

ĐẠI HỌC HUẾ
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC

TRƯỜNG TRUNG KIÊN

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG CHỈ SỐ CHẤT LƯỢNG NƯỚC
DỰA VÀO PHÂN TÍCH THỐNG KÊ ĐA BIẾN VÀ ÁP DỤNG

LUẬN ÁN TIẾN SỸ HÓA HỌC

THÀNH PHỐ HUẾ - NĂM 2025

ĐẠI HỌC HUẾ
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC

TRƯỜNG TRUNG KIÊN

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG CHỈ SỐ CHẤT LƯỢNG NƯỚC
DỰA VÀO PHÂN TÍCH THỐNG KÊ ĐA BIẾN VÀ ÁP DỤNG

Chuyên ngành: Hóa phân tích
Mã số: 9440118

LUẬN ÁN TIẾN SỸ HÓA HỌC

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS. Nguyễn Văn Hợp

2. TS. Trương Quý Tùng

THÀNH PHỐ HUẾ - NĂM 2025

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan Luận án này là công trình nghiên cứu của riêng tôi dưới sự hướng dẫn của PTS.TS. Nguyễn Văn Hợp, Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học – Đại học Huế và TS. Trương Quý Tùng, Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học – Đại học Huế. Các dữ liệu chất lượng nước do các đơn vị quan trắc tài nguyên và môi trường ở khu vực miền Trung cung cấp được sử dụng trong Luận án là dữ liệu gốc, chỉ được sử dụng cho mục đích nghiên cứu và công bố khoa học, không sử dụng cho mục đích khác. Các kết quả nghiên cứu trong Luận án là trung thực, được các đồng tác giả cho phép sử dụng và chưa được công bố trong bất kỳ một công trình nào.

LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên tôi xin chân thành gửi lời cảm ơn đến PGS.TS. Nguyễn Văn Hợp và TS. Trương Quý Tùng là những người thầy đã tận tâm hướng dẫn và giúp đỡ tôi trong suốt thời gian thực hiện Luận án.

Tôi xin chân thành cảm ơn Khoa Hóa học, Phòng Đào tạo Sau đại học, Trường Đại học Khoa học – Đại học Huế đã tạo điều kiện cho tôi trong quá trình học tập và hoàn thành Luận án.

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến các Thầy, Cô trong Tổ bộ môn Hóa phân tích và Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học – Đại học Huế đã nhiệt tình giúp đỡ tôi trong quá trình thực hiện Luận án.

Tôi xin trân trọng cảm ơn Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường các tỉnh Nghệ An, Hà Tĩnh, Quảng Bình (cũ), Quảng Trị (cũ), Thừa Thiên Huế (cũ), Quảng Nam (cũ), Phú Yên (cũ) và Viện Tài nguyên, Môi trường và Công nghệ Sinh học – Đại học Huế đã cung cấp dữ liệu quan trắc cho tôi thực hiện Luận án.

Cuối cùng, tôi xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến gia đình, đồng nghiệp và bạn bè đã động viên, giúp đỡ tôi trong suốt quá trình học tập và nghiên cứu.

Thành phố Huế, tháng 9 năm 2025

Tác giả

Trương Trung Kiên

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU	v
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU	vii
DANH MỤC CÁC HÌNH	ix
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN	4
1.1. Khái niệm về chất lượng nước và thông số chất lượng nước.....	4
1.2. Các phương pháp đánh giá chất lượng nước.....	5
1.3. Tình hình nghiên cứu về chỉ số chất lượng nước	7
1.3.1. Tình hình nghiên cứu trên thế giới	7
1.3.2. Tình hình nghiên cứu ở Việt Nam.....	17
1.4. Nhận xét chung và định hướng nghiên cứu.....	20
CHƯƠNG 2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	25
2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	25
2.1.1. Đối tượng nghiên cứu.....	25
2.1.2. Phạm vi nghiên cứu	25
2.2. Nội dung nghiên cứu	29
2.3. Phương pháp nghiên cứu.....	30
2.3.1. Phương pháp đánh giá chất lượng nước dựa vào các thông số riêng biệt và lựa chọn QCVN cho xây dựng chỉ số WQI/GWQI.....	30
2.3.2. Phương pháp phân tích thống kê.....	32
2.3.3. Phương pháp PCA xác định trọng số của thông số chất lượng nước.....	33
2.3.4. Phương pháp xác định chỉ số thông số	35

2.3.5. Phương pháp tính chỉ số chất lượng nước.....	39
2.3.6. Phương pháp đánh giá chất lượng nước theo chỉ số chất lượng nước	42
2.3.7. Phương pháp kiểm chứng sự phù hợp của chỉ số chất lượng nước.....	43
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN	45
3.1. Xây dựng chỉ số chất lượng nước.....	45
3.1.1. Sơ lược về chất lượng nước sông Hương.....	45
3.1.2. Quy trình xây dựng chỉ số chất lượng nước	47
3.2. Áp dụng chỉ số chất lượng nước vào thực tế	60
3.2.1. Sông Hương	60
3.2.2. Sông Lam	60
3.2.3. Sông Ba	63
3.3. Xây dựng chỉ số chất lượng nước dưới đất	67
3.3.1. Sơ lược về chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ)	67
3.3.2. Lựa chọn các thông số chất lượng nước dưới đất	69
3.3.3. Trọng số của các thông số chất lượng nước dưới đất	70
3.3.4. Chỉ số thông số của các thông số chất lượng nước dưới đất.....	74
3.3.5. Công thức tính chỉ số chất lượng nước dưới đất.....	76
3.3.6. Kiểm chứng chỉ số chất lượng nước dưới đất	77
3.4. Áp dụng chỉ số chất lượng nước dưới đất vào thực tế	81
3.4.1. Chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ)	81
3.4.2. Chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Hà Tĩnh	83
3.4.3. Chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Quảng Bình (cũ)	86
3.4.4. Chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Quảng Nam (cũ)	89
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	93
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC	95
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	97
PHỤ LỤC.....	110

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU

BOD:	Nhu cầu oxy sinh hóa (Biochemical Oxygen Demand)
BTNMT	Bộ Tài nguyên và Môi trường (cũ)
CCME-WQI:	Chỉ số chất lượng nước theo Hội đồng Bộ trưởng Môi trường Canada (Canadian Council of Ministers of the Environment)
CLN:	Chất lượng nước
COD:	Nhu cầu oxy hóa học (Chemical Oxygen Demand)
CV:	Hệ số biến động (Coefficient of Variation)
DO:	Oxy hòa tan (Dissolved Oxygen)
EC:	Độ dẫn điện (Electrical Conductivity)
GWQI:	Chỉ số chất lượng nước dưới đất (Groundwater Quality Index)
GWQI _A :	Chỉ số chất lượng nước dưới đất - tính theo công thức cộng/tổng (Groundwater Quality Index – Additive Formula)
GWQI _M :	Chỉ số chất lượng nước dưới đất - tính theo công thức nhân/tích (Groundwater Quality Index – Multiplicative Formula)
GWQI _{Ref} :	Chỉ số chất lượng nước dưới đất - tính theo công thức khác/tham khảo (Reference Groundwater Quality Index – Other Formula)
Hard:	Độ cứng
LOD:	Giới hạn phát hiện (Limit of Detection)
N-NH ₄ :	Amoni tính theo nitơ (N-NH ₄ ⁺)
N-NO ₃ :	Nitrat tính theo nitơ (N- NO ₃ ⁻)
NSF-WQI:	Chỉ số chất lượng nước theo Quỹ Vệ sinh Quốc gia Hoa Kỳ (National Sanitation Foundation - Water Quality Index)
PCA:	Phân tích thành phần chính (Principal Component Analysis)
PC:	Thành phần chính (Principal Components)
P-PO ₄ :	Photphat tính theo photpho (P-PO ₄ ³⁻)

RSD:	Độ lệch chuẩn tương đối (Relative Standard Deviation)
QCVN:	Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia
TC:	Tổng coliform (Total Coliform)
TDS:	Tổng chất rắn hòa tan (Total Dissolved Solids)
TN:	Tổng nitơ
TP:	Tổng photpho
TSS:	Tổng chất rắn lơ lửng (Total Suspended Solids)
TUR:	Độ đục (Turbidity)
VN-WQI:	Chỉ số chất lượng nước của Việt Nam (Vietnam Water Quality Index)
WQI:	Chỉ số chất lượng nước (Water Quality Index)

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

	<i>Trang</i>
Bảng 2.1. Quy định các giá trị q_i , Bp_i đối với các thông số nhóm IV và V.....	11
Bảng 2.2. Quy định các giá trị q_i , Bp_i đối với $DO_{\%bảo hòa}$	41
Bảng 2.3. Quy định các giá trị q_i , Bp_i đối với thông số pH	41
Bảng 2.4. Phân loại CLN dưới đất theo WQI/GWQI	42
Bảng 3.1. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả cho 11 thông số của tập dữ liệu CLN sông Hương, 2017 – 2020 (N = 396)	46
Bảng 3.2. Giá trị riêng, phần trăm phương sai và phương sai tích lũy của các thành phần chính	49
Bảng 3.3. Tải lượng yếu tố của các thông số CLN sông trên ba thành phần chính giữ lại	51
Bảng 3.4. Tải lượng bình phương, tổng tích lũy (communality) và trọng số của các thông số CLN sông (từ cao đến thấp)	52
Bảng 3.5. Giá trị WQI sông Hương tại 10 điểm quan trắc trong giai đoạn 2017-2020 (N = 180)	57
Bảng 3.6. Nồng độ DO, TSS, Fe và TC; các giá trị WQI, NSF-WQI, VN-WQI và phân loại CLN tại các điểm quan trắc vào tháng 11/2020	58
Bảng 3.7. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả cho 11 thông số của tập dữ liệu CLN sông Lam, 2020 - 2021 (N = 156)	62
Bảng 3.8. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả cho 11 thông số của tập dữ liệu CLN sông Ba, 2017 và 2019 (N = 51)	65
Bảng 3.9. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả cho 10 thông số của tập dữ liệu CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ) trong giai đoạn 2016-5/2019 (N = 163)	68
Bảng 3.10. Giá trị riêng, phần trăm phương sai và phương sai tích lũy của các thành phần chính	71

Bảng 3.11.	Tải lượng yếu tố của các thông số CLN dưới đất trên bốn thành phần chính giữ lại	72
Bảng 3.12.	Tải lượng bình phương, tổng tích lũy (communality) và trọng số tương đối của các thông số CLN dưới đất (từ cao đến thấp)	73
Bảng 3.13.	Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả cho 10 thông số của tập dữ liệu CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ) trong giai đoạn 9/2019-2019 (N = 152)	79
Bảng 3.14.	So sánh các chỉ số $GWQI_M$, $GWQI_A$, $GWQI_{Ref}$, và phân loại CLN đối với một số trường hợp của tập dữ liệu nước dưới đất của tỉnh Quảng Trị (cũ) giai đoạn 9/2019-2022	80
Bảng 3.15.	Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả cho 10 thông số của tập dữ liệu CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ) trong giai đoạn 2023-2024 (N = 240)	82
Bảng 3.16.	Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả cho 10 thông số của tập dữ liệu CLN dưới đất ở tỉnh Hà Tĩnh trong giai đoạn 2023-2024 (N = 240)	85
Bảng 3.17.	Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả cho 10 thông số của tập dữ liệu CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Bình (cũ) trong giai đoạn 2023-2024 (N = 104)	88
Bảng 3.18.	Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả cho 10 thông số của tập dữ liệu CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Nam (cũ) trong giai đoạn 2023-2024 (N = 160)	91

DANH MỤC CÁC HÌNH

	<i>Trang</i>
Hình 2.1. Vị trí quan trắc chất lượng nước trên sông Hương	26
Hình 2.2. Vị trí quan trắc chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ) ...	28
Hình 3.1. Tải lượng yếu tố của các thông số CLN sông trên mặt phẳng tọa độ	50
Hình 3.2. Đường tuyến tính và phương trình đối với mỗi thông số để chuyển nồng độ quan trắc được của thông số CLN ($C_i = x_i$) trên trục hoành thành chỉ số thông số q_i trên trục tung ($q_i = y_i$)... ..	54
Hình 3.3. Sơ đồ quy trình tổng quát xây dựng WQI.....	59
Hình 3.4. WQI của 3 sông ở miền Trung giai đoạn 2017-2020	66
Hình 3.5. Biểu diễn tải lượng của các thông số CLN dưới đất trên mặt phẳng tọa độ	71
Hình 3.6. Đường tuyến tính và phương trình đối với mỗi thông số để chuyển nồng độ quan trắc được của thông số CLN dưới đất ($C_i = x_i$) trên trục hoành thành chỉ số thông số q_i trên trục tung ($q_i = y_i$).....	76
Hình 3.7. GWQI ở 4 tỉnh miền Trung giai đoạn 2023-2024	92

MỞ ĐẦU

Nước mặt và nước dưới đất là những hợp phần quan trọng của chu trình nước toàn cầu. Nước mặt và nước dưới đất bổ sung cho nhau, góp phần nuôi sống các sông, hồ và đại dương. Hiện nay, cả nguồn nước mặt và nước dưới đất đều được khai thác để phục vụ cho con người, trong đó quan trọng nhất là cấp nước cho ăn uống và sinh hoạt.

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu, đô thị và công nghiệp ngày càng phát triển, quản lý và kiểm soát ô nhiễm nguồn nước đang là nhu cầu cấp thiết của các quốc gia và địa phương. Một trong những nhiệm vụ quan trọng của quản lý nguồn nước là quan trắc và đánh giá chất lượng nước (CLN). Trên cơ sở các kết quả quan trắc, người ta tiến hành đánh giá CLN (nước mặt hoặc nước dưới đất) theo các phương pháp khác nhau như: (i) Dựa vào từng thông số riêng biệt hoặc chỉ thị sinh học (bio-indicator) qua so sánh với quy định quốc gia hoặc quốc tế về CLN); (ii) Dựa vào Chỉ số CLN mặt (WQI/Water Quality Index) hoặc Chỉ số CLN dưới đất (GWQI/Ground Water Quality Index); (iii) Dựa vào mô hình hóa (modeling)/mô phỏng (simulation) CLN.

Trong đó, phương pháp (i) thường khó lý giải về CLN cho cộng đồng và các nhà hoạch định chính sách, không cho phép đánh giá CLN một cách tổng quát, khó phân loại, phân vùng CLN, khó so sánh CLN theo không gian và thời gian, khó bản đồ hóa CLN. Để khắc phục các hạn chế đó, phương pháp (ii) - sử dụng chỉ số CLN hoặc chỉ số CLN dưới đất (từ đây viết tắt là WQI/GWQI) được dùng khá phổ biến.

Chỉ số WQI/GWQI là một thông số tổ hợp, được tính toán từ nhiều thông số CLN lựa chọn theo một công thức xác định. Một cách tổng quát, Chỉ số WQI/GWQI là một hàm của các chỉ số thông số (sub-index) q_i (q_i thể hiện chất lượng của thông số CLN thứ i) và trọng số (weighting/weightage) w_i (w_i thể hiện tầm quan trọng tương đối của thông số CLN thứ i) với i là thông số CLN (hay biến), có giá trị từ 1 đến n (n là số thông số CLN lựa chọn để tính chỉ số WQI/GWQI). Dựa vào giá trị WQI/GWQI, người ta phân loại CLN theo các thang điểm khác nhau, thường phân thành 5 mức CLN cho các mục đích sử dụng khác nhau (RẤT TỐT, TỐT, TRUNG BÌNH, KÉM và RẤT KÉM).

Mô hình chỉ số WQI được phát triển và áp dụng đầu tiên ở Hoa Kỳ vào những năm 70 của Thế kỷ 20 do Quỹ Vệ sinh Quốc gia Hoa Kỳ (United States National Sanitary Fund/US-NSF) đề xuất để đánh giá CLN sông [53]. Đến nay, chỉ số WQI được nghiên cứu áp dụng và phát triển ở nhiều quốc gia trên thế giới trong đó có Việt Nam. Tổng cục

Môi trường, thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường (cũ), nay là Bộ Nông nghiệp và Môi trường, đã ban hành Quyết định 879/QĐ-TCMT ngày 01/7/2011 và Quyết định 1460/QĐ-TCMT ngày 12/11/2019 (thay thế Quyết định 879/QĐ-TCMT) [12] về hướng dẫn tính toán VN-WQI để áp dụng đánh giá CLN mặt (chủ yếu là các sông) trong cả nước. Tuy nhiên, do chưa tổng kết về sự phù hợp của chỉ số đó khi phản ánh CLN trong thực tế, nên cần tiếp tục nghiên cứu cải thiện.

Trong nhiều năm qua, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu phát triển và áp dụng chỉ số WQI/GWQI trong đánh giá CLN và quản lý nguồn nước mặt [16], [33], [43], [47], [49], [62] và nước dưới đất [14], [19], [39], [60], [62], [69]. Một số WQI/GWQI chỉ được tính toán từ q_i , mà không tính đến w_i (tức là coi các thông số có tầm quan trọng như nhau, hay các w_i đều bằng 1) [27], [72]. Một số nghiên cứu có tính đến w_i , nhưng chủ yếu dựa vào ý kiến chủ quan cá nhân của các chuyên gia, mà không dựa vào đặc điểm thực tế của nguồn nước đang nghiên cứu, điển hình là chỉ số NSF-WQI do Quỹ Vệ sinh quốc gia Hoa Kỳ đề xuất [49]. Để xác định một cách khách quan w_i , nhiều tác giả cho rằng, cần áp dụng phương pháp phân tích thống kê đa biến cho tập dữ liệu CLN nước [61].

Ở Việt Nam, đã có một số nghiên cứu áp dụng chỉ số WQI trong đánh giá CLN mặt – kiểu chỉ số không tính đến w_i , chỉ tính đến q_i [12] và kiểu chỉ số có tính đến cả q_i và w_i [10], [56]. Tuy vậy, đến nay vẫn chưa có chỉ số WQI nào được khẳng định là có thể áp dụng phù hợp cho nhiều nguồn nước trong một địa phương (tỉnh/thành) hoặc khu vực. Mặt khác, các nghiên cứu phát triển chỉ số GWQI để đánh giá CLN dưới đất còn rất hạn chế. Một vài nghiên cứu chỉ dừng lại ở việc sử dụng các chỉ số GWQI có sẵn để đánh giá CLN ở địa phương nghiên cứu [6], [57], [60], [78]. Bộ Tài nguyên và Môi trường (nay là Bộ Nông nghiệp và Môi trường) vẫn chưa có quy định và hướng dẫn về việc đánh giá CLN dưới đất dựa vào chỉ số GWQI. Như vậy, để hỗ trợ thuận lợi trong đánh giá CLN và quản lý tài nguyên nước, cần kế thừa các kết quả nghiên cứu trước đây về chỉ số WQI và GWQI, tiếp tục nghiên cứu phát triển các chỉ số đó, xây dựng quy trình thống nhất, kiểm chứng... sao cho có thể áp dụng ở nhiều địa phương nước ta.

Xuất phát từ các vấn đề trên, chúng tôi chọn thực hiện đề tài luận án ***“Nghiên cứu xây dựng chỉ số chất lượng nước dựa vào phân tích thống kê đa biến và áp dụng”***.

Mục đích nghiên cứu:

Xây dựng được chỉ số WQI và chỉ số GWQI để áp dụng thuận lợi trong đánh giá

CLN mặt và CLN dưới đất, đóng góp tích cực vào công tác quản lý và kiểm soát ô nhiễm nước ở khu vực miền Trung.

Những nội dung chính của luận án:

- Xây dựng quy trình tổng quát phát triển chỉ số WQI đảm bảo dễ hiểu và dễ áp dụng vào thực tế, dựa trên tập dữ liệu CLN của một sông lựa chọn ở miền Trung;

- Kiểm chứng sự phù hợp của chỉ số WQI đã xây dựng trong phản ánh CLN sông và áp dụng thí điểm chỉ số WQI đó vào thực tế để đánh giá CLN một số sông lựa chọn ở miền Trung, dựa vào các tập dữ liệu CLN thu thập được từ các đơn vị quan trắc;

- Áp dụng quy trình tổng quát phát triển chỉ số WQI đã xây dựng được ở trên, nghiên cứu xây dựng chỉ số GWQI, dựa trên tập dữ liệu CLN dưới đất của một tỉnh lựa chọn ở miền Trung;

- Kiểm chứng sự phù hợp của chỉ số GWQI xây dựng được và áp dụng thí điểm chỉ số đó vào thực tế để đánh giá CLN dưới đất ở một số tỉnh ở miền Trung, dựa vào các tập dữ liệu CLN dưới đất thu thập được từ các đơn vị quan trắc.

Những đóng góp mới của luận án:

(1) Đã xây dựng được quy trình tổng quát phát triển chỉ số chất lượng nước, trong đó đã áp dụng phương pháp phân tích thống kê đa biến (PCA) để xác định trọng số của thông số CLN lựa chọn;

(2) Từ đó đã xây dựng được chỉ số WQI mới, chỉ số GWQI mới (với thang điểm thuận tương tự thang điểm chỉ số WQI, tức là giá trị chỉ số GWQI càng lớn, CLN càng tốt và ngược lại).

(3) Cuối cùng, có thể áp dụng chỉ số WQI và chỉ số GWQI đề xuất như một công cụ hữu hiệu trong đánh giá chất lượng nước sông và chất lượng nước dưới đất ở các địa phương (tỉnh/thành) thuộc khu vực miền Trung trong giai đoạn tiếp theo.

Cấu trúc của luận án:

- Mở đầu
- Chương 1: Tổng quan
- Chương 2: Nội dung và phương pháp nghiên cứu
- Chương 3: Kết quả và thảo luận
- Kết luận và kiến nghị

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.1. KHÁI NIỆM VỀ CHẤT LƯỢNG NƯỚC VÀ THÔNG SỐ CHẤT LƯỢNG NƯỚC

Chất lượng nước (CLN) là các đặc trưng hoá học, vật lý và sinh học của nước phù hợp cho một hoặc nhiều mục đích sử dụng xác định. Các đặc trưng đó, còn được gọi là các *Chỉ thị chất lượng nước* (water quality indicator), mỗi chỉ thị bao gồm một hoặc nhiều *Thông số chất lượng nước* (water parameters). Chẳng hạn, chỉ thị cho sự ô nhiễm các chất hữu cơ trong nguồn nước là thông số BOD5 (nhu cầu oxy sinh hóa 5 ngày) và COD (nhu cầu oxy hóa học); Chỉ thị cho sự ô nhiễm các chất dinh dưỡng trong nguồn nước là các thông số về các hợp chất của nitơ (N) và photpho (P) như NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , TN, TP [65].

Đối với mỗi mục đích sử dụng nước, các quốc gia hoặc tổ chức quốc tế thường ban hành các quy định (regulations)/ tiêu chuẩn (standards)/ hướng dẫn (guidelines) CLN khác nhau. Trong đó, người ta đưa ra các mức giới hạn (hoặc khoảng giới hạn cho phép) của mỗi thông số CLN thỏa mãn cho một mục đích sử dụng nước xác định. Thí dụ, theo Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về CLN mặt do Bộ Tài nguyên và Môi trường (cũ) ban hành năm 2015 (QCVN 08-MT:2015/BTNMT) [1], mức hay loại A1 – là nguồn nước đạt yêu cầu cho mục đích cấp nước sinh hoạt (sau khi áp dụng xử lý thông thường), bảo tồn động thực vật thủy sinh và các mục đích khác; quy chuẩn đó quy định mức giới hạn (hay nồng độ tối đa cho phép) của amoni là $\text{N-NH}_4 \leq 0,3 \text{ mg/L}$ (hay 0,3 ppm; $\text{ppm} \approx \text{mg/L}$); khoảng pH giới hạn (hay khoảng cho phép) là 6 – 8,5 [1].

Như vậy, khi nói về CLN và các thông số CLN của một nguồn nước xác định, luôn phải kèm theo là cho mục đích sử dụng gì, có thể là một hoặc nhiều mục đích xác định như sử dụng cho sinh hoạt, công nghiệp, nuôi trồng thủy sản, bảo tồn thủy sinh... CLN và ô nhiễm nước là hai khái niệm ngược nhau: CLN tốt ứng với mức ô nhiễm không đáng kể hay thấp và ngược lại. Khi đề cập đến ô nhiễm nước, người ta thường quan tâm đến nguồn ô nhiễm là gì (chẳng hạn, nguồn điểm nước thải sinh hoạt, nước thải công nghiệp...) và tác nhân (hay thông số) ô nhiễm nào trong nguồn đó, thí dụ, các chất ô nhiễm hữu cơ, các chất dinh dưỡng...

Phân loại các thông số CLN: Có thể phân loại các thông số CLN theo nhiều cách khác nhau, nhưng có 2 cách thường dùng như dưới đây:

- Phân loại theo đặc điểm của thông số CLN [65]:

(i) Các thông số vật lý: Nhiệt độ, TSS, EC hoặc TDS, DO;

(ii) Các thông số hoá học: pH, DO, BOD₅, COD, NO₃⁻, amoni/amoniac (NH₄⁺/NH₃), NO₂⁻, PO₄³⁻, Cu, Pb, Cd...;

(iii) Các thông số vi sinh: Tổng coliform, coliform phân hoặc coliform chịu nhiệt, Escherichia coli (E. coli)...

- Phân loại theo nồng độ hay hàm lượng các chất có mặt trong nước [65]:

(i) Các cấu tử chính hay thành phần cơ bản (có nồng độ cỡ n ppm – 100 ppm): pH, DO, BOD₅, COD, độ cứng, TSS, TDS...;

(ii) Các ion chung hay các ion thường gặp (có nồng độ cỡ ppm – n ppm): NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻, NH₄⁺ (amoni/amoniac), tổng sắt hòa tan (hóa trị II hoặc III)/Fe^{II,III}, tổng mangan hòa tan/Mn^{II}, F⁻, SO₄²⁻...;

(iii) Các cấu tử lượng vết (có nồng độ < ppm) như các kim loại độc dạng hòa tan (Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, As) và các cấu tử lượng siêu vết (có nồng độ < ppb; ppb ≈ µg/L) như: Hg, Cd, các hóa chất bảo vệ thực vật nhóm clo...

Trong thực tế quan trắc CLN ở đa số các quốc gia (trong đó có Việt Nam, nhóm (i) các cấu tử chính, nhóm (ii) các ion chung và các thông số vi sinh (tổng coliform, E. coli) được quan trắc thường xuyên (hay được quan trắc với tần suất lớn hơn), còn các nhóm (iii) các cấu tử lượng vết và siêu vết được quan trắc ít hơn (hay với tần suất nhỏ hơn). Sở dĩ vậy là do việc quan trắc các cấu tử lượng vết và siêu vết mất nhiều thời gian hơn và chi phí phân tích cao hơn, đòi hỏi sử dụng các thiết bị hiện đại đắt tiền. Mặt khác, ở khu vực miền Trung, hầu hết các kim loại độc và các hóa chất bảo vệ thực vật nhóm clo trong các nguồn nước trong nhiều báo cáo đều rất nhỏ, thậm chí nhỏ hơn giới hạn phát hiện của phương pháp phân tích.

1.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG NƯỚC

Để biết CLN của một nguồn nước cho một hoặc nhiều mục đích sử dụng xác định, cần lấy mẫu và phân tích (hay quan trắc) các thông số CLN. Từ đó, áp dụng các phương pháp đánh giá CLN xác định để xét xem, CLN của nguồn nước đang quan

trắc có phù hợp cho mục đích sử dụng xác định không? Để đánh giá CLN, có thể sử dụng các phương pháp khác nhau như dưới đây.

(i) Đánh giá CLN dựa vào chỉ thị/thông số CLN:

Theo phương pháp này, mỗi chỉ thị hay thông số CLN được so sánh với mức quy định của thông số trong quy chuẩn/tiêu chuẩn/hướng dẫn của quốc gia hoặc quốc tế về CLN. Chẳng hạn, để đánh giá CLN mặt (sông, hồ, suối, kênh, rạch) cho đa mục đích sử dụng, cần so sánh kết quả quan trắc thông số với mức A1, A2, B1, B2 của QCVN 08-MT:2015/BTNMT [1] (hiện nay là QCVN 08:2023/BTNMT, áp dụng từ tháng 9/2023). Để đánh giá CLN dưới đất, cần so sánh kết quả quan trắc thông số với các giới hạn của QCVN 09:2015/BTNMT [2] (hiện nay là QCVN 09:2023/BTNMT, áp dụng từ tháng 9/2023). Để đánh giá CLN cho mục đích sinh hoạt, ăn uống, cần so sánh kết quả quan trắc với mức giới hạn được quy định trong Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về CLN cho sinh hoạt do Bộ Y tế ban hành: QCVN 09:2009/BYT [4] (hiện nay là QCVN 01-1:2018/BYT [5]).

Phương pháp đánh giá CLN này được dùng phổ biến ở nước ta và các quốc gia trên thế giới, nhưng có một số hạn chế như: các nhà quản lý và cộng đồng khó hiểu, vì chỉ các nhà chuyên môn mới hiểu được các thông số DO, TDS, BOD5, COD...; khó nói về CLN tổng quát (hay CLN cho đa mục đích sử dụng), vì chỉ có thể nói CLN theo từng thông số; khó so sánh CLN tổng quát theo không gian (đoạn sông này với đoạn sông khác, sông này với sông khác...) và theo thời gian (tháng, năm)...

(ii) Đánh giá CLN dựa vào chỉ số đặc thù:

Trong thực tế, nhiều trường hợp cần đánh giá một khía cạnh về CLN hay ô nhiễm nước, chẳng hạn, cần đánh giá mức phú dưỡng (eutrophication) hay tình trạng dinh dưỡng (trophic index) của nguồn nước, người ta thường sử dụng *Chỉ số tình trạng dinh dưỡng* (TRIX/Trophic Index) – là chỉ số được tính toán từ các thông số CLN như: ô-xy hòa tan (DO), DIN/Dissolved Inorganic Nitrogen (tổng ni-tơ vô cơ hòa tan bằng tổng lượng N-NH_4^+ , N-NO_3^- và N-NO_2^-), TP và chlorophyll-a (là thông số thể hiện sinh khối tảo trong nước) [80]. Ở nước ta, khi quan trắc CLN mặt (theo quy định của QCVN 08-MT:2015/BTNMT), không phải quan trắc 2 thông số TP,

chlorophyll-a và như vậy, để đánh giá tình trạng dinh dưỡng của một nguồn nước, người nghiên cứu cần phân tích thêm 2 thông số đó.

Nhiều trường hợp, người ta đánh giá mức ô nhiễm nước qua chỉ số CLN sinh học (biological water quality index), chẳng hạn chỉ số ASPT (Average Score per Taxon) [26]. Chỉ số ASPT được tính toán từ các loài sinh vật thuộc 3 nhóm (Group 1 taxa, Group 2 taxa và Group 3 taxa) động vật không xương sống cỡ lớn (macroinvertebrates) có mặt trong nguồn nước khảo sát. Khó khăn khi đánh giá theo phương pháp này là lấy mẫu sinh học, vì khi quan trắc hiện trường, có thể quan sát thiếu các loài sinh vật thuộc mỗi nhóm.

(iii) *Đánh giá CLN dựa vào chỉ số CLN (WQI/GWQI)*: Để đánh giá CLN một cách định lượng, người ta đánh giá CLN dựa vào chỉ số WQI/GWQI. Chỉ số WQI/GWQI được tính toán từ nhiều thông số CLN lựa chọn (bao gồm các thông số vật lý, hóa học và có thể cả vi sinh) theo một công thức xác định. WQI thông thường nhận thang điểm từ 0 đến 100 và càng gần 100, CLN càng tốt và ngược lại [13]. Còn GWQI thường có thang điểm ngược, tức là giá trị GWQI càng lớn, CLN dưới đất càng kém và ngược lại [72], [80]. Điều này nhiều khi gây khó cho người sử dụng chỉ số WQI/GWQI. Nếu đều đánh giá CLN dựa vào WQI/GWQI đều theo thang điểm thuận, tức là giá trị WQI hoặc GWQI càng lớn, CLN càng tốt, thì sẽ thuận tiện hơn cho người dùng chỉ số WQI/GWQI. Phương pháp đánh giá CLN dựa vào chỉ số WQI/GWQI có nhiều thuận lợi: Dễ hiểu hơn đối với cộng đồng và các nhà quản lý; Cho phép so sánh CLN theo không gian và thời gian; dễ phân loại và phân vùng CLN cho các mục đích sử dụng nước khác nhau; dễ áp dụng công nghệ thông tin và bản đồ hóa CLN... [13]. Dưới đây sẽ giới thiệu chi tiết hơn về chỉ số WQI và chỉ số GWQI.

1.3. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU VỀ CHỈ SỐ CHẤT LƯỢNG NƯỚC

1.3.1. Tình hình nghiên cứu trên thế giới

1.3.1.1. Nghiên cứu về chỉ số chất lượng nước

Chỉ số CLN (WQI) đã được nghiên cứu áp dụng ở nhiều quốc gia trên thế giới như một công cụ hữu hiệu phục vụ thuận lợi việc đánh giá CLN và quản lý nguồn nước [16], [33], [43], [47], [49], [62]. Chỉ số CLN là một thông số tổ hợp, được tính toán từ nhiều thông số vật lý, hóa học, sinh học thành một giá trị duy nhất (số nguyên),

giúp giám sát thuận lợi biến động CLN theo không gian và thời gian. Đánh giá CLN dựa vào chỉ số WQI có nhiều thuận lợi hơn so với đánh giá CLN dựa vào từng thông số riêng biệt, do chỉ số WQI có nhiều ưu điểm hơn như đã đề cập ở trên (mục 2, tiêu mục (iii)).

Tuy có nhiều mô hình chỉ số WQI khác nhau, nhưng tổng quát, chỉ số WQI là hàm của các *chỉ số thông số* q_i và *trọng số* w_i của các thông số CLN lựa chọn i [14]:

$$WQI = f(q_i, w_i) \quad (1.1)$$

Trong đó,

- i : thông số CLN lựa chọn để đưa vào tính chỉ số WQI (i nhận giá trị từ 1 đến n , với n là số thông số lựa chọn);

- q_i : chỉ số thông số (subindex/quality rating scale) thể hiện chất lượng của thông số i ; để tránh ảnh hưởng của các thang đo khác nhau, các thông số CLN được chuyển về *chỉ số thông số* q_i (thường có thang đo từ 0 đến 100) và q_i được tính toán từ các phương trình hoặc đồ thị hoặc tra bảng: q_i càng gần 100, thông số có chất lượng càng tốt và ngược lại;

- w_i : trọng số (weighting/weightage) thể hiện tầm quan trọng tương đối của thông số i , với tổng trọng số của các thông số bằng 1; thông số i có w_i càng lớn, nó càng quan trọng trong chỉ số WQI (hay quan trọng đối với nguồn nước khảo sát) và ngược lại.

Về công thức tính WQI, chủ yếu có 2 dạng đã và đang được áp dụng hiện nay trên thế giới [13]:

(i) Dạng chỉ tính đến q_i , mà không tính đến w_i . Theo dạng này, cũng có 3 công thức là dạng tổng (additive) hoặc dạng tích (multiplicative) hoặc cả dạng tổng và dạng tích kết hợp trong cùng một công thức.

(ii) Dạng có tính đến cả q_i và w_i . Theo dạng này, cũng có 3 kiểu công thức tính chỉ số WQI như dạng (i).

Tuy dạng (i) đơn giản hơn dạng (ii), nhưng tính đại diện của WQI dạng (i) kém hơn, do không tính đến trọng số w_i của các thông số CLN.

Nhiều mô hình WQI trên thế giới có tính đến cả q_i và w_i , nhưng phương pháp (PP) xác định w_i thiếu thống nhất hoặc thiếu khách quan (chủ yếu theo ý kiến chủ

quan của cá nhân hoặc nhóm chuyên gia). Để khắc phục điều này, việc áp dụng các PP phân tích thống kê hiện đại, điển hình là phân tích thành phần chính (PCA – Principal Component Analysis) hoặc một dạng gần tương tự là phân tích yếu tố (FA – Factor Analysis) là cần thiết [24], [28], [32], [81], [84]. Kỹ thuật PCA hoặc FA cho phép phân tích các dữ liệu đa biến về CLN (thu được từ chương trình quan trắc thực tế ở các địa phương/quốc gia), để từ đó, sẽ xác định được *trọng số* w_i một cách khách quan, dẫn đến phản ánh CLN qua chỉ số WQI sẽ thực tế hơn. Trên thế giới, tuy đã có nhiều nghiên cứu áp dụng PCA hoặc FA để xác định *trọng số* w_i , nhưng cách lựa chọn thông số CLN và cách xác định *chỉ số thông số* q_i thiếu thống nhất khi phát triển và áp dụng chỉ số WQI.

Hiện nay trên thế giới, có trên 30 chỉ số WQI đã và đang được áp dụng để đánh giá và giám sát diễn biến chất lượng các nguồn nước mặt, trong đó chủ yếu là áp dụng cho các nguồn nước sông, suối, vùng cửa sông, biển ven bờ... [25]. Chỉ số WQI thường nhận các giá trị từ 0 (CLN kém nhất) đến 100 (CLN tốt nhất) và được chia thành 5 mức CLN: RẤT TỐT, TỐT, TRUNG BÌNH, KÉM và RẤT KÉM (tức là WQI càng lớn, CLN càng tốt và ngược lại) [13]. Nhìn chung, các nghiên cứu có 4 bước cơ bản để xây dựng một chỉ số WQI (lựa chọn thông số, xác định trọng số, xác định chỉ số thông số, chọn công thức tính chỉ số WQI). Cuối cùng, dựa vào giá trị WQI tính được, đánh giá CLN dựa vào dựa vào thang điểm WQI đã thiết lập.

Chỉ số WQI do US-NSF đề xuất (viết tắt là NSF-WQI) được phát triển và áp dụng đầu tiên ở Hoa Kỳ vào những năm 70 của thế kỷ 20 để đánh giá CLN sông [30]. Sau đó, WQI được nghiên cứu áp dụng để đánh giá CLN sông, suối, kênh rạch ở nhiều quốc gia trên thế giới như ở Ấn Độ [21], Canada [31]; Nigeria [16], [22], [39]; Ba Lan [37]; Vương quốc Anh [46]; Bồ Đào Nha [29]; Morocco [40]; Iran [42] và [55]; Malaixia [44]; UAE [48]; Đài Loan [52]; Bangladesh [67]; Nhật Bản [68]; New Zealand [71]; Trung Quốc [77].

Trong thực tế, tùy thuộc vào đặc điểm lý - hóa - sinh, thủy văn, tác động của các hoạt động tự nhiên và nhân tạo và mục đích sử dụng các nguồn nước, mà các thông số CLN có tầm quan trọng (hay trọng số w_i) khác nhau. Do vậy, cần xác định

trọng số (w_i) của các thông số CLN trên cơ sở phân tích một cách khách quan các tập dữ liệu CLN quan trắc/phân tích được.

Trọng số (weight) gán cho mỗi thông số CLN lựa chọn thể hiện tầm quan trọng tương đối và ảnh hưởng của nó đến giá trị WQI cuối cùng [13], [25]. Trọng số của các thông số CLN có thể bằng nhau hoặc không bằng nhau. Một số chỉ số WQI chấp nhận trọng số của các thông số CLN bằng nhau khi tính toán giá trị WQI cuối cùng [12], [36], [44], [47], [52], [61], [81]. Nhiều nghiên cứu phát triển WQI tính toán giá trị WQI cuối cùng với các trọng số không bằng nhau. Để gán trọng số cho mỗi thông số CLN lựa chọn, có thể áp dụng:

- (i) Quy trình có sự tham gia của nhiều chuyên gia (participatory-based procedure) như phương pháp Delphi [30], [49];
- (ii) Quy trình phân tích theo thứ hạng (analytical hierarchy process) [63], [75];
- (iii) Quy trình phân tích thống kê đa biến, chủ yếu sử dụng kỹ thuật PCA hoặc FA.

Để tránh phán xét chủ quan của các chuyên gia trong quy trình (i), nhiều nghiên cứu phát triển chỉ số WQI đã đề nghị sử dụng quy trình (iii) - sử dụng kỹ thuật PCA hoặc FA để xác định trọng số của các thông số CLN chọn lọc theo các cách tiếp cận khác nhau [32]. Joung, H. M. [47] đã áp dụng FA để xây dựng WQI và đánh giá CLN sông ở vùng Carson Valley, bang Nevada, Hoa Kỳ với 10 thông số CLN (hay biến); Liou, S. M. đã áp dụng PCA để xây dựng WQI với 13 biến để đánh giá CLN các sông ở Đài Loan [52]; Qian, Y. đã áp dụng PCA với 11 biến để xây dựng chỉ số WQI đánh giá CLN sông Indian, bang Florida [63]; Coletti, C. đã áp dụng FA để xây dựng WQI với 8 biến để đánh giá CLN ở lưu vực Rio das Pedras, Braxin [33]...

Phân tích yếu tố (FA) là kỹ thuật phân tích thống kê cho phép giảm chiều dữ liệu và ở khía cạnh nào đó, nó tương tự như kỹ thuật PCA, nhưng cũng đủ khác với PCA hay nói cách khác, hai kỹ thuật đó không tương đương nhau [15], [34]. Thực tế, PCA là kỹ thuật đơn giản hơn so với kỹ thuật FA. Khi sử dụng quy trình FA, có thể thu được các kết quả ‘đầu ra’ khác nhau, tùy thuộc vào bao nhiêu yếu tố (factor) được chọn giữ lại trong lời giải và do vậy, khá phức tạp. Một vấn đề lớn với kỹ thuật FA là các tải lượng biến hay thông số CLN (variable loadings) trên mỗi yếu tố được giữ lại

không đồng nhất. Nghĩa là, tải lượng một biến xác định phụ thuộc vào bao nhiêu yếu tố được chiết rút (hay được giữ lại) trong lời giải của thuật toán FA [15], [34]. Khác với kỹ thuật FA, kỹ thuật PCA cho ra kết quả về tải lượng của một biến xác định trên mỗi thành phần chính được chiết rút (hay giữ lại) trong lời giải là đồng nhất (hay như nhau) [34]. Như vậy, có thể thấy rằng, kỹ thuật PCA cho ra kết quả về tải lượng mỗi biến là duy nhất (trên mỗi thành phần chính được giữ lại); tải lượng của biến càng lớn, càng đóng góp nhiều hay càng quan trọng trong hệ môi trường nước đang khảo sát. Do vậy, dựa vào kết quả của phương pháp PCA, việc xác định trọng số của biến (hay thông số CLN) trong nguồn nước phản ánh khách quan hơn.

Phương pháp PCA cho phép nhìn (trực quan) và khám phá dữ liệu dễ hơn – dễ nhận ra hơn quan hệ giữa các thông số CLN (hay các biến/variable) và các vị trí quan trắc/các mẫu... (hay các đối tượng/individual/ class/object), và các cấu trúc (pattern) tồn tại trong tập dữ liệu CLN. Nó cho phép nhận ra những biến nào ảnh hưởng mạnh/yếu đến (hay quan trọng/ít quan trọng đối với) các đối tượng. Từ đó, cho phép xác định trọng số (hay tầm quan trọng) của các biến trong nguồn nước ở khu vực khảo sát một cách khách quan [13].

Mặt khác, do các tính toán thống kê, đặc biệt là phân tích đa biến, khá phức tạp, nên nhiều nghiên cứu đã phát triển các gói (packages) thống kê chuyên dụng để hỗ trợ tính toán nhanh trong các lĩnh vực nghiên cứu khác nhau như Microsoft-Excel, SPSS, SAS, STATA... Một trong những phần mềm nổi tiếng, được sử dụng phổ biến, cho phép truy cập và sử dụng miễn phí trên toàn thế giới là phần mềm R. Phần mềm này gồm 2 module là R-commander và R-studio, gồm hàng trăm gói thống kê khác nhau cho phép áp dụng thuận lợi để phân tích và đánh giá dữ liệu trong hầu hết các lĩnh vực nghiên cứu khoa học (tự nhiên, xã hội, kinh tế, môi trường...). Phần mềm R cho phép thực hiện phương pháp PCA rất nhanh và thuận lợi trên máy tính, sau khi đã cài đặt phần mềm R và các gói (packages) liên quan vào máy tính [11].

Cũng cần thấy rằng, mô hình WQI tuy có nhiều ưu điểm, nhưng cũng có những hạn chế như:

- Tính ‘che khuất’ (exclipsing): Thông số có trọng số w_i cao (hoặc chỉ số thông số q_i cao) sẽ che khuất thông số có trọng số w_i (hoặc có q_i) thấp. Chẳng hạn, thông số

TDS (thể hiện nồng độ muối trong nước) có trọng số cao, sẽ che khuất các thông số có trọng số thấp như tổng sắt tan (Fe), nitrat (N-NO_3)... và ngược lại, tức là thông số có trọng số cao sẽ ảnh hưởng nhiều hơn đến giá trị của WQI cuối cùng. Mặt khác, giá trị WQI bằng 50 (ứng với một mức CLN xác định) đã che khuất thông tin - thông số CLN nào đã gây ra mức CLN như vậy;

- Tính ‘mập mờ’ (ambiguity): Trong nhiều trường hợp, CLN thực tế là đạt mức ‘TỐT’, nhưng WQI lại thể hiện là mức CLN ‘KÉM’ hoặc ngược lại; Chẳng hạn, một hoặc một vài thông số CLN có nồng độ vượt mức cho phép, nhưng chỉ số WQI tính được vẫn phản ánh CLN là TỐT và như vậy là mập mờ.

- Tính ‘cứng nhắc’ (regidity): WQI chỉ được tính toán từ một số cố định các thông số CLN, chẳng hạn, chỉ số NSF-WQI được tính từ 9 thông số (hay n bằng 9); WQI-VN năm 2011 có n bằng 9. Chẳng hạn, khi nguồn nước bị nhiễm nhiều sắt (hay thông số Fe có nồng độ cao trong nước), nhưng chỉ số NSF-WQI đó không cho phép đưa thông số Fe vào tính WQI và như vậy, nhiều khi nồng độ Fe vượt quá mức cho phép, nhưng giá trị WQI cuối cùng không phản ánh được điều đó.

Như vậy, khi nghiên cứu xây dựng một WQI, cần kiểm tra để khắc phục các hạn chế trên. Để khắc phục tính ‘che khuất’, song song với đánh giá CLN dựa vào WQI, cần phải đánh giá CLN dựa vào các thông số riêng biệt như pH, DO, TSS, NH_4^+ ... Để khắc phục tính ‘mập mờ’, nhất thiết phải kiểm tra sự phù hợp (hay độ nhạy) của WQI trong phản ánh CLN sao cho phù hợp với thực tế. Để khắc phục tính ‘cứng nhắc’, cần đưa thêm thông số vào mô hình WQI, tùy thuộc vào đặc điểm của nguồn nước. Chẳng hạn, nước sông có thể có nồng độ cao của tổng sắt tan (Fe), tổng mangan tan (Mn), bị nhiễm mặn... cần phải đưa thêm thông số Fe, Mn, độ dẫn điện (EC) hoặc TDS hoặc Cl^- vào mô hình WQI.

1.3.1.2. Nghiên cứu về chỉ số chất lượng nước dưới đất

Chỉ số CLN dưới đất (GWQI) được nghiên cứu phát triển và ứng dụng ít hơn so với WQI [14], [19], [39], [60], [62], [69]. GWQI cũng thường được phân chia thành 5 mức CLN (RẤT TỐT, TỐT, TRUNG BÌNH, KÉM và RẤT KÉM), nhưng theo thang điểm ngược với WQI, tức là giá trị GWQI càng lớn, CLN càng kém và ngược lại [72], [80].

Một số nghiên cứu phát triển GWQI đã sử dụng công thức dạng (i) (dạng chỉ tính đến q_i , mà không tính đến w_i) để tính GWQI trong việc đánh giá CLN dưới đất như:

- Soltan, M.E. đã dựa trên 9 thông số bao gồm cả kim loại nặng (NO_3^- , PO_4^{3-} , Cl^- , TDS, BOD, Cd, Cr, Ni và Pb), để đánh giá CLN giếng ở Ai Cập [72].

- Backman, B. đã đề xuất *Chỉ số ô nhiễm nước* với 23 thông số (Al, As, B, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Rn, Sb, Se, Zn, UO_2^{2-} , TDS, SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , NO_3^- , NH_4^+) để đánh giá mức ô nhiễm nước ở Phần Lan và Slovakia [27].

Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu phát triển GWQI đã sử dụng các công thức dạng (ii) (dạng có tính đến cả q_i và w_i) để tính GWQI phục vụ đánh giá CLN dưới đất như:

- Ekere, N. R. đã áp dụng GWQI với 12 thông số để đánh giá CLN dưới đất ở Nigeria (pH, PO_4^{3-} , NO_3^- , SO_4^{2-} , EC (độ dẫn điện), TA (độ axit/total acidity), TK (độ kiềm tổng/total alkalinity), TSS, TUR, TDS và độ cứng) [39]. Công thức tính GWQI ở đây có dạng kết hợp, tính đến cả w_i và q_i và công thức này cũng được nhiều tác giả sử dụng trong đánh giá CLN dưới đất trước đó:

$$\text{GWQI} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i q_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1.2)$$

Với chỉ số thông số q_i (quality rating scale):

$$q_i = 100 \times \frac{C_i - C_0}{S_i - C_0} \quad (1.3)$$

Trọng số đơn vị hay trọng số tương đối (unit weight/relative weight):

$$w_i = \frac{K}{S_i} \quad (1.4)$$

Trong đó, C_i và C_0 tương ứng là nồng độ của thông số CLN trong mẫu và nồng độ lý tưởng của thông số trong nước tinh khiết (C_0 bằng 0, ngoại trừ pH có C_0 bằng 7,0); S_i là mức quy định/giới hạn trong tiêu chuẩn quốc gia hoặc quốc tế về CLN; K là hằng số tỉ lệ:

$$K = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i}} \quad (1.5)$$

Theo mô hình này, GWQI được phân chia thành 5 mức CLN: 0 – 25 (RẤT TỐT/excellent); 26 – 50 (TỐT/good); 51 – 75 (KÉM/poor); 76 – 100 (RẤT KÉM/very poor) và > 100 (KHÔNG PHÙ HỢP CHO ĂN UỐNG /unfit for drinking).

- Elubid, B.A. đã đánh giá phân bố CLN dưới đất dùng GIS và xây dựng Chỉ số CLN ăn uống (DWQI/Drinking Water Quality Index) cho vùng phía Nam của bang Gedaref ở Đông Sudan. Chỉ số DWQI được tính toán từ 13 thông số (pH, TDS, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , F^- , NO_3^- , EC) và cũng được tính theo các công thức (1) – (4) ở trên. Song, DWQI được phân chia thành 5 mức: 0 – 25 (RẤT TỐT); 26 – 50 (TỐT); 51 – 100 (KÉM); 101 – 200 (RẤT KÉM) và > 200 (KHÔNG PHÙ HỢP CHO ĂN UỐNG) [41].

- Prasad, M. cũng áp dụng các công thức (1.2) – (1.5) ở trên khi tính toán GWQI với 11 thông số (pH, EC, TDS, độ cứng, độ axit, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} và F^-) để đánh giá CLN dưới đất ở Quận YSR Obulavaripalli Mandal, Ấn Độ. Việc phân chia thang điểm GWQI có khác với các tác giả trên: < 50 (RẤT TỐT); 51 – 100 (TỐT); 101 – 200 (KÉM); 201 – 300 (RẤT KÉM) và > 300 (KHÔNG PHÙ HỢP CHO ĂN UỐNG) [62].

- Adimalla, N. và Qian, H. đã xây dựng GWQI với 13 thông số (pH, EC, TDS, độ cứng, HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} và NO_3^-) để đánh giá CLN dưới đất và đánh giá rủi ro sức khỏe người (HHR/Human Health Risk) ở vùng nông nghiệp Nanganur, phía Nam Ấn Độ [18]. Chỉ số GWQI này được tính theo công thức:

$$\text{GWQI} = \sum_{i=1}^n SI_i \quad (1.6)$$

$$\text{Với } SI_i \text{ là Chỉ số của thông số } i \text{ và } SI_i = W_i \times q_i \quad (1.7)$$

Trong đó, q_i (thang chất lượng của thông số i) được tính theo công thức (1.3) ở trên; W_i (trọng số tương đối của thông số i):

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1.8)$$

Với w_i là trọng số của thông số và các w_i được gán các giá trị theo ý kiến của chuyên gia với 5 mức: Những thông số quan trọng nhất trong đánh giá CLN có w bằng 5; thông số ít quan trọng hơn có w bằng 2. CLN dưới đất cũng được phân chia theo thang điểm GWQI như Prasad, M. và cộng sự [62] đã dùng ở trên.

- Một số tác giả đã nghiên cứu trọng số entropy để xây dựng chỉ số CLN [17], [23], [38], [74]. Subba Rao, N. đã nghiên cứu đánh giá CLN dưới đất ở bang Telangana (Ấn Độ) dựa vào Phân bố không gian ion (ISD/Ionic Spatial Distribution), Chỉ số CLN entropy (EWQI/Entropy Water Quality Index) và PCA (phân tích thành phần chính) [74]. Chỉ số EWQI được tính toán từ 11 thông số CLN (pH, TDS, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , F^-) theo các bước sau:

Từ ma trận X của dữ liệu CLN với m mẫu và n thông số

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

Dùng công thức (10) để tính toán các giá trị y_{ij} , thu được ma trận Y (1.11):

$$y_{ij} = [(x_{ij} - (x_{ij})_{\min}) / [(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}]] \quad (1.10)$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.11)$$

Tiếp theo tính entropy (e_j) theo (1.12):

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (1.12)$$

Trong đó, $\ln m$ và $\ln P_{ij}$ tương ứng là loga cơ số tự nhiên của m và P_{ij} ; P_{ij} được tính theo (1.13):

$$P_{ij} = \frac{(1 + y_{ij})}{\sum_{i=1}^m (1 + y_{ij})} \quad (1.13)$$

Trọng số entropy w_i và chỉ số thông số q_i (quality rating scale) được tính theo (1.14) và (1.15):

$$w_j = \frac{(1 - e_j)}{\sum_{i=1}^m (1 - e_j)} \quad (1.14)$$

$$q_j = \frac{C_j}{S_j} \times 100 \quad (1.15)$$

Trong đó, C_j (mg/L) là nồng độ của thông số j ; S_j (mg/L) là mức cho phép của thông số j (theo quy định của WHO và Văn phòng tiêu chuẩn Ấn Độ (BSI/Bureau of Indian Standards)).

Cuối cùng tính EWQI theo (1.16):

$$EWQI = \sum_{j=1}^m w_j q_j \quad (1.16)$$

EWQI được phân chia thành 5 mức CLN: Mức 1 (RẤT TỐT) < 25 ; Mức 2 (TỐT) $25 - 50$; Mức 3 (TRUNG BÌNH) $50 - 100$; Mức 4 (KÉM) $100 - 150$ và mức 5 (RẤT KÉM) > 150 .

Phương pháp tính toán và đánh giá CLN dưới đất dựa vào EWQI ở trên cũng được nhiều tác giả áp dụng [13].

- Solangi, G.S. đã xây dựng GWQI (với 11 thông số: pH, EC, TDS, Ca, Mg, độ cứng, TUR, Cl^- , As, HCO_3^- , CO_3^{2-} có trọng số được gán từ 2 đến 5) và Chỉ số ô nhiễm tổng hợp (SPI/Synthesis Pollution Index) để đánh giá CLN dưới đất vùng Indus Delta (Pakistan) [74]. Trong đó, chỉ số GWQI được tính toán theo các bước sau:

+ Bước 1: Tính trọng số tương đối W_i như công thức (1.8) ở trên; các giá trị w_i được gán cho các thông số i tùy thuộc vào tính độc hại của chúng đối với sức khỏe người như sau: pH, EC, TDS, Cl^- có w_i như nhau và bằng 3; Ca, Mg, độ cứng, TUR, HCO_3^- , CO_3^{2-} có w_i như nhau và bằng 2; As có độc tính cao, nên có w_i bằng 5. Tổng trọng số của các thông số là 29. Tổng trọng số tương đối $\sum W_i$ bằng 1.

+ Bước 2: Tính chỉ số thông số q_i :

$$q_i = \frac{100 \times C_i}{S_i} \quad (1.17)$$

Trong đó, C_i và S_i tương ứng là nồng độ xác định được và mức cho phép của thông số i (theo quy định của WHO về CLN ăn uống);

+ Bước 3: Tính GWQI theo công thức (1.6) ở trên.

Trong nghiên cứu này, phương pháp PCA cũng được áp dụng để nhận ra các nhóm thông số CLN được giải thích bởi các thành phần chính tương ứng. Theo mô hình này, CLN cũng được phân chia thành 5 mức theo thang điểm GWQI tương tự như Prasad, M. và cộng sự (2019) [62].

+ Chỉ số SPI được tính toán như sau:

* Tính hằng số tỉ lệ (constant of proportionality) K_i theo công thức (1.4):

$$K_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i}} \quad (1.18)$$

* Tính trọng số tương đối (weight coefficient) $W_i = \frac{K_i}{S_i}$ (1.19)

* Tính SPI: $SPI = \frac{C_i}{S_i} \times W_i$ (1.20)

Trong các công thức (1.17) – (1.20), C_i và S_i tương ứng là nồng độ xác định được và mức cho phép của thông số i (theo quy định của WHO đối với nước ăn uống); i nhận giá trị từ 1 đến n (n là số thông số CLN đưa vào tính toán SPI). Dựa vào SPI, phân loại mức độ ô nhiễm nước dưới đất như sau: 0,01 – 0,15 (thích hợp cho ăn uống/suitable); 0,16 – 0,4 (ô nhiễm nhẹ/slight polluted); 0,5 – 1,0 (ô nhiễm trung bình/moderately polluted); 1,0 – 3,0 (ô nhiễm cao/highly polluted); > 3 (không phù hợp cho ăn uống/unsuitable).

Nói chung, các mô hình GWQI đề cập ở trên được tính toán từ 09 – 23 thông số, phổ biến là 11 - 13 thông số CLN lựa chọn. Các giá trị w_i chủ yếu được chấp nhận theo ý kiến chủ quan cá nhân: gán các giá trị w_i hoặc theo tầm quan trọng trong đánh giá CLN hoặc theo độc tính đối với cơ thể người hoặc tính w_i theo công thức xác định như công thức (1.4), (1.14). Chỉ số thông số q_i được tính toán theo cách tương tự nhau: q_i bằng tỉ số (%) giữa nồng độ xác định được và mức cho phép của thông số CLN (theo quy định của quốc gia hoặc WHO về CLN cho sinh hoạt hoặc ăn uống).

Tuy có nhiều ưu điểm khi đánh giá CLN dưới đất dựa vào GWQI, nhưng chỉ số GWQI cũng có những hạn chế như chỉ số WQI, tức là nó cũng có thể mắc tính ‘che khuất’, ‘mập mờ’ và ‘cứng nhắc’. Do vậy, khi nghiên cứu xây dựng chỉ số GWQI, phải kiểm tra các hạn chế đó hay nói cách khác là kiểm chứng tính phù hợp của nó khi áp dụng vào thực tế.

1.3.2. Tình hình nghiên cứu ở Việt Nam

1.3.2.1. Tình hình nghiên cứu WQI

Từ năm 2011, chỉ số WQI Việt Nam (VN-WQI) được Tổng cục Môi trường (thuộc BTNMT (cũ)) ban hành và đưa vào áp dụng trong cả nước. Đến năm 2019,

VN-WQI được điều chỉnh và ban hành lại lần thứ 2 [12]. Tuy nhiên, chỉ số VN-WQI (năm 2019) vẫn có một số nhược điểm như:

(i) Không tính đến trọng số w_i (đối với các thông số cơ bản hay cấu tử chính, chỉ tính trọng số đối với các kim loại nặng), mà chỉ tính đến chỉ số thông số q_i , nên tính đại diện khi phản ánh CLN còn hạn chế.

(ii) Không tính đến thông số tổng chất rắn lơ lửng (TSS) và tổng chất rắn hòa tan (TDS), nên nhiều trường hợp không phản ánh CLN phù hợp với thực tế, chẳng hạn, ở vùng cuối nguồn (vùng cửa sông) hoặc ở vùng biển ven bờ, nước bị nhiễm mặn (TDS rất cao), nhưng chỉ số WQI vẫn phản ánh là CLN TỐT; hoặc khi nguồn nước có độ đục cao (hay nồng độ TSS cao), chỉ số WQI vẫn phản ánh là CLN TỐT.

(iii) Từ khi ban hành năm 2019 đến nay, chưa tổng kết và đánh giá sự phù hợp của VN-WQI trong phản ánh CLN thực tế. Trong khi đó, công tác quản lý các nguồn nước rất quan trọng, đặc biệt là các sông, kênh rạch, hồ...

Từ các vấn đề nêu trên, cần thiết phải nghiên cứu xây dựng một chỉ số WQI mới (trong đó có tính đến cả q_i và w_i) để áp dụng phù hợp trong đánh giá CLN. Trọng số của chỉ số WQI mới cần được xác định khách quan để đảm bảo phản ánh CLN phù hợp với thực tế trên cơ sở áp dụng kỹ thuật PCA hoặc FA để xác định *trọng số* w_i và sử dụng các dữ liệu quan trắc CLN mặt có sẵn ở các địa phương trong nhiều năm qua và giai đoạn tới.

Từ những năm 90 của thế kỷ 20, ở nước ta đã có nhiều nghiên cứu áp dụng Chỉ số chất lượng nước (WQI) cho các sông ở khu vực miền Trung như: Nguyễn Văn Hợp đã áp dụng chỉ số WQI do Bhargava (Ấn Độ) đề xuất năm 1983 (hoặc có cải tiến) cho một số sông ở miền Trung. Chỉ số WQI do Bhargava đề xuất năm 1983 là kiểu chỉ số chấp nhận trọng số của các thông số CLN bằng nhau; Xác định chỉ số thông số của mỗi thông số CLN theo hàm tuyến tính, được thiết lập dựa vào Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về CLN mặt; Tính toán WQI theo phương pháp tích.

Nguyễn Lê Tú Quỳnh đã nghiên cứu cải tiến chỉ số NSF-WQI để áp dụng cho các sông trên địa bàn tỉnh Thái Nguyên [9]. Ngoài các sông, chỉ số WQI cũng được Trương Văn Đàn nghiên cứu áp dụng cho đầm phá Tam Giang – Cầu Hai (thủy vực

nước lợ) – đánh giá CLN phục vụ nuôi tôm. Tác giả đã phát triển chỉ số WQI theo quy trình tương tự như chỉ số NSF-WQI [10].

1.3.2.2. Tình hình nghiên cứu GWQI

Ở Việt Nam đến nay, chưa có nhiều nghiên cứu về chỉ số GWQI và hầu như chưa có nghiên cứu nào phát triển chỉ số GWQI để đánh giá CLN dưới đất, trong khi nguồn nước dưới đất ở Việt Nam khá phong phú. Bộ Tài nguyên và Môi trường (nay là Bộ Nông nghiệp và Môi trường) vẫn chưa có quy định về việc đánh giá CLN dưới đất dựa vào GWQI. Trong các năm gần đây đã có thêm một số nghiên cứu về chất lượng nước dưới đất sử dụng chỉ số GWQI có sẵn trên thế giới như:

- Nguyễn Hải Âu (2018) đã sử dụng chỉ số GWQI và phân tích thành phần chính (PCA) đánh giá chất lượng nước tầng chứa nước Pleistocen ở Bà Rịa – Vũng Tàu. Tác giả đã sử dụng công thức (1.6) để tính chỉ số GWQI và sử dụng công thức (1.17) để tính *chỉ số thông số* q_i , sử dụng công thức (1.8) để tính *trọng số* w_i với số thông số CLN lựa chọn là 9 (pH, TDS, độ cứng, Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cu^{2+} và Fe) [6].

- Nguyễn Thanh Giao (2022) đã sử dụng chỉ số GWQI để đánh giá CLN dưới đất ở thành phố Cần Thơ. Chỉ số GWQI được tính theo công thức (1.6) với *chỉ số thông số* q_i được tính theo công thức (1.3), *trọng số* w_i được tính theo công thức (1.8) với 10 thông số lựa chọn (pH, độ cứng, Cl^- , SO_4^{2-} , Fe, NO_3^- , As, Pb, Hg và coliforms). Nghiên cứu này sử dụng phương pháp PCA và phương pháp phân tích cụm (cluster analysis) để phân tích biến động chất lượng nước theo không gian (27 điểm quan trắc) và theo thời gian (2 mùa: mùa khô và mùa mưa) [57].

- Tôn Thất Lăng (2023) đã sử dụng chỉ số GWQI được tính theo công thức (1.6) để đánh giá CLN dưới đất ở thành phố Hồ Chí Minh. Ở đây, tác giả cũng sử dụng công thức (1.6) để tính chỉ số GWQI, tính *chỉ số thông số* q_i theo công thức (1.3), tính *trọng số* w_i theo công thức (1.8) với 10 thông số lựa chọn (pH, TDS, độ cứng, NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Fe, Mn và coliform) [78].

- Phạm Quốc Nguyên (2024) đã sử dụng phân tích thống kê đa biến và chỉ số GWQI để đánh giá CLN dưới đất ở tỉnh Cà Mau. Chỉ số GWQI được tính theo công thức (1.6), sử dụng công thức (1.17) để tính chỉ số thông số, sử dụng công thức (1.8) tính trọng số với 6 thông số lựa chọn (pH, độ cứng, COD, N-NH_4^+ , N-NO_3^- và Fe) [60].

Nhìn chung, các nghiên cứu về GWQI ở nước ta đến nay rất hạn chế, cụ thể:

- (i) Các nghiên cứu chỉ dừng lại ở việc sử dụng các mô hình chỉ số GWQI có sẵn để đánh giá CLN dưới đất;
- (ii) Các thông số CLN được lựa chọn để tính GWQI không thống nhất;
- (iii) Việc ứng dụng phương pháp PCA chủ yếu để đánh giá biến động CLN theo thời gian; Chưa có nghiên cứu nào sử dụng phương pháp PCA để xác định *trọng số* w_i trong áp dụng chỉ số GWQI.

Từ đó có thể thấy rằng, việc áp dụng các chỉ số GWQI sẵn có trên thế giới vào đánh giá CLN dưới đất của các nghiên cứu gần đây ở Việt Nam chưa được kiểm chứng để thể hiện rõ: đã khắc phục được các nhược điểm vốn có của chỉ số GWQI như đã nêu ở trên. Nói cách khác, các nghiên cứu đó chưa kiểm tra sự phù hợp của chỉ số GWQI khi phản ánh CLN dưới đất ở khu vực khảo sát, đặc biệt là trong những trường hợp tới hạn – có một hoặc một vài thông số CLN vượt quá mức cho phép.

1.4. NHẬN XÉT CHUNG VÀ ĐỊNH HƯỚNG NGHIÊN CỨU

Trên cơ sở tổng quan các vấn đề liên quan đến nghiên cứu phát triển và ứng dụng chỉ số WQI/GWQI trên thế giới và ở Việt Nam, dưới đây sẽ đưa ra các nhận xét chung để định hướng cho các nội dung nghiên cứu chính của luận án.

(1) Nhu cầu xây dựng chỉ số WQI/GWQI để áp dụng vào thực tế là cấp thiết ở nước ta trong đánh giá CLN, hỗ trợ thuận lợi công tác quản lý tài nguyên nước và kiểm soát ô nhiễm môi trường nước.

(2) Đã có nhiều nghiên cứu xây dựng chỉ số WQI/GWQI, nhưng vẫn chưa xây dựng được một quy trình tổng quát phát triển chỉ số WQI/GWQI sao cho chỉ số đó khắc phục được các nhược điểm vốn có của nó. Do vậy, cần xây dựng một quy trình thống nhất, dễ hiểu và dễ áp dụng hơn vào thực tế để đánh giá CLN ở nhiều địa phương/vùng của nước ta.

(3) Để tăng tính đại diện trong phản ánh CLN, cần xây dựng chỉ số WQI/GWQI là hàm của cả *trọng số* w_i và *chỉ số thông số* q_i . Để xác định trọng số một cách khách quan (khắc phục tính chủ quan của phương pháp chuyên gia), cần áp dụng phương pháp PCA. Để thuận tiện cho người dùng WQI/GWQI, cần xác định chỉ số thông số (q_i) theo cách dễ hiểu hơn, chẳng hạn, dựa vào các tiêu chuẩn/quy chuẩn

quốc gia về CLN. Để có thể áp dụng vào thực tế, cần có một bộ trọng số (w_i) thống nhất để áp dụng chung cho một địa phương hoặc khu vực miền Trung, vì đối với mỗi nguồn nước, dựa vào các dữ liệu quan trắc CLN, các nhà quản lý và kỹ thuật môi trường chưa hiểu rõ phương pháp PCA và sử dụng phần mềm có sẵn để xác định trọng số của thông số CLN lựa chọn.

(4) Khi đưa ra bộ trọng số thống nhất để tính chỉ số WQI/GWQI, cần kiểm chứng sự phù hợp của chỉ số WQI/GWQI trong phản ánh CLN thực tế để tránh mắc phải các nhược điểm vốn có của chỉ số WQI/GWQI (tính che khuất, mập mờ và cứng nhắc). Còn chỉ số thông số (q_i) phản ánh chất lượng của thông số CLN, nên được xác định dựa vào kết quả quan trắc thực tế.

(5) Để khẳng định tính khả thi của chỉ số WQI/GWQI xây dựng được, cần áp dụng thí điểm chúng vào thực tế đánh giá CLN sông (dựa vào chỉ số WQI) và CLN dưới đất (dựa vào chỉ số GWQI) ở một số tỉnh miền Trung. Qua đó, thuyết phục thêm về tính phù hợp của chỉ số WQI/GWQI xây dựng được khi áp dụng vào thực tế.

(6) Tiếp cận phạm vi nghiên cứu: Miền Trung gồm 14 tỉnh thành (trước ngày 01/7/2025) có phạm vi rất lớn, nên chỉ chọn một số sông và một số tỉnh làm đại diện trong nghiên cứu của luận án. Mặt khác, do các sông khảo sát có thể đi qua nhiều địa phương (tỉnh/thành) và do vậy, chỉ chọn chiều dài khảo sát thuộc phạm vi địa lý của một địa phương và được quan trắc thường xuyên trong chương trình quan trắc môi trường nước của địa phương (khi nghiên cứu xây dựng và áp dụng chỉ số WQI). Khi nghiên cứu xây dựng và áp dụng GWQI, chọn một số địa phương có địa hình bao gồm cả các tiểu vùng núi, đồi, đồng bằng và ven biển. Trong chương trình quan trắc CLN dưới đất của địa phương, các vị trí quan trắc phân bố trên khắp các tiểu vùng đó, nhằm tăng tính đại diện của các thông số CLN lựa chọn, trọng số của thông số CLN lựa chọn trong xây dựng chỉ số GWQI.

(i) Sông được lựa chọn để xây dựng chỉ số WQI:

Hệ thống các sông ở miền Trung đều bắt nguồn từ dãy Trường Sơn, chảy về Biển Đông với chiều dài sông ngắn, độ dốc lớn [56]. Các dữ liệu quan trắc CLN các sông khá đầy đủ và liên tục theo không gian (nhiều vị trí quan trắc), thời gian (quan trắc liên tục với tần suất 01 tháng/đợt hoặc 01 quý (3 tháng)/đợt hàng năm). Những sông có đủ dữ liệu quan trắc CLN (nhiều vị trí quan trắc, tần suất quan trắc liên tục,

số thông số quan trắc đủ để lựa chọn cho xây dựng chỉ số WQI) sẽ được lựa chọn để nghiên cứu xây dựng và áp dụng chỉ số WQI.

Một trong những sông thỏa mãn các điều trên là sông Hương, được chọn để xây dựng quy trình tổng quát phát triển chỉ số WQI và áp dụng thí điểm chỉ số WQI xây dựng được. Hệ thống sông Hương bắt nguồn từ các dãy núi phía Đông huyện A Lưới thuộc dãy Trường Sơn Bắc, có diện tích lưu vực 2.713 km², chiếm hơn 60% diện tích tự nhiên của tỉnh Thừa Thiên Huế (cũ), nay là thành phố Huế. Hệ thống sông Hương là hệ thống sông lớn nhất ở thành phố, gồm 3 nhánh chính là nhánh sông Tả Trạch, nhánh sông Hữu Trạch và sông Bồ. Nhánh Tả Trạch chảy từ núi Vang và nhánh Hữu Trạch bắt đầu từ núi Ruy, gặp nhau ở ngã ba Tuần (cách thành phố Huế 15 km về phía Tây) tạo thành dòng chính sông Hương; Rồi hợp lưu với sông Bồ ở ngã ba Sinh (cách thành phố Huế 8 km về phía Bắc) và đổ vào phá Tam Giang trước khi chảy ra biển Đông ở cửa biển Thuận An [8].

Sông Hương là nguồn nước mặt quan trọng của thành phố Huế, cung cấp nước cho các hoạt động khác nhau như sinh hoạt, công nghiệp, tưới tiêu, giao thông thủy, du lịch, nuôi trồng thủy sản. Vạn Niên và Giả Viên là 02 điểm cấp nước cho các nhà máy nước ở thành phố Huế. Sông Hương cũng là nơi tiếp nhận các nguồn nước thải từ các hoạt động trong lưu vực: Nước thải sinh hoạt, công nghiệp, nuôi trồng thủy sản... Từ khi công trình thu gom và xử lý nước thải phía Nam sông Hương đi vào hoạt động năm 2018 - 2019 (thuộc giai đoạn 1 của “Dự án cải thiện môi trường nước thành phố Huế” do Cơ quan Hợp tác Quốc tế Nhật Bản/JICA tài trợ), đã góp phần làm giảm những lo lắng về ô nhiễm nước sông Hương.

Sông Hương là sông có dữ liệu quan trắc CLN khá nhiều và tin cậy, đủ dữ liệu để xây dựng chỉ số WQI. Các vị trí quan trắc CLN sông Hương (từ đầu đến cuối nguồn) nêu ở Hình 2.1. Tần suất quan trắc trong giai đoạn 2014-2016 là 1 tháng/đợt (11 vị trí quan trắc), còn trong giai đoạn 2017-2020, quan trắc với tần suất ít hơn, 2-3 tháng/đợt và quan trắc ở 8-10 vị trí.

(ii) Sông được lựa chọn để áp dụng thí điểm và kiểm chứng chỉ số WQI:

Trên cơ sở các dữ liệu quan trắc thu thập được, các sông được lựa chọn để áp dụng thí điểm và tiếp tục kiểm chứng chỉ số WQI xây dựng được là sông Lam (tỉnh

Nghệ An, thuộc Bắc Trung Bộ), sông Ba (tỉnh Phú Yên cũ, nay là tỉnh Đaklak, thuộc Nam Trung Bộ).

(iii) Địa phương (tỉnh) lựa chọn để xây dựng chỉ số GWQI:

Về mặt địa chất thủy văn, khu vực miền Trung Việt Nam được xem là vùng chứa nước trong đá gốc rắn (hard rock aquifer) với các khe nứt và vùng phong hóa, rất có giá trị cho sự hiện diện của nước dưới đất. Tháng 10 thường có lượng mưa cao nhất trong năm. Nhiệt độ trung bình hàng năm khoảng 25°C và lượng mưa trung bình trên 2.000 mm [50]. Khu vực chứa nước dưới đất được khai thác và quan trắc tập trung chủ yếu ở vùng đồng bằng ven biển, trung du và một số nơi ven sông ở miền núi, nơi có tầng chứa nước Holocene và Pleistocene [45].

Nói chung, các tỉnh được lựa chọn trong nghiên cứu này phải có địa hình đa dạng và có dữ liệu quan trắc CLN dưới đất đầy đủ theo không gian (nhiều vị trí quan trắc ở các huyện/thị trong tỉnh) và thời gian (quan trắc liên tục với tần suất 02 – 04 đợt/năm). Một trong những địa phương thỏa mãn các điều kiện trên là tỉnh Quảng Trị (cũ).

Tỉnh Quảng Trị (cũ) thuộc Bắc Trung Bộ. Phía Bắc giáp tỉnh Quảng Bình (cũ), phía Nam giáp tỉnh Thừa Thiên Huế (cũ), phía Tây giáp Nước Cộng hòa dân chủ nhân dân Lào, phía Đông giáp Biển Đông. Diện tích tự nhiên 4.701,23 km², với dân số 647.790 người, trong đó có 67,43% dân số nông thôn (2021). Tỉnh Quảng Trị (cũ) có cấu trúc địa hình cao từ Tây Nam và thấp dần ra biển ở phía Đông Bắc. Địa hình đất liền được chia làm 5 dải: vùng núi cao, vùng trung du, vùng đồng bằng, vùng đất trũng và dải cồn cát ven biển. Tài nguyên nước dưới đất tỉnh Quảng Trị (cũ) gồm 5 tầng chứa nước chính là Holocen, Pleistocen, Bazan Neogen, Neogen và Ocdovic-Silua. Tổng tài nguyên nước dự báo cho các tầng chứa nước như sau: tổng trữ lượng khai thác tiềm năng 1.542.000 m³/ngày, trong đó các tầng chứa nước dễ khai thác tập trung chủ yếu ở vùng đồng bằng ven biển với tổng trữ lượng tiềm năng 613.000 m³/ngày. Khoảng 27% dân số Quảng Trị (cũ), chủ yếu ở khu vực nông thôn, sử dụng nước dưới đất (giếng khoan hoặc giếng đào) để cấp cho sinh hoạt. Lượng mưa bình quân hàng năm của tỉnh Quảng Trị (cũ) dao động trong khoảng 2000 – 2800 mm. Mùa khô từ tháng 1 đến tháng 8 và mùa mưa từ tháng 9 đến tháng 12 hàng năm.

Tỉnh Quảng Trị (cũ) là tỉnh có địa hình đa dạng và nước dưới đất đa dạng, phong phú, trong giai đoạn 2016-2022 có dữ liệu quan trắc CLN dưới đất khá đầy đủ (theo không gian và thời gian) và tin cậy nên được chọn để xây dựng và kiểm chứng GWQI. Tập dữ liệu quan trắc CLN dưới đất giai đoạn 2016-2022 ở tỉnh Quảng Trị (cũ) được chọn để xây dựng GWQI. Dữ liệu chất lượng nước dưới đất là dữ liệu quan trắc theo mùa (mỗi năm 2 đợt, mùa khô – tháng 4-5 và mùa mưa – tháng 9-10) tại 25 vị trí quan trắc (Hình 2.2).

(iv) Các địa phương (tỉnh) được lựa chọn để áp dụng thí điểm chỉ số GWQI:

Các tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình (cũ) và Quảng Trị (cũ) và Quảng Nam (cũ) có dữ liệu quan trắc CLN dưới đất hàng năm khá đầy đủ (đủ các thông số lựa chọn cho xây dựng chỉ số GWQI) và tin cậy, nên được chọn để áp dụng thí điểm GWQI và tiếp tục kiểm chứng nó khi áp dụng vào thực tế.

(7) Tiếp cận sử dụng dữ liệu quan trắc CLN để xây dựng chỉ số WQI/GWQI:

Trong nghiên cứu phát triển và áp dụng chỉ số WQI/GWQI trên thế giới, đối với một nguồn nước bất kỳ, để đảm bảo tính khách quan và giảm sai số, người ta thường chia tập dữ liệu quan trắc CLN thành hai: một tập dữ liệu để nghiên cứu xây dựng chỉ số WQI hoặc GWQI; một tập dữ liệu còn lại để kiểm chứng chỉ số WQI hoặc GWQI xây dựng được.

Theo cách tiếp cận đó, trong luận án này, khi nghiên cứu phát triển chỉ số WQI, chia tập dữ liệu CLN sông Hương thành hai: một tập dữ liệu (giai đoạn 2014-2016, quan trắc CLN với nhiều vị trí hơn, tần suất quan trắc lớn hơn) được dùng để xây dựng quy trình tổng quát phát triển chỉ số WQI và xây dựng chỉ số WQI; một tập dữ liệu (giai đoạn 2017-2021, quan trắc CLN với ít vị trí hơn, tần suất quan trắc thấp hơn) được dùng để kiểm chứng chỉ số WQI xây dựng được.

Khi nghiên cứu xây dựng chỉ số GWQI, chia tập dữ liệu CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ) thành hai: một tập dữ liệu (giai đoạn 2016-5/2019) được dùng để xây dựng chỉ số GWQI; một tập dữ liệu (giai đoạn 9/2019-2022, được dùng để kiểm chứng chỉ số GWQI xây dựng được.

CHƯƠNG 2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU

2.1.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của luận án bao gồm:

- Chỉ số WQI/GWQI (để đề xuất được một quy trình thống nhất, dễ hiểu khi xây dựng một WQI/GWQI);
- Các thông số CLN mặt, nước dưới đất (để lựa chọn thông số CLN phù hợp khi xây dựng chỉ số WQI/GWQI);
- Phương pháp PCA xác định trọng số w_i của thông số CLN thứ i ; cách xác định chỉ số thông số q_i của thông số CLN i (sao cho dễ hiểu và dễ dùng).
- Một số sông lựa chọn ở miền Trung để xây dựng chỉ số WQI và kiểm chứng, áp dụng chỉ số WQI trong đánh giá CLN: sông Lam (thuộc Btônắc Trung bộ), sông Hương và sông Ba (thuộc Nam Trung bộ);
- Một số tỉnh lựa chọn ở miền Trung để xây dựng chỉ số GWQI và kiểm chứng, áp dụng chỉ số GWQI trong đánh giá CLN dưới đất: các tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình (cũ), Quảng Trị (cũ) (Bắc Trung bộ) và Quảng Nam (cũ) (Nam Trung bộ).

2.1.2. Phạm vi nghiên cứu

2.1.2.1. Phạm vi không gian

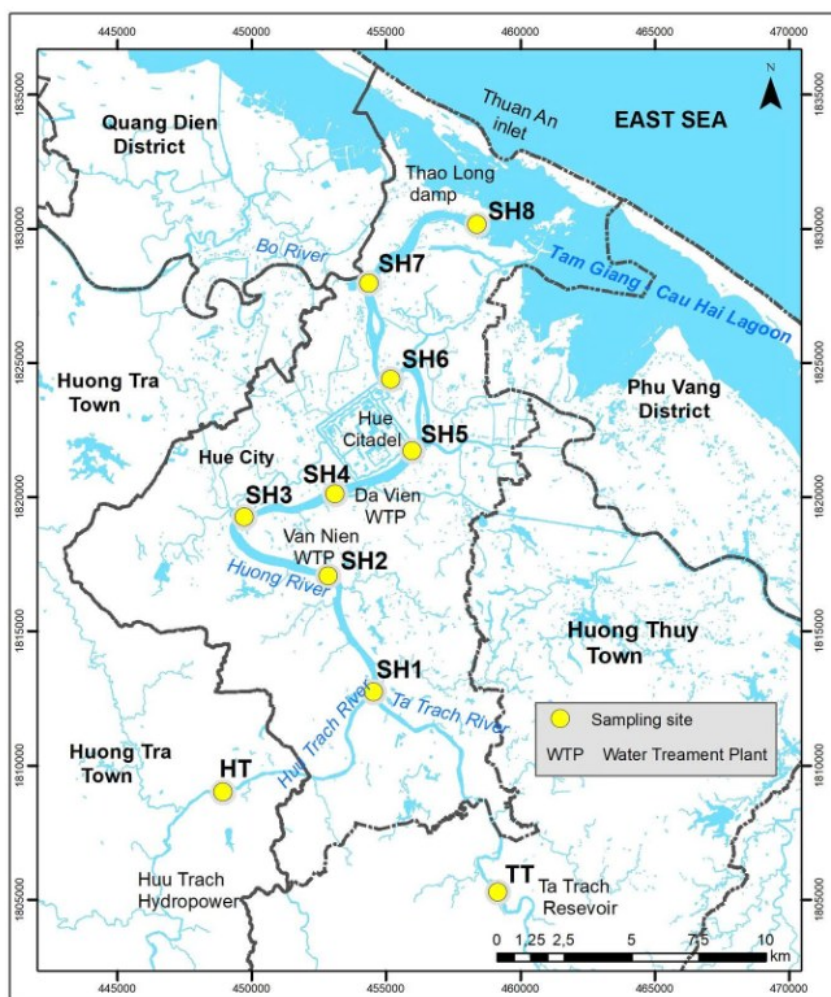
(i) Các sông được lựa chọn trong nghiên cứu xây dựng chỉ số WQI:

Như đã đề cập ở trên, sông Hương (thành phố Huế) được lựa chọn để xây dựng chỉ số WQI.

Dữ liệu CLN sông Hương được thu thập trong hai giai đoạn:

- **Giai đoạn 1** (2014-2016, 3 năm): Dữ liệu giai đoạn này được sử dụng để xây dựng quy trình tổng quát phát triển WQI. Dữ liệu quan trắc CLN sông Hương trong giai đoạn đó được cung cấp bởi Viện Tài nguyên, Môi trường và Công nghệ Sinh học – Đại học Huế (đây là dữ liệu quan trắc được thực hiện trong khuôn khổ đề tài cấp Bộ Giáo dục và Đào tạo). Mẫu nước được lấy hàng tháng tại 11 điểm (ký hiệu: HT_o, HT, TT_o, TT, SH1, SH2, SH3, SH5, SH6, SH7, SH8), đại diện cho các đoạn sông chính và các phụ lưu. Các vị trí quan trắc được nêu ở Hình 2.1. Số mẫu (hay số số liệu đối với mỗi thông số) $N = 11 \text{ vị trí} \times 12 \text{ đợt} \times 3 \text{ năm} = 396$).

- **Giai đoạn 2** (2017-2020, 4 năm): Dữ liệu giai đoạn này sử dụng để kiểm chứng WQI xây dựng được. Dữ liệu do Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường tỉnh Thừa Thiên Huế (cũ), nay là Thành phố Huế, thực hiện tại 10 điểm quan trắc cố định trên sông Hương (HT, TT, SH1 – SH8), với tần suất quan trắc 4 đợt/năm hay 1 đợt/quý (tháng 2, 5, 8, 11 hàng năm). Số mẫu quan trắc $N = 180$.



Hình 2.1. Vị trí quan trắc chất lượng nước trên sông Hương (*)

(*) Các vị trí quan trắc gồm: TT, HT: Thượng lưu ngã ba Tuần 1 km ở nhánh Tả Trạch, Hữu Trạch; SH1: Hạ lưu ngã ba Tuần 200 m; SH2: Thượng lưu nhà máy nước Vạn Niên 100 m; SH3: Cầu Xước Dũ; SH4: Thượng lưu nhà máy nước Giả Viên 100 m; SH5: Hạ lưu chợ Đông Ba 200 m; SH6: Hạ lưu Công ty Cổ phần Phát triển Thủy sản Huế 200 m; SH7: Hạ lưu ngã ba Sinh 200 m; SH8: Thượng lưu đập Thảo Long 100 m, Vị trí TTto (thượng lưu vị trí TT) và HTto (thượng lưu vị trí HTto) không thể hiện trên hình,

Các thông số CLN: Các thông số được quan trắc (hay phân tích) trong giai đoạn 1 và 2, gồm 12 thông số CLN: nhiệt độ, pH, độ dẫn điện (EC), tổng chất rắn lơ

lượng (TSS), DO, BOD₅, COD, N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, Fe (tổng sắt tan), tổng coliform (TC). Một số thông số về tổng kim loại nặng hòa tan (Hg^{II}, Cd^{II}, As^{III,V}, Cr^{VI}, Pb^{II}, Cu^{II}, Zn^{II}) và hóa chất bảo vệ thực vật nhóm clo (DDT, HCH...) cũng được quan trắc nhưng không thường xuyên (hay với tần suất thấp hơn, 2 đợt/năm). Mặt khác, do dữ liệu về nồng độ tổng kim loại hòa tan và các hóa chất bảo vệ thực vật nhóm clo đó đều hoặc nhỏ hơn giới hạn phát hiện của phương pháp phân tích (LOD), hoặc rất nhỏ so với giá trị giới hạn được quy định trong QCVN 08-MT:2015/BTNMT, nên không được đưa ra trong luận án này.

Phương pháp phân tích các thông số CLN: Viện Tài nguyên, Môi trường và Công nghệ Sinh học – Đại học Huế cũng như Trung tâm Tài nguyên và Môi trường, thành phố Huế đều áp dụng các phương chuẩn theo QCVN hiện hành hoặc theo hướng dẫn của tài liệu Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. Các hoạt động đảm bảo chất lượng (quality assurance/QA) và kiểm soát chất lượng (quality control/QC) trong quá trình quan trắc ở hiện trường và phân tích trong các phòng thí nghiệm được thực hiện theo đúng các hướng dẫn về hoạt động quan trắc môi trường. Đảm bảo chất lượng bao gồm việc xác nhận độ lặp lại, độ đúng, khoảng tuyến tính, giới hạn phát hiện của phương pháp phân tích và mẫu trắng (khi phân tích vết) được thực hiện để đảm bảo độ tin cậy của các kết quả quan trắc/phân tích.

(ii) Các địa phương được lựa chọn trong nghiên cứu xây dựng chỉ số GWQI:

Như đã đề cập ở trên, tỉnh Quảng Trị (cũ) được lựa chọn để xây dựng chỉ số GWQI, sử dụng tập dữ liệu quan trắc CLN dưới đất giai đoạn 2016-2022. Dữ liệu CLN dưới đất là dữ liệu quan trắc theo mùa (2 đợt/năm, mùa khô – tháng 4-5 và mùa mưa – tháng 9-10) tại 25 vị trí quan trắc (Hình 2.2).

Các phương pháp phân tích và hoạt động QA/QC trong quá trình quan trắc của tỉnh Quảng Trị (cũ) nói riêng và các địa phương ở miền Trung cũng tương tự như đối với quan trắc CLN mặt ở trên.

Các thông số quan trắc thường xuyên bao gồm 10 thông số CLN cơ bản: pH, tổng chất rắn hòa tan (TDS), độ cứng (Hard), SO₄²⁻, COD, N-NH₄, N-NO₃, tổng sắt tan (Fe), tổng mangan tan (Mn) và tổng coliform (TC). Một số thông số về tổng kim loại nặng hòa tan (Hg^{II}, Cd^{II}, As^{III,V}, Cr^{VI}, Pb^{II}, Cu^{II}, Zn^{II}) và hóa chất bảo vệ thực vật nhóm clo (DDT, HCH...) cũng được quan trắc nhưng không thường xuyên (hay với

tần suất thấp hơn, 2 đợt/năm). Do dữ liệu về nồng độ tổng kim loại hòa tan và các hóa chất bảo vệ thực vật đó hoặc đều nhỏ hơn giới hạn phát hiện của phương pháp phân tích (LOD), hoặc rất nhỏ so với giá trị giới hạn được quy định trong QCVN 09-MT:2015/BTNMT, nên không được đưa ra trong luận án này.

Các vị trí quan trắc CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Trị được nêu ở Hình 2.2.



Hình 2.2. Vị trí quan trắc chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ)^(*)

^(*) Các vị trí quan trắc gồm:

- NN44 (thị trấn Diên Sanh), NN29 (xã Hải Ba), NN55 (xã Hải Quế), NN71 (xã Hải Khê) và NN15 (xã Hải Hòa) thuộc huyện Hải Lăng (cũ).
- NN30 (xã Triệu An), NN30b (xã Triệu Vân) và NN43 thuộc huyện Triệu Phong (cũ).
- NN36a (Phường 2) và NN25 (cụm công nghiệp Cầu Lòn) thuộc thị xã Quảng Trị (cũ).
- NN28 (xã Vĩnh Thành), NN62 (xã Vĩnh Thái), NN1 (xã Vĩnh Sơn), NN42 (thị trấn Hồ Xá) và NN69 (khu công nghiệp Bắc Hồ Xá) thuộc huyện Vĩnh Linh (cũ).
- NN63 (xã Gio Mỹ), NN21 (khu công nghiệp Quán Ngang), NN27 (xã Gio Mai) và NN47 (xã Gio Hải) thuộc huyện Gio Linh (cũ).

- NN31 (bãi chôn lấp chất thải rắn), NN20 (khu công nghiệp Nam Đông Hà), NN36b (Phường 2) và NN58 (nghĩa trang liệt sỹ quốc gia Đường 9) thuộc thành phố Đông Hà (cũ).
- NN22 (thị trấn Lao Bảo) và NN38 (thị trấn Khe Sanh) thuộc huyện Hướng Hóa (cũ).

Các địa phương được lựa chọn để áp dụng thí điểm chỉ số GWQI xây dựng được và tiếp tục kiểm chứng nó trong phản ánh CLN dưới đất là các tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình (cũ), Quảng Trị (cũ) (thuộc Bắc Trung Bộ) và Quảng Nam (cũ) (thuộc Nam Trung Bộ). Ở các tỉnh này, dữ liệu quan trắc CLN dưới đất hàng năm khá đầy đủ, đủ các thông số lựa chọn cho xây dựng chỉ số GWQI và tin cậy.

2.1.2.2. Phạm vi thời gian

(i) Để nghiên cứu xây dựng chỉ số WQI và kiểm chứng sự phù hợp của nó trong phản ánh CLN, sử dụng dữ liệu quan trắc CLN sông Hương giai đoạn 2014-2016. Lý do chọn dữ liệu quan trắc giai đoạn 2014-2016 được nêu chi tiết ở chương 3 (mục 3.1.2.1. Lựa chọn các thông số chất lượng nước). Để nghiên cứu áp dụng WQI vào thực tế và tiếp tục kiểm chứng nó, sử dụng dữ liệu quan trắc CLN các sông (kể cả sông Hương) giai đoạn 2017 – 2021.

(ii) Để nghiên cứu xây dựng chỉ số GWQI và kiểm chứng sự phù hợp của nó trong phản ánh CLN dưới đất, sử dụng các dữ liệu quan trắc CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ) trong giai đoạn 2016-2022. Để nghiên cứu áp dụng thí điểm chỉ số GWQI vào thực tế và tiếp tục kiểm chứng nó, sử dụng dữ liệu quan trắc CLN dưới đất ở các tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình (cũ), Quảng Trị (cũ) và Quảng Nam (cũ) trong giai đoạn 2023-2024.

2.2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

(1) Thu thập và tổng hợp dữ liệu quan trắc CLN sông và nước dưới đất (từ các đơn vị có chức năng quan trắc môi trường ở các tỉnh miền Trung thuộc phạm vi nghiên cứu của luận án). Sơ bộ đánh giá CLN theo các thông số riêng lẻ: sông Hương (giai đoạn 2014-2020), sông Lam và sông Ba (2017-2021); Đánh giá CLN dưới đất các tỉnh Quảng Trị (cũ) (giai đoạn 2016-2024); Quảng Bình (cũ), Hà Tĩnh và Quảng Nam (cũ) (giai đoạn 2023-2024).

(2) Xây dựng quy trình tổng quát phát triển WQI, dựa vào dữ liệu quan trắc CLN sông Hương giai đoạn 2014-2020, bao gồm: chọn các thông số CLN; áp dụng

phương pháp PCA để xác định *trọng số* của thông số CLN; xác định *chỉ số thông số* dựa vào QCVN hiện hành và hàm tuyến tính; chọn công thức tính WQI và phân loại CLN dựa vào thang điểm WQI; kiểm chứng chỉ số WQI xây dựng được.

(3) Áp dụng chỉ số WQI xây dựng được để đánh giá CLN sông Lam và sông Ba giai đoạn 2017-2021, đồng thời tiếp tục kiểm chứng sự phù hợp của chỉ số WQI khi áp dụng vào thực tế.

(4) Áp dụng quy trình tổng quát phát triển chỉ số WQI để xây dựng chỉ số GWQI dựa vào dữ liệu quan trắc CLN dưới đất giai đoạn 2016-5/2019 ở tỉnh Quảng Trị (cũ); sử dụng dữ liệu quan trắc CLN dưới đất giai đoạn 9/2019-2022 ở tỉnh Quảng Trị (cũ) để kiểm chứng chỉ số GWQI.

(5) Áp dụng chỉ số GWQI xây dựng được để đánh giá CLN dưới đất ở một số tỉnh miền Trung: Hà Tĩnh, Quảng Bình (cũ), Quảng Trị (cũ), và Quảng Nam (cũ) giai đoạn 2023-2024; Đồng thời tiếp tục khẳng định sự phù hợp của GWQI xây dựng được khi áp dụng vào thực tế.

2.3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.3.1. Phương pháp đánh giá CLN dựa vào các thông số riêng biệt và lựa chọn QCVN cho xây dựng chỉ số WQI/GWQI

- *Phương pháp đánh giá CLN dựa vào các thông số riêng biệt*: Đánh giá CLN qua so sánh dữ liệu quan trắc CLN với QCVN hiện hành (Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về CLN mặt, QCVN 08-MT:2015/BTNMT do Bộ Tài nguyên và Môi trường (BTNMT) cũ ban hành (nay là Bộ Nông nghiệp và Môi trường) [1]). Lý do chọn QCVN này, mà không sử dụng QCVN 08:2023/BTNMT do BTNMT cũ ban hành (áp dụng từ tháng 9/2023) là để thuận lợi trong nghiên cứu xây dựng chỉ số WQI. Chi tiết thêm được lý giải ở dưới đây.

Để đánh giá CLN dưới đất, sử dụng Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về CLN dưới đất dùng cho sinh hoạt (QCVN 01-1:2018/BYT do Bộ Y tế ban hành [5]), mà không dùng QCVN 09:2023/BTNMT (do BTNMT cũ ban hành). Sở dĩ dùng QCVN do Bộ Y tế ban hành, mà không dùng QCVN do BTNMT năm 2023 là vì: khi nước dưới đất thỏa mãn cho sinh hoạt, ăn uống, thì nó cũng thỏa mãn cho các mục đích sử dụng khác (do QCVN 01-1:2018/BYT yêu cầu chất lượng nước cao hơn QCVN

09:2023/BTMT). Việc dùng 01-1:2018/BYT sẽ giúp đánh giá CLN dưới đất khắt khe hơn hay nói cách khác, sẽ hỗ trợ quản lý nguồn nước dưới đất tốt hơn và cảnh báo môi trường cao hơn. Chi tiết thêm về việc lựa chọn QCVN 01-1:2018/BYT được lý giải dưới đây.

- Lựa chọn QCVN cho xây dựng chỉ số WQI/GWQI:

Đối với xây dựng chỉ số WQI: Sở dĩ dùng QCVN 08:2015-MT/BTNMT, không dùng QCVN 08:2023-MT/BTNMT (áp dụng từ tháng 9/2023) do BTNMT (nay là Bộ Nông nghiệp và Môi trường) ban hành là để phù hợp với nghiên cứu xây dựng chỉ số WQI mới. QCVN 08:2023/BTNMT đưa ra quy định mới về CLN mặt, chia thành 2 bảng: Bảng 1 quy định 1 mức các thông số CLN có ảnh hưởng đến sức khỏe; Bảng 2 quy định 4 mức A, B, C, D để phân loại CLN, trong đó quy định các thông số TN, TP (không có thông số N-NH₄, N-NO₃ và P-PO₄). Trong khi đó, chỉ số VN-WQI (BTNMT cũ ban hành năm 2019). lại đưa ra các bảng xác định chỉ số thông số q_i theo 4 mức đối với tất cả các thông số (kể cả các thông số N-NH₄, N-NO₃ và P-PO₄). Nói cách khác, BTNMT chưa có hướng dẫn áp dụng QCVN 08:2023/BTNMT để tính chỉ số VN-WQI. Như vậy, để thuận lợi trong so sánh chỉ số WQI xây dựng được với VN-WQI đó, luận án sử dụng QCVN 08-MT:2015/BTNMT (quy định 4 mức CLN: A1, A2, B1, B2).

- Lựa chọn QCVN cho xây dựng chỉ số GWQI:

Đối với nghiên cứu xây dựng chỉ số GWQI, dùng QCVN 01-1:2018/BYT (quy định CLN cho sinh hoạt) do Bộ Y tế ban hành [5] để xây dựng các hàm tuyến tính xác định chỉ số thông số q_i . Ở đây không dùng QCVN 09:2023/BTNMT về CLN dưới đất do BTNMT (cũ) ban hành (áp dụng từ tháng 9/2023) là vì do như sau: các kết quả thử nghiệm tính chỉ số GWQI (dựa vào QCVN 09:2023/BTNMT để xây dựng các hàm tuyến tính xác định chỉ số thông số q_i), các giá trị GWQI tính được đều phản ánh CLN dưới đất ở địa phương khảo sát (tỉnh Quảng Trị cũ) đều ở mức RẤT TỐT hoặc TỐT, thậm chí cả trong trường hợp – có một hoặc một vài thông số CLN dưới đất không thỏa mãn để cấp nước cho sinh hoạt và như vậy, thiếu thực tế (các kết quả tính thử nghiệm không đưa vào luận án). Việc sử dụng QCVN 01-1:2018/BYT trong nghiên cứu xây dựng chỉ số GWQI, sẽ cho phép đánh giá CLN dưới đất khắt khe hơn

hay sẽ mang tính cảnh báo môi trường nước dưới đất cao hơn, dẫn đến tăng thêm các hành động bảo vệ môi trường nước dưới đất. Mặt khác, hiện nay ở khu vực nông thôn, nhiều cộng đồng vẫn dùng nước dưới đất cho sinh hoạt, ăn uống. Do vậy, nghiên cứu xây dựng chỉ số GWQI dựa vào QCVN 01-1:2018/BYT là hợp lý hơn.

2.3.2. Phương pháp phân tích thống kê

Áp dụng thống kê mô tả (descriptive statistics) để xác định các đại lượng thống kê mô tả: Trung bình số học hay Trung bình (mean), độ lệch chuẩn (standard deviation), hệ số biến động (coefficient of variation), trung vị (median), độ lệch tuyệt đối trung vị/MAD (median absolute deviation); Biểu diễn dữ liệu dạng box-plot; xác định độ chuẩn của phân bố dữ liệu, tức là xét xem dữ liệu có tuân theo phân bố chuẩn không, sử dụng Shapiro-Will Test: Khi mức ý nghĩa thống kê tính được từ tập số liệu (p -value hay p) $> 0,05$ thì tập số liệu tuân theo phân bố chuẩn và ngược lại. Độ chuẩn của phân bố dữ liệu là thông tin cần thiết để lựa chọn phương pháp kiểm định thống kê tiếp theo. Sử dụng kiểm định thống kê: phân tích phương sai (ANOVA) để so sánh các trung bình hoặc trung vị của các tập dữ liệu WQI/GWQI theo không gian (sông, tỉnh); sử dụng kiểm định t theo cặp (paired- t -test) để so sánh 02 giá trị trung bình khi tính WQI/GWQI cho một tập dữ liệu CLN bằng 02 công thức tính khác nhau...

Đối với phương pháp ANOVA, trong trường hợp dữ liệu tuân theo phân bố chuẩn, sử dụng phương pháp ANOVA (kiểm định F hay F -test) và dùng kiểm định HSD Turkey (HSD Turkey test) để phân tích tiếp theo (hay phân tích hậu ANOVA) để nhận ra sự khác nhau giữa các giá trị trung bình. Trong trường hợp dữ liệu không tuân theo phân bố chuẩn, sử dụng phân tích thống kê phi tham số (non-parametric statistics) - dùng Kruskal Wallis Test và phân tích tiếp theo bằng Dunn's test để nhận ra sự khác biệt giữa các giá trị trung vị.

Mức ý nghĩa thống kê tới hạn (critical) được chọn để đánh giá sự khác biệt có ý nghĩa thống kê hay không là α bằng 0,05 (5%). Trong kiểm định thống kê, khi mức ý nghĩa thống kê tính được từ tập số liệu (p) càng lớn hơn 0,05 thì kết luận rằng, 2 giá trị trung bình (hoặc 2 giá trị trung vị) đang so sánh càng như nhau và ngược lại. Khi p càng nhỏ hơn 0,05, thì kết luận: 2 giá trị trung bình (hoặc 2 giá trị trung vị) đang so sánh càng khác nhau.

Để thực hiện thống kê mô tả và kiểm định thống kê, sử dụng công cụ Data analysis hoặc Real Statistics (version 2016) của phần mềm Microsoft Excel.

2.3.3. Phương pháp PCA xác định trọng số của thông số chất lượng nước

Phương pháp PCA là phương pháp giảm chiều, cho phép giảm dữ liệu từ không gian n chiều (mỗi chiều ứng với một biến/thông số CLN) thành không gian ít chiều hơn: k chiều ($k < n$), mà vẫn lưu giữ được đa số biến động (thể hiện qua phương sai) của tập dữ liệu gốc hay nói cách khác là biến động của tập dữ liệu gốc mất đi không đáng kể. Mỗi chiều được gọi là một thành phần chính (PC/principal component) hay biến ẩn (latent variable) hay yếu tố (factor). Mỗi PC là tổ hợp tuyến tính của các biến gốc và các PC không tương quan với nhau, mà trực giao nhau. Như vậy, thay vì rất khó trực quan và giải thích tập dữ liệu gốc (vì có n chiều trong không gian), nhưng dễ dàng trực quan và giải thích tập dữ liệu gốc trên mặt phẳng của 2 thành phần chính (PC) [24], [38].

Phương pháp PCA được sử dụng thuận lợi trong phân tích tập dữ liệu môi trường đa biến. Trước khi thực hiện PCA, phải biến đổi dữ liệu gốc (x_{ij}) thành biến chuẩn hóa z_{ij} (giống như biến z -score trong phân bố chuẩn) để loại bỏ sự khác nhau của các đơn vị đo khác nhau (của biến x_{ij}), đồng thời giảm các thang đo khác nhau, vì các biến x_{ij} dao động trong các khoảng rất khác nhau. Biến chuẩn hóa được tính theo công thức (2.1).

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \text{trung bình số học}}{S} \quad (2.1)$$

Trong đó, S là độ lệch chuẩn của biến x_{ij} .

Bằng cách biến đổi như vậy, giá trị trung bình quần thể của các biến chuẩn hóa z_{ij} bằng 0 và phương sai của các biến chuẩn hóa z_{ij} đều bằng 1, hay nói cách khác, tổng phương sai của các biến chuẩn hóa z_{ij} bằng tổng số biến gốc (cũng là tổng số thông số CLN lựa chọn để tính WQI/GWQI). Từ ma trận tương quan của n thông số lựa chọn (hay biến chuẩn hóa z_{ij}), thuật toán PCA sẽ chiết rút được n thành phần chính (hay n biến mới), mỗi thành phần chính có giá trị riêng (eigen value) của nó. Giá trị riêng của mỗi PC là lượng phương sai của tập dữ liệu gốc được lưu giữ (hoặc giải

thích) bởi PC đó. Trong các thành phần chính (PC) đó, chỉ vài PC đầu tiên thường đã giải thích phần lớn phương sai (> 60% tổng phương sai của tập dữ liệu gốc): PC thứ nhất giải thích được nhiều nhất, PC thứ hai giải thích được nhiều thứ 2.... Mỗi PC chiết rút được là tổ hợp tuyến tính của các biến chuẩn hóa và chúng trực giao với nhau và do vậy, dễ trực quan hơn [20], [34].

Khi thực hiện tính toán theo phương pháp PCA, sẽ chiết rút được n thành phần chính từ ma trận tương quan của các biến z_{ij} và tính được giá trị riêng của mỗi PC, phần trăm phương sai của tập dữ liệu gốc mà mỗi PC giải thích được:

$$\% \text{ phương sai mỗi PC giải thích được} = \frac{\text{Giá trị riêng của mỗi PC} \times 100}{\text{Tổng các giá trị riêng}} \quad (2.2)$$

Người ta thường chỉ giữ lại vài PC đầu tiên có tổng phương sai giải thích trên 60% hay chỉ giữ lại những PC có giá trị riêng lớn hơn hoặc bằng 1 (tức là PC đó giải thích được hơn một biến gốc). Phương pháp PCA cũng cho phép tính được *Tải lượng yếu tố* (factor loading) của mỗi biến trên mỗi PC - là hệ số tương quan (R) của mỗi biến với PC tương ứng. Từ hệ số tương quan R, tính được *Tải lượng bình phương* (squared loading) hay R_i^2 - là lượng phương sai biến i được giải thích bởi PC tương ứng. Biến có tải lượng bình phương càng lớn, sẽ càng ảnh hưởng mạnh (hay càng đóng góp nhiều) trên các PC giữ lại, tức là có tầm quan trọng tương đối (hay trọng số) càng lớn. Tổng tải lượng bình phương của mỗi biến trên các PC giữ lại được gọi là communality. Từ đó, tính được trọng số của biến (hay thông số CLN) theo công thức (2.3):

$$w_i = \frac{R_i^2}{\sum R_i^2} \quad (2.3)$$

Trong đó, R_i^2 là tổng tải lượng bình phương của thông số i trên các PC giữ lại. $\sum R_i^2$ là tổng tải lượng bình phương của tất cả các thông số lựa chọn trên các PC giữ lại.

Để thực hiện các tính toán theo phương pháp PCA xác định trọng số của thông số CLN lựa chọn trong xây dựng chỉ số WQI/GWQI, nghiên cứu này sử dụng phần mềm miễn phí R, version 4.2.1/64-bit (10-10-2020), module R-Studio và package Factoextra (version 1.0.7).

Mục đích của nghiên cứu luận án là xây dựng được chỉ số WQI và chỉ số GWQI để có thể áp dụng vào thực tế ở nhiều địa phương khác. Như vậy, cần thống nhất một hệ thống trọng số (w_i) để thuận tiện khi áp dụng vào thực tế ở nhiều địa phương. Do đó, phương pháp PCA xác định trọng số cần được thực hiện trên tập dữ liệu đủ dài (theo thời gian) và tin cậy. Điều này đã được đề cập ở Chương 1. Tổng quan.

2.3.4. Phương pháp xác định chỉ số thông số

Để thuận tiện cho người dùng chỉ số WQI/GWQI, hàm chỉ số thông số (q_2) tuyến tính được thiết lập dựa trên các giới hạn cho phép trong Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về CLN.

Đối với nghiên cứu xây dựng chỉ số WQI, dùng QCVN 08:2015-MT/BTNMT (quy định về CLN mặt) do BTNMT (nay là Bộ Nông nghiệp và Môi trường) ban hành [1]. Lý do không dùng QCVN 08:2023-MT/BTNMT đã được giải thích ở Mục 2.3.1.

Đối với nghiên cứu xây dựng chỉ số GWQI, dùng QCVN 01-1:2018/BYT (quy định CLN cho sinh hoạt) do Bộ Y tế ban hành [5] để xây dựng các hàm tuyến tính xác định chỉ số thông số q_i . Lý do không dùng QCVN 09:2023/BTNMT về CLN dưới đất do BTNMT (cũ) ban hành đã được lý giải ở Mục 2.3.1.

(i) Đối với WQI - Dạng hàm tuyến tính của chỉ số thông số

Dạng hàm tuyến tính đối với mỗi biến hay thông số trong mô hình chỉ số WQI được thiết lập dựa trên giới hạn cho phép từ Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về CLN mặt (QCVN 08:2015-MT/BTNMT) [1] do BTNMT (cũ) ban hành năm 2015.

Dạng hàm tuyến tính đối với mỗi thông số CLN i là:

$$q_i = a + b \times C_i \quad (2.4)$$

Trong đó q_i là chỉ số thông số i , thể hiện chất lượng của thông số và có giá trị từ 1 đến 100; C_i là nồng độ quan trắc của thông số i ; a và b được xác định từ hai phương trình tuyến tính:

$$100 = a + b \times (\text{giới hạn A1}) \quad (2.5)$$

Trong đó $q = 100$, tương ứng với chất lượng tốt nhất của thông số i , khi C_i nhỏ hơn hoặc bằng giới hạn A1 của Quy chuẩn.

$$1 = a + b \times (\text{giới hạn B2}) \quad (2.6)$$

Trong đó $q = 1$, tương ứng với chất lượng kém nhất của thông số i , khi C_i lớn hơn hoặc bằng giới hạn B2 của Quy chuẩn.

Giới hạn CLN được quy định cho các thông số CLN lựa chọn, trích xuất từ QCVN 08:2015-MT/BTNMT, được trình bày trong Bảng 1.

- *Đối với thông số DO*: Nếu nồng độ DO cao hơn mức bão hòa, điều đó thể hiện quá trình quang hợp của tảo diễn ra quá mức (thường xảy ra trong môi trường nước bị phú dưỡng/eutrophication), dẫn đến giảm CLN. Nồng độ DO bão hòa tại 20°C và áp suất 760 mmHg là 9 mg/L. Điều này có nghĩa là chỉ số thông số (q) bằng 100 khi nồng độ DO trong khoảng 6 – 9 mg/L (tức là từ mức A1 trở lên đến trạng thái bão hòa, chấp nhận rằng nhiệt độ thấp nhất của nước sông là 20°C). Như vậy, hàm chỉ số q đối với thông số DO sẽ có 2 nhánh.

+ Nhánh thứ nhất: Nếu nồng độ DO nhỏ hơn hoặc bằng 2 mg/L, q sẽ bằng 1 và nếu nồng độ DO lớn hơn hoặc bằng 6 mg/L, q sẽ bằng 100. Hai (2) hàm tuyến tính cho chỉ số thông số của thông số DO (khi C_i nằm trong khoảng từ 2 đến 6 mg/L) được xác định theo phương trình (2.7) và (2.8):

$$100 = a + b \times 6 \quad (2.7)$$

$$1 = a + b \times 2 \quad (2.8)$$

+ Nhánh thứ 2: Nếu nồng độ DO (C_i) nằm trong khoảng từ 9 đến 12 mg/L (tức là vượt quá mức bão hòa), chỉ số thông số q sẽ giảm dần từ 100 đến 1, hai hàm tuyến tính cho thông số DO được xác định theo phương trình (2.9) và (2.10):

$$100 = a + b \times 9 \quad (2.9)$$

$$1 = a + b \times 12 \quad (2.10)$$

- *Đối với thông số pH*: Giới hạn A1 và A2 trong Quy chuẩn đều là từ 6 đến 8,5, tương ứng với chỉ số thông số q bằng 100. Nếu pH thấp hơn 5,5 (giới hạn B1) hoặc cao hơn 9 (giới hạn B2), q sẽ bằng 1. Điều này có nghĩa là, hàm tuyến tính chỉ số thông số q đối với pH cũng có 2 nhánh. Hai hàm tuyến tính của q đối với thông số pH được xác định từ hai hệ phương trình, gồm các công thức phương trình (2.11) và (2.12), (2.13) và (2.14):

$$100 = a + b \times 6 \quad (2.11)$$

$$1 = a + b \times 5,5 \quad (2.12)$$

và

$$100 = a + b \times 8,5 \quad (2.13)$$

$$1 = a + b \times 9 \quad (2.14)$$

- *Đối với thông số EC*: Độ dẫn điện (EC) liên quan chặt chẽ với tổng muối tan (hay độ muối) trong nước và có thể đo nhanh EC tại hiện trường. Do vậy, thông số EC được chọn trong xây dựng WQI. Thông số EC không được quy định trong QCVN 08-MT:2015/BTNMT nên hàm chỉ số thông số q đối với thông số EC được thiết lập dựa trên giới hạn của thông số TDS (tổng cặn tan) theo các quy chuẩn khác, với sự chấp nhận rằng [66]:

$$\text{TDS (mg/L)} = 0,65 \times \text{EC } (\mu\text{S/cm}) \quad (2.15)$$

Theo Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về CLN uống (QCVN 01:2009/BYT) [4] do Bộ Y tế ban hành, giới hạn TDS bằng 1.000 mg/L, tương ứng với EC bằng 1.538 $\mu\text{S/cm}$ và khi nồng độ TDS nhỏ hơn giới đó, chỉ số thông số q bằng 100.

Theo Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về CLN tưới tiêu (QCVN 39:2011/BTNMT) [3] do Bộ Tài nguyên và Môi trường (cũ) ban hành, giới hạn TDS bằng 2.000 mg/L, tương ứng với EC bằng 3.077 $\mu\text{S/cm}$ và khi nồng độ TDS lớn hơn giới hạn đó, chỉ số thông số q bằng 1.

Như vậy, đối với thông số EC, a và b được xác định từ hệ hai phương trình tuyến tính:

$$100 = a + b \times 1.538 \quad (2.16)$$

$$1 = a + b \times 3.077 \quad (2.17)$$

(ii) Đối với GWQI - Dạng hàm tuyến tính của chỉ số thông số

Dạng hàm tuyến tính đối với mỗi biến hay thông số trong mô hình GWQI được thiết lập dựa trên giới hạn cho phép từ Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về CLN sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt (QCVN 01-1:2018/BYT) [5] do Bộ Y tế ban hành:

$$q = a + b \times C_i \quad (2.18)$$

Trong đó, q là *chỉ số thông số* có giá trị từ 1 đến 100; C_i là nồng độ quan trắc được của thông số i ; a và b được suy ra từ hai phương trình tuyến tính (2.19) và (2.20):

$$100 = a + b \times (C_{oi} - 3 \times S_i) \quad (2.19)$$

Trong đó, C_{oi} là giới hạn cho phép của Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia đối với thông số i , q bằng 100 ứng với chất lượng tốt nhất của thông số; S_i là độ lệch chuẩn của thông số i ; Khi kết quả quan trắc thông số $C_i < C_{oi} - 3 \times S_i$, giá trị q của nó bằng 100; Khi C_i bằng C_{oi} , thì $q = 50$.

$$1 = a + b \times (C_{oi} + 3 \times S_i) \quad (2.20)$$

Trong đó, q bằng 1 ứng với chất lượng kém nhất của thông số i ; Khi kết quả quan trắc của thông số C_i lớn hơn hoặc bằng $C_{oi} + 3 \times S_i$, giá trị q của nó bằng 1.

Đối với hai phương trình trên, đã chấp nhận rằng: giới hạn cho phép (C_{oi}) đối với mỗi thông số i (được quy định trong Quy chuẩn) là trung bình của một quần thể (hay một phân bố chuẩn); Do vậy, chỉ những giá trị C_i nằm ngoài khoảng tin cậy 99,87% của giá trị C_{oi} đó, mới được xem là lớn hơn giới hạn cho phép (tức là thuộc quần thể khác hay phân bố chuẩn khác); số 3 là giá trị của biến chuẩn hóa (z) ứng với xác suất tin cậy $P = 0,9987$; S_i là độ lệch chuẩn của thông số i (hay độ lệch chuẩn của quần thể thông số i) [54].

Độ lệch chuẩn S_i được tính từ độ lệch chuẩn tương đối (RSD, %) [54]:

$$S_i = \frac{RSD_i \times \text{Trung bình số học}}{100} \quad (2.21)$$

Trong đó, Trung bình số học là giá trị trung bình của quần thể và chính là giới hạn cho phép của thông số CLN (Trung bình số học bằng C_{oi}) trong QCVN 01-1:2018/BYT [5]; RSD_i được xác định dựa vào phương trình Horwitz [54]:

$$RSD_i(\%) = 2^{1 - 0,5 \lg C_{oi}} \quad (2.22)$$

Với C_{oi} được biểu diễn dưới dạng số thập phân; chẳng hạn khi C_{oi} bằng 2 ppm (hay 2 mg/L), thì thay C_{oi} bằng $2 \cdot 10^{-6}$ vào công thức (2.21) để tính RSD_i .

Trong đó, $RSD_i(\%)$ là độ lệch chuẩn tương đối, được tính theo phương trình Horwitz (2.22) – là độ lệch chuẩn tương đối khi xác định nồng độ C_{oi} bất kỳ của thông số CLN i trong nghiên cứu giữa các phòng thí nghiệm (interlaborative study).

Đối với thông số pH, giới hạn trong Quy chuẩn là từ 6 đến 8,5, tương ứng với chỉ số thông số q bằng 100. Nếu pH thấp hơn 5 hoặc cao hơn 9,5, q sẽ bằng 1. Điều này có nghĩa là, hàm tuyến tính chỉ số thông số q đối với pH cũng có 2 nhánh. Hai

hàm tuyến tính của q đối với thông số pH được xác định từ hai hệ phương trình, gồm các công thức phương trình (2.23) và (2.24), (2.25) và (2.26):

$$100 = a + b \times 6 \quad (2.23)$$

$$1 = a + b \times 5 \quad (2.24)$$

và

$$100 = a + b \times 8,5 \quad (2.25)$$

$$1 = a + b \times 9,5 \quad (2.26)$$

2.3.5. Phương pháp tính chỉ số chất lượng nước

Trong đa số các nghiên cứu về chỉ số chất lượng nước, người ta thường chọn hai dạng công thức (hay hai phương pháp) để tính giá trị WQI/GWQI – dạng tích và dạng tổng [13]. Trong nghiên cứu này, để chọn công thức phù hợp, cũng tiến hành tính giá trị WQI/GWQI cuối cùng theo công thức tích – công thức (2.27) và công thức tổng – công thức (2.28):

$$WQI/GWQI = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (2.27)$$

$$WQI/GWQI = \sum_{i=1}^n q_i \times w_i \quad (2.28)$$

Trong đó, q_i và w_i tương ứng là chỉ số thông số và trọng số của thông số CLN i được lựa chọn để tính giá trị WQI/GWQI; n là số thông số lựa chọn.

(i) Đối với WQI: Để so sánh với chỉ số WQI của nghiên cứu luận án đề xuất (tính theo công thức tích (2.27)), ở đây cũng tiến hành tính chỉ số NSF-WQI (chỉ số CLN do Quỹ vệ sinh Hoa kỳ đề xuất) [49] sử dụng công thức tích - công thức (2.27) và công thức tổng - công thức (2.28); tính chỉ số VN-WQI (chỉ số CLN do Tổng cục Môi trường (cũ) đề xuất năm 2019) [12].

- *Chỉ số NSF-WQI:* gồm 9 thông số lựa chọn (trọng số được ghi trong ngoặc đơn) như sau: DO (0,17), fecal coliform (0,16), pH (0,11), BOD (0,11), ΔT (0,10), N-NO₃ (0,10), P-PO₄ (0,10), Độ đục (Tur) (0,08), TS (0,07); chỉ số thông số q_i được xác định từ đồ thị q_i là hàm của nồng độ thông số lựa chọn. Trong nghiên cứu luận án, chấp nhận thay thông số fecal coliform (coloform phân) bằng thông số tổng coliform (TC), vì hầu hết các đơn vị quan trắc ở các địa phương miền Trung đều quan trắc thông số TC, mà không quan trắc thông số fecal coliform. Thông số TS (tổng chất rắn) được chấp nhận bằng tổng của TDS (tổng chất rắn hòa tan) và TSS (tổng chất rắn lơ lửng).

- *Chỉ số VN-WQI*: sử dụng kết hợp cả hàm tích (áp dụng cho các thông số nhóm II và nhóm III) và hàm tổng (áp dụng cho các thông số nhóm I, nhóm IV và nhóm V). Trong đó, nhóm I là thông số pH, nhóm II là nhóm thông số thuộc bảo vệ thực vật, nhóm III là nhóm thông số kim loại nặng, nhóm IV là nhóm thông số hữu cơ dinh dưỡng và nhóm V là nhóm thông số vi sinh [12].

Do kết quả quan trắc các thông số nhóm II và nhóm III trong giai đoạn nghiên cứu thấp hơn giới hạn phát hiện (LOD) hoặc thấp hơn nhiều giới hạn quy định của QCVN 08-MT:2015/BTNMT [1] nên không được lựa chọn đưa vào công thức tính chỉ số WQI cuối cùng. Vì vậy, công thức tính chỉ số VN-WQI trong nghiên cứu này chỉ có phương pháp tổng theo công thức (2.29):

$$WQI = \frac{WQI_I}{100} \times \left[\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k WQI_{IV} \right)^2 \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^l WQI_V \right]^{1/3} \quad (2.29)$$

Trong công thức (2.29), các chỉ số nhóm WQI_{IV} và WQI_V được tính theo công thức (2.30):

$$WQI_{SI} = \frac{(q_i - q_{i+1})}{BP_{i+1} - BP_i} (BP_{i+1} - C_p) + q_{i+1} \quad (2.30)$$

Trong đó, BP_i là nồng độ giới hạn dưới của giá trị thông số quan trắc được quy định trong Bảng 2.1 tương ứng với mức i ; BP_{i+1} là nồng độ giới hạn trên của giá trị thông số quan trắc được quy định trong Bảng 2.1 tương ứng với mức $i+1$; q_i là giá trị WQI ở mức i đã cho trong bảng tương ứng với giá trị BP_i ; q_{i+1} là giá trị WQI ở mức $i+1$ cho trong bảng tương ứng với giá trị BP_{i+1} ; C_p là giá trị của thông số quan trắc được đưa vào tính toán.

Đối với thông số DO, WQI_{SI} được tính theo công thức (2.31):

$$WQI_{SI} = \frac{(q_{i+1} - q_i)}{BP_{i+1} - BP_i} (C_p - BP_i) + q_i \quad (2.31)$$

Trong đó, BP_i , BP_{i+1} , q_i , q_{i+1} là các giá trị tương ứng với mức i , $i+1$ trong Bảng 2.2; C_p là giá trị DO% bão hòa được tính theo công thức (2.32):

$$DO_{\% \text{bão hòa}} = \frac{DO_{\text{hòa tan}}}{DO_{\text{bão hòa}}} \times 100 \quad (2.32)$$

Trong đó, $DO_{\text{hòa tan}}$ là giá trị DO quan trắc được (mg/L); $DO_{\text{bão hòa}}$ được tính theo công thức (2.33):

$$DO_{\text{bão hòa}} = 14,652 - 0,41022T + 0,0079910T^2 - 0,000077774T^3 \quad (2.33)$$

Trong đó, T là nhiệt độ nước tại thời điểm quan trắc (°C)

Bảng 2.1. Quy định các giá trị q_i , BP_i đối với các thông số nhóm IV và V

i	q_i	Giá trị BP_i quy định đối với từng thông số								
		BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	N-NO ₃ (mg/L)	N-NO ₂ (mg/L)	P-PO ₄ (mg/L)	TC MPN/ 100 mL	E.coli MPN/ 100 mL
1	100	≤4	≤10	≤4	<0,3	≤2	≤0,05	≤0,1	≤2.500	≤20
2	75	6	15	6	0,3	5	-	0,2	5.000	50
3	50	15	30	15	0,6	10	-	0,3	7.500	100
4	25	25	50	25	0,9	15	-	0,5	10.000	200
5	10	≥50	≥150	≥50	≥5	>15	>0,05	≥4	10.000	>200

Nếu $DO_{\% \text{ bão hòa}} < 20$ hoặc $DO_{\% \text{ bão hòa}} > 200$, thì WQI_{DO} bằng 10. Nếu $20 < DO_{\% \text{ bão hòa}} < 88$, thì WQI_{DO} tính theo công thức (2.31) và sử dụng Bảng 2.1.

Nếu $88 \leq DO_{\% \text{ bão hòa}} \leq 112$, thì WQI_{DO} bằng 100. Nếu $112 < DO_{\% \text{ bão hòa}} < 200$, thì WQI_{DO} tính theo công thức (2.30) và sử dụng Bảng 2.2.

Bảng 2.2. Quy định các giá trị q_i , BP_i đối với $DO_{\% \text{ bão hòa}}$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BP_i	<20	20	50	75	88	112	125	150	200	>200
q_i	10	25	50	75	100	100	75	50	25	10

Đối với thông số pH (nhóm I), Nếu $pH < 5,5$ hoặc $pH > 9$, thì WQI_{pH} bằng 10. Nếu $5,5 < pH < 6$, thì WQI_{pH} tính theo công thức (2.31) và sử dụng Bảng 2.3. Nếu $6 \leq pH \leq 8,5$, thì WQI_{pH} bằng 100. Nếu $8,5 < pH < 9$, thì WQI_{pH} được tính theo công thức (2.30) và sử dụng Bảng 2.3.

Bảng 2.3. Quy định các giá trị q_i , BP_i đối với thông số pH

i	1	2	3	4	5	6
BP_i	<5,5	5,5	6	8,5	9	>9
q_i	10	50	100	100	50	10

(ii) **Đối với GWQI:** Để so sánh với GWQI của nghiên cứu luận án đề xuất (tính toán theo công thức (2.27) và (2.28)), ở đây cũng tính toán $GWQI_{Ref}$ theo công thức (2.34) – là công thức đã được một số tác giả đã đề xuất như [18], [39], [41], [61], [73], [79], [80]

$$GWQI_{Ref} = \sum_{i=1}^n q_i \times \frac{w_i^*}{\sum_{i=1}^n w_i^*} \quad (2.34)$$

Trong đó, K và w_i như ở công thức (1.4) và (1.5), chỉ số thông số q_i được tính theo công thức (2.35):

$$q_i = \frac{100 \times (C_i - C_{oi})}{S_i - C_{oi}} \quad (2.35)$$

Ở đây, C_i và C_{oi} tương ứng là nồng độ của thông số CLN trong mẫu và nồng độ lý tưởng của thông số trong nước tinh khiết bằng 0 (ngoại trừ pH có C_{oi} bằng 7,0). S_i là giới hạn cho phép của thông số CLN trong quy chuẩn.

Chỉ số chất lượng nước sau khi được tính theo công thức xác định ở trên sẽ được làm tròn thành số nguyên.

2.3.6. Phương pháp đánh giá chất lượng nước theo chỉ số chất lượng nước

Để đánh giá CLN theo WQI/GWQI, cần phân chia các giá trị WQI/GWQI thành các thang điểm. Các thang phân loại WQI và GWQI để đánh giá CLN mặt và CLN dưới đất được nêu ở Bảng 2.4.

Bảng 2.4. Phân loại CLN dưới đất theo WQI/GWQI (*)

Phân loại	I	II	III	IV	V	VI
NSF-WQI	91 – 100	71 – 90	51 – 70	26 – 50	25 – 0	-
VN-WQI	91 – 100	76 – 90	51 – 75	26 – 50	25 – 10	<10
WQI	91 – 100	76 – 90	51 – 75	26 – 50	25 – 10	<10
$GWQI_{ref}$	< 50	51 – 100	101 – 200	201 – 300	> 300	-
GWQI	81 – 100	61 – 80	41 – 60	21 – 40	≤ 20	-
Trạng thái CLN	RẤT TỐT (RT)	TỐT (T)	TRUNG BÌNH (TB)	KÉM (K)	RẤT KÉM (RK)	Ô NHIỄM NẶNG

(*) NSF-WQI: Chỉ số CLN của Quỹ vệ sinh quốc gia Hoa Kỳ;

VN-WQI: Chỉ số CLN của Tổng cục Môi trường Việt Nam;

GWQI_{ref}: Chỉ số CLN dưới đất của các nghiên cứu [18], [39], [41], [61], [73], [79], [80];

WQI: Chỉ số CLN đề xuất (6 mức);

GWQI: Chỉ số CLN dưới đất đề xuất (5 mức).

Thông thường, người ta phân chia WQI theo 5 mức (hay 5 loại CLN): thang điểm WQI thường từ 0 – 100; giá trị WQI càng lớn (càng gần 100), CLN càng tốt và ngược lại. Đối với GWQI, người ta thường phân chia theo thang điểm ngược, tức là giá trị GWQI càng lớn, CLN dưới đất càng kém và ngược lại, giá trị GWQI càng nhỏ, CLN dưới đất càng tốt.

- *Đối với thang điểm WQI*: Để tiện so sánh WQI xây dựng được với VN-WQI và NSF-WQI, nghiên cứu này chia thang điểm chỉ số WQI xây dựng được giống như chỉ số VN-WQI.

- *Đối với thang điểm GWQI*: Việc lựa chọn thang GWQI ngược như các nghiên cứu trước đây dễ gây nhầm lẫn cho các nhà quản lý và cộng đồng khi đã quen với việc sử dụng các thang WQI thuận. Vì vậy, nghiên cứu này đề xuất thang điểm GWQI theo thang thuận gồm 5 mức (giống như đối với WQI): thang GWQI có giá trị từ 0 đến 100; giá trị GWQI càng gần 100 (hay càng lớn), CLN dưới đất càng tốt và ngược lại. Tất nhiên, cần kiểm chứng thang thuận của GWQI – có phù hợp không khi áp dụng vào thực tế.

2.3.7. Phương pháp kiểm chứng sự phù hợp của chỉ số chất lượng nước

Để kiểm chứng sự phù hợp của WQI/GWQI trong phản ánh CLN sông và CLN dưới đất, tiến hành kiểm chứng theo hai khía cạnh:

(i) *Tỷ lệ (%) chỉ số WQI hoặc GWQI phản ánh CLN phù hợp với tỷ lệ (%) kết quả quan trắc thông số CLN riêng biệt (được đánh giá theo QCVN)*

Nếu chấp nhận các thông số CLN lựa chọn để tính giá trị WQI/GWQI (sau khi đã biến đổi biến gốc x_{ij} thành biến chuẩn hóa z_{ij}) tuân theo phân bố chuẩn hình cầu (tức là một hình chuông úp ngược đa chiều), thì tỷ lệ (%) chỉ số WQI hoặc GWQI phản ánh CLN phải phù hợp với tỷ lệ (%) kết quả quan trắc các thông số CLN riêng biệt.

- Đối với chỉ số *WQI*: % các giá trị *WQI* ứng với CLN đạt loại RẤT KÉM – TRUNG BÌNH phải gần tương tự với % các kết quả quan trắc thông số CLN không đạt yêu cầu (so với QCVN 08-MT:2015/BTNMT);

- Đối với chỉ số *GWQI*: % các giá trị *GWQI* ứng với CLN đạt loại RẤT KÉM – KÉM phải gần tương tự với % các kết quả quan trắc thông số CLN không đạt yêu cầu (so với QCVN 01-1:2018/BYT).

(ii) Chỉ số *WQI* hoặc *GWQI* phản ánh CLN phù hợp trong các trường hợp tới hạn - có thông số CLN vượt quá mức cho phép (theo QCVN tương ứng)

Khi một mẫu nước có một hoặc nhiều thông số CLN vượt mức cho phép (khi đó chỉ số thông số *q* của thông số hoặc các thông số đó bằng 1), thì giá trị *WQI* phải ứng với CLN loại RẤT KÉM – TRUNG BÌNH; Đối với chỉ số *GWQI*, khi đó giá trị *GWQI* phải ứng với CLN loại RẤT KÉM – KÉM.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. XÂY DỰNG CHỈ SỐ CHẤT LƯỢNG NƯỚC

3.1.1. Sơ lược về chất lượng nước sông Hương

Tổng hợp các đại lượng thống kê cơ bản của 11 thông số CLN sông Hương trong giai đoạn 2 (2017 – 2020) được nêu ở Bảng 3.1. Tổng số mẫu quan trắc trong giai đoạn 2 là $N = 392$.

Kết quả ở Bảng 3.1. cho thấy:

- *Về mức biến động* (thể hiện qua CV %): Các thông số biến động mạnh (có S xung quanh trung bình số học hoặc lớn hơn) gồm: EC (CV = 133%) > TSS (99 %) > TC (73 %). Thông số biến động trung bình (có S khoảng 50 % của trung bình số học): COD (40 %) > BOD $\approx$ N-NH₄ (35 %) > N-NO₃ (34 %) > P-PO₄ (33 %) > Fe (26 %). Các thông số ít biến động hay biến động không đáng kể (có S xấp xỉ 20 % của trung bình số học): DO (8 %). Tuy thông số EC biến động mạnh, nhưng trong giai đoạn 2017 – 2020, sự nhiễm mặn vào sông Hương là không đáng kể với TDS khoảng 23 – 833 mg/L (chấp nhận TDS = $0,65 \times \text{EC}$ như nêu ở công thức (2.14)). Nồng độ TDS đó thỏa mãn yêu cầu của QCVN 01:2009/BYT về CLN dùng để ăn uống (quy định TDS < 1.000 mg/L). Điều này chứng tỏ rằng, các hoạt động của hồ Tả Trạch, hồ Bình Điền và đập ngăn mặn Thảo Long đã hạn chế được sự xâm nhập mặn vào sông.

- *So sánh với QCVN 08-MT:2015/BTNMT* (viết tắt là QCVN 08): Trong giai đoạn 2017-2020, hầu hết các thông số CLN sông Hương đều đạt QCVN 08. Tuy vậy, nhiều trường hợp có một số thông số chỉ đạt mức B1 hoặc B2 như: TSS, BOD, COD, N-NH₄, P-PO₄, Fe và TC. Khi có mưa lũ, nồng độ TSS tăng lên, làm tăng nồng độ Fe (trung bình là $0,43 \pm 0,11$ mg/L, $N = 396$). Hoạt động thu gom và xử lý nước thải sinh hoạt ở bờ Nam sông Hương (từ khi “Dự án cải thiện môi trường nước thành phố Huế” đi vào hoạt động năm 2018) là đã góp phần làm giảm mức ô nhiễm hữu cơ, các chất dinh dưỡng và vi khuẩn trong nước sông Hương. Phần trăm (%) số số liệu không đạt mức A1, A2, chỉ đạt mức B1 hoặc B2 là **3,38 %**.

Bảng 3.1. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả cho 11 thông số của tập dữ liệu CLN sông Hương, 2017 – 2020 (N = 396) (*)

Đại lượng thống kê	pH -	EC μS/cm	TSS mg/L	DO mg/L	BOD mg/L	COD mg/L	N-NH ₄ mg/L	N-NO ₃ mg/L	P-PO ₄ mg/L	Fe mg/L	TC MPN/100 mL
Min	5,4	16	1	4,4	2	5	0,07	0,1	0,05	0.19	130
Max	7,2	955	76	7,8	9	22,6	0,42	0,7	0,17	0.88	7.500
Trung bình	-	70	13	6,2	3.6	10	0,16	0,32	0,08	0.43	1.618
S	-	93	12	0,5	1.3	4	0,06	0,11	0,03	0.11	1.177
Trung vị	6,3	49	8	6,2	3	9,0	0,15	0,3	0,08	0.42	1.500
MAD	0,2	14	4	0,3	1	3,1	0,03	0,1	0,02	0.08	1.020
Tứ phân vị 1	6,2	38	5	5,8	3	6,5	0,12	0,22	0,06	0.35	480
Tứ phân vị 3	6,5	70	14	6,5	5	13	0,2	0,4	0,1	0.51	2.525
CV (%)	-	133	99	8	35	40	35	34	33	26	73
QCVN 08: A1	6-8,5	1.153	20	≥ 6	4	10	2	0,3	0,1	0,5	2.500
A2	6-8,5	1.538	30	≥ 5	6	15	5	0,3	0,2	1	5.000
B1	5,5-9	3.077	50	≥ 4	15	30	10	0,9	0,3	1,5	7.500
B2	5,5-9		100	≥ 2	25	50	15	0,9	0,5	2	10.000
E	0	0	8	39	0	3	4	0	0	12	1

(*) N: số số liệu (hay số mẫu); QCVN 08: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về CLN mặt (QCVN 08-MT:2015/BTNMT); Loại A1: sử dụng cho mục đích cấp nước sinh hoạt (sau khi xử lý thông thường), bảo tồn động vật thủy sinh và các mục đích khác như Loại A2, B1, B2; Loại A2: sử dụng cho mục đích cấp nước sinh hoạt (sau khi xử lý thích hợp) và các mục đích khác như Loại B1, B2; Loại B1: sử dụng cho mục đích tưới tiêu hoặc các mục đích khác có yêu cầu CLN tương đương, và các mục đích khác như Loại B2; Loại B2: sử dụng cho mục đích giao thông thủy và các mục đích khác có yêu cầu CLN thấp. S: độ lệch chuẩn; MAD: độ lệch tuyệt đối trung vị; Tứ phân vị 1 (quartile 1); Tứ phân vị 3 (quartile 3); CV (hệ số biến động) = $(S \times 100)/\text{Trung bình}$; Các ký hiệu N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄ là viết tắt của các thông số nitơ amoni (N-NH₄⁺), nitơ nitrat (N-NO₃⁻) và photpho photphat (P-PO₄³⁻). Ký hiệu BOD là viết tắt của thông số BOD5. E: số số liệu (đối với mỗi thông số) vượt mức cho phép A2

3.1.2. Quy trình xây dựng chỉ số chất lượng nước

Như đã đề cập ở phần tổng quan (Chương 1), người ta đã thống nhất rằng, quy trình xây dựng một chỉ số WQI gồm 4 bước: lựa chọn thông số CLN, xác định trọng số w_i , xác định chỉ số thông số q_i , tính WQI. Cuối cùng, đánh giá CLN dựa vào thang điểm WQI. Vấn đề là ở mỗi bước, cần lựa chọn cách (hay phương pháp) thực hiện như thế nào, để quy trình xây dựng chỉ số WQI dễ hiểu và dễ áp dụng vào thực tế. Dưới đây là các nội dung và kết quả thực hiện ở mỗi bước.

3.1.2.1. Lựa chọn các thông số chất lượng nước

Trong nghiên cứu này, tiêu chí để lựa chọn các thông số CLN trong xây dựng WQI bao gồm:

(i) Các thông số CLN lựa chọn phải đặc trưng hay chỉ thị cho các đặc điểm chất lượng nước (đặc điểm lý – hóa – sinh); Trong đó, để khắc phục tính “cứng nhắc” – một hạn chế vốn có của chỉ số WQI, cần bổ sung thêm thông số sao cho đại diện cho nhiều sông ở miền Trung nước ta.

(ii) Các thông số CLN lựa chọn phải được quan trắc thường xuyên trong chương trình quan trắc môi trường hàng năm ở các địa phương (tỉnh/thành) và được quy định trong QCVN hiện hành (QCVN 08-MT:2015/BTNMT).

Từ các tiêu chí trên, mười thông số cơ bản (pH, EC, TSS, DO, BOD, COD, N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, TC) và một thông số bổ sung (Fe) đã được chọn để phát triển chỉ số WQI. Các thông số pH, EC, TSS và DO thể hiện đặc điểm vật lý của dòng sông. Thông số EC (độ dẫn điện) không được quy định trong QCVN 08-MT:2015/BTNMT, nhưng nó chỉ thị cho mức nhiễm muối trong nước. Thông số EC có tương quan chặt với TDS (tổng cặn tan) và clorua (Cl⁻), nhưng dễ dàng đo nhanh EC tại hiện trường, nên EC được chọn trong nghiên cứu này. Các thông số BOD, COD chỉ thị cho mức nhiễm các chất hữu cơ, các thông số N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄ chỉ thị cho mức nhiễm các chất dinh dưỡng trong nước sông. Thông số TC chỉ thị cho mức nhiễm vi khuẩn có nguồn gốc từ phân người và phân động vật trong nước sông. Đối với các sông ở miền Trung, vào mùa mưa lũ, sự xói mòn và rửa trôi trong lưu vực sông thường làm tăng chất rắn lơ lửng trong sông (hay làm tăng nồng độ TSS).

Do đất thường chứa sắt với hàm lượng đáng kể (cả dạng liên kết và dạng di động) và do vậy, khi nồng độ TSS tăng, thường làm tăng tổng nồng độ sắt tan (Fe) trong nước sông. Do vậy, Fe được chọn làm thông số bổ sung khi xây dựng chỉ số WQI.

Mười một thông số CLN lựa chọn nêu trên (n bằng 11) cũng là những thông số thường xuyên được quan trắc trong chương trình quan trắc môi trường ở các địa phương (tỉnh/thành) ở các tỉnh miền Trung. Bộ dữ liệu gồm 11 thông số CLN trên được thu thập từ Viện Tài nguyên, Môi trường và Công nghệ Sinh học – Đại học Huế trong giai đoạn 1 (2014–2016) được sử dụng để phát triển quy trình xây dựng chỉ số WQI.

Các thông số về kim loại độc (Hg, Cd, Ni, Cr, As, Pb, Cu, Zn) và hóa chất bảo vệ thực vật nhóm clo không được chọn trong xây dựng chỉ số WQI, vì các lý do sau:

(i) Nồng độ của chúng (thu thập từ các dữ liệu quan trắc có sẵn) rất thấp, thấp hơn giới hạn phát hiện của phương pháp (LOD) hoặc thấp hơn nhiều so với giới hạn của QCVN đang dùng.

(ii) Nếu đưa các thông số về kim loại độc và hóa chất bảo vệ thực vật nhóm clo vào tính toán chỉ số WQI, thì do chúng có nồng độ rất nhỏ, ứng với chỉ số thông số (q_i) rất cao và do vậy sẽ làm sai lệch giá trị WQI tính được. Nói cách khác, chúng ‘che khuất’ các thông số khác trong chỉ số WQI.

(iii) Theo các nghiên cứu về chỉ số WQI trên thế giới, người ta đều thống nhất rằng, khi một thông số bất kỳ về kim loại độc và hóa chất bảo vệ thực vật nhóm clo vượt mức cho phép, chỉ số WQI sẽ bằng không (0), tức là nguồn nước đó có chất lượng rất kém (hay bị ô nhiễm nặng) và không sử dụng cho đa mục đích được [13];

3.1.2.2. Trọng số của các thông số chất lượng nước

Để khắc phục tính chủ quan trong xác định trọng số w_i của thông số CLN i , trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp PCA cho phép xác định một cách khách quan w_i , tức là không phụ thuộc vào ý kiến chủ quan của chuyên gia, mà phụ thuộc vào chính tập dữ liệu quan trắc CLN của nguồn nước. Nói cách khác, tập dữ liệu quan trắc CLN đang sử dụng sẽ phản ánh – thông số nào là đóng góp nhiều (hay trọng số cao), thông số nào là đóng góp ít (hay trọng số thấp) trong nguồn nước đang nghiên cứu. Để cho tiện, từ đây gọi thông số CLN là biến (variable).

Thuật toán phương pháp PCA thực hiện trên ma trận tương quan (correlation matrix) của 11 biến lựa chọn (nêu ở mục 3.1.2.1), trong đó x_{ij} đã được chuyển thành biến chuẩn hóa z_{ij} (i là số biến có giá trị từ 1 đến 11, j là số mẫu có giá trị từ 1 đến N). Từ ma trận đó, phương pháp PCA chiết rút được 11 thành phần chính (hay 11 biến mới) với các giá trị riêng của chúng. Theo nhiều nghiên cứu trước đây, hai tiêu chí để giữ lại các thành phần chính (PC) đầu tiên như sau:

(i) Tổng phương sai của các biến gốc được giải thích bởi các PC đó (hay phần trăm phương sai tích lũy) phải lớn hơn 60%;

(ii) Giá trị riêng của mỗi PC giữ lại (chính là lượng phương sai của các biến gốc được giải thích bởi PC đó) phải lớn hơn 1 (tức là PC đó giải thích được nhiều hơn 1 biến gốc) Những PC có giá trị riêng nhỏ hơn 1 (hay giải thích được ít hơn một biến gốc) được loại bỏ và được coi là chúng chỉ giải thích biến động nền (hay nhiễu nền) [20], [34].

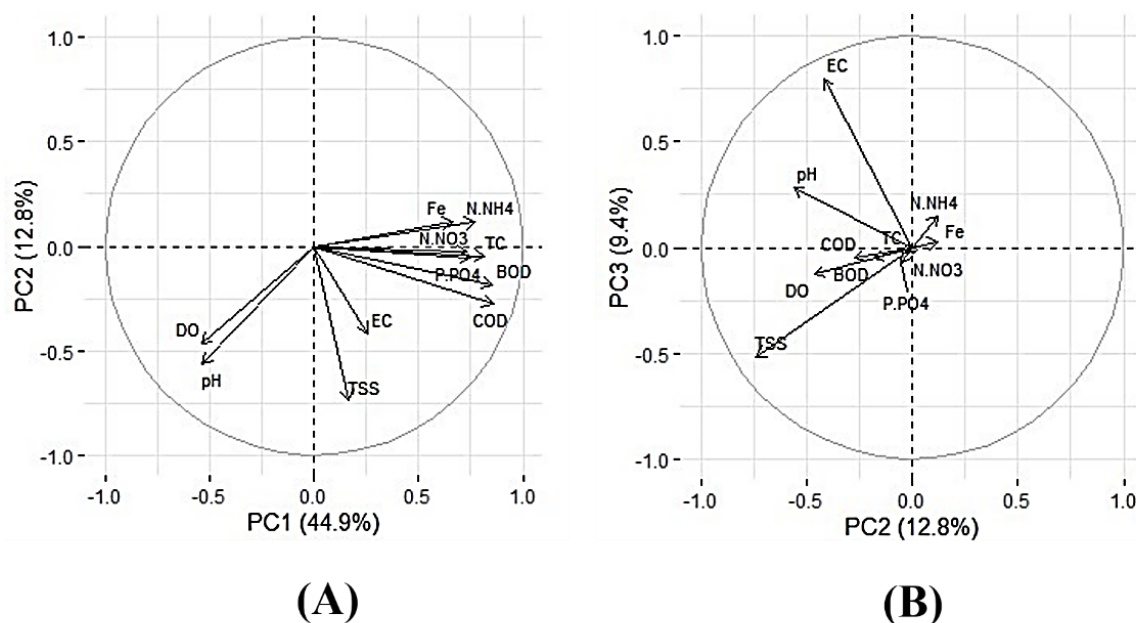
Bảng 3.2. Giá trị riêng, phần trăm phương sai và phương sai tích lũy của các thành phần chính

Thành phần chính (PC)	Giá trị riêng	Phần trăm phương sai	Phương sai tích lũy
PC1	4,94	44,89	44,89
PC2	1,40	12,76	57,64
PC3	1,03	9,39	67,04
PC4	0,87	7,91	74,94
PC5	0,64	5,81	80,76
PC6	0,45	4,12	84,88
PC7	0,44	4,02	88,90
PC8	0,39	3,58	92,48
PC9	0,35	3,18	95,66
PC10	0,31	2,78	98,44
PC11	0,17	1,56	100,00

Bảng 3.2 trình bày các giá trị riêng của 11 PC (chiết rút được từ thuật toán PCA), phần trăm phương sai (variance percent) được giải thích bởi mỗi PC và phương

sai tích lũy (accumulative variance percent) tương ứng. Phương sai tích lũy của ba thành phần chính đầu tiên (PC1 – PC3) đạt 67,0 %, thỏa mãn hai tiêu chí trên, nên chúng được giữ lại. Các PC còn lại chỉ giải thích 33,0 % phương sai của tập dữ liệu gốc, nên được gán cho biến động nền hay ‘nhiều’. Sử dụng ba PC giữ lại đó để tính toán trọng số w_i trong xây dựng WQI.

Hình 3.1 là biểu diễn tải trọng (loading plot) của các biến trên mặt phẳng tọa độ PC1-PC2 và PC2-PC3. Biểu diễn này cho thấy tương quan giữa mỗi biến và PC tương ứng, và tương quan giữa các biến với nhau. Tải trọng yếu tố (factor loading, gọi tắt là tải trọng) của mỗi biến được biểu diễn bởi vector biến. Tải trọng của biến trên PC tương ứng chính là hệ số tương quan (R) giữa biến và PC đó. Tải trọng có giá trị dương thể hiện tương quan thuận (chiều vector biến trên biểu diễn tải trọng theo hướng dương của trục PC tương ứng) và ngược lại, giá trị âm thể hiện tương quan nghịch giữa biến và PC tương ứng (chiều vector biến trên biểu diễn tải trọng theo hướng âm của trục PC tương ứng). Bảng 3.3 thể hiện tải trọng của 11 biến trên 3 PC giữ lại.



Hình 3.1. Tải trọng yếu tố của các thông số CLN sông trên mặt phẳng tọa độ:
(A) PC1-PC2 và (B) PC2-PC3

Hình 3.1 và Bảng 3.2 cho thấy:

(i) Thành phần chính 1 (PC1) giải thích nhiều nhất (44,9 %) tổng phương sai của tập dữ liệu gốc. Liu C.W. [51] đã phân loại tải lượng yếu tố thành ‘mạnh’ (giá trị tuyệt đối của tải lượng > 0,75), ‘trung bình’ (0,50 đến 0,75) và ‘yếu’ (0,30 đến 0,50). Phân loại này đã được Ouyang, Y. [59], Singh, K.P. [71] áp dụng. Do đó, PC1 giải thích được chín biến với tải lượng mạnh đến trung bình ($> \pm 0,5$). Các biến TSS và EC có tải lượng rất yếu trên PC1, tương ứng là 0,168 và 0,257. Bảy biến (trong 9 biến đó) có tương quan thuận với nhau và đều tương quan thuận với PC1, ngoại trừ pH và DO có tương quan nghịch với PC1; pH và DO cũng tương quan thuận với nhau và chúng đều tương quan nghịch với bảy biến kia (Hình 3.2.A).

(ii) PC2 giải thích 12,8 % tổng phương sai của tập dữ liệu gốc và chủ yếu giải thích hai biến với tải lượng mạnh đến trung bình: TSS (-0,740) và pH (-0,564); Hai biến đó tương quan thuận với nhau và đều tương quan nghịch với PC2 (Hình 3.2.A).

(iii) PC3 chỉ giải thích 9,4 % tổng phương sai của tập dữ liệu gốc và chủ yếu giải thích hai biến: EC (0,796) và TSS (-0,519). Hai biến này có tương quan nghịch với nhau; EC tương quan thuận, còn TSS tương quan nghịch với PC3 (Hình 3.2.B).

Bảng 3.3. Tải lượng yếu tố của các thông số CLN sông
trên ba thành phần chính giữ lại

STT	Thông số	PC1	PC2	PC3
1	pH	-0,536	-0,564	0,281
2	EC	0,257	-0,418	0,796
3	TSS	0,168	-0,740	-0,519
4	DO	-0,542	-0,466	-0,124
5	BOD	0,853	-0,186	-0,052
6	COD	0,857	-0,277	-0,047
7	N-NH ₄	0,773	0,118	0,151
8	N-NO ₃	0,733	-0,024	-0,028
9	P-PO ₄	0,750	-0,056	-0,072
10	Fe	0,661	0,120	0,030
11	TC	0,816	-0,046	-0,014

Từ các giá trị tải lượng yếu tố trong Bảng 3.3, tính được tải lượng bình phương của mỗi biến trên mỗi PC giữ lại, PC1 – PC3 và trọng số của mỗi biến.

Bảng 3.4 cho thấy: Thông số có tổng tải lượng bình phương lớn nhất trong bảng là EC (0,875), sẽ ứng với trọng số (w_i) lớn nhất; thông số có tổng tải lượng bình phương nhỏ nhất là Fe (0,452), sẽ ứng với trọng số nhỏ nhất. Từ đó, dễ dàng tính được trọng số (w_i) của từng thông số bằng cách chia tổng tải lượng bình phương của thông số trên các PC giữ lại cho tổng tải lượng bình phương của tất cả các thông số (7,374 – giá trị này cũng là tổng giá trị riêng của 3 PC giữ lại) (công thức (2.2)). Tổng trọng số của mười một bằng 1,00

Bảng 3.4. Tải lượng bình phương, tổng tích lũy (communality) và trọng số của các thông số CLN sông (từ cao đến thấp)

Thông số	PC1	PC2	PC3	Tổng tích lũy	Trọng số (w)
EC	0,066	0,175	0,634	0,875	0,12
TSS	0,028	0,548	0,270	0,846	0,11
COD	0,734	0,077	0,002	0,813	0,11
pH	0,287	0,318	0,079	0,684	0,10
BOD	0,728	0,035	0,003	0,766	0,10
N-NH ₄	0,597	0,014	0,023	0,633	0,09
TC	0,667	0,002	0,000	0,669	0,09
P-PO ₄	0,563	0,003	0,005	0,571	0,08
DO	0,294	0,217	0,015	0,526	0,07
N-NO ₃	0,537	0,001	0,001	0,538	0,07
Fe	0,437	0,014	0,001	0,452	0,06
Giá trị riêng (*)	4,937	1,403	1,033		1,00

(*) Giá trị riêng bằng tổng tải lượng bình phương trong cột tương ứng. Tổng các giá trị riêng bằng tổng tích lũy của mười một thông số và bằng 7,374.

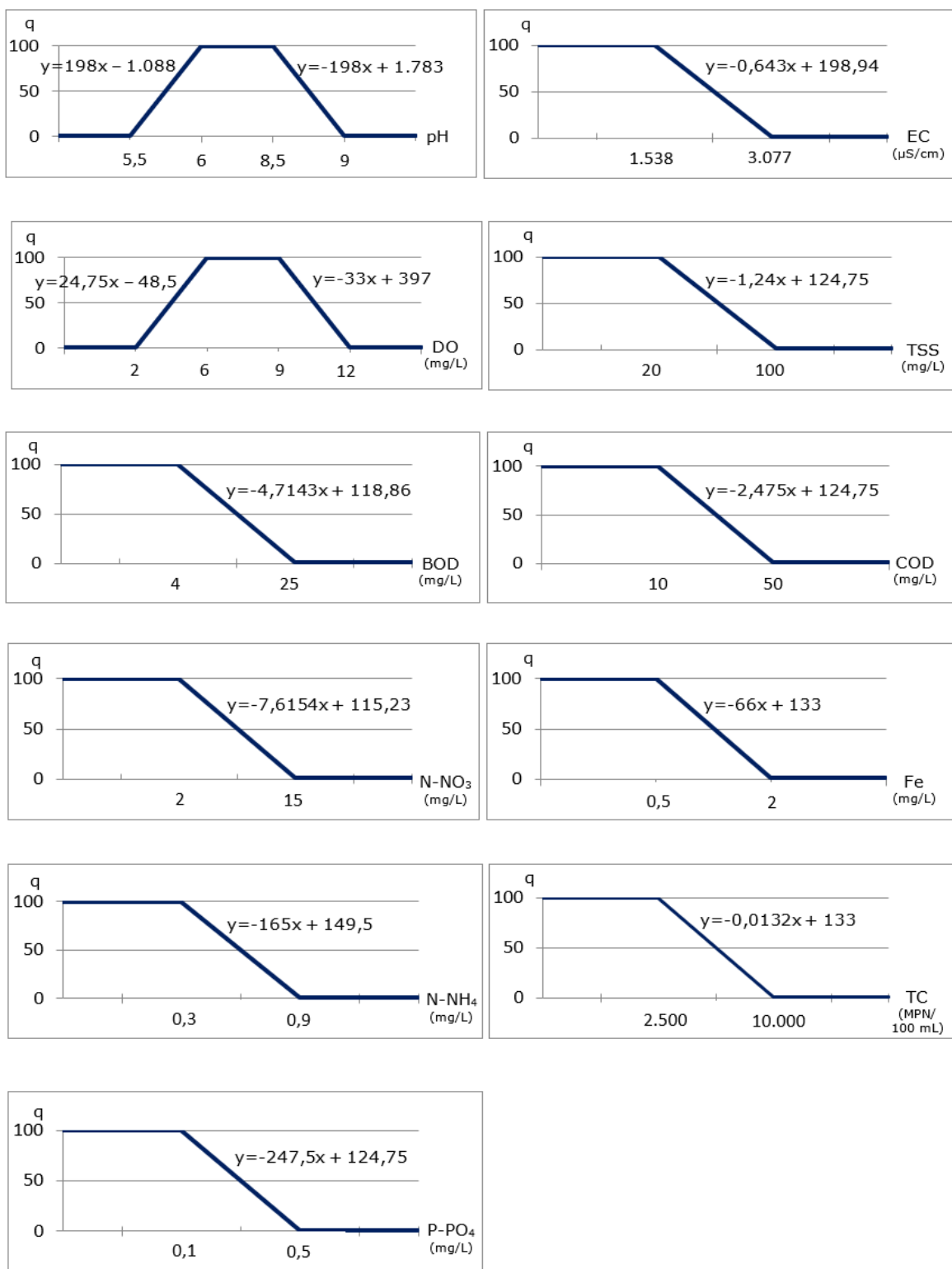
Kết quả ở Bảng 3.4 cho thấy, thông số có trọng số cao nhất là EC (0,12), thông số có trọng số thấp nhất là Fe (0,06). Nhóm thông số có trọng số từ 0,10 trở lên gồm EC, TSS, COD, pH, BOD. Về mặt hóa học môi trường, đây là các thông số phản ánh những đặc điểm chính của nguồn nước mặt đang nghiên cứu: bị tác động tự nhiên

như xói mòn và rửa trôi (làm tăng TSS), xâm nhập mặn từ biển (làm tăng EC); bị tác động tự nhiên và nhân tạo (làm tăng BOD, thể hiện mức nhiễm chất ô nhiễm hữu cơ); thông số pH, phản ánh đặc điểm quan trọng của bất kỳ nguồn nước nào, tuy nó khá ổn định (hay biến động không đáng kể) trong các sông khảo sát ở miền Trung. Ba (3) thông số có trọng số thấp hơn (từ 0,08 – 0,09) gồm: N-NH₄, P-PO₄ và TC phản ánh sự nhiễm các chất dinh dưỡng và các vi khuẩn có nguồn gốc phân. Điều này xảy ra ở hầu hết các nguồn nước ở miền Trung, nhưng không phải là đặc điểm chính như các thông số ở trên (có trọng số cao hơn). Ba (3) thông số còn lại (DO, N-NO₃, Fe) có trọng số thấp nhất (0,06 – 0,07), có thể được hiểu như sau: thông số N-NO₃ (trong các tập dữ liệu quan trắc CLN ở miền Trung) thường thấp hơn nhiều QCVN đang dùng; thông số Fe chỉ cao đối với một số sông vào mùa mưa lũ; còn thông số DO, tuy rất quan trọng trong nguồn nước mặt bất kỳ, nhưng nồng độ DO thường biến động mạnh, phụ thuộc vào nhiều yếu tố (thời gian, thủy văn, nhiệt độ, sóng gió...) và do vậy, kết quả đo DO thường chỉ là một ước lượng tương đối. Mặt khác, do tác động của tự nhiên và nhân tạo, các sông ở miền Trung thường có nồng độ DO ổn định, dao động trong khoảng 5 – 6 mg/L và do vậy, nó không phải thông số có trọng số lớn trong chỉ số WQI.

Như vậy, phương pháp PCA đã giúp xác định trọng số của từng thông số CLN một cách khách quan, mà không phụ thuộc vào ý kiến chủ quan của các chuyên gia. Đây cũng là một trong những điểm mới của nghiên cứu luận án.

3.1.2.3. Xác định chỉ số thông số

Bước tiếp theo trong xây dựng WQI là chuyển đổi nồng độ quan trắc của từng thông số thành một giá trị không thứ nguyên (được gọi là chỉ số thông số q_i), để tính toán giá trị WQI cho từng mẫu nước. Để thuận tiện cho người dùng WQI và dễ hiểu, để xác định q_i , nghiên cứu này sử dụng QCVN hiện hành về CLN mặt (QCVN 08-MT:2015/BTNMT) để xây dựng hàm tuyến tính xác định q_i .



Hình 3.2. Đường tuyến tính và phương trình đối với mỗi thông số để chuyển nồng độ quan trắc được của thông số CLN ($C_i = x_i$) trên trục hoành thành chỉ số thông số q_i trên trục tung ($q_i = y_i$). Các phương trình tuyến tính đối với mỗi thông số (trong một khoảng xác định) được thể hiện trên mỗi hình tương ứng.

Các đường tuyến tính với nồng độ quan trắc của thông số CLN trên trục hoành và giá trị chỉ số thông số (q_i) trên trục tung (q_i có giá trị từ 1 đến 100) đã được xây dựng dựa vào các mức giới hạn được quy định trong QCVN 08-MT:2015/BTNMT [1]. Cách xác định giá trị q_i ($q_i = y_i$) ứng với nồng độ quan trắc được của thông số i ($C_i = x_i$) được trình bày chi tiết ở mục 2.3.4 (i). Hình 3.2 biểu diễn các đường tuyến tính cho mỗi thông số CLN lựa chọn.

Cụ thể, các hàm tuyến tính để xác định chỉ số thông số q_i đối với thông số CLN i ($i = 1 - 11$) ở Hình 3.3 như sau:

(1) Khi $5,5 \leq \text{pH} < 6$: $y = 198x - 1.088$; $8,5 < \text{pH} \leq 9$: $y = -198x + 1.783$; $6 \leq \text{pH} \leq 8,5$: $y = 100$; $\text{pH} < 5,5$ và $\text{pH} > 9$: $y = 1$.

(2) Khi nồng độ TSS ≤ 20 mg/L: $y = 100$; $20 \text{ mg/L} < \text{TSS} \leq 100$ mg/L: $y = -1,24x + 124,75$; TSS > 100 mg/L: $y = 1$.

(3) Khi EC ≤ 1.538 $\mu\text{S/cm}$: $y = 100$; $1.538 \mu\text{S/cm} < \text{EC} \leq 3.077 \mu\text{S/cm}$: $y = -0,0643x + 198,94$; EC $> 3077 \mu\text{S/cm}$: $y = 1$.

(4) Khi $2 \leq \text{DO} < 6$: $y = 24,75x - 48,5$; $9 < \text{DO} \leq 12$: $y = -33x + 1397$; $6 \leq \text{pH} \leq 9$: $y = 100$; $\text{pH} < 2$ và $\text{pH} > 12$: $y = 1$.

(5) Khi BOD5 $\leq 4,0$ mg/L: $y = 100$; $4,0 \text{ mg/L} < \text{BOD5} \leq 25,0$ mg/L: $y = -4,7143x + 118,86$; BOD5 $> 25,0$ mg/L: $y = 1$.

(6) Khi COD $\leq 10,0$ mg/L: $y = 100$; $10,0 \text{ mg/L} < \text{COD} \leq 50,0$ mg/L: $y = -2,475x + 124,75$; COD $> 50,0$ mg/L: $y = 1$.

(7) Khi nồng độ N-NO₃ $\leq 2,0$ mg/L: $y = 100$; $2,0 \text{ mg/L} < \text{N-NO}_3 \leq 15,0$ mg/L: $y = -7,6154x + 115,23$; N-NO₃ $> 15,0$ mg/L: $y = 1$.

(8) Khi nồng độ P-PO₄ $\leq 0,1$ mg/L: $y = 100$; $0,1 \text{ mg/L} < \text{P-PO}_4 \leq 0,5$ mg/L: $y = -247,5x + 124,75$; P-PO₄ $> 0,5$ mg/L: $y = 1$.

(9) Khi nồng độ N-NH₄ $\leq 0,3$ mg/L: $y = 100$; $0,3 \text{ mg/L} < \text{N-NH}_4 \leq 0,9$ mg/L: $y = -165x + 149,5$; N-NH₄ $> 0,9$ mg/L: $y = 1$.

(10) Khi nồng độ Fe $\leq 0,5$ mg/L: $y = 100$; $0,5 \text{ mg/L} < \text{Fe} \leq 2$ mg/L: $y = -66x + 133$; Fe > 2 mg/L: $y = 1$.

(11) Khi nồng độ TC ≤ 2.500 MPN/100 mL: $y = 100$; $2.500 \text{ MPN/100 mL} < \text{TC} \leq 10.000 \text{ MPN/100 mL}$: $y = -0,0132x + 133$; TC $> 10.000 \text{ MPN/100 mL}$: $y = 1$.

3.1.2.4. Tính toán chỉ số chất lượng nước

Bước tiếp theo là tính giá trị WQI cuối cùng với chỉ số WQI là hàm của trọng số w_i và chỉ số thông số q_i của các thông số lựa chọn i . Nghiên cứu này cần tìm được công thức tính WQI phù hợp, tức là nhạy trong phản ánh CLN. Tiến hành so sánh kết quả theo các công thức tính WQI và thang điểm khác nhau:

- (i) Tính WQI đề xuất theo hàm tích – công thức (2.27);
- (ii) Tính chỉ số NSF-WQI theo cả hàm tích – công thức (2.27) và hàm tổng – công thức (2.28);
- (iii) Tính chỉ số VN-WQI theo công thức (2.29).

Thang điểm phân loại CLN nêu ở Bảng 2.4.

3.1.2.5. Kiểm chứng chỉ số chất lượng nước

Trước khi áp dụng thực tế, cần kiểm chứng WQI xây dựng được để khẳng định rằng, nó phản ánh phù hợp CLN của nguồn nước khảo sát.

Dữ liệu quan trắc CLN dùng để kiểm chứng WQI là tập dữ liệu CLN sông Hương giai đoạn 2017–2020 (4 năm). Tổng số mẫu (hay số số liệu đối với mỗi thông số) là $N = 180$ ($10 \text{ vị trí} \times (4 - 5) \text{ đợt/năm} \times 4 \text{ năm}$). Kết quả ở Bảng 3.1 cho thấy: 96,6% số liệu (của nồng độ các thông số CLN) đạt mức A1 và A2 (tương ứng là 89,1 % và 7,5 %); 3,2% chỉ đạt mức B1 (2,4%) và B2 (0,8%); và 0,2% không đạt mức B2 (tức là vượt quá giới hạn B2).

Như vậy, hy vọng rằng, phần trăm số liệu WQI cũng phù hợp với phần trăm thông số CLN được đánh giá qua các thông số riêng biệt ở trên. Thực tế (Bảng 3.5), khi đánh giá theo WQI, có 97,8% giá trị WQI thuộc mức chất lượng nước RẤT TỐT hoặc TỐT, chỉ 2,2% giá trị WQI thuộc mức TRUNG BÌNH. Nói chung, CLN sông Hương khá tốt (theo WQI), vì hầu hết đều đạt mức RẤT TỐT hoặc TỐT.

Việc xả nước từ hồ chứa Tả Trạch vào sông trong mùa lũ (tháng 11/2020) đã làm tăng nồng độ TSS và Fe, đồng thời làm giảm nồng độ DO. Hệ quả là các giá trị WQI trong các trường hợp này bị giảm: các giá trị WQI tháng 11/2020 đã thể hiện điều đó (Bảng 3.5). Mặt khác, nồng độ tổng coliform (TC) khá cao tại vị trí SH5 vào tháng 8/2019 (15.000 MPN/100 mL, vượt giới hạn B2) và vị trí SH6 vào tháng 11/2020 (4.600 MPN/100 mL, vượt giới hạn A2) cũng góp phần làm giảm giá trị WQI

(66), tương ứng với mức TRUNG BÌNH). Những kết quả này cho thấy, WQI đề xuất phản ánh phù hợp thực tế CLN sông Hương.

Bảng 3.5. Giá trị chỉ số WQI sông Hương tại 10 điểm quan trắc trong giai đoạn 2017-2020 (N = 180)

Tháng/năm	WQI									
	TT	HT	SH1	SH2	SH3	SH4	SH5	SH6	SH7	SH8
2/2017	98	100	100	100	99	100	100	98	98	100
5/2017	97	97	95	98	99	100	100	97	98	98
8/2017	98	97	99	99	99	99	98	98	99	97
11/2017	100	100	100	100	99	100	100	100	100	100
2/2018	97	99	99	99	99	100	99	98	98	98
5/2018	96	98	97	99	98	99	98	97	94	100
8.1/2018 ^(*)	91	96	91	97	97	96	98	95	96	96
8.2/2018 ^(*)	97	97	98	99	99	98	99	97	96	97
11/2018	100	97	99	100	100	100	97	95	97	100
2/2019	99	100	99	99	100	100	100	100	99	100
5.1/2019 ^(*)	94	100	98	100	100	100	100	98	100	99
5.2/2019 ^(*)	98	96	97	97	98	99	98	98	99	96
8/2019	100	99	99	97	99	99	66	98	96	100
11/2019	98	98	98	99	99	100	99	100	98	98
2/2020	98	97	98		97		98	98	97	98
5.1/2020 ^(*)	96	99	100		100		100	100	100	96
5.2/2020 ^(*)	97	98	98		97		99	99	95	92
8/2020	97	97	95		99		99	98	98	98
11/2020	72	65	81		80		82	66	80	84

(*) 8.1, 8.2 và 5.1, 5.2 lần lượt là các đợt quan trắc thứ 1 và thứ 2 trong tháng 8 và tháng 5.

Để so sánh, các chỉ số NSF-WQI và chỉ số VN-WQI cũng được tính toán cho đợt quan trắc tháng 11/2020 (Bảng 3.6).

Kết quả từ Bảng 3.6 cho thấy, so với WQI đề xuất, các giá trị của chỉ số NSF-WQI_M (tính theo công thức tích) và NSF-WQI_A (tính theo công thức tổng) thấp hơn đáng kể so với các giá trị WQI đề xuất (hay chỉ số WQI mới). Nguyên nhân là do trọng số của các thông số DO và TC trong chỉ số NSF-WQI cao hơn so với trong chỉ

số WQI mới. Mặc dù có bốn trong số tám trường hợp, mức CLN (đánh giá theo chỉ số NSF-WQI_A và chỉ số WQI mới) giống nhau, nhưng giá trị của hai chỉ số đó khác nhau có ý nghĩa về mặt thống kê ($p = 0,044$; paired-t-test).

Bảng 3.6. Nồng độ DO, TSS, Fe và TC; các giá trị WQI, NSF-WQI, VN-WQI và phân loại CLN tại các điểm quan trắc vào tháng 11/2020 (*)

Vị trí	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	Fe (mg/L)	TC (MPN/ 100 mL)	WQI – phân loại	NSF- WQI _M – phân loại	NSF- WQI _A – phân loại	VN-WQI – phân loại
TT	5	56	1,99	43	72 -TB	68 -TB	72 -T	100 -RT
HT	5,2	76,5	2,23	240	65 -TB	57 -TB	69 -T	100 -RT
SH1	5,1	51,5	1,85	240	81 -T	65 -TB	72 -T	100 -RT
SH3	5,3	66,5	1,81	93	80 -T	61 -TB	73 -T	100 -RT
SH5	5,4	66	1,71	93	82 -T	68 -TB	74 -T	100 -RT
SH6	5,2	65	2,07	4.600	66 -TB	50 -K	67 -TB	89 -T
SH7	5,6	59,5	1,86	1.100	80 -T	60 -TB	69 -TB	100 -RT
SH8	5,5	61	1,64	1.500	84 -T	61 -TB	70 -TB	100 -RT

(*) Giới hạn của Quy chuẩn kỹ thuật về CLN mặt (QCVN 08-MT:2015/BTNMT, trích xuất từ Bảng 3.1): DO = 6 mg/L (giới hạn A1) và 5 mg/L (giới hạn A2); TSS = 50 mg/L (giới hạn B1) và 100 mg/L (giới hạn B2); Fe = 1.5 mg/L (giới hạn B1) và 2 mg/L (giới hạn B2); tổng coliform (TC) = 2500 MPN/100 mL (giới hạn A1) và 5000 MPN/100 mL (giới hạn A2).

- NSF-WQI_M: Chỉ số NSF-WQI tính theo công thức tích; Khi tính NSF-WQI, đã chấp nhận: thay thông số TC cho thông số fecal coliform, và thông số TS = TDS + TSS (chỉ số NSF-WQI gốc có tính đến fecal coliform và TS);

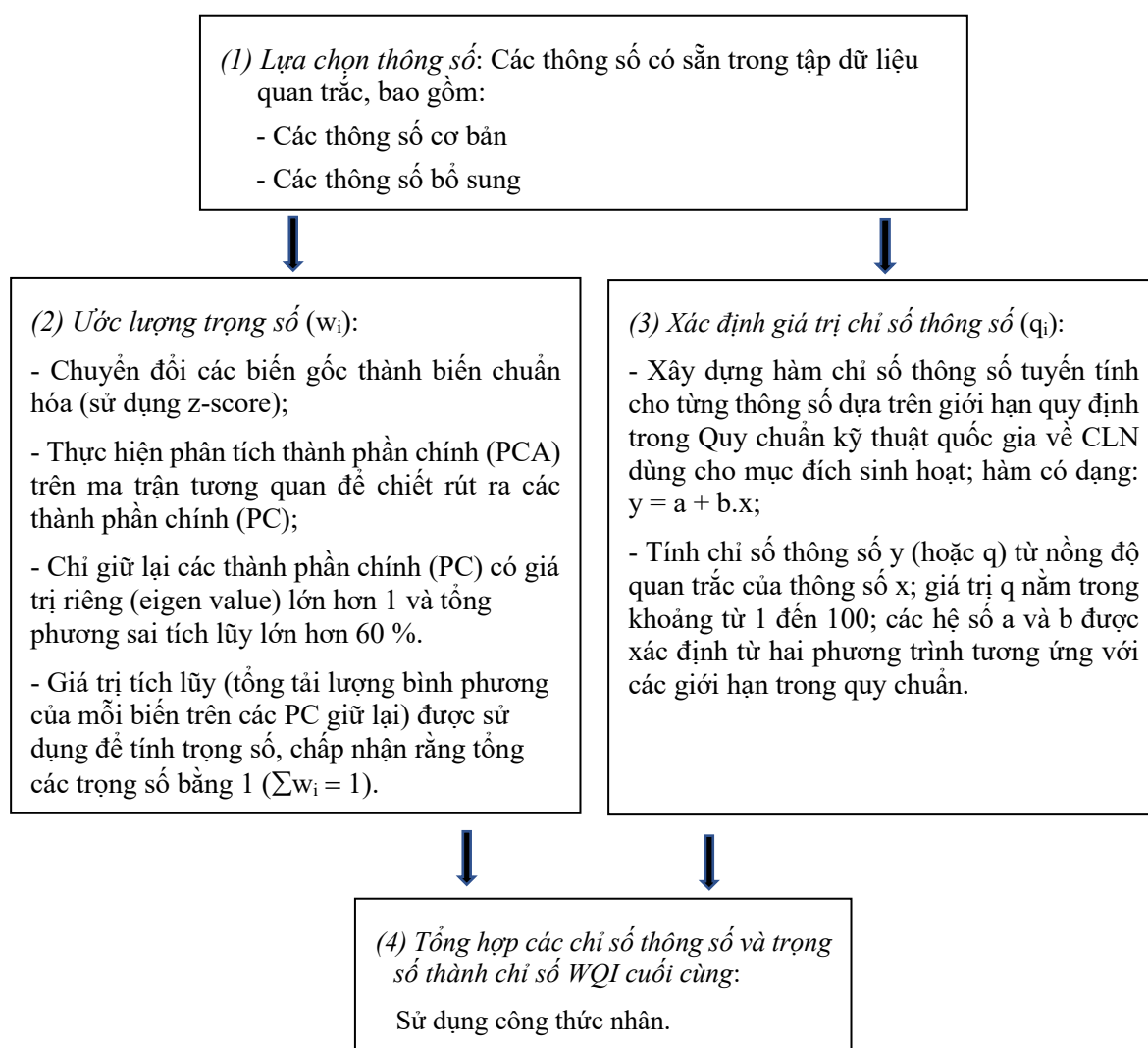
- NSF-WQI_A: Chỉ số NSF-WQI tính theo công thức tổng;

- Các giá trị WQI và VN-WQI sử dụng chung thang phân loại CLN của Tổng cục Môi trường ban hành năm 2019 nêu ở Bảng 2.4; Thang phân loại CLN theo chỉ số CLN NSF-WQI nêu ở Bảng 2.4.

Cũng thấy rằng, chỉ số NSF-WQI_A phản ánh CLN ít nhạy hơn (hay nó bị mắc tính ‘mập mờ’ hoặc/và ‘che khuất’) và ‘lạc quan’ hơn so với chỉ số WQI mới và NSF-WQI_M: 5/8 trường hợp (từ vị trí TT đến SH5), mặc dù có một hoặc một vài thông số vượt mức cho phép, nhưng chỉ số NSF-WQI_A vẫn phản ánh CLN TỐT, nhưng chỉ số WQI mới chỉ phản ánh 3 trường hợp TỐT, 3 trường hợp TRUNG BÌNH; trong khi chỉ số NSF-WQI_M phản ánh cả 5 trường hợp là CLN TRUNG BÌNH; còn chỉ số VN-WQI đều phản ánh là CLN RẤT TỐT hoặc TỐT và như vậy là VN-WQI phản ánh CLN kém thực tế (hay nó bị mắc tính ‘mập mờ’).

Mặt khác, tuy một số thông số CLN lựa chọn, trọng số và chỉ số thông số có khác nhau trong các chỉ số chất lượng nước được so sánh ở bảng trên, nhưng có thể cho rằng, so với các chỉ số NSF-WQI_M, NSF-WQI_A và VN-WQI, WQI mới phù hợp hơn trong phản ánh CLN nước sông Hương. Điều này cũng cho phép kết luận rằng, WQI đã khắc phục được tính ‘che khuất’ và ‘mập mờ’ trong phản ánh CLN. Chỉ số VN-WQI bị mắc tính ‘mập mờ’ trong phản ánh CLN do các thông số TDS (hoặc EC hoặc Cl⁻), TSS và Fe không được tính đến trong mô hình chỉ số VN-WQI.

Từ các kết quả thu được ở trên, đã xuất quy trình tổng quát xây dựng WQI như ở Hình 3.3.



Hình 3.3. Sơ đồ quy trình tổng quát xây dựng WQI

Các giá trị WQI đề xuất được tính toán bằng công thức tích (3.1) với các chỉ số thông số và trọng số tương ứng. Kết quả của các WQI được trình bày trong Bảng 3.5.

$$WQI = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} = q_{pH}^{0.10} \times q_{EC}^{0.12} \times q_{TSS}^{0.11} \times q_{DO}^{0.07} \times q_{BOD}^{0.10} \times q_{COD}^{0.11} \times q_{N.NH4}^{0.09} \times q_{N.NO3}^{0.07} \times q_{P.PO4}^{0.08} \times q_{Fe}^{0.06} \times q_{TC}^{0.09} \quad (3.1)$$

Như vậy, quy trình phát triển WQI (nêu ở Hình 3.4) là đáp ứng mục đích đề ra: dễ hiểu, dễ áp dụng trong đánh giá CLN sông Hương. Đây cũng là một điểm mới của nghiên cứu luận án. Dưới đây sẽ áp dụng thí điểm quy trình đó trong đánh giá CLN sông Lam và sông Ba ở miền Trung, đồng thời để tiếp tục kiểm chứng chỉ số WQI đề xuất.

3.2. ÁP DỤNG CHỈ SỐ CHẤT LƯỢNG NƯỚC VÀO THỰC TẾ

Chỉ số WQI xây dựng được áp dụng cho việc đánh giá CLN các sông ở miền Trung (sông Hương, sông Lam và sông Ba) giai đoạn 2017-2021.

3.2.1. Sông Hương

Tập dữ liệu quan trắc 11 thông số CLN lựa chọn ($n = 11$) được thu thập từ Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường tỉnh Thừa Thiên Huế (cũ), nay là thành phố Huế trong giai đoạn 2017–2020 được sử dụng để áp dụng kiểm chứng WQI nêu ở mục 3.1.2.5. Kết quả kiểm chứng này cho thấy sự phù hợp của WQI nên có thể xem là kết quả áp dụng WQI xây dựng được vào thực tế đánh giá CLN sông Hương và sử dụng để so sánh với CLN của các sông khác ở miền Trung.

3.2.2. Sông Lam

3.2.2.1. Sơ lược về chất lượng nước sông Lam

Dữ liệu quan trắc CLN sông Lam giai đoạn 2020 – 2021 được sử dụng để tính WQI và đánh giá CLN là dữ liệu do Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường tỉnh Nghệ An cung cấp là dữ liệu quan trắc ở 18 vị trí với tần suất 3 - 6 đợt/năm (tháng 1, 3, 5, 7, 9 và 11). Các vị trí quan trắc bao gồm:

SL1, SL5 là vị trí *Nền*; các vị trí SL2, SL3, SL4, SL6 – SL17 là các vị trí *Tác động*, SL18 là vị trí *Xu thế*. Các vị trí cụ thể như sau:

- SL1 và SL2: Sông Nậm Mộ - Khe Huổi Giang, xã Tà Cạ và sông Nậm Mộ - cầu Mường Xén, Thị trấn Mường Xén (huyện Kỳ Sơn (cũ));
- SL3 và SL4: Sông Lam (hạ lưu điểm hợp lưu) - cầu treo Cửa Rào, xã Xá Lượng và sông Nậm Non (cầu dân sinh) - hạ lưu thủy điện Bản Vẽ, xã Yên Na (huyện Tương Dương (cũ));
- SL5 và SL6: Sông Giăng - hạ lưu đập Phà Lải, xã Môn Sơn và sông Lam - cầu treo Thanh Nam, xã Bồng Khê (huyện Con Cuông (cũ));
- SL7 và SL8: Sông Lam - bến đò Cây Chanh, xã Đình Sơn và cầu Khai Sơn, xã Khai Sơn (huyện Anh Sơn (cũ));
- SL9: Sông Lam - Ba ra Đô Lương, thị trấn Đô Lương (huyện Đô Lương (cũ));
- SL10, SL11 và SL12: Sông Lam - cầu Dừng, gần điểm bơm cấp nước cho nhà máy nước; cầu Rộ, xã Võ Liệt và sông Rào Gang - cầu Thanh Ngọc, Xã Thanh Ngọc (huyện Thanh Chương (cũ));
- SL13: Sông Lam - Ba ra Nam Đàn mới, thị trấn Nam Đàn (huyện Nam Đàn (cũ));
- SL14, SL15 và SL16: Sông Đào - cầu Mung, Khối 8, thị trấn Hưng Nguyên; trạm bơm nước Cầu Mượu, xã Hưng Đạo và sông Kẽ Gai - đoạn qua Khu công nghiệp VSIP, cầu chợ Già (huyện Hưng Nguyên (cũ));
- SL17: Sông Lam - cầu Bến Thủy 2, phường Bến Thủy (TP. Vinh (cũ));
- SL18: Sông Lam - xóm Bình Minh, xã Phúc Thọ (huyện Nghi Lộc (cũ)).

Cũng tương tự như đối với sông Hương, ở đây chỉ tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả cho tập dữ liệu quan trắc 11 thông số lựa chọn trong giai đoạn 2020-2021 (Bảng 3.7).

Sơ bộ đánh giá, trong nhiều trường hợp, một số thông số CLN chỉ đạt mức B1 hoặc B2 như: TSS, BOD5, COD, N-NH4, Fe và EC ở vị trí SL16 và SL17 (năm 2020) và SL17, SL18 (năm 2021)

So sánh các kết quả quan trắc CLN sông Lam với các mức giới hạn được quy định trong QCVN 08-MT:2015/BTNMT cho thấy, phần trăm số liệu về các thông số CLN chỉ đạt loại B1 (7,1 %), chỉ đạt loại B2 (2,2 %) và không đạt loại B2 (1,3 %). Tức là, tổng cộng phần trăm số liệu về các thông số CLN không đạt loại A2 là **10,6 %**.

Bảng 3.7. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả cho 11 thông số của tập dữ liệu CLN sông Lam, 2020 – 2021 (N = 156) (*)

Đại lượng thống kê	pH -	EC μS/cm	DO mg/L	TSS mg/L	BOD5 mg/L	COD mg/L	N-NO ₃ mg/L	N-NH ₄ mg/L	P-PO ₄ mg/L	Fe mg/L	TC MPN/100 mL
Min	6,2	15	0,3	7	3,7	9,7	0,80	0,07	0,05	0,06	48
Max	8,7	12723	9,8	462	17,6	72,6	3,19	6,57	0,29	4,22	3.850
Trung bình	7,3	397	6,9	35	4,3	14,9	0,92	0,19	0,06	0,46	310
S	0,4	1723	1,5	48	1,7	7,4	0,29	0,57	0,03	0,64	432
Trung vị	7,2	123	7,3	22	3,7	13,4	0,80	0,07	0,05	0,22	191
MAD	0,4	559	1,2	26	0,9	4,3	0,17	0,20	0,01	0,41	213
Tứ phân vị 1	7,0	73	6,2	12	3,7	10,3	0,80	0,07	0,05	0,12	129
Tứ phân vị 3	7,6	138	7,9	44	4,1	16,6	0,90	0,07	0,05	0,50	336
CV (%)	6	434	22	136	40	49	31,42	303,30	54,93	140,23	139
QCVN 08: A1	6-8,5	1.153	≥ 6	20	4	10	2	0,3	0,1	0,5	2.500
A2	6-8,5	1.538	≥ 5	30	6	15	5	0,3	0,2	1	5.000
B1	5,5-9	3.077	≥ 4	50	15	30	10	0,9	0,3	1,5	7.500
B2	5,5-9		≥ 2	100	25	50	15	0,9	0,5	2	10.000
E	1	5	18	58	11	50	0	16	3	20	0

(*) QCVN 08: Như ở Bảng 3.1. Các đại lượng S, MAD, Quartile 1, Quartile 3, CV, E: như ở Bảng 3.1. Các ký hiệu N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, BOD: như ở Bảng 3.1.

3.2.2.2. Tính toán WQI của sông Lam

Kết quả tính toán chỉ số thông số q_i , chỉ số WQI và phân loại CLN sông Lam các năm 2017 và 2019 được nêu ở Phụ lục 1. Kết quả này cho thấy, phần trăm các giá trị WQI thuộc loại TRUNG BÌNH (với $WQI = 52 - 74$) là 6,4 % và thuộc loại KÉM (với $WQI = 27 - 44$) là 4,5 %, tổng cộng là **10,9 %**; Các trường hợp còn lại đều thuộc loại TỐT đến RẤT TỐT (89,1 %). Như vậy, kết quả đánh giá CLN qua WQI và qua các thông số riêng biệt là hoàn toàn phù hợp nhau.

Kết quả này cho thấy sự phù hợp của WQI xây dựng được vào thực tế đánh giá CLN sông Lam và sử dụng để so sánh với CLN của các sông khác ở miền Trung.

3.2.3. Sông Ba

3.2.3.1. Sơ lược về chất lượng nước sông Ba

Dữ liệu quan trắc CLN sông Ba các năm 2017 và 2019 ($N = 51$) được sử dụng để tính WQI và đánh giá CLN là dữ liệu do Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường tỉnh Phú Yên (cũ) cung cấp là dữ liệu quan trắc ở 9 vị trí với tần suất 3 đợt/năm (tháng 4, 8, 10/2017 và tháng 3, 7, 10/2019). Các vị trí quan trắc bao gồm, M1 là vị trí *Nền*, các vị trí M2 – M8 là các vị trí *Tác động*, M9 là vị trí *Xu thế*. Các vị trí cụ thể như sau:

- M1: Đầu nguồn sông Ba, xã K'Rông Pa (huyện Sơn Hòa (cũ));
- M2: Trạm bơm Thành Hội, thôn Thành Hội, xã Sơn Hà (huyện Sơn Hà (cũ));
- M3: Thượng lưu đập Đồng Cam, xã Hòa Hội (huyện Phú Hòa (cũ));
- M4: Xã Hòa Định Tây (huyện Phú Hòa (cũ));
- M5: Hạ lưu đập Đồng Cam, xã Hòa Hội (huyện Phú Hòa (cũ));
- M6: Cầu Đồng Bò, xã Hòa Phú (huyện Tây Hòa) – hạ lưu Công ty Cổ phần Mía đường Tuy Hòa;
- M7: Hạ lưu điểm giao sông Đồng Bò và sông Ba, xã Hòa Phú (huyện Tây Hòa (cũ));
- M8: Cầu sông Chùa, phường 1 (thành phố Tuy Hòa (cũ));
- M9: Cách cửa sông Đà Diễn 1,5 km về phía thượng lưu, phường 4 (thành phố Tuy Hòa (cũ)).

Lựa chọn 11 thông số CLN cho quy trình phát triển chỉ số WQI ở Hình 3.3. Bảng 3.8 trình bày thống kê mô tả cho từng thông số bao gồm: giá trị trung bình, độ

lệch chuẩn, giá trị cực đại, cực tiểu và so sánh với các giới hạn trong QCVN 08-MT:2015/BTNMT (cho các mục đích sử dụng nước mặt loại A1 đến B2).

Một số dữ liệu có CLN thuộc loại trung bình và kém là do nồng độ của một số thông số CLN khá cao, không đạt loại B1 hoặc B2, chủ yếu là do ở cuối nguồn (vị trí TK5), sông bị nhiễm mặn đáng kể (thông số EC rất cao), nên làm giảm mạnh giá trị WQI. Thêm vào đó, ở vị trí TK5, nồng độ BOD5, COD, N-NH₄, Fe và TC cũng cao hơn so với các vị trí khác.

So sánh các kết quả quan trắc CLN sông Ba với các mức giới hạn được quy định trong QCVN 08-MT:2015/BTNMT cho thấy, phần trăm số liệu về các thông số CLN chỉ đạt loại B1 (13,9 %), loại B2 (4,8 %) và không đạt loại B2 (2,9 %). Tức là, tổng cộng phần trăm số liệu về các thông số CLN không đạt loại A2 là **32,4 %**.

3.2.3.2. Tính toán WQI của sông Ba

Kết quả tính toán chỉ số thông số q_i, WQI và phân loại CLN sông Ba các năm 2017 và 2019 được nêu ở Phụ lục 2. Kết quả này cho thấy, phần trăm các giá trị WQI thuộc loại TRUNG BÌNH (với WQI = 51 – 75) là 27,5 % (14/51 số liệu), thuộc loại KÉM (với WQI = 34 - 41) là 5,9 % (3/51 số liệu) và RẤT KÉM (với WQI = 16) là 2 % (1/51 số liệu), tổng cộng là **35,4 %**; Các trường hợp còn lại đều thuộc loại TỐT đến RẤT TỐT (64,6 %). Như vậy, kết quả đánh giá CLN qua WQI và qua các thông số riêng biệt là hoàn toàn phù hợp nhau.

Kết quả này cho thấy sự phù hợp của WQI xây dựng được vào thực tế đánh giá CLN sông Ba và sử dụng để so sánh với CLN của các sông khác ở miền Trung.

Bảng 3.8. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả cho 11 thông số của tập dữ liệu CLN sông Ba, 2017 và 2019 ($N = 51$) (*)

Đại lượng thống kê	pH -	EC $\mu\text{S/cm}$	DO mg/L	TSS mg/L	BOD mg/L	COD mg/L	N-NH ₄ mg/L	N-NO ₃ mg/L	P-PO ₄ mg/L	Fe mg/L	TC MPN/100 mL
Min	6,2	16	4,0	1	1,5	3,0	0,01	0,06	0,01	0,03	200
Max	8,4	31.583	7,2	91	41,0	70,0	1,28	2,15	0,29	1,35	23.000
Trung bình	7,5	1.305	5,6	27	8,0	23,3	0,53	0,41	0,09	0,42	2.857
S	0,5	4.855	0,8	23	7,9	13,3	0,35	0,47	0,08	0,44	5.060
Trung vị	7,6	117	5,6	18	5,0	23,0	0,57	0,22	0,10	0,24	1.500
MAD	0,3	2.116	0,7	19	5,1	9,8	0,30	0,32	0,07	0,37	2.568
Tứ phân vị 1	7,4	74	5,1	12	4,0	14,0	0,19	0,17	0,01	0,06	725
Tứ phân vị 3	7,8	159	6,0	37	7,5	30,0	0,80	0,40	0,16	0,70	2.400
CV (%)	6	372	15	85	99	57	64,91	115,17	82,66	104,41	177
QCVN 08: A1	6-8,5	1.153	≥ 6	20	4	10	2	0,3	0,1	0,5	2.500
A2	6-8,5	1.538	≥ 5	30	6	15	5	0,3	0,2	1	5.000
B1	5,5-9	3.077	≥ 4	50	15	30	10	0,9	0,3	1,5	7.500
B2	5,5-9		≥ 2	100	25	50	15	0,9	0,5	2	10.000
E	51	0	6	2	45	0	0	0	27	51	0

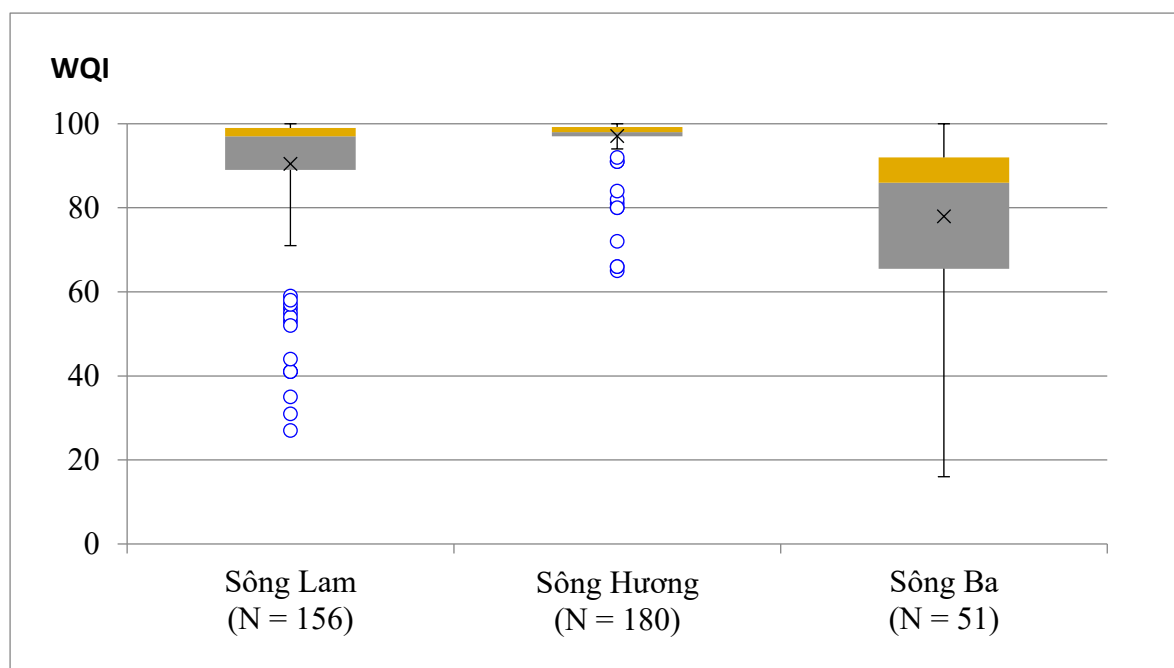
(*) QCVN 08: Như ở Bảng 3.1. Các đại lượng S, MAD, Quartile 1, Quartile 3, CV, E: như ở Bảng 3.1. Các ký hiệu N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, BOD: như ở Bảng 3.1.

So sánh CLN các sông giai đoạn 2017-2021:

Tiến hành so sánh chỉ số chất lượng nước sông Lam, sông Hương và sông Ba trong giai đoạn 2017-2021. Biến động chất lượng nước các sông được nêu ở Hình 3.4
Hình 3.4 cho thấy:

- Dữ liệu WQI của 3 sông đều không tuân theo phân bố chuẩn ($p < 0,0001$; Shapiro-wilk test), nên áp dụng kiểm định Kruskal – Wallis và phân tích tiếp theo bằng Dun's test cho các tập dữ liệu đó. Kết quả cho thấy: Chất lượng nước các sông (đánh giá qua WQI) khác nhau ($p < 0,00001$); Sông Hương có CLN tốt nhất (giá trị trung vị của WQI là 98), tiếp đến CLN sông Lam (giá trị trung vị của WQI là 97), kém nhất là sông Ba (giá trị trung vị của WQI là 86) với $p < 0,0001$.

- Sông Hương có một số trường hợp CLN đạt loại TRUNG BÌNH, còn sông Lam, đặc biệt là sông Ba có nhiều số liệu WQI ứng với CLN loại TRUNG BÌNH đến KÉM/RẤT KÉM.



Hình 3.4. Chỉ số WQI của 3 sông ở miền Trung giai đoạn 2017-2021

Cũng cần thấy rằng, so sánh CLN các sông (dựa vào chỉ số WQI) ở trên là chỉ trong giai đoạn ngắn (2017-2021). Để so sánh đại diện hơn, cần tiếp tục áp dụng chỉ số WQI cho các sông trong giai đoạn dài hơn nữa.

3.3. XÂY DỰNG CHỈ SỐ CHẤT LƯỢNG NƯỚC DƯỚI ĐẤT

Nghiên cứu xây dựng chỉ số WQI ở trên đã đề xuất quy trình tổng quát phát triển chỉ số chất lượng nước. Áp dụng quy trình đó, nghiên cứu này sẽ xây dựng chỉ số chất lượng nước dưới đất (GWQI).

3.3.1. Sơ lược về chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ)

Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả đối với tập dữ liệu CLN dưới đất của tỉnh Quảng Trị (cũ) trong giai đoạn 2016-5/2019 được nêu trong Bảng 3.9, có $N = 163$. Từ tập dữ liệu này và áp dụng quy trình tổng quát phát triển chỉ số chất lượng nước nêu ở Hình 3.3, GWQI sẽ được xây dựng theo quy trình đó.

- *Đánh giá mức độ biến động của dữ liệu (CV%)*: Kết quả ở Bảng 3.9 cho thấy, hầu hết các thông số biến động mạnh (có S xung quanh trung bình số học hoặc lớn hơn) gồm: TC (CV = 613 %) > SO_4 (491 %) > TDS (472 %) > Hard (356 %) > N- NH_4 (252 %) > Fe (221 %) > N- NO_3 (192 %) > Mn (151 %) > COD (72 %).

- *So sánh với QCVN 01-1:2018/BYT (viết tắt là QCVN 01)*: trong giai đoạn 2016-5/2019 có 78,3 % số số liệu (đối với từng thông số) đạt QCVN 01, tức là có **21,7 %** số số liệu vượt giới hạn quy định. Đáng quan tâm là khu vực nuôi tôm xã Triệu Vân (cũ) (NN30b) chất lượng nước dưới đất suy giảm đáng kể do bị nhiễm mặn, nước có độ cứng, sulphat và tổng chất rắn hòa tan cao do ảnh hưởng từ hoạt động nuôi tôm nước lợ trên cát. Tại khu vực xã Gio Hải (cũ) (NN47) và điểm khai thác Titan xã Gio Mỹ (cũ) (NN63), khu vực xã Gio Việt (cũ) (NN9) và xã Hải Phong (cũ) (NN15) có nồng độ N- NH_4 vượt giới hạn quy định. Tại khu vực xã Gio Việt (cũ) (NN9) có nồng độ N- NO_3 vượt giới hạn quy định của QCVN 01.

Bảng 3.9. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả đối với 10 thông số của tập dữ liệu CLN dưới đất
ở tỉnh Quảng Trị (cũ) trong giai đoạn 2016-5/2019 (N = 163) ^(*)

Đại lượng thống kê	pH	TDS (mg/L)	Hard (mg/L)	SO4 (mg/L)	COD (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	TC (MPN/100 mL)
Min	3,6	36	8	3	0,50	0,02	0,03	0,02	0,01	3
Max	8,5	37.543	4.926	1.861	6,00	7,83	14,50	6,89	1,14	4.600
Trung bình	-	1.138	165	31	1,4	0,29	1,71	0,44	0,12	84
S	-	5.371	587	151	1,0	0,73	3,29	0,97	0,18	517
Trung vị	5,9	199	57	7	1,0	0,06	0,49	0,08	0,04	3
MAD	0,7	103	38	4	0,5	0,04	0,45	0,06	0,02	0
Tứ phân vị 1	5,4	109	34	3	0,34	0,02	0,07	0,03	0,02	3
Tứ phân vị 3	6,7	335	127	20	1,48	0,20	1,43	0,27	0,13	8
CV (%)	-	472	356	491	72	252	192	221	151	613
RSD(Horwitz)	-	6,0	7,0	7,0	14,4	19,2	14,4	19,2	22,6	14
QCVN 01-1	6,0-8,5	1.000	300	250	2,0	0,3	2,0	0,3	0,1	3
E	84	12	8	2	39	33	26	38	49	62

^(*) S: độ lệch chuẩn. MAD: độ lệch tuyệt đối trung bình. Quartile 1: tứ phân vị 1. Quartile 3: tứ phân vị 3. CV (hệ số biến động) = $(S \times 100) / \text{Trung bình}$. RSD(Horwitz): độ lệch chuẩn được tính từ phương trình Horwitz với C_0 là số thập phân (C_0 là mức giới hạn đối với thông số được quy định trong QCVN 01-1). QCVN 01-1: QCVN 01-1:2018/BYT về CLN sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt. E: Số kết quả quan trắc thông số vượt mức cho phép của QCVN 01-1.

3.3.2. Lựa chọn các thông số chất lượng nước dưới đất

Trong giai đoạn 2016-2019, Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường, tỉnh Quảng Trị (cũ) đã thực hiện quan trắc các thông số: nhiệt độ, pH, TDS, độ cứng (Hard), COD, N-NH₄, N-NO₃, SO₄, TC, tổng sắt tan (Fe) và tổng mangan tan (Mn). Ngoài các thông số đó, một số kim loại độc và hóa chất bảo vệ thực vật nhóm clo cũng được quan trắc nhưng không thường xuyên. Mặt khác, do dữ liệu về nồng độ tổng kim loại độc hòa tan và các hóa chất bảo vệ thực vật nhóm clo đó đều hoặc nhỏ hơn giới hạn phát hiện của phương pháp phân tích (LOD), hoặc rất nhỏ so với giá trị giới hạn được quy định trong QCVN 01-1:2018/BYT, nên không được đưa ra ở đây.

Các Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường ở miền Trung đã áp dụng các phương chuẩn theo QCVN hiện hành trong quan trắc/phân tích CLN dưới đất. Các hoạt động đảm bảo chất lượng (QA) và kiểm soát chất lượng (QC) trong quá trình quan trắc ở hiện trường và phân tích trong phòng thí nghiệm đều tuân thủ đúng các hướng dẫn về hoạt động quan trắc môi trường, nên các kết quả quan trắc thu được đều tin cậy.

Tiêu chí để lựa chọn các thông số CLN trong xây dựng chỉ số GWQI bao gồm:

(i) Các thông số CLN dưới đất lựa chọn phải đặc trưng cho đặc điểm lý – hóa – sinh của nguồn nước; Để khắc phục tính “cứng nhắc” của chỉ số chất lượng nước nói chung, cần bổ sung thêm thông số đại diện cho các nguồn nước dưới đất ở các tỉnh miền Trung.

(ii) Các thông số CLN dưới đất lựa chọn phải được quan trắc thường xuyên trong chương trình quan trắc môi trường hàng năm ở các địa phương (tỉnh/thành) và được quy định trong QCVN hiện hành (QCVN 01-1:2018/BYT).

Từ các thông số quan trắc và các tiêu chí ở trên, tám thông số cơ bản (pH, TDS, Hard, SO₄, COD, N-NH₄, N-NO₃, TC) và 02 thông số bổ sung (Fe và Mn) được chọn để xây dựng GWQI (tổng số thông số được chọn là $n = 10$). Các thông số pH, TDS, độ cứng và SO₄²⁻ thể hiện đặc điểm địa hóa của nguồn nước; thông số COD chỉ thị cho mức nhiễm các chất hữu cơ, thông số N-NH₄, N-NO₃ chỉ thị cho mức nhiễm các chất dinh dưỡng; thông số TC chỉ thị cho mức nhiễm vi khuẩn có nguồn gốc từ phân người và phân động vật. Do sắt và mangan thường có mặt trong cấu trúc địa

chất và nồng độ muối (TDS) trong nước dưới đất thường cao hơn trong các nguồn nước ngọt và do vậy, chúng dễ bị ngấm chiết vào nước dưới đất (do muối đã hòa tan nhiều sắt và mangan vào nước). Nói cách khác, sắt và mangan luôn luôn có mặt trong nước dưới đất. Thông số Fe và Mn là hai thông số được chọn thêm khi xây dựng GWQI. Mặt khác, các kim loại độc và hóa chất bảo vệ thực vật nhóm clo cũng không được đưa vào tính chỉ số GWQI. Lý do giải thích cho điều này tương tự như đối với nghiên cứu xây dựng chỉ số WQI ở trên.

Mười thông số CLN dưới đất được chọn cũng là những thông số cơ bản được quan trắc thường xuyên trong chương trình quan trắc môi trường ở các địa phương miền Trung. Các thông số đó cũng được quy định trong QCVN 01-1:2018/BYT và QCVN 09-MT:2015/BTNMT (nay là QCVN 09-MT:2023/BTNMT) về CLN dưới đất cho đa mục đích sử dụng. Song, ở hầu hết các vùng nông thôn miền Trung, nước dưới đất chủ yếu được dùng cho mục đích sinh hoạt và tiêu chuẩn CLN cho sinh hoạt (do Bộ Y tế ban hành) cao hơn so với tiêu chuẩn CLN cho đa mục đích (do Bộ TNMT ban hành), nên trong nghiên cứu này, để xây dựng chỉ số GWQI, QCVN 01-1:2018/BYT được dùng để xây dựng các hàm tuyến tính xác định chỉ số phụ qi của các thông số CLN lựa chọn.

3.3.3. Trọng số của các thông số chất lượng nước dưới đất

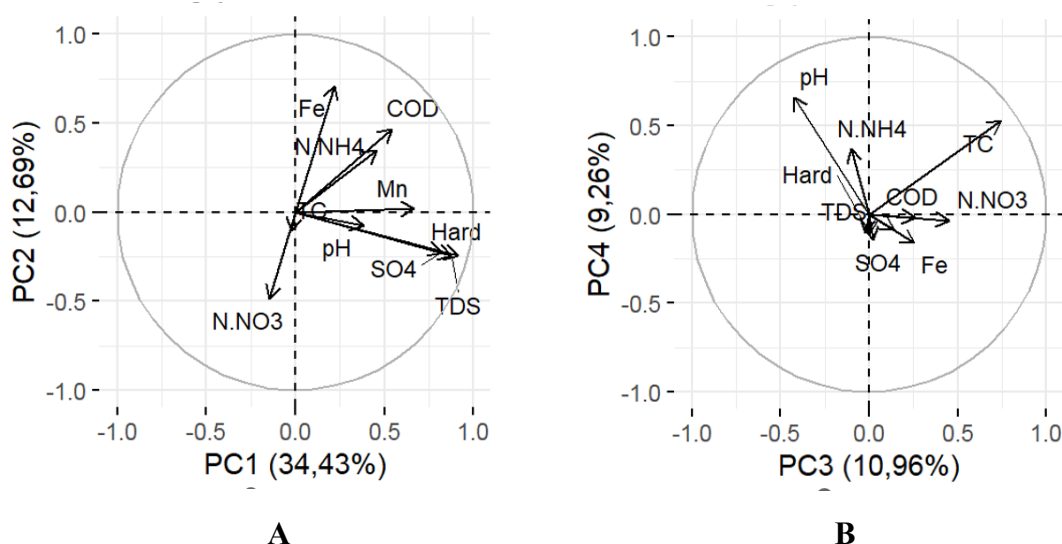
Tương tự khi nghiên cứu xây dựng WQI, trong nghiên cứu này, phương pháp PCA cũng được sử dụng để xác định trọng số w_i của 10 thông số CLN lựa chọn ($i = 1 - 10$). Tập dữ liệu CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ) giai đoạn 2016-2019 được dùng để xác định w_i . Thực hiện thuật toán PCA trên ma trận tương quan của 10 biến (thông số CLN dưới đất) x_{ij} ($i = 1 - n$ với n là số biến; $j = 1 - N$, N là số mẫu hay số số liệu của mỗi thông số CLN dưới đất) đã được biến đổi thành biến chuẩn hóa z_{ij} , thu được 10 thành phần chính (PV) với các giá trị riêng của chúng (Bảng 3.10). Từ kết quả ở bảng đó, chỉ giữ lại bốn (04) PC đầu tiên (PC1 – PC4), vì chúng có tổng phương sai tích lũy trên 67,3 % và giá trị riêng của mỗi PC đó ≥ 1 [26], [40]. Phần trăm phương sai còn lại (32,7 %) được gán cho 'nhiều' hay biến động nền của tập dữ liệu gốc.

Bảng 3.10. Giá trị riêng, phần trăm phương sai và phương sai tích lũy của các thành phần chính

Thành phần chính (PC)	Giá trị riêng	Phần trăm phương sai	Phương sai tích lũy
PC1	3,44	34,43	34,43
PC2	1,27	12,69	47,12
PC3	1,10	10,96	58,08
PC4	0,93	9,26	67,34
PC5	0,88	8,81	76,15
PC6	0,76	7,61	83,76
PC7	0,70	7,00	90,75
PC8	0,57	5,65	96,41
PC9	0,31	3,07	99,48
PC10	0,05	0,52	100,00

Bảng 3.11 chỉ ra tải lượng yếu tố của các biến trên 4 PC giữ lại. Biểu diễn tải lượng yếu tố trên mặt phẳng tọa độ PC1-PC2 và PC3-PC4 ở Hình 3.5.

Hình 3.5 là biểu diễn tải lượng (loading plot) của các biến trên mặt phẳng tọa độ PC1-PC2 và PC2-PC3.



Hình 3.5. Biểu diễn tải lượng của các thông số CLN dưới đất trên mặt phẳng tọa độ:

A. PC1-PC2 và B. PC3-PC4

Các kết quả ở Bảng 3.11 và Hình 3.5 cho thấy:

(i) Thành phần chính 1 (PC1) giải thích nhiều nhất phương sai của tập dữ liệu gốc (34,4 %). PC1 giải thích chủ yếu 03 biến (TDS, Hard, SO₄) với tải lượng mạnh (0,8 – 0,9); giải thích 03 biến (COD, Mn, N-NH₄) với tải lượng trung bình (0,5 – 0,7). Các biến còn lại có tải lượng yếu trên PC1 với tải lượng < 0,5. Các biến đó có tương quan thuận với PC1 và chúng đều tương quan thuận với nhau. (Hình 3.5.A).

Bảng 3.11. Tải lượng yếu tố của các thông số CLN dưới đất
trên bốn thành phần chính giữ lại

Thông số	PC1	PC2	PC3	PC4
pH	0,382	-0,077	-0,424	0,658
TDS	0,877	-0,245	-0,019	-0,102
Hard	0,912	-0,246	0,004	-0,109
SO ₄	0,824	-0,226	0,021	-0,146
COD	0,540	0,468	0,258	-0,018
N-NH ₄	0,459	0,349	-0,103	0,369
N-NO ₃	-0,145	-0,487	0,450	-0,035
Fe	0,220	0,709	0,252	-0,160
Mn	0,667	0,020	0,140	-0,089
TC	-0,023	-0,106	0,743	0,527

(ii) Thành phần thứ 2 (PC2) giải thích nhiều thứ 2 (12,7 %) phương sai của các biến gốc, giải thích chủ yếu biến Fe với tải lượng mạnh (0,71). Các biến còn lại có tải lượng yếu (< 0,5). PC2 có tương quan thuận với bốn (4) biến: Fe (0,71), COD (0,45), N-NH₄ (0,35) và Mn (0,02). Sau (6) biến còn lại có tương quan nghịch với tải lượng yếu tố trong khoảng từ -0,08 đến -0,49 (Hình 3.5.A)

(iii) Thành phần chính thứ 3 (PC3) giải thích ít hơn (11 %) phương sai của tập dữ liệu gốc. PC3 giải thích chủ yếu biến TC với tải lượng mạnh (0,74), giải thích các biến còn lại với tải lượng yếu (< 0,5). Thành phần PC3 có tương quan nghịch với ba (3) biến pH (-0,424), TDS (-0,019) và N-NH₄ (-0,103); tương quan thuận với bảy (7) biến còn lại ($\leq 0,45$). Thành phần PC4 giải thích chủ yếu biến TC với tải lượng mạnh (0,74) (Hình 3.5.B).

(iv) Thành phần PC4 chỉ giải thích 9,3 % phương sai của tập dữ liệu gốc và chủ yếu giải thích biến TC, pH với tải lượng trung bình (0,53 – 0,66). PC4 tương quan thuận với ba (3) biến pH, TC, N-NH₄ (0,34 – 0,66) và tương quan nghịch với bảy (7) biến còn lại ($\leq 0,16$) (Hình 3.5B).

Bảng 3.12. Tải lượng bình phương, tổng tích lũy (communality) và trọng số của các thông số CLN dưới đất (từ cao đến thấp)

Thông số	PC1	PC2	PC3	PC4	Tổng tích lũy	Trọng số
Hard	0,832	0,060	0,000	0,012	0,905	0,13
TDS	0,770	0,060	0,000	0,010	0,840	0,12
TC	0,001	0,011	0,552	0,278	0,842	0,12
pH	0,146	0,006	0,180	0,433	0,764	0,11
SO ₄	0,679	0,051	0,000	0,021	0,751	0,11
Fe	0,048	0,503	0,064	0,026	0,641	0,10
COD	0,291	0,219	0,067	0,000	0,577	0,09
N-NH ₄	0,211	0,121	0,011	0,136	0,479	0,08
N-NO ₃	0,021	0,237	0,203	0,001	0,462	0,07
Mn	0,445	0,000	0,020	0,008	0,473	0,07
Giá trị riêng (*)	3,443	1,269	1,096	0,926		1,00

(*) Giá trị riêng (eigen value) bằng tổng các tải lượng bình phương trong cột tương ứng. Tổng các giá trị riêng bằng tổng tích lũy (communality) của 10 thông số.

Để xác định trọng số w_i của các thông số, cần tính toán tải lượng bình phương, tổng tích lũy (communality) của mỗi biến trên bốn thành phần chính giữ lại. Từ đó, tính được trọng số w_i của mỗi thông số CLN (Bảng 3.12) với tổng các trọng số bằng 1. Trọng số w_i của mỗi thông số được tính toán dễ dàng bằng cách chia tổng tích lũy của nó cho tổng tích lũy của 10 biến trên 4 PC giữ lại (bằng 6,734; giá trị này cũng là tổng giá trị riêng của 4 PC giữ lại). Đóng góp lớn nhất là thông số Hard với tổng tích lũy = 0,905, nên nó có trọng số lớn nhất (0,13). Đóng góp nhỏ nhất là thông số N-NO₃ với tổng tích lũy = 0,462, nên nó có trọng số nhỏ nhất (0,07).

Kết quả ở Bảng 3.12 cho thấy:

- Thông số có trọng số cao nhất là Hard (0,13), thông số có trọng số thấp nhất là Mn (0,07) và N-NO₃ (0,07).

- Nhóm thông số có trọng số cao (0,11 – 0,13) gồm: Hard, TDS, TC, pH, SO₄. Về mặt hóa học môi trường, đây là các thông số phản ánh đặc điểm chính của nguồn nước dưới đất. Các thông số Hard, TDS, SO₄ phản ánh tác động của các yếu tố tự nhiên như: sự nhiễm muối hay mặn (làm tăng Hard, TDS, SO₄); thông số pH, tuy khá ổn định trong các nguồn nước, nhưng nó là thông số quan trọng đối với bất kỳ nguồn nước nào và nó có thể làm thay đổi dạng tồn tại của các ion/chất trong nước dưới đất; thông số TC phản ánh cả tác động nhân tạo và đây là một trong những đặc điểm khá phổ biến đối với các nguồn nước dưới đất (dạng giếng hở) ở nước ta. Các hoạt động sinh hoạt (rửa, tắm giặt...), chăn nuôi (gà, lợn), nhà vệ sinh... ở khu vực nông thôn thường được bố trí gần các giếng nước (giếng đào hoặc giếng hở), nên dễ làm cho nhiều nguồn nước dưới đất bị nhiễm các vi khuẩn có nguồn gốc phân. Mặt khác, thông số TC cũng rất quan trọng đối với các nguồn nước dưới đất dùng cho sinh hoạt, ăn uống.

- Nhóm thông số có trọng số thấp hơn ở trên (có trọng số 0,08 – 0,10) gồm các thông số N-NH₄, COD, Fe. Điều này cũng phù hợp với thực tế, vì chỉ một số (chứ không phải đa số) nguồn nước dưới đất ở khu vực miền Trung bị nhiễm amoni, chất hữu cơ và sắt. Amoni và chất hữu cơ phản ánh các tác động nhân tạo, còn Fe phản ánh tác động tự nhiên ở khu vực khảo sát.

- Hai thông số N-NO₃ và Mn có trọng số thấp nhất (đều bằng 0,07), vì chỉ ít trường hợp nguồn nước dưới đất ở khu vực miền Trung bị nhiễm Mn và N-NO₃. Thông số Mn phản ánh tác động tự nhiên (Mn thường đi kèm Fe trong các nguồn nước dưới đất), còn thông số N-NO₃ phản ánh tác động nhân tạo, chẳng hạn, do dùng nhiều phân nitơ (phân đạm) trong nông nghiệp, trồng cây trong vườn nhà...

Theo cách trên, phương pháp PCA đã giúp xác định trọng số của mỗi thông số CLN một cách khách quan, độc lập với cách xác định chủ quan theo ý kiến của các chuyên gia. Đây cũng là một trong những điểm mới của nghiên cứu luận án.

3.3.4. Chỉ số thông số của các thông số chất lượng nước dưới đất

Để thuận tiện cho người dùng chỉ số GWQI, hàm chỉ số thông số tuyến tính được thiết lập dựa trên các giới hạn cho phép trong Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về

CLN sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt do Bộ Y tế ban hành (QCVN 01-1:2018/BYT) [4] Cách xác định giá trị q_i ($q_i = y_i$) ứng với nồng độ quan trắc được của thông số i ($C_i = x_i$) được trình bày chi tiết ở mục 2.3.4 (ii).

Riêng đối với thông số pH, giá trị giới hạn được quy định là 6 – 8,5. Những giá trị pH quan trắc được nằm trong khoảng đó ứng với chỉ số q bằng 100. Những giá trị pH $\leq 5,0$ hoặc $\geq 9,5$, chỉ số q_i bằng 1. Như vậy, thông số pH có hai hàm tuyến tính ứng với 2 khoảng: $5,0 \leq \text{pH} < 6$ và $8,5 < \text{pH} \leq 9,5$.

Các đường tuyến tính và hàm (phương trình) tuyến tính xác định chỉ số thông số q_i đối với thông số CLN i (i có giá trị từ 1 đến 10) được nêu ở Hình 3.6. Các phương trình và chỉ số thông số q_i chi tiết như sau:

(1) Khi $5,0 \leq \text{pH} < 6$: $y = 99x - 445,5$; $8,5 < \text{pH} \leq 9,5$: $y = -99x + 951,5$; $6 \leq \text{pH} \leq 8,5$: $y = 100$; $\text{pH} < 5,0$ và $\text{pH} > 9,5$: $y = 1$.

(2) Khi nồng độ TDS ≤ 1000 mg/L: $y = 100$; 1000 mg/L $< \text{TDS} \leq 1170$ mg/L: $y = -0,5834x + 683,36$; TDS > 1170 mg/L: $y = 1$.

(3) Khi nồng độ Hard (tính theo CaCO_3) ≤ 300 mg/L: $y = 100$; 300 mg/L $< \text{Hard} \leq 361$ mg/L: $y = -1,6222x + 586,67$; Hard > 361 mg/L: $y = 1$.

(4) Khi nồng độ $\text{SO}_4 \leq 250$ mg/L: $y = 100$; 250 mg/L $< \text{SO}_4 \leq 302$ mg/L: $y = -1,894x + 573,5$; $\text{SO}_4 > 302$ mg/L: $y = 1$.

(5) Khi COD $\leq 2,0$ mg/L: $y = 100$; $2,0$ mg/L $< \text{COD} \leq 2,9$ mg/L: $y = -114,47x + 328,92$; COD $> 2,9$ mg/L: $y = 1$.

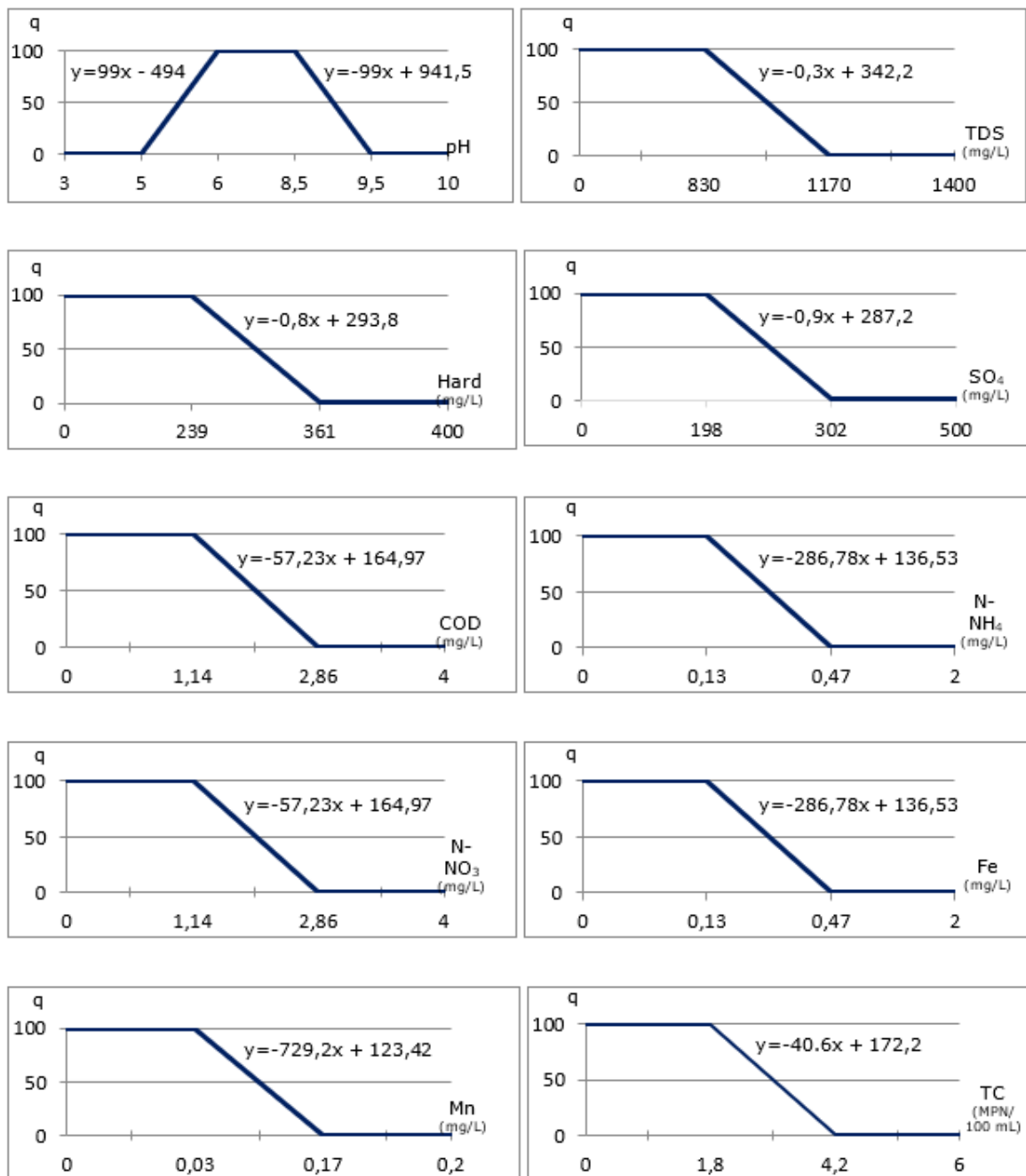
(6) Khi nồng độ N-NH₄ $\leq 0,3$ mg/L: $y = 100$; $0,3$ mg/L $< \text{N-NH}_4 \leq 0,47$ mg/L: $y = -573,55x + 272,07$; N-NH₄ $> 0,47$ mg/L: $y = 1$.

(7) Khi nồng độ N-NO₃ $\leq 2,0$ mg/L: $y = 100$; $2,0$ mg/L $< \text{N-NO}_3 \leq 2,86$ mg/L: $y = -573,55x + 272,07$; N-NO₃ $> 2,86$ mg/L: $y = 1$.

(8) Khi nồng độ Fe $\leq 0,3$ mg/L: $y = 100$; $0,3$ mg/L $< \text{Fe} \leq 0,47$ mg/L: $y = -573,55x + 272,07$; Fe $> 0,47$ mg/L: $y = 1$.

(9) Khi nồng độ Mn $\leq 0,1$ mg/L: $y = 100$; $0,1$ mg/L $< \text{Mn} \leq 0,17$ mg/L: $y = -1458,41x + 245,84$; Mn $> 0,17$ mg/L: $y = 1$.

(10) Khi nồng độ TC $\leq 3,0$ MPN/100 mL: $y = 100$; $3,0$ MPN/100 mL $< \text{TC} \leq 4,2$ MPN/100 mL: $y = -81,11x + 343,34$; TC $> 4,2$ MPN/100 mL: $y = 1$.



Hình 3.6. Đường tuyến tính và phương trình đối với mỗi thông số để chuyển nồng độ quan trắc được của thông số CLN ($C_i = x_i$) dưới đất trên trục hoành thành chỉ số thông số q_i trên trục tung ($q_i = y_i$). Các phương trình tuyến tính đối với mỗi thông số (trong một khoảng xác định) được thể hiện trên mỗi hình tương ứng.

3.3.5. Công thức tính chỉ số chất lượng nước dưới đất

Bước tiếp theo là tính giá trị GWQI cuối cùng với chỉ số GWQI là hàm của trọng số w_i và chỉ số thông số q_i của các thông số lựa chọn i . Nghiên cứu này cần tìm

được công thức tính GWQI phù hợp, tức là nhạy trong phản ánh CLN. Tiến hành so sánh kết quả theo các công thức tính GWQI và thang điểm khác nhau:

(i) Tính chỉ số GWQI đề xuất theo hàm tích - công thức (3.2) và hàm tổng - công thức (3.3).

$$GWQI_M = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (3.2)$$

$$GWQI_A = \sum_{i=1}^n q_i \times w_i \quad (3.3)$$

(ii) Tính chỉ số tham khảo $GWQI_{Ref}$ theo công thức (2.34).

Trong hầu hết các công bố trước đây, người ta phân loại CLN dưới đất theo thang nghịch: giá trị GWQI càng lớn, CLN càng kém và ngược lại. Cách phân loại như vậy không giống với cách phân loại WQI, nên dễ gây nhầm lẫn cho người dùng GWQI. Vì vậy:

(i) Để thuận tiện cho người dùng GWQI đề xuất, trong nghiên cứu này, tiến hành phân loại giá trị $GWQI_M$ và $GWQI_A$ theo thang thuận, tức là giá trị GWQI càng lớn, CLN càng tốt và ngược lại. Phân loại CLN dưới đất thành 5 mức theo thang điểm GWQI từ 1 đến 100 (Bảng 2.4).

(ii) Để so sánh, tiến hành phân loại giá trị $GWQI_{Ref}$ theo thang điểm nghịch (Bảng 2.4).

3.3.6. Kiểm chứng chỉ số chất lượng nước dưới đất

Tập dữ liệu CLN dưới đất giai đoạn 9/2019-2022 được sử dụng để kiểm chứng chỉ số GWQI. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả đối với tập dữ liệu CLN dưới đất của tỉnh Quảng Trị (cũ) trong giai đoạn 9/2019-2022 được nêu trong Bảng 3.13, có N bằng 152. Trong giai đoạn này dữ liệu chất lượng nước dưới đất là dữ liệu quan trắc theo mùa (mỗi năm 2 đợt, mùa khô – tháng 4-5 và mùa mưa – tháng 9-10) tại 25 vị trí quan trắc.

- *Đánh giá mức độ biến động của dữ liệu (CV%)*: Kết quả ở Bảng 3.13 cho thấy, hầu hết các thông số biến động mạnh (có S xung quanh trung bình số học hoặc lớn hơn) gồm: SO_4 (CV = 411 %) > TDS (397 %) > Hard (335 %) > $N-NH_4$ (263 %) > Fe (208 %) > $N-NO_3$ (190 %) > Mn (144 %) > TC (87 %) > COD (72 %).

- *So sánh với QCVN 01-1:2018/BYT (viết tắt là QCVN 01)*: trong giai đoạn 9/2019-2022 có 82,9 % số số liệu (đối với từng thông số) đạt QCVN 01, tức là có

17,1 % số số liệu vượt giới hạn quy định. Như vậy, hy vọng rằng, khi đánh giá qua GWQI cũng có khoảng tương đương các giá trị GWQI phản ánh CLN từ loại KÉM đến RẤT KÉM.

Tính toán giá trị GWQI đề xuất theo công thức tích (2.27), công thức tổng (2.28) và công thức khác (2.29) cho tập dữ liệu quan trắc CLN dưới đất giai đoạn 9/2019-2022, thu được các kết quả ở Phụ lục 3. Kết quả ở Phụ lục 3 cho thấy:

- Theo công thức tích: có **19,7 %** các giá trị $GWQI_M$ phản ánh CLN loại KÉM và RẤT KÉM;

- Theo công thức tổng: có **4 %** các giá trị $GWQI_A$ phản ánh CLN loại KÉM và RẤT KÉM.

- Theo phương pháp khác (chỉ số $GWQI_{Ref}$), chỉ số thông số q_i được theo công thức (2.30), trọng số w_i được tính theo công thức (1.4) và (1.5). Có **19,7 %** các giá trị $GWQI_{Ref}$ phản ánh CLN loại KÉM và RẤT KÉM.

Các kết quả trên chỉ ra rằng, chỉ số $GWQI_M$ và chỉ số $GWQI_{Ref}$ phản ánh CLN khá phù hợp nhau và phù hợp với đánh giá CLN dưới đất dựa vào thông số riêng biệt: có 17,1 % số số liệu vượt mức cho phép, trong khi có 19,7 % giá trị chỉ số $GWQI_M$ và chỉ số $GWQI_{Ref}$ phản ánh CLN loại KÉM và RẤT KÉM. Hai chỉ số đó phản ánh CLN phù hợp hơn so với chỉ số $GWQI_A$ (chỉ 4 % các giá trị chỉ số phản CLN loại KÉM và RẤT KÉM). Nói cách khác, $GWQI_A$ bị mắc tính ‘mập mờ’ và ‘che khuất’ trong phản ánh CLN dưới đất.

Tiếp tục kiểm chứng các chỉ số $GWQI_M$ đề xuất, chỉ số $GWQI_{Ref}$ và chỉ số $GWQI_A$ cho các trường hợp tới hạn - trường hợp có một hoặc một số thông số CLN vượt mức cho phép, thu được kết quả ở Bảng 3.14.

Bảng 3.13. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả đối với 10 thông số của tập dữ liệu CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ) trong giai đoạn 9/2019-2022 (N = 152) ^(*)

Đại lượng thống kê	pH	TDS (mg/L)	Hard (mg/L)	SO4 (mg/L)	COD (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	TC (MPN/100 mL)
Min	4,0	28	5	3	0,5	0,02	0,03	0,02	0,02	1
Max	8,6	28.520	5119	2283	6,0	5,66	17,40	8,76	1,32	9
Trung bình	-	1.139	269	92	1,2	0,31	1,91	0,50	0,12	1
S	-	4.522	900	377	0,9	0,81	3,63	1,04	0,17	1
Trung vị	6,5	180	67	7	1,0	0,04	0,25	0,09	0,05	1
MAD	0,9	1.710	356	147	0,6	0,42	2,48	0,60	0,11	0
Tứ phân vị 1	5,7	99	37	3	0,5	0,02	0,09	0,03	0,02	1
Tứ phân vị 3	7,2	287	118	23	1,5	0,13	1,34	0,38	0,13	1
CV (%)	-	397	335	411	72	263	190	208	144	87
RSD(Horwitz)	-	6	7	7	14,4	19,2	14,4	19,18	22,63	14
QCVN 01-1	6-8,5	1.000	300	250	2,0	0,30	2,00	0,30	0,10	3
E	55	24	12	6	10	23	32	47	45	6

^(*) QCVN 01-1: Như ở Bảng 3.4. Các đại lượng S, MAD, Quartile 1, Quartile 3, CV, E, RSD(Horwitz): như ở Bảng 3.4. Các ký hiệu N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, BOD: như ở Bảng 3.4.

Bảng 3.14. So sánh các chỉ số $GWQI_M$, $GWQI_A$, $GWQI_{Ref}$ và phân loại CLN đối với một số trường hợp của tập dữ liệu nước dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ) giai đoạn 9/2019-2022^(*)

STT	pH	TDS (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	$GWQI_M$ - Phân loại	$GWQI_A$ - Phân loại	$GWQI_{Ref}$ - Phân loại
79	4,7 ^(a)	1.100 ^(a)	9,15 ^(a)	36-K	72-T	29-RT
81	4,8 ^(a)	161	11,65 ^(a)	43-TB	82-RT	35-RT
131	4,9 ^(a)	80	0,03	59-TB	88-RT	37-RT
142	4,2 ^(a)	187	10,8 ^(a)	38-K	74-T	69-T
146	4,7 ^(a)	28	1,37	59-TB	88-RT	26-RT
147	4,5 ^(a)	41	1,55	59-TB	87-RT	18-RT
148	4,3 ^(a)	30	1,97	57-TB	85-RT	20-RT
150	4,3 ^(a)	35	2,69	51-TB	81-RT	38-RT

(*) Các kết quả tính toán $GWQI_M$, $GWQI_A$ và $GWQI_{Ref}$ được trích từ Phụ lục 2; STT: số thứ tự mẫu trong tập dữ liệu nước dưới đất của tỉnh Quảng Trị (cũ) giai đoạn 2019-2022. Giá trị giới hạn đối với các thông số được quy định trong QCVN 01-1:2018/BYT [4] như sau: TDS $\leq$ 1000 mg/L; N-NH₄ $\leq$ 0,3 mg/L; N-NO₃ $\leq$ 2,0 mg/L; TC $\leq$ 3 MPN/100 mL. CLN được phân loại theo Bảng 2.4.

^(a): Không đạt yêu cầu so với quy định của QCVN 01-1.

So sánh các chỉ số chất lượng nước dưới đất trong các trường hợp tới hạn:

Kết quả ở Bảng 3.14 cho thấy: Các chỉ số $GWQI_M$, $GWQI_A$ và $GWQI_{Ref}$ phản ánh CLN khác nhau. Đối với các trường hợp đó, mặc dù có một hoặc một vài thông số không đạt yêu cầu (so với quy định trong QCVN 01-1:2018/BYT), nhưng $GWQI_A$ và $GWQI_{Ref}$ vẫn phản ánh CLN loại TỐT hoặc RẤT TỐT là không phù hợp. Nói cách khác, trong những trường hợp đó, $GWQI_A$ và $GWQI_{Ref}$ bị mắc tính ‘mập mờ’ hoặc ‘che khuất’ trong phản ánh CLN. Trong khi đó, $GWQI_M$ phản ánh CLN phù hợp với thực tế hơn. Chẳng hạn, đối với 4 trường hợp đầu tiên (các STT 79, 81, 131, 142), mặc dù có 2 – 3 thông số vượt mức cho phép, nhưng chỉ số $GWQI_A$ và $GWQI_{Ref}$ vẫn phản CLN loại RẤT TỐT hoặc TỐT; trong khi chỉ số $GWQI_M$ phản ánh CLN loại

TRUNG BÌNH hoặc KÉM. Điều này cũng cho thấy, công thức tích cho kết quả chỉ số $GWQI_M$ phản ánh CLN dưới đất nhạy hơn công thức tổng.

Các kết quả ở trên cho phép nhận xét rằng, chỉ số $GWQI_M$ phù hợp hơn trong phản ánh CLN dưới đất cho mục đích sinh hoạt, ăn uống ở vùng khảo sát. Từ đây, để cho gọn, chỉ số $GWQI_M$ được ký hiệu là chỉ số GWQI.

3.4. ÁP DỤNG CHỈ SỐ CHẤT LƯỢNG NƯỚC DƯỚI ĐẤT VÀO THỰC TẾ

Các kết quả ở trên (mục 3.3.6) đã cho thấy, chỉ số GWQI đề xuất phản ánh phù hợp CLN dưới đất. Để khẳng định chắc chắn hơn điều này, cần áp dụng chỉ số GWQI đề xuất vào thực tế và tiếp tục kiểm chứng nó.

3.4.1. Chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ)

3.4.1.1. Sơ lược về chất lượng nước dưới đất

Tập dữ liệu CLN dưới đất giai đoạn 2023-2024 được sử dụng để áp dụng vào thực tế tính chỉ số GWQI và phân loại CLN. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả đối với tập dữ liệu CLN dưới đất của tỉnh Quảng Trị (cũ) trong giai đoạn 2023-2024 được nêu trong Bảng 3.15, có $N = 240$. Dữ liệu chất lượng nước dưới đất là dữ liệu quan trắc theo mùa (mỗi năm 2 đợt, mùa khô – tháng 4-5 và mùa mưa – tháng 9-10) tại 30 vị trí quan trắc bao gồm 25 vị trí như Hình 3.6 và bổ sung thêm 5 vị trí sau:

- NN10 (xã Triệu Hòa) và NN11 (xã Triệu Phước) thuộc huyện Triệu Phong (cũ).
- NN9 (xã Gio Việt) thuộc huyện Gio Linh (cũ).
- NN85 (xã Cam Hiếu) và NN60 (xã Cam Thành) thuộc huyện Cam Lộ (cũ).

- *Đánh giá mức độ biến động của dữ liệu (CV%)*: Kết quả ở Bảng 3.15 cho thấy, hầu hết các thông số biến động mạnh (có S xung quanh trung bình số học hoặc lớn hơn) gồm: SO_4 (CV = 446 %) > TDS (374 %) > Hard (292 %) > N-NH₄ (244 %) > N-NO₃ (239 %) > Fe (193 %) > Mn (146 %) > COD (41 %) > TC (13 %).

- *So sánh với QCVN 01-1:2018/BYT (viết tắt là QCVN 01)*: trong giai đoạn 2023-2024 có 83,6 % số số liệu (đối với từng thông số) đạt QCVN 01, tức là có **16,4 %** số số liệu vượt giới hạn quy định. Trong đó, một số khu vực nước có độ cứng, sulphat và tổng chất rắn hòa tan cao do ảnh hưởng từ hoạt động nuôi tôm nước lợ trên cát.

Bảng 3.15. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả đối với 10 thông số của tập dữ liệu CLN dưới đất
ở tỉnh Quảng Trị (cũ) trong giai đoạn 2023-2024 (N = 240) ^(*)

Đại lượng thống kê	pH	TDS (mg/L)	Hard (mg/L)	SO4 (mg/L)	COD (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	TC (MPN/100 mL)
Min	4,7	26	10	3	0,6	0,02	0,03	0,02	0,05	1
Max	8,2	28.170	5.413	1.526	4,4	4,94	63,40	2,39	1,63	2
Trung bình	-	1.028	259	54	1,7	0,28	3,11	0,18	0,22	1
S	-	3.842	756	241	0,7	0,69	7,46	0,35	0,33	0
Trung vị	6,8	231	103	3	1,6	0,02	0,53	0,06	0,05	1
MAD	0,5	1.426	288	86	0,5	0,35	3,90	0,19	0,23	0
Tứ phân vị 1	6,3	119	48	3	1,3	0,02	0,15	0,03	0,05	1
Tứ phân vị 3	7,1	386	172	8	2,0	0,23	2,22	0,13	0,28	1
CV (%)	-	374	292	446	41	244	239	193	146	13
RSD(Horwitz)	-	6	7	7	14,4	19,2	14,4	19,18	22,63	14
QCVN 01-1	6-8,5	1.000	300	250	2,0	0,3	2,0	0,30	0,10	3
E	36	16	22	8	68	48	73	36	87	0

^(*) QCVN 01-1: Như ở Bảng 3.4. Các đại lượng S, MAD, Quartile 1, Quartile 3, CV, E, RSD(Horwitz): như ở Bảng 3.4. Các ký hiệu N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, BOD: như ở Bảng 3.4.

3.4.1.2. Đánh giá chất lượng nước dưới đất dựa vào chỉ số GWQI

Áp dụng chỉ số GWQI đề xuất cho tập dữ liệu CLN dưới đất của tỉnh Quảng Trị (cũ) giai đoạn 2023-2024. Để tiếp tục kiểm chứng sự phù hợp của GWQI đề xuất, ở đây chỉ so sánh phần trăm kết quả quan trắc (đối với cả 10 thông số CLN lựa chọn) với phần trăm giá trị chỉ số GWQI: nếu hai phần trăm đó phù hợp nhau, có thể nhận xét rằng, GWQI đề xuất (hay chỉ số GWQI mới) phản ánh CLN dưới đất phù hợp với thực tế.

Kết quả tính toán chỉ số thông số q_i , chỉ số GWQI và phân loại CLN của tỉnh Quảng Trị (cũ) giai đoạn 2023-2024 được nêu ở Phụ lục 4 (N = 240). Kết quả tính toán chỉ số GWQI và phân loại CLN dưới đất cho thấy có:

- + 72,5 % trường hợp (174/240 trường hợp) đạt loại RẤT TỐT và TỐT;
- + 16,3 % trường hợp (39/240) thuộc loại TRUNG BÌNH;
- + 6,3 % trường hợp (15/240) thuộc loại KÉM;
- + 5,0 % trường hợp (12/240) thuộc loại RẤT KÉM.

Như vậy, có $6,3 + 5,0 = 11,3$ % trường hợp thuộc loại dưới mức TRUNG BÌNH (tức là CLN loại KÉM và RẤT KÉM), kết quả này cũng khá phù hợp với kết quả đánh giá CLN dưới đất dựa vào các thông số riêng biệt: có 16,4 % số số liệu quan trắc các thông số vượt giới hạn cho phép của QCVN 01-1 (xem mục 3.4.1.1).

3.4.2. Chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Hà Tĩnh

3.4.2.1. Sơ lược về chất lượng nước dưới đất

Ở tỉnh Hà Tĩnh, trong giai đoạn 2023-2024, Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường thuộc Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Hà Tĩnh (cũ) tiến hành quan trắc CLN dưới đất với tần suất 4 đợt/năm, tại 47 điểm quan trắc trực thuộc 13 thành phố, thị xã và huyện (cũ) của tỉnh Hà Tĩnh. Các vị trí quan trắc bao gồm:

ML-N1 (xã Đồng Môn), ML-N2 (xã Việt Tiến), ML-N3 (xã Thạch Trị), ML-4 (xã Thạch Khê), ML-N5 (xã Lưu Vĩnh Sơn), ML-N6 (xã Thiên Lộc), ML-N7 (thị trấn Đồng Lộc), ML-N8 (xã Phú Lộc), ML-N9 (phường Trung Lương), ML-N10 (phường Nam Hồng), ML-N11 (xã Tùng Châu), ML-N12 (xã Hòa Lạc), ML-N13 (xã Quang Thọ), ML-N14 (xã Xuân Hội), ML-N15 (xã Cương Gián), ML-N16 (xã Xuân Phố), ML-N17 (xã Xuân Viên), ML-N18 (xã Xuân Thành), ML-19 (xã

Thạch Kim), ML-N20 (xã Hộ Độ), ML-N21 (xã Hồng Lộc), ML-N22 (xã Sơn Kim 1), ML-N23 (xã Sơn Kim 1), ML-N23 (xã Sơn Kim 1), ML-N24 (xã Sơn Tây), ML-N25 (xã An Hòa Thịnh), ML-N26 (xã Hương Thủy, ML-27 (xã Cẩm Nhượng), ML-N28 (xã Cẩm Quan), ML-N29 (xã Cẩm Vĩnh), ML-N30 (xã Cẩm Lạc), ML-N31 (xã Yên Hòa), ML-N32 (xã Kỳ Ninh), ML-N33 (xã Kỳ Nam), ML-N34 (xã Kỳ Lợi), ML-N35 (phường Kỳ Phương), ML-N36 (phường Kỳ Long), ML-N37 (phường Kỳ Trinh), ML-N38 (xã Kỳ Hà), ML-N39 (xã Kỳ Lợi), ML-N40 (phường Kỳ Thịnh), ML-N41 (phường Kỳ Long), ML-N42 (phường Kỳ Thịnh), ML-N43 (phường Kỳ Phương), ML-N44 (phường Kỳ Trinh), ML-N45 (xã Kỳ Xuân), ML-N46 (phường Kỳ Phong), ML-N47 (xã Kỳ Khang),

Tập dữ liệu CLN dưới đất giai đoạn 2023-2024 được sử dụng để tính GWQI và phân loại CLN. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả đối với tập dữ liệu CLN dưới đất của tỉnh Hà Tĩnh trong giai đoạn 2023-2024 được nêu trong Bảng 3.16 (N = 376).

- *Đánh giá mức độ biến động của dữ liệu (CV%)*: Kết quả ở Bảng 3.16 cho thấy, hầu hết các thông số biến động mạnh (có S xung quanh trung bình số học hoặc lớn hơn) gồm: N-NH₄ (CV = 415 %) > Fe (371 %) > N-NO₃ (164 %) > SO₄ (157 %) > COD (141 %) > Mn (139 %) > TC (87 %). Các thông số có mức biến động trung bình gồm: TDS (171 %) và Hard (121 %).

- *So sánh với QCVN 01-1:2018/BYT (viết tắt là QCVN 01)*: trong giai đoạn 2023-2024 có 70,6 % số số liệu (đối với từng thông số) đạt QCVN 01, tức là có **29,4 %** số số liệu vượt giới hạn quy định. Trong đó, các thông số có kết quả quan trắc vượt giới hạn nhiều lần lượt là TC, Mn, Fe, pH, N-NO₃ Qua đó cho thấy, tính đa dạng của địa chất và nhiều vị trí nước dưới đất ở tỉnh Hà Tĩnh đã bị tác động bởi các nguồn thải sinh hoạt và chăn nuôi, nhiều vị trí bị nhiễm phèn.

Bảng 3.16. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả đối với 10 thông số của tập dữ liệu CLN dưới đất ở tỉnh Hà Tĩnh trong giai đoạn 2023-2024 (N = 376) ^(*)

Đại lượng thống kê	pH	TDS (mg/L)	Hard (mg/L)	SO4 (mg/L)	COD (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	TC (MPN/100 mL)
Min	3,6	11	3	1	0,1	0,03	0,15	0,01	0,01	1
Max	8,0	3.335	1.130	475	14,0	35,00	39,00	44,00	3,90	9
Trung bình	-	314	132	40	1,6	0,67	3,70	1,38	0,25	1
S	-	537	162	64	2,2	2,79	6,10	5,13	0,34	1
Trung vị	6,3	138	77	25	0,6	0,03	1,07	0,13	0,13	1
MAD	0,6	293	105	35	1,5	1,02	3,93	2,00	0,22	0
Tứ phân vị 1	5,8	70	38	5	0,3	0,03	0,37	0,03	0,03	1
Tứ phân vị 3	6,8	330	155	45	1,7	0,15	4,15	0,60	0,33	1
CV (%)	-	171	124	157	141	415	164	371	139	87
RSD(Horwitz)	-	6	7	7	14,4	19,2	14,4	19,18	22,63	14
QCVN 01-1	6-8,5	1.000	300	250	2,0	0,30	2,00	0,30	0,10	3
E	145	24	49	9	88	81	145	147	206	212

^(*) QCVN 01-1: Như ở Bảng 3.4. Các đại lượng S, MAD, Quartile 1, Quartile 3, CV, E, RSD(Horwitz): như ở Bảng 3.4. Các ký hiệu N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, BOD: như ở Bảng 3.4.

3.4.2.2. Đánh giá chất lượng nước dưới đất dựa vào chỉ số GWQI

Áp dụng GWQI đề xuất cho tập dữ liệu CLN dưới đất của tỉnh Hà Tĩnh giai đoạn 2023-2024. Để tiếp tục đánh giá sự phù hợp của GWQI đề xuất, ở đây chỉ so sánh phần trăm kết quả quan trắc (đối với cả 10 thông số CLN lựa chọn) với phần trăm giá trị GWQI: nếu hai phần trăm đó phù hợp nhau, có thể nhận xét rằng, GWQI đề xuất phản ánh CLN dưới đất phù hợp với thực tế.

Kết quả tính toán chỉ số thông số q_i , chỉ số GWQI và phân loại CLN của tỉnh Hà Tĩnh giai đoạn 2023-2024 được nêu ở Phụ lục 5 (N = 376). Kết quả tính toán GWQI và phân loại CLN cho thấy:

- + 37,2 % trường hợp đạt loại RẤT TỐT và TỐT (140/376 trường hợp);
- + 25,5 % trường hợp thuộc loại TRUNG BÌNH (96/376 trường hợp);
- + 25,8 % trường hợp thuộc loại KÉM (97/376 trường hợp);
- + 11,4 % trường hợp thuộc loại RẤT KÉM (43/376 trường hợp).

Như vậy, có $25,8 + 11,4 = 37,2$ % trường hợp CLN dưới đất thuộc loại dưới mức TRUNG BÌNH, kết quả này cũng khá phù hợp với kết quả đánh giá CLN dưới đất dựa vào việc so sánh dữ liệu quan trắc các thông số riêng biệt với giới hạn cho phép của QCVN 01-1 (xem mục 3.4.2.1).

3.4.3. Chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Quảng Bình (cũ)

3.4.3.1. Sơ lược về chất lượng nước dưới đất

Ở tỉnh Quảng Bình (cũ), trong giai đoạn 2023-2024, Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường thuộc Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Quảng Bình (cũ) tiến hành quan trắc CLN dưới đất tại 7 điểm (năm 2023) và 19 điểm (năm 2024) với tần suất 4 đợt/năm ở 8 huyện, thị xã và thành phố (cũ). Các vị trí quan trắc gồm:

N1 (xã Ngư Thủy), N2 (xã Ngư Thủy Bắc), N3 (xã Sen Thủy), N4 (xã Xuân Thủy), N5 (xã Hải Ninh), N6 (xã Gia Ninh), N7 (xã Xuân Ninh), N8 (xã Bảo Ninh), N9 (xã Cự Nẫm), N10 (xã Hải Phú), N11 (xã Đại Trạch), N12 (xã Nam Trạch), N13 (xã Quảng Lưu), N14 (xã Quảng Tiên), N15 (xã Quảng Kim), N16 (xã Quảng Phúc), N17 (xã Quảng Lộc), N18 (thị trấn Đồng Lê), N19 (thị trấn Quy Đạt).

Tập dữ liệu CLN dưới đất giai đoạn 2023-2024 được sử dụng để tính GWQI và phân loại CLN. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả đối với tập dữ liệu CLN

dưới đất của tỉnh Hà Tĩnh trong giai đoạn 2023-2024 được nêu trong Bảng 3.17 (N = 104).

- *Đánh giá mức độ biến động của dữ liệu (CV%)*: Kết quả ở Bảng 3.16 cho thấy, hầu hết các thông số biến động mạnh (có S xung quanh trung bình số học hoặc lớn hơn) gồm: N-NH₄ (CV = 566 %) > COD (159 %) > TDS (148 %) > Mn (140 %) > Hard (102 %) > TC (87 %). Các thông số có mức biến động trung bình gồm: Fe (100 %) > SO₄ (78 %) và thông số ít biến động là N-NO₃ (45 %).

- *So sánh với QCVN 01-1:2018/BYT (viết tắt là QCVN 01)*: trong giai đoạn 2023-2024 có 86,1 % số số liệu (đối với từng thông số) đạt QCVN 01, tức là có **13,9 %** số số liệu vượt giới hạn cho phép. Trong đó, các thông số có kết quả quan trắc vượt mức cho phép lần lượt là TC, Mn, N-NH₄. Qua đó cho thấy, một số vị trí nước dưới đất ở tỉnh Quảng Bình đã bị tác động bởi các nguồn thải sinh hoạt và chăn nuôi.

3.4.3.2. Đánh giá chất lượng nước dưới đất dựa vào GWQI

Kết quả tính toán chỉ số thông số q_i , chỉ số GWQI và phân loại CLN của tỉnh Quảng Bình (cũ) giai đoạn 2023-2024 được nêu ở Phụ lục 6. Kết quả tính toán GWQI và phân loại CLN cho thấy có:

- + 40,4 % trường hợp (42/104 trường hợp) đạt loại RẤT TỐT và TỐT;
- + 47,1 % trường hợp (49/104) thuộc loại TRUNG BÌNH;
- + 8,7 % trường hợp (9/104) thuộc loại KÉM;
- + 3,9 % trường hợp (4/104) thuộc loại RẤT KÉM.

Như vậy, có $8,7 + 3,9 = 12,5 %$ trường hợp chỉ số GWQI phản ánh CLN dưới đất dưới mức TRUNG BÌNH, kết quả này cũng phù hợp với kết quả đánh giá CLN dưới đất dựa vào các thông số riêng biệt (tức là khi so sánh với giới hạn cho phép của QCVN 01-1) (xem mục 3.4.3.1).

Bảng 3.17. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả đối với 10 thông số của tập dữ liệu CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Bình (cũ) trong giai đoạn 2023-2024 (N = 104) ^(*)

Đại lượng thống kê	pH	TDS (mg/L)	Hard (mg/L)	SO4 (mg/L)	COD (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	TC (MPN/100 mL)
Min	5,7	15	9	1	0,2	0,02	0,04	0,03	0,01	1
Max	7,7	2.236	736	44	10,7	12,75	0,84	0,37	3,90	9
Trung bình	-	326	139	5	1,1	0,23	0,26	0,04	0,25	1
S	-	481	141	4	1,7	1,33	0,12	0,04	0,34	1
Trung vị	6,5	171	97	5	0,6	0,03	0,30	0,03	0,13	1
MAD	0,2	293	94	2	0,8	0,37	0,08	0,02	0,22	0
Tứ phân vị 1	6,3	110	58	4	0,6	0,03	0,30	0,03	0,03	1
Tứ phân vị 3	6,7	237	152	6	0,8	0,03	0,30	0,03	0,33	1
CV (%)	-	148	102	78	159	566	45	100	140	87
RSD(Horwitz)	-	6	7	7	14,4	19,2	14,4	19,18	22,63	14
QCVN 01-1	6-8,5	1.000	300	250	2,0	0,30	2,00	0,30	0,10	3
E	8	8	14	0	6	9	0	1	15	83

^(*) QCVN 01-1: Như ở Bảng 3.4. Các đại lượng S, MAD, Quartile 1, Quartile 3, CV, E, RSD(Horwitz): như ở Bảng 3.4. Các ký hiệu N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, BOD: như ở Bảng 3.4.

3.4.4. Chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Quảng Nam (cũ)

3.4.4.1. Sơ lược về chất lượng nước dưới đất

Ở tỉnh Quảng Nam (cũ), trong giai đoạn 2023-2024, Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường thuộc Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Quảng Nam (cũ) tiến hành quan trắc CLN dưới đất tại 20 điểm (hay vị trí quan trắc) với tần suất 4 đợt/năm ở 9 huyện, thị xã và thành phố (cũ). Các vị trí quan trắc gồm:

NVĐB và NĐB (thị xã Điện Bàn), NVHA và NRHA (thành phố Hội An), NVDX và NDX (huyện Duy Xuyên), NVQS và NQS (huyện Quế Sơn), NTB và NVTB2 (huyện Thăng Bình), NVTK, NTK1 và NTK2 (thành phố Tam Kỳ), NĐL và NRĐL (huyện Đại Lộc), NPN (huyện Phú Ninh), NVNT, NNT2, NRTX và NRTN (huyện Núi Thành).

Tập dữ liệu CLN dưới đất giai đoạn 2023-2024 được sử dụng để tính GWQI và phân loại CLN. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả đối với tập dữ liệu CLN dưới đất của tỉnh Hà Tĩnh trong giai đoạn 2023-2024 được nêu trong Bảng 3.18 (N = 160).

- *Đánh giá mức độ biến động của dữ liệu (CV%)*: Kết quả ở Bảng 3.16 cho thấy, hầu hết các thông số biến động mạnh (có S xung quanh trung bình số học hoặc lớn hơn) gồm: N-NH₄ (CV = 252 %) > Fe (219 %) > N-NO₃ (165 %) > TC (154 %) > Mn (145 %) > COD (66 %) > TDS (63 %). Các thông số có mức biến động trung bình gồm: Fe (100 %) > SO₄ (97 %) > Hard (68 %).

- *So sánh với QCVN 01-1:2018/BYT (viết tắt là QCVN 01)*: trong giai đoạn 2023-2024 có 73 % số số liệu (đối với từng thông số) đạt QCVN 01, tức là có **27,0 %** số số liệu vượt giới hạn quy định. Trong đó, các thông số có kết quả quan trắc vượt giới hạn nhiều lần lượt là Fe, N-NO₃, N-NH₄. Qua đó cho thấy, một số vị trí nước dưới đất ở tỉnh Quảng Nam đã bị tác động bởi các nguồn thải sinh hoạt và chăn nuôi.

3.4.4.2. Đánh giá chất lượng nước dưới đất dựa vào GWQI

Kết quả tính toán chỉ số thông số q_i , chỉ số GWQI và phân loại CLN của tỉnh Quảng Bình (cũ) giai đoạn 2023-2024 được nêu ở Phụ lục 7. Kết quả tính toán GWQI và phân loại CLN cho thấy có:

+ 30,6 % trường hợp (49/160 trường hợp) đạt loại RẤT TỐT và TỐT;

+ 36,9 % trường hợp (59/160) thuộc loại TRUNG BÌNH;

+ 28,8 % trường hợp (46/160) thuộc loại KÉM;

+ 3,8 % trường hợp (6/160) thuộc loại RẤT KÉM.

Như vậy, có $28,8 + 3,8 = 32,6$ % trường hợp CLN dưới đất dưới mức TRUNG BÌNH. Kết quả này cũng khá phù hợp với kết quả đánh giá CLN dưới đất dựa vào các thông số riêng biệt (tức là qua so sánh kết quả quan trắc các thông số với giới hạn cho phép của QCVN 01-1) (xem mục 3.4.4.1).

Cuối cùng, các kết quả áp dụng thí điểm chỉ số GWQI cho một số tỉnh miền Trung ở trên đã cho phép khẳng định rằng, chỉ số GWQI và thang điểm thuận của chỉ số GWQI dùng trong đánh giá CLN dưới đất là phù hợp với các địa phương khảo sát. Thang điểm thuận của chỉ số GWQI, theo cách sử dụng thang điểm thuận của chỉ số WQI, sẽ dễ hiểu và thuận lợi hơn cho người sử dụng chỉ số chất lượng nước. Thang điểm thuận của chỉ số GWQI đề xuất cũng là một điểm mới của nghiên cứu luận án.

Bảng 3.18. Tổng hợp các đại lượng thống kê mô tả đối với 10 thông số của tập dữ liệu CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Nam (cũ) trong giai đoạn 2023-2024 (N = 160) (*)

Đại lượng thống kê	pH	TDS (mg/L)	Hard (mg/L)	SO4 (mg/L)	COD (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	TC (MPN/100 mL)
Min	4,4	25	2	2	1,1	0,01	0,05	0,03	0,01	1
Max	7,8	550	310	116	16,0	35,80	26,90	21,80	1,52	33
Trung bình	-	185	98	18	2,1	1,56	3,34	1,94	0,21	3
S	-	117	67	18	1,4	3,92	5,51	4,26	0,30	5
Trung vị	6,5	162	89	15	1,8	0,15	0,56	0,18	0,06	1
MAD	0,4	92	53	13	0,7	1,92	3,80	2,65	0,22	2
Tứ phân vị 1	6,2	89	42	6	1,3	0,02	0,08	0,08	0,02	1
Tứ phân vị 3	6,8	228	131	26	2,4	1,66	4,29	0,84	0,30	4
CV (%)	-	63	68	97	66	252	165	219	145	154
RSD(Horwitz)	-	6	7	7	14,4	19,2	14,4	19,18	22,63	14
QCVN 01-1	6-8,5	1.000	300	250	2,0	0,3	2,0	0,30	0,10	3
E	33	0	3	0	60	71	62	69	71	62

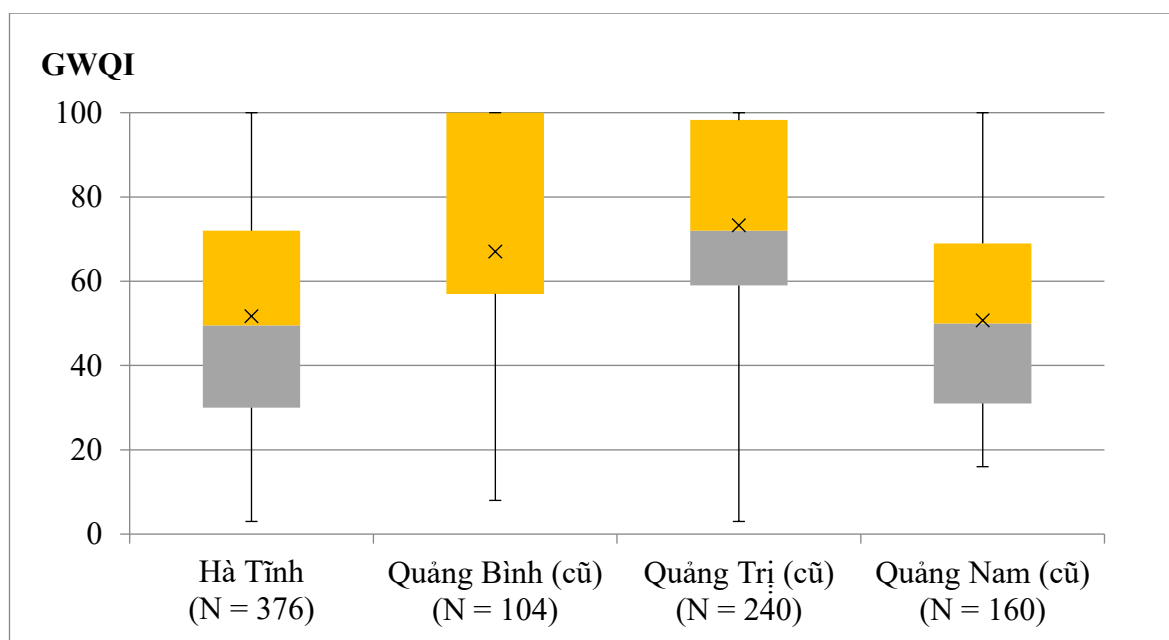
(*) QCVN 01-1: Như ở Bảng 3.4. Các đại lượng S, MAD, Quartile 1, Quartile 3, CV, E, RSD(Horwitz): như ở Bảng 3.4. Các ký hiệu N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, BOD: như ở Bảng 3.4.

So sánh CLN dưới đất ở các tỉnh khảo sát:

Biến động CLN dưới đất giai đoạn 2023-2024 ở 4 tỉnh được thể hiện ở Hình 3.7. Kết quả ở Hình 3.7 cho thấy:

- Các giá trị trung vị GWQI khác nhau có ý nghĩa thống kê với $p < 0,00001$ (Kruskal-wallis test). Phân tích tiếp theo bằng Dun's test cho thấy (theo thứ tự giảm dần): CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ) (GWQI trung vị = 72) > tỉnh Quảng Bình (cũ) (GWQI trung vị = 57) > tỉnh Quảng Nam (cũ) (GWQI trung vị = 50) với $p < 0,05$. Còn CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Nam (cũ) tương đương với tỉnh Hà Tĩnh (GWQI trung vị = 49,5 = 50) với $p = 0,76$.

- Nói chung, nếu đánh giá qua chỉ số GWQI, CLN dưới đất ở các tỉnh khảo sát, đa số các trường hợp đều không đạt yêu cầu để dùng cho sinh hoạt: CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Nam (cũ) và Hà Tĩnh có trên 75% giá trị trung vị GWQI ứng với CLN dưới đất loại TRUNG BÌNH đến KÉM/RẤT KÉM; Còn CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Trị (cũ) và Hà Tĩnh tốt hơn với khoảng 50% giá trị trung vị GWQI đạt mức TRUNG BÌNH đến KÉM/RẤT KÉM.



Hình 3.7. GWQI ở 4 tỉnh miền Trung giai đoạn 2023-2024

Việc so sánh CLN dưới đất ở các tỉnh chỉ mang tính tham khảo trong giai đoạn khảo sát. Để so sánh CLN dưới đất ở các tỉnh đại diện hơn nữa, cần tiếp tục áp dụng chỉ số GWQI trong thời gian dài hơn.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

Từ các kết quả thu được của nghiên cứu luận án, đi đến các kết luận chính sau:

(1) Trên cơ sở dữ liệu CLN sông Hương (tỉnh Thừa Thiên Huế, nay là thành phố Huế) giai đoạn 2014-2016, đã xây dựng được quy trình tổng quát phát triển chỉ số CLN (WQI) là hàm số dạng tích của trọng số và chỉ số thông số của 11 thông số CLN lựa chọn. Trong đó, đã xác định một cách khách quan trọng số (w_i) bằng phương pháp phân tích thành phần chính (PCA); xác định chỉ số thông số q_i thông qua các hàm tuyến tính; tính chỉ số WQI theo công thức dạng tích và đánh giá CLN theo thang điểm WQI. Sự phù hợp của chỉ số WQI xây dựng được trong phản ánh CLN đã được kiểm chứng qua số liệu CLN sông Hương giai đoạn 2017-2020.

(2) Chỉ số WQI đề xuất đã được áp dụng vào thực tế cho dữ liệu quan trắc CLN sông Lam (tỉnh Nghệ An) giai đoạn 2020-2021 và sông Ba (tỉnh Phú Yên (cũ), nay là tỉnh Đắk Lắk) năm 2017 và 2019. Kết quả cho thấy, chỉ số WQI đề xuất phản ánh phù hợp CLN hai sông khảo sát. Điều này cho phép khẳng định rằng, WQI xây dựng được phản ánh nhạy CLN, không bị mắc các hạn chế vốn có của chỉ số WQI (tính che khuất, mập mờ và cứng nhắc). CLN (được đánh giá qua chỉ số WQI) của ba sông khảo sát (sông Hương, sông Lam và sông Ba) cũng được so sánh.

(3) Trên cơ sở quy trình tổng quát phát triển chỉ số WQI đã xây dựng được và dữ liệu quan trắc CLN dưới đất ở tỉnh Quảng Trị giai đoạn 2016-5/2019, đã xây dựng được chỉ số CLN dưới đất (GWQI) là hàm số dạng tích của trọng số (w_i) và chỉ số thông số (q_i) của 10 thông số lựa chọn. Các trọng số của các thông số CLN lựa chọn cũng được xác định một cách khách quan theo phương pháp PCA. Các chỉ số thông số cũng được xác định qua hàm tuyến tính. Thang điểm GWQI là thang điểm thuận, dễ hiểu hơn (1 – 100), tức là khi GWQI càng lớn, CLN càng tốt và ngược lại. Chỉ số GWQI xây dựng được phản ánh phù hợp CLN dưới đất qua kết quả kiểm chứng khi áp dụng cho tập dữ liệu quan trắc CLN dưới đất tỉnh Quảng Trị (cũ) giai đoạn 9/2019-2022.

(4) Chỉ số GWQI xây dựng được đã được áp dụng để đánh giá CLN dưới đất giai đoạn 2023-2024 ở các tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình (cũ), Quảng Trị (cũ) và Quảng

Nam (cũ). Các kết quả đã cho phép nhận xét rằng, chỉ số GWQI và thang điểm thuận của chỉ số GWQI đề xuất đã phản ánh phù hợp CLN dưới đất ở các tỉnh khảo sát. CLN dưới đất ở bốn tỉnh khảo sát cũng được so sánh.

(5) Những điểm mới của nghiên cứu luận án bao gồm: (i) đã xây dựng được quy trình tổng quát phát triển chỉ số CLN qua áp dụng phương pháp phân tích thành phần chính (PCA) để xác định khách quan trọng số của các thông số CLN lựa chọn; xác định chỉ số thông số của các thông số theo phương trình tuyến tính; (ii) từ quy trình tổng quát, đã xây dựng được chỉ số WQI và GWQI mới (khác với các nghiên cứu khác trước đây); (iii) đã kiểm chứng chỉ số WQI, chỉ số GWQI và từ kết quả áp dụng vào thực tế, đã chứng minh rằng có thể dùng hai chỉ số đó để đánh giá CLN sông và CLN dưới đất ở các địa phương (tỉnh/thành) thuộc khu vực miền Trung. Điều này sẽ đóng góp tích cực vào công tác quản lý CLN nói riêng và quản lý tài nguyên nước nói chung.

Kiến nghị

(1) Tiếp tục nghiên cứu áp dụng WQI và GWQI ở các địa phương thuộc khu vực miền Trung ở nước ta trong giai đoạn tới (2026-2030) để khẳng định chắc chắn về sự phù hợp của các chỉ số đó trong quản lý chất lượng nước.

(2) Nghiên cứu xây dựng phần mềm, kết hợp với AI và phương pháp GIS để hỗ trợ áp dụng WQI và GWQI xây dựng được trong quản lý và phân vùng chất lượng nước.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. Trong nước

- (1). **Trương Trung Kiên**, Mai Thị Thanh Tuyền, Trương Quý Tùng, Nguyễn Văn Hợp (2024), *Xây dựng chỉ số chất lượng nước dưới đất (GWQI) và áp dụng cho huyện Hải Lăng, tỉnh Quảng Trị*, Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Khoa học Tự nhiên, 133(1C), 159–169.
DOI: 10.26459/hueunijns.v133i1C.7301
- (2). **Trương Trung Kiên**, Nguyễn Đăng Giáng Châu, Nguyễn Văn Hợp, Trương Quý Tùng (2025), *Nghiên cứu đánh giá chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Hà Tĩnh sử dụng chỉ số chất lượng nước*, Tạp chí Khoa học – Đại học Quốc gia Hà Nội: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 41(3).
DOI: 10.25073/2588-1140/vnunst.5845
- (3). **Trương Trung Kiên**, Nguyễn Văn Hợp, Trương Quý Tùng (2025), *Chỉ số chất lượng nước dưới đất (GWQI): nghiên cứu trường hợp ở tỉnh Quảng Bình*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế: Hóa – Sinh – Khoa học Trái đất, 29(2).
DOI:
- (4). Nguyễn Văn Hợp, Nguyễn Đăng Giáng Châu, Trương Quý Tùng, **Trương Trung Kiên**, Nguyễn Trọng Hữu, Mai Thị Thanh Tuyền, Nguyễn Trường Khoa, Bùi Văn Xuân (2023), *Áp dụng phân tích thống kê đa biến trong phân vùng và đánh giá chất lượng nước dưới đất: nghiên cứu trường hợp ở huyện Hải Lăng, tỉnh Quảng Trị*, Kỷ yếu hội nghị khoa học quốc gia VIETGEO 2023: Địa Chất Công Trình – Địa Kỹ Thuật và Môi Trường, Thừa Thiên Huế, Việt Nam 28–29 Sept 2023, 686-697. DOI: nxbkhkt.com.vn/wp-content/uploads/2023/09/VIET-GEO-2023-CUOI-2-file-nhe-da-nen.pdf

2. Quốc tế

- (5). Nguyen Van Hop, **Truong Trung Kien**, Nguyen Hai Phong, Nguyen Dang Giang Chau (2022), *A Comprehensive Procedure to Develop Water Quality Index: A Case Study to the Huong River in Thua Thien Hue Province, Central Vietnam*, PLoS ONE 17(9): e0274673. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274673>

- (6). **Truong Trung Kiên**, Nguyen Truong Khoa, Truong Quy Tung, Nguyen Dang Giang Chau, Nguyen Van Hop (2024), *A Groundwater Quality Index Proposed for Assessment of Groundwater Quality: A Case Study of Quang Tri Province, Central Vietnam*, Curr. Anal. Chem., 21.
DOI: 10.2174/0115734110324144240924114752

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- [1] Bộ Tài nguyên và Môi trường, (2015), *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt*, QCVN 08-MT:2015/BTNMT.
- [2] Bộ Tài nguyên và Môi trường, (2015), *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước dưới đất*, QCVN 09:2015/BTNMT.
- [3] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2011), *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước dùng cho tưới tiêu*, QCVN 39:2011/BTNMT.
- [4] Bộ Y tế (2009), *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước ăn uống*, QCVN 01:2009/BYT.
- [5] Bộ Y tế, (2018), *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt*, QCVN 01-1:2018/BYT.
- [6] Nguyễn Hải Âu, Hoàng Nhật Trường, Phạm Thị Tuyết Nhi, Tất Hồng Minh Vy, Phan Nguyễn Hồng Ngọc, Nguyễn Kiên Quyết (2019), *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 và Môi trường, 2(2), 107–115.
DOI: 10.32508/stdjsee.v2i2.540
- [7] Nguyễn Văn Hợp, Huỳnh Thị Âu (2017). *Nghiên cứu áp dụng Chỉ số Chất lượng Nước (WQI) phục vụ quản lý môi trường nước sông Ba, tỉnh Phú Yên*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Khoa học, 8(10), 20–27.
- [8] Nguyễn Việt Hùng (2021). *Thiết lập chỉ số chất lượng nước dựa vào phân tích thống kê: Áp dụng cho sông Hương, tỉnh Thừa Thiên Huế*, Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Khoa học tự nhiên, 130(1C), 51–62.
- [9] Nguyễn Lê Tú Quỳnh (2016). *Xây dựng Chỉ số Chất lượng Nước trong phân vùng chất lượng nước các sông trên địa bàn tỉnh Thái Nguyên*, Luận án Tiến sĩ Khoa học Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.
- [10] Trương Văn Đàn, Nguyễn Thành Luân, Mạc Như Bình, Vũ Ngọc Út (2018). *Xây dựng Chỉ số Chất lượng Nước đầm phá Tam Giang – Cầu Hai phục vụ hoạt động*

nuôi tôm. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, 15(342), 94–102.

- [11] Nguyễn Văn Tuấn (2022), *Phân tích dữ liệu với R*, Nhà xuất bản Tổng hợp Thành phố Hồ Chí Minh.
- [12] Tổng cục Môi trường, (2019), *Quyết định về việc ban hành Hướng dẫn kỹ thuật tính toán và công bố chỉ số chất lượng nước Việt Nam (VN-WQI)*, 1460/QĐ-TCMT.

Tiếng Anh

- [13] Abbasi, T.; Abbasi, S. A. (2012), *Water Quality Indices*, Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 384 pp. ISBN: 978-0-444-54304-2.
- [14] Abdelaziz, S.; Gad, M.I.; El Tahan, A.H.M.H. (2020), *Groundwater quality index based on PCA: Wadi El-Natrun*, Egypt. J. Afr. Earth Sci., 172, 103964.
DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2020.103964
- [15] Abdelmonem, M.; Zair, N.; Attoui, B.A.; Khechekhouche, S.; Souyei, B. (2024), *Assessment of Groundwater Quality Using the Water Quality Index (WQI) and Nitrate Pollution Index (NPI) in the El-Oued Region (South-East Algeria)*, Research Square Preprint.
DOI: 10.21203/rs.3.rs-4215029/v1
- [16] Adelagun, R.O.A.; Etim, E.E.; Godwin, O.E. (2021), *Application of Water Quality Index for the Assessment of Water from Different Sources in Nigeria*. In: *Promising Techniques for Wastewater Treatment and Water Quality Assessment*, InTechOpen: London, p. 267.
DOI: 10.5772/intechopen.98696
- [17] Adimalla, N. (2021), *Application of the Entropy Weighted Water Quality Index (EWQI) and the Pollution Index of Groundwater (PIG) to Assess Groundwater Quality for Drinking Purposes: A Case Study in a Rural Area of Telangana State, India*, Arch. Environ. Contam. Toxicol., 80(1), 31-40.
DOI: 10.1007/s00244-020-00800-4.
- [18] Adimalla, N.; Qian, H. (2019), *Groundwater quality evaluation using water quality index (WQI) for drinking purposes and human health risk (HHR)*

- assessment in an agricultural region of Nanganur, south India*, Ecotoxicol. Environ. Saf., 176, 153-161.
DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.03.066.
- [19] A Elubid, B.; Huag, T.; H Ahmed, E.; Zhao, J.; M Elhag, K.; Abbass, W.; M Babiker, M. (2019), *Geospatial Distributions of Groundwater Quality in Gedaref State Using Geographic Information System (GIS) and Drinking Water Quality Index (DWQI)*, Int. J. Environ. Res. Public Health, 16(5), 16.
DOI: 10.3390/ijerph16050731.
- [20] Afifi, A.; May, S.; Donatello, R. A.; Clark, V. A. (2019), *Practical Multivariate Analysis*; Chapman & Hall/CRC (Routledge), England, UK, 6th ed.; pp 1–434.
DOI: 10.1201/9781315203737
- [21] Ahmed, S.; Khurshidali, S.; Yunus, P.; Koli, S. (2018), *Hydrochemical Appraisal of Ground Water Quality and Its Water Quality Index: A Case Study in Mathura District, India*, Int. J. Adv. Res. (Indore), 6(6), 1130–1145.
DOI: 10.21474/IJAR01/7319
- [22] Aljanabi, Z. Z.; Jawad Al-Obaidy, A.-H. M.; Hassan, F. M. (2021), *A brief review of water quality indices and their applications*, IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 779(1), 012088.
DOI: 10.1088/1755-1315/779/1/012088
- [23] Alfaleh, A.; Ben Khedher, N.; Alviz-Meza, A. (2023), *Is the entropyweighted water quality index a suitable index for evaluating the groundwater quality in Ha'il, Saudi Arabia*, Water Sci. Technol., 88(3), 778-797.
DOI: 10.2166/wst.2023.230.
- [24] Ali, S.; Verma, S.; Agarwal, M. B.; Islam, R.; Mehrotra, M.; Deolia, R. K.; Kumar, J.; Singh, S.; Mohammadi, A. A.; Raj, D.; Gupta, M. K.; Dang, P.; Fattahi, M. (2025), *Groundwater quality assessment using water quality index and principal component analysis in the Achnera block, Agra district, Uttar Pradesh, Northern India*, Scientific Reports, 14, Article 5381.
DOI: 10.1038/s41598-024-56056-8

- [25] Arief, Y.S. (2016), *Determination of Water Quality Index Using Weight Arithmetic Index Method in Code River*, Jurnal Ilmu Lingkungan, 14(2), 85–92.
DOI: 10.14710/jil.14.2.85-92
- [26] Armitage, P.D.; Moss, D.; Wright, J.F.; Furse, M.T. (1983), *The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites*, Water Research, 17(3), 333–347.
DOI: 10.1016/0043-1354(83)90188-4
- [27] Backman, B.; Bodis, D.; Lahermo, P.; Rapant, S.; Tarvainen, T. (1998), *Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia*. Environmental Geology, 36(1–2), 55–64.
DOI: 0.1007/s002540050320
- [28] Barbosa Filho, J.; de Oliveira, I.B. (2021), *Development of a groundwater quality index: GWQI, for the aquifers of the state of Bahia, Brazil using multivariable analyses*. Sci. Rep., 11(1), 16520.
DOI: 10.1038/s41598-021-95912-9
- [29] Bordalo, A.A.; Teixeira, R.; Wiebe, W.J. (2006), *A Water Quality Index applied to an international shared river basin: The case of the Douro River*, Environ. Manage., 38(6), 910-920.
DOI: 10.1007/s00267-004-0037-6.
- [30] Brown, R.M.; McClelland, N.I.; Deininger, R.A.; Tozer, R.G. (1970), *A Water Quality Index – Do We Dare?*, Water Sewage Works, 117(10), 339–343.
DOI: 10.1016/0043-1354(83)90188-4
- [31] Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), (2001), *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0 – Technical Report*, Canadian Council of Ministers of the Environment: Winnipeg, Manitoba, Canada.
- [32] Christiane, A.F.; Santos, J.B.; Mello, C.R.; Dalmolin, R.S.D.; Galvão, N.R. (2014), *Use of principal component analysis (PCA) for water quality index computation: application to a reservoir in Brazil*, Environmental Monitoring and Assessment, 187, 4163.

DOI: 10.1007/s10661-014-4163-1

- [33] Coletti, C.; Testezlaf, R.; Ribeiro, T.A.P.; Souza, R.T.G.; Pereira, D.A. (2010), *Water quality index using multivariate factorial analysis*, Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient., 14(5), 517-522.

DOI: 10.1590/S1415-43662010000500009

- [34] Daniel, D.J. (2009), *Distinction between Principal Component Analysis and Factor Analysis*, Journal of Statistical Research, 34(2), 145–152.

- [35] Denis, D. J. (2020), *Univariate, Bivariate, and Multivariate Statistics Using R: Quantitative Tools for Data Analysis and Data Science*, John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, New Jersey, U.S., 2020; xvii + 366 pp.

DOI: 10.1002/9781119549963

- [36] Department of Environment, Malaysia (2001), *Classification of Malaysian Rivers – DOE Water Quality Index Calculation and River Classification Guidelines*, DOE: Kuala Lumpur, Malaysia.

- [37] Dojlido, J.; Raniszewski, J.; Woyciechowska, J. (1994), *Water quality index applied to rivers in the Vistula River basin in Poland*, Environ. Monit. Assess., 33(1), 33–42.

DOI: 10.1007/BF00546659

- [38] Egbueri, J.C.; Ameh, P.D.; Unigwe, C.O. (2020), *Integrating entropyweighted water quality index and multiple pollution indices towards a better understanding of drinking water quality in Ojoto area, SE Nigeria*, Sci. Am., 2020, 10, e00644.

DOI: 10.1016/j.sciaf.2020.e00644

- [39] Ekere, N. R.; Agbazue, V. E.; Ngang, B. U.; Ihedioha, J. N. (2019), *Hydrochemistry and Water Quality Index of groundwater resources in Enugu North District, Enugu, Nigeria*, Environ. Monit. Assess., 191(3), 150.

DOI: 10.1007/s10661-019-7271-0

- [40] Elkhalki, S.; Hamed, R.; Jodeh, S.; Ghalit, M.; Elbarghmi, R.; Azzaoui, K.; Hanbali, G.; Ben Zhir, K.; Ait Taleb, B.; Zarrouk, A.; Lamhamdi, A. (2023), *Study of the quality index of groundwater (GWQI) and its use for irrigation*

purposes using the techniques of the geographic information system (GIS) of the plain Nekor-Ghiss (Morocco). Frontiers in Environmental Science, 11, Article 1179283.

DOI: 10.3389/fenvs.2023.1179283

- [41] Elubid, B.A.; Huag, T.; Ahmed, E.H.; Zhao, J.; Elhag, K.M.; Abbass, W.; Babiker, M.M. (2019), *Geospatial Distributions of Groundwater Quality in Gedaref State Using Geographic Information System (GIS) and Drinking Water Quality Index (DWQI)*, Int. J. Environ. Res. Public Health, 16(5), 731.

DOI: 10.3390/ijerph16050731

- [42] Faraji, H.; Javanian, M.; Chavoshi, E.; Rezaei, F.; Badeenezhad, A.; Nikbakht, H.-A. (2025), *Groundwater quality index and AI model for evaluating land use change impact in northern Iran: non-carcinogenic risk*, Water Practice & Technology, 20(5), 1153–1172.

DOI: 10.2166/wpt.2025.059

- [43] Fortes, A.C.C.; Barrocas, P.R.G.; Kligerman, D.C. (2023), *Water quality indices: Construction, potential, and limitations*, Ecol. Indic., 157, 111187.

DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.111187

- [44] Gazzaz, N. M.; Yusoff, M. K.; Aris, A. Z.; Juahir, H.; Ramli, M. F. (2012), *Artificial neural network modeling of the water quality index for Kinta River (Malaysia) using water quality variables as predictors*, Mar. Pollut. Bull., 64(11), 2409–2420.

DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.08.005.

- [45] Hoang, T.S.H. (2021), *Research on the material compositions of Holocene clayey soils distributed in Quang Tri and Thua Thien Hue plain*, Hue Univ. J. Sci.: Techniques and Technology, 130(2B).

DOI: 10.26459/hueunijtt.v130i2B.5788

- [46] House, M.A. (1989), *A Water Quality Index for River Management*, Water Environ. J., 3(4), 336-344.

DOI: 10.1111/j.1747-6593.1989.tb01538.x

- [47] Joung, H.M.; Miller, W.W.; Mahannah, C.N.; Guitjens, J.C. (1979), *A Generalized Water Quality Index Based on Multivariate Factor Analysis*, J. Environ. Qual., 8(1), 95-100.
DOI: 10.2134/jeq1979.00472425000800010021x
- [48] Kayemah, N.; Al-Ruzouq, R.; Shanableh, A.; Yilmaz, A. G. (2021), *Evaluation of Groundwater Quality Using Groundwater Quality Index (GWQI) in Sharjah, UAE*. E3S Web of Conferences, 241, Article 01005.
DOI: 10.1051/e3sconf/202124101005
- [49] Kumar, D.; Alappat, B. J. (2005), *NSF–Water Quality Index: Does It Represent the Experts’ Opinion?*, Practice Periodical on Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management, 13(1).
DOI: 10.1061/(ASCE)1090-025X(2009)13:1(75)
- [50] Le, P.C.; Luong, V.T.; Juzsakova, T. (2019), *Aquatic geochemistry status in the south, central, and highland regions of Vietnam*, Environmental Science and Pollution Research, 26(21), 21925–21947.
DOI: 10.1007/s11356-019-05448-9
- [51] Liu, C.W.; Lin, K.H.; Kuo, Y.M. (2003), *Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan*, Sci. Total Environ., 313(1-3), 77-89.
DOI: 10.1016/S0048-9697(02)00683-6.
- [52] Liou, S.M.; Lo, S.L.; Wang, S.H. (2004), *A Generalized Water Quality Index for Taiwan*, Environ. Monit. Assess., 96(1–3), 35–52.
DOI: 10.1023/B:EMAS.0000031715.83752.a1
- [53] Lumb, A.; Sharma, T.C.; Bibeault, J-F. (2011), *Review of Genesis and Evolution of Water Quality Index (WQI) and Some Future Directions*, Water Qual. Expo. Heal., 311, p. 24.
DOI: 10.1007/s12403-011-0040-0
- [54] Miller, J.N.; Miller, J.C. (2010), *The Quality of Analytical Measurements*, Pearson: England.

- [55] Nadiri, A.A.; Barzegar, R.; Sadeghfam, S.; Rostami, A.A. (2022), *Developing a Data-Fused Water Quality Index Based on Artificial Intelligence Models to Mitigate Conflicts between GQI and GWQI*, *Water*, 14(19), 3185.
DOI: 10.3390/w14193185
- [56] Nguyen Ba, D.; Nguyen Quoc, L.; Dang Tran, A.; Dang Tuyet, M. (2022), *Multi-geospatial flood hazard modelling for a large and complex river basin with data sparsity: a case study of the Lam River Basin, Vietnam*, *Earth Systems and Environment*, 6, 715–731.
DOI: 10.1007/s41748-021-00215-8
- [57] Nguyen Thanh, G.; Huynh Thi Hong, N.; Phan Kim, A. (2022), *Groundwater quality assessment using water quality index, principal component and cluster analyses: A case study (Can Tho City, Vietnam)*, *Environment and Natural Resources Journal*, 20(1), 45–54.
DOI: 10.32526/enrj.20.1.2022.45
- [58] Noori, R.; Berndtsson, R.; Hosseinzadeh, M.; Adamowski, J.F.; Abyaneh, M.R. (2019), *A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index*, *Environ. Pollut.*, 244, 575-587.
DOI: 10.1016/j.envpol.2018.10.076
- [59] Ouyang, Y. (2005), *Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis*, *Water Res.*, 39(12), 2621- 2635.
DOI: 10.1016/j.watres.2005.04.024
- [60] Pham, N.Q.; Nguyen, G.T. (2024) *Evaluating Groundwater Quality Using Multivariate Statistical Analysis and Groundwater Quality Index*, *Civil Engineering Journal*, 10(3), 4575.
DOI: 10.28991/CEJ-2024-010-03-03
- [61] Prati, L.; Pavanello, R.; Pesarin, F. (1971), *Assessment of surface water quality by a single index of pollution*, *Water Res.*, 5(9), 741–751.
DOI: 10.1016/0043-1354(71)90097-2
- [62] Prasad, M.; Sunitha, V.; Reddy, Y.S.; Suvarna, B.; Reddy, B.M.; Reddy, M.R. (2019), *Data on Water Quality Index Development for Groundwater Quality*

- Assessment from Obulavaripalli Mandal, YSR District, Data Br: A.P, India, 2019, p. 24.*
DOI: 10.1016/j.dib.2019.103846
- [63] Qian, Y.; Migliaccio, K.W.; Wan, Y.; Li, Y. (2007), *Surface water quality evaluation using multivariate methods and a new water quality index in the Indian River Lagoon, Florida*, Water Resour. Res., 43(8), 2006WR005716.
DOI: 10.1029/2006WR005716
- [64] Rivera, C.; Rodríguez, R. (2011), *Horwitz Equation as Quality Benchmark in ISO-IEC 17025 Testing Laboratory*, Journal/Report by Bufete de Ingenieros Industriales, Chihuahua, Mexico.
- [65] Rogger, M. (2002), *Assessment and Classification of Water Quality Parameters in Multivariate Water Quality Studies*, Journal of Hydrology & Environmental Research, 4.
- [66] Rogger, N.R. (2002), *ntroduction to environmental analysis*, Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- [67] Sajib, A.M.; Diganta, M.T.M.; Rahman, A.; Dabrowski, T.; Olbert, A.I.; Uddin, M.G. (2023), *Developing a novel tool for assessing the groundwater incorporating water quality index and machine learning approach*, Groundwater for Sustainable Development, 23, 101049.
DOI: 10.1016/j.gsd.2023.101049
- [68] Shoji, H.; Yamamoto, T.; Nakamura, T.; Nishida, K. (1963), *Factor analysis on stream pollution of the Yodo River*, Trans. Japan Soc, Civ. Eng., 91, 34–40.
DOI: 10.2208/jscej1949.1963.91_34
- [69] Shuaibu, A.; Kalin, R.M.; Phoenix, V.; Banda, L.C.; Lawal, I.M. (2024), *Hydrogeochemistry and Water Quality Index for Groundwater Sustainability in the Komadugu-Yobe Basin, Sahel Region*, Water, 16(4), 601.
DOI: 10.3390/w16040601
- [70] Singh, K.P.; Malik, A.; Singh, V.K.; Mohan, D.; Sinha, S. (2005), *Chemometric analysis of groundwater quality data of alluvial aquifer of Gangetic plain, North India*, Anal. Chim. Acta, 550(1-2), 82-91.

DOI: 10.1016/j.aca.2005.06.056

- [71] Smith, D.G. (1990), *A better water quality indexing system for rivers and streams*, Water Res., 24(10), 1237–1244.

DOI: 10.1016/0043-1354(90)90047-A

- [72] Soltan, M.E. (1999), *Evaluation of Ground Water Quality in Dakhla Oasis (Egyptian Western Desert)*. Environ. Monit. Assess., 1999, 57(2), 157-168.

DOI: 10.1023/A:1005948930316

- [73] Solangi, G.S.; Siyal, A.A.; Babar, M.M.; Siyal, P. (2019), *Application of water quality index, synthetic pollution index, and geospatial tools for the assessment of drinking water quality in the Indus Delta, Pakistan*, Environ. Monit. Assess., 191(12), 731.

DOI: /10.1007/s10661-019-7861-x

- [74] Subba Rao, N.; Sunitha, B.; Adimalla, N.; Chaudhary, M. (2020), *Quality criteria for groundwater use from a rural part of Wanaparthy District, Telangana State, India, through ionic spatial distribution (ISD), entropy water quality index (EWQI) and principal component analysis (PCA)*, Environ. Geochem. Health, 2020, 42(2), 579-599.

DOI: 10.1007/s10653-019-00393-5.

- [75] Sutadian, A.D.; Muttill, N.; Yilmaz, A.G.; Perera, B.J.C. (2016), *Development of river water quality indices—a review*, Environ. Monit. Assess., 188(1), 58.

DOI: 10.1007/s10661-015-5050-0.

- [76] Tabachnick, B.G.; Fidell, L.S. (2018), *Using Multivariate Statistics*, 7th ed., Pearson: Boston, MA, USA. ISBN: 978-0134790541

- [77] Tian, Y.; Jiang, Y.; Liu, Q.; Dong, M.; Xu, D.; Liu, Y.; Xu, X. (2019), *Using a water quality index to assess the water quality of the upper and middle streams of the Luanhe River, northern China*, Sci. Total Environ., 667, 142-151.

DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.356

- [78] Ton That, L.; Tran Thi Kim, T. (2023), *Assessment of groundwater quality in Ho Chi Minh City by Groundwater Quality Index (GWQI)*, European Modern Studies Journal, 7(2), 33–41.

DOI:10.59573/emsj.7(3).2023.9

- [79] Tripathi, M.; Singal, S.K. (2019), *Allocation of weights using factor analysis for development of a novel water quality index*, Ecotoxicol. Environ. Saf., 183, 109510.
DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.109510.
- [80] Vasanthavigar, M.; Srinivasamoorthy, K.; Vijayaragavan, K.; Rajiv Ganthi, R.; Chidambaram, S.; Anandhan, P.; Manivannan, R.; Vasudevan, S. (2010), *Application of water quality index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamilnadu, India*, Environ. Monit. Assess., 2010, 171(1-4), 595-609.
DOI: 10.1007/s10661-009-1302-1.
- [81] Vega, M.; Pardo, R.; Barrado, E.; Debán, L. (1998), *Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis*. Water Res., 32(12), 3581-3592.
DOI: 10.1016/S0043-1354(98)00138-9
- [82] Vollenweider, R. A.; Giovanardi, F.; Montanari, G.; Rinaldi, A. (1998), *Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index*, Environmetrics, 9(3), 329–357.
DOI: 10.1002/(SICI)1099-095X(199805/06)9:3<329::AID-ENV308>3.0.CO;2-9
- [83] WHO Regional Office for Europe & European Commission (2002), *Eutrophication and Health*, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. ISBN 92-894-4413-4.
- [84] Yun, S.T. (2007), *Multivariate statistical analysis for hydrogeochemical evolution of groundwater in a coastal area of Mokpo, Korea*, Hydrological Processes, 21(6), 751–759.
DOI: 10.1002/hyp.626

PHỤ LỤC

Phụ lục 1. Kết quả tính toán WQI cho sông Lam năm 2020 và 2021 (*trang 109*)

Phụ lục 2. Kết quả tính toán WQI cho sông Ba năm 2017 và 2019 (*trang 112*)

Phụ lục 3. Kết quả tính toán và phân loại CLN dưới đất của tỉnh Quảng Trị (cũ) giai đoạn 9/2019-2022 theo các $GWQI_M$, $GWQI_A$, $GWQI_{Ref}$ (*trang 113*)

Phụ lục 4. Kết quả tính chỉ số thông số q_i , GWQI và phân loại CLN dưới đất của tỉnh Quảng Trị (cũ) giai đoạn 2023-2024 (*trang 118*)

Phụ lục 5. Kết quả tính chỉ số thông số q_i , GWQI và phân loại CLN dưới đất của tỉnh Hà Tĩnh giai đoạn 2023-2024 (*trang 129*)

Phụ lục 6. Kết quả tính chỉ số thông số q_i , GWQI và phân loại CLN dưới đất của tỉnh Quảng Bình (cũ) giai đoạn 2023-2024 (*trang 145*)

Phụ lục 7. Kết quả tính chỉ số thông số q_i , GWQI và phân loại CLN dưới đất của tỉnh Quảng Nam (cũ) giai đoạn 2023-2024 (*trang 150*)

Phụ lục 1. Kết quả tính toán WQI cho sông Lam năm 2020 và 2021 (N = 156)

STT	Vị trí	Tháng /năm	WQI	Phân loại CLN	STT	Vị trí	Tháng /năm	WQI	Phân loại CLN
1	SL1	1/2020	99	RẤT TỐT	37	SL7	1/2020	97	RẤT TỐT
2	SL1	3/2020	100	RẤT TỐT	38	SL7	3/2020	91	RẤT TỐT
3	SL1	5/2020	99	RẤT TỐT	39	SL7	5/2020	98	RẤT TỐT
4	SL1	7/2020	100	RẤT TỐT	40	SL7	7/2020	99	RẤT TỐT
5	SL1	9/2020	100	RẤT TỐT	41	SL7	9/2020	99	RẤT TỐT
6	SL1	11/2020	100	RẤT TỐT	42	SL7	11/2020	92	RẤT TỐT
7	SL2	1/2020	97	RẤT TỐT	43	SL8	1/2020	99	RẤT TỐT
8	SL2	3/2020	94	RẤT TỐT	44	SL8	3/2020	99	RẤT TỐT
9	SL2	5/2020	96	RẤT TỐT	45	SL8	5/2020	97	RẤT TỐT
10	SL2	7/2020	85	TỐT	46	SL8	7/2020	99	RẤT TỐT
11	SL2	9/2020	99	RẤT TỐT	47	SL8	9/2020	98	RẤT TỐT
12	SL2	11/2020	100	RẤT TỐT	48		11/2020	96	RẤT TỐT
13	SL3	1/2020	98	RẤT TỐT	49	SL9	1/2020	97	RẤT TỐT
14	SL3	3/2020	100	RẤT TỐT	50		3/2020	99	RẤT TỐT
15	SL3	5/2020	100	RẤT TỐT	51		5/2020	100	RẤT TỐT
16	SL3	7/2020	88	TỐT	52		7/2020	100	RẤT TỐT
17	SL3	9/2020	98	RẤT TỐT	53		9/2020	100	RẤT TỐT
18	SL3	11/2020	98	RẤT TỐT	54		11/2020	95	RẤT TỐT
19	SL4	1/2020	98	RẤT TỐT	55	SL10	1/2020	99	RẤT TỐT
20	SL4	3/2020	100	RẤT TỐT	56		3/2020	96	RẤT TỐT
21	SL4	5/2020	93	RẤT TỐT	57		5/2020	98	RẤT TỐT
22	SL4	7/2020	86	TỐT	58		7/2020	95	RẤT TỐT
23	SL4	9/2020	92	RẤT TỐT	59		9/2020	100	RẤT TỐT
24	SL4	11/2020	100	RẤT TỐT	60		11/2020	95	RẤT TỐT
25	SL5	1/2020	94	RẤT TỐT	61	SL11	1/2020	100	RẤT TỐT
26	SL5	3/2020	77	TỐT	62		3/2020	99	RẤT TỐT
27	SL5	5/2020	97	RẤT TỐT	63		5/2020	98	RẤT TỐT
28	SL5	7/2020	98	RẤT TỐT	64		7/2020	97	RẤT TỐT
29	SL5	9/2020	99	RẤT TỐT	65		9/2020	98	RẤT TỐT
30	SL5	11/2020	96	RẤT TỐT	66		11/2020	99	RẤT TỐT
31	SL6	1/2020	98	RẤT TỐT	67	SL12	1/2020	85	TỐT
32	SL6	3/2020	99	RẤT TỐT	68		3/2020	56	TRUNG BÌNH
33	SL6	5/2020	98	RẤT TỐT	69		5/2020	90	TỐT
34	SL6	7/2020	99	RẤT TỐT	70		7/2020	80	TỐT
35	SL6	9/2020	100	RẤT TỐT	71		9/2020	82	TỐT
36	SL6	11/2020	99	RẤT TỐT	72		11/2020	80	TỐT

STT	Vị trí	Tháng /năm	WQI	Phân loại CLN	STT	Vị trí	Tháng /năm	WQI	Phân loại CLN
73	SL13	1/2020	97	RẤT TỐT	110	SL3	5/2021	99	RẤT TỐT
74		3/2020	99	RẤT TỐT	111	SL3	7/2021	91	RẤT TỐT
75		5/2020	94	RẤT TỐT	112	SL4	3/2021	96	RẤT TỐT
76		7/2020	96	RẤT TỐT	113	SL4	5/2021	99	RẤT TỐT
77		9/2020	97	RẤT TỐT	114	SL4	7/2021	87	TỐT
78		11/2020	99	RẤT TỐT	115	SL5	3/2021	99	RẤT TỐT
79	SL14	1/2020	98	RẤT TỐT	116	SL5	5/2021	100	RẤT TỐT
80	SL14	3/2020	97	RẤT TỐT	117	SL5	7/2021	99	RẤT TỐT
81	SL14	5/2020	98	RẤT TỐT	118	SL6	3/2021	100	RẤT TỐT
82	SL14	7/2020	87	TỐT	119	SL6	5/2021	100	RẤT TỐT
83	SL14	9/2020	71	TRUNG BÌNH	120	SL6	7/2021	100	RẤT TỐT
84	SL14	11/2020	83	TỐT	121	SL7	3/2021	99	RẤT TỐT
85	SL15	1/2020	86	TỐT	122	SL7	5/2021	100	RẤT TỐT
86	SL15	3/2020	89	TỐT	123	SL7	7/2021	99	RẤT TỐT
87	SL15	5/2020	94	RẤT TỐT	124	SL8	3/2021	100	RẤT TỐT
88	SL15	7/2020	92	RẤT TỐT	125	SL8	5/2021	99	RẤT TỐT
89	SL15	9/2020	85	TỐT	126	SL8	7/2021	100	RẤT TỐT
90	SL15	11/2020	91	RẤT TỐT	127	SL9	3/2021	100	RẤT TỐT
91	SL16	1/2020	41	KÉM	128	SL9	5/2021	99	RẤT TỐT
92	SL16	3/2020	35	KÉM	129	SL9	7/2021	93	RẤT TỐT
93	SL16	5/2020	92	RẤT TỐT	130	SL10	3/2021	100	RẤT TỐT
94	SL16	7/2020	76	TỐT	131	SL10	5/2021	100	RẤT TỐT
95	SL16	9/2020	27	KÉM	132	SL10	7/2021	99	RẤT TỐT
96	SL16	11/2020	59	TRUNG BÌNH	133	SL11	3/2021	99	RẤT TỐT
97	SL17	1/2020	54	TRUNG BÌNH	134	SL11	5/2021	100	RẤT TỐT
98	SL17	3/2020	87	TỐT	135	SL11	7/2021	99	RẤT TỐT
99	SL17	5/2020	74	TRUNG BÌNH	136	SL12	3/2021	94	RẤT TỐT
100	SL17	7/2020	41	KÉM	136	SL12	5/2021	94	RẤT TỐT
101	SL17	9/2020	57	TRUNG BÌNH	138	SL12	7/2021	87	TỐT
102	SL17	11/2020	89	TỐT	139	SL13	3/2021	100	RẤT TỐT
103	SL1	3/2021	100	RẤT TỐT	140	SL13	5/2021	97	RẤT TỐT
104	SL1	5/2021	100	RẤT TỐT	141	SL13	7/2021	98	RẤT TỐT
105	SL1	7/2021	100	RẤT TỐT	142	SL14	3/2021	88	TỐT
106	SL2	3/2021	99	RẤT TỐT	143	SL14	5/2021	92	RẤT TỐT
107	SL2	5/2021	58	TRUNG BÌNH	144	SL14	7/2021	92	RẤT TỐT
108	SL2	7/2021	99	RẤT TỐT	145	SL15	3/2021	89	TỐT
109	SL3	3/2021	100	RẤT TỐT	146	SL15	5/2021	96	RẤT TỐT

STT	Vị trí	Tháng /năm	WQI	Phân loại CLN	STT	Vị trí	Tháng /năm	WQI	Phân loại CLN
147	SL15	7/2021	94	RẤT TỐT	152	SL17	5/2021	85	TỐT
148	SL16	3/2021	52	TRUNG BÌNH	153	SL17	7/2021	41	KÉM
149	SL16	5/2021	82	TỐT	154	SL18	3/2021	53	TRUNG BÌNH
150	SL16	7/2021	78	TỐT	155	SL18	5/2021	31	KÉM
151	SL17	3/2021	44	KÉM	156	SL18	7/2021	55	TRUNG BÌNH

Phụ lục 2. Kết quả tính toán WQI cho sông Ba năm 2017 và 2019 (N = 51)

STT	Vị trí	Tháng /năm	WQI	Phân loại CLN	STT	Vị trí	Tháng /năm	WQI	Phân loại CLN
1	M1	4/2017	94	RẤT TỐT	27	M9	10/2017	81	TỐT
2	M1	8/2017	86	TỐT	28	M1	3/2019	95	RẤT TỐT
3	M1	10/2017	86	TỐT	29	M1	7/2019	69	TRUNG BÌNH
4	M2	4/2017	95	RẤT TỐT	30	M1	10/2019	65	TRUNG BÌNH
5	M2	8/2017	84	TỐT	31	M2	3/2019	92	RẤT TỐT
6	M2	10/2017	85	TỐT	32	M2	7/2019	66	TRUNG BÌNH
7	M3	4/2017	82	TỐT	33	M2	10/2019	57	TRUNG BÌNH
8	M3	8/2017	86	TỐT	34	M3	3/2019	97	RẤT TỐT
9	M3	10/2017	75	TRUNG BÌNH	35	M3	7/2019	92	RẤT TỐT
10	M4	4/2017	83	TỐT	36	M3	10/2019	95	RẤT TỐT
11	M4	8/2017	84	TỐT	37	M4	3/2019	100	RẤT TỐT
12	M4	10/2017	75	TRUNG BÌNH	38	M4	7/2019	98	RẤT TỐT
13	M5	4/2017	94	RẤT TỐT	39	M4	10/2019	75	TRUNG BÌNH
14	M5	8/2017	90	TỐT	40	M5	3/2019	99	RẤT TỐT
15	M5	10/2017	86	TỐT	41	M5	7/2019	98	RẤT TỐT
16	M6	4/2017	90	TỐT	42	M5	10/2019	99	RẤT TỐT
17	M6	8/2017	90	TỐT	43	M6	3/2019	52	TRUNG BÌNH
18	M6	10/2017	90	TỐT	44	M6	7/2019	41	KÉM
19	M7	4/2017	95	RẤT TỐT	45	M6	10/2019	34	KÉM
20	M7	8/2017	89	TỐT	46	M7	3/2019	37	KÉM
21	M7	10/2017	86	TỐT	47	M7	7/2019	64	TRUNG BÌNH
22	M8	4/2017	55	TRUNG BÌNH	48	M7	10/2019	59	TRUNG BÌNH
23	M8	8/2017	51	TRUNG BÌNH	49	M8	3/2019	87	TỐT
24	M8	10/2017	80	TỐT	50	M8	7/2019	16	RẤT KÉM
25	M9	4/2017	55	TRUNG BÌNH	51	M8	10/2019	89	TỐT
26	M9	8/2017	52	TRUNG BÌNH					

**Phụ lục 3. Kết quả tính toán và phân loại CLN dưới đất của tỉnh Quảng Trị (cũ)
giai đoạn 9/2019-2022 theo các $GWQI_M$, $GWQI_A$, $GWQI_{Ref}$ ($N = 152$)**

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số CLN dưới đất			Phân loại CLN		
		$GWQI_M$	$GWQI_A$	$GWQI_{Ref}$	$GWQI_M$	$GWQI_A$	$GWQI_{Ref}$
1	QT9-19NN44	100	100	16	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
2	QT4-20NN44	92	94	43	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
3	QT9-20NN44	97	97	28	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
4	QT4-21NN44	100	100	18	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
5	QT9-21NN44	99	99	33	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
6	QT4-22NN44	95	96	39	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
7	QT9-19NN29	97	97	28	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
8	QT4-20NN29	38	73	411	KÉM	TỐT	RẤT KÉM
9	QT9-20NN29	76	85	89	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
10	QT4-21NN29	95	96	18	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
11	QT9-21NN29	96	97	45	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
12	QT4-22NN29	97	97	46	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
13	QT9-19NN55	70	84	35	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
14	QT4-20NN55	97	98	18	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
15	QT9-20NN55	93	94	38	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
16	QT4-21NN55	91	94	35	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
17	QT9-21NN55	98	98	39	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
18	QT4-22NN55	87	90	58	RẤT TỐT	RẤT TỐT	TỐT
19	QT9-19NN71	91	94	72	RẤT TỐT	RẤT TỐT	TỐT
20	QT4-20NN71	70	91	124	TỐT	RẤT TỐT	TRUNG BÌNH
21	QT9-20NN71	72	92	116	TỐT	RẤT TỐT	TRUNG BÌNH
22	QT4-21NN71	98	98	25	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
23	QT9-21NN71	99	99	38	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
24	QT4-22NN71	96	97	48	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
25	QT9-19NN15	100	100	17	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
26	QT4-20NN15	42	80	672	TRUNG BÌNH	TỐT	RẤT KÉM
27	QT9-20NN15	66	88	111	TỐT	RẤT TỐT	TRUNG BÌNH
28	QT4-21NN15	89	90	75	RẤT TỐT	RẤT TỐT	TỐT
29	QT9-21NN15	30	73	456	KÉM	TỐT	RẤT KÉM
30	QT4-22NN15	29	70	506	KÉM	TỐT	RẤT KÉM
31	QT9-19NN36a	99	99	16	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
32	QT4-20NN36a	96	97	29	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
33	QT9-20NN36a	92	94	34	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
34	QT4-21NN36a	100	100	16	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
35	QT9-21NN36a	94	96	66	RẤT TỐT	RẤT TỐT	TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số CLN dưới đất			Phân loại CLN		
		GWQI _M	GWQI _A	GWQI _{Ref}	GWQI _M	GWQI _A	GWQI _{Ref}
36	QT4-22NN36a	76	84	77	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
37	QT9-19NN25	100	100	15	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
38	QT4-20NN25	92	95	19	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
39	QT9-20NN25	91	95	21	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
40	QT4-21NN25	72	93	25	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
41	QT9-21NN25	69	89	68	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
42	QT4-22NN25	65	84	52	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
43	QT9-19NN30	23	61	202	KÉM	TỐT	KÉM
44	QT4-20NN30	39	67	288	KÉM	TỐT	KÉM
45	QT9-20NN30	9	49	211	RẤT KÉM	TRUNG BÌNH	KÉM
46	QT4-21NN30	21	65	75	KÉM	TỐT	TỐT
47	QT9-21NN30	26	59	158	KÉM	TRUNG BÌNH	TRUNG BÌNH
48	QT4-22NN30	52	71	135	TRUNG BÌNH	TỐT	TRUNG BÌNH
49	QT9-19NN30b	3	30	313	RẤT KÉM	KÉM	RẤT KÉM
50	QT4-20NN30b	3	30	501	RẤT KÉM	KÉM	RẤT KÉM
51	QT9-20NN30b	5	38	304	RẤT KÉM	KÉM	RẤT KÉM
52	QT4-21NN30b	5	38	413	RẤT KÉM	KÉM	RẤT KÉM
53	QT9-21NN30b	5	38	299	RẤT KÉM	KÉM	KÉM
54	QT4-22NN30b	5	36	146	RẤT KÉM	KÉM	TRUNG BÌNH
55	QT9-19NN43	79	90	23	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
56	QT4-20NN43	41	78	202	TRUNG BÌNH	TỐT	KÉM
57	QT9-20NN43	93	94	35	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
58	QT4-21NN43	69	89	22	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
59	QT9-21NN43	98	98	38	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
60	QT4-22NN43	31	73	118	KÉM	TỐT	TRUNG BÌNH
61	QT9-19NN31	57	88	15	TRUNG BÌNH	RẤT TỐT	RẤT TỐT
62	QT4-20NN31	58	84	133	TRUNG BÌNH	RẤT TỐT	TRUNG BÌNH
63	QT9-20NN31	96	97	23	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
64	QT4-21NN31	71	91	121	TỐT	RẤT TỐT	TRUNG BÌNH
65	QT9-21NN31	97	97	39	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
66	QT4-22NN31	89	92	39	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
67	QT9-19NN20	37	71	184	KÉM	TỐT	TRUNG BÌNH
68	QT4-20NN20	85	91	96	RẤT TỐT	RẤT TỐT	TỐT
69	QT9-20NN20	100	100	17	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
70	QT4-21NN20	72	93	187	TỐT	RẤT TỐT	TRUNG BÌNH
71	QT9-21NN20	71	91	298	TỐT	RẤT TỐT	KÉM
72	QT4-21NN20	45	83	269	TRUNG BÌNH	RẤT TỐT	KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số CLN dưới đất			Phân loại CLN		
		GWQI _M	GWQI _A	GWQI _{Ref}	GWQI _M	GWQI _A	GWQI _{Ref}
73	QT9-19NN36b	72	92	135	TỐT	RẤT TỐT	TRUNG BÌNH
74	QT4-20NN36b	67	88	205	TỐT	RẤT TỐT	KÉM
75	QT9-20NN36b	61	88	117	TỐT	RẤT TỐT	TRUNG BÌNH
76	QT4-21NN36b	39	64	76	KÉM	TỐT	TỐT
77	QT9-21NN36b	70	90	53	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
78	QT4-22NN36b	63	82	133	TỐT	RẤT TỐT	TRUNG BÌNH
79	QT9-19NN58	36	72	29	KÉM	TỐT	RẤT TỐT
80	QT4-20NN58	61	84	34	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
81	QT9-20NN58	43	82	35	TRUNG BÌNH	RẤT TỐT	RẤT TỐT
82	QT4-21NN58	48	73	78	TRUNG BÌNH	TỐT	TỐT
83	QT9-21NN58	26	70	292	KÉM	TỐT	KÉM
84	QT4-22NN58	69	88	40	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
85	QT9-19NN63	28	62	338	KÉM	TỐT	RẤT KÉM
86	QT4-20NN63	37	72	249	KÉM	TỐT	KÉM
87	QT9-20NN63	52	78	154	TRUNG BÌNH	TỐT	TRUNG BÌNH
88	QT4-21NN63	36	77	169	KÉM	TỐT	TRUNG BÌNH
89	QT9-21NN63	44	77	169	TRUNG BÌNH	TỐT	TRUNG BÌNH
90	QT4-22NN63	40	79	193	KÉM	TỐT	TRUNG BÌNH
91	QT9-19NN21	44	78	177	TRUNG BÌNH	TỐT	TRUNG BÌNH
92	QT4-20NN21	41	78	625	TRUNG BÌNH	TỐT	RẤT KÉM
93	QT9-20NN21	34	75	106	KÉM	TỐT	TRUNG BÌNH
94	QT4-21NN21	61	88	72	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
95	QT9-21NN21	31	75	338	KÉM	TỐT	RẤT KÉM
96	QT4-22NN21	41	80	107	TRUNG BÌNH	TỐT	TRUNG BÌNH
97	QT9-19NN27	97	98	17	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
98	QT4-20NN27	69	89	42	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
99	QT9-20NN27	72	92	46	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
100	QT4-21NN27	97	97	24	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
101	QT9-21NN27	96	97	40	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
102	QT4-22NN27	70	90	41	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
103	QT9-19NN47	96	97	58	RẤT TỐT	RẤT TỐT	TỐT
104	QT4-20NN47	55	78	129	TRUNG BÌNH	TỐT	TRUNG BÌNH
105	QT9-20NN47	62	88	87	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
106	QT4-21NN47	100	100	19	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
107	QT9-21NN47	70	90	294	TỐT	RẤT TỐT	KÉM
108	QT4-22NN47	41	76	303	TRUNG BÌNH	TỐT	RẤT KÉM
109	QT9-19NN22	100	100	19	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số CLN dưới đất			Phân loại CLN		
		GWQI _M	GWQI _A	GWQI _{Ref}	GWQI _M	GWQI _A	GWQI _{Ref}
110	QT4-20NN22	62	83	53	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
111	QT9-20NN22	72	93	21	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
112	QT4-21NN22	72	92	270	TỐT	RẤT TỐT	KÉM
113	QT9-21NN22	71	92	51	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
114	QT4-22NN22	70	90	59	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
115	QT9-19NN38	82	89	19	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
116	QT4-20NN38	72	92	41	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
117	QT9-20NN38	68	88	25	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
118	QT4-21NN38	65	85	47	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
119	QT9-21NN38	62	83	70	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
120	QT4-22NN38	70	90	41	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
121	QT9-19NN28	98	98	37	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
122	QT4-20NN28	61	87	63	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
123	QT9-20NN28	94	95	17	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
124	QT4-21NN28	94	95	18	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
125	QT9-21NN28	93	94	37	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
126	QT4-22NN28	95	95	33	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
127	QT9-19NN62	100	100	21	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
128	QT4-20NN62	63	90	97	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
129	QT9-20NN62	78	83	33	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
130	QT4-21NN62	62	89	56	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
131	QT9-21NN62	59	88	37	TRUNG BÌNH	RẤT TỐT	RẤT TỐT
132	QT4-22NN62	42	77	258	TRUNG BÌNH	TỐT	KÉM
133	QT9-19NN1	62	88	77	TỐT	RẤT TỐT	TỐT
134	QT4-20NN1	60	87	100	TRUNG BÌNH	RẤT TỐT	TỐT
135	QT9-20NN1	88	90	57	RẤT TỐT	RẤT TỐT	TỐT
136	QT4-21NN1	88	92	84	RẤT TỐT	RẤT TỐT	TỐT
137	QT9-21NN1	58	81	397	TRUNG BÌNH	RẤT TỐT	RẤT KÉM
138	QT4-22NN1	96	97	34	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
139	QT9-19NN42	55	84	76	TRUNG BÌNH	RẤT TỐT	TỐT
140	QT4-20NN42	31	75	261	KÉM	TỐT	KÉM
141	QT9-20NN42	43	82	31	TRUNG BÌNH	RẤT TỐT	RẤT TỐT
142	QT4-21NN42	38	74	69	KÉM	TỐT	TỐT
143	QT9-21NN42	31	75	265	KÉM	TỐT	KÉM
144	QT4-22NN42	30	73	268	KÉM	TỐT	KÉM
145	QT9-19NN69	87	90	30	RẤT TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
146	QT4-20NN69	59	88	26	TRUNG BÌNH	RẤT TỐT	RẤT TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số CLN dưới đất			Phân loại CLN		
		GWQI _M	GWQI _A	GWQI _{Ref}	GWQI _M	GWQI _A	GWQI _{Ref}
147	QT9-20NN69	59	87	18	TRUNG BÌNH	RẤT TỐT	RẤT TỐT
148	QT4-21NN69	57	85	20	TRUNG BÌNH	RẤT TỐT	RẤT TỐT
149	QT9-21NN69	76	86	38	TỐT	RẤT TỐT	RẤT TỐT
150	QT4-22NN69	51	81	38	TRUNG BÌNH	RẤT TỐT	RẤT TỐT
151	QT4-22NN85	44	80	871	TRUNG BÌNH	TỐT	RẤT KÉM
152	QT4-22NN60	37	76	114	KÉM	TỐT	TRUNG BÌNH

**Phụ lục 4. Kết quả tính chỉ số thông số q_i , GWQI và phân loại CLN dưới đất
của tỉnh Quảng Trị (cũ) giai đoạn 2023-2024 ($N = 240$)**

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
1	QT1-23NN31	100	100	100	100	89	100	100	100	100	100	98	RẤT TỐT
2	QT1-23NN20	100	100	100	100	1	100	100	100	1	100	47	TRUNG BÌNH
3	QT1-23NN36b	100	100	100	100	8	1	1	100	1	100	29	KÉM
4	QT1-23NN58	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	RẤT TỐT
5	QT1-23NN36a	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
6	QT1-23NN25	100	100	100	100	100	100	64.5	100	100	100	96	RẤT TỐT
7	QT1-23NN30	100	100	100	100	31	100	100	100	100	100	90	RẤT TỐT
8	QT1-23NN30b	100	1	1	1	1	1	100	100	1	100	6	RẤT KÉM
9	QT1-23NN43	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
10	QT1-23NN10	100	100	100	100	43	1	100	100	1	100	46	TRUNG BÌNH
11	QT1-23NN11	100	100	100	100	1	100	100	43	100	100	60	TRUNG BÌNH
12	QT1-23NN63	100	100	100	100	100	1	69	100	100	100	67	TỐT
13	QT1-23NN21	100	100	100	100	423	100	100	100	100	100	92	RẤT TỐT
14	QT1-23NN27	100	100	100	100	100	100	92	100	100	100	99	RẤT TỐT
15	QT1-23NN47	100	100	100	100	100	1	100	100	100	100	69	TỐT
16	QT1-23NN9	100	100	100	100	54	1	1	71	71	100	44	TRUNG BÌNH
17	QT1-23NN22	100	100	100	100	100	100	58	100	100	100	96	RẤT TỐT
18	QT1-23NN38	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
19	QT1-23NN28	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
20	QT1-23NN62	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
21	QT1-23NN1	100	100	100	100	100	89	98	100	1	100	71	TỐT
22	QT1-23NN42	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
23	QT1-23NN69	100	100	100	100	100	100	58	100	100	100	96	RẤT TỐT
24	QT1-23NN85	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH
25	QT1-23NN60	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
26	QT1-23NN44	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
27	QT1-23NN29	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
28	QT1-23NN55	100	100	100	100	66	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
29	QT1-23NN14	100	100	100	100	31.3	100	100	100	100	100	90	RẤT TỐT
30	QT1-23NN15	100	100	100	100	100	1	100	1	1	100	31	KÉM
31	QT4-23NN31	100	100	100	100	100	100	100	25	1	100	63	TỐT
32	QT4-23NN20	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
33	QT4-23NN36b	100	100	100	100	1	100	1	100	1	100	34	KÉM
34	QT4-23NN58	100	100	100	100	89	100	100	100	100	100	98	RẤT TỐT
35	QT4-23NN36a	100	100	100	100	100	100	100	77	1	100	70	TỐT
36	QT4-23NN25	1	100	100	100	100	100	1	100	100	100	43	TRUNG BÌNH
37	QT4-23NN30b	100	1	1	1	1	1	100	1	1	100	3	RẤT KÉM
38	QT4-23NN43	20.8	100	100	100	89	100	100	100	1	100	60	TRUNG BÌNH
39	QT4-23NN10	100	100	100	100	54	1	100	100	1	100	47	TRUNG BÌNH
40	QT4-23NN11	100	100	100	100	100	100	100	54	100	100	94	RẤT TỐT
41	QT4-23NN30	100	1	1	100	1	100	100	100	1	100	15	RẤT KÉM
42	QT4-23NN63	100	100	100	100	100	1	75	100	100	100	67	TỐT
43	QT4-23NN21	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
44	QT4-23NN27	100	100	100	100	89	100	100	100	100	100	98	RẤT TỐT
45	QT4-23NN47	100	100	100	100	100	1	78	100	100	100	68	TỐT
46	QT4-23NN9	100	100	1	100	100	1	1	1	27	100	15	RẤT KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
47	QT4-23NN22	100	100	100	100	100	100	50	1	100	100	60	TRUNG BÌNH
48	QT4-23NN38	100	100	100	100	100	100	1	54	100	100	68	TỐT
49	QT4-23NN28	21	100	100	100	100	100	100	100	100	100	84	RẤT TỐT
50	QT4-23NN62	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
51	QT4-23NN1	70	100	100	100	100	100	84	100	1	100	68	TỐT
52	QT4-23NN42	1	100	100	100	100	100	1	100	1	100	31	KÉM
53	QT4-23NN69	50.5	100	100	100	100	100	67.9	100	100	100	90	RẤT TỐT
54	QT4-23NN85	100	100	100	100	54	100	100	1	1	100	43	TRUNG BÌNH
55	QT4-23NN60	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
56	QT4-23NN44	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
57	QT4-23NN29	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
58	QT4-23NN55	100	100	100	100	66	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
59	QT4-23NN14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
60	QT4-23NN15	100	100	100	100	100	1	81	1	1	100	31	KÉM
61	QT8-23NN31	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
62	QT8-23NN20	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
63	QT8-23NN36b	100	100	100	100	1	100	100	100	1	100	47	TRUNG BÌNH
64	QT8-23NN58	100	100	100	100	66	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
65	QT8-23NN36a	100	100	100	100	66	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
66	QT8-23NN25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
67	QT8-23NN30	100	1	1	100	1	100	100	100	100	100	20	RẤT KÉM
68	QT8-23NN30b	100	1	1	1	1	60	100	100	1	100	8	RẤT KÉM
69	QT8-23NN43	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
70	QT8-23NN10	100	100	100	100	100	1	100	100	1	100	50	TRUNG BÌNH

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
71	QT8-23NN11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
72	QT8-23NN63	100	100	100	100	100	1	100	1	27	100	39	KÉM
73	QT8-23NN21	100	100	100	100	100	100	100	1	100	100	63	TỐT
74	QT8-23NN27	100	100	100	100	100	25	100	100	100	100	89	RẤT TỐT
75	QT8-23NN47	100	100	1	100	100	1	74	100	100	100	37	KÉM
76	QT8-23NN9	100	100	1	100	100	1	1	100	100	100	27	KÉM
77	QT8-23NN22	100	100	100	100	88.6	100	84	100	100	100	97	RẤT TỐT
78	QT8-23NN38	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
79	QT8-23NN28	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	RẤT TỐT
80	QT8-23NN62	100	100	100	100	89	100	100	100	100	100	98	RẤT TỐT
81	QT8-23NN1	90.1	100	100	100	100	100	100	100	1	100	71	TỐT
82	QT8-23NN42	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH
83	QT8-23NN69	70.3	100	100	100	100	100	44	100	100	100	90	RẤT TỐT
84	QT8-23NN85	100	100	100	100	100	100	100	71	1	100	70	TỐT
85	QT8-23NN60	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
86	QT8-23NN44	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
87	QT8-23NN29	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
88	QT8-23NN55	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
89	QT8-23NN14	100	100	100	100	66	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
90	QT8-23NN15	100	100	100	100	100	100	100	1	85	100	62	TỐT
91	QT10-23NN31	100	100	100	100	100	100	100	100	85	100	98	RẤT TỐT
92	QT10-23NN20	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
93	QT10-23NN36b	100	30	71	100	89	100	100	100	1	100	59	TRUNG BÌNH
94	QT10-23NN58	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
95	QT10-23NN36a	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
96	QT10-23NN25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
97	QT10-23NN30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
98	QT10-23NN30b	100	1	1	1	100	43	100	100	1	100	12	RẤT KÉM
99	QT10-23NN43	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
100	QT10-23NN10	100	100	100	100	100	54	100	100	1	100	68	TỐT
101	QT10-23NN11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
102	QT10-23NN63	100	100	100	100	100	1	100	100	100	100	69	TỐT
103	QT10-23NN21	100	100	100	100	100	100	100	1	100	100	63	TỐT
104	QT10-23NN27	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
105	QT10-23NN47	100	100	100	100	100	1	100	100	1	100	50	TRUNG BÌNH
106	QT10-23NN9	100	69	1	100	100	1	1	100	100	100	26	KÉM
107	QT10-23NN22	100	100	100	100	100	100	86.3	100	100	100	98	RẤT TỐT
108	QT10-23NN38	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
109	QT10-23NN28	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	94	RẤT TỐT
110	QT10-23NN62	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
111	QT10-23NN1	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
112	QT10-23NN42	21	100	100	100	100	100	1	100	100	100	60	TRUNG BÌNH
113	QT10-23NN69	70	100	100	100	100	100	84	100	100	100	95	RẤT TỐT
114	QT10-23NN85	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
115	QT10-23NN60	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
116	QT10-23NN44	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
117	QT10-23NN29	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
118	QT10-23NN55	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
119	QT10-23NN14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
120	QT10-23NN15	100	100	100	100	100	20	100	1	1	100	40	KÉM
121	QT1-24NN31	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
122	QT1-24NN20	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
123	QT1-24NN36b	100	100	69	100	66	100	100	100	100	100	91	RẤT TỐT
124	QT1-24NN58	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
125	QT1-24NN36a	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
126	QT1-24NN25	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
127	QT1-24NN30	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
128	QT1-24NN30b	100	1	1	1	1	100	100	100	1	100	9	RẤT KÉM
129	QT1-24NN43	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
130	QT1-24NN10	100	100	100	100	100	1	100	100	1	100	50	TRUNG BÌNH
131	QT1-24NN11	100	100	100	100	1	100	1	100	100	100	47	TRUNG BÌNH
132	QT1-24NN63	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
133	QT1-24NN21	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
134	QT1-24NN27	100	100	100	100	100	94	1	100	100	100	72	TỐT
135	QT1-24NN47	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
136	QT1-24NN9	100	25	1	100	100	100	1	100	100	100	33	KÉM
137	QT1-24NN22	100	100	100	100	100	1	100	100	100	100	69	TỐT
138	QT1-24NN38	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
139	QT1-24NN28	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
140	QT1-24NN62	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
141	QT1-24NN1	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
142	QT1-24NN42	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
143	QT1-24NN69	60	100	100	100	100	100	90	100	100	100	93	RẤT TỐT
144	QT1-24NN85	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
145	QT1-24NN60	100	100	100	100	100	100	26	100	1	100	65	TỐT
146	QT1-24NN44	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
147	QT1-24NN29	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
148	QT1-24NN55	100	100	100	100	100	1	100	100	100	100	69	TỐT
149	QT1-24NN14	100	100	100	100	1	1	100	100	100	100	45	TRUNG BÌNH
150	QT1-24NN15	100	100	100	100	100	1	100	1	1	100	31	KÉM
151	QT4-24NN31	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
152	QT4-24NN20	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
153	QT4-24NN36b	100	100	100	100	1	100	86	100	1	100	47	TRUNG BÌNH
154	QT4-24NN58	100	100	100	100	66	100	81	100	100	100	94	RẤT TỐT
155	QT4-24NN36a	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
156	QT4-24NN25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
157	QT4-24NN30	100	100	100	100	1	100	1	94	100	100	47	TRUNG BÌNH
158	QT4-24NN30b	100	1	1	1	1	14	100	100	1	100	7	RẤT KÉM
159	QT4-24NN43	100	100	100	100	66	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
160	QT4-24NN10	100	100	100	100	43	94	100	100	1	100	66	TỐT
161	QT4-24NN11	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
162	QT4-24NN63	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
163	QT4-24NN21	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
164	QT4-24NN27	100	100	100	100	100	2	1	100	100	100	53	TRUNG BÌNH
165	QT4-24NN47	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
166	QT4-24NN9	100	1	1	100	100	1	14	37	100	100	17	RẤT KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
167	QT4-24NN22	100	100	100	100	100	100	1	60	1	100	49	TRUNG BÌNH
168	QT4-24NN38	100	100	100	100	100	100	1	94	100	100	72	TỐT
169	QT4-24NN28	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
170	QT4-24NN62	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
171	QT4-24NN1	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
172	QT4-24NN42	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH
173	QT4-24NN69	100	100	100	100	100	100	59	100	100	100	96	RẤT TỐT
174	QT4-24NN85	100	100	100	100	31	100	100	1	1	100	41	TRUNG BÌNH
175	QT4-24NN60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
176	QT4-24NN44	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
177	QT4-24NN29	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
178	QT4-24NN55	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
179	QT4-NN14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
180	QT4-NN15	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
181	QT8-24NN31	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
182	QT8-24NN20	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
183	QT8-24NN36b	100	100	100	100	54	100	100	1	100	100	59	TRUNG BÌNH
184	QT8-24NN58	100	100	100	100	89	66	1	100	100	100	69	TỐT
185	QT8-24NN36a	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
186	QT8-24NN25	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
187	QT8-24NN30	100	1	1	100	89	100	100	94	1	100	22	KÉM
188	QT8-24NN30b	100	1	1	1	1	1	100	1	100	100	5	RẤT KÉM
189	QT8-24NN43	100	100	100	100	89	100	100	100	100	100	98	RẤT TỐT
190	QT8-24NN10	100	100	90	100	100	1	100	100	1	100	49	TRUNG BÌNH

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
191	QT8-24NN11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
192	QT8-24NN63	100	100	100	100	100	100	100	1	100	100	63	TỐT
193	QT8-24NN21	100	100	100	100	100	100	100	1	100	100	63	TỐT
194	QT8-24NN27	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
195	QT8-24NN47	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
196	QT8-24NN9	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH
197	QT8-24NN22	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
198	QT8-24NN38	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
199	QT8-24NN28	90	100	100	100	100	100	100	100	12	100	85	RẤT TỐT
200	QT8-24NN62	100	100	100	100	100	94	100	100	100	100	99	RẤT TỐT
201	QT8-24NN1	80	100	100	100	100	1	100	100	1	100	48	TRUNG BÌNH
202	QT8-24NN42	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH
203	QT8-24NN69	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
204	QT8-24NN85	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
205	QT8-24NN60	100	100	100	100	100	100	100	100	12	100	86	RẤT TỐT
206	QT8-24NN44	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
207	QT8-24NN29	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
208	QT8-24NN55	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
209	QT8-24NN14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
210	QT8-24NN15	70	100	100	100	100	100	20	100	100	100	85	RẤT TỐT
211	QT10-24NN31	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	RẤT TỐT
212	QT10-24NN20	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
213	QT10-24NN36b	100	100	100	100	66	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
214	QT10-24NN58	70	100	100	100	100	100	1	100	100	100	69	TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
215	QT10-24NN36a	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
216	QT10-24NN25	1	100	100	100	100	100	1	100	100	100	43	TRUNG BÌNH
217	QT10-24NN30	100	1	1	100	100	100	100	100	1	100	22	KÉM
218	QT10-24NN30b	100	1	1	1	1	66	100	25	100	100	10	RẤT KÉM
219	QT10-24NN43	51	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92	RẤT TỐT
220	QT10-24NN10	100	100	69	100	100	100	100	100	12	100	82	RẤT TỐT
221	QT10-24NN11	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
222	QT10-24NN63	80	100	100	100	100	66	100	1	100	100	59	TRUNG BÌNH
223	QT10-24NN21	100	100	100	100	100	100	100	1	100	100	63	TỐT
224	QT10-24NN27	100	100	100	100	100	25	1	100	100	100	64	TỐT
225	QT10-24NN47	100	100	100	100	100	100	42	100	100	100	94	RẤT TỐT
226	QT10-24NN9	100	100	100	100	100	1	1	100	1	100	36	KÉM
227	QT10-24NN22	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
228	QT10-24NN38	100	100	100	100	100	100	42	100	100	100	94	RẤT TỐT
229	QT10-24NN28	90	100	100	100	100	100	100	100	1	100	71	TỐT
230	QT10-24NN62	100	100	100	100	100	31	100	100	1	100	65	TỐT
231	QT10-24NN1	100	100	100	100	100	71	100	100	100	100	97	RẤT TỐT
232	QT10-24NN42	70	100	100	100	100	100	1	100	1	100	50	TRUNG BÌNH
233	QT10-24NN69	11	100	100	100	100	100	38	100	100	100	73	TỐT
234	QT10-24NN85	100	100	100	100	89	100	100	100	1	100	71	TỐT
235	QT10-24NN60	31	100	100	100	100	100	1	100	1	100	46	TRUNG BÌNH
236	QT10-24NN44	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
237	QT10-24NN29	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
238	QT10-24NN55	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
239	QT10-24NN14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
240	QT10-24NN15	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT

**Phụ lục 5. Kết quả tính chỉ số thông số q_i , GWQI và phân loại CLN dưới đất
của tỉnh Hà Tĩnh giai đoạn 2023-2024 ($N = 376$)**

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
1	HTĐ2-23N3	100	1	1	1	1	1	100	1	1	100	3	RẤT KÉM
2	HTĐ3-23N3	100	1	1	1	1	1	100	71	1	1	3	RẤT KÉM
3	HTĐ5-23N3	100	1	1	100	1	1	100	1	1	100	6	RẤT KÉM
4	HTĐ6-23N3	100	1	1	100	1	1	100	100	1	100	10	RẤT KÉM
5	HTĐ2-23N4	100	100	100	100	1	8	100	1	1	100	24	KÉM
6	HTĐ3-23N4	100	100	1	100	1	1	100	1	1	100	11	RẤT KÉM
7	HTĐ5-23N4	100	100	3	100	1	1	100	1	56	100	17	RẤT KÉM
8	HTĐ6-23N4	100	100	100	100	1	100	100	1	56	19	32	KÉM
9	HTĐ2-23N14	100	100	100	100	1	100	1	100	56	100	45	TRUNG BÌNH
10	HTĐ3-23N14	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
11	HTĐ5-23N14	100	100	100	100	100	100	1	100	56	100	69	TỐT
12	HTĐ6-23N14	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH
13	HTĐ2-23N15	100	100	100	100	1	100	1	71	100	100	46	TRUNG BÌNH
14	HTĐ3-23N15	100	100	100	100	100	100	1	83	100	1	40	KÉM
15	HTĐ5-23N15	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
16	HTĐ6-23N15	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
17	HTĐ3-23N16	100	100	100	100	1	100	1	1	100	100	30	KÉM
18	HTĐ4-23N16	100	100	100	100	1	100	1	20	100	1	23	KÉM
19	HTĐ5-23N16	70	100	100	100	100	100	1	100	56	19	54	TRUNG BÌNH
20	HTĐ6-23N16	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
21	HTĐ2-23N18	100	100	100	100	1	100	100	100	100	100	66	TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
22	HTĐ3-23N18	100	100	100	100	1	100	1	100	1	100	34	KÉM
23	HTĐ5-23N18	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
24	HTĐ6-23N18	100	100	100	100	100	100	1	100	100	1	41	TRUNG BÌNH
25	HTĐ2-23N19	100	100	1	100	100	1	100	100	1	100	27	KÉM
26	HTĐ3-23N19	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
27	HTĐ5-23N19	100	100	30	100	1	20	100	1	1	100	22	KÉM
28	HTĐ6-23N19	100	100	51	100	100	100	100	100	56	1	50	TRUNG BÌNH
29	HTĐ2-23N37	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
30	HTĐ3-23N37	100	100	35	100	100	100	1	100	100	100	63	TỐT
31	HTĐ5-23N37	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
32	HTĐ6-23N37	100	100	100	100	100	100	1	100	100	1	41	TRUNG BÌNH
33	HTĐ2-23N31	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
34	HTĐ3-23N31	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
35	HTĐ5-23N31	100	100	100	100	100	100	100	83	100	100	98	RẤT TỐT
36	HTĐ6-23N31	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
37	HTĐ2-23N32	100	100	100	100	100	48	100	100	100	100	94	RẤT TỐT
38	HTĐ3-23N32	100	100	38	100	100	100	100	100	100	100	88	RẤT TỐT
39	HTĐ5-23N32	100	100	100	100	100	1	100	1	1	1	18	RẤT KÉM
40	HTĐ6-23N32	100	100	100	100	100	1	1	100	100	100	50	TRUNG BÌNH
41	HTĐ2-23N33	100	100	100	100	1	100	1	25	100	100	41	TRUNG BÌNH
42	HTĐ3-23N33	100	100	100	100	1	100	1	100	100	100	47	TRUNG BÌNH
43	HTĐ5-23N33	100	100	100	100	1	100	1	83	100	19	38	KÉM
44	HTĐ6-23N33	100	100	100	100	1	100	1	1	100	100	30	KÉM
45	HTĐ3-23N34	100	100	100	100	1	1	1	100	100	100	33	KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
46	HTĐ4-23N34	100	100	100	100	1	1	1	100	100	100	33	KÉM
47	HTĐ5-23N34	100	100	100	100	1	1	1	100	100	100	33	KÉM
48	HTĐ6-23N34	100	100	51	100	100	1	1	100	100	1	26	KÉM
49	HTĐ2-23N39	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
50	HTĐ3-23N39	100	100	100	100	1	100	1	100	100	19	39	KÉM
51	HTĐ5-23N39	100	100	100	100	1	100	100	83	100	100	64	TỐT
52	HTĐ6-23N39	100	100	100	100	100	100	100	66	100	1	55	TRUNG BÌNH
53	HTĐ2-23N38	100	100	100	100	1	100	100	1	100	100	41	TRUNG BÌNH
54	HTĐ3-23N38	100	100	74	100	1	100	100	1	100	100	40	KÉM
55	HTĐ5-23N38	100	100	100	100	1	100	100	1	100	100	41	TRUNG BÌNH
56	HTĐ6-23N38	100	100	94	100	1	100	100	1	100	100	41	TRUNG BÌNH
57	HTĐ2-23N45	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
58	HTĐ3-23N45	90	100	100	100	100	100	100	100	100	1	56	TRUNG BÌNH
59	HTĐ5-23N45	11	100	100	100	100	100	100	1	100	100	49	TRUNG BÌNH
60	HTĐ6-23N45	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
61	HTĐ2-23N47	31	100	100	100	1	54	1	100	1	100	28	KÉM
62	HTĐ3-23N47	1	100	100	100	100	1	1	100	56	19	23	KÉM
63	HTĐ5-23N47	1	100	100	100	100	100	1	100	100	100	43	TRUNG BÌNH
64	HTĐ6-23N47	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
65	HTĐ2-23N1	100	100	100	100	1	1	100	1	1	100	20	RẤT KÉM
66	HTĐ3-23N1	100	42	3	100	1	1	100	1	1	100	11	RẤT KÉM
67	HTĐ5-23N1	100	100	19	100	1	1	100	1	1	100	16	RẤT KÉM
68	HTĐ6-23N1	100	100	100	100	100	100	100	66	100	100	95	RẤT TỐT
69	HTĐ2-23N2	100	100	100	100	1	1	100	66	1	100	31	KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
70	HTĐ3-23N2	100	100	100	100	1	1	100	100	42	100	42	TRUNG BÌNH
71	HTĐ5-23N2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
72	HTĐ6-23N2	100	100	100	100	1	1	100	1	1	100	20	RẤT KÉM
73	HTĐ2-23N5	100	100	100	100	1	1	100	1	27	100	26	KÉM
74	HTĐ3-23N5	100	100	84	100	1	1	100	2	12	100	26	KÉM
75	HTĐ5-23N5	100	100	100	100	1	1	100	1	1	100	20	RẤT KÉM
76	HTĐ6-23N5	100	100	84	100	1	1	100	1	12	19	19	RẤT KÉM
77	HTĐ2-23N6	100	1	1	1	1	100	100	100	100	100	12	RẤT KÉM
78	HTĐ3-23N6	100	1	1	100	1	100	100	100	1	100	15	RẤT KÉM
79	HTĐ5-23N6	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
80	HTĐ6-23N6	100	1	1	100	1	100	100	100	100	100	20	RẤT KÉM
81	HTĐ2-23N7	70.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
82	HTĐ3-23N7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
83	HTĐ5-23N7	100	100	100	100	100	100	100	100	1	1	41	TRUNG BÌNH
84	HTĐ6-23N7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
85	HTĐ2-23N8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
86	HTĐ3-23N8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
87	HTĐ5-23N8	40.6	100	100	100	100	100	1	83	100	100	64	TỐT
88	HTĐ6-23N8	40.6	100	100	100	100	100	1	100	100	100	65	TỐT
89	HTĐ2-23N9	100	100	100	100	1	1	100	83	1	100	32	KÉM
90	HTĐ3-23N9	100	100	100	100	100	1	100	100	1	19	41	TRUNG BÌNH
91	HTĐ5-23N9	100	100	100	100	1	1	1	100	1	100	23	KÉM
92	HTĐ6-23N9	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
93	HTĐ2-23N10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
94	HTĐ3-23N10	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	RẤT TỐT
95	HTĐ5-23N10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
96	HTĐ6-23N10	70	100	100	100	100	100	100	100	100	1	55	TRUNG BÌNH
97	HTĐ2-23N11	100	100	100	100	100	1	100	1	1	1	18	RẤT KÉM
98	HTĐ3-23N11	100	100	100	100	100	1	100	1	1	100	31	KÉM
99	HTĐ5-23N11	100	100	100	100	100	1	100	1	1	19	25	KÉM
100	HTĐ6-23N11	100	100	100	100	1	100	100	100	1	1	27	KÉM
101	HTĐ2-23N13	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
102	HTĐ3-23N13	70.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
103	HTĐ5-23N13	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
104	HTĐ6-23N13	60.4	100	100	100	100	100	1	100	100	1	39	KÉM
105	HTĐ2-23N13	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
106	HTĐ3-23N13	60.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	94	RẤT TỐT
107	HTĐ5-23N13	70.3	100	100	100	100	100	100	1	100	100	60	TRUNG BÌNH
108	HTĐ6-23N13	31	100	100	100	100	100	1	1	1	100	29	KÉM
109	HTĐ2-23N17	90	100	100	100	100	83	1	1	1	100	32	KÉM
110	HTĐ3-23N17	100	100	51	100	100	66	1	1	1	1	16	RẤT KÉM
111	HTĐ5-23N17	100	100	100	100	100	1	1	1	1	100	22	KÉM
112	HTĐ6-23N17	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
113	HTĐ2-23N20	100	1	43	1	1	100	100	1	1	19	7	RẤT KÉM
114	HTĐ3-23N20	100	1	1	100	1	83	100	1	1	100	9	RẤT KÉM
115	HTĐ5-23N20	100	100	100	100	100	100	1	100	100	1	41	TRUNG BÌNH
116	HTĐ6-23N20	100	1	1	100	1	100	100	14	1	100	12	RẤT KÉM
117	HTĐ2-23N21	100	100	100	100	100	100	100	1	100	100	63	TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
118	HTĐ3-23N21	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
119	HTĐ5-23N21	51	100	100	100	100	100	100	1	100	100	58	TRUNG BÌNH
120	HTĐ6-23N21	51	100	100	100	100	100	100	1	100	1	33	KÉM
121	HTĐ2-23N22	90	100	100	100	100	100	1	83	100	100	70	TỐT
122	HTĐ3-23N22	41	100	100	100	100	100	1	60	1	1	25	KÉM
123	HTĐ5-23N22	70	100	100	100	100	100	1	1	1	19	26	KÉM
124	HTĐ6-23N22	31	100	100	100	100	100	100	1	42	100	52	TRUNG BÌNH
125	HTĐ2-23N23	100	100	100	100	100	100	100	48	1	19	55	TRUNG BÌNH
126	HTĐ3-23N23	100	100	100	100	100	100	100	1	1	1	26	KÉM
127	HTĐ5-23N23	100	100	100	100	100	100	100	25	1	100	63	TỐT
128	HTĐ6-23N23	1	100	100	100	100	100	100	100	1	100	43	TRUNG BÌNH
129	HTĐ2-23N24	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
130	HTĐ3-23N24	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
131	HTĐ5-23N24	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
132	HTĐ6-23N24	31	100	100	100	100	100	100	100	100	100	87	RẤT TỐT
133	HTĐ2-23N25	100	100	100	100	1	100	100	71	42	19	49	TRUNG BÌNH
134	HTĐ3-23N25	60	100	100	100	1	100	100	1	1	100	28	KÉM
135	HTĐ5-23N25	100	100	100	100	100	100	100	83	1	100	71	TỐT
136	HTĐ6-23N25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
137	HTĐ2-23N26	100	100	100	100	100	100	1	100	100	1	41	TRUNG BÌNH
138	HTĐ3-23N26	80	100	100	100	100	100	100	100	100	1	56	TRUNG BÌNH
139	HTĐ5-23N26	100	100	100	100	100	100	1	54	100	100	68	TỐT
140	HTĐ6-23N26	70	100	100	100	100	100	1	77	100	19	55	TRUNG BÌNH
141	HTĐ2-23N28	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
142	HTĐ3-23N28	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH
143	HTĐ5-23N28	1	100	100	100	100	100	1	100	56	100	41	TRUNG BÌNH
144	HTĐ6-23N28	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
145	HTĐ2-23N29	100	100	1	100	100	100	100	1	1	1	14	RẤT KÉM
146	HTĐ3-23N29	100	100	45	100	100	100	100	100	100	100	90	RẤT TỐT
147	HTĐ5-23N29	100	100	1	100	100	100	100	1	1	1	14	RẤT KÉM
148	HTĐ6-23N29	100	100	43	100	100	100	100	1	1	100	40	KÉM
149	HTĐ3-23N30	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
150	HTĐ4-23N30	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
151	HTĐ5-23N30	100	100	100	100	100	100	100	1	1	1	26	KÉM
152	HTĐ6-23N30	100	100	100	100	100	100	100	1	1	1	26	KÉM
153	HTĐ2-23N35	41	100	100	100	100	100	1	100	100	100	65	TỐT
154	HTĐ3-23N35	51	100	100	100	100	100	1	100	100	100	67	TỐT
155	HTĐ5-23N35	1	100	100	100	100	100	1	1	100	100	27	KÉM
156	HTĐ6-23N35	1	100	100	100	100	100	1	100	100	100	43	TRUNG BÌNH
157	HTĐ3-23N36	51	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92	RẤT TỐT
158	HTĐ4-23N36	70	100	100	100	100	100	1	100	100	100	69	TỐT
159	HTĐ5-23N36	51	100	100	100	100	100	1	100	100	100	67	TỐT
160	HTĐ6-23N36	1	100	100	100	100	100	1	100	100	100	43	TRUNG BÌNH
161	HTĐ2-23N37	70	100	100	100	100	100	100	100	100	1	55	TRUNG BÌNH
162	HTĐ3-23N37	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	RẤT TỐT
163	HTĐ5-23N37	80	100	100	100	100	100	100	100	100	19	79	TỐT
164	HTĐ6-23N37	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	94	RẤT TỐT
165	HTĐ3-23N40	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
166	HTĐ4-23N40	51	100	100	100	100	100	1	100	100	1	38	KÉM
167	HTĐ5-23N40	1	100	100	100	100	100	1	100	100	100	43	TRUNG BÌNH
168	HTĐ6-23N40	31	100	100	100	100	100	1	100	100	100	63	TỐT
169	HTĐ2-23N41	80	100	100	100	100	100	1	100	100	100	70	TỐT
170	HTĐ3-23N41	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	RẤT TỐT
171	HTĐ5-23N41	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
172	HTĐ6-23N41	1	100	100	100	100	100	1	100	100	1	25	KÉM
173	HTĐ2-23N42	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60	TRUNG BÌNH
174	HTĐ3-23N42	41	100	100	100	100	1	100	100	100	100	62	TỐT
175	HTĐ5-23N42	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60	TRUNG BÌNH
176	HTĐ6-23N42	70	100	100	100	100	1	1	1	100	100	30	KÉM
177	HTĐ2-23N43	80	100	100	100	100	100	1	1	100	1	25	KÉM
178	HTĐ3-23N43	70	100	100	100	100	100	1	100	100	100	69	TỐT
179	HTĐ5-23N43	41	100	100	100	100	100	1	100	100	100	65	TỐT
180	HTĐ6-23N43	31	100	100	100	100	100	1	100	100	100	63	TỐT
181	HTĐ2-23N44	100	100	1	100	100	100	1	100	100	1	22	KÉM
182	HTĐ3-23N44	100	100	1	100	1	77	100	100	12	100	30	KÉM
183	HTĐ5-23N44	100	100	51	100	1	1	1	1	1	100	13	RẤT KÉM
184	HTĐ6-23N44	100	100	100	100	100	100	1	100	100	19	59	TRUNG BÌNH
185	HTĐ2-23N46	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
186	HTĐ3-23N46	60	100	100	100	100	100	1	100	56	100	65	TỐT
187	HTĐ5-23N46	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
188	HTĐ6-23N46	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
189	HTĐ2-24N3	100	1	1	100	1	1	100	1	1	1	3	RẤT KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
190	HTĐ3-24N3	100	1	1	100	100	100	100	1	1	100	14	RẤT KÉM
191	HTĐ5-24N3	100	1	1	100	54	1	100	1	1	1	5	RẤT KÉM
192	HTĐ6-24N3	100	1	1	100	1	1	100	1	1	100	6	RẤT KÉM
193	HTĐ2-24N4	100	100	100	81	1	1	100	1	1	1	11	RẤT KÉM
194	HTĐ3-24N4	100	100	1	100	1	100	100	1	1	100	16	RẤT KÉM
195	HTĐ5-24N4	100	100	1	1	1	1	100	1	1	1	3	RẤT KÉM
196	HTĐ6-24N4	100	1	1	1	1	100	100	1	100	1	4	RẤT KÉM
197	HTĐ2-24N14	100	100	100	100	100	100	1	100	1	1	30	KÉM
198	HTĐ3-24N14	90	100	100	100	100	100	1	1	100	100	45	TRUNG BÌNH
199	HTĐ5-24N14	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH
200	HTĐ6-24N14	100	100	100	100	100	100	1	1	1	1	19	RẤT KÉM
201	HTĐ2-24N15	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
202	HTĐ3-24N15	90	100	100	100	100	100	1	100	100	100	71	TỐT
203	HTĐ5-24N15	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
204	HTĐ6-24N15	100	100	100	100	100	20	1	100	100	1	36	KÉM
205	HTĐ3-24N16	100	100	100	100	100	100	31	100	1	100	66	TỐT
206	HTĐ4-24N16	70	100	100	100	100	100	1	100	100	100	69	TỐT
207	HTĐ5-24N16	100	100	100	100	100	100	1	100	71	100	70	TỐT
208	HTĐ6-24N16	100	100	100	100	100	100	1	100	100	1	41	TRUNG BÌNH
209	HTĐ2-24N18	90	100	100	100	100	100	1	100	1	1	29	KÉM
210	HTĐ3-24N18	100	100	100	100	100	100	1	100	100	1	41	TRUNG BÌNH
211	HTĐ5-24N18	100	100	100	100	100	100	1	94	71	100	70	TỐT
212	HTĐ6-24N18	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
213	HTĐ2-24N19	100	100	100	100	100	100	100	1	1	19	37	KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
214	HTĐ3-24N19	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
215	HTĐ5-24N19	100	100	100	100	100	71	100	100	1	100	70	TỐT
216	HTĐ6-24N19	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
217	HTĐ2-24N37	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH
218	HTĐ3-24N37	100	100	100	100	100	100	1	100	1	1	30	KÉM
219	HTĐ5-24N37	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH
220	HTĐ6-24N37	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH
221	HTĐ2-24N31	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
222	HTĐ3-24N31	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
223	HTĐ5-24N31	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
224	HTĐ6-24N31	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
225	HTĐ2-24N32	100	100	100	100	1	100	100	1	100	1	23	KÉM
226	HTĐ3-24N32	100	100	100	100	100	1	100	100	1	1	28	KÉM
227	HTĐ5-24N32	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
228	HTĐ6-24N32	100	100	100	100	100	1	100	100	1	100	50	TRUNG BÌNH
229	HTĐ2-24N33	100	100	100	100	1	100	100	1	1	100	30	KÉM
230	HTĐ3-24N33	100	100	100	100	8	100	1	1	100	100	36	KÉM
231	HTĐ5-24N33	100	100	100	100	100	100	1	100	56	1	40	KÉM
232	HTĐ6-24N33	70	100	100	100	1	100	1	1	1	1	12	RẤT KÉM
233	HTĐ3-24N34	100	100	100	100	1	1	1	100	100	100	33	KÉM
234	HTĐ4-24N34	100	100	100	100	100	1	1	100	100	100	50	TRUNG BÌNH
235	HTĐ5-24N34	100	100	100	100	100	1	1	100	100	100	50	TRUNG BÌNH
236	HTĐ6-24N34	100	100	100	100	100	1	1	100	85	1	28	KÉM
237	HTĐ2-24N39	90	100	100	100	100	100	100	1	100	1	35	KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
238	HTĐ3-24N39	100	100	100	100	100	100	100	8	1	1	32	KÉM
239	HTĐ5-24N39	100	100	100	100	100	100	100	31	100	100	88	RẤT TỐT
240	HTĐ6-24N39	100	100	100	100	100	100	100	100	42	100	94	RẤT TỐT
241	HTĐ2-24N38	100	100	100	100	1	100	100	1	100	100	41	TRUNG BÌNH
242	HTĐ3-24N38	100	100	100	100	31	8	100	1	1	100	33	KÉM
243	HTĐ5-24N38	60	100	100	100	1	100	100	1	1	100	28	KÉM
244	HTĐ6-24N38	80	100	100	100	100	100	100	1	1	1	25	KÉM
245	HTĐ2-24N45	51	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92	RẤT TỐT
246	HTĐ3-24N45	1	100	100	100	100	100	100	100	1	100	43	TRUNG BÌNH
247	HTĐ5-24N45	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
248	HTĐ6-24N45	100	100	100	100	100	100	100	100	42	1	54	TRUNG BÌNH
249	HTĐ2-24N47	100	100	100	100	100	1	1	1	1	100	22	KÉM
250	HTĐ3-24N47	1	100	100	100	100	100	1	100	1	100	31	KÉM
251	HTĐ5-24N47	90	100	100	100	100	100	1	100	100	100	71	TỐT
252	HTĐ6-24N47	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH
253	HTĐ2-24N1	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
254	HTĐ3-24N1	80	100	100	100	100	31	1	100	1	100	46	TRUNG BÌNH
255	HTĐ5-24N1	100	100	100	100	100	1	100	1	1	100	31	KÉM
256	HTĐ6-24N1	100	100	100	100	100	1	77	100	100	100	67	TỐT
257	HTĐ2-24N2	100	100	100	100	1	1	100	1	1	100	20	RẤT KÉM
258	HTĐ3-24N2	100	100	100	100	20	100	100	1	42	100	51	TRUNG BÌNH
259	HTĐ5-24N2	100	100	100	100	100	54	100	100	1	100	68	TỐT
260	HTĐ6-24N2	100	100	100	100	77	1	100	1	1	100	30	KÉM
261	HTĐ2-24N5	100	100	100	100	1	100	100	1	1	19	24	KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
262	HTĐ3-24N5	100	100	100	100	66	1	100	1	1	100	30	KÉM
263	HTĐ5-24N5	100	100	100	100	89	1	100	1	42	100	40	KÉM
264	HTĐ6-24N5	100	100	100	100	1	1	100	1	1	100	20	RẤT KÉM
265	HTĐ2-24N6	100	1	100	100	1	100	100	100	100	100	38	KÉM
266	HTĐ3-24N6	100	1	100	100	100	100	100	1	1	100	26	KÉM
267	HTĐ5-24N6	100	1	100	100	100	100	100	1	1	100	26	KÉM
268	HTĐ6-24N6	100	1	100	100	100	100	100	1	1	1	15	RẤT KÉM
269	HTĐ2-24N7	60	100	100	100	100	100	100	100	1	100	68	TỐT
270	HTĐ3-24N7	100	100	100	100	100	100	100	1	1	19	37	KÉM
271	HTĐ5-24N7	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
272	HTĐ6-24N7	100	100	100	100	100	100	100	100	56	19	78	TỐT
273	HTĐ2-24N8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
274	HTĐ3-24N8	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
275	HTĐ5-24N8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
276	HTĐ6-24N8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
277	HTĐ2-24N9	100	100	100	100	1	1	1	100	1	100	23	KÉM
278	HTĐ3-24N9	51	100	100	100	54	1	100	100	100	100	60	TRUNG BÌNH
279	HTĐ5-24N9	100	100	100	100	100	1	100	1	1	1	18	RẤT KÉM
280	HTĐ6-24N9	100	100	100	100	100	1	100	100	1	100	50	TRUNG BÌNH
281	HTĐ2-24N10	51	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92	RẤT TỐT
282	HTĐ3-24N10	1	100	100	100	100	100	100	100	100	1	34	KÉM
283	HTĐ5-24N10	90	100	100	100	100	100	100	100	100	19	80	TỐT
284	HTĐ6-24N10	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	RẤT TỐT
285	HTĐ2-24N11	100	100	100	100	20	1	100	1	56	19	29	KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
286	HTĐ3-24N11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
287	HTĐ5-24N11	100	100	100	100	100	1	100	1	1	100	31	KÉM
288	HTĐ6-24N11	90	100	100	100	100	1	100	1	1	100	31	KÉM
289	HTĐ2-24N13	100	100	100	100	100	100	54	100	100	1	55	TRUNG BÌNH
290	HTĐ3-24N13	31	100	100	100	100	100	54	100	1	100	60	TRUNG BÌNH
291	HTĐ5-24N13	80	100	100	100	100	100	43	100	1	100	66	TỐT
292	HTĐ6-24N13	70	100	100	100	100	100	100	100	12	100	83	RẤT TỐT
293	HTĐ2-24N13	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	RẤT TỐT
294	HTĐ3-24N13	60	100	100	100	100	100	100	100	71	100	92	RẤT TỐT
295	HTĐ5-24N13	100	100	100	100	100	100	43	1	1	100	43	TRUNG BÌNH
296	HTĐ6-24N13	70	100	100	100	100	100	100	1	1	1	25	KÉM
297	HTĐ2-24N17	100	100	100	100	100	94	43	77	1	1	38	KÉM
298	HTĐ3-24N17	60	100	100	100	100	100	1	100	1	100	49	TRUNG BÌNH
299	HTĐ5-24N17	100	100	100	100	100	100	1	25	1	100	45	TRUNG BÌNH
300	HTĐ6-24N17	90	100	100	100	100	1	1	83	42	100	45	TRUNG BÌNH
301	HTĐ2-24N20	100	1	100	100	1	100	100	1	1	100	17	RẤT KÉM
302	HTĐ3-24N20	100	1	1	1	1	100	100	1	1	19	4	RẤT KÉM
303	HTĐ5-24N20	100	1	1	1	1	100	100	1	1	100	5	RẤT KÉM
304	HTĐ6-24N20	100	1	1	100	1	20	100	1	1	100	8	RẤT KÉM
305	HTĐ2-24N21	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
306	HTĐ3-24N21	51	100	100	100	100	100	100	1	27	100	53	TRUNG BÌNH
307	HTĐ5-24N21	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
308	HTĐ6-24N21	100	100	100	100	100	100	100	48	1	100	67	TỐT
309	HTĐ2-24N22	1	100	100	100	100	100	1	60	12	19	29	KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
310	HTĐ3-24N22	80	100	100	100	100	100	1	20	1	100	43	TRUNG BÌNH
311	HTĐ5-24N22	100	100	100	100	100	100	100	1	1	1	26	KÉM
312	HTĐ6-24N22	90	100	100	100	100	100	100	100	1	100	71	TỐT
313	HTĐ2-24N23	80	100	100	100	100	100	100	31	1	100	62	TỐT
314	HTĐ3-24N23	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
315	HTĐ5-24N23	100	100	100	100	100	100	100	100	1	1	41	TRUNG BÌNH
316	HTĐ6-24N23	90	100	100	100	100	100	100	100	1	1	41	TRUNG BÌNH
317	HTĐ2-24N24	41	100	100	100	100	100	100	100	100	1	52	TRUNG BÌNH
318	HTĐ3-24N24	90	100	100	100	100	100	100	100	1	1	41	TRUNG BÌNH
319	HTĐ5-24N24	100	100	100	100	100	100	100	100	71	100	97	RẤT TỐT
320	HTĐ6-24N24	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
321	HTĐ2-24N25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
322	HTĐ3-24N25	90	100	100	100	100	71	100	100	1	100	69	TỐT
323	HTĐ5-24N25	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
324	HTĐ6-24N25	80	100	100	100	100	100	100	100	1	1	40	KÉM
325	HTĐ2-24N26	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
326	HTĐ3-24N26	51	100	100	100	100	100	100	100	1	100	67	TỐT
327	HTĐ5-24N26	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
328	HTĐ6-24N26	100	100	100	100	100	100	100	100	71	1	56	TRUNG BÌNH
329	HTĐ2-24N28	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
330	HTĐ3-24N28	100	100	100	100	100	100	100	100	1	1	41	TRUNG BÌNH
331	HTĐ5-24N28	90	100	100	100	100	100	1	100	1	100	51	TRUNG BÌNH
332	HTĐ6-24N28	100	100	100	100	100	100	100	100	1	1	41	TRUNG BÌNH
333	HTĐ2-24N29	100	100	1	100	100	100	100	1	1	100	25	KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
334	HTĐ3-24N29	100	100	1	100	100	100	100	1	12	1	17	RẤT KÉM
335	HTĐ5-24N29	100	100	100	100	100	100	100	71	1	100	70	TỐT
336	HTĐ6-24N29	100	100	19	100	100	100	100	1	1	100	36	KÉM
337	HTĐ3-24N30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
338	HTĐ4-24N30	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
339	HTĐ5-24N30	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
340	HTĐ6-24N30	90	100	100	100	100	1	100	1	1	100	31	KÉM
341	HTĐ2-24N35	21	100	100	100	100	100	1	1	1	100	27	KÉM
342	HTĐ3-24N35	41	100	100	100	100	100	1	1	1	100	29	KÉM
343	HTĐ5-24N35	60	100	100	100	100	100	1	100	56	1	37	KÉM
344	HTĐ6-24N35	51	100	100	100	100	100	1	100	42	100	63	TỐT
345	HTĐ3-24N36	11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	78	TỐT
346	HTĐ4-24N36	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60	TRUNG BÌNH
347	HTĐ5-24N36	51	100	100	100	100	100	100	100	100	1	53	TRUNG BÌNH
348	HTĐ6-24N36	51	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92	RẤT TỐT
349	HTĐ2-24N37	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
350	HTĐ3-24N37	75	100	100	100	100	100	100	100	1	100	70	TỐT
351	HTĐ5-24N37	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	RẤT TỐT
352	HTĐ6-24N37	100	100	100	100	1	100	100	100	1	100	47	TRUNG BÌNH
353	HTĐ3-24N40	60	100	100	100	100	100	60	100	100	1	52	TRUNG BÌNH
354	HTĐ4-24N40	1	100	100	100	100	100	1	100	100	1	25	KÉM
355	HTĐ5-24N40	11	100	100	100	100	100	1	100	100	1	32	KÉM
356	HTĐ6-24N40	60	100	100	100	100	100	1	100	1	1	28	KÉM
357	HTĐ2-24N41	70	100	100	100	100	100	1	100	100	100	69	TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
358	HTĐ3-24N41	31	100	100	100	100	100	1	100	100	100	63	TỐT
359	HTĐ5-24N41	51	100	100	100	100	100	1	100	100	1	38	KÉM
360	HTĐ6-24N41	51	100	100	100	100	100	1	100	71	100	65	TỐT
361	HTĐ2-24N42	1	100	100	100	100	100	100	1	100	100	38	KÉM
362	HTĐ3-24N42	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60	TRUNG BÌNH
363	HTĐ5-24N42	11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	78	TỐT
364	HTĐ6-24N42	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	RẤT TỐT
365	HTĐ2-24N43	31	100	100	100	100	100	1	1	1	100	29	KÉM
366	HTĐ3-24N43	11	100	100	100	100	100	1	2	1	100	28	KÉM
367	HTĐ5-24N43	70	100	100	100	100	100	1	100	1	19	41	TRUNG BÌNH
368	HTĐ6-24N43	70	100	100	100	100	100	1	100	1	100	50	TRUNG BÌNH
369	HTĐ2-24N44	100	100	100	100	100	100	77	1	12	100	53	TRUNG BÌNH
370	HTĐ3-24N44	100	100	100	100	100	100	20	100	100	100	89	RẤT TỐT
371	HTĐ5-24N44	100	100	100	100	100	100	1	89	1	100	51	TRUNG BÌNH
372	HTĐ6-24N44	100	100	100	100	100	100	100	100	1	1	41	TRUNG BÌNH
373	HTĐ2-24N46	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
374	HTĐ3-24N46	1	100	100	100	100	100	1	100	85	19	35	KÉM
375	HTĐ5-24N46	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
376	HTĐ6-24N46	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT

**Phụ lục 6. Kết quả tính chỉ số thông số q_i , GWQI và phân loại CLN dưới đất
của tỉnh Quảng Bình (cũ) giai đoạn 2023-2024 ($N = 104$)**

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
1	QBĐ1-23N1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
2	QBĐ3-23N1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
3	QBĐ4-23N1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
4	QBĐ6-23N1	100	100	100	100	100	1	100	100	100	1	39	KÉM
5	QBĐ1-23N2	100	1	1	100	1	1	100	100	100	100	14	RẤT KÉM
6	QBĐ3-23N2	100	1	1	100	1	2	100	100	100	1	8	RẤT KÉM
7	QBĐ4-23N2	100	1	1	100	1	100	100	100	100	1	12	RẤT KÉM
8	QBĐ6-23N2	100	1	1	100	1	1	100	100	100	1	8	RẤT KÉM
9	QBĐ1-23N3	100	100	100	100	1	100	100	100	100	100	66	TỐT
10	QBĐ3-23N3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
11	QBĐ4-23N3	100	100	100	100	100	100	100	60	100	1	54	TRUNG BÌNH
12	QBĐ6-23N3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
13	QBĐ1-23N4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
14	QBĐ3-23N4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
15	QBĐ4-23N4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
16	QBĐ6-23N4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
17	QBĐ1-23N5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
18	QBĐ3-23N5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
19	QBĐ4-23N5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
20	QBĐ6-23N5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
21	QBĐ1-23N6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
22	QBĐ3-23N6	100	100	100	100	100	43	100	100	100	100	93	RẤT TỐT
23	QBĐ4-23N6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
24	QBĐ6-23N6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
25	QBĐ1-23N7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
26	QBĐ3-23N7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
27	QBĐ4-23N7	100	100	100	100	100	1	100	100	100	1	39	KÉM
28	QBĐ6-23N7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
29	QBĐ1-23N8	90.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	RẤT TỐT
30	QBĐ3-23N8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
31	QBĐ4-23N8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
32	QBĐ6-23N8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
33	QBĐ1-24N1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
34	QBĐ3-24N1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
35	QBĐ4-24N1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
36	QBĐ6-24N1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
37	QBĐ1-24N10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
38	QBĐ3-24N10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
39	QBĐ4-24N10	100	1	100	100	100	100	100	100	100	19	47	TRUNG BÌNH
40	QBĐ6-24N10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
41	QBĐ1-24N11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
42	QBĐ3-24N11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
43	QBĐ4-24N11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
44	QBĐ6-24N11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
45	QBĐ1-24N12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
46	QBĐ3-24N12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
47	QBĐ4-24N12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
48	QBĐ6-24N12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
49	QBĐ1-24N2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
50	QBĐ3-24N2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
51	QBĐ4-24N2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
52	QBĐ6-24N2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
53	QBĐ1-24N14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
54	QBĐ3-24N14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
55	QBĐ4-24N14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
56	QBĐ6-24N14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
57	QBĐ1-24N15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
58	QBĐ3-24N15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
59	QBĐ4-24N15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
60	QBĐ6-24N15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
61	QBĐ1-24N3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
62	QBĐ3-24N3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
63	QBĐ4-24N3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
64	QBĐ6-24N3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
65	QBĐ1-24N17	100	100	100	100	100	100	100	100	1	1	41	TRUNG BÌNH
66	QBĐ3-24N17	100	100	100	100	100	100	100	100	1	1	41	TRUNG BÌNH
67	QBĐ4-24N17	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
68	QBĐ6-24N17	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
69	QBĐ1-24N4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
70	QBĐ3-24N4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
71	QBĐ4-24N4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
72	QBĐ6-24N4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
73	QBĐ1-24N19	100	100	100	100	100	100	100	100	71	100	97	RẤT TỐT
74	QBĐ3-24N19	70	100	100	100	100	100	100	100	1	1	40	KÉM
75	QBĐ4-24N19	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
76	QBĐ6-24N19	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
77	QBĐ1-24N20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
78	QBĐ3-24N20	90.1	100	100	100	100	100	100	100	85	100	97	RẤT TỐT
79	QBĐ4-24N20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
80	QBĐ6-24N20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
81	QBĐ1-24N21	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
82	QBĐ3-24N21	100	100	100	100	100	100	100	100	1	1	41	TRUNG BÌNH
83	QBĐ4-24N21	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
84	QBĐ6-24N21	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
85	QBĐ1-24N5	100	100	1	100	100	100	100	100	1	1	22	KÉM
86	QBĐ3-24N5	100	100	1	100	100	100	100	100	100	100	54	TRUNG BÌNH

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
87	QBĐ4-24N5	100	1	1	100	100	100	100	100	100	100	31	KÉM
88	QBĐ6-24N5	100	1	1	100	100	100	100	100	100	19	25	KÉM
89	QBĐ1-24N23	100	100	38	100	100	71	100	100	100	1	49	TRUNG BÌNH
90	QBĐ3-24N23	100	100	100	100	100	100	100	100	1	1	41	TRUNG BÌNH
91	QBĐ4-24N23	100	100	89	100	100	1	100	100	27	1	35	KÉM
92	QBĐ6-24N23	100	100	34	100	100	100	100	100	100	1	49	TRUNG BÌNH
93	QBĐ1-24N6	100	100	46	100	100	1	100	100	100	1	36	KÉM
94	QBĐ3-24N6	100	1	100	100	100	100	100	100	1	1	23	KÉM
95	QBĐ4-24N6	100	100	81	100	100	100	100	100	1	100	70	TỐT
96	QBĐ6-24N6	100	100	59	100	100	100	100	100	100	1	53	TRUNG BÌNH
97	QBĐ1-24N7	100	100	100	100	31	100	100	100	100	1	51	TRUNG BÌNH
98	QBĐ3-24N7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
99	QBĐ4-24N7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
100	QBĐ6-24N7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
101	QBĐ1-24N8	100	100	100	100	100	100	100	100	1	1	41	TRUNG BÌNH
102	QBĐ3-24N8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
103	QBĐ4-24N8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
104	QBĐ6-24N8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT

**Phụ lục 7. Kết quả tính chỉ số thông số q_i , GWQI và phân loại CLN dưới đất
của tỉnh Quảng Nam (cũ) giai đoạn 2023-2024 ($N = 160$)**

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
1	QN3-23NVĐB	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
2	QN6-23NVĐB	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
3	QN9-23NVĐB	100	100	100	100	100	89	1	100	100	1	41	TRUNG BÌNH
4	QN12-23NNVĐB	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
5	QN3-24NVĐB	100	100	100	100	100	100	94	100	100	100	99	RẤT TỐT
6	QN6-24NVĐB	100	100	100	100	100	83	1	100	100	18.89	58	TRUNG BÌNH
7	QN9-24NVĐB	100	100	100	100	100	1	1	100	100	100	50	TRUNG BÌNH
8	QN12-24NVĐB	100	100	100	100	100	100	1	100	100	19	59	TRUNG BÌNH
9	QN3-23NVHA	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
10	QN6-23NVHA	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
11	QN9-23NVHA	100	100	100	100	100	100	1	100	100	19	59	TRUNG BÌNH
12	QN12-23NVHA	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
13	QN3-24NVHA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
14	QN6-24NVHA	100	100	100	100	100	100	1	100	100	18.89	59	TRUNG BÌNH
15	QN9-24NVHA	100	100	100	100	100	100	1	100	100	18.89	59	TRUNG BÌNH
16	QN12-24NVHA	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
17	QN3-23NVDX	100	100	100	100	73	1	100	1	1	100	30	KÉM
18	QN6-23NVDX	100	100	100	100	36	1	100	1	1	100	28	KÉM
19	QN9-23NVDX	100	100	100	100	1	1	100	14	1	19	22	KÉM
20	QN12-23NVDX	100	100	100	100	18	1	100	1	1	100	27	KÉM
21	QN3-24NVDX	100	100	100	100	91	1	100	1	1	100	31	KÉM
22	QN6-24NVDX	100	100	100	100	1	1	100	1	1	19	17	RẤT KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
23	QN9-24NVDX	100	100	100	100	100	1	100	1	1	100	31	KÉM
24	QN12-24NVDX	100	100	100	100	91	1	100	1	1	100	31	KÉM
25	QN3-23NVQS	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
26	QN6-23NVQS	100	100	100	100	73	100	100	100	100	100	97	RẤT TỐT
27	QN9-23NVQS	80	100	100	100	100	100	100	100	100	19	79	TỐT
28	QN12-23NVQS	100	100	100	100	100	100	100	1	100	19	51	TRUNG BÌNH
29	QN3-24NVQS	100	100	100	100	73	100	2.7	100	100	100	75	TỐT
30	QN6-24NVQS	100	100	100	100	1	100	100	100	100	19	54	TRUNG BÌNH
31	QN9-24NVQS	100	100	100	100	1	100	100	100	100	100	66	TỐT
32	QN12-24NVQS	80	100	100	100	100	100	60	100	100	1	54	TRUNG BÌNH
33	QN3-23NVTB2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
34	QN6-23NVTB2	100	100	100	100	73	1	100	100	85	100	66	TỐT
35	QN9-23NVTB2	100	100	100	100	1	1	100	100	100	19	37	KÉM
36	QN12-23NVTB2	100	100	100	100	1	100	100	100	42	100	62	TỐT
37	QN3-24NVTB2	100	100	100	100	100	1	100	100	1	100	50	TRUNG BÌNH
38	QN6-24NVTB2	100	100	100	100	91	1	100	100	27	1	36	KÉM
39	QN9-24NVTB2	100	100	100	100	100	1	100	100	100	100	69	TỐT
40	QN12-24NVTB2	100	100	100	100	100	1	1	100	100	100	50	TRUNG BÌNH
41	QN3-23NVTK	100	100	100	100	100	1	100	100	100	19	56	TRUNG BÌNH
42	QN6-23NVTK	100	100	100	100	100	1	100	100	100	100	69	TỐT
43	QN9-23NVTK	100	100	100	100	100	1	100	100	100	19	56	TRUNG BÌNH
44	QN12-23NVTK	100	100	100	100	73	1	100	100	100	19	55	TRUNG BÌNH
45	QN3-24NVTK	100	100	100	100	100	1	100	100	100	19	56	TRUNG BÌNH
46	QN6-24NVTK	100	100	100	100	36	1	100	100	100	100	63	TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
47	QN9-24NVTK	100	100	100	100	100	1	100	100	100	100	69	TỐT
48	QN12-24NVTK	100	100	100	100	54	1	100	100	100	100	65	TỐT
49	QN3-23NVNT	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
50	QN6-23NVNT	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
51	QN9-23NVNT	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
52	QN12-23NVNT	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
53	QN3-24NVNT	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
54	QN6-24NVNT	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
55	QN9-24NVNT	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
56	QN12-24NVNT	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	RẤT TỐT
57	QN3-23NĐL	100	100	100	100	100	100	1	100	1	19	42	TRUNG BÌNH
58	QN6-23NĐL	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
59	QN9-23NĐL	100	100	100	100	100	100	100	100	1	1	41	TRUNG BÌNH
60	QN12-23NĐL	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH
61	QN3-24NĐL	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
62	QN6-24NĐL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	19	81	RẤT TỐT
63	QN9-24NĐL	100	100	100	100	100	100	100	100	1	100	72	TỐT
64	QN12-24NĐL	100	100	100	100	100	100	100	94	1	100	72	TỐT
65	QN3-23NĐB	100	100	100	100	100	1	100	1	1	19	25	KÉM
66	QN6-23NĐB	100	100	100	100	73	1	100	1	1	100	30	KÉM
67	QN9-23NĐB	100	100	100	100	100	1	100	1	1	19	25	KÉM
68	QN12-23NĐB	100	100	100	100	100	1	100	1	1	100	31	KÉM
69	QN3-24NĐB	100	100	100	100	100	1	100	1	1	100	31	KÉM
70	QN6-24NĐB	100	100	100	100	100	1	100	1	1	19	25	KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
71	QN9-24NDB	100	100	95	100	100	1	100	1	1	100	31	KÉM
72	QN12-24NDB	100	100	84	100	100	1	100	1	1	100	30	KÉM
73	QN3-23NDX	100	100	100	100	1	100	100	1	1	100	30	KÉM
74	QN6-23NDX	100	100	100	100	1	100	100	1	1	100	30	KÉM
75	QN9-23NDX	100	100	100	100	1	100	100	1	1	19	24	KÉM
76	QN12-23NDX	100	100	100	100	1	100	100	1	1	100	30	KÉM
77	QN3-24NDX	100	100	100	100	73	100	100	1	1	100	44	TRUNG BÌNH
78	QN6-24NDX	100	100	100	100	1	100	100	1	1	19	24	KÉM
79	QN9-24NDX	100	100	100	100	36	100	100	1	1	100	41	TRUNG BÌNH
80	QN12-24NDX	100	100	100	100	73	100	100	1	1	100	44	TRUNG BÌNH
81	QN3-23NQS	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
82	QN6-23NQS	100	100	100	100	100	100	44	100	100	19	77	TỐT
83	QN9-23NQS	100	100	100	100	100	100	1	100	100	19	59	TRUNG BÌNH
84	QN12-23NQS	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
85	QN3-24NQS	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
86	QN6-24NQS	100	100	100	100	100	100	2	60	100	19	58	TRUNG BÌNH
87	QN9-24NQS	100	100	100	100	100	100	16	100	100	100	88	RẤT TỐT
88	QN12-24NQS	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
89	QN3-23NTB	100	100	100	100	100	1	100	1	1	1	18	RẤT KÉM
90	QN6-23NTB	100	100	100	100	1	1	100	1	1	100	20	RẤT KÉM
91	QN9-23NTB	100	100	100	100	1	1	100	1	1	19	17	RẤT KÉM
92	QN12-23NTB	100	100	100	100	18	14	100	1	1	19	27	KÉM
93	QN3-24NTB	100	100	100	100	36	1	100	1	1	1	16	RẤT KÉM
94	QN6-24NTB	100	100	100	100	36	1	100	1	1	100	28	KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
95	QN9-24NTB	100	100	100	100	1	100	100	1	1	100	30	KÉM
96	QN12-24NTB	100	100	100	100	54	100	100	1	1	100	43	TRUNG BÌNH
97	QN3-23NTK1	100	100	100	100	100	1	1	100	100	100	50	TRUNG BÌNH
98	QN6-23NTK1	100	100	100	100	100	1	1	100	100	100	50	TRUNG BÌNH
99	QN9-23NTK1	100	100	100	100	1	1	1	100	100	19	27	KÉM
100	QN12-23NTK1	100	100	100	100	100	1	1	100	100	100	50	TRUNG BÌNH
101	QN3-24NTK1	100	100	100	100	100	1	1	100	100	18.89	41	TRUNG BÌNH
102	QN6-24NTK1	100	100	100	100	100	1	1	100	100	100	50	TRUNG BÌNH
103	QN9-24NTK1	100	100	100	100	100	1	1	100	100	100	50	TRUNG BÌNH
104	QN12-24NTK1	80	100	100	100	100	1	1	100	100	100	48	TRUNG BÌNH
105	QN3-23NTK2	51	100	100	100	73	89	100	1	100	100	56	TRUNG BÌNH
106	QN6-23NTK2	80	100	100	100	1	1	100	1	71	19	22	KÉM
107	QN9-23NTK2	51	100	100	100	100	100	100	1	100	100	58	TRUNG BÌNH
108	QN12-23NTK2	80	100	100	100	36	100	100	1	100	19	45	TRUNG BÌNH
109	QN3-24NTK2	31	100	100	100	73	100	100	1	100	100	53	TRUNG BÌNH
110	QN6-24NTK2	51	100	100	100	1	94	100	100	100	19	49	TRUNG BÌNH
111	QN9-24NTK2	41	100	100	100	1	54	100	1	56	100	34	KÉM
112	QN12-24NTK2	51	100	100	100	73	100	100	1	1	100	41	TRUNG BÌNH
113	QN3-23NNT2	100	100	100	100	100	1	100	60	100	100	65	TỐT
114	QN6-23NNT2	100	100	100	100	100	1	1	100	100	19	41	TRUNG BÌNH
115	QN9-23NNT2	90	100	100	100	91	100	1	100	100	100	71	TỐT
116	QN12-23NNT2	100	100	100	100	36	1	1	100	100	1	26	KÉM
117	QN3-24NNT2	80.2	100	100	100	100	1	1	100	71	100	47	TRUNG BÌNH
118	QN6-24NNT2	90	100	100	100	1	1	1	43	100	100	30	KÉM

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
119	QN9-24NNT2	100	100	100	100	36	1	1	1	100	100	28	KÉM
120	QN12-24NNT2	60	100	100	100	54	1	1	100	1	19	26	KÉM
121	QN3-23NPN	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
122	QN6-23NPN	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
123	QN9-23NPN	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
124	QN12-23NPN	100	100	100	100	100	100	1	100	56	100	69	TỐT
125	QN3-24NPN	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
126	QN6-24NPN	100	100	100	100	100	100	1	100	100	19	59	TRUNG BÌNH
127	QN9-24NPN	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1	57	TRUNG BÌNH
128	QN12-24NPN	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
129	QN3-23NRĐH	100	100	100	100	1	1	70	1	1	100	20	RẤT KÉM
130	QN6-23NRĐH	100	100	100	100	100	1	60	1	100	100	42	TRUNG BÌNH
131	QN9-23NRĐH	100	100	100	100	100	100	100	1	100	19	51	TRUNG BÌNH
132	QN12-23NRĐH	100	100	100	100	1	1	100	100	1	19	27	KÉM
133	QN3-24NRĐH	100	100	100	100	73	1	100	1	100	100	42	TRUNG BÌNH
134	QN6-24NRĐH	100	100	100	100	36	1	100	100	1	19	37	KÉM
135	QN9-24NRĐH	100	100	100	100	1	1	1	31	1	100	21	KÉM
136	QN12-24NRĐH	100	100	100	100	36	1	1	1	100	19	23	KÉM
137	QN3-23NRHA	100	100	100	100	100	100	1	100	1	100	52	TRUNG BÌNH
138	QN6-23NRHA	21	100	100	100	100	100	1	94	1	19	35	KÉM
139	QN9-23NRHA	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	72	TỐT
140	QN12-23NRHA	90	100	100	100	100	100	1	100	100	100	71	TỐT
141	QN3-24NRHA	21	100	100	100	100	100	1	100	100	19	49	TRUNG BÌNH
142	QN6-24NRHA	51	100	100	100	100	100	1	100	100	100	67	TỐT

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ số thông số q_i										GWQI	Phân loại CLN
		pH	TDS	Hard	SO4	COD	N-NH4	N-NO3	Fe	Mn	TC		
143	QN9-24NRHA	60	100	100	100	100	1	1	100	1	100	34	KÉM
144	QN12-24NRHA	1	100	100	100	100	100	1	100	100	100	43	TRUNG BÌNH
145	QN3-23NRTX	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
146	QN6-23NRTX	100	100	100	100	73	100	100	1	1	100	44	TRUNG BÌNH
147	QN9-23NRTX	80	100	100	100	100	100	100	1	1	1	25	KÉM
148	QN12-23NRTX	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
149	QN3-24NRTX	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
150	QN6-24NRTX	90.1	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
151	QN9-24NRTX	90.1	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
152	QN12-24NRTX	60.4	100	100	100	100	100	100	1	1	1	24	KÉM
153	QN3-23NRTN	100	100	100	100	100	100	100	1	1	100	45	TRUNG BÌNH
154	QN6-23NRTN	100	100	100	100	1	100	100	1	71	100	40	KÉM
155	QN9-23NRTN	100	100	100	100	1	1	100	1	85	100	28	KÉM
156	QN12-23NRTN	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	RẤT TỐT
157	QN3-24NRTN	100	100	100	100	1	1	100	1	100	19	23	KÉM
158	QN6-24NRTN	100	100	100	100	1	1	100	1	100	100	28	KÉM
159	QN9-24NRTN	90	100	100	100	1	1	100	1	100	19	23	KÉM
160	QN12-24NRTN	100	100	100	100	1	1	100	1	85	100	28	KÉM