

ĐẠI HỌC HUẾ
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC

Trương 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

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SỸ HÓA HỌC

Người hướng dẫn khoa học:

- PGS.TS. Nguyễn Văn Hợp
- TS. Trương Quý Tùng

THÀNH PHỐ HUẾ - NĂM 2025

MỞ ĐẦU

Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu phát triển WQI/GWQI. Tuy nhiên, các nghiên cứu có những hạn chế nhất định: Một số WQI/GWQI chỉ được tính toán từ chỉ số chất lượng thông số - q_i , mà không tính đến tầm quan trọng của các thông số (tức là coi các thông số có tầm quan trọng như nhau)... Một số nghiên cứu có tính đến tầm quan trọng của thông số - w_i , nhưng để xác định các w_i , người ta chủ yếu dựa vào ý kiến của các chuyên gia, tức là ý kiến chủ quan cá nhân, mà không dựa vào đặc điểm thực tế của nguồn nước dưới đất đang nghiên cứu. 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 các dữ liệu CLN nước.

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 CLN và kiểm soát ô nhiễm nước ở khu vực thuộc phạm vi nghiên cứu.

Những đóng góp mới của luận án:

(1) Đã xây dựng được quy trình tổng quát phát triển chỉ số CLN, 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).

(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.

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 được gọi là các *Chỉ thị chất lượng nước* (water quality indicator); Mỗi chỉ thị bao gồm một hay nhiều *Thông số chất lượng nước* (water parameters).

1.2. Các phương pháp đánh giá CLN

(i) *Đánh giá CLN dựa vào chỉ thị/thông số CLN*: Mỗi chỉ thị hay thông số CLN được so sánh với mức quy định trong quy chuẩn của quốc gia hoặc quốc tế về CLN. Phương pháp này được dùng phổ biến, nhưng có một số hạn chế như khó lý giải với các nhà quản lý và khó truyền thông với cộng đồng.

(ii) *Đánh giá CLN dựa vào chỉ số đặc thù*: Áp dụng khi cần đánh giá một khía cạnh về CLN hay ô nhiễm nước, chẳng hạn, chỉ số tình trạng dinh dưỡng (TRIX/Trophic Index) và chỉ số CLN sinh học ASPT (Average Score per Taxon).

(iii) *Đánh giá CLN dựa vào Chỉ số CLN (WQI)*: Chỉ số WQI 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

1.3. Tình hình nghiên cứu về chỉ số chất lượng nước

WQI là một thông số tổ hợp, được tính toán từ nhiều thông số CLN theo một công thức xác định. WQI thường được tính toán từ 2 đại lượng - *Chỉ số chất lượng thông số* hay *Chỉ số thông số* q_i (thể hiện chất lượng của thông số CLN) và *Trọng số* w_i (thể hiện tầm quan trọng của thông số CLN i), với $i = 1 - n$ (n là số thông số được lựa chọn để tính WQI)

Từ năm 2011, chỉ số WQI Việt Nam (WQI-VN) được đưa vào áp dụng và đến năm 2019, được Tổng cục Môi trường điều chỉnh lại. 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) là cần thiết.

GWQI cũng như WQI là một thông số tổ hợp, được tính toán từ nhiều thông số CLN lựa chọn theo một công thức xác định.

Tuy có nhiều mô hình WQI và GWQI khác nhau, nhưng tổng quát, WQI và GWQI là hàm của các Chỉ số thông số q_i và Trọng số w_i của các thông số CLN lựa chọn i :

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

Trong đó,

- i : Thông số CLN lựa chọn để đưa vào tính GWQI ;
- q_i : Chỉ số thông số thể hiện chất lượng của thông số i ;
- w_i : Trọng số thể hiện tầm quan trọng của thông số i , với tổng trọng số của các thông số $\sum w_i = 1$;

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

(i) Dạng chỉ tính đến q_i , mà không tính đến w_i . Theo dạng này, cũng có 3 công thức là dạng tổng hoặc dạng tích 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, có 2 công thức tính là dạng tổng (additive) và dạng tích (multiplicative).

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.

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 là CLN bao gồm:

- Chỉ số WQI/GWQI; Các thông số CLN mặt, nước dưới đất; Phương pháp PCA.

- Một số sông lựa chọn ở miền Trung để xây dựng chỉ số WQI: sông Lam, sông Hương và sông Ba;

- Một số tỉnh lựa chọn ở miền Trung để xây dựng chỉ số GWQI: các tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình (cũ), Quảng Trị (cũ) và Quảng Nam (cũ).

2.1.2. Phạm vi nghiên cứu

(i) Khu vực nghiên cứu CLN sông là hệ thống sông ở miền Trung gồm sông Lam, sông Hương và sông Ba. Các dữ liệu quan trắc ở các sông khá đầy đủ và liên tục theo không gian, thời từ năm 2014 đến 2021 và do vậy, được chọn để nghiên cứu phát triển chỉ số WQI.

ii) Khu vực nghiên cứu nước dưới đất ở miền Trung gồm 03 tỉnh ở Bắc Trung Bộ là các tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình (cũ) và Quảng Trị (cũ) và 01 tỉnh ở Nam Trung Bộ là tỉnh Quảng Nam (cũ). Dữ liệu quan trắc CLN dưới đất của các tỉnh được thực hiện khá đầy đủ từ năm 2016 đến 2024 và do vậy, được chọn để nghiên cứu phát triển chỉ số GWQI.

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.

2/ Xây dựng quy trình tổng quát phát triển chỉ số 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 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 chỉ số 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 thông số riêng biệt và lựa chọn QCVN cho xây dựng chỉ số WQI/GWQI

Đánh giá CLN qua so sánh dữ liệu CLN với QCVN hiện hành (QCVN 08-MT:2015/BTNMT do Bộ TNMT ban hành và QCVN 01-1:2018/BYT do Bộ Y tế ban hành).

2.3.2. Phương pháp phân tích thống kê

Áp dụng thống kê mô tả để xác định các đại lượng; biểu diễn box plot để so sánh các phương pháp tính WQI/GWQI; phân tích phương sai (ANOVA); sử dụng kiểm định paired-t-test; sử dụng kiểm định HSD Turkey (HSD Turkey test), Kruskal Wallis Test - Dunn's test.

2.3.3. Phương pháp PCA xác định trọng số của thông số CLN

Phương pháp PCA là phương pháp giảm chiều, cho phép giảm dữ liệu từ không gian m chiều (mỗi chiều ứng với một biến/thông số CLN) thành không gian ít chiều hơn: k chiều ($k < m$); mỗi chiều được gọi là một thành phần chính (PC/principal component)

- là tổ hợp tuyến tính của các biến gốc (x_{ij}) và các PC không tương quan với nhau, mà trực giao nhau.

Tải lượng yếu tố (factor loading) của mỗi biến trên mỗi thành phần chính thể hiện tầm quan trọng và ảnh hưởng của biến đối với mỗi thành phần chính. Tổng tải lượng bình phương (squared loading) của mỗi biến trên các thành phần chính được giữ lại (được gọi là communality) được sử dụng để tính trọng số trong quy trình tính GWQI. Tải lượng bình phương của mỗi biến chính là hệ số xác định (R^2) của mỗi biến trên PC tương ứng: Tải lượng bình phương càng lớn, biến càng đóng góp quan trọng vào PC.

Các tính toán PCA được thực hiện bằng cách 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).

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

Trong đó, R_i^2 là tổng tải lượng bình phương của thông số i trên các PC giữ lại.

2.3.4. Phương pháp xác định chỉ số thông số

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 mặt do Bộ TNMT ban hành (để tính q_i cho WQI) hoặc Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về CLN sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt do Bộ Y tế ban hành (để tính q_i cho GWQI).

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

Dạng hàm tuyến tính cho từng biến/thông số i là:

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

Trong đó q là chỉ số chất lượng thông số gọi tắt là *chỉ số 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 hệ 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 cho biến/thông số i ($\leq$ 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 cho biến/thông số i ($\geq$ giới hạn B2 của Quy chuẩn).

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

Đối với thông số DO, nếu nồng độ DO thấp hơn 2 mg/L, q sẽ bằng 1, hàm chỉ số thông số tuyến tính thứ nhất cho thông số DO được xác định theo hệ phương trình như hai công thức (2.5) và (2.6):

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

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

Nếu nồng độ DO vượt quá 9 và tiến đến 12 mg/L (cao hơn trạng thái bão hòa), DO được xác định theo hệ phương trình như hai công thức (2.8) và (2.9):

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

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

Đối với pH, giới hạn A1 và A2 trong Quy chuẩn dao động từ 6 đến 8,5, tương ứng với chỉ số thông số 100. Nếu pH thấp hơn 5,5 (giới hạn B1) hoặc cao hơn 9 (giới hạn B2), chỉ số thông số bằng 1. Điều này có nghĩa là cũng có hai hàm cho thông số pH được xác định từ hai hệ phương trình, gồm các công thức (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 EC, vì thông số này không được quy định trong QCVN 08-MT:2015/BTNMT do Bộ Tài nguyên và Môi trường ban hành, nên hàm chỉ số thông số tuyến tính của EC được thiết

lập dựa trên giới hạn của TDS theo các quy chuẩn khác, với sự chấp nhận rằng:

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

Theo Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về CLN uống (QCVN 01:2009/BYT) do Bộ Y tế ban hành, giới hạn TDS < 1000 mg/L, tương ứng với EC < 1538 $\mu\text{S/cm}$ và chỉ số thông số $q = 100$.

Theo Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về CLN tưới tiêu (QCVN 39:2011/BTNMT) do Bộ Tài nguyên và Môi trường ban hành, giới hạn TDS < 2.000 mg/L, tương ứng với EC < 3.077 $\mu\text{S/cm}$ và chỉ số thông số $y = 1$.

Điều này có nghĩa là trong phương trình tuyến tính cho EC, a và b được xác định từ hệ hai phương trình:

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

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

(ii) *Đối với chỉ số 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 dưới đất 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: $100 = a + b \times (C_{oi} - 3 \times S_i) \quad (2.19)$

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

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

Trong đó, $q = 1$ ứng với chất lượng kém nhất của thông số; Khi kết quả quan trắc của thông số $C_i \geq C_{oi} + 3 \times S_i$, giá trị q của nó = 1. Điều này được hiểu là: giới hạn cho phép đối với mỗi thông số là trung bình của một phân bố chuẩn (hay một quần thể);

chỉ những giá trị C_i nằm ngoài khoảng tin cậy 99,87% của giá trị trung bình đó mới được xem là thuộc phân bố khác (hay quần thể khác), tức là lớn hơn giới hạn cho phép; số 3 là giá trị của biến chuẩn hóa (z) ứng với xác suất tin cậy $P = 0,9987$; S được xem là độ lệch chuẩn của quần thể.

Độ lệch chuẩn S_i có thể tính toán từ độ lệch chuẩn tương đối (RSD, %):

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

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; RSD_i được xác định dựa vào phương trình Horwitz:

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

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

2.3.5. Phương pháp tính chỉ số chất lượng nước

Để chọn công thức tính phù hợp, tiến hành tính chỉ số GWQI cuối cùng theo phương pháp tích – công thức (2.27) và phương pháp tổng – công thức (2.28):

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

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

- Đối với chỉ số 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) 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).

- *Đối với chỉ số GWQI*: Để so sánh với chỉ số GWQI đề xuất – công thức (2.27) và (2.28), ở đây cũng tính toán GWQI theo phương pháp khác - công thức (2.34) – là phương pháp đã được một số tác giả đã đề xuất:

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

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 (2.30):

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

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 = 0 (ngoại trừ pH có $C_{oi} = 7,0$).

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

Các thang phân loại WQI/GWQI được sử dụng nghiên cứu ở Bảng 2.4, GWQI (= 1 – 100), giá trị GWQI càng lớn, CLN càng tốt và ngược lại.

Bảng 2.4. Phân loại CLN dưới đất theo chỉ số 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
GWQI _{ref}	> 300	201 – 300	101 – 200	51 – 100	< 50	-
GWQI	81 – 100	61 – 80	41 – 60	21 – 40	≤ 20	-
Trạng thái	RẤT TỐT	TỐT	TRUNG	KÉM	RẤT KÉM	Ô
CLN	(RT)	(T)	BÌNH (TB)	(K)	(RK)	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;

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

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 số mẫu quan trắc trong giai đoạn 2 là $N = 392$. Các thông số biến động mạnh gồm: EC ($CV = 133\%$) > TSS (99 %) > TC (73 %). Thông số biến động trung bình gồm: COD (40 %) > BOD $\approx$ N-NH₄ (35 %) > N-NO₃ (34 %) > P-PO₄ (33 %) > Fe (26 %).

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.

3.1.2. Quy trình xây dựng chỉ số chất lượng nước

3.1.2.1. Lựa chọn thông số chất lượng nước

Tiêu chí lựa chọn thông số CLN để xây dựng chỉ số WQI:

- (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);
- (ii) Các thông số CLN lựa chọn phải được quan trắc thường xuyên và được quy định trong QCVN hiện hành.

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.

3.1.2.2. Trọng số của các thông số chất lượng nước

Giá trị trọng số của từng thông số chất lượng nước tính được (trọng số ở trong ngoặc đơn) gồm: pH (0,10), EC (0,12), TSS (0,11), DO (0,07), BOD (0,10), N-NH₄ (0, 09), N-NO₃ (0,07), P-PO₄ (0,08), Fe (0,06), TC (0,09). Tổng trọng số của mười một bằng 1,00

3.1.2.3. Xác định chỉ số thông số

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 nước mặt do Bộ Tài nguyên và Môi trường (cũ) ban hành (QCVN 08-MT:2015/BTNMT). Cách xác định giá trị q_i ứng với nồng độ

quan trắc được của thông số i (x_i) được trình bày chi tiết ở mục 2.3.4 (i). Kết quả cụ thể như Hình 3.3.



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 ($q_i = y_i$).

3.1.2.4. Tính toán chỉ số chất lượng nước

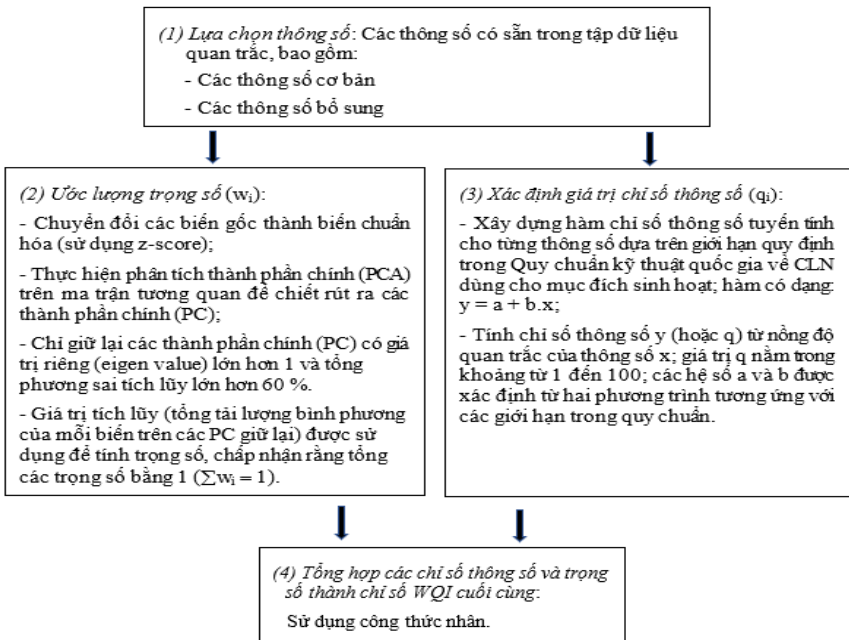
Bước tiếp theo là tính giá trị WQI cuối cùng với WQI là hàm của trọng số w_i và chỉ số thông số q_i của các thông số lựa chọn i . Tiến hành so sánh các công thức tính chỉ số WQI đề xuất, chỉ số

NSF-WQI và VN-WQI theo cả phương pháp tích – công thức (2.27) và phương pháp tổng – công thức (2.28).

3.1.2.5. Kiểm chứng chỉ số chất lượng nước

Dữ liệu quan trắc CLN dùng để kiểm chứng chỉ số WQI là tập dữ liệu CLN sông Hương giai đoạn 2017–2020 (4 năm).

Để so sánh, các chỉ số NSF-WQI và VN-WQI cũng được tính toán cho đợt quan trắc tháng 11/2020. So với chỉ số NSF-WQI_M, NSF-WQI_A và VN-WQI, chỉ số WQI đề xuất phù hợp hơn trong phản ánh CLN nước sông Hương. Điều này cũng cho phép kết luận rằng, chỉ số WQI đã khắc phục được tính ‘che khuất’ và ‘mập mờ’ trong phản ánh CLN. Từ các kết quả thu được ở trên, đã xuất quy trình tổng quát xây dựng chỉ số WQI như ở Hình 3.3.



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

Như vậy, quy trình phát triển chỉ số WQI (nêu ở Hình 3.4) là đáp ứng mục đích đề ra: dễ hiểu, áp dụng phù hợp trong đánh giá

CLN sông Hương. Dưới đây sẽ áp dụng quy trình đó để trong đánh giá CLN sông Lam và sông Ba ở miền Trung.

3.2. Áp dụng chỉ số chất lượng nước vào thực tế

3.2.1. Sông Hương

Kết quả kiểm chứng đánh giá CLN Sông hương giai đoạn 2017-2020 cho thấy sự phù hợp của chỉ số WQI nên có thể xem là kết quả áp dụng chỉ số 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

So sánh các kết quả quan trắc CLN sông Lam giai đoạn 2020 – 2021 với các mức giới hạn được quy định trong QCVN 08-MT:2015/BTNMT cho thấy, tổng cộng phần trăm số liệu về các thông số CLN không đạt loại A2 là **10,6 %**.

Kết quả tính toán chỉ số thông số q_i , chỉ số WQI và phân loại CLN sông Lam các năm 2017 và 2019 cho thấy, tổng cộng là **10,9 %** các giá trị WQI thuộc loại TRUNG BÌNH và KÉM. Như vậy, kết quả đánh giá CLN qua chỉ số WQI và qua các thông số riêng biệt là hoàn toàn phù hợp nhau. Kết quả này cho thấy sự phù hợp của chỉ số 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

So sánh các kết quả quan trắc CLN sông Ba các năm 2017 và 2019 (N = 51) với các mức giới hạn được quy định trong QCVN 08-MT:2015/BTNMT cho thấy, tổng cộng phần trăm số liệu về các thông số CLN không đạt loại A2 là **32,4 %**.

Kết quả tính toán chỉ số thông số q_i , chỉ số WQI và phân loại CLN sông Ba các năm 2017 và 2019 cho thấy, tổng cộng là **35,4 %** các giá trị WQI thuộc loại TRUNG BÌNH, KÉM và RẤT KÉM. Như vậy, kết quả đánh giá CLN qua chỉ số WQI và qua các thông số riêng biệt là hoàn toàn phù hợp nhau. Kết quả này cho

thấy sự phù hợp của chỉ số 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.

So sánh CLN các sông giai đoạn 2017-2021:

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 $p < 0,0001$.

3.3. Xây dựng chỉ số chất lượng nước dưới đất

Áp dụng quy trình tổng quát chỉ số WQI ở trên để 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)

Tập dữ liệu quan trắc CLN dưới đất giai đoạn 2016-5/2019 ở tỉnh Quảng Trị (cũ) được chọn để xây dựng chỉ số GWQI.

- Đánh giá mức độ biến động của dữ liệu cho thấy, hầu hết các thông số biến động mạnh gồm: TC (CV = 613 %) > SO₄ (491 %) > TDS (472 %) > Hard (356 %) > N-NH₄ (252 %) > Fe (221 %) > N-NO₃ (192 %) > Mn (151 %) > COD (72 %).

- So sánh với QCVN 01-1:2018/BYT thấy 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.

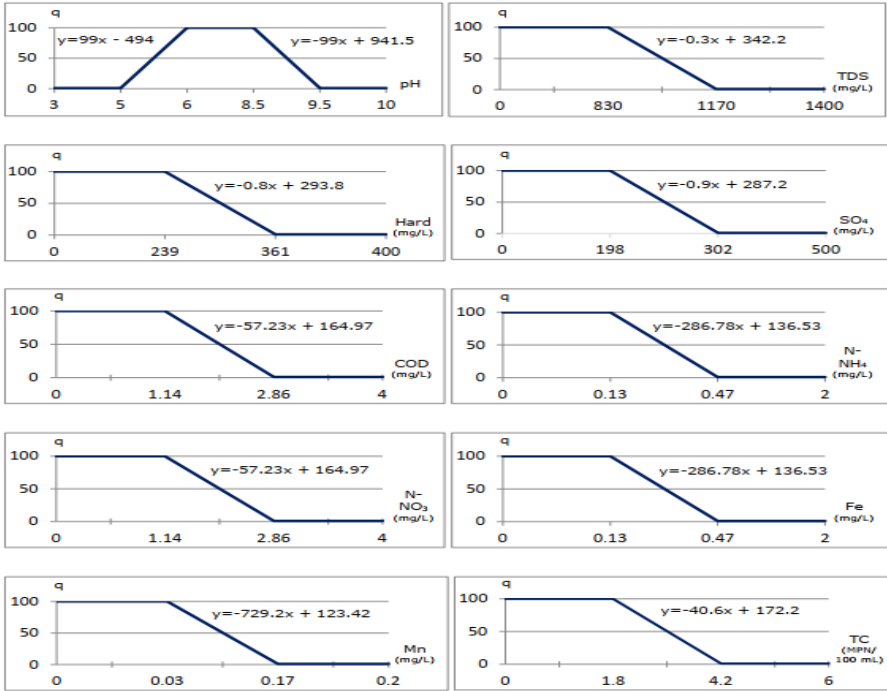
3.3.2. Lựa chọn các thông số chất lượng nước dưới đất

Từ dữ liệu 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 chỉ số GWQI (tổng số thông số được chọn là $n = 10$).

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

Giá trị trọng số của từng thông số chất lượng nước tính được (trọng số ở trong ngoặc đơn) gồm: pH (0,11), TDS (0,12), Hard (0,13), SO₄ (0,11), COD (0,09), N-NH₄ (0,08), N-NO₃ (0,07), Fe (0,10), Mn (0,07), TC (0,12). Tổng trọng số của mười một bằng 1,00

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



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 ($q_i = y_i$).

Hàm chỉ số thông số tuyến tính được thiết lập dựa trên các giới hạn của QCVN 01-1:2018/BYT. Cách xác định giá trị q_i ứng với nồng độ quan trắc được của thông số i (x_i) được trình bày chi tiết ở mục 2.3.4 (ii). Kết quả cụ thể như Hình 3.6.

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

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 $GWQI$. So sánh với QCVN 01-1:2018/BYT thấy 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.

Tính toán chỉ số $GWQI$ đề xuất theo công thức tích (2.22), công thức tổng (2.23) 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: có 19,7 % các giá trị $GWQI_M$ phản ánh CLN loại KÉM và RẤT KÉM; có 4 % các giá trị $GWQI_A$ phản ánh CLN loại KÉM và RẤT KÉM; có 19,7 % các giá trị $GWQI_{Ref}$ phản ánh CLN loại KÉM và RẤT KÉM;

So sánh các chỉ số $GWQI$ khác nhau trong các trường hợp tới hạn: mặc dù có một hoặc một vài thông số không đạt yêu cầu của QCVN 01-1:2018/BYT, nhưng chỉ số $GWQI_A$ và $GWQI_{Ref}$ vẫn phản ánh CLN loại TỐT hoặc RẤT TỐT là không phù hợp. Trong khi đó, chỉ số $GWQI_M$ phản ánh CLN phù hợp với thực tế hơn.

Rõ ràng, 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, chỉ số $GWQI_M$ được gọi 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)

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. So sánh với QCVN 01-1:2018/BYT thấy có **16,4 %** số số liệu vượt giới hạn quy định.

Áp dụng chỉ số GWQI đề xuất cho tập dữ liệu CLN dưới đất của tỉnh Quảng Trị (cũ) giai đoạn 2023-2024. Kết quả tính toán cho thấy có **11,3 %** trường hợp thuộc loại dưới mức TRUNG BÌNH (CLN loại KÉM và RẤT KÉM), 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 với giới hạn cho phép của QCVN 01-1 ở trên.

3.4.2. Chất lượng nước dưới đất ở tỉnh Hà Tĩnh

Tập dữ liệu CLN dưới đất giai đoạn 2023-2024 được sử dụng để tính chỉ số GWQI và phân loại CLN. So sánh với QCVN 01-1:2018/BYT thấy có **29,4 %** số số liệu vượt giới hạn quy định.

Áp dụng chỉ số GWQI đề xuất cho tập dữ liệu CLN dưới đất của tỉnh Hà Tĩnh giai đoạn 2023-2024. Kết quả tính toán cho thấy có **37,2 %** trường hợp 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 với giới hạn cho phép của QCVN 01-1 ở trên.

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

Tập dữ liệu CLN dưới đất giai đoạn 2023-2024 được sử dụng để tính chỉ số GWQI và phân loại CLN. So sánh với QCVN 01-1:2018/BYT thấy có **13,9 %** số số liệu vượt giới hạn quy định.

Áp dụng chỉ số GWQI đề xuất cho tập dữ liệu CLN dưới đất của tỉnh Quảng Bình (cũ) giai đoạn 2023-2024. Kết quả tính toán cho thấy có **12,5 %** trường hợp thuộc loại dưới mức TRUNG BÌNH, kết quả này cũng phù hợp với kết quả đánh giá CLN dưới đất dựa vào việc so sánh dữ liệu quan trắc các thông số với giới hạn cho phép của QCVN 01-1 ở trên.

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

Tập dữ liệu CLN dưới đất giai đoạn 2023-2024 được sử dụng để tính chỉ số GWQI và phân loại CLN. So sánh với QCVN 01-1:2018/BYT thấy có **27 %** số số liệu vượt giới hạn quy định.

Áp dụng chỉ số GWQI đề xuất cho tập dữ liệu CLN dưới đất của tỉnh Quảng Nam (cũ) giai đoạn 2023-2024. Kết quả tính toán cho thấy có **32,5 %** trường hợp 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 với giới hạn cho phép của QCVN 01-1 ở trên.

So sánh CLN dưới đất ở các tỉnh

Từ tập dữ liệu GWQI các tỉnh 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 $p = 0,76$.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

(1) 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. Trong đó, đã xác định một cách khách quan trọng số (w_i) bằng phương pháp phân tích thành phần chính (PCA); xác định q_i thông qua các hàm tuyến tính.

(2) Đã áp dụng chỉ số WQI đề xuất cho dữ liệu quan trắc CLN sông Lam (tỉnh Nghệ An) và sông Ba (tỉnh Phú Yên (cũ), nay là tỉnh Đaklak). Kết quả cho thấy, chỉ số WQI đề xuất phản ánh phù hợp CLN hai sông khảo sát.

(3) 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). Các trọng số 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.

(4) Đã áp dụng chỉ số GWQI xây dựng được để đánh giá chất lượng nước dưới đất giai đoạn 2023-2024 ở các tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình (cũ), Quảng Trị (cũ) và Quảng Nam (cũ)..

(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 áp dụng phương pháp phân tích thống kê đa biến (PCA) và phương trình tuyến tính; (ii) từ đó đã xây dựng được chỉ số WQI mới, chỉ số GWQI mới (với thang điểm thuận).

Kiến nghị

(1) Tiếp tục nghiên cứu áp dụng chỉ số WQI/GWQI các địa phương hoặc khu vực khác ở nước ta trong giai đoạn tới (2026-2030).

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

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ KẾT QUẢ CỦA ĐỀ TÀI

1. Trong nước

- (1). **Trương Trung Kiên**, Mai Thị Thanh Tuyền, Trương Quý Tùng, Nguyễn Văn Hợp *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, 2024, 133(1C), 159–169.
- (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).
- (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).
- (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.

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.

- (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.