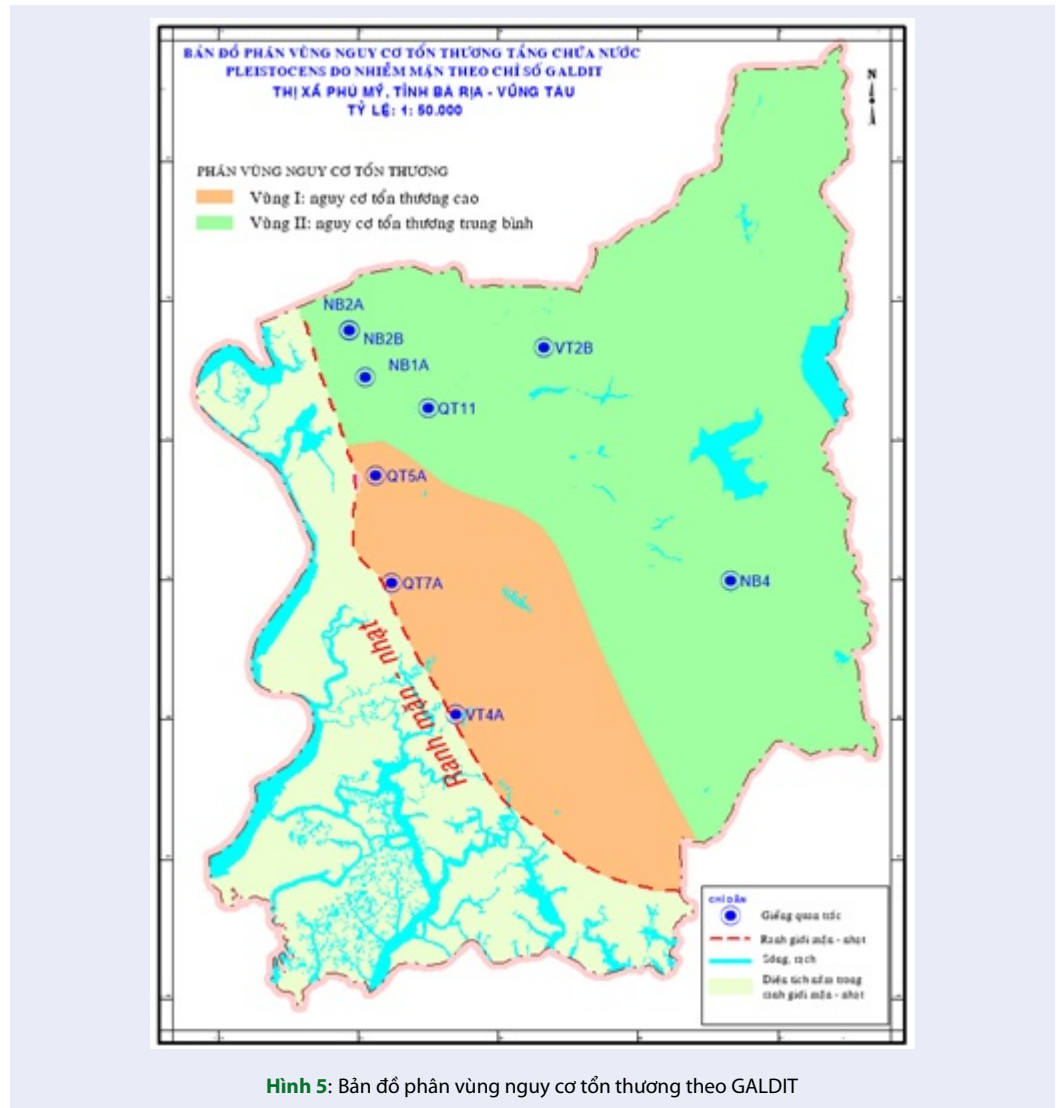
Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Nguyễn Hải Âu đóng góp luận giải các thông số GALDIT và tích hợp GIS, phân tích kết quả tính toán và viết chính bản thảo.

Phạm Thị Tuyết Nhi đóng góp thành lập bản đồ từng thông số GALDIT trên nền tảng công nghệ GIS.

Tất Hồng Minh Vy tham gia phân tích đặc điểm tầng chứa nước Pleistocens.



Hình 5: Bản đồ phân vùng nguy cơ tổn thương theo GALDIT

Lưu Khánh Linh tham gia thu thập và tổng hợp dữ liệu.

Trần Ngọc Thanh tham gia đóng góp xử lý dữ liệu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Hallaq AHA, Elaiash BSA. Assessment of aquifer vulnerability to contamination in Khanyounis Governorate, Gaza Strip-Palestine, using the DRASTIC model within GIS environment. *Arabian Journal of Geosciences*. 2011;5:833–847. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12517-011-0284-9>.
- Akbari M, Alamdarlo HN, Mosavi SH, et al. The effects of climate change and groundwater salinity on farmers' income risk. *Ecological Indicators*. 2020;110. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105893>.
- Bouderbala A. The impact of climate change on groundwater resources in coastal aquifers: case of the alluvial aquifer of Mitidja in Algeria. *Environmental Earth Sciences*. 2019;78. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8702-5>.
- Thiam S, Villamor GB, Kyei-Baffour N, Matty F. Soil salinity assessment and coping strategies in the coastal agricultural landscape in Djilor district, Senegal. *Land Use Policy*. 2019;88. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104191>.
- Mahrez B, et al. GIS-based GALDIT method for vulnerability assessment to seawater intrusion of the Quaternary coastal Collo aquifer (NE-Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*. 2018;11. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3400-2>.
- Kangabam RD, et al. Development of a water quality index (WQI) for the Loktak Lake in India. *Applied Water Science*. 2017;7:2907–2918. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0579-4>.
- Mora-Orozco DL, et al. Developing a water quality index (WQI) for an irrigation dam. *International journal of environmental research and public health*. 2017;14:439. PMID: 28468230. Available from: <https://doi.org/10.3390/ijerph14050439>.
- Şener Ş, et al. Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the Total Environment*. 2017;584:131–144. PMID: 28147293. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.102>.
- Soleimani H, et al. Data on drinking water quality using water quality index (WQI) and assessment of groundwater quality for irrigation purposes in Qorveh&Dehgolan, Kurdistan, Iran.

- Data in brief. 2018;20:375–386. PMID: 30175202. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.08.022>.
10. Xiao J, et al. Characteristics, sources, water quality and health risk assessment of trace elements in river water and well water in the Chinese Loess Plateau. *Science of the Total Environment*. 2019;650:2004–2012. PMID: 30290343. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.322>.
 11. Solangi GS, et al. Evaluation of drinking water quality using the water quality index (WQI), the synthetic pollution index (SPI) and geospatial tools in Thatta district, Pakistan. *Desalination and Water Treatment*. 2019;160:202–213. Available from: <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24241>.
 12. Bodrud-Doza M, et al. Characterization of groundwater quality using water evaluation indices, multivariate statistics and geostatistics in central Bangladesh. *Water Science*. 2016;30:19–40. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2016.05.001>.
 13. Rao NS, et al. Quality and degree of pollution of groundwater, using PIG from a rural part of Telangana State, India,” *Applied Water Science*. 2018;8. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0864-x>.
 14. Egbueri JC. Groundwater quality assessment using pollution index of groundwater (PIG), ecological risk index (ERI) and hierarchical cluster analysis (HCA): A case study. *Groundwater for Sustainable Development*. 2020;10. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100292>.
 15. Kamaunji JMIVD, et al. Hydrogeochemical evolution and groundwater quality assessment using chemical systematics, statistical techniques, and pollution index of groundwater (PIG): a case study. *Environmental Earth Sciences*. 2021;.
 16. Rao NS, Chaudhary M. Hydrogeochemical processes regulating the spatial distribution of groundwater contamination, using pollution index of groundwater (PIG) and hierarchical cluster analysis (HCA): A case study. *Groundwater for Sustainable Development*. 2019;9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100238>.
 17. Wagh V, et al. Study of groundwater contamination and drinking suitability in basaltic terrain of Maharashtra, India through PIG and multivariate statistical techniques. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. 2020;69:398–414. Available from: <https://doi.org/10.2166/aqua.2020.108>.
 18. Yu C, et al. A field demonstration of the entropy-weighted fuzzy DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment. *Hydrological Sciences Journal*. 2012;57:1420–1432. Available from: <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.715746>.
 19. Al-Rawabdeh AM, et al. A GIS-Based Drastic Model for Assessing Aquifer Vulnerability in Amman-Zerqa Groundwater Basin, Jordan. *Engineering*. 2013;05:490–504. Available from: <https://doi.org/10.4236/eng.2013.55059>.
 20. Venkatesan G, et al. Assessment of Groundwater Vulnerability Using GIS and DRASTIC for Upper Palar River Basin, Tamil Nadu. *Journal of the Geological Society of India*. 2019;94:387–394. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12594-019-1326-2>.
 21. NAJIB AGS, et al. Application of the method GALDIT for the cartography of groundwaters vulnerability: Aquifer of Chaouia coast (Morocco). *The Scientific Annals vol. LVIII*. 2012;p. 77–88.
 22. Nguyen AH, et al. Application of Entropy weight in groundwater quality index (EWQI) and GIS for groundwater quality zoning in the Southeastern Coastal region, Vietnam. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;652. Available from: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/652/1/012005>.
 23. Lappas I, et al. Groundwater Vulnerability Assessment to Seawater Intrusion through Gis - Based Galdit Method. Case Study: Atalanti Coastal Aquifer, Central Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*. 2017;50. Available from: <https://doi.org/10.12681/bgsg.11786>.
 24. Mavriou Z, et al. Assessment of Groundwater Vulnerability in the North Aquifer Area of Rhodes Island Using the GALDIT Method and GIS. *Environments*. 2019;6. Available from: <https://doi.org/10.3390/environments6050056>.
 25. Pedreira R, et al. Groundwater vulnerability assessment of a coastal aquifer system at River Nestos eastern Delta, Greece. *Environmental Earth Sciences*. 2014;73:6387–6415. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3864-7>.
 26. Mirzavand HGM, et al. Saltwater intrusion vulnerability assessment using AHP-GALDIT model in Kashan plain aquifer as critical aquifer in a semi-arid region. *Desert*. 2018;23:255–264.
 27. Long HTDPN. Application of GIS-Base GALDIT for vulnerability assessment to saltwater intrusion of Holocene coastal aquifer: a case of Quang Nam - Da Nang city, Vietnam. *Vietnam Journal of Earth Sciences*. 2020;42:298–310. Available from: <https://doi.org/10.15625/0866-7187/42/3/15454>.
 28. Cảnh TT, et al. Đánh giá nguy cơ tổn thương do nhiễm mặn nước dưới đất vùng Tiền Giang bằng phương pháp GALDIT và đề xuất mạng lưới quan trắc xâm nhập mặn. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*. 2018;59:71–83.
 29. Âu NH, et al. Ứng dụng phân tích thống kê đa biến trong đánh giá chất lượng nước dưới đất huyện Tân Thành, tỉnh Bà Rịa-Vũng Tàu. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ*. 2017;20:66–72.
 30. Ngọc PNH, et al. Ứng dụng phương pháp phân tích cụm và phân tích biệt số đánh giá nhiễm mặn tầng chứa nước Pleistocens 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>.
 31. Nguyen AH, et al. Application of groundwater quality index (GWQI) and principle component analysis (PCA) to assess the groundwater quality of Pleistocene aquifer in Tân Thành district, Ba Ria-Vung Tau province. *Science & Technology Development Journal-Science of The Earth & Environment*. 2018;2:107–115. Available from: <https://doi.org/10.32508/stdjsee.v2i2.499>.
 32. Âu NH. Điều tra, đánh giá nhiễm mặn các tầng chứa nước do tác động của biến đổi khí hậu, mực nước biển dâng tại các khu vực ven biển tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. *Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh BRVT2020*.
 33. Âu NH. Ứng dụng tích hợp phương pháp thủy địa hóa, phân tích thống kê đa biến và kỹ thuật địa thống kê đánh giá nhiễm mặn các tầng chứa nước dưới đất vùng ven biển - Nghiên cứu điển hình tầng chứa nước dưới đất Pleistocens địa bàn huyện Tân Thành, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. *Viện Môi trường và Tài nguyên, Đại học quốc gia TP.HCM*. 2020;.
 34. Ferreira A, Chachadi A. Assessing aquifer vulnerability to seawater intrusion using GALDIT method: Part 2-GALDIT Indicators Description. in *Proceedings of the 4th Inter Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources*. 2005;.
 35. Sở Tài Nguyên và Môi trường tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. *Nghiên cứu điều tra bổ sung, quy hoạch quản lý khai thác, bảo vệ bền vững tài nguyên nước dưới đất tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu*. 2012;.