

Groundwater quality evaluation using Water Quality Index and GIS technique for the Holocene and Pleistocene aquifers in the coastal zone of Ninh Thuan province

Trinh Hoai Thu^{1,*}, Tran Thi Thuy Huong¹, Le Thi Phuong Quynh², Vu Le Phuong¹,
Le Duc Anh¹, Mai Duc Dong¹

¹*Institute of Marine Geology and Geophysics, VAST, Vietnam*

²*Institute of Natural Products Chemistry, VAST, Vietnam*

*E-mail: hoaitu0609@hotmail.com

Received: 12 June 2020; Accepted: 16 December 2020

©2021 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

Abstract

This study represents the application of the Water Quality Indices (WQI) and GIS techniques to grading water pollution and the factors that influenced the groundwater quality of the Holocene (qh) and Pleistocene (qp) aquifers in the coastal zone of Ninh Thuan province. 100 underground water samples were collected from residential water well of qh aquifer (53 samples) and qp aquifer (47 samples). Water quality indices using in the study incorporated total dissolved solids (TDS), chloride (Cl⁻), fluoride (F⁻), nitrite (NO₂⁻), nitrate (NO₃⁻), iron (Fe³⁺), manganese (Mn²⁺). Calculated WQI grading scale for the groundwater quality of the 100 water samples ranged from very good to inedible for drinking purpose. The result shown the water sample graded as “excellent water quality” accounted the most (23,3% and 14,9% for the qh and qp aquifer, respectively), the followings were “good water quality” grade ranked the second (9,4% and 8,5%); “poor water quality” grade (43,4% and 30,04%); “very poor water quality” grade (1,89% and 10,64%); and “inedible” grade (16,98% and 31,9%). Water samples graded as “very poor” and “inedible” were mostly distributed on the southeast of Ninh Hai district and Tri Hai commune (Ninh Hai district), Xuan Hai and Cong Hai communes (Thuan Bac district), Phuoc Thuan (Ninh Phuoc district) of the qh aquifer, and to the south of study area of the qp aquifer because of the exceptionally high TDS. Other samples which were low on TDS but graded “bad” due to surprisingly high concentrations of other ions (Cl⁻, NO₃⁻, NO₂⁻). The result provided concremented information on the polluted agents in groundwater and a valuable tool to support authorities in management and zoning groundwater quality of the study area.

Keywords: Water Quality Indices (WQI) and GIS, Holocene aquifer (qh), Pleistocene aquifer (qp), coastal zone of Ninh Thuan province.

Citation: Trinh Hoai Thu, Tran Thi Thuy Huong, Le Thi Phuong Quynh, Vu Le Phuong, Le Duc Anh, Mai Duc Dong, 2021. Groundwater quality evaluation using Water Quality Index and GIS technique for the Holocene and Pleistocene aquifers in the coastal zone of Ninh Thuan province. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 21(2), 133–148.

Ứng dụng phương pháp chỉ số WQI và phương pháp GIS đánh giá chất lượng nước dưới đất tầng chứa nước Holocen và Pleistocen vùng ven biển tỉnh Ninh Thuận

Trịnh Hoài Thu¹, Trần Thị Thúy Hương¹, Lê Thị Phương Quỳnh², Vũ Lê Phương¹,
Lê Đức Anh¹, Mai Đức Đông¹

¹*Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Việt Nam*

²*Viện Hóa học các Hợp chất thiên nhiên, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Việt Nam*

Nhận bài: 12-6-2020; Chấp nhận đăng: 16-12-2020

Tóm tắt

Trong nghiên cứu này, các phương pháp chỉ số chất lượng nước (WQI) và phương pháp GIS được ứng dụng cho việc đánh giá mức độ chất lượng và các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng nước của hai tầng chứa nước Holocen (qh) và Pleistocen (qp) khu vực ven biển tỉnh Ninh Thuận. Các mẫu nước dưới đất được lấy từ 100 giếng của cả hai tầng chứa nước (tầng qh là 53 mẫu, tầng qp là 47 mẫu). Các thông số chất lượng nước bao gồm: Tổng chất rắn hòa tan (TDS), Cl⁻, F⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, Fe³⁺, Mn²⁺ được lựa chọn để phân tích, đánh giá trong nghiên cứu này. Kết quả tính toán WQI theo thang phân cấp chất lượng nước dưới đất (NDĐ) của 100 mẫu khảo sát cho thấy chất lượng nước đạt từ mức rất tốt đến mức không sử dụng được theo QCVN 09-MT:2015/BTNMT. Trong đó, nước có chất lượng rất tốt chiếm 23,3% (tầng qh), 14,9% (tầng qp); nước có chất lượng tốt chiếm 9,4% (tầng qh), 8,5% (tầng qp); nước có chất lượng xấu chiếm 43,4% (tầng qh), 30,04% (tầng qp); và nước có chất lượng rất xấu chiếm 1,89% (tầng qh), 10,64% (tầng qp); nước không thể sử dụng được chiếm 16,98% số mẫu nước tầng qh và 31,9% mẫu nước tầng qp, phân bố phía đông nam thành phố Phan Rang, xã Trí Hải (huyện Ninh Hải); xã Xuân Hải, xã Công Hải (huyện Thuận Bắc); xã Phước Thuận (huyện Ninh Phước) của tầng qh và phía nam khu vực nghiên cứu đối với tầng qp. Kết quả nghiên cứu cung cấp những thông tin cụ thể về hàm lượng chất ô nhiễm trong NDĐ và là công cụ hữu ích trong việc phân vùng chất lượng NDĐ khu vực nghiên cứu giúp cơ quan quản lý hoạch định, khoanh vùng chất lượng nước dưới đất.

Từ khóa: Chỉ số chất lượng nước (WQI), GIS, tầng chứa nước Holocen (qh) và tầng chứa nước Pleistocen (qp), khu vực ven biển Ninh Thuận.

MỞ ĐẦU

Tỉnh Ninh Thuận được xác định có nguồn tài nguyên nước khan hiếm nhất. Lượng mưa thấp, địa hình ngấn, dốc, cùng với thảm thực vật có khả năng trữ ít nên phần lớn lượng nước mặt trong mùa mưa đều đổ ra biển. Tài nguyên nước dưới đất cũng thuộc loại nghèo, khả năng khai thác ít. Trong những năm gần đây, nhu cầu sử dụng nước ngày một tăng cao cùng với tác

động của biến đổi khí hậu (BĐKH) nên tỉnh Ninh Thuận luôn phải đối mặt với tình trạng hạn hán, hoang mạc hóa, chất lượng nước dưới đất kém dẫn đến thiếu nước dùng. Chất lượng nước dưới đất được đánh giá dựa vào đặc tính hóa lý và hóa học của nước. Chỉ số chất lượng nước dưới đất (WQI) là phương pháp mô tả định lượng về chất lượng nước và khả năng sử dụng nguồn nước, được biểu diễn qua thang

phân cấp, và là thông số quan trọng để phân vùng chất lượng nước dưới đất [1]. Trong các nghiên cứu gần đây, chỉ số WQI đã được sử dụng để đánh giá chất lượng NĐĐ phục vụ cho ăn uống, sinh hoạt, ví dụ, ở Tamil Nadu, Ấn Độ [2, 3], thị trấn Dhar và các thành phố khác của Ấn Độ [4–7], đồng bằng Tefenni ở Thổ Nhĩ Kỳ [8, 9]. Sự tích hợp hai phương pháp WQI và GIS được sử dụng trong đánh giá chất lượng NĐĐ [1, 10–15] dựa vào mối quan hệ giữa các thông số đo đạc với đặc điểm nguồn chứa nước để giám sát và quản lý NĐĐ hiệu quả.

Các nghiên cứu chất lượng nước dưới đất ở Việt Nam chủ yếu sử dụng các thông số đơn lẻ để đánh giá chất lượng nước như TDS để xác định ranh giới ranh giới nước mặn - nhạt [16] ở một số tỉnh ven biển, hoặc ô nhiễm kim loại nặng (As, Mn) trong nước dưới đất ở Đồng Tháp và đồng bằng sông Cửu Long... [17–19]. Ngoài ra, một số nghiên cứu khác đã sử dụng chỉ số WQI để đánh giá chất lượng NĐĐ dựa trên các thông số hóa lý và hóa học ở khu vực Cà Mau, Tp. Hồ Chí Minh, Bà Rịa-Vũng Tàu,... [20, 21] để đề dề dàng nhận định về các vấn đề ô nhiễm nguồn nước đang sử dụng trong ăn uống và sinh hoạt hàng ngày. Tuy nhiên, khu vực ven biển tỉnh Ninh Thuận, các nghiên cứu trước đây chủ yếu đánh giá chất lượng nước mặn - nhạt ở các tầng chứa nước [22] thông qua thông số TDS. Vì vậy, trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng chỉ số WQI để đánh giá và giám sát chất lượng nguồn nước dưới đất, làm căn cứ để định hướng cho các mục đích sử dụng nước khác nhau qua các thông số như: TDS, Cl^- , F^- , NO_2^- , NO_3^- , Mn^{2+} , Fe^{3+} theo quy chuẩn quy định giá trị giới hạn cho phép về chất lượng NĐĐ [17].

ĐẶC ĐIỂM ĐỊA CHẤT THỦY VĂN CÁC TẦNG CHỨA NƯỚC TỈNH NINH THUẬN

Tầng chứa nước lỗ hổng các trầm tích Holocen (qh)

Thành phần đất đá đa dạng gồm cuội, sỏi đa khoáng, cát thạch anh, cát pha, cát lẫn bột sét, cát sét pha, bột, sét, cát chứa sạn, chứa vỏ sò, mảnh san hô màu xám đen, xám vàng, kết cấu rời rạc. Phân bố rộng rãi ở đồng bằng Phan Rang, dọc thung lũng sông Cái, khu vực Công Hải xuống An Nhơn, Phước Hậu - Phước Hải, Phương Hải,... Tổng diện tích lỗ khoảng 315 km^2 . Chiều

dày chứa nước của trầm tích biến đổi từ 0,1 m (giếng N554) đến 14,54 m (LK608); trung bình 1,94 m. Cá biệt, ở An Hải chiều dày của trầm tích Holocen đạt 47,64 m (LK606). Mức nước tĩnh trong các giếng và lỗ khoan dao động từ 0,1 m (N01) đến 9,45 m (NB127); trung bình 2,36 m. Mức độ chứa nước của các trầm tích được chia ra: Khu vực nghèo nước phân bố chủ yếu ở trung tâm, tây nam, đông bắc của đồng bằng Phan Rang và dọc theo QL27 từ Phan Rang - Tháp Chàm đến Mỹ Sơn (Ninh Sơn). Khu vực tương đối giàu nước phân bố xen kẽ với khu vực chứa nước nghèo. Nước siêu nhạt đến mặn, TDS thay đổi từ 0,27 g/L (GN107) đến 18,88 g/L (NT-19), trung bình từ 0,3–0,9 g/L. Nguồn cung cấp là nước mưa và nước mặt thấm trực tiếp. Nước mưa có thể cung cấp cho tầng qh khoảng 179 mm/năm và nước sông suối cung cấp cho các tầng chứa nước lỗ hổng khoảng 44,571 m^3 /ngày, chiếm 33.2% nguồn hình thành trữ lượng khai thác tiềm năng NĐĐ (4). Miền thoát là mạng sông suối và thấm xuống cung cấp cho các tầng chứa nước nằm phía dưới. Hướng vận động của nước ngầm về phía lòng sông, suối, theo độ dốc của mặt địa hình và thoát ra biển. Động thái mực nước biến đổi theo mùa, có quan hệ mật thiết với nước mặt, nước mưa và các yếu tố khí tượng thủy văn trong vùng.

Tầng chứa nước Holocen tuy có diện phân bố rộng, song chiều dày nhỏ, nhiều nơi bị nhiễm mặn nên khả năng cung cấp nước bị hạn chế. Tuy nhiên, ở những thung lũng rộng, trung tâm đồng bằng Phan Rang tầng chứa nước có chiều dày thường lớn có thể điều tra cung cấp nước quy mô nhỏ đến vừa. Đây có thể coi là đối tượng có ý nghĩa rất quan trọng trong cung cấp nước đối với vùng khô hạn như Ninh Thuận.

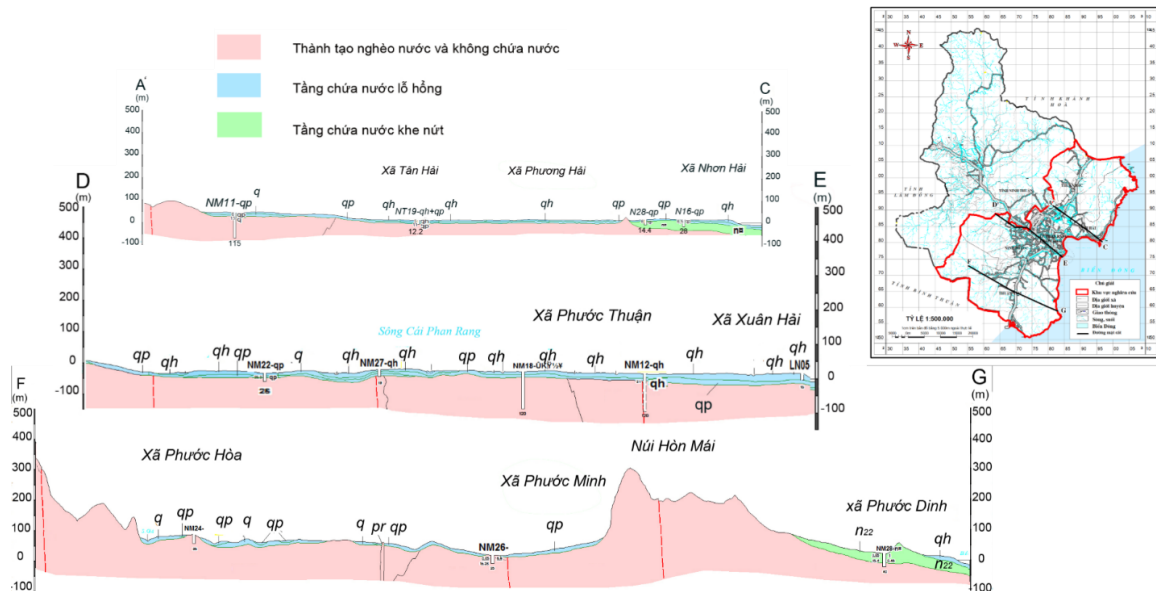
Tầng chứa nước lỗ hổng các trầm tích Pleistocen (qp)

Thành phần đất đá chủ yếu là hạt thô: Sạn, cát, cuội, cát pha, cát lẫn ít bột sét, ít hơn là sét pha màu xám xanh, xám sáng, nâu đỏ loang lổ, kết cấu rời rạc đến nén yếu. Phân bố chủ yếu khu vực sân bay Thành Sơn, xã Tân Hải và phía Nam của đồng bằng Phan Rang, xã Phước Hòa (Bác Ái) đến Quảng Sơn (Ninh Sơn). Tổng diện tích của tầng chứa nước khoảng 364 km^2 . Chiều dày thay đổi từ 0,13 m (giếng N363) đến 42,9 m (LN-10) ở Phước Dinh. Chiều sâu mực nước

tĩnh trong các giếng và lỗ khoan dao động từ 0 m (NM16) đến 17,10 m (LN-10), trung bình từ 2,0–4,0 m. Mùa mưa mực nước trong các giếng dâng cao, trong khi cuối mùa khô có khá nhiều giếng bị khô kiệt hoàn toàn. Có 2 mức độ chứa nước: Khu vực nghèo nước là các thành tạo hạt mịn sét pha, cát pha màu nâu đỏ chiếm một diện tích đáng kể ở đồng bằng Phan Rang, Nhơn Sơn (Ninh Sơn), Tân Hải (Ninh Hải),... Độ sâu mực nước dao động từ 0 m (NM16) đến 5,45 m (GN103, trung bình từ 1,0–1,2 m. Kết quả hút nước thí nghiệm các giếng và lỗ khoan cho thấy lưu lượng thay đổi từ 0,06 L/s (GN70) đến 0,95 L/s (NM12), trung bình là 0,3 L/s; hệ số thấm của đất đá trong tầng chứa nước dao động từ 0,13–4,33 m/ng, trung bình 1,55 m/ng; Khu vực tương đối giàu nước phân bố hạn chế ở phía nam Phước Hữu, phía bắc xã Phước Nam (Thuận Nam) và ở Phước Vinh (Ninh Phước), khoảng 20 km². Độ sâu mực nước dao động từ 0,53 m (GN29) đến 17,1 m (LN-10), trung bình từ 1,0–

3,0 m. Kết quả hút nước thí nghiệm các giếng và lỗ khoan cho thấy lưu lượng thay đổi từ 1,0 L/s (PN15) đến 3,84 L/s (PN259), trung bình là 2,3 L/s; hệ số thấm của đất đá trong tầng dao động từ 0,26–4,79 m/ng. Nước siêu nhạt đến mặn, đôi nơi rất mặn, TDS thay đổi từ 0,02 g/L (GN104) đến 22,88 g/L (LK803A), trung bình từ 0,3–1,0 g/L. Nguồn cung cấp cho tầng là nước mưa, nước mặt và nơi bị phủ thì được nước trong tầng Holocen cung cấp; miền thoát là mạng sông suối trong vùng, một phần cung cấp cho tầng chứa nước bên dưới. Động thái NĐĐ thay đổi theo mùa và chịu sự chi phối mạnh mẽ bởi các yếu tố khí tượng thủy văn.

Tầng chứa nước Pleistocen có ý nghĩa rất quan trọng đối với cung cấp nước sinh hoạt. Đây là tầng chứa nước triển vọng và có ý nghĩa hơn cả so với các tầng chứa nước khác, do phân bố trên phạm vi lớn thuộc các cụm cư dân và là nơi trọng điểm về phát triển kinh tế của tỉnh Ninh Thuận.



Hình 1. Sơ đồ mặt cắt ĐCTV khu vực nghiên cứu

TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

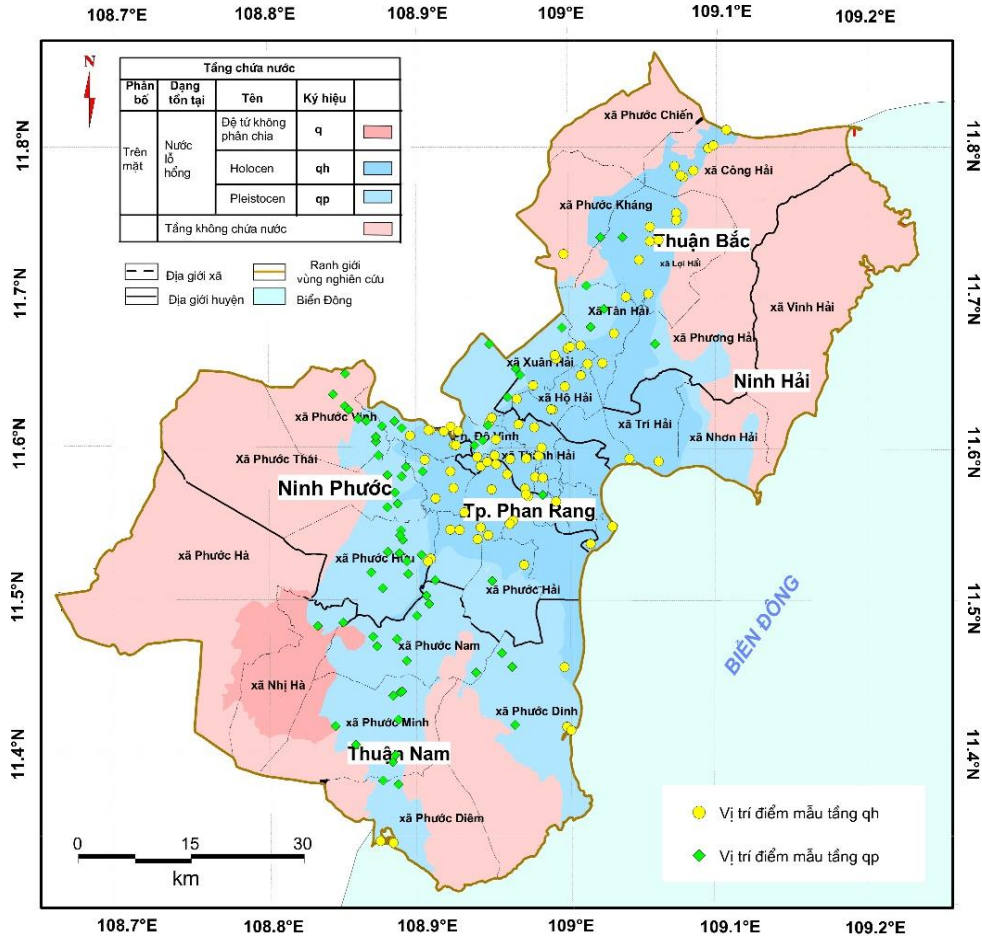
Tài liệu nghiên cứu

Các mẫu nước được lấy từ các giếng của hai tầng chứa nước gồm 53 mẫu (tầng qh), 47 mẫu (tầng qp) (Trịnh Hoài Thu, tháng 6/2019). Các mẫu nước được lấy bằng cách bơm từ các giếng và đo trực tiếp nhiệt độ, màu

sắc, mùi, độ sâu giếng. Độ dẫn điện được đo trực tiếp bằng thiết bị cầm tay Hanna HI 9835 và Adwa AD32 (Ruman). Các mẫu nước được lưu trữ trong chai nhựa và vận chuyển đến phòng thí nghiệm để phân tích. TDS được xác định gián tiếp thông qua độ dẫn điện; hàm lượng Fe³⁺, Mn²⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ và F⁻ được xác định bằng phương pháp so màu (APHA, 2012)

trên máy UV-VIS V630 (JASCO, Nhật Bản). Hàm lượng Cl^- xác định bằng chuẩn độ. Các

chỉ tiêu phân tích được đo lặp lại 3 lần và kết quả là giá trị trung bình.



Hình 2. Khu vực nghiên cứu và vị trí lấy mẫu nước thực địa [Nguồn: Trịnh Hoài Thu, 6-2019]

Phương pháp tính toán WQI

Phương pháp WQI phản ánh hợp phần ảnh hưởng riêng của các thông số chất lượng nước khác nhau, phụ thuộc nhiều vào đặc điểm khu vực nghiên cứu và mục đích sử dụng [23]. Giá trị WQI của các mẫu nước được tính theo 4 bước:

Bước 1: Lựa chọn các thông số để đánh giá chất lượng nước, bao gồm: TDS, NO_2^- , NO_3^- , F, Cl^- , Fe^{3+} và Mn^{2+} .

Bước 2: Tính trọng số W_i đối với từng thông số ứng với các giới hạn cho phép tương ứng, được tính theo công thức như sau (bảng 1):

$$W_i = \frac{K}{S_n}$$

Trong đó: K là hệ số được tính theo công thức như sau:

$$K = \frac{1}{\sum \frac{1}{S_i}} \quad (1)$$

Bước 3: Tính chỉ số đơn lẻ (chỉ số phụ của từng thông số):

$$Q_i = \frac{V_i}{S_i} * 100 \quad (3)$$

Trong đó: Q_i là chỉ số đơn lẻ; V_i là nồng độ của các thông số trong các mẫu nước phân tích; S_i là giới hạn cho phép của các thông số theo QCVN, đơn vị mg/L.

Bảng 1. Bảng trọng số tạm thời, trọng số cuối cùng và giá trị giới hạn của các thông số

Thông số	Đơn vị	Hệ số K	Trọng số W_i	Giá trị giới hạn (Si) (QCVN 09-MT:2015/BTNMT)
TDS	mg/l	0,23412	0,00016	1500
Cl ⁻	mg/l		0,23412	250
F ⁻	mg/l		0,01561	1,0
NO ₂ ⁻	mg/l		0,04682	1,0
NO ₃ ⁻	mg/l		0,46824	15
Fe ³⁺	mg/l		0,00094	5
Mn ²⁺	mg/l		0,23412	0,5
Tổng			1	

Bước 4: Tính chỉ số chất lượng nước của một thông số.

Chỉ số chất lượng nước tổng hợp bằng tổng chỉ số chất lượng nước của các thông số như công thức:

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i W_i}{\sum W_i} \quad (5)$$

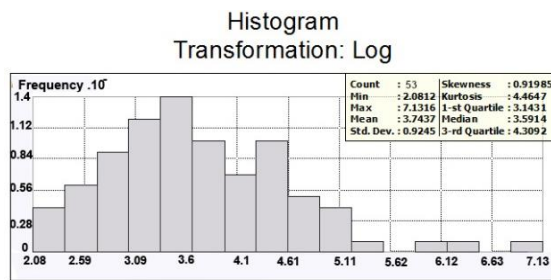
Các giá trị WQI được tính toán được phân thành các mức chất lượng khác nhau theo bảng phân cấp đánh giá chất lượng nước dưới đất (bảng 2).

Phương pháp GIS

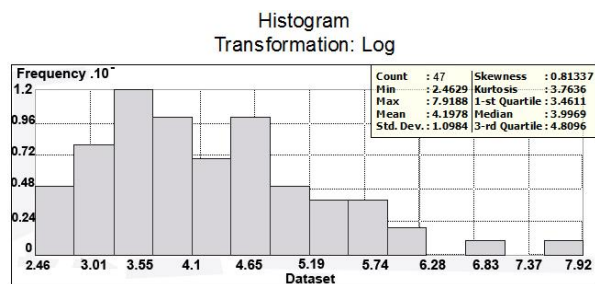
Phương pháp nội suy Kriging xác định giá trị thông số theo không gian ở vị trí chưa có số liệu thông qua các giá trị của thông số đó đã biết tại một số vị trí.

Bảng 2. Bảng phân cấp đánh giá chất lượng nước dưới đất [23]

Mức WQI	Chất lượng nước
< 25	Rất tốt
26-50	Tốt
51-75	Xấu
76-100	Rất xấu
> 100	Không sử dụng được



Dataset : Tầng qh. Attribute: WQI
(a) Tầng qh



Dataset : Tầng qp. Attribute: WQI
(b) Tầng qp

Hình 3. Biểu đồ histogram của logWQI

Các bước tiến hành nội suy bằng Kriging như sau:

Bước 1: Các thông số được xem là biến ngẫu nhiên có phân bố chuẩn hoặc ở dạng giá

trị thực của thông số, hoặc loga của thông số, vì vậy cần xác định điều này để tiến hành kriging giá trị thông số, hay là giá trị loga của thông số.

Bước 2. Xây dựng biểu đồ Semi-Variogram.

Biểu đồ semi-variogram phản ánh mối quan hệ giữa sự biến thiên của dữ liệu với khoảng cách giữa các điểm (theo các hướng nhất định, hoặc không theo hướng, tức là theo mọi hướng như nhau). Lựa chọn mô hình Semi-Variogram thích hợp với tập dữ liệu, lựa chọn hàm số được xác định trước (hàm Spherical,

Circular, Gaussian, Exponential, Power,...). Sau đó mô hình Semi-Variogram của logarit TDS của tầng qh và qp được tạo ra với góc phương vị (azimuth) thay đổi từ 0–180°. Tại góc azimuth = 45°, Variogram có kết quả tốt nhất. Mô hình variogram được lựa chọn hàm cầu (Spherical) với các thông số của hai tầng chứa nước như bảng 3.

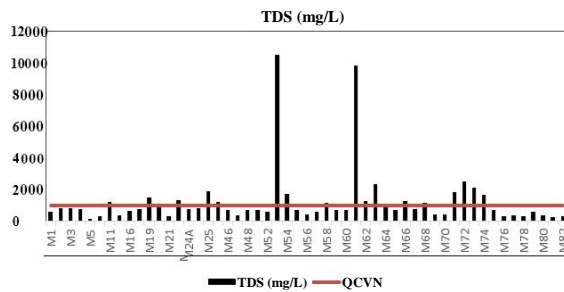
Bảng 3. Thông số của mô hình Variogram

Tầng chứa nước	Lag size	Nugget	Sill	Range
Tầng qh	190,63	0,1712	0,6815	1693,78
Tầng qp	320,79	0,4189	0,9444	2756,28

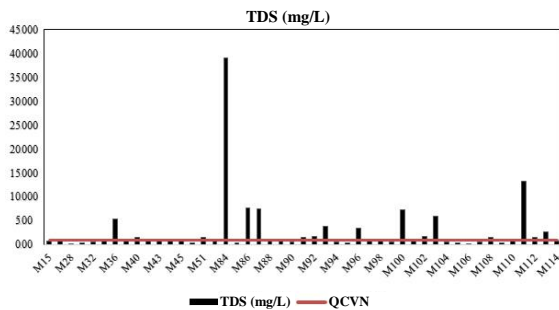
Bước 3. Tiến hành nội suy theo mô hình Variogram đã chọn.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả nghiên cứu



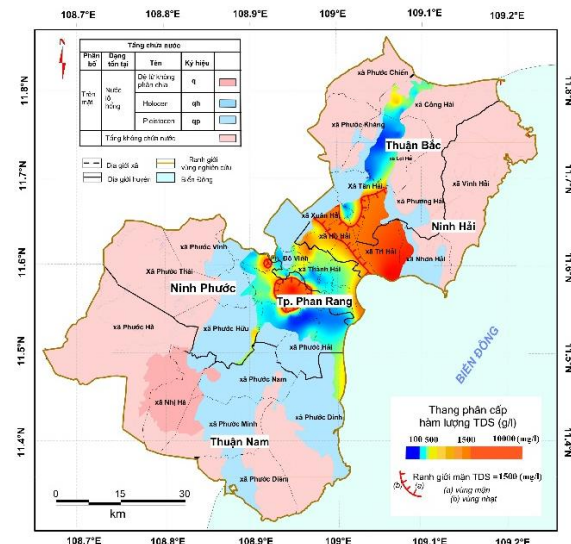
Hình 4a. Biểu đồ hàm lượng TDS (mg/L) của tầng qh và QCVN 09-MT:2015/BTNMT



Hình 4b. Biểu đồ hàm lượng TDS (mg/L) của tầng qp và QCVN 09-MT:2015/BTNMT

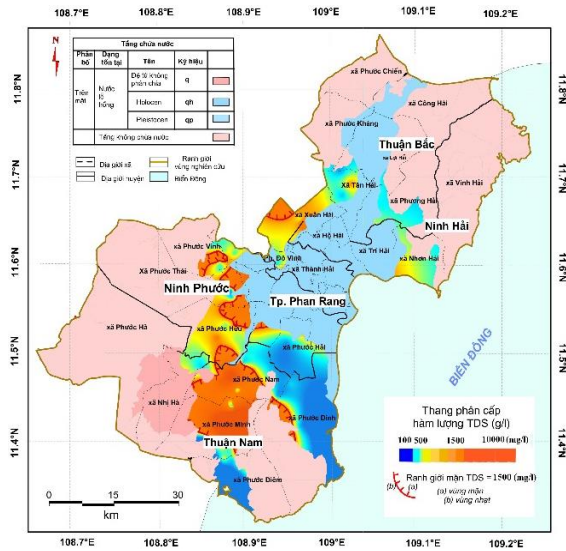
Tổng độ khoáng hóa TDS (hình 4a, 4b): Kết quả phân tích hàm lượng TDS của tầng qh cho thấy giá trị biến đổi từ 127–10.500 mg/L (mẫu vượt GHCP là 17 mẫu, chiếm 32%). Khu

vực hàm lượng TDS > 1.500 mg/L phân bố chủ yếu Tp. Phan Rang, tây nam huyện Ninh Hải (hình 5a). Hàm lượng TDS của tầng qp biến đổi từ 185–13.330 mg/L, trong 47 mẫu nước phân tích có 22 mẫu (chiếm 46,8%) có hàm lượng TDS vượt GHCP, phân bố chủ yếu ở Tp. Phan Rang, tây nam huyện Ninh Hải, huyện Thuận Nam, tây bắc huyện Ninh Phước (hình 5b).

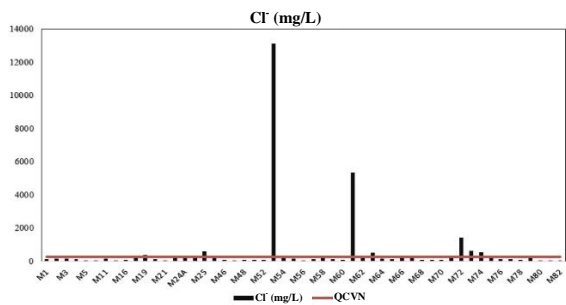


Hình 5a. Sơ đồ phân bố hàm lượng TDS (mg/L) tầng qh

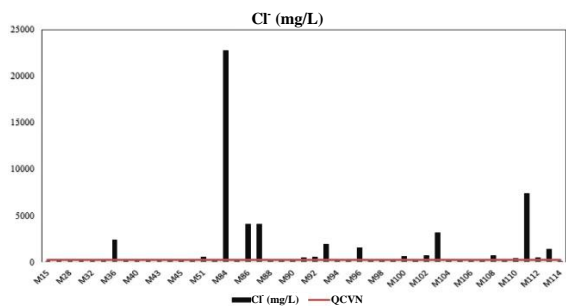
Clorua (Cl⁻) (hình 6a, 6b): Hàm lượng Cl⁻ của tầng qp biến đổi từ 230–22.760 mg/L (19 mẫu vượt GHCP, chiếm 40,4%); tầng qh có 15/57 mẫu ô nhiễm, cao nhất là 13.130 mg/L tại M53 Ninh Hải-Ninh Thuận, thấp nhất là 27 mg/L tại M21 Ninh Hải-Ninh Thuận.



Hình 5b. Sơ đồ phân bố hàm lượng TDS (mg/L) tầng qh

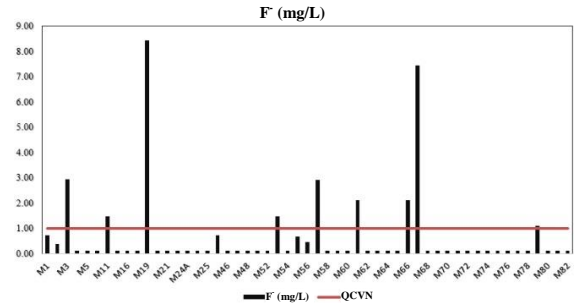


Hình 6a. Biểu đồ hàm lượng Cl^- (mg/L) của tầng qh và QCVN 09-MT:2015/BTNMT

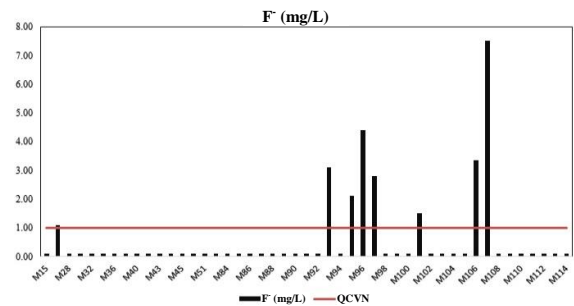


Hình 6b. Biểu đồ hàm lượng Cl^- (mg/L) của tầng qp và QCVN 09-MT:2015/BTNMT

Florua (F^-) (hình 7a, 7b): Hàm lượng F^- của tầng chứa nước qh biến đổi từ 0,1–8,43 mg/L (09/53 mẫu hàm lượng vượt GHCP), tầng qp biến đổi từ 0,1–7,5 mg/L (08/47 mẫu có hàm lượng vượt GHCP).

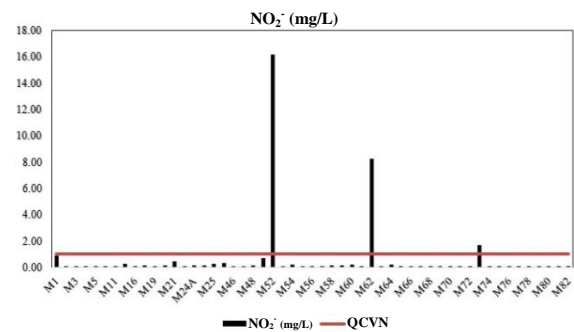


Hình 7a. Biểu đồ hàm lượng F^- (mg/L) của tầng qh và QCVN 09-MT:2015/BTNMT



Hình 7b. Biểu đồ hàm lượng F^- (mg/L) của tầng qp và QCVN 09-MT:2015/BTNMT

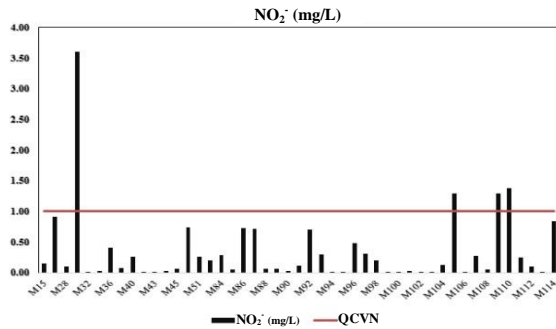
Nitrit (NO_2^-) (hình 8a, 8b): Kết quả phân tích hàm lượng NO_2^- cho thấy, hầu hết tất cả các mẫu thuộc tầng qh và qp đều có giá trị nằm trong GHCP, chỉ có 3/53 mẫu > 1 mg/L (tầng qh) và 4/47 mẫu > 1 mg/L (tầng qp).



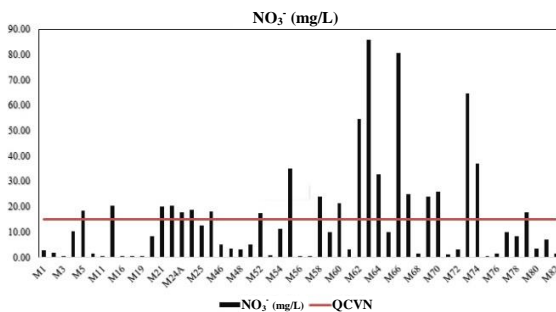
Hình 8a. Biểu đồ hàm lượng NO_2^- (mg/L) của tầng qh và QCVN 09-MT:2015/BTNMT

Nitrat (NO_3^-) (hình 9a, 9b): Nồng độ của NO_3^- của tầng qh cao nhất là 85,68 mg/L (Ninh Thuận) và thấp nhất là 0,09 mg/L (Hàm Thuận Bắc, Ninh Thuận) có 22/53 mẫu có nồng độ > 15 mg/L, chiếm 41,51%. Tầng qp nồng độ biến đổi từ 0,05–260 mg/L (24/47 mẫu có nồng độ

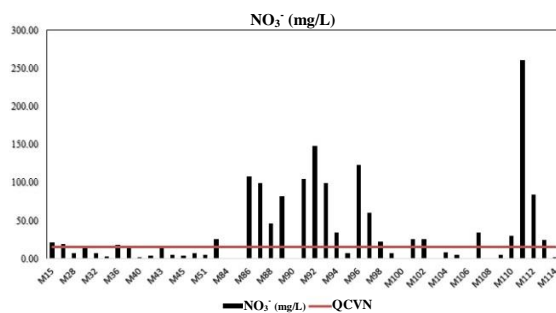
độ > 15 mg/L, chiếm 51.1%) và phân bố chủ yếu tp. Phan Rang, Ninh Phước và Bắc Thuận Nam. Tầng chứa nước qh và qp ở vùng nghiên cứu là tầng nông, chiều dày tầng cách nước mỏng. Nồng độ NO_3^- cao có thể là do ngấm từ tầng nước mặt xuống mà tầng mặt có NO_3 cao do rửa trôi từ nước canh tác nông nghiệp, nước thải từ một số nguồn khác,... [22].



Hình 8b. Biểu đồ hàm lượng NO_2^- (mg/L) của tầng qp và QCVN 09-MT:2015/BTNMT



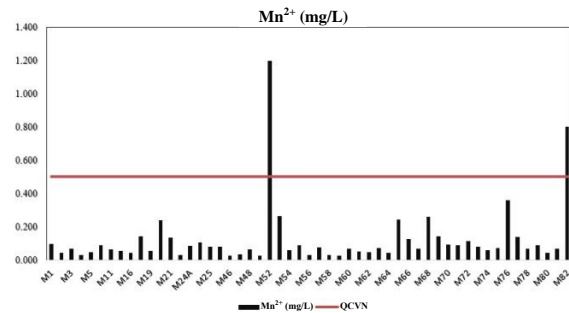
Hình 9a. Biểu đồ hàm lượng NO_3^- (mg/L) của tầng qh và QCVN 09-MT:2015/BTNMT



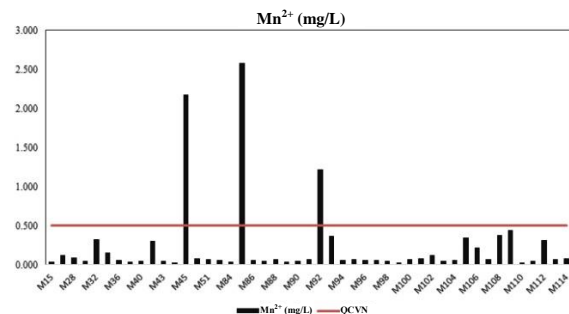
Hình 9b. Biểu đồ hàm lượng NO_3^- (mg/L) của tầng qp và QCVN 09-MT:2015/BTNMT

Mangan (Mn^{2+}) (hình 10a, 10b): Phần lớn hàm lượng Mn^{2+} nằm trong GHCP (< 0,5 mg/L),

1/53 mẫu tầng qh và 2/47 mẫu tầng qp lớn hơn 0,5 mg/L. Hàm lượng Mn không gây ảnh hưởng đến chất lượng nước ở khu vực nghiên cứu.

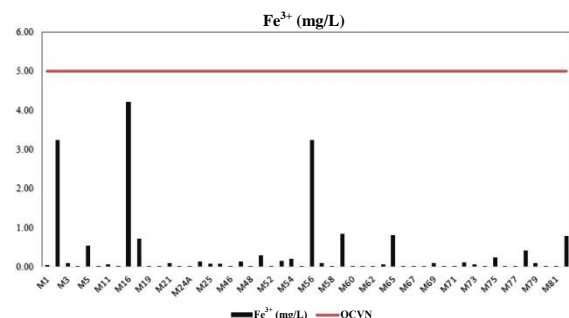


Hình 10a. Biểu đồ hàm lượng Mn^{2+} (mg/L) của tầng qh và QCVN 09-MT:2015/BTNMT

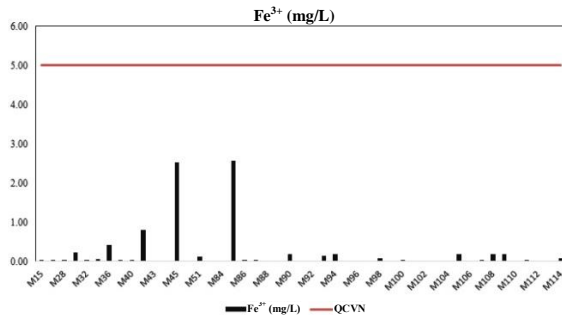


Hình 10b. Biểu đồ hàm lượng Mn^{2+} (mg/L) của tầng qp và QCVN 09-MT:2015/BTNMT

Sắt (Fe^{3+}) (hình 11a, 11b): Hàm lượng sắt nằm trong GHCP (< 5 mg/L). Tầng chứa nước qh có hàm lượng Fe^{3+} thấp nhất là 0 mg/L, cao nhất là 4,20 mg/L. Tầng chứa nước qp có hàm lượng Fe^{3+} thấp nhất là 0.01 mg/L, cao nhất là 2,56 mg/L.



Hình 11a. Biểu đồ hàm lượng Fe_3^+ (mg/L) của tầng qh và QCVN 09-MT:2015/BTNMT



Hình 11b. Biểu đồ hàm lượng Fe₃⁺ (mg/L) của tầng qh và QCVN 09-MT:2015/BTNMT

Như vậy, từ kết quả phân tích hàm lượng của 7 thông số trong các mẫu nước dưới đất của 2 tầng chứa nước qh và qp cho thấy: Đối với tầng qh, 33/53 mẫu có ít nhất 1 thông số có hàm lượng vượt quá giới hạn cho phép của QCVN 09-MT:2015/BTNMT. Do vậy, chất lượng nước dưới đất của các mẫu nước này thay đổi từ xấu, rất xấu đến không thể sử dụng được. Các mẫu có chất lượng NDĐ xấu là những mẫu có ít nhất 1 thông số có hàm lượng thấp hơn 3 lần GHCP (23/33 mẫu, chiếm 69,7%); các mẫu có chất lượng nước NDĐ rất xấu là những mẫu có ít nhất 1 thông số có hàm lượng vượt GHCP từ 3–5 lần (1/33 mẫu, chiếm 3,0%), các mẫu có chất lượng nước NDĐ không thể sử dụng được là những mẫu có ít nhất 1 thông số có hàm lượng gấp > 5 lần GHCP (9/33 mẫu, chiếm 27,3%) (bảng 4–6).

Đối với tầng qp, có 35/47 mẫu có ít nhất 1 thông số có hàm lượng vượt quá giới hạn cho phép. Các mẫu có chất lượng NDĐ xấu 15/35 mẫu (chiếm 42,86%); các mẫu có chất lượng nước NDĐ rất xấu có 5/35 mẫu (chiếm 14,29%), các mẫu có chất lượng nước NDĐ không thể sử dụng được có 15/35 mẫu (chiếm 42,86%). Chất lượng nước dưới đất của hai tầng chứa nước bị ảnh hưởng chủ yếu của các thông số TDS, Cl⁻ và NO₃⁻, những khu vực có chất lượng nước dưới đất xấu đến không sử dụng được do hàm lượng các ion gấp nhiều lần GHCP.

Chỉ số chất lượng WQI: Kết quả tính toán giá trị WQI của nước dưới đất tầng chứa nước qh và tầng chứa nước qp ở vùng ven biển tỉnh Ninh Thuận được so sánh với thang

phân cấp chất lượng nước dưới đất thể hiện như sau:

Tầng chứa nước qh: Chất lượng nước tầng qh được đánh giá qua chỉ số WQI và chỉ số đơn lẻ của từng thông số cho thấy cho thấy 20/53 mẫu có chất lượng nước tốt đến rất tốt, chiếm 37,7%; phân bố phần lớn huyện Thuận Bắc, xã Thành Hải (Tp. Phan Rang) và xã Phước Hậu, Ninh Phước thuộc huyện Ninh Phước; 23/53 mẫu có chất lượng nước xấu, 1/53 mẫu nước có chất lượng rất xấu và 9/53 mẫu nước không sử dụng được. Các mẫu nước có chất lượng từ xấu đến không thể sử dụng được phân bố phía đông nam Tp. Phan Rang, xã Trí Hải (huyện Ninh Hải); xã Xuân Hải, xã Công Hải thuộc huyện Thuận Bắc; xã Phước Thuận thuộc huyện Ninh Phước (hình 12a).

Tầng chứa nước qp: Tầng chứa nước qp có 11/47 mẫu có chất lượng nước tốt đến rất tốt (WQI < 50) và các mẫu không có thông số nào vượt GHCP chiếm 23,4%, phân bố chủ yếu ở xã Nhơn Hải huyện Ninh Hải, xã Phương Hải huyện Thuận Bắc và xã Phước Dinh thuộc huyện Thuận Nam. Các mẫu có chất lượng nước từ rất xấu cho đến không thể sử dụng được (WQI > 51) và có ít nhất 1 thông số vượt quá GHCP gồm: 16 mẫu có chất lượng nước xấu; 5 mẫu có chất lượng rất xấu; 15 mẫu nước không sử dụng được, phân bố chủ yếu ở hai huyện Ninh Phước và Thuận Nam, xã Xuân Hải và Tân Hải thuộc huyện Thuận Bắc.

Tầng chứa nước qh và qp ở vùng nghiên cứu là tầng nông, chiều dày tầng cách nước mỏng, vì vậy nồng độ của NO₃⁻ cao là do phân hủy của thực vật và động vật làm ảnh hưởng đến chất lượng nước dưới đất [22]. Từ kết quả phân tích chất lượng nước dưới đất và sơ đồ phân bố không gian của chỉ số WQI và TDS (g/L) cho thấy: các mẫu nước dưới đất có chất lượng rất tốt tập trung ở khu vực có hàm lượng TDS < 1.500 mg/L và NO₃⁻ < 15 mg/L, những mẫu có chất lượng nước từ xấu đến không sử dụng được tập trung ở khu vực có hàm lượng TDS > 1.500 mg/L và > 15 mg/L. Tuy nhiên, một số mẫu nước có hàm lượng TDS và [NO₃⁻] thấp nhưng chất lượng nước xấu do nồng độ ion Cl⁻, F⁻ rất lớn (mẫu M52 - tầng qh, mẫu M85-tầng qp).

Bảng 4. Kết quả tính giá trị WQI của tầng chứa nước qh

Số thứ tự	Số hiệu mẫu	WQI	Chất lượng NĐĐ	Số thứ tự	Số hiệu mẫu	WQI	Chất lượng NĐĐ	Số thứ tự	Số hiệu mẫu	WQI	Chất lượng NĐĐ
1	M1	47,35	Tốt	19	M46	6,79	Rất tốt	37	M66	110,00	Không sử dụng được
2	M2	16,46	Rất tốt	20	M47	8,02	Rất tốt	38	M67	110,00	Không sử dụng được
3	M3	51,00	Xấu	21	M48	11,82	Rất tốt	39	M68	27,20	Tốt
4	M4	7,03	Rất tốt	22	M50	21,87	Rất tốt	40	M69	51,00	Xấu
5	M5	51,00	Xấu	23	M52	110,00	Không sử dụng được	41	M70	51,00	Xấu
6	M7	11,49	Rất tốt	24	M53	110,00	Không sử dụng được	42	M71	51,00	Xấu
7	M11	51,00	Xấu	25	M54	51,00	Xấu	43	M72	110,00	Không sử dụng được
8	M13	51,00	Xấu	26	M55	51,00	Xấu	44	M73	110,00	Không sử dụng được
9	M16	11,61	Rất tốt	27	M56	16,83	Rất tốt	45	M74	51,00	Xấu
10	M17	19,65	Rất tốt	28	M57	51,00	Xấu	46	M75	51,00	Xấu
11	M19	110,00	Không sử dụng được	29	M58	51,00	Xấu	47	M76	36,68	Tốt
12	M20	29,58	Tốt	30	M59	9,91	Rất tốt	48	M77	16,89	Rất tốt
13	M21	51,00	Xấu	31	M60	51,00	Xấu	49	M78	10,12	Rất tốt
14	M22	51,00	Xấu	32	M61	110,00	Không sử dụng được	50	M79	51,00	Xấu
15	M24A	51,00	Xấu	33	M62	76,00	Rất xấu	51	M80	7,60	Rất tốt
16	M24B	51,00	Xấu	34	M63	110,00	Không sử dụng được	52	M81	9,87	Rất tốt
17	M25	51,00	Xấu	35	M64	51,00	Xấu	53	M82	51,00	Xấu
18	M38	51,00	Xấu	36	M65	27,09	Tốt				

Bảng 5. Kết quả tính giá trị WQI của tầng chứa nước qp

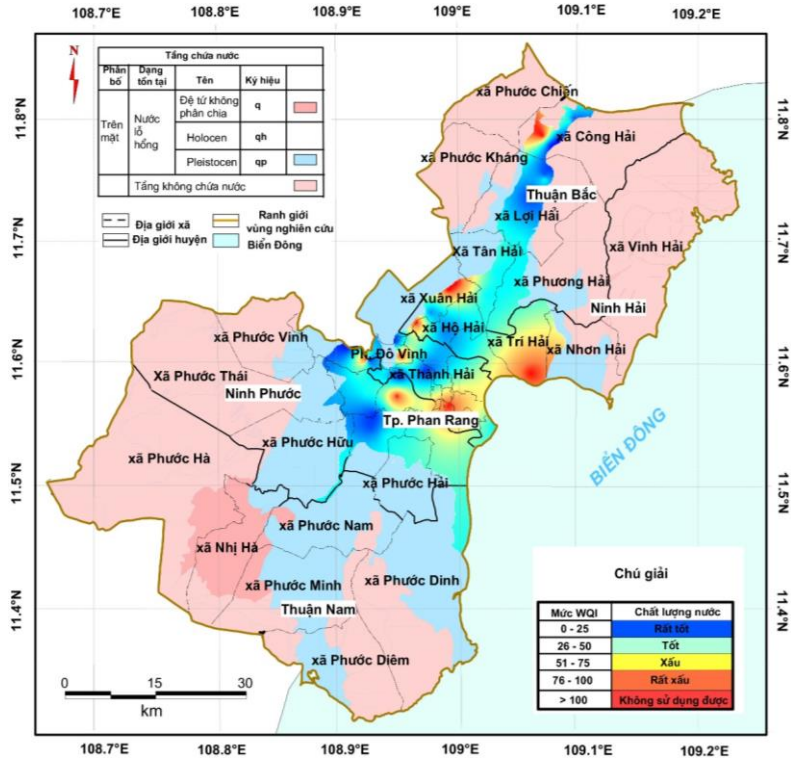
Số thứ tự	Số hiệu mẫu	WQI	Chất lượng NĐĐ	Số thứ tự	Số hiệu mẫu	WQI	Chất lượng NĐĐ	Số thứ tự	Số hiệu mẫu	WQI	Chất lượng NĐĐ
1	M15	51,00	Xấu	17	M84	110,00	Không sử dụng được	33	M100	110,00	Không sử dụng được
2	M18	51,00	Xấu	18	M85	76,00	Rất xấu	34	M101	51,00	Xấu
3	M28	23,06	Rất tốt	19	M86	110,00	Không sử dụng được	35	M102	51,00	Xấu
4	M30	51,00	Xấu	20	M87	110,00	Không sử dụng được	36	M103	110,00	Không sử dụng được
5	M32	47,67	Tốt	21	M88	76,00	Rất xấu	37	M104	21,70	Rất tốt
6	M35	22,98	Rất tốt	22	M89	110,00	Không sử dụng được	38	M105	51,00	Xấu
7	M36	110,00	Không sử dụng được	23	M90	8,62	Rất tốt	39	M106	76,00	Rất xấu
8	M39	51,00	Xấu	24	M91	110,00	Không sử dụng được	40	M107	110,00	Không sử dụng được
9	M40	51,00	Xấu	25	M92	110,00	Không sử dụng được	41	M108	51,00	Xấu
10	M41	40,64	Tốt	26	M93	110,00	Không sử dụng được	42	M109	51,00	Xấu
11	M43	29,71	Tốt	27	M94	51,00	Xấu	43	M110	51,00	Xấu
12	M44	11,77	Rất tốt	28	M95	51,00	Xấu	44	M111	110,00	Không sử dụng được
13	M45	76,00	Rất xấu	29	M96	110,00	Không sử dụng được	45	M112	110,00	Không sử dụng được
14	M49	21,13	Rất tốt	30	M97	76,00	Rất xấu	46	M113	110,00	Không sử dụng được
15	M51	51,00	Xấu	31	M98	51,00	Xấu	47	M114	14,14	Rất tốt
16	M83	47,29	Tốt	32	M99	16,22	Rất tốt				

Bảng 6. Hàm lượng một số chỉ tiêu quan trắc trong các tầng nước vùng ven biển tỉnh Ninh Thuận

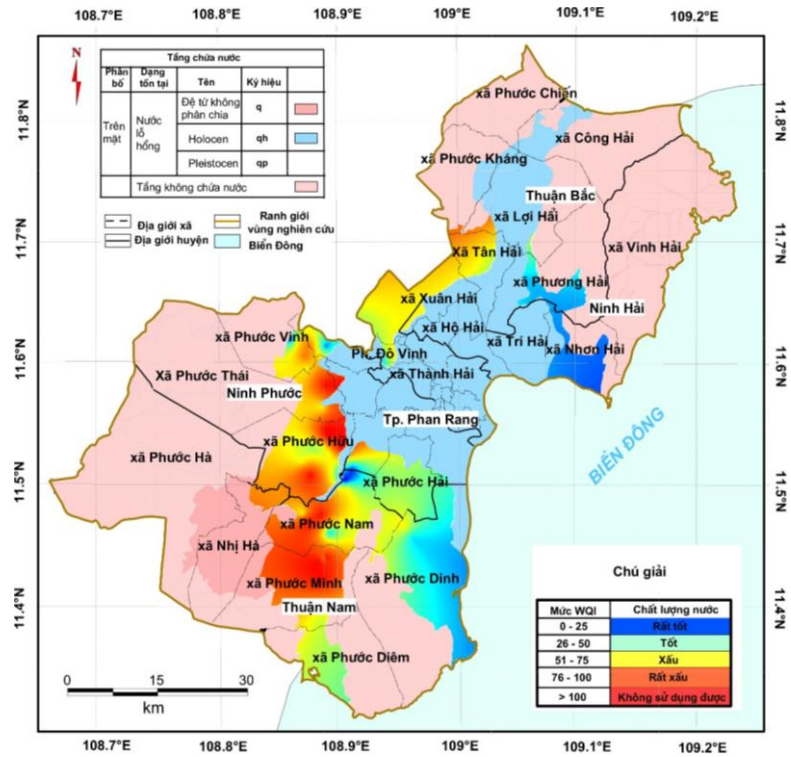
Số hiệu mẫu	X	Y	TDS (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Fe ³⁺ (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Số hiệu mẫu	X	Y	TDS (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Fe ³⁺ (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)
M1	293655	1306211	600	0,885	2,759	0,04	0,097	96,3	0,734	M57	275677	1276384	570	0,01	0,21	0,09	0,077	127,63	2,90
M2	292709	1305081	828	0,028	1,945	3,24	0,042	148,6	0,366	M58	278162	1277682	1.140	0,11	23,88	0,01	0,032	177,27	0,10
M3	292709	1305081	804	0,029	0,191	0,09	0,067	138,6	2,934	M59	274715	1278337	700	0,14	9,82	0,84	0,026	102,81	0,10
M4	291273	1303247	762	0,024	10,272	0,01	0,032	105,0	0,10	M60	273923	1280118	690	0,17	21,22	0,01	0,070	63,82	0,10
M5	290037	1299628	127	0,018	18,363	0,54	0,046	32,3	0,10	M61	276689	1280006	9.820	0,06	3,04	0,01	0,053	5317,95	2,11
M7	288755	1298193	330	0,024	1,330	0	0,090	54,5	0,10	M62	279332	1279513	1.240	8,25	54,50	0,01	0,047	315,53	0,10
M11	284695	1289216	1.190	0,054	0,092	0,05	0,063	159,9	1,466	M63	273952	1283279	2.330	0,07	85,68	0,05	0,072	521,16	0,10
M13	274267	1284250	380	0,278	20,355	0,01	0,057	29,5	0,10	M64	278018	1282219	1.080	0,21	32,76	128,70	0,044	148,90	0,10
M16	276514	1284910	632	0,052	0,494	4,20	0,043	77,7	0,10	M65	280089	1282453	680	0,01	10,08	0,81	0,242	93,95	0,10
M17	276698	1285246	762	0,139	0,222	0,71	0,142	172,7	0,10	M66	289910	1303579	1.250	0,06	80,64	0,02	0,125	297,81	2,10
M19	278496	1286617	1.500	0,036	0,205	0,01	0,058	356,7	8,434	M67	277002	1283650	770	0,03	24,84	0,01	0,068	225,13	7,45
M20	279685	1287592	860	0,160	8,299	0,01	0,241	120,4	0,10	M68	281104	1285805	1.170	0,01	1,34	0	0,261	86,86	0,10
M21	279685	1287592	286	0,456	20,069	0,10	0,134	27,3	0,10	M69	292337	1304873	410	0,01	23,82	0,09	0,144	72,68	0,10
M22	268654	1254385	1.300	0,017	20,224	0,02	0,032	338,5	0,10	M70	292337	1304873	420	0,02	25,76	0,01	0,092	72,68	0,10
M24A	282147	1262710	731	0,151	17,857	0,01	0,086	239,0	0,10	M71	281979	1287523	1.850	0,02	1,14	0	0,088	336,80	0,10
M24B	282147	1262710	790	0,148	18,770	0,13	0,105	255,8	0,10	M72	281343	1289532	2.500	0,06	3,21	0,12	0,115	1411,03	0,10
M25	282448	1262463	1.900	0,263	12,547	0,07	0,082	579,4	0,10	M73	282182	1290286	2.120	1,70	64,56	0,05	0,083	616,88	0,10
M38	272077	1274768	1.200	0,333	18,038	0,08	0,080	169,0	0,734	M74	285535	1291378	1.680	0,01	36,93	0,01	0,060	531,80	0,10
M46	272238	1284326	676	0,062	4,914	0,02	0,026	60,0	0,10	M75	288022	1294274	680	0,01	0,38	0,24	0,074	280,08	0,10
M47	272116	1284327	377	0,085	3,479	0,13	0,034	36,4	0,10	M76	287339	1296740	320	0,01	1,55	0	0,362	102,81	0,10
M48	274108	1283237	703	0,136	3,202	0,02	0,063	83,6	0,10	M77	290032	1300155	380	0,01	10,04	0,02	0,141	120,54	0,10
M50	276372	1282022	702	0,694	5,205	0,29	0,026	61,8	0,10	M78	290540	1302775	290	0,01	8,39	0,40	0,067	63,82	0,10
M52	281352	1279128	610	16,180	17,260	0	1,198	74,1	0,10	M79	275647	1282373	590	0,01	17,70	0,09	0,090	241,08	1,10
M53	288766	1282058	10.500	0,085	0,819	0,15	0,263	13132,1	1,466	M80	277013	1281847	340	0,04	3,40	0,02	0,042	35,45	0,10

Groundwater quality evaluation using WQI

M54	285431	1277317	1.740	0,215	11,199	0,19	0,062	277,2	0,10	M81	279182	1282258	270	0,02	7,15	0,02	0,067	49,63	0,10
M55	272288	1274981	710	0,09	34,95	0,01	0,089	159,54	0,66	M82	279833	1280914	320	0,03	1,37	0,79	0,802	44,32	0,10
M56	274376	1277056	440	0,01	0,15	3,23	0,032	56,72	0,45										
M15	276050	1283591	647	0,156	21,630	0,04	0,032	43,6	0,10	M92	270263	1276341	1.790	0,70	147,70	0	1,218	574,34	0,10
M18	277830	1286744	1.060	0,909	19,024	0,04	0,115	174,9	1,10	M93	270124	1277030	3.740	0,30	99,92	0,15	0,363	1949,92	3,10
M28	278175	1267072	185	0,098	7,315	0,03	0,090	38,2	0,10	M94	268494	1282491	540	0,02	34,38	0,19	0,055	81,54	0,10
M30	277425	1268091	357	3,608	15,395	0,23	0,044	36,8	0,10	M95	269884	1278974	350	0,02	7,44	0,02	0,065	60,27	2,10
M32	272175	1271663	599	0,022	7,752	0,04	0,322	98,1	0,10	M96	270166	1280964	3.400	0,48	122,70	0,01	0,052	1524,48	4,40
M35	270539	1267526	703	0,028	3,193	0,07	0,151	201,8	0,10	M97	268304	1283496	820	0,31	59,90	0,01	0,057	159,54	2,80
M36	270219	1265285	5.280	0,408	17,835	0,41	0,057	2408,3	0,10	M98	267623	1284999	860	0,21	22,36	0,08	0,042	177,27	0,10
M39	270561	1274780	951	0,074	15,821	0,03	0,032	159,0	0,10	M99	270187	1284484	580	0,01	7,16	0	0,026	42,54	0,10
M40	270020	1275367	1.460	0,264	1,762	0,03	0,047	290,8	0,10	M100	265206	1286932	7.260	0,02	0,12	0,03	0,070	627,52	0,10
M41	269172	1275466	695	0,019	4,403	0,80	0,302	169,5	0,10	M101	276417	1284673	1.020	0,02	25,68	0	0,073	329,71	1,50
M43	266340	1285815	715	0,010	14,742	0,01	0,042	69,1	0,10	M102	278742	1288332	1.760	0,01	26,08	0,01	0,117	712,25	0,10
M44	267032	1285164	678	0,025	4,829	0,02	0,018	52,7	0,10	M103	271678	1281319	6.020	0,01	0,05	0,02	0,042	3137,59	0,10
M45	268755	1284629	748	0,067	3,660	2,53	2,174	156,8	0,10	M104	288510	1290615	480	0,13	8,84	0,02	0,053	241,08	0,10
M49	275442	1283227	386	0,743	6,944	0,02	0,077	29,1	0,10	M105	283846	1291860	280	1,30	5,54	0,18	0,342	113,45	0,10
M51	267979	1273969	1.530	0,262	4,881	0,12	0,070	570,3	0,10	M106	286150	1298396	120	0,01	0,75	0,01	0,215	23,04	3,34
M83	269552	1260157	730	0,20	25,30	0	0,052	246,40	0,10	M107	284551	1298402	530	0,28	34,14	0,04	0,068	76,22	7,50
M84	269948	1263238	39.060	0,28	0,21	0	0,028	22761	0,10	M108	284801	1293169	1.430	0,05	1,14	0,18	0,371	666,52	0,10
M85	270077	1265224	370	0,05	0,35	2,56	2,574	109,90	0,10	M109	283846	1291860	280	1,30	5,54	0,18	0,434	113,45	0,10
M86	268419	1268575	7.610	0,73	108,36	0,03	0,056	4094,82	0,10	M110	268113	1269270	1.110	1,39	30,48	0,02	0,022	363,39	0,10
M87	268419	1268575	7.500	0,71	98,91	0,03	0,044	4094,82	0,10	M111	269838	1269098	13.330	0,26	260,55	0,03	0,045	7356,50	0,10
M88	264103	1270052	1.010	0,06	46,65	0,01	0,067	186,13	0,10	M112	271612	1275242	1.520	0,10	84,03	0,02	0,305	501,66	0,10
M89	264103	1270052	1.050	0,07	81,90	0,01	0,035	184,36	0,10	M113	269581	1264977	2.680	0,01	25,16	0,02	0,068	1430,53	0,10
M90	271976	1272273	490	0,03	0,92	0,19	0,046	99,27	0,10	M114	272622	1273401	780	0,84	2,23	0,08	0,080	124,09	0,10
M91	268813	1272834	1.480	0,12	104,65	0,02	0,060	464,43	0,10										



Hình 12a. Sơ đồ phân bố chỉ số chất lượng nước WQI tầng qh



Hình 12b. Sơ đồ phân bố chỉ số chất lượng nước WQI tầng qp

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng:

Chất lượng nước dưới đất vùng ven biển tỉnh Ninh Thuận cho thấy hàm lượng TDS, Cl⁻ và NO₃⁻ vượt quá GHCP nhiều lần. Hàm lượng TDS và Cl⁻ cao do xâm nhập mặn; nồng độ NO₃⁻ cao do phân hủy của thực vật và động vật do hoạt động chăn nuôi. Tầng chứa nước qh có 23,3% mẫu nước chất lượng rất tốt; 9,4% mẫu nước có chất lượng tốt; 43,4% mẫu nước có chất lượng xấu và 1,89% mẫu nước có chất lượng rất xấu; 16,98% mẫu nước không sử dụng được. Phần lớn các mẫu có chất lượng xấu do nồng độ TDS, Cl⁻ và NO₃⁻ vượt GHCP nhiều lần và phân bố chủ yếu ở hai huyện Ninh Phước và Thuận Nam, xã Xuân Hải và Tân Hải thuộc huyện Thuận Bắc.

Tầng chứa nước qp có 14,9% mẫu nước dưới đất rất tốt; 8,5% mẫu nước tốt; 30,04% mẫu nước xấu và 10,64% mẫu nước rất xấu, 31,9% nước không sử dụng được. Phần lớn các mẫu có chất lượng xấu do nồng độ TDS, Cl⁻ và NO₃⁻ vượt GHCP nhiều lần và phân bố chủ yếu ở hai huyện Ninh Phước và Thuận Nam, xã Xuân Hải và Tân Hải thuộc huyện Thuận Bắc.

Phương pháp tính toán chỉ số chất lượng nước WQI và phương pháp GIS được ứng dụng trong nghiên cứu này như công cụ phân tích rõ hơn về mức độ ô nhiễm và các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng nước dưới đất, giúp nhà quản lý hiểu rõ hơn về chất lượng nước dưới đất ở khu vực ven biển tỉnh Ninh Thuận, từ đó đưa ra được các giải pháp nhằm quản lý bền vững nguồn tài nguyên nước ở khu vực.

Lời cảm ơn: Các tác giả xin cảm ơn đề tài: “Nghiên cứu đánh giá chất lượng và trữ lượng các tầng chứa nước ở các huyện ven biển tỉnh Ninh Thuận phục vụ công tác quản lý nước dưới đất trong bối cảnh hạn hán và biến đổi khí hậu”. Mã số KHCBTĐ.01/19–21 đã hỗ trợ các điều kiện cần thiết để hoàn thành công trình nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., and Dobhal, R., 2013. Water quality assessment in terms of water quality index. *American Journal of water*

resources, 1(3), 34–38. doi: 10.12691/ajwr-1-3-3

[2] Thu, T. H., Van Nghia, N., Huong, T. T. T., and Hien, N. T., 2018. Saltwater Intrusion Forecast of the Pleistocene Aquifer Caused by Groundwater Exploiting in the Nam Dinh Coastal Zone. In *From Science to Society* (pp. 83–92). Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-65687-8_8

[3] Logeshkumaran, A., Magesh, N. S., Godson, P. S., and Chandrasekar, N., 2015. Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India. *Applied Water Science*, 5(4), 335–343. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0196-4>

[4] Dohare, D., Deshpande, S., and Kotiya, A., 2014. Analysis of ground water quality parameters: a Review. *Research Journal of Engineering Sciences ISSN*, 2278, 9472.

[5] Desai, B., and Desai, H., 2012. Assessment of water quality index for the groundwater with respect to salt water intrusion at coastal region of Surat city, Gujarat, India. *J. Environ. Res. Develop.*, 7(2), 607–621.

[6] Deepak, S., and Singh, N. U., 2013. Water quality index for ground water (GWQI) of Dhar town, MP, India. *International Research Journal of Environment Sciences*, 2(11), 72–77.

[7] Ramakrishnaiah, C. R., Sadashivaiah, C., and Ranganna, G., (2009). Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. *E-Journal of chemistry*, 6(2), 523–530. <https://doi.org/10.1155/2009/757424>

[8] Varol, S., and Davraz, A., 2015. Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 73(4), 1725–1744. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3531-z>

- [9] Jagadeeswari, P. B., and Ramesh, K., 2012. Water quality index for assessment of water quality in South Chennai coastal aquifer, Tamil Nadu, India. *International Journal of ChemTech Research*, 4(4), 1582–1588.
- [10] Gorde, S. P., and Jadhav, M. V., 2013. Assessment of water quality parameters: a review. *J. Eng. Res. Appl.*, 3(6), 2029–2035.
- [11] Ishaku, J. M., Ahmed, A. S., and Abubakar, M. A., 2012. Assessment of groundwater quality using water quality index and GIS in Jada, northeastern Nigeria. *International Research Journal of Geology and Mining*, 2(3), 54–61.
- [12] Ishaku, J. M., Ahmed, A. S., and Abubakar, M. A., 2011. Assessment of groundwater quality using chemical indices and GIS mapping in Jada area, Northeastern Nigeria. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 1(1), 35–60.
- [13] Magesh, N. S., Krishnakumar, S., Chandrasekar, N., and Soundranayagam, J. P., 2013. Groundwater quality assessment using WQI and GIS techniques, Dindigul district, Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(11), 4179–4189. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0673-8>
- [14] Oyinkuro, O. A., and Rowland, E. D., 2017. Spatial groundwater quality assessment by WQI and GIS in Ogbia LGA of Bayelsa State, Nigeria. *Asian Journal of Physical and Chemical Sciences*, 1–12. doi: 10.9734/AJOPACS/2017/39055
- [15] Srivastava, P. K., Mukherjee, S., Gupta, M., and Singh, S. K., 2011. Characterizing monsoonal variation on water quality index of River Mahi in India using geographical information system. *Water Quality, Exposure and Health*, 2(3), 193–203. <https://doi.org/10.1007/s12403-011-0038-7>
- [16] QCVN 09-MT:2015/BTNMT, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước dưới đất.
- [17] Nguyễn Hải Âu, Hoàng Nhật Trường, Phạm Thị Tuyết Nhi, Tất Hồng Minh Vy, Phan Nguyễn Hồng Ngọc, Nguyễn Kiên Quyết, 2018. 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*, 2(2), 107–115.
- [18] Nguyễn Việt Kỳ, Lê Thị Tuyết Vân, 2013. Ô nhiễm Mangan trong nước dưới đất tầng Pleistocen khu vực thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất*, 35(1), 81–87.
- [19] Ky, N. V., 2019. Arsenic pollution situation in the Mekong Delta. *Journal of Development of Science and Technology*, 12(5), 101–112.
- [20] Nguyễn Việt Kỳ, 2018. Diễn biến ô nhiễm kim loại trong nước dưới đất các tầng Pleistocene ở thành phố Hồ Chí Minh trong giai đoạn 2000–2016. *Science & Technology Development Journal: Science of The Earth & Environment*, 2(1), 24–32.
- [21] Dao, H. H., Nguyen, K. V., Tra, S. T., and Bui, V. T., 2016. Assessment of groundwater quality of middle - Upper pleistocene aquifer in Ca Mau peninsula. *Science and Technology Development Journal*, 19(1), 35–44. <https://doi.org/10.32508/stdj.v19i1.503>
- [22] Nguyễn Minh Khuyển, 2015. Nghiên cứu đặc điểm hình thành trữ lượng nước dưới đất lưu vực sông ven biển tỉnh Bình Thuận và Ninh Thuận. *Luận án Tiến sĩ. Trường Đại học Mở - Địa chất*.
- [23] Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., and Dobhal, R., 2013. Water quality assessment in terms of water quality index. *American Journal of water resources*, 1(3), 34–38. doi: 10.12691/ajwr-1-3-3