

Bài báo khoa học

Nghiên cứu xây dựng bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ

Thân Văn Đón^{1*}, Phạm Thị Thu¹, Phạm Thị Hồng Ngọc¹, Nguyễn Thị Lan Anh¹

¹ Trung tâm Công nghệ và Dữ liệu tài nguyên nước; thandontnmt@gmail.com; phamthud-ctv51@gmail.com; ngocpth870@gmail.com; lananh.cwt@gmail.com

*Tác giả liên hệ: thandontnn@gmail.com; tel: +84-976632126

Ban biên tập nhận bài: 17/7/2024; Ngày phản biện xong: 30/8/2024; Ngày đăng bài: 25/2/2025

Tóm tắt: Vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ có 24 vùng theo Quyết định số 1553/QĐ-TTg ngày 08 tháng 11 năm 2019 của Thủ tướng Chính phủ và có 11 tầng chứa nước tuổi từ Neogen đến Cacbon-Pecmi. Kết quả tính toán tổng trữ lượng nước dưới đất có thể khai thác là 61.346 m³/ngày, tổng lưu lượng khai thác công trình dự báo là 10.237 m³/ngày và có khả năng cung cấp cho 102.370 người với tiêu chuẩn là 100 l/người/ngày. Để khai thác và chống suy thoái nguồn nước dưới đất, nhóm tác giả xây dựng bộ tiêu chí, gồm có 3 nhóm tiêu chí: Chống suy thoái về trữ lượng (có 3 tiêu chí và 6 chỉ số); Chống suy thoái về môi trường (có 4 tiêu chí và 5 chỉ số); Chống suy thoái do yếu tố kinh tế - xã hội (có 4 tiêu chí và 6 chỉ số). Trên cơ sở bộ tiêu chí trên, bài báo đã sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) để xác định trọng số và đánh giá các tiêu chí, kết quả cho thấy có 20 vùng có mức độ bảo vệ chống suy thoái trung bình, 5 vùng có mức độ bảo vệ chống suy thoái kém, nguyên nhân chủ yếu do các yếu tố suy giảm về chất lượng và quản lý tài nguyên nước, nhận thức cộng đồng

Từ khóa: Phương pháp AHP; Tiêu chí bảo vệ; Nước dưới đất; Khan hiếm nước; Bắc Trung Bộ.

1. Mở đầu

Trên thế giới và Việt Nam cũng đã có những nghiên cứu đưa ra các tiêu chí nhằm bảo vệ, khai thác bền vững nguồn nước dưới đất. Trong đó có những nghiên cứu điển hình, ở Ấn Độ [1] đã đưa ra phương pháp đánh giá khả năng khai thác nước ngầm bền vững, thông qua Bộ Chỉ số Bền vững Nước ngầm (*Groundwater Sustainability Index - GSI*), xác định được 5 nhóm tiêu chí và 15 chỉ số để đánh giá mức độ bền vững nguồn nước ngầm. Nghiên cứu ở Trung Quốc [2] đã xây dựng các tiêu chí bền vững của nước ngầm 4 tiêu chí chính được sử dụng để phân loại là: Sự suy giảm mực nước ngầm, tổng độ hạ thấp mực nước ngầm, Sự ô nhiễm nước ngầm thông qua chỉ số chất lượng nước và sự suy giảm nguồn nước mặt; nghiên cứu ở Việt Nam [3] đã đề xuất được 4 nhóm tiêu chí bao gồm 9 chỉ số làm cơ sở phân vùng khai thác bền vững nước dưới đất ở vùng đồng bằng Bắc Bộ và Nam Bộ. Nghiên cứu [4] đã đề xuất được bộ chỉ số tài nguyên nước trong tăng trưởng xanh bao gồm 24 chỉ tiêu thuộc 3 nhóm. Các nghiên cứu này được thực hiện đánh giá cho nước ngầm ở nhiều khu vực khác nhau như miền núi, đồng bằng trên các vùng lãnh thổ khác nhau. Tuy nhiên, để xây dựng bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước cần có sự nghiên cứu phân tích cụ thể các nguyên nhân gây ra suy thoái nước dưới đất để đưa ra các tiêu chí cho phù hợp với từng khu vực nghiên cứu nói chung và khu vực Bắc Trung Bộ nói riêng.

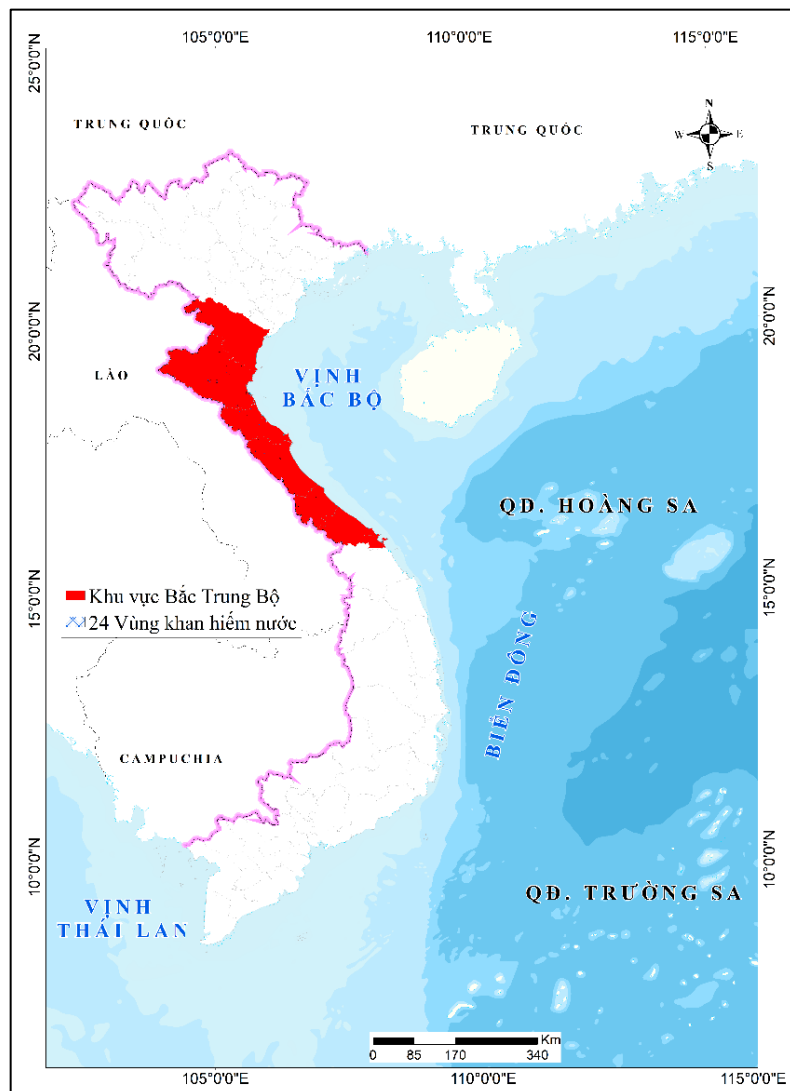
Nước dưới đất ở các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ đang có một số nguy cơ suy thoái nguồn nước dưới đất do đặc trưng cấu trúc địa chất, địa chất thủy văn của khu vực chủ yếu phân bố các tầng chứa nước khe nứt, tầng chứa nước karst là những tầng chứa nước có khả năng tự bảo vệ kém; do sự phân bố các đứt gãy địa chất; do lũ lụt, hạn hạn; xâm nhập mặn; do khai thác nước quá mức; do thói quen canh tác trồng trọt dùng thuốc bảo vệ thực vật, thuốc trừ sâu, xây dựng chuồng trại chăn nuôi chưa đúng, ... Tình trạng nhiễm bẩn nước ngầm nếu không ngăn ngừa hay khắc phục được sẽ không chỉ gây đe dọa đến sức khỏe cộng đồng mà còn gây đe dọa đến các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội. Vì vậy, cần phải đánh giá mức độ suy thoái nguồn nước ngầm của khu vực từ đó đề xuất ra được các giải pháp khoa học kỹ thuật, chính sách nhằm bảo vệ và đảm bảo khai thác bền vững nguồn nước dưới đất.

Mức độ bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước dưới đất được đánh giá qua bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước. Nghiên cứu này sẽ trình bày phương pháp xây dựng bộ tiêu chí và kết quả đánh giá theo bộ tiêu chí cho khu vực Bắc Trung Bộ.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Theo Quyết định số 3318/QĐ-BTNMT ngày 19 tháng 12 năm 2019 của Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường về việc phê duyệt điều chỉnh dự toán kinh phí dự án “Điều tra tìm kiếm nguồn nước dưới đất tại các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước” [5] thuộc Chương trình điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất để cung cấp nước sinh hoạt ở các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước, phạm vi thực hiện dự án theo 5 khu vực: khu vực Bắc Bộ, khu vực Bắc Trung Bộ, khu vực Nam Trung Bộ, khu vực Tây Nguyên, khu vực Nam Bộ. Các vùng khan hiếm được lựa chọn dựa vào các nguyên tắc: các vùng thuộc miền núi thỏa mãn 2 điều kiện, có hệ số khu vực $\geq 0,5$ và chưa được điều tra, đánh giá tài nguyên nước dưới đất; các vùng trung du và đồng bằng thỏa mãn điều kiện là có hệ số khu vực 0,2 và chưa được điều tra, đánh giá tài nguyên nước dưới đất phục vụ cấp

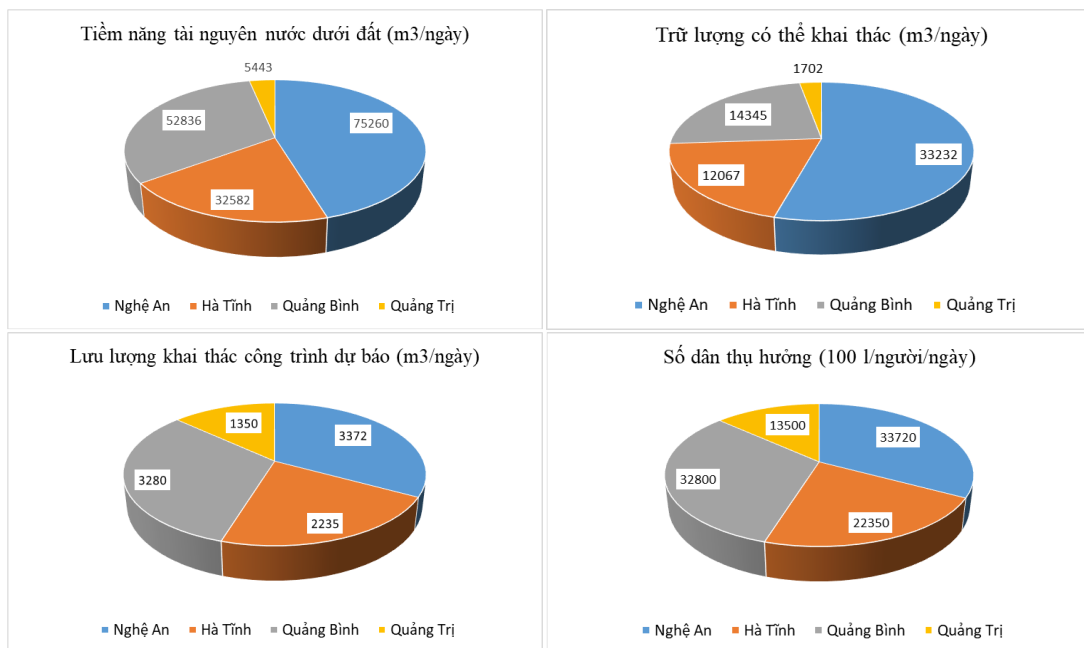


Hình 1. Sơ đồ các vùng khan hiếm nước thuộc khu vực Bắc Trung Bộ.

nước sinh hoạt. Trên cơ sở nguyên tắc trên khu vực Bắc Trung Bộ đã xác định được 24 vùng phân bố ở 4 tỉnh: Nghệ An (12 vùng thuộc các xã: Thọ Sơn, Mậu Đức, Đôn Phục, Châu Lộc, Hạ Sơn, Văn Lợi, Nghĩa Lợi, Nghĩa Thọ, Châu Thuận, Nghi Tiến, Nghi Yên, Thanh Xuân); Hà Tĩnh (06 vùng thuộc các xã: Sơn Ninh, Sơn Thọ, Đức An, Thạch Trị, Thạch Xuân, Xuân Lam); Quảng Bình (04 vùng thuộc các xã: Phúc Trạch, Thanh Hóa, Dân Hóa, Trung Hóa) và Quảng Trị (02 vùng thuộc các xã: Hương Phùng, Linh Thượng) là vùng núi cao, vùng khan hiếm nước (Hình 1).

Hiện trạng tài nguyên nước dưới đất khu vực Bắc Trung Bộ: Tổng tiềm năng tài nguyên nước dưới đất là 166.121 m³/ngày, trong đó Nghệ An với kết quả 75.260 m³/ngày với 12 vùng điều tra là tỉnh có tiềm năng tài nguyên nước dưới đất lớn nhất; Quảng Trị với 2 vùng điều tra, có tiềm năng nhỏ nhất là 5.443 m³/ngày [5]. Tổng trữ lượng có thể khai thác là 61.346 m³/ngày, tỉnh có trữ lượng có thể khai thác lớn nhất là Nghệ An với 33.232 m³/ngày, Quảng Trị với trữ lượng có thể khai thác nhỏ nhất, 1.702 m³/ngày [5].

Lưu lượng khai thác công trình dự báo là lưu lượng được tính toán trên cơ sở kết quả bơm thí nghiệm tại các lỗ khoan dự kiến khai thác trên cơ sở nhu cầu sử dụng nước của vùng. Trữ lượng công trình được tính toán với thời gian khai thác trong 27 năm. Kết quả tính toán lưu lượng khai thác công trình dự báo là 10.237 m³/ngày có khả năng cung cấp cho tổng số 102.370 người với tiêu chuẩn sử dụng nước 100 l/người/ngày. Trong khu vực Bắc Trung Bộ, Nghệ An có lưu lượng khai thác công trình dự báo lớn nhất, 3.372 m³/ngày; tiếp theo đó là Quảng Bình, Hà Tĩnh; Quảng Trị có lưu lượng khai thác công trình dự báo nhỏ nhất là 1.350,0 m³/ngày [5].



Hình 1. Hiện trạng tài nguyên nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước thuộc khu vực Bắc Trung Bộ [5].

2.2. Dữ liệu sử dụng

Dữ liệu sử dụng trong báo cáo kế thừa từ kết quả thực hiện Dự án “Điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất tại các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước”, giai đoạn 1 được triển khai thực hiện từ năm 2016-2020, khu vực Bắc Trung Bộ [5]. Đồng thời kết hợp với kết quả thu thập, điều tra, khảo sát bổ sung số liệu khí tượng thủy văn, hiện trạng khai thác, phong tục tập quán, các tác động đến công trình khai thác, tầng chứa nước [6].

Thông số các tầng chứa nước nghiên cứu được tổng hợp theo Bảng 1, trong đó các giá trị được ghi theo cấu trúc: giá trị nhỏ nhất - giá trị lớn nhất (giá trị trung bình) hoặc chỉ ghi giá trị trung bình.

Bảng 1. Thông số các TCN nghiên cứu [5, 7].

TT	TCN	Lưu lượng Q (l/s)	Hệ số dẫn nước Km (m ² /ng)	Hệ số thấm K (m/ng)	Chiều sâu mực nước Ht tính (m)
1	Neogen (n)	0,9 - 3,84	55,93	1,39	3,8 - 8,4
2	Trias trên (t ₃)	1,04 - 1,72	3,6 - 7,6	-	1,66 - 4,2
3	Trias giữa (t ₂)	1,21 - 2,4	20,67	0,26	1,71 - 6,18
4	Ocdovic - Silur (o3-s1)	1,27 - 4,2	52,27	0,84	3,05 - 9,58
5	Silua giữa (s ₂)	0,86 - 7,89	21,5 - 379,9 (143,2)	-	2,93 - 12,5
6	Silua giữa - devon dưới (S ₂ -d ₁)	1,2 - 3,2	8,21	0,09	3,34 - 5
7	Devon giữa (d ₂)	3,03 - 5,17	25,7 - 27 (26,35)	-	2,45 - 10,72
8	Devon dưới (d ₁)	1,2 - 5,2	-	-	5,4 - 7,2
9	Carbon - Pecmi (c-p)	1,27 - 7,82	102,23	1,19	2,45 - 13,02
10	Magma (g)	1,0 - 3,35	19,76 - 63,06 (40,26)	-	0 - 2,0 (1,23)
11	βq	0,7 - 1,4 (1,05)	4,12 - 4,71 (9,42)	-	6,5 - 16

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp điều tra, thu thập dữ liệu: Thu thập, tổng hợp và hệ thống tài liệu, cũng như điều tra khảo sát thực tế về kinh tế, xã hội, phong tục tập quán và xác định cụ thể các tầng chứa nước, nguyên nhân suy thoái nguồn nước dưới đất.

- Phương pháp phân tích, kế thừa: Kế thừa các nghiên cứu trên thế giới và trong nước.

- Phương pháp phân tích dữ liệu: Thống kê, sử dụng GIS để thành lập sơ đồ các nguồn nước dưới đất cần bảo vệ.

- Phương pháp chuyên gia: Tổ chức các hội thảo, tham vấn ý kiến chuyên gia để lựa chọn bộ tiêu chí, cũng như các giải pháp.

- Phương pháp phân tích thứ bậc (AHP): để xác định trọng số và đánh giá các tiêu chí.

2.3. Cơ sở khoa học và thực tiễn

Dựa vào đặc điểm địa chất thủy văn, tiềm năng nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ và qua quá trình điều tra khảo sát và tổng hợp phân tích từ các dữ liệu nhận thấy, nguyên nhân suy thoái nguồn nước như sau: Khu vực tầng chứa nước có miền cấp trùng với miền phân bố của tầng chứa nước nên tạo điều kiện thuận lợi cho sự thấm thấu các chất gây ô nhiễm vào nước ngầm; Hiện tượng xói mòn đất do mưa lớn có thể cuốn theo các chất gây ô nhiễm từ bề mặt xuống nước ngầm; Do xâm nhập mặn; lũ lụt và hạn hán có thể làm thay đổi dòng chảy và sự thấm thấu của chất gây ô nhiễm nguồn nước ngầm; Thay đổi diện tích sử dụng đất; Khai thác nước khai thác quá mức gây suy giảm; Sử dụng phân bón hóa học và thuốc trừ sâu trong nông nghiệp; Chất thải từ hoạt động chăn nuôi; chưa đồng bộ, hệ thống hoá về quy trình vận hành khai thác nước; Phong tục tập quán và nhận thức cộng đồng có hạn chế trong khai thác và sử dụng nước.

Dựa vào kết quả của các công trình đã nghiên cứu trên thế giới như ở Ấn Độ, Trung Quốc, Brazil, Mỹ,... [1, 8–18] và Việt Nam như ở đồng bằng Bắc Bộ, đồng bằng Nam Bộ, Hà Nội, Tây Nguyên, ... [3, 4, 19, 20].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xây dựng bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước dưới đất

3.1.1. Đề xuất bộ tiêu chí

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu, nguyên nhân gây suy thoái nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ và tham vấn ý kiến của các chuyên gia, nhóm tác giả đã xây dựng bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước dưới đất cụ thể. Chi tiết như sau:

1) Nhóm tiêu chí chống suy thoái về trữ lượng

* Tiêu chí 1: Về nguồn cấp

Đánh giá thay đổi về lượng bổ cấp cho miền cấp của nguồn nước dưới đất do ảnh hưởng của lượng mưa, thảm phủ, thay đổi đất rừng.

Tiêu chí này được đánh giá qua các chỉ số bao gồm:

+ Chỉ số 1 (I_1): Chỉ số đánh giá mức độ suy giảm về thảm phủ. Được đánh giá bằng sự suy giảm diện tích rừng: Suy giảm nhiều: 3 điểm, Suy giảm trung bình: 2 điểm, Suy giảm ít: 1 điểm.

$$I_1 = \frac{\text{Diện tích rừng năm 2016} - \text{Diện tích rừng năm 2021}}{\text{Diện tích rừng năm 2016}} \times 100\% \quad (1)$$

+ Chỉ số 2 (I_2): Chỉ số đánh giá về lượng mưa. Được đánh giá thông qua mức độ suy giảm lượng mưa trong vòng 10 năm kể từ năm nghiên cứu. Suy giảm > 20%: 3 điểm, từ 10-20%: 2 điểm, < 10%: 1 điểm.

$$I_2 = \frac{\text{Tổng lượng mưa năm 2011} - \text{Tổng lượng mưa năm 2021}}{\text{Tổng lượng mưa năm 2011}} \times 100\% \quad (2)$$

+ Chỉ số 3 (I_3): Chỉ số đánh giá về chiều sâu mực nước. Được đánh giá qua chiều sâu mực nước tĩnh > 20 m: 3 điểm, > 10-20 m: 2 điểm, < 10 m: 1 điểm.

Điểm của tiêu chí được tính bằng Σ (Điểm chỉ số \times Trọng số của chỉ số).

* Tiêu chí 2: Về trữ lượng khai thác an toàn tránh ô nhiễm, xâm nhập mặn, sụt lún nền đất

Tiêu chí này đánh giá khả năng đáp ứng khai thác tránh ô nhiễm, xâm nhập mặn, sụt lún nền đất [3]. Được đánh giá qua chỉ số 4: Chỉ số về trữ lượng khai thác an toàn

$$I_4 = \frac{\text{Tổng lượng khai thác nước dưới đất}}{\text{Trữ lượng khai thác an toàn}} \times 100\% \quad (3)$$

Có ba kịch bản đánh giá: Kịch bản 1: Tổng lượng khai thác < Trữ lượng khai thác an toàn nước dưới đất, tức là < 80 %, được tính 1 điểm; Kịch bản 2: Tổng lượng khai thác \approx Trữ lượng khai thác an toàn nước dưới đất, tức là 80% - 100%, được tính 2 điểm; Kịch bản 3: Tổng lượng khai thác > Trữ lượng khai thác an toàn nước dưới đất, tức là > 100%, được tính 3 điểm.

* Tiêu chí 3: Về giới hạn khai thác công trình

Giới hạn mực nước khai thác là mức độ tối đa mà nước ngầm có thể được khai thác từ một tầng chứa nước hoặc một nguồn nước ngầm cụ thể mà không gây ra các tác động tiêu cực đến môi trường và tài nguyên nước [3], được tính toán theo công thức như sau:

$$I_5 = \frac{\text{Tổng lượng khai thác nước dưới đất}}{\text{Tổng lượng bổ cấp tự nhiên}} \times 100\% \quad (4)$$

Có ba kịch bản đánh giá: Kịch bản 1: Đảm bảo khai thác an toàn: Tổng lượng hút ra \leq Tổng lượng bổ cấp tự nhiên, $I_5 < 80\%$: 1 điểm; Kịch bản 2: Khai thác kết hợp bổ sung nhân tạo trữ lượng: Tổng lượng hút ra gần bằng Tổng lượng bổ cấp tự nhiên, tức là $I_5 = 80-100\%$: 2 điểm; Kịch bản 3: Khai thác không an toàn, cần hạn chế khai thác: Tổng lượng hút ra > Tổng lượng bổ cấp tự nhiên, tức là $I_5 > 100\%$: 3 điểm.

Chỉ số đánh giá giới hạn mực nước khai thác được tính bằng tỷ lệ của chiều sâu hạ thấp mực nước của lỗ khoan so với ngưỡng mực nước khai thác cho phép.

$$I_6 = \frac{\text{Chiều sâu hạ thấp mực nước của lỗ khoan}}{\text{Ngưỡng mực nước khai thác cho phép}} \times 100\% \quad (5)$$

Chỉ số I_6 được phân thành 3 cấp như sau: $I_6 > 60\%$: tính 3 điểm; $30 < I_6 \leq 60\%$: tính 2 điểm; $0 < I_6 \leq 30\%$: tính 1 điểm.

Điểm của tiêu chí được tính bằng Σ (điểm tiêu chí \times trọng số của chỉ số).

Theo Khoản 2, Điều 32 Nghị định 53/2024/NĐ-CP ngày 16/5/2024 của Thủ tướng Chính phủ, quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật Tài nguyên nước, ngưỡng khai thác nước dưới đất cho phép khu vực Bắc Trung Bộ là không vượt quá 50m.

2) Nhóm tiêu chí chống suy thoái về môi trường

* Tiêu chí 4: Về nguy cơ xâm nhập mặn nước dưới đất

Tiêu chí về nguy cơ xâm nhập mặn nước dưới đất được đánh giá khoảng cách từ ranh mặn 1,5 gram/lít đến công trình khai thác gần nhất. Chỉ số I_7 được phân thành 3 cấp: $I_7 \leq 1$ km: được tính 3 điểm; $1 \text{ km} < I_7 \leq 2 \text{ km}$: tính 2 điểm; $I_7 > 2 \text{ km}$: tính 1 điểm.

* Tiêu chí 5: Về nguy cơ ô nhiễm

Tiêu chí này được đánh giá dựa trên 2 chỉ số là Chỉ số 8 (I_8): Chỉ số đánh giá ảnh hưởng của chất gây ô nhiễm và Chỉ số 9 (I_9): Chỉ số đánh giá ảnh hưởng của nguồn có nguy cơ gây ô nhiễm.

Chỉ số 8 (I_8) được đánh giá bằng kết quả phân tích mẫu nước dưới đất so với Quy chuẩn 09:2023/BTNMT, quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước dưới đất và phân thành 3 cấp: Xuất hiện Ô nhiễm vi lượng (gồm các chỉ tiêu: As, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Mn, g, CN, Phenol), Thuốc BVTV, phóng xạ, TDS: 3 điểm; Xuất hiện ô nhiễm ni tơ, sắt, vi sinh (Coliform, E. Coli): 2 điểm; Không xuất hiện ô nhiễm: 1 điểm.

Chỉ số 9 (I_9) được đánh giá dựa trên khoảng cách từ nguồn có khả năng gây ô nhiễm đến vùng nghiên cứu và phân chia thành 3 cấp, xác định như sau: $I_9 \leq 1$ km: 3 điểm; $1 \text{ km} < I_9 \leq 2$ km: 2 điểm; $I_9 > 2$ km và vùng không ảnh hưởng: 1 điểm.

Điểm của tiêu chí được tính bằng Σ (điểm tiêu chí x trọng số của chỉ số).

* Tiêu chí 6: Khả năng tự bảo vệ của nguồn nước dưới đất

Tiêu chí này đánh giá khả năng tự bảo vệ của các tầng chứa nước [3, 21], được đánh giá thông qua Chỉ số 10 (I_{10}): Chỉ số khả năng tự bảo vệ của nguồn nước.

Để tính toán I_{10} , nhóm tác giả sử dụng phương pháp GOD để phân vùng tự bảo vệ tầng chứa nước, do Foster đưa ra năm 1987. Các chữ viết tắt của GOD có ý nghĩa như sau: G - Tính chất áp lực của tầng chứa nước (có áp, bán áp, không áp...); O - Thành phần lớp phủ; D - Độ sâu đến mực nước dưới đất. Chỉ số I_{10} được phân thành 3 cấp. Tự bảo vệ tốt: 1 điểm; Tự bảo vệ trung bình: 2 điểm; Tự bảo vệ kém và rất kém: 3 điểm.

3) Nhóm tiêu chí chống suy thoái do yếu tố kinh tế - xã hội

* Tiêu chí 7: Về chế độ vận hành, bảo dưỡng công trình khai thác

Tiêu chí này được đánh giá thông qua Chỉ số 11 (I_{11}): Chỉ số về chế độ vận hành của công trình. Nguyên tắc cho điểm của chỉ số dựa trên: thời gian vận hành càng dài thì chi phí vận hành và chi phí bảo dưỡng càng tăng. $I_{11} < 6$ h/ngày: 1 điểm; $6 \leq I_{11} < 12$ h/ngày: 2 điểm; $I_{11} > 12$ h: 3 điểm.

* Tiêu chí 8: Về phong tục tập quán trong khai thác nước

Tiêu chí này được đánh giá dựa trên số lượng dân tộc thuộc nhóm dân tộc ít người (theo thống kê dân số Việt Nam, Tổng cục thống kê năm 2019) [22] sinh sống ở khu vực nghiên cứu. Tiêu chí này được đánh giá thông qua Chỉ số I_{12} được phân thành 3 cấp. Nhóm dân tộc < 10.000 người: 3 điểm; Nhóm dân tộc 100.000 - 1 triệu người: 2 điểm; Nhóm dân tộc > 1 triệu người: 1 điểm.

* Tiêu chí 9: Về giá nước

Tiêu chí này đánh giá mức độ chênh đơn giá nước của các địa phương với mức trần giá nước cho khu vực nông thôn theo Thông tư 44/2021/TT-BTC. Được đánh giá thông qua Chỉ số 13 (I_{13}) được phân thành 3 cấp: $0 \leq I_{13} \leq 2000$ đ: 3 điểm; $2000 < I_{13} \leq 5000$: 2 điểm; $I_{13} > 5000$ đ: 1 điểm.

* Tiêu chí 10: Tiêu chí về cơ chế, chính sách quản lý tài nguyên nước

Tiêu chí về cơ chế, chính sách quản lý tài nguyên nước đánh giá về mức độ quan tâm về quản lý đối với tài nguyên nước, thông qua việc ban hành các văn bản về quản lý tài nguyên nước của tỉnh bao gồm: Quy hoạch TNN; Phân vùng cấm, vùng hạn chế khai thác nước dưới đất; Kèm kê tài nguyên nước; Danh mục nguồn nước cần lập hành lang bảo vệ; Danh mục nguồn nước nội tỉnh; Danh mục hồ ao không được phép san lấp, ... Được phân thành 3 cấp: $I_{14} < 4$ văn bản - Mức độ quản lý (QL) thấp: 3 điểm; $4 \leq I_{14} \leq 6$ văn bản - Mức độ QL trung Bình: 2 điểm; $I_{14} > 6$ văn bản - Mức độ QL Cao: 1 điểm.

* Tiêu chí 11: Tiêu chí về nhận thức cộng đồng

Tiêu chí này được đánh giá qua 3 chỉ số:

Chỉ số 15 (I₁₅) - CF: Khả năng tài chính Thông số này được đánh giá khi quan sát thấy thặng dư thu so với chi trong mối tương quan với mức tối thiểu và tối đa của quốc gia [1]. Các giá trị tối thiểu và tối đa này được sử dụng làm chuẩn để tính giá trị cho chỉ báo tài chính (CF), như thể hiện trong biểu thức:

$$I_{15}(C_F) = 100 - \left(\frac{F_{\max} - s}{F_{\max} - F_{\min}} \times 100 \right) \tag{6}$$

Trong đó F_{min} là thặng dư tối thiểu bình quân đầu người của quốc gia; F_{max} là thặng dư tối đa bình quân đầu người của quốc gia; s là thặng dư trung bình bình quân đầu người của khu vực nghiên cứu.

Chỉ số 16 (I₁₆) - CE Giáo dục Giá trị chỉ số được đánh giá dựa trên trình độ học vấn trong xã hội [1].

Điểm của chỉ số (I₁₆) được tính toán dựa trên tỷ lệ phần trăm dân số dưới độ tuổi 18-50 đã đạt trình độ trung học phổ thông:

$$I_{16}(C_E) = 100 - \left(\frac{E_{\max} - e}{E_{\max} - E_{\min}} \times 100 \right) \tag{7}$$

Trong đó E_{max} là vùng có phần trăm dân số có trình độ tối thiểu là THPT nhiều nhất của quốc gia; E_{min} là vùng có phần trăm dân số có trình độ tối thiểu là THPT ít nhất của quốc gia; e là phần trăm dân số có trình độ tối thiểu là THPT của vùng nghiên cứu.

C_E = 100 nếu e = 76,56%; C_E = 0, nếu e = 54,86%; nếu 54,86% < e < 76,56%, thì phương trình trên được sử dụng.

Chỉ số 17 (I₁₇) - P_{TV}: Đào tạo Chỉ số này phản ánh năng lực của xã hội về mặt xử lý tài nguyên nước ngọt sau khi trao quyền cho họ bằng đào tạo cơ bản về xử lý và quản lý tài nguyên nước [1]. Để tính điểm cho chỉ số này (PTV), phần trăm số người được đào tạo và trao quyền đã được tính toán và nhân với một hệ số cho các lĩnh vực khác nhau như thể hiện trong biểu thức sau với hệ số được đào tạo công nghiệp là 1, đào tạo khác là 0,5 và không được đào tạo là 0.

$$I_{17}(P_{TV}) = (n + 0.5t) \times 100 \tag{8}$$

Trong đó n là số % người được trao quyền có đào tạo với các kỹ năng công nghiệp; t là số % người được đào tạo khác liên quan; Thang điểm đánh giá chỉ số I₁₅, I₁₆, I₁₇ như sau: < 50%: 3 điểm; 50-75%: 2 điểm; > 75%: 1 điểm.

Điểm tiêu chí bằng điểm trung bình cộng của các chỉ số.

3.2. Xác định trọng số bộ tiêu chí

3.2.1. Phương pháp xác định trọng số bộ tiêu chí

Mục đích là để sử dụng Bộ tiêu chí đánh giá mức độ bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng nghiên cứu. Sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) [23] để lựa chọn trọng số của các tiêu chí trong nhóm tiêu chí. Đối với các tiêu chí có 2 chỉ số, sử dụng phương pháp chuyên gia để xác định tiêu chí quan trọng hơn. Đối với các tiêu chí có từ 3 chỉ số trở lên, sử dụng phương pháp AHP để xác định trọng số cho các chỉ số trong tiêu chí.

Bảng 2. Bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước thuộc khu vực Bắc Trung Bộ.

STT	Hiện trạng suy giảm về trữ lượng						Hiện trạng suy giảm về môi trường				Hiện trạng suy giảm do yếu tố kinh tế - xã hội						
	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8	TC9	TC10	TC11	TC12	TC13	TC14	TC15	TC16	
Tên chỉ số	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14	I15	I16	I17
Trọng số các nhóm tiêu chí	1,0						1,0				1,0						
Trọng số các tiêu chí	0,51	0,19	0,31	0,443	0,3873	0,17	0,07	0,14	0,11	0,25	0,44						

STT	Hiện trạng suy giảm về trữ lượng			Hiện trạng suy giảm về môi trường			Hiện trạng suy giảm do yếu tố kinh tế - xã hội										
	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8	TC9	TC10	TC11						
Trọng số các chỉ số	0,22	0,46	0,32	1	0,4	0,6	1	0,6	0,4	1	1	1	1	1	1	1	1
Điểm tổng đánh giá mức độ bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước	<p>< 4: Mức độ bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước Tốt</p> <p>4 - 6 : Mức độ bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước Trung Bình</p> <p>> 6: Mức độ bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước Kém</p>																

3.2.2. Kiểm tra phù hợp của trọng số đề xuất

a) Tiêu chí nhóm 1:

Kết quả kiểm tra tính phù hợp của trọng số các tiêu chí thuộc nhóm tiêu chí 1 như sau:

Bảng 3. Tính tính phù hợp của trọng số nhóm tiêu chí 1.

Giá trị riêng lớn nhất của ma trận so sánh cặp	$y_{max} =$	3,01
Chỉ số ngẫu nhiên	RI =	0,58
Chỉ số nhất quán	CI =	0,01
Tỷ lệ nhất quán	CR =	0,92

Kết luận: $CR = 0,92\% < 10\%$, đạt yêu cầu.

Kết quả kiểm tra tính phù hợp của trọng số các chỉ số thuộc tiêu chí 1 như sau:

Bảng 4. Tính tính phù hợp của trọng số tiêu chí 1.

Giá trị riêng lớn nhất của ma trận so sánh cặp	$y_{max} =$	3,09
Chỉ số ngẫu nhiên	RI =	0,58
Chỉ số nhất quán	CI =	0,05
Tỷ lệ nhất quán	CR =	8,14

Kết luận: $CR = 8,14\% < 10\%$, đạt yêu cầu

b) Tiêu chí nhóm 2:

Bảng 5. Tính tính phù hợp của trọng số nhóm tiêu chí 2.

Giá trị riêng lớn nhất của ma trận so sánh cặp	$y_{max} =$	3,02
Chỉ số ngẫu nhiên	RI =	0,58
Chỉ số nhất quán	CI =	0,01
Tỷ lệ nhất quán	CR =	1,78

Kết luận: $CR = 1,78\% < 10\%$, đạt yêu cầu.

c) Tiêu chí nhóm 3:

Bảng 6. Tính tính phù hợp của trọng số nhóm tiêu chí 3.

Giá trị riêng lớn nhất của ma trận so sánh cặp	$y_{max} =$	5,19
Chỉ số ngẫu nhiên	RI =	1,12
Chỉ số nhất quán	CI =	0,05
Tỷ lệ nhất quán	CR =	4,27

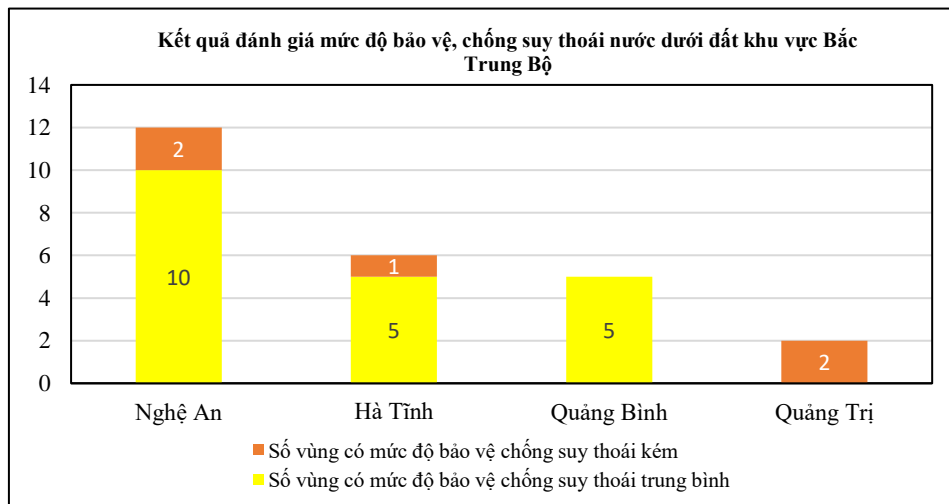
Kết luận: $CR = 4,27\% < 10\%$, đạt yêu cầu.

3.3. Kết quả tính toán định lượng bộ tiêu chí

Trên cơ sở bộ tiêu chí, nghiên cứu đã định lượng bộ tiêu chí cho vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ được thể hiện trong bảng 7.

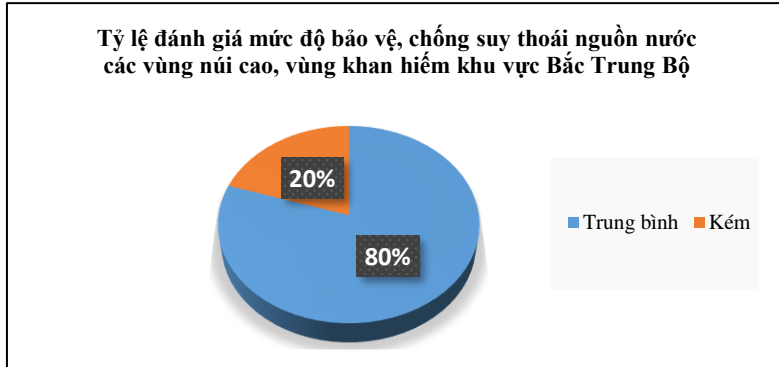
Bảng 7. Kết quả tính toán định lượng bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước thuộc khu vực Bắc Trung Bộ.

STT	Tỉnh	Vùng	Tầng chứa nước	Điểm đánh giá hiện trạng suy giảm về trữ lượng	Điểm đánh giá hiện trạng suy giảm về môi trường	Điểm đánh giá hiện trạng suy giảm do yếu tố kinh tế - xã hội	Điểm tổng đánh giá mức độ bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước	Đánh giá
1		Châu Lộc	c-p	1,58	1,34	2,19	5,11	Trung bình
2		Châu Thuận	c-p	1,40	1,57	2,12	5,09	Trung bình
3		Đôn Phục	n	1,74	1,40	2,19	5,34	Trung bình
4		Hạ Sơn	c-p	1,78	1,49	1,89	5,16	Trung bình
5		Mậu Đức	s ₂ - d ₁	1,96	1,40	2,19	5,55	Trung bình
6	Nghệ An	Nghi Tiến	t ₃	1,74	2,54	2,12	6,40	Kém
7		Nghi Yên	t ₃	1,56	2,54	2,19	6,28	Kém
8		Nghĩa Lợi	t ₂	2,14	1,34	2,19	5,67	Trung bình
9		Nghĩa Thọ	βq	1,82	1,88	2,19	5,89	Trung bình
10		Thanh Xuân	t ₂	1,78	1,49	1,68	4,95	Trung bình
11		Thọ Sơn	c-p	1,67	1,34	1,75	4,76	Trung bình
12		Văn Lợi	c-p	1,78	1,80	2,33	5,91	Trung bình
13		Thạch Trị	n	1,54	1,73	2,44	5,70	Trung bình
14		Thạch Xuân	t	1,54	1,88	2,44	5,86	Trung bình
15	Hà Tĩnh	Đức An	t ₂	1,54	2,11	2,44	6,09	Kém
16		Sơn Ninh	o ₃ - s ₁	1,43	1,80	2,44	5,67	Trung bình
17		Sơn Thọ	o ₃ - s ₁	1,94	1,57	2,44	5,95	Trung bình
18		Xuân Lam	g	1,74	1,65	2,44	5,83	Trung bình
19		Dân Hóa	d ₂	1,32	1,80	2,44	5,56	Trung bình
20		Thanh Hóa	d ₂	1,16	1,40	2,44	5,00	Trung bình
21	Quảng Bình	Trung Hóa	c-p	1,32	1,57	2,44	5,33	Trung bình
22		Phúc Trạch	d ₁	1,69	1,88	2,30	5,88	Trung bình
			c-p	1,69	1,88	2,30	5,88	Trung bình
23	Quảng Trị	Hương Phùng	s ₂	1,53	2,69	2,44	6,66	Kém
24		Linh Thượng	o ₃ - s ₁	1,69	2,69	2,44	6,82	Kém

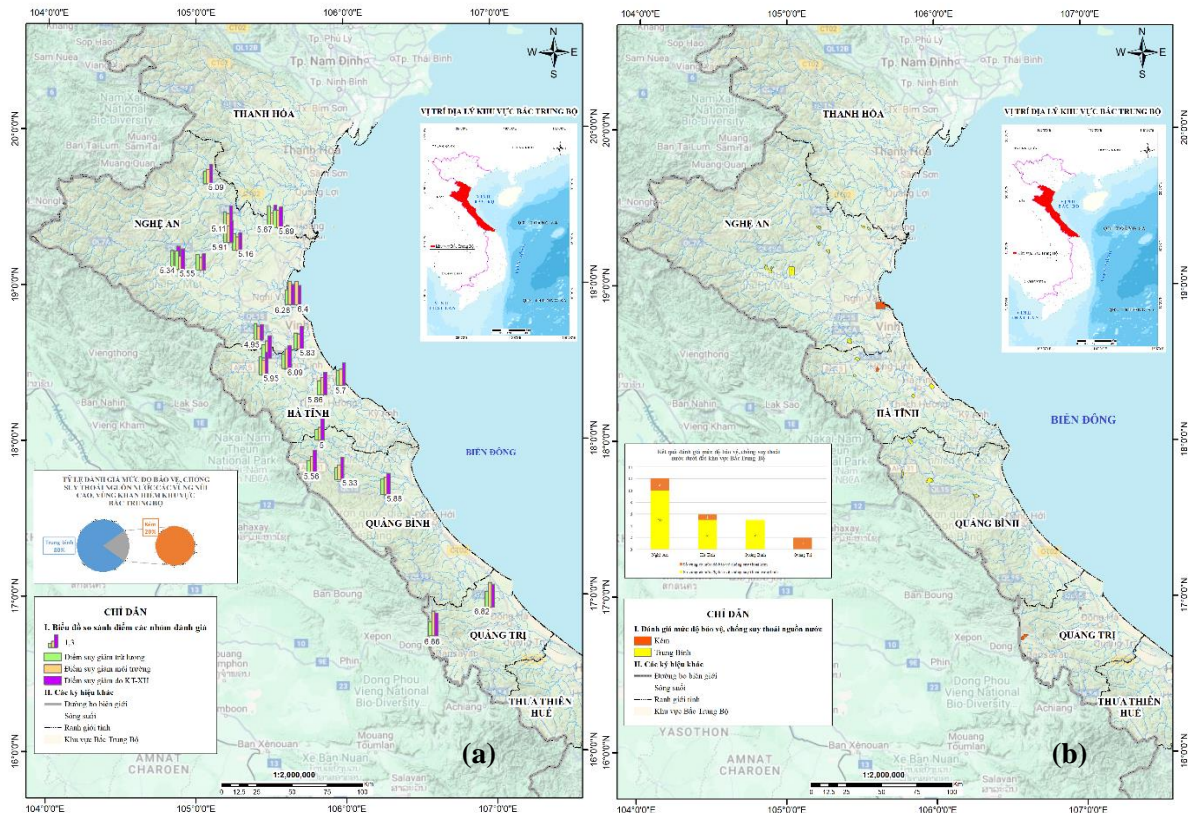


Hình 2. Biểu đồ kết quả đánh giá mức độ bảo vệ, chống suy thoái nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước thuộc khu vực Bắc Trung Bộ.

Qua hình 2, kết quả đánh giá cho thấy: Tại khu vực Bắc Trung Bộ có 20 vùng có mức độ bảo vệ, chống suy thoái trung bình, trong đó tỉnh Nghệ An có 10 vùng, tỉnh Hà Tĩnh có 5 vùng, tỉnh Quảng Bình có 5 vùng (chiếm tỷ lệ 100%); 5 vùng có mức độ bảo vệ, chống suy thoái kém, trong đó tỉnh Nghệ An có 2 vùng, tỉnh Hà Tĩnh có 1 vùng và tỉnh Quảng Trị 2 vùng (chiếm tỷ lệ 100%).



Hình 3. Biểu đồ tỷ lệ đánh giá mức độ bảo vệ, chống suy thoái nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước thuộc khu vực Bắc Trung Bộ.



Hình 4. (a) Bản đồ thể hiện đánh giá mức độ bảo vệ, chống suy thoái nước dưới đất theo các nhóm đánh giá về trữ lượng, môi trường, KT-XH khu vực Bắc Trung Bộ; (b) Bản đồ thể hiện kết quả đánh giá mức độ bảo vệ, chống suy thoái nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước thuộc khu vực Bắc Trung Bộ.

Hình 4(a) cho thấy mức độ bảo vệ, chống suy thoái nước dưới đất theo các nhóm, trong đó mức độ bảo vệ, chống suy thoái của nhóm trữ lượng chiếm tỷ lệ cao nhất và nhóm suy giảm do yếu tố kinh tế xã hội là thấp nhất.

Hình 4(b) cho thấy vùng có mức độ bảo vệ, chống suy thoái nước dưới đất kém phân bố chủ yếu ở khu vực ven biển và vùng núi cao sát biên giới với Lào.

4. Kết luận và kiến nghị

Như vậy, từ kết quả nghiên cứu cho thấy vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ có 11 tầng chứa nước tuổi từ Neogen đến Cacbon - Pecmi với lưu lượng khai thác công trình dự báo là 10.237 m³/ngày, có khả năng cung cấp cho tổng số 102.370 người ứng với tiêu chuẩn sử dụng nước 100 l/người/ngày.

Để bảo vệ và chống suy thoái nguồn nước ngầm khu vực này, nhóm tác giả đã xây dựng được bộ tiêu chí, gồm có 3 nhóm tiêu chí: Nhóm tiêu chí chống suy thoái về trữ lượng có 3 tiêu chí và 6 chỉ số; Nhóm tiêu chí chống suy thoái về môi trường (có 4 tiêu chí và 5 chỉ số); Nhóm tiêu chí chống suy thoái do yếu tố kinh tế - xã hội (có 4 tiêu chí và 6 chỉ số). Kết quả định lượng mức độ bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước dưới đất ở khu vực có 5 vùng có mức độ bảo vệ chống suy thoái kém và 19 vùng có mức độ bảo vệ chống suy thoái trung bình, các vùng có mức độ chống suy thoái kém phân bố ở Nghệ An, Hà Tĩnh, Quảng Trị. Nguyên nhân chống suy thoái kém chủ yếu do các yếu tố suy giảm về chất lượng và do các yếu tố về quản lý tái nguyên nước, nhận thức cộng đồng.

Từ kết quả đánh giá bộ tiêu chí bảo vệ và chống suy thoái nguồn nước dưới đất nhóm tác giả đã sơ bộ xác định được các nguyên nhân dẫn đến suy thoái của khu vực nghiên cứu, từ đó đề xuất được các giải pháp khoa học, kỹ thuật cũng như những chính sách hỗ trợ để giảm thiểu suy thoái, bảo vệ và đảm bảo khai thác bền vững nguồn nước dưới đất [24, 25]. Các giải pháp bổ sung nhân tạo và chế độ khai thác hợp lý nguồn nước dưới đất là rất cần thiết, cũng như cần giám sát chặt chẽ vùng bảo hộ vệ sinh khu vực lấy nước sinh hoạt và vùng bảo vệ miền cấp (vùng bổ cấp) tại các công trình với bán kính vùng cho từng công trình tối thiểu là 20m, diện tích bảo vệ vùng bổ cấp từ 0,7 đến 11,0 km².

Các vùng nghiên cứu của Đề tài trải dài ở nhiều vùng khác nhau trên lãnh thổ, bộ tiêu chí được xây dựng cho 5 khu vực Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ, Nam Trung Bộ, Tây Nguyên, Nam Bộ, mỗi khu vực đều có những đặc điểm cấu trúc địa chất, địa chất thủy văn, đặc điểm dân cư kinh tế xã hội khác nhau nên các tiêu chí đánh giá và mức độ ảnh hưởng của mỗi tiêu chí ở mỗi vùng cũng có sự khác nhau. Việc đưa ra các tiêu chí cũng như cách đánh giá các tiêu chí có thể có nhiều quan điểm khác nhau tuy nhiên nhóm tác giả đã cố gắng tận dụng phân tích các dữ liệu thực tiễn cũng như trao đổi, tham vấn ý kiến các chuyên gia trong các lĩnh vực để đưa ra được bộ tiêu chí và nguyên tắc đánh giá các tiêu chí đơn giản, hiệu quả nhằm đáp ứng cho nhu cầu áp dụng thực tế bộ tiêu chí ở các địa phương sau khi đề tài kết thúc.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.V.Đ., P.T.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: P.T.T., N.T.L.A.; Xử lý, phân tích số liệu: P.T.T., N.T.L.A., P.T.H.N; Xây dựng bộ tiêu chí: T.V.Đ., P.T.T., N.T.L.A.; Viết bản thảo bài báo: P.T.T., N.T.L.A., P.T.H.N.; Chỉnh sửa bài báo: T.V.Đ.

Lời cảm ơn: Xin được cảm ơn Đề tài ĐTDL.CN-63/21 “Nghiên cứu xây dựng bộ tiêu chí nhằm quản lý, bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước” đã cung cấp số liệu và tài liệu để viết bài báo này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Ajit, P.S., Bhatar, P. Development of groundwater sustainability index: a case study of westein arid region of Rajasthan, India. *Environ. Dev. Sustainability* **2021**, 23, 1844–1868.
2. Wang, Z.; Wu, Q.I.A.N.G. Development of groundwater sustainability indicators. IAHS Publication, 2006, 302, pp. 29.

3. Canh, D.V. Nghiên cứu đề xuất các tiêu chí và phân vùng khai thác bền vững, bảo vệ tài nguyên nước dưới đất vùng đồng bằng Bắc Bộ và đồng bằng Nam Bộ, Mã số: KC.08.06/11-15. Báo cáo tổng kết đề tài, 2015.
4. Hoa, L.T., T.X.Q. Đề xuất bộ chỉ số tài nguyên nước phục vụ công tác quản lý, bảo vệ tài nguyên nước trong tăng trưởng xanh. Đại học Duy Tân, 2017.
5. Hoan, H.V. Báo cáo kết quả giai đoạn 1 dự án “Điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất tại các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước”, kèm theo quyết định số 673/QĐ-BTNMT ngày 06 tháng 4 năm 2022, Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường phê duyệt kết quả và quyết toán nhiệm vụ chuyên môn hoàn thành giai đoạn 1 dự án “Điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất tại các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước”. Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước quốc gia, 2020.
6. Dan, N.V.; Vo, L.V.; Suu, G.; Ty, Đ.T.; Hai, N.T.; Thanh, T.N. Nước dưới đất đồng bằng ven biển Bắc Trung bộ. Cục Địa chất và Khoáng sản, 1996.
7. Tam, V.T. Báo cáo “Biên hội - thành lập bản đồ tài nguyên nước dưới đất tỷ lệ 1/200.000 cho các tỉnh trên toàn quốc”. Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước quốc gia, 2018.
8. Anna, B. Sustainability of groundwater resources and its indicators. Proceedings of symposium S3 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguacu, Brazil, April 2005). IAHS Publ. 302, 2006.
9. Alley, W.M.; Reilly, T.E.; Franke, O.E. Sustainability of GW resources. U.S. Geological Survey Circular 1186, Denver, Colorado, 1999, pp. 79.
10. APN project. Enhancing the groundwater management capacity in Asian cities through the development and application of groundwater sustainability index in the context of global change. Project Reference Number: CBA2013-06NSY-SHRESTHA.
11. James, J.M.; Neil, A.L.; David, J.D.; Kasey, S.W. Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Published by the press syndicate of the University of Cambridge, 2001.
12. Joseph, B.M.; James, N. A Hybrid AHP and Taguchi Loss Function Method for Supplier Selection. *J. Supply Chain Manage. Syst.* **2018**, 7(4), 20–30.
13. Melissa, M.R.; John, C.S.; Micheal, B.S.; Dar, A.R.; Kelly, K.C.; Christine, M.A. Establishing ecological thresholds and targets for groundwater management. *Nature Water* **2024**, 2, 312–323.
14. Russell, C. The Hydrological Impacts of Climate Change on Groundwater, 2007.
15. US geological survey. Effects of climate variability and change on groundwater resources of the United States. Fact Sheet 2009-3074, 2009.
16. Vrba, J.; Zaporozec, A. (Eds). Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH/UNESCO, Vol.16. Heise, Hannover, 1994.
17. Vrba, J.; Girman, J.; van der Gun, J.; Haie, N.; Hirata, R.; Lopez-Gunn, E.; ... Wallin, B. Groundwater resources sustainability indicators. A. Lipponen (Ed.). Paris: Unesco, 2007, pp. 114.
18. William, C.W. Groundwater resource evaluation. McGraw-Hill Book Company, NewYork, 1970.
19. Giang, N.V. Nghiên cứu, xây dựng bộ tiêu chí bảo vệ các tầng chứa nước trong trầm tích Đệ tứ khi thi công xây dựng công trình ngầm. Áp dụng cho TP. Hà Nội, Mã số TNMT.2016.02.03. Báo cáo tổng kết đề tài, 2017.
20. Nguyet, V.T.M.; Canh, Đ.V.; Phuc, Đ.Đ.; Minh, T. Nghiên cứu xác lập tiêu chí, phương pháp và quy trình đánh giá trữ lượng khai thác nước dưới đất. Áp dụng thử nghiệm tại một số khu vực. Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, 2009.
21. Aller, L.; Bennet, T.; Lehr, J.H.; Petty, R.J.; Hackett, G. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. US Environmental Protection Agency. Ada, Oklahoma. EPA/600/2-87-036, 1987.

22. Tổng cục Thống kê. Dân số các dân tộc Việt Nam. Thông tin dân số, <https://danso.info/dan-so-cac-dan-toc-viet-nam/>.
23. Truong, N.H. Áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) trong lựa chọn phương án thiết kế các dự án thủy lợi. Trung tâm tư vấn PIM - Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2020.
24. Duong, H.H. Nghiên cứu đề xuất các mô hình, giải pháp công nghệ khai thác và bảo vệ nguồn nước trong các thành tạo Bazan phục vụ cấp nước sinh hoạt bền vững tại các vùng núi cao, khan hiếm nước khu vực Tây Nguyên, Mã số ĐTĐL.CN-65/15. Báo cáo tổng kết đề tài, 2019.
25. Vinh, P.T. Nghiên cứu đề xuất các mô hình thu gom khai thác bền vững nguồn nước mạch lộ phục vụ cấp nước sạch cho các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Tây Nguyên, Mã số ĐTĐL.CN-64/15. Báo cáo tổng kết đề tài, 2018.

Proposing criteria for protection and prevention of degradation to sustainably exploit groundwater resources in high mountainous areas and water-scarce regions of North Central Vietnam

Than Van Don^{1*}, Pham Thi Thu¹, Pham Thi Hong Ngoc¹, Nguyen Thi Lan Anh¹

¹ Center for Water Resource Technology and Data; thandontnmt@gmail.com; phamthud-ctv51@gmail.com; ngocpth870@gmail.com; lananh.cwt@gmail.com

Abstract: The high mountainous and water-scarce regions of the North Central area include 24 regions, as identified by the Prime Minister's Decision No. 1553/QĐ-TTg dated November 8, 2019, and contain 11 aquifers ranging in age from the Neogene to the Carboniferous-Permian period. The calculated total exploitable groundwater reserves amount to 61,346 m³/day, with a predicted total extraction flow rate of 10,237 m³/day, which could potentially supply water to 102,370 people at a rate of 100 liters per person per day. To sustainably extract and prevent the degradation of groundwater resources, the authors developed a set of criteria, categorized into three groups: Prevention of quantity degradation (comprising 3 criteria and 6 indicators); Prevention of environmental degradation (comprising 4 criteria and 5 indicators); and Prevention of degradation due to socio-economic factors (comprising 4 criteria and 6 indicators). Using these criteria, the article employed the Analytic Hierarchy Process (AHP) method to determine the weights and evaluate the criteria. The results indicate that 20 regions have a medium level of protection against degradation, while 5 regions have a poor level of protection, mainly due to factors related to the deterioration of water quality and resource management, as well as community awareness.

Keywords: AHP method; Protection criteria; Groundwater; Water scarcity; North Central Vietnam.