

Bài báo khoa học

Nghiên cứu phát triển bộ chỉ số đánh giá mức độ khan hiếm nước đô thị phù hợp cho thành phố Đà Nẵng

Nguyễn Đại Trung^{1,2*}, Nguyễn Anh Đức³, Nguyễn Trung Việt⁴, Nguyễn Bách Tùng⁵

¹ NCS trường Đại học Thủy lợi; nguyendaitrung@gmail.com

² Trường Cao đẳng Công nghệ Kinh tế và Thủy lợi Miền Trung;
nguyendaitrung@gmail.com

³ Viện Khoa học Tài nguyên nước; naduc@monre.gov.vn

⁴ Trường Đại học Thủy lợi; nguyentrongviet@tlu.edu.vn

⁵ Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội;
bachtung_cefd@hus.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nguyendaitrung@gmail.com; Tel.: +84-905118886

Ban biên tập nhận bài: 5/8/2023; Ngày phản biện xong: 17/9/2023; Ngày đăng bài: 25/10/2023

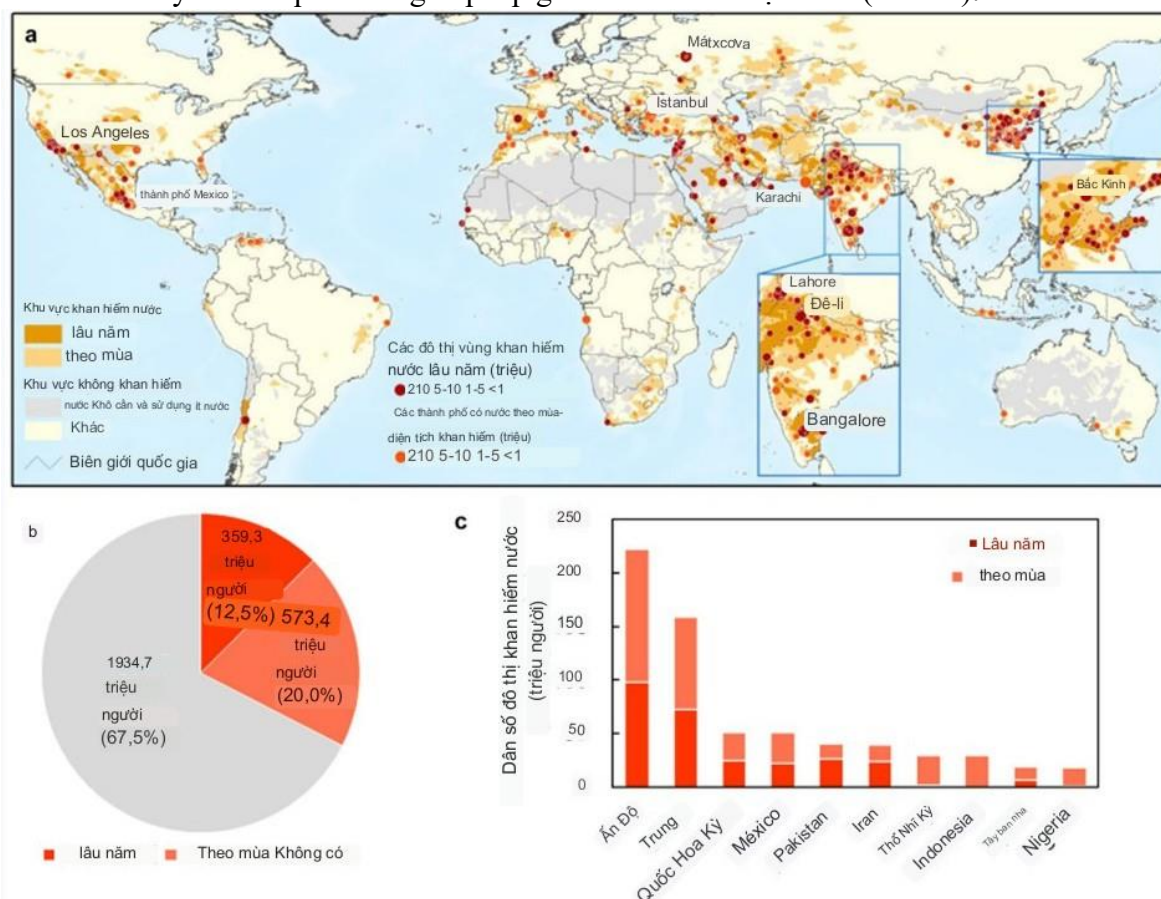
Tóm tắt: Bài báo đã sử dụng phương pháp Delphi kết hợp cùng với quy tắc KAMET và phương pháp phân tích hệ thống phân cấp (*Analytic Hierarchy Process_AHP*) để xây dựng bộ chỉ số khan hiếm nước (*Water Scarcity Index_WSI*) đánh giá mức độ khan hiếm nước cho đô thị. Trên cơ sở các nghiên cứu mức độ KHN bằng chỉ số WSI trên thế giới và Việt Nam, các nguyên tắc xây dựng chỉ số, các điều kiện, đặc điểm cụ thể của thành phố Đà Nẵng. Bài báo đã xây dựng được bộ chỉ số gồm 04 nhóm chỉ số, 19 chỉ số chính và 10 chỉ số phụ, đồng thời cũng đã xác định được mức độ ảnh hưởng của từng chỉ số đối với bộ chỉ số. Các nhóm chỉ số để biểu thị mức độ khan hiếm nước đô thị áp dụng thí điểm cho thành phố Đà Nẵng gồm: (1) Nhóm chỉ số Nguồn nước và khai thác sử dụng nước (*WSI_1*); (2) Nhóm chỉ số Hệ sinh thái và Môi trường (*WSI_2*); (3) Nhóm chỉ số Cung cấp nước sinh hoạt đô thị từ công trình cấp nước tập trung (*WSI_3*) và (4) Nhóm chỉ số WSI Năng lực ứng phó (*WSI_4*) tương ứng chỉ số trong bộ chỉ số được xác định lần lượt là 50,3%, 16,8%, 20,0% và 12,9%. Chỉ số WSI tổng hợp cho từng khu vực cụ thể và toàn vùng nghiên cứu là cơ sở để đánh giá mức độ khan hiếm nước đô thị ở thời điểm hiện tại và trong tương lai.

Từ khóa: Khan hiếm nước (KHN); Chỉ số khan hiếm nước (WSI); Delphi; KAMET, AHP.

1. Mở đầu

Nước là tài nguyên đặc biệt quan trọng của mỗi quốc gia, là một phần không thể thiếu trong đời sống của con người, môi trường và phát triển bền vững. Tuy nhiên, nước lại là nguồn tài nguyên hữu hạn và việc đảm bảo an ninh nước là một trong những thách thức mang tính toàn cầu. Các báo cáo chỉ ra rằng lượng nước tiêu thụ trên toàn cầu đã tăng hơn sáu lần trong thế kỷ qua và khủng hoảng nước là rủi ro số một đối với kinh tế xã hội (KTXH) [1]. Trước sức ép của gia tăng dân số và tăng trưởng kinh tế, mở rộng nông nghiệp tưới tiêu, thay đổi mô hình tiêu dùng thì tình trạng thiếu nước và ô nhiễm đã trở thành những vấn đề toàn cầu nghiêm trọng đe dọa sức khỏe con người, môi trường sống và sự phát triển bền vững. Trên toàn cầu, hai tỷ người sống ở các quốc gia trong điều kiện căng thẳng về nước cao, bốn tỷ người bị căng thẳng nghiêm trọng về nước ít nhất một tháng mỗi năm và 1,8 tỷ người ít nhất sáu tháng mỗi năm. Ước tính đến năm 2050 hơn một nửa dân số toàn cầu sẽ sống ở các vùng thiếu nước và hàng triệu người chết vì các bệnh liên quan đến thiếu nước và ô nhiễm nước mỗi năm [2].

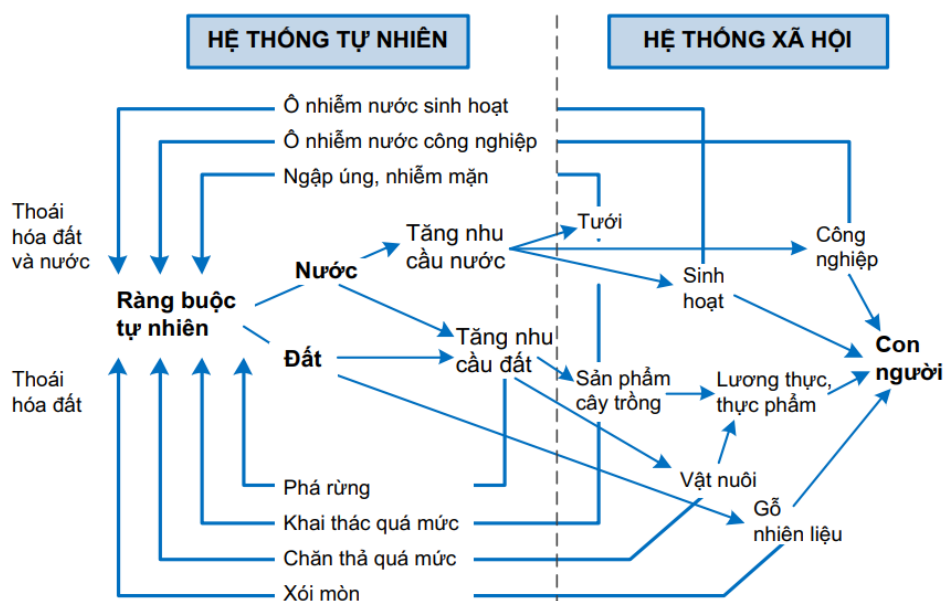
Theo UNESCO/UN-Water [3] Biến đổi khí hậu (BĐKH) sẽ ảnh hưởng đến nguồn nước, chất lượng và lượng nước sử dụng cho các nhu cầu cơ bản của hàng tỷ người trên thế giới về sử dụng nước sạch và vệ sinh môi trường. Nhu cầu sử dụng nước toàn cầu đã tăng gấp 6 lần trong 100 năm qua và dự kiến sẽ tiếp tục tăng khoảng 1% mỗi năm do tăng dân số, phát triển kinh tế và thay đổi mô hình tiêu dùng. Cùng với sự kém ổn định của tài nguyên nước, BĐKH sẽ làm trầm trọng hơn tình trạng căng thẳng về nước hiện nay ở một số khu vực và mở rộng phạm vi các khu vực phải đối phó với tình trạng này. BĐKH có thể sẽ kéo dài thời gian khan hiếm nước (KHN) ở một số khu vực, ví dụ như từ theo mùa thành trong cả năm. Đối với mỗi nhiệt độ tăng lên thì trung bình khoảng 7% dân số toàn cầu sẽ phải đối mặt với khoảng 20% suy giảm nguồn tài nguyên nước tái tạo (trung bình các mô hình phát thải khí nhà kính) [4] và đến năm 2050 thì chi phí liên quan đến KHN của một số khu vực có thể sẽ lên đến khoảng 6% GDP [5]. Bên cạnh đó, nghiên cứu [6] chỉ rõ đô thị hóa và BĐKH đang làm trầm trọng thêm tình trạng KHN khi nhu cầu sử dụng nước vượt quá khả năng cung cấp đối với các thành phố trên thế giới. Kết quả nghiên cứu cho thấy dân số đô thị toàn cầu đối mặt với tình trạng KHN được dự đoán sẽ tăng từ 933 triệu người (một phần ba dân số đô thị toàn cầu) vào năm 2016 lên 1,693÷2,373 tỷ người (một phần ba đến gần một nửa dân số đô thị toàn cầu) vào năm 2050. Số lượng các thành phố lớn rơi vào tình trạng KHN dự kiến sẽ tăng từ 193 lên 284 với 10÷20 siêu đô thị. Hơn hai phần ba các thành phố có thể giải quyết tình trạng KHN bằng cách đầu tư cơ sở hạ tầng, nhưng những đánh đổi đáng kể về môi trường, hệ sinh thái có thể xảy ra liên quan đến giải pháp giảm thiểu mức độ KHN (Hình 1).



Hình 1. Tình trạng khan hiếm nước đô thị hiện nay [6]: (a) Phân bố các thành phố lớn trong khu vực KHN (các thành phố có dân số trên 10 triệu người vào năm 2016); (b) Dân số đô thị KHN ở quy mô toàn cầu; (c) Dân số đô thị KHN phạm vi quốc gia (10 quốc gia có giá trị lớn nhất).

Những năm gần đây, các vấn đề liên quan tới tài nguyên nước (TNN) đã và đang trở thành một trong những mối quan tâm hàng đầu của các cấp quản lý khi phải đối mặt với một tổ hợp thách thức ảnh hưởng đến khả năng cung ứng nước cho đời sống dân sinh và phát

triển kinh tế xã hội cả ở hiện tại và tương lai (Hình 2), gồm: (i) Sự gia tăng dân số, đô thị hóa và tốc độ tăng trưởng kinh tế ngày một cao làm tăng nhu cầu sử dụng nước trong khi nguồn bổ cập hạn chế; (ii) BĐKH và các hoạt động khai thác nguồn nước mặt ở vùng thượng lưu sông đã và đang gây ra các tác động làm suy giảm cả về số lượng và chất lượng; (iii) Chất lượng nước bị suy giảm do chất ô nhiễm từ các hoạt động kinh tế làm tăng nguy cơ cạn kiệt nguồn nước theo nghĩa không thể sử dụng. Có thể nói TNN phục vụ cho thành phố đang đứng trước nguy cơ suy giảm và cạn kiệt do tác động đa chiều của nhiều nhân tố. Nói cách khác, tình trạng KHN đang ngày càng tăng đã đặt ra nhiều yêu cầu đối với công tác quản lý, khai thác, sử dụng và bảo vệ TNN trong khu vực.



Hình 2. Những tương tác, phản hồi phức tạp hơn giữa hệ thống tự nhiên và xã hội [7].

Nhìn chung cho đến thời điểm hiện tại các nghiên cứu về KHN và khung đánh giá về KHN đô thị là rất ít. Đối với thành phố Đà Nẵng và lưu vực sông (LVS) Vu Gia - Thu Bồn chưa có nghiên cứu bài bản và trực tiếp về KHN cũng như phương pháp đánh giá mặc dù thành phố đang phải đối mặt với tình trạng thiếu nước sinh hoạt đô thị như trong các năm 2018, 2019, 2021 vừa qua. Một số nghiên cứu đề cập gián tiếp đến các vấn đề riêng lẻ liên quan đến việc đảm bảo an ninh nước của lưu vực có thể kể đến như nghiên cứu đánh giá TNN [8–9], phân bổ nguồn nước [10–12], cân bằng nước [13–15], dòng chảy tối thiểu [16], hạn hán [17], Xâm nhập mặn [18–20], tác động của mưa lũ [21], biến động sử dụng đất [22], biến đổi thảm phủ thực vật [23], và tác động của việc vận hành hồ thủy điện đến XNM và cung cấp nước sinh hoạt ở hạ lưu [18, 24],...

Các nhà quản lý cần có cơ sở khoa học rõ ràng để tìm lời giải cho bài toán KHN đô thị cũng như hoạch định được chiến lược phát triển bền vững. Nghiên cứu đề xuất bộ chỉ số đánh giá mức độ KHN trên cơ sở kế thừa một số chỉ số của các nghiên cứu trước và phát triển các chỉ số phù hợp với đặc trưng riêng của thành phố Đà Nẵng ở thời điểm hiện tại và trong tương lai dưới tác động của BĐKH.

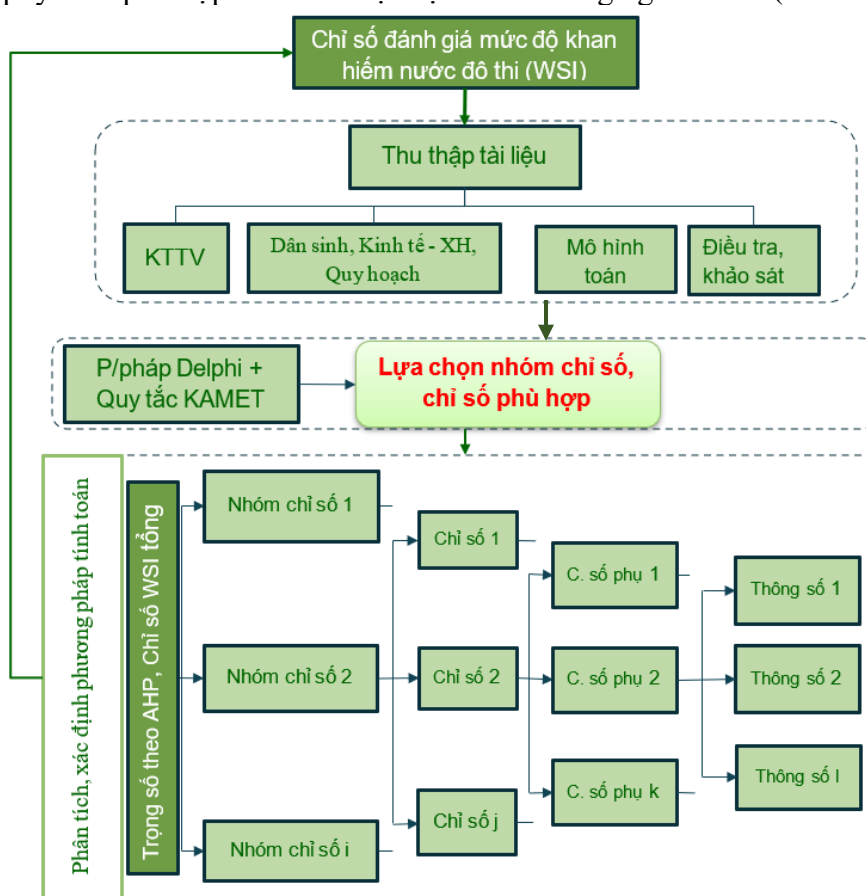
2. Phương pháp nghiên cứu và tài liệu sử dụng

2.1. Cách tiếp cận

Các yếu tố cần đạt được để đảm bảo cấp nước đô thị gồm: (i) Người dân có đủ nước để sử dụng phục vụ đời sống, sinh hoạt, ăn uống và phát triển kinh tế - xã hội? (ii) Chất lượng nước sinh hoạt có được đảm bảo theo quy chuẩn?; (iii) Tất cả các yếu tố nêu trên phải được

duy trì trong điều kiện hệ sinh thái vẫn được bảo tồn?; và (iv) Năng lực ứng phó với các sức ép phát triển trên như thế nào?

Có rất nhiều yếu tố (biến/chỉ số) liên quan đến TNN, tuy nhiên, để tính toán được chỉ số đánh giá mức độ KHN cho các vùng đô thị của Việt Nam cần xác định được các yếu tố phù hợp cần đảm bảo các nguyên tắc sau: (i) Phải mang tính đại diện: Các yếu tố được lựa chọn phải là các yếu tố có khả năng gây ra sự căng thẳng về TNN; (ii) Có thể đo lường được: Các yếu tố được lựa chọn phải có khả năng định lượng được; (iii) Dễ dàng thể hiện trong các công thức: Các yếu tố được lựa chọn phải có khả năng đưa được vào các công thức tính toán; (iv) Có sẵn dữ liệu để tính toán: Các yếu tố được lựa chọn phải có khả năng có dữ liệu để có thể tính toán; và (v) Có thể chuẩn hóa được trong khoảng giới hạn từ 1÷5 với 5 là cực kỳ khan hiếm và 1 là không bị khan hiếm. Việc áp dụng các nguyên tắc này giúp xác định được một bộ chỉ số hợp lý nhất phù hợp với điều kiện cụ thể của vùng nghiên cứu (Hình 3).



Hình 3. Sơ đồ khối phát triển bộ chỉ số đánh giá mức độ khan hiếm nước đô thị.

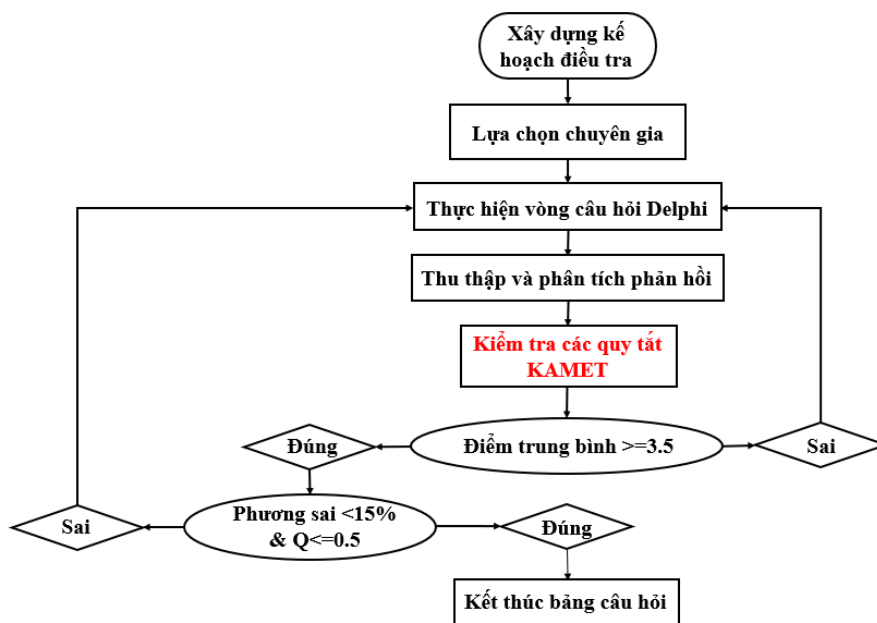
2.2. Phương pháp lựa chọn chỉ số

Hiện nay các nghiên cứu về phát triển bộ chỉ số đánh giá liên quan đến các lĩnh vực TNN thường sử dụng các phương pháp: phương pháp DPSIR (*Driving Force - Pressure - State - Impact - Response*); phương pháp SMART (*Specific - Measurable - Attainable - Realistic - Time bound*); phương pháp mô hình hóa động lực hệ thống SDM (*System Dynamics Modelling*); phương pháp phân tích quá trình PAM (*Process Analysis Method*); Phương pháp bảng hỏi Delphi. Trong các cách tiếp cận trên thì phương pháp Delphi cùng quy tắc KAMET (*Knowledge Acquisition for Multiple Experts with Time scales*) [25, 26], được đánh giá có ưu điểm và phù hợp khi áp dụng phát triển bộ chỉ số đánh giá mức độ KHN đô thị. Phương pháp Delphi là một phương pháp nghiên cứu định tính có hệ thống dựa trên đánh giá của các cá nhân được xác định là chuyên gia trong chủ đề đang được xem xét [27] cung cấp một giải pháp lặp đi lặp lại để đạt được sự đồng thuận chung của chuyên gia về điểm số hoặc khi các

phản hồi đạt được mức độ ổn định nhất định [28]. Bên cạnh đó quy tắc KAMET cung cấp một ngưỡng định lượng để dừng các vòng câu hỏi Delphi tiếp theo. Quá trình này bao gồm việc lựa chọn các chuyên gia, nhận phản hồi từ các chuyên gia và kiểm tra mức độ đạt yêu cầu theo bộ quy tắc KAMET.

Phương pháp Delphi được phát triển vào những năm 1950 bởi Olaf Helmer và Norman Dalkey thuộc Tập đoàn RAND để giải quyết một số vấn đề trong các dự án quân sự [27]. Kể từ đó, nhiều ứng dụng thực tế của phương pháp đã được thực hiện trong nhiều lĩnh vực, trong đó lĩnh vực thủy văn và quản lý TNN đã và đang được áp dụng [29–32]. Có thể kể đến như sau: Nghiên cứu [33] đã sử dụng phương pháp Delphi trong việc đánh giá quản lý tổng hợp TNN. Bảng câu hỏi được thực hiện với 21 chuyên gia được lựa chọn qua ba vòng và đã đạt được đồng thuận của các chuyên gia về bộ chỉ số đánh giá mức độ thực hiện quản lý tổng hợp TNN ở Đồng bằng sông Cửu Long của Việt Nam ở mức trung bình cao, với khía cạnh Môi trường thuận lợi đạt điểm cao hơn đáng kể so với ba thành phần khác là: Công cụ quản lý, Thể chế và sự tham gia và Tài chính, trong đó yếu tố Tài chính là kém nhất; Hay nghiên cứu [34] đã sử dụng phương pháp Delphi để hỗ trợ lựa chọn và phân bổ điểm số cho tất cả các tiêu chí khả thi góp phần vào tính dễ bị lũ lụt ở vùng đồng bằng ven biển của LVS Juqueriquere ở Brazil, sử dụng 15 chuyên gia trong ba vòng.

Phương pháp Delphi được sử dụng để thu thập dữ liệu đáng tin cậy trong nhiều lĩnh vực và nghiên cứu khác nhau, do đó phương pháp này được coi là phù hợp với mục đích nghiên cứu. Các bảng câu hỏi được thiết kế tập trung vào các chỉ số có liên quan đến KHN, mỗi bảng câu hỏi tiếp theo được phát triển dựa trên kết quả của bảng câu hỏi trước đó và nhận xét liên quan từ vòng trước. Quá trình này sẽ dừng lại khi câu trả lời đạt được sự đồng thuận hay khi đã trao đổi đầy đủ thông tin [35]. Phương pháp này không cho phép lộ diện các chuyên gia đưa ra đánh giá, xem xét về vấn đề đó có phù hợp với những người khác không, và họ có thể thay đổi ý kiến nếu muốn. Quá trình lựa chọn các chỉ số WSI được thực hiện qua 8 bước như Hình 4.



Hình 4. Quy trình thực hiện tham vấn theo phương pháp Delphi.

- + Bước 1: Xây dựng kế hoạch chi tiết cho các bước điều tra.
- + Bước 2: Lựa chọn nhóm chuyên gia có liên quan tới quá trình tham vấn số lượng từ 10÷40 người.
- + Bước 3: Xây dựng bảng hỏi Delphi: Bảng hỏi gồm các câu hỏi về các chỉ số dựa trên các tổng quan nghiên cứu, cách tiếp cận và đánh giá sự phù hợp trong vấn đề nghiên nhằm xin ý kiến tham vấn của các chuyên gia và các nhà khoa học liên quan.

+ Bước 4: Điều tra Delphi lần 1: Các bảng câu hỏi mở được gửi tới từng chuyên gia. Các chuyên gia được yêu cầu đánh giá mức độ đồng thuận với bộ chỉ số và các chỉ tiêu đưa ra. Mức độ đồng thuận được sắp xếp từ 1 ÷ 5, theo thang điểm lần lượt: (1) rất không liên quan; (2) không liên quan; (3) có ít nhiều liên quan; (4) liên quan và (5) rất liên quan. Mẫu câu hỏi cho chuyên gia được trình bày trong Bảng 1.

+ Bước 5. Phân tích dữ liệu vòng 1: Sau khi nhận được đáp án từ các chuyên gia, tổng hợp và phân tích kết quả dựa vào quy tắc KAMET. Quy tắc này đưa ra mức độ đánh giá quan trọng của mỗi chỉ số (qi) ở từng giai đoạn khác nhau trên cơ sở đánh giá tổ hợp các giá trị thống kê gồm Trung vị (Mdqi); Độ lệch tứ phân vị (Qqi); Giá trị trung bình (Mqi) và Phương sai (Vqi). Cần lưu ý rằng, phương sai là tỷ lệ số chuyên gia thay đổi đánh giá, có đơn vị là %. Quy tắc KAMET được mô tả chi tiết với 3 điều kiện để đánh giá như trong Bảng 2 [25].

+ Bước 6. Gửi kết quả điều tra cho nhóm chuyên gia: Các bảng câu hỏi sau khi đã loại các chỉ số hay câu hỏi không thỏa mãn nguyên tắc KAMET được phân gửi tới hội đồng.

+ Bước 7. Điều tra Delphi vòng 2: Thực hiện điều tra Delphi vòng 2 với bảng hỏi sau khi kết thúc vòng 1. Tương tự như vòng 1, sau khi thu được các đáp án từ các chuyên gia, nhóm Delphi lại tiến hành phân tích dựa vào quy tắc KAMET. Các giá trị thống kê bao gồm Trung vị (Mdqi); Độ lệch tứ phân vị (Qqi); Giá trị trung bình (Mqi) và Phương sai (Vqi) được tính toán lại ở bước này. Trong trường hợp tất cả các câu hỏi được chấp thuận hoặc từ chối; hoặc Giá trị trung bình cao hơn 3,5 và phương sai thấp hơn 15%, phương pháp xin ý kiến kết thúc [25].

+ Bước 8. Phân tích và tổng hợp kết quả: căn cứ các bước nêu trên và bộ chỉ số sơ bộ để lấy ý kiến chuyên gia, trình bày kết quả tính toán và cuối cùng là lựa chọn được bộ chỉ số cần thiết.

Bảng 1. Mẫu câu hỏi cho các chuyên gia về sự liên quan của bộ chỉ số đánh giá mức độ khan hiếm nước (KHN).

| Nhóm chỉ số/ Chỉ số | Mức độ có liên quan của bộ chỉ số/chỉ số | | | | |
|--|--|---------------------|---------------------------|---------------|-------------------|
| | Rất không liên quan (1) | Không liên quan (2) | Có ít nhiều liên quan (3) | Liên quan (4) | Rất liên quan (5) |
| Nguồn nước và KT SDN | | | | | |
| | | | | | |
| Hệ sinh thái và môi trường | | | | | |
| | | | | | |
| Cung cấp nước sinh hoạt đô thị tự CTCNTT | | | | | |
| | | | | | |
| Năng lực ứng phó | | | | | |
| | | | | | |

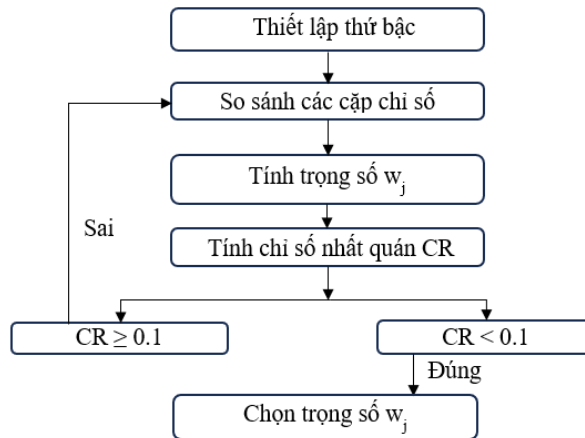
Bảng 2. Bảng Quy tắc KAMET phân tích đánh giá từ các chuyên gia sử dụng phương pháp Delphi [25].

| Vòng t | Vòng t + 1 | Vòng t + 2 |
|-------------------------------|---|---|
| Giá trị trung bình (qi) ≥ 3,5 | Nếu giá trị trung bình (qi) ≥ 3,5, Q ≤ 0,5 và (%) < 15%, thì qi được chấp nhận và không cần phải tham vấn về qi nữa | |
| Giá trị trung bình (qi) ≥ 3,5 | Nếu giá trị trung bình (qi) ≥ 3,5, Q ≤ 0,5 và (%) ≥ 15%, thì cần tham vấn vòng 2 | Nếu (qi) ≥ 3,5, Q ≤ 0,5 và (%) ≤ 15% thì qi được chấp thuận và không cần phải tham vấn về qi nữa. |
| Giá trị trung bình (qi) < 3,5 | Nếu giá trị trung bình (qi) < 3,5 và Q ≤ 0,5 và (%) ≤ 15% thì qi bị loại, và không cần phải tham vấn về qi nữa | |

2.3. Phương pháp xác định trọng số

Sau khi xác định được các chỉ số thành phần, cần phải xác định được trọng số cho từng chỉ số để khẳng định vai trò của từng chỉ số trong bộ chỉ số với lưu ý rằng tổng trọng số của các chỉ số thành phần này phải bằng 1. Để tính trọng số không đều, hai phương pháp thường

được sử dụng là phương pháp phân tích hệ thống phân cấp (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) và phương pháp Iyengar-Sudarshan. Phương pháp Iyengar - Sudarshan được sử dụng trong nghiên cứu dựa trên cơ sở thống kê, được sử dụng đối với số vùng/huyện và số chỉ số phù hợp. Số vùng tính toán tối thiểu quy định phải lớn hơn 11 vùng, tức là 11 giá trị để thỏa mãn các đặc trưng thống kê [36], do vậy không phù hợp để tính toán cho 05 vùng như thành phố Đà Nẵng. Đối với vùng có ít hơn 11 vùng có thể sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP [36] được đề xuất bởi Thomas [37]. Các bước tiến hành theo phương pháp AHP như Hình 5.



Hình 5. Phương pháp tính toán trọng số theo AHP.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Bộ chỉ số đề xuất ban đầu

Thực hiện phương pháp Delphi trong đánh giá TNN, đề xuất các chỉ số ban đầu đánh giá mức độ KHN đô thị gồm 4 nhóm chỉ số với 25 chỉ số chính và 12 chỉ số phụ để xin ý kiến 16 chuyên gia nhằm lựa chọn chỉ số phù hợp. Các chuyên gia được lựa chọn là những nhà khoa học, nhà quản lý đến từ Trường Đại học Thủy lợi, Viện Khoa học KTTV và BDKH, Viện Khoa học Tài nguyên nước, Viện Địa lý, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam, Trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng, Sở TNMT thành phố Đà Nẵng. Bộ chỉ số này gồm các nhóm chỉ số và chỉ số cụ thể như sau:

3.1.1 Nhóm chỉ số nguồn nước và khai thác sử dụng nước

Ở Việt Nam, nguồn nước mặt được sử dụng cho các mục đích như nông nghiệp (tưới và chăn nuôi), cung cấp nước cho sinh hoạt, dịch vụ, công nghiệp, nuôi trồng thủy sản... Nguồn nước đến có khả năng khai thác (KT) và việc khai thác sử dụng (KTSD) có vai trò rất quan trọng đối với đời sống, phát triển kinh tế xã hội và môi trường. Nguồn nước đến có khả năng KT càng phong phú thì mức độ KHN của vùng sẽ càng giảm và lượng nước được KT cho từng lĩnh vực có đáp ứng nhu cầu sử dụng nước (NCSDN) không? Qua đó phản ánh mức độ KHN của lưu vực/vùng. Nghiên cứu đã chọn nhóm chỉ số Nguồn nước và KTSDN là nhóm chỉ số thứ nhất trong việc đánh giá mức độ KHN đô thị, bao gồm các chỉ số:

Bảng 3. Thành phần và cách xác định nhóm chỉ số Nguồn nước và KTSDN.

| Chỉ số chính | Chỉ số phụ | Đơn vị | Cách xác định |
|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|--|
| Độ sẵn có của nguồn nước | Theo bình quân năm | l/s/km ² | Mô đun dòng chảy bình quân năm |
| | Theo bình quân mùa kiệt | | Mô đun dòng chảy bình quân mùa kiệt |
| Lượng nước mặt bình quân đầu người | Theo bình quân năm | m ³ /người/năm | Tỉ số giữa tổng lượng dòng chảy bình quân năm và tổng dân số |

| Chỉ số chính | Chỉ số phụ | Đơn vị | Cách xác định |
|--|----------------------------|--------------------------------|--|
| Sự biến đổi của nguồn nước mặt | Theo bình quân mùa kiệt | m ³ /người/ ngày | Tỉ số giữa tổng lượng dòng chảy đến các điểm khai thác nước bình quân thời đoạn tính toán và tổng dân số |
| | 3 tháng kiệt nhất liên tục | | |
| | Tháng kiệt nhất | | |
| Lượng mưa bình quân | Theo trung bình năm | Cv | Hệ số biến đổi dòng chảy năm Hệ số biến đổi dòng chảy mùa kiệt |
| | Theo trung bình mùa kiệt | | |
| Sức ép KTSDN | Tính theo năm | % | Tỉ số giữa tổng NCN cho các ngành so với tổng lượng nước đến cả năm/mùa kiệt |
| | Tính theo mùa kiệt | | |
| Chất lượng nước mặt qua chỉ số VN_WQI | | | Đánh giá theo Quyết định số 1460/QĐ-TCMT ngày 12/11/2019 |
| KTSD nước cho lĩnh vực nông nghiệp | | % | Tỉ số giữa lượng nước KT phục vụ nông nghiệp và tổng NCN nông nghiệp |
| KTSDN cho lĩnh vực phi nông nghiệp (công nghiệp, dịch vụ, công cộng,...) | | % | Là tỉ số giữa lượng nước KT phục vụ phi nông nghiệp với tổng NCN phi nông nghiệp |
| Khả năng trữ nước của các công trình | | Ngày | Là tỉ số giữa tổng lượng nước trong các hồ chứa, đập dâng với tổng NCN 1 ngày |

3.1.2. Nhóm chỉ số hệ sinh thái và môi trường

Bảo vệ Hệ sinh thái (HST) và môi trường (MT) dòng sông là nội dung không thể thiếu trong KTSD nước và phát triển bền vững của (LVS). Trên LVS nhất là dòng chính luôn cần phải duy trì một lượng nước nhất định để có thể chuyên tải, lưu thông được lượng bùn cát, các vật chất, các nguồn dinh dưỡng trong nguồn nước qua các mặt cắt sông, đảm bảo cho khả năng pha loãng cũng như khả năng tự làm sạch của nước sông. Lưu lượng nước duy trì trong sông cũng cần phải đảm bảo ở một mức độ nhất định để cho cá và các loài thủy sinh vật có thể tồn tại và phát triển bình thường. Trong thực tế HST và MT của nhiều sông ở nước ta hiện nay đã bị ô nhiễm và suy thoái do ảnh hưởng của các hoạt động phát triển của con người, ảnh hưởng đến nguồn cấp nước sạch cho đô thị, qua đó được chọn là nhóm chỉ số thứ hai trong bộ chỉ số đánh giá mức độ KHN đô thị, bao gồm các chỉ số chính được thể hiện trên bảng 4.

Bảng 4. Thành phần và cách xác định nhóm chỉ số Hệ sinh thái và Môi trường.

| Chỉ số chính | Đơn vị | Cách xác định |
|---|--------|---|
| Mức độ duy trì dòng chảy tối thiểu | % | Tỉ lệ phần trăm mức độ đáp ứng về dòng chảy tối thiểu |
| Ô nhiễm nguồn nước | % | Là tỉ số giữa tổng lượng nước thải từ các hoạt động kinh tế và tổng lượng nước tự nhiên |
| Mặt đệm | % | Là tỉ lệ giữa diện tích bề mặt được phủ xanh (rừng + cây phân tán) so với tổng diện tích tự nhiên. |
| Hệ số suy giảm hệ sinh thái | % | Là tỉ lệ giữa tổng diện tích không được che phủ rừng và mặt nước so với tổng diện tích tự nhiên. |
| Tác động của các hồ đập đến biến đổi dòng chảy và suy giảm HST và MT sông | Số CT | Được xác định thông qua số lượng công trình, vị trí, chức năng hoạt động của công trình trên sông nhánh, sông chính |

3.1.3. Nhóm chỉ số cung cấp nước sinh hoạt đô thị từ công trình cấp nước tập trung

Trong Kết luận số 36/KL/TW [38] đã đưa ra mục tiêu: Cân đối đủ nước phục vụ dân sinh và phát triển KTXN; 100% hộ gia đình ở thành thị và 80% hộ gia đình ở nông thôn được sử dụng nước sạch theo quy chuẩn. Mức độ đáp ứng nước sạch cho người dân cũng phụ thuộc khả năng cung cấp nước sinh hoạt từ các công trình cấp nước của đô thị. Vì thế nghiên cứu

đề xuất nhóm chỉ số cung cấp nước sinh hoạt đô thị từ công trình cấp nước tập trung (CTCNTT) làm nhóm chỉ số đánh giá mức độ KHN đô thị với các chỉ số được thể hiện trên bảng 5.

Bảng 5. Thành phần và cách xác định nhóm chỉ số Cung cấp nước sinh hoạt đô thị từ công trình cấp nước tập trung.

| Chỉ số chính | Đơn vị | Cách xác định |
|--|--------|--|
| KTSD nước cho lĩnh vực sinh hoạt | % | Là tỉ số giữa lượng nước khai thác (qua công trình) phục vụ sinh hoạt và tổng nhu cầu nước sinh hoạt |
| Số dân được cấp nước sạch sinh hoạt | % | Là tỉ số giữa số người dân được cung cấp nước sạch từ các công trình cấp nước tập trung và tổng số dân trong khu vực |
| Tổn thất của hệ thống cấp nước | % | Là tỉ số giữa tổng lượng nước ghi thu và lượng nước phát vào hệ thống cấp nước |
| Số lượng đồng hồ đo nước | % | Là tỉ số giữa số lượng đồng hồ và tổng số hộ dân |
| Áp lực nước trung bình đến hộ dân | % | Tỉ lệ % mức độ đáp ứng về áp lực nước tại các hộ sử dụng nước theo quy định của Quy phạm |
| Ảnh hưởng của xâm nhập mặn đối với cấp nước sạch | ‰ | Được xác định bằng độ mặn tại vị trí khai thác nước thô cho sinh hoạt |

3.1.4. Nhóm chỉ năng lực ứng phó với tình trạng khan hiếm nước

Năng lực ứng phó biểu thị khả năng cũng như độ nhạy của các cấp quản lý trong việc đáp ứng kịp thời và đầy đủ tất cả nhu cầu sử dụng nước cho các hoạt động phát triển KTXH của một đô thị trước mọi tác động bất lợi của cả yếu tố chủ quan và khách quan. Vì thế đây cũng là một nhóm chỉ số dùng để đánh giá mức độ KHN của một đô thị. Thành phần và cách xác định nhóm chỉ số năng lực ứng phó được thể hiện trên bảng 6.

Bảng 6. Thành phần và cách xác định nhóm chỉ số năng lực ứng phó.

| Chỉ số chính | Đơn vị | Cách xác định |
|--|--------|--|
| Ứng phó với tình trạng XNM | % | Là tỉ số giữa công suất máy bơm bơm nước ngọt pha loãng trên tổng công suất của nhà máy nước bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn |
| Lượng nước thải sinh hoạt được xử lý | % | Là tỉ số giữa công suất nhà máy xử lý nước thải sinh hoạt và tổng lượng nước thải sinh hoạt |
| Khả năng chi trả tiền nước (Thu nhập bình quân đầu người) | % | Là tỉ số giữa số tiền chi trả tiền nước bình quân hằng tháng trên tổng thu nhập bình quân hằng tháng của người dân |
| Ứng phó khi nguồn nước gặp sự cố về ô nhiễm môi trường | % | Là tỉ số giữa lượng nước dự phòng cho sinh hoạt theo quy chuẩn và lượng nước cần đáp ứng khi gặp sự cố |
| Ứng phó nhu cầu nước sinh hoạt gia tăng do du lịch cao điểm 3 tháng cuối mùa hạn | % | Tỉ số giữa lượng nước sản xuất gia tăng và nhu cầu nước của khách du lịch cao điểm 3 tháng cuối mùa kiệt |

3.2. Bộ chỉ số đánh giá mức độ khan hiếm nước đô thị

Qua 3 vòng tham vấn với 16 chuyên gia đã xác định được bộ chỉ số đánh giá KHN đô thị. Kết quả được thể hiện trong Bảng 7, chỉ số có dấu (*) là chỉ số bị loại do không đảm bảo điều kiện theo quy tắc KAMET và chỉ số lựa chọn cuối cùng được trình bày trong Bảng 8.

Bảng 7. Kết quả xin ý kiến chuyên gia đối với các chỉ số.

| Vòng tham vấn | Chỉ số | Độ lệch tứ phân vị | Phương sai (%) | Chỉ số | Độ lệch tứ phân vị | Phương sai (%) |
|---------------|-------------------------------------|--------------------|----------------|----------------------------------|--------------------|----------------|
| Vòng 1 | Mô đun dòng chảy bình quân năm | 0,50 | | Lượng mưa bình quân năm (*) | 0,50 | |
| Vòng 2 | | 0,50 | 18,8% | | 1,00 | 37,5% |
| Vòng 3 | | 0,50 | 12,5% | | 0,50 | 56,3% |
| Vòng 1 | Mô đun dòng chảy bình quân mùa kiệt | 0,00 | | Lượng mưa bình quân mùa kiệt (*) | 0,50 | |
| Vòng 2 | | 0,00 | 12,5% | | 1,00 | 50,0% |

| Vòng tham vấn | Chỉ số | Độ lệch tứ phân vị | Phương sai (%) | Chỉ số | Độ lệch tứ phân vị | Phương sai (%) |
|---------------|---|--------------------|----------------|--|--------------------|----------------|
| Vòng 3 | | 0,00 | 12,5% | | 0,50 | 75,0% |
| Vòng 1 | | 0,50 | | | 0,50 | |
| Vòng 2 | Lượng nước mặt bình quân đầu người_năm | 0,50 | 31,3% | Sức ép khai thác sử dụng nước (KTSDN) cả năm | 0,50 | 43,8% |
| Vòng 3 | | 0,50 | 12,5% | | 0,50 | 12,5% |
| Vòng 1 | Lượng nước mặt bình quân đầu người_mùa | 0,38 | | Sức ép khai thác sử dụng nước (KTSDN) mùa kiệt | 0,50 | |
| Vòng 2 | | 0,50 | 6,3% | | 0,38 | 25,0% |
| Vòng 3 | kiệt | 0,50 | 12,5% | | 0,50 | 6,3% |
| Vòng 1 | Lượng nước mặt bình quân_3 tháng kiệt nhất liên tục | 0,50 | | Chất lượng nước (CLN) mặt | 0,50 | |
| Vòng 2 | | 0,50 | 43,8% | | 0,50 | 31,3% |
| Vòng 3 | | 0,50 | 12,5% | | 0,38 | 12,5% |
| Vòng 1 | Lượng nước mặt bình quân đầu người tháng | 0,38 | | KTSDN cho lĩnh vực nông nghiệp | 0,50 | |
| Vòng 2 | | 0,38 | 25,0% | | 0,50 | 12,5% |
| Vòng 3 | kiệt nhất | 0,50 | 12,5% | | 0,50 | 12,5% |
| Vòng 1 | Sự biến đổi của nguồn nước đến bình quân năm | 0,38 | | KTSDN cho lĩnh vực phi nông nghiệp | 0,50 | |
| Vòng 2 | | 0,75 | 37,5% | | 0,50 | 12,5% |
| Vòng 3 | năm | 0,38 | 12,5% | | 0,50 | 12,5% |
| Vòng 1 | Sự biến đổi của nguồn nước đến bình quân mùa kiệt | 0,50 | | Khả năng trữ nước của công trình | 0,38 | |
| Vòng 2 | | 0,50 | 75,0% | | 0,50 | 25,0% |
| Vòng 3 | | 0,50 | 6,3% | | 0,50 | 12,5% |
| Vòng 1 | | 0,50 | | Số lượng đồng hồ đo nước ^(*) | 0,50 | |
| Vòng 2 | Mức độ duy trì nước | 0,50 | 25,0% | | 1,00 | 37,5% |
| Vòng 3 | | 0,50 | 12,5% | | 1,00 | 37,5% |
| Vòng 1 | | 0,50 | | Áp lực nước trung bình đến hộ dân ^(*) | 0,50 | |
| Vòng 2 | Ô nhiễm nguồn nước | 0,50 | 43,8% | | 1,00 | 43,8% |
| Vòng 3 | | 0,38 | 12,5% | | 1,00 | 31,3% |
| Vòng 1 | | 0,50 | | Ảnh hưởng của XNM đối với cấp nước | 0,50 | |
| Vòng 2 | Mặt đệm | 0,50 | 25,0% | | 0,50 | 25,0% |
| Vòng 3 | | 0,50 | 12,5% | | 0,50 | 12,5% |
| Vòng 1 | | 0,50 | | Ứng phó với tình trạng XNM | 0,50 | |
| Vòng 2 | Hệ số suy giảm hệ sinh thái ^(*) | 0,50 | 37,5% | | 0,50 | 31,3% |
| Vòng 3 | | 0,50 | 12,5% | | 0,50 | 12,5% |
| Vòng 1 | | 0,50 | | Lượng nước thải sinh hoạt được xử lý ^(*) | 1,00 | |
| Vòng 2 | Tác động của hồ đập đến HST & MT | 0,50 | 37,5% | | 0,50 | 43,8% |
| Vòng 3 | | 0,50 | 12,5% | | 0,50 | 37,5% |
| Vòng 1 | | 0,38 | | Khả năng chi trả tiền nước ^(*) | 1,00 | |
| Vòng 2 | KTSDN cho lĩnh vực sinh hoạt | 0,50 | 18,8% | | 1,38 | 50,0% |
| Vòng 3 | | 0,50 | 0,0% | | 1,38 | 43,8% |
| Vòng 1 | | 0,50 | | Ứng phó khi nguồn nước gặp sự cố về ô nhiễm môi trường | 0,50 | |
| Vòng 2 | Số dân được cấp nước sinh hoạt | 0,50 | 18,8% | | 0,50 | 18,8% |
| Vòng 3 | | 0,50 | 12,5% | | 0,50 | 12,5% |
| Vòng 1 | | 0,75 | | Ứng phó với lượng khách du lịch cao điểm | 0,50 | |
| Vòng 2 | Tồn thất của hệ thống cấp nước | 0,88 | 37,5% | | 0,50 | 12,5% |
| Vòng 3 | | 0,38 | 18,8% | 3 tháng cuối mùa hạn | 0,50 | 12,5% |

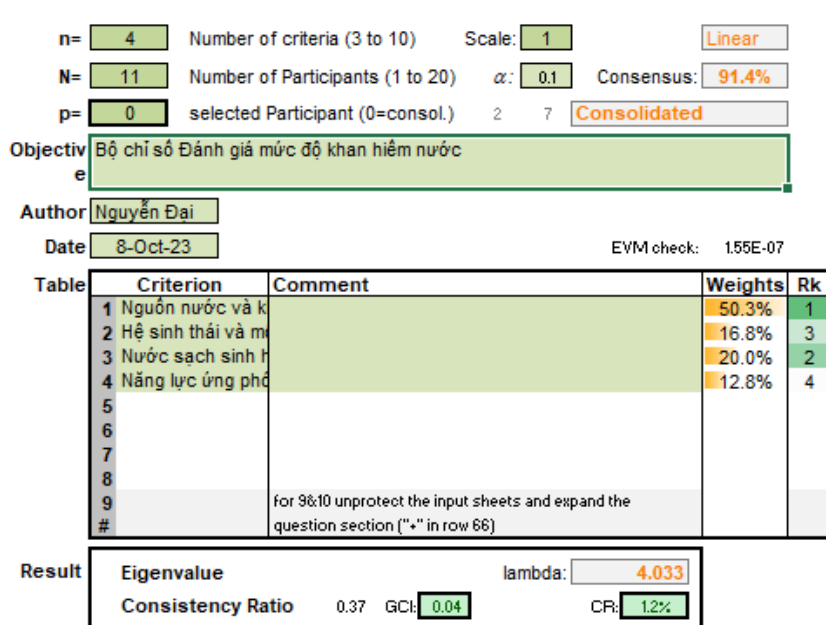
Bảng 8. Kết quả bộ chỉ số đánh giá mức độ khan hiếm nước.

| Nhóm chỉ số | Ký hiệu | Chỉ số chính và phụ | Nhóm chỉ số | Ký hiệu | Chỉ số chính và phụ |
|---|-----------|--------------------------------------|--|---------|---|
| WSI_1. Nguồn nước và khai thác sử dụng nước | WSI_1.1 | Độ sẵn có của nguồn nước mặt | WSI_2 Hệ sinh thái và môi trường | WSI_2.1 | Mức độ duy trì dòng chảy tối thiểu |
| | WSI_1.1.1 | Mô đun dòng chảy bình quân nhiều năm | | WSI_2.2 | Ô nhiễm nguồn nước |
| | WSI_1.1.2 | Mô đun dòng chảy bình quân mùa kiệt | | WSI_2.3 | Mặt đệm |
| | WSI_1.2 | Lượng nước mặt bình quân đầu người | | WSI_2.4 | Tác động của các hồ đập trên sông đến HST và MT |
| | WSI_1.2.1 | Trong năm | WSI_3 Cung cấp nước SH đô thị từ CTCNT T | WSI_3.1 | KTSD nước cho lĩnh vực SH |
| | WSI_1.2.2 | Trong mùa kiệt | | WSI_3.2 | Số dân được cấp nước SH |
| | WSI_1.2.3 | 3 tháng kiệt nhất liên tục | | WSI_3.3 | Tồn thất của hệ thống cấp nước |
| | WSI_1.2.4 | Tháng kiệt nhất | | WSI_3.4 | Ảnh hưởng của XNM đối với cấp nước sinh hoạt |

| Nhóm chỉ số | Ký hiệu | Chỉ số chính và phụ | Nhóm chỉ số | Ký hiệu | Chỉ số chính và phụ |
|-------------|-----------|----------------------------|------------------|---------|---|
| | WSI_1.3 | Sự biến đổi của nguồn nước | | WSI_4.1 | Ứng phó với tình trạng XNM |
| | WSI_1.3.1 | Trung bình năm | WSI_4 | WSI_4.2 | Ứng phó khi nguồn nước gặp sự cố về ô nhiễm MT |
| | WSI_1.3.2 | Trung bình mùa kiệt | Năng lực ứng phó | WSI_4.3 | Ứng phó với lượng khách du lịch cao điểm 3 tháng cuối mùa hạn |
| | WSI_1.4 | Sức ép KTSDN | | WSI_1.6 | KTSDN lĩnh vực nông nghiệp |
| | WSI_1.4.1 | Cả năm | | WSI_1.7 | KTSDN lĩnh vực phi Nghịch |
| | WSI_1.4.2 | Mùa kiệt | WSI_1 | WSI_1.8 | Khả năng trữ nước của công trình |
| | WSI_1.5 | Chất lượng nước | | | |

3.3. Trọng số của bộ chỉ số

Trọng số của các chỉ số được xác định theo phương pháp AHP với 11 phiếu khảo sát thu thập được từ các chuyên gia. Kết quả mức độ ảnh hưởng của nhóm chỉ số/ chỉ số được thể hiện ở Hình 6 và Bảng 9.



Hình 6. Trọng số bộ chỉ số đánh giá mức độ KHN thành phố Đà Nẵng.

Bảng 9. Kết quả trọng số bộ chỉ số đánh giá mức độ khan hiếm nước của thành phố Đà Nẵng.

| Chỉ số | Hạng mục đánh giá | Trọng số (%) | Xếp hạng thứ tự ưu tiên |
|---------|--|--------------|-------------------------|
| WSI | Bộ chỉ số đánh giá mức độ KHN đô thị | | |
| WSI_1 | Nguồn nước và KTSDN | 50,3 | 1 |
| WSI_3 | Cung cấp nước sạch SH đô thị từ CTCNTT | 20,0 | 2 |
| WSI_2 | HST & Môi trường | 16,8 | 3 |
| WSI_4 | Năng lực ứng phó | 12,8 | 4 |
| WSI_1 | Nhóm chỉ số Nguồn nước và KTSDN | | |
| WSI_1.1 | Mô đun dòng chảy bình quân nhiều năm | 26,7 | 1 |
| WSI_1.2 | Lượng nước bình quân đầu người | 17,1 | 2 |
| WSI_1.3 | Sự biến đổi của nguồn nước | 12,3 | 3 |
| WSI_1.5 | Chất lượng nước | 11,8 | 4 |
| WSI_1.4 | Sức ép KTSDN | 10,8 | 5 |
| WSI_1.6 | KTSDN cho lĩnh vực nông nghiệp | 8,8 | 6 |

| Chỉ số | Hạng mục đánh giá | Trọng số (%) | Xếp hạng thứ tự ưu tiên |
|------------|--|--------------|-------------------------|
| WSI_1.7 | KTSDN cho sinh hoạt và phi nông nghiệp | 7,7 | 7 |
| WSI_1.8 | Khả năng trữ nước | 4,6 | 8 |
| WSI_2 | Nhóm chỉ số Hệ sinh thái và môi trường | | |
| WSI_2.2 | Ô nhiễm nguồn nước | 41,1 | 1 |
| WSI_2.1 | Mức độ duy trì dòng chảy tối thiểu | 31,5 | 2 |
| WSI_2.3 | Mật độ | 14,8 | 3 |
| WSI_2.4 | Tác động của các hồ đập | 12,6 | 4 |
| WSI_3 | Nhóm chỉ số Cung cấp nước sạch từ CTCNTT | | |
| WSI_3.2 | Số dân được cấp nước sạch sinh hoạt | 46,7 | 1 |
| WSI_3.3 | Tồn thất của HTCNT | 23,6 | 2 |
| WSI_3.1 | KTSDN cho sinh hoạt và phi nông nghiệp | 19,8 | 3 |
| WSI_3.4 | Ảnh hưởng của XNM đối với cấp nước sạch | 9,9 | 4 |
| WSI_4 | Nhóm chỉ số Năng lực ứng phó | | |
| WSI_4.3 | Đáp ứng lượng nước sinh hoạt với du lịch cao điểm 3 tháng cuối mùa hạn | 47,0 | 1 |
| WSI_4.2 | Nguồn nước dự trữ cho sinh hoạt khi gặp sự cố về ô nhiễm môi trường | 33,1 | 2 |
| WSI_4.1 | Ứng phó với tình trạng XNM | 19,9 | 3 |
| WSI_1.2 | Chỉ số Lượng nước bình quân đầu người | | |
| WSI_1.2.4 | Bình quân người/tháng kiệt nhất | 44,6 | 1 |
| WSI_1.2.3 | Bình quân người/3 tháng kiệt nhất liên tục | 27,6 | 2 |
| WSI_1.2.2 | Bình quân người/mùa kiệt | 18,4 | 3 |
| WSI_1.2.1 | Bình quân người/năm | 9,5 | 4 |
| Chỉ số phụ | Các chỉ số có 2 chỉ số phụ, mỗi biên | 50 | |

4. Kết luận

Bài báo sử dụng phương pháp Delphi cùng với bộ quy tắc KAMET và phương pháp phân cấp thứ bậc AHP, đã xác định được bộ chỉ số đánh giá mức độ KHN đô thị gồm 4 nhóm chỉ số, 19 chỉ số chính và 10 chỉ số phụ hình tạo thành 25 thông số với mức độ ảnh hưởng khác nhau của từng chỉ số theo tiếp cận định nghĩa của FAO về KHN. Bên cạnh việc kế thừa các chỉ số đã có trước đây, kết quả nghiên cứu đã phát triển mới các chỉ số có tác động đến mức độ KHN đô thị qua tốc độ tăng trưởng dân số, mức độ đô thị hóa, cung cấp nước sinh hoạt đô thị, khai thác sử dụng nước cho các hoạt động phát triển. Các tác động này được thể hiện qua nhóm chỉ số Cung cấp nước sạch sinh hoạt đô thị từ CTCNTT (WSI_3), Năng lực ứng phó với sức ép về KHN (WSI_4), và các chỉ số gồm Lượng nước mặt bình quân đầu người 3 tháng liên tục kiệt nhất và tháng kiệt nhất (WSI_1.2.3), (WSI_1.2.4); Sức ép KTSDN mùa kiệt (WSI_1.4.2); KTSDN cho lĩnh vực sinh hoạt và phi nông nghiệp (WSI_3.1), Ảnh hưởng của XNM đối với cấp nước sạch (WSI_3.4); Ứng phó với tình trạng XNM (WSI_4.1), Ứng phó khi gặp sự cố về ô nhiễm MT (WSI_4.2) và Ứng phó với lượng khách du lịch cao điểm 3 tháng cuối mùa hạn (WSI_4.3).

Bộ chỉ số sau khi tính toán với các số liệu từ các thống kê, báo cáo, văn bản quy phạm và kết quả từ các mô hình toán sẽ là cơ sở để đánh giá được mức độ KHN lần lượt qua từng chỉ số phụ, chỉ số chính và nhóm chỉ số tương ứng, từ đó xác định được chỉ số WSI tổng hợp của từng vùng cũng như của toàn đô thị. Điểm số đánh giá của các chỉ số và nhóm chỉ là động lực để các nhà khoa học, nhà quản lý tìm giải pháp phù hợp nhằm giảm thiểu mức độ tác động của việc KHN cũng như đảm bảo cấp nước an toàn cho phát triển bền vững của đô thị.

Bên cạnh kết quả đạt được như trên, do hạn chế về cơ sở dữ liệu và phương pháp luận nên một số chỉ số mới được tính toán ở góc độ định tính như chỉ số tác động của hồ đập đến HST và môi trường (WSI_2.4) hoặc được tính qua trung gian của các thông số khác, đây cũng chính là các tồn tại cần được giải quyết trong các nghiên cứu tiếp theo.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.Đ.T., N.A.Đ., N.T.V.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.Đ.T., N.A.Đ.; Xử lý số liệu và tính toán: N.Đ.T., N.B.T.; Viết bản thảo bài báo: N.Đ.T., N.B.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.A.Đ., N.T.V.

Lời cảm ơn: Bài báo này được thực hiện trong luận án tiến sĩ của NCS Nguyễn Đại Trung thực hiện tại Trường Đại học Thủy lợi. Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn các cơ quan quản lý, các chuyên gia, các nhà khoa học đã hỗ trợ các quá trình tham vấn để hoàn thành nghiên cứu 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. World Economic Forum. Global Risks 2015: 10th Edition. Geneva, 2015, pp. 67.
2. Wang, D.; Hubacek, K.; Shan, Y.; Gerbens-Leenes, W.; Liu, J.A. A Review of Water Stress and Water Footprint Accounting. *Water* **2021**, *13*, 201–215. <https://doi.org/10.3390/w13020201>.
3. UNESCO/UN-Water. United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change, UNESCO, Paris, 2020.
4. IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, 2014.
5. World Bank. High and dry: Climate change, water, and the economy. Washington, DC, 2016.
6. He, C.; Liu, Z.; Wu, J.; Pan, X.; Fang, Z.; Li, J.; Bryan, B.A. Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nat. Commun.* **2021**, *4667*, 1–11. [Doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3](https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3).
7. Nghị, V.V. Đánh giá mức độ khan hiếm tài nguyên nước ngọt cho thành phố Hồ Chí Minh bằng chỉ số áp lực về nước WSI theo các kịch bản quy hoạch phát triển đến năm 2030 và trong điều kiện Biến đổi khí hậu khi nước biển dâng, Trường Đại học KHTN, Đại học Quốc gia TP HCM, TP HCM, 2016, tr. 283.
8. Tuấn, H.N. Đánh giá TNN mặt thành phố Đà Nẵng có xét đến điều kiện BĐKH, phát triển kinh tế xã hội và đề xuất định hướng khai thác nước đến 2050. Hội thảo khoa học Công nghệ xây dựng tiên tiến hướng đến phát triển bền vững, Đà Nẵng, 2015, tr. 1-8.
9. Sơn, L.M. Nghiên cứu đề xuất giải pháp quản lý sử dụng tổng hợp tài nguyên nước và lưu vực sông Vu Gia- Sông Hàn đáp ứng nhu cầu phát triển bền vững thành phố Đà Nẵng, Viện Công nghệ Môi trường, Hà Nội, 2011, 397 trang.
10. Liên danh trường Cao đẳng Công nghệ Kinh tế và Thủy lợi Miền Trung và Viện Thủy văn môi trường và BĐKH, trường Đại học Thủy lợi. Tài nguyên nước mặt thành phố Đà Nẵng đến năm 2030 tầm nhìn đến năm 2045, Đà Nẵng, 2018, 285 trang.
11. Đón, T.V. Nghiên cứu phân bổ hợp lý nguồn nước mặt cho lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn. Luận án tiến sĩ, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và BĐKH, Hà Nội, 2021.
12. Thắng, T.V. Nghiên cứu phân bổ nguồn nước và vận hành hợp lý hệ thống hồ chứa lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn trong mùa cạn. Luận án tiến sĩ, Viện Khoa học thủy lợi Việt Nam, 2019.
13. Lan, V.T.T.; Sơn, H.T.; Tùng, N.B.; Thủy, Đ.B.; Yên, N.T.H. Cân bằng nước lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn bằng mô hình Mike Hydro Basin. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *708*, 1–12.

14. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Trung-Tây Nguyên. Nghiên cứu đề xuất giải pháp quản lý sử dụng tổng hợp tài nguyên nước và lưu vực sông Vu Gia - Sông Hàn đáp ứng nhu cầu phát triển bền vững thành phố Đà Nẵng, Đà Nẵng, 2014, tr. 324.
15. Viện Quy hoạch thủy lợi. Nghiên cứu sử dụng tài nguyên nước tổng hợp tại lưu vực Vu Gia - Thu Bồn, Hà Nội, 2005, tr. 243.
16. Tinh, N.V. Nghiên cứu xác định khả năng chịu tải và dòng chảy tối thiểu của sông Vu Gia–Thu Bồn, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Hà Nội, 2016, tr. 338.
17. Tue, V.M.; Duong, V.N.; Gourbesville, P.; Raghavan, S.V.; Liang, S.Y. Hydrometeorological drought assessment under climate change impact over the Vu Gia-Thu Bon river basin, Vietnam. *Hydrol. Sci. J.* **2017**, *10*, 1–15.
18. Sơn, H.T.; Lan, V.T.T.; Trung, N.Đ. Biến động lan truyền mặn vùng hạ lưu sông Vu Gia - Thu Bồn dưới tác động vận hành của các công trình thủy điện. *Tap chí Khí tượng - Thủy văn* **2018**, *690*, 1–11.
19. Sơn, H.T.; Trung, N.Đ. và cs. Nghiên cứu đề xuất giải pháp kiểm soát xâm nhập mặn cho TP Đà Nẵng. Viện Địa lí, Hà Nội, 2018, tr. 257.
20. Lan, V.T.T.; Sơn, H.T.; Tùng, N.B.; Trung, N.Đ. Phát triển mô hình Delta cảnh báo xâm nhập mặn các sông vùng hạ lưu lưu vực Vu Gia - Thu Bồn. *Tap chí Khoa học Công nghệ Việt Nam* **2019**, *6*, 17–23.
21. Huy, D.Q. Nghiên cứu mưa, lũ cực hạn lưu vực Sông Vu Gia - Thu bồn. Luận án tiến sĩ, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2018.
22. Hồng, N.T. Đánh giá ảnh hưởng của biến động sử dụng đất đến lưu lượng dòng chảy lưu vực sông Vu Gia-Thu Bồn. *Tap chí Địa chất* **2015**, *5-6*, 49–59.
23. Thọ, B.Đ.; Bình, N.Q.; Dương, V.N.; Hiếu, L.C. Đánh giá ảnh hưởng của việc thay đổi thảm phủ đến chế độ dòng chảy lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn. Hội nghị khoa học cơ học Thủy khí lần thứ 21. 2018.
24. Hùng, L. Nghiên cứu ảnh hưởng của việc vận hành các công trình thủy điện ở thượng nguồn đến việc cấp nước của nhà máy nước Cầu Đỏ trong điều kiện biến đổi khí hậu, nước biển dâng và phát triển kinh tế xã hội của thành phố Đà Nẵng - Đề xuất các giải pháp phù hợp. Nhiệm vụ KHCN UBND thành phố Đà Nẵng. 2017.
25. Chu, H.C.; Hwang, G.J. A Delphi-based approach to developing expert systems with the cooperation of multiple experts. *National Library Medicine* **2007**, *34(4)*, 2826–2840. Doi:10.1016/j.eswa.2007.05.034.
26. Grime, M.M.; Wright, G. Delphi method. In Brandimarte, P.; Everitt, B.; Molenberghs, G.; Piegorisch, W.; Ruggeri, F. (Eds.), Wiley StatsRef: Statistics reference online. John Wiley&Sons Inc. **2016**, 1–6.
27. Dalkey, N.; Helmer, O. An experimental application of Delphi method to use of experts. *Manage. Sci.* **1963**, *9*, 458–467.
28. Drescher, M.; Perera, A.H.; Johnson, C.J.; Buse, L.J.; Drew, C.A.; Burgman, M.A. Toward rigorous use of expert knowledge in ecological research. *Ecosphere* **2013**, *7*, 1–26.
29. Brady, S.R. Utilizing and adapting the Delphi method for use in qualitative research. *Int. J. Qual. Methods* **2015**, 1–6. <https://doi.org/10.1177/1609406915621381>.
30. dell’Olio, L.; Ibeas, A.; de Oña, J.; de Oña, R. Public participation techniques and choice of variables. *Public Transp. Qual. Serv.* **2018**, 33–47. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102080-7.00003-3>.
31. Skinner, R.; Nelson, R.R.; Chin, W.W.; Land, L. The Delphi method research strategy in studies of information systems. *Commun. Assoc. Inf. Syst.* **2015**, *37*, 31–63. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.03702>.
32. Anh, N.T.; Trà, T.V.; Linh, L.V.; Dương, V.H.; Huy, N.Q. Nghiên cứu áp dụng phương pháp khảo sát DelPhi trong đánh giá mức độ quản lý tổng hợp tài nguyên nước. *Tap chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2021**, *20*, 66–77.

33. Tra, T.V.; Anh, N.T.; Linh, L.V.; Sơn, D.H. The degree of integrated water resources management implementation in the Mekong River Delta in Viet Nam. *World Water Policy* **2022**, 1-14. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12071>.
34. Boulomytis, V.T.G.; Zuffo, A.C.; Imteaz, M.A. Detection of flood influence criteria in ungauged basins on a combined Delphi-AHP approach. *Oper. Res. Perspect.* **2019**, 6, 100116. <https://doi.org/10.1016/J.ORM>.
35. Skulmoski, G.J.; Hartman, S.T.; Krahn, J. The Delphi Method for Graduate Research. *J. Inf. Technol. Educ.* **2007**, 6, 1–21.
36. Văn, C.T.; Sơn, N.T. Xây dựng phương pháp tính trọng số để xác định chỉ số dễ bị tổn thương lũ lụt lưu vực sông Vũ Gia- Thu Bồn. *Tap chí Khoa học và Công nghệ* **2015**, 1S, 93–102.
37. Saaty, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process, Katz Graduate School of Business, University of Pittsburgh, USA, 2008.
38. Ban chấp hành TW Đảng. Về bảo đảm an ninh nguồn nước và an toàn đập, hồ chứa nước đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045. Kết luận số 36/KL/TW ngày 23/6/2022, Hà Nội, 2022.

Research on developing a set of urban water scarcity index suitable for Da Nang City

Nguyen Dai Trung^{1,2*}, Nguyen Anh Duc³, Nguyen Trung Viet⁴, Nguyen Bach Tung⁵

¹ PhD student, Thuyloi University; nguyendaitrung@gmail.com

² Central Region College of Technology, Economics and Water Resources; nguyendaitrung@gmail.com

³ Water Resources Institute; naduc@monre.gov.vn

⁴ Thuyloi University; nguyentruongviet@tlu.edu.vn

⁵ VNU University of Science; bachtung_cefd@hus.edu.vn

Abstract: The article uses the Delphi method combined with the KAMET rule and the Analytic Hierarchy Process_AHP to build a set of water scarcity index (Water Scarcity Index_WSI) for urban water scarcity. On the basis of research on the level of science using the WSI index in the world and Viet Nam, the principles of index construction, the conditions and specific characteristics of Da Nang City belonging to the lower Vu Gia Thu Bon river basin, the article builds a set of indicators including 04 groups of indicators, 19 main indicators and 10 sub-indicators, and also determines the level of influence of each index in the index set. This index combination is divided into 4 index groups to represent the level of urban water scarcity, applied to Da Nang city, including: (1) Water source and water exploitation and use index group (WSI_1); (2) Ecosystem and Environment Index (WSI_2); (3) Index group Urban water supply from public water supply works (WSI_3) and (4) WSI index group Response capacity (WSI_4). The importance of the index groups in the WSI_1, (WSI_2), (WSI_3), (WSI_4) sets of indexes is determined to be 50.3%, 16.8%, 20.0% and 12.9%, respectively. The calculation process determines the aggregate WSI index for each specific area and the entire study area as a basis for assessing the level of urban water scarcity at the present time and for future development.

Keywords: Water Scarcity; Water Scarcity Index (WSI); DELPHI, KAMET, AHP.