TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Nghiên cứu xây dựng bộ chỉ số an ninh nguồn nước cho vùng châu thổ sông Mê Công

Trương Hồng Tiến[1*], Nguyễn Đình Đạt[1], Phạm Tường[1], Vũ Minh Thiện[1], Nguyễn Huy Phương[1], Nguyễn Trung Quân[1]

[1] Văn phòng Thường trực Ủy ban sông Mê Công Việt Nam, 23 Hàng Tre, Hà Nội; thtien652004@gmail.com; dinhdat143@gmail.com; phamtuong307@gmail.com; vumthien@gmail.com; huyphuongmk@gmail.com; quantnn@gmail.com

*Tác giả liên hệ: thtien652004@gmail.com; Tel.: +84–981257395

Ban Biên tập nhận bài: 15/10/2022; Ngày phản biện xong: 19/12/2022; Ngày đăng bài: 25/12/2022

Tóm tắt: Vấn đề đảm bảo an ninh nguồn nước cho cuộc sống con người và hệ sinh thái đang trở thành mối quan tâm hàng đầu của các nước trên thế giới. Đã có rất nhiều nghiên cứu về an ninh nguồn nước ở nhiều cấp độ khác nhau được triển khai thực hiện, nhưng chưa có một nghiên cứu cụ thể nào cho một vùng châu thổ có yếu tố xuyên biên giới như vùng châu thổ sông Mê Công. Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng và phát triển một khung chỉ số để đánh giá tình hình an ninh nguồn nước cho vùng châu thổ sông Mê Công. Kết quả chính của nghiên cứu là một khung chỉ số bao gồm 6 nhóm chỉ số liên quan đến nguồn nước, cấp nước sinh hoạt, phát triển các ngành kinh tế, công tác phòng chống rủi ro, thiên tai do nước gây ra, bảo vệ môi trường sinh thái, và quản lý tài nguyên nước. Đặc biệt, yếu tố xuyên biên giới của nguồn nước sông quốc tế đã được xem xét kỹ lưỡng trong các chỉ số an ninh nguồn nước. Khung chỉ số được đề xuất trong nghiên cứu này sẽ cho phép các nhà hoạch định chính sách, các nhà quản lý tiến hành đánh giá và xác định các giải pháp đảm bảo an ninh nguồn nước cho vùng châu thổ sông Mê Công của Việt Nam và Campuchia.

Từ khóa: An ninh nguồn nước; Đồng bằng; Châu thổ; Hệ sinh thái; Rủi ro thiên tai; Xuyên biên giới.

1. Giới thiệu

Nước cần thiết cho mọi hoạt động sản xuất, sinh hoạt và phát triển của con người, không có nước thì không thể tồn tại và phát triển kinh tế, xã hội. Là nguồn tài nguyên tái tạo nhưng nước trên thế giới không phải là vô hạn và đang đứng trước nguy cơ suy thoái, cạn kiệt do các hoạt động khai thác quá mức của con người và tác động của biến đổi khí hậu [1]. Vì vậy, việc đảm bảo an ninh nguồn nước (ANNN) để đáp ứng nhu cầu phát triển kinh tế, xã hội đã trở nên cấp bách hơn bao giờ hết đối với tất cả các quốc gia trên thế giới.

Trên thế giới hiện có 276 lưu vực sông xuyên biên giới, chảy qua 151 quốc gia và vùng lãnh thổ, và là nơi sinh sống của hơn 40% dân số toàn cầu [2]. Tổng lưu lượng của các sông xuyên biên giới chiếm khoảng 54% tổng lượng dòng chảy của tất cả các sông trên thế giới. Việc đảm bảo ANNN tại các lưu vực sông này gặp khó khăn hơn rất nhiều so với các lưu vực sông nằm trong phạm vi lãnh thổ của một quốc gia do phụ thuộc rất lớn vào sự hợp tác của các nước trong lưu vực. Trong các lưu vực sông thì châu thổ là tiểu vùng đặc biệt nhất với đặc điểm nằm ở cuối nguồn của các con sông và đa phần tiếp giáp với biển. Hằng năm, các vùng đồng bằng này tiếp nhận một lượng nước và phù sa rất lớn từ thượng nguồn đổ về và vì thế đã trở thành những nơi sản xuất lương thực chính của các quốc gia trong lưu vực. Tuy nhiên, các vùng châu thổ hiện cũng đang gặp rất nhiều khó khăn, thách thức của biến đổi khí

hậu và sự gia tăng các hoạt động khai thác sử dụng nước trong lưu vực, gây ảnh hưởng rất lớn đến an ninh nguồn nước và an ninh lương thực của các nước trên thế giới.

Hiện nay trên thế giới đã có rất nhiều nghiên cứu về ANNN được triển khai thực hiện ở nhiều cấp độ khác nhau, cả theo ranh giới hành chính ở phạm vi toàn cầu [3–4], khu vực [5–6], quốc gia [7–8], và cấp tỉnh/thành phố [9–10], và theo ranh giới lưu vực [11–14]. Các nghiên cứu này đã xây dựng được các chỉ số ANNN và áp dụng tính toán cho các khu vực, nhưng hạn chế của các nghiên cứu liên quan đến nguồn nước quốc tế là chưa xem xét yếu tố xuyên biên giới của nguồn nước trong các chỉ số. Ngoài ra, chưa có một nghiên cứu nào về an ninh nguồn nước được triển khai thực hiện cho các châu thổ của các lưu vực sông (kể cả lưu vực sông quốc tế và lưu vực sông quốc gia).

Tình tình cũng tương tự đối với các nghiên cứu ở trong nước. Trong thời gian qua cũng đã có một số nghiên cứu về an ninh nguồn nước được triển khai thực hiện [15–19] ở cấp độ lưu vực, trong đó có hai nghiên cứu liên quan đến xây dựng bộ chỉ số ANNN cho lưu vực sông Hồng [15] và lưu vực sông Mã [16]. Tuy nhiên, mặc dù phạm vi nghiên cứu là các lưu vực sông quốc tế, nhưng các nghiên cứu này cũng không xem xét yếu tố xuyên biên giới của nguồn nước trong các chỉ số an ninh nguồn nước.

Thực tế trên đây cho thấy việc sử dụng kết quả của các nghiên cứu trước đây vào tính toán chỉ số an ninh nguồn nước cho các vùng châu thổ, đặc biệt là các vùng châu thổ của các lưu vực sông quốc tế là không khả thi. Vì vậy, mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng một khung chỉ số ANNN cho vùng châu thổ sông Mê Công trên cơ sở xem xét tất cả các yếu tố đặc trưng liên quan của đồng bằng, bao gồm cả yếu tố xuyên biên giới của nguồn nước. Bộ chỉ số này cũng có thể được sử dụng để tính toán chỉ số an ninh nguồn nước cho bất kỳ châu thổ nào (kể cả các lưu vực sông quốc tế và lưu vực sông quốc gia) sau khi tiến hành điều chỉnh khung chỉ số để phù hợp với tình hình cụ thể của từng vùng.

2. Phương pháp nghiên cứu

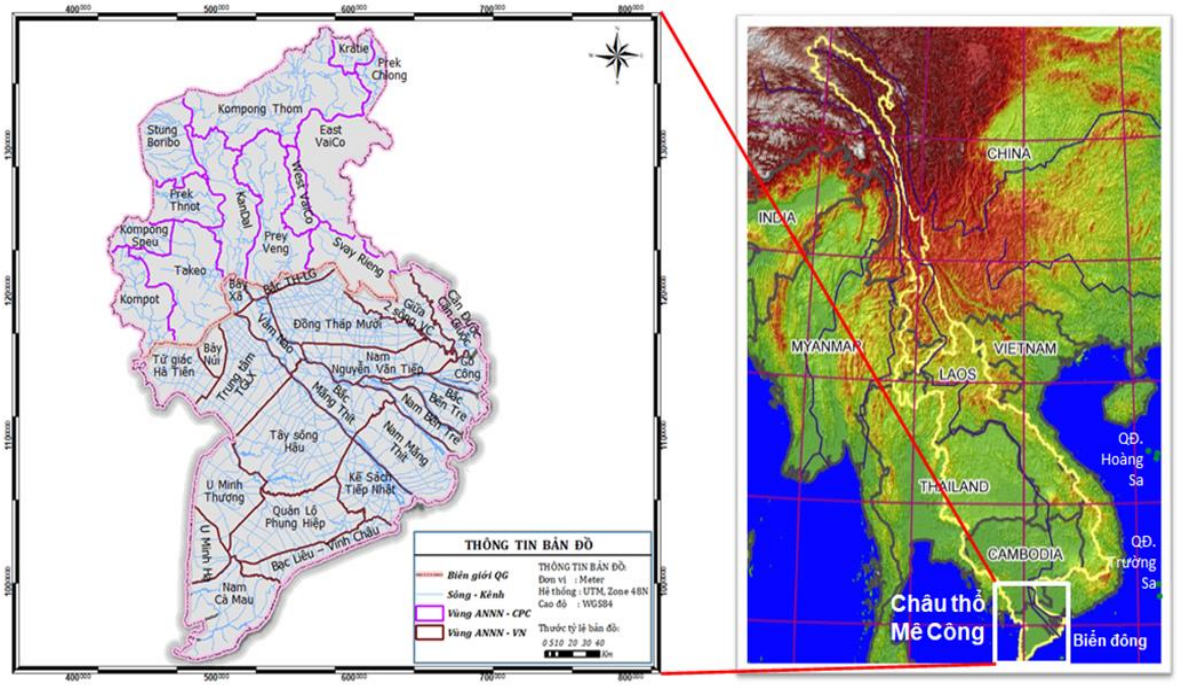
2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Sông Mê Công bắt nguồn từ vùng núi cao tỉnh Thanh Hải (Trung Quốc) chảy qua sáu quốc gia: Trung Quốc, Mi-an-ma, Lào, Thái Lan, Campuchia và đổ ra biển tại Việt Nam với tổng chiều dài 4.763 km (thứ 12 thế giới) và tổng lượng dòng chảy năm khoảng 446 tỷ m^3 (thứ 8 thế giới). Lưu vực sông Mê Công có diện tích khoảng 810.000 km^2 và là nơi sinh sống của hơn 70 triệu người, chủ yếu làm nghề nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản [20].

Vùng Châu thổ sông Mê Công nằm ở hạ nguồn lưu vực sông Mê Công, bao gồm vùng Đồng bằng sông Cửu Long của Việt Nam và vùng đồng bằng ngập lũ của Campuchia, có điểm bắt đầu từ Kra-chê (Campuchia) đến Biển Đông (Hình 1). Với diện tích khoảng 62.000 km^2, hiện nay có khoảng 24,6 triệu người đang sinh sống trong vùng Châu thổ, trong đó phần lớn là người nông dân có cuộc sống chủ yếu dựa vào tài nguyên nước và các tài nguyên liên quan (sản xuất nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản) [21]. Đây là vùng sản xuất lương thực chủ yếu và có vai trò đặc biệt quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội của cả Việt Nam và Campuchia. Lúa gạo của Việt Nam và Campuchia không chỉ đảm bảo nguồn lương thực cho nhu cầu nội địa mà còn góp phần đảm bảo an ninh lương thực cho các nước trên thế giới, đặc biệt là các nước Châu Á và Châu Phi. Trong bối cảnh như vậy, việc đảm bảo an ninh nguồn nước cho vùng châu thổ sông Mê Công để phục vụ sản xuất, phát triển kinh tế - xã hội luôn là vấn đề hết sức quan trọng, có ý nghĩa sống còn đối với sự phát triển toàn diện của vùng châu thổ sông Mê Công nói riêng, và của cả Việt Nam và Campuchia nói chung.

Tuy nhiên, mặc dù nguồn tài nguyên nước của vùng Châu thổ được đánh giá là khá dồi dào, nhưng nguồn tài nguyên này rất nhạy cảm do chịu ảnh hưởng trực tiếp của điều kiện tự nhiên cũng như các hoạt động của con người. Cụ thể, tài nguyên nước vùng Châu thổ phụ thuộc tới gần 90% vào nguồn nước đến từ nước ngoài và hiện đang phải đối mặt với nhiều khó khăn, thách thức do biến đổi khí hậu và sự gia tăng sử dụng nước trong lưu vực. Sự kết

hợp giữa hai yếu tố trên đã và đang làm thay đổi dòng chảy, giảm lượng phù sa về phía Châu thổ, suy giảm nguồn lợi thủy sản, gia tăng xâm nhập mặn vào sâu trong nội đồng. Bên cạnh các yếu tố khách quan, vùng Châu thổ sông Mê Công cũng đang phải chịu tác động của chính các hoạt động phát triển kinh tế với cường độ cao trong vùng. Thực tế này đã, đang và sẽ gây ra áp lực lớn đến an ninh nguồn nước cho vùng Châu thổ sông Mê Công của cả Việt Nam và Campuchia, làm ảnh hưởng đến các kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội của toàn vùng Châu thổ và đe dọa trực tiếp đến đời sống của hàng triệu người dân, trong đó đa số là người dân nghèo có sinh kế phụ thuộc vào nguồn tài nguyên nước sông Mê Công.

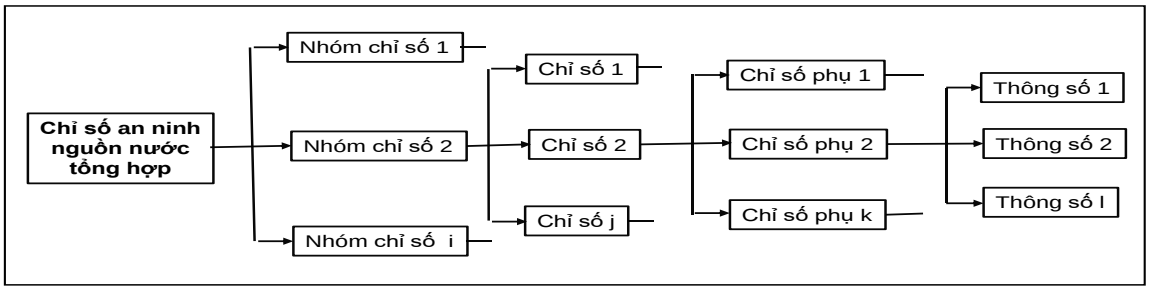


Hình 1. Bản đồ vị trí vùng châu thổ sông Mê Công.

2.2. Phương pháp xây dựng bộ chỉ số

Năm 2013, Ủy ban về nước của Liên hợp quốc đã đưa ra khái niệm về ANNN. Theo đó, ANNN là khả năng năng tiếp cận nguồn nước của một cộng đồng dân cư với số lượng nước đầy đủ và chất lượng ở mức chấp nhận được nhằm duy trì sinh kế, sức khỏe con người, và phát triển kinh tế–xã hội, bảo đảm phòng chống ô nhiễm nguồn nước và các thiên tai liên quan đến nước và bảo tồn hệ sinh thái trong một môi trường hòa bình và ổn định chính trị [22]. Với khái niệm này, ANNN của một quốc gia, một khu vực chỉ được đảm bảo khi cộng đồng dân cư có đủ nguồn nước với chất lượng cần thiết và giá cả hợp lý để duy trì sinh kế, phục vụ nhu cầu cá nhân, phát triển kinh tế, xã hội và bảo tồn các hệ sinh thái [23].

Trên cơ sở định nghĩa về ANNN nêu trên và áp dụng các nguyên tắc SMART [24], bao gồm: (i) Số lượng chỉ số không quá nhiều, (ii) Kế thừa các chỉ số đã được các nghiên cứu trước đây phát triển và sử dụng rộng rãi, (iii) Phù hợp với điều kiện cụ thể của vùng nghiên cứu, (iv) Có tính đại diện tổng hợp, có độ nhạy cao và chỉ ra được các xu hướng biến đổi, và (v) Có thể tính toán được trên cơ sở thông tin số liệu hiện có, Nhóm nghiên cứu tiến hành xây dựng một Khung chỉ số ANNN cho vùng châu thổ, trong đó chỉ số an ninh nguồn nước tổng hợp cho vùng châu thổ được tổng hợp từ các chỉ số an ninh nguồn nước của các nhóm chỉ số. Các nhóm chỉ số này được lựa chọn trên cơ sở các yếu tố tác động đến an ninh nguồn nước và mỗi nhóm chỉ số lại bao gồm một hoặc nhiều chỉ số phụ. Mỗi chỉ số/chỉ số phụ được đo lượng bằng một hoặc nhiều thông số [11]. Khung đánh giá chỉ số an ninh nguồn nước được trình bày ở Hình 2.



Hình 2. Khung chỉ số đánh giá an ninh nguồn nước.

Bên cạnh việc kế thừa các chỉ số đã được xây dựng trước đây, Nhóm nghiên cứu đã phát triển thêm một số chỉ số mới để phản ánh các điều kiện đặc trưng của các vùng châu thổ. Trong quá trình xây dựng bộ chỉ số, Nhóm nghiên cứu đã tổ chức nhiều hội thảo tham vấn để xin ý kiến góp ý của các chuyên gia, các nhà khoa học và các bên liên quan.

3. Kết quả và thảo luận

Khung chỉ số ANNN có vùng châu thổ sông Mê Công được xây dựng trên cơ sở kế thừa các khung chỉ số đã được phát triển trước đây [9, 11, 15, 16, 25] và các điều kiện đặc trưng nhất của vùng châu thổ, đặc biệt là yếu tố xuyên biên giới của nguồn nước quốc tế. Theo đó, khung chỉ số ANNN của vùng châu thổ sông Mê Công bao gồm nhiều chỉ số đảm bảo ANNN của khu vực, nhưng để khả thi và hiệu quả trong đánh giá, Nhóm nghiên cứu đã lựa chọn 28 chỉ số (bao gồm 23 chỉ số chính và 5 chỉ số phụ), và chia thành 6 nhóm chỉ số ANNN liên quan đến nguồn nước, cấp nước sinh hoạt, phát triển các ngành kinh tế, công tác phòng chống rủi ro, thiên tai do nước gây ra, bảo vệ môi trường sinh thái, và quản lý tài nguyên nước [16]. Đặc biệt, các yếu tố liên quan đến nguồn nước xuyên biên giới đã được xem xét một cách thấu đáo trong các chỉ số ANNN. Kết quả được tổng hợp các chỉ số/chỉ số phụ, thông số và cách tính toán cho các vùng châu thổ được trình bày tại Bảng 1. Phần tiếp theo sẽ mô tả chi tiết về ý nghĩa và cách tính các chỉ số này.

3.1. Nhóm chỉ số liên quan đến nguồn nước đến vùng châu thổ

Nguồn nước đóng vai trò vô cùng quan trọng đối với ANNN cho bất kỳ khu vực nào để phát triển kinh tế và duy trì môi trường sinh thái. Nguồn nước càng phong phú thì mức độ bảo đảm ANNN của khu vực sẽ càng cao. Tài nguyên nước của các vùng châu thổ phụ thuộc vào 2 yếu tố chính, đó là mức độ sẵn có của nguồn nước và khả năng chống chịu với mức độ biến đổi nguồn nước. Ngoài ra, đối với lưu vực sông xuyên biên giới thì tài nguyên nước của châu thổ còn phụ thuộc vào nguồn nước đến từ nước ngoài.

a. Chỉ số ANNN dựa vào mức độ sẵn có của nguồn nước đến: Mức độ sẵn có của nguồn nước đến là một trong những yếu tố quan trọng nhất trong việc đảm bảo ANNN. Mức độ sẵn có của nguồn nước đến càng lớn thì khả năng đáp ứng nhu cầu sử dụng nước hay ANNN càng cao, và được xác định theo công thức sau [9,26]:

$$Mức\ độ\ sẵn\ có\ = \frac{Tổng\ lượng\ nước\ đến\ vùng\ Châu\ thổ\ trong\ năm}{Tổng\ dân\ số\ trong\ vùng\ Châu\ thổ}\ (\mathrm{m^3/người})/năm) \qquad (1)$$

Trong đó, tổng lượng nước đến vùng châu thổ trong năm là tổng của lượng dòng chảy hằng năm từ thượng nguồn về đến vùng châu thổ, tổng lượng mưa trong phạm vi vùng châu thổ và trữ lượng nước ngầm có thể khai thác trong vùng châu thổ.

b. Chỉ số ANNN dựa vào mức độ chống chịu với biến đổi nguồn nước: Nguồn nước đến vùng châu thổ bị biến động bởi sự phân bố không đồng đều của lượng mưa giữa các tháng trong năm và giữa các năm trên lưu vực. Trong bối cảnh như vậy thì giải pháp tăng cường khả năng trữ nước ngọt trong khu vực sẽ giúp giảm thiểu được sự biến động của nguồn nước đến. Vì vậy, chỉ số này được tính toán dựa trên ba chỉ số phụ sau:

Bảng 1. Tổng hợp các nhóm chỉ số, chỉ số ANNN cho các vùng châu thổ.

STT	Chỉ số	Chỉ số phụ	Thông số	Đơn vị
	I. Nhóm chỉ số ANNN liên quan đến nguồn nước đến, WSI (1)			
1	WSI (1,1)-Chỉ số ANNN dựa vào mức độ sẵn có của nguồn nước		Tổng lượng nước đến (bao gồm cả trữ lượng khai thác nước ngầm)	m^3/người/năm
2	WSI (1,2)- Chỉ số ANNN dựa vào khả năng chống chịu với biến đổi nguồn nước	WSI (1,2,1)- Chỉ số ANNN dựa vào mức độ biến đổi nguồn nước trong năm	Hệ số biến đổi của dòng chảy trong năm	
		WSI (1,2,2)-Chỉ số ANNN dựa vào mức độ biến đổi nguồn nước trong nhiều năm	Hệ số biến đổi của dòng chảy trong nhiều năm	
		WSI (1,2,3)-Chỉ số ANNN dựa vào khả năng trữ nước của các công trình (bao gồm cả trữ lượng nước ngầm)	Số ngày đáp ứng nhu cầu sử dụng nước của các công trình trữ nước	Ngày
3	WSI (1,3)-Chỉ số ANNN dựa vào mức độ phụ thuộc vào nguồn nước đến từ nước ngoài		Tỷ lệ nguồn nước đến từ nước ngoài	%
	II. Nhóm chỉ số ANNN liên quan đến cung cấp nước sạch cho dân cư, WSI (2)			
4	WSI (2,1) - Chỉ số ANNN dựa vào mức độ cung cấp nước sạch cho dân cư		Tỷ lệ người dân được sử dụng mước từ các công trình cấp nước đạt tiêu chuẩn	%
5	WSI (2,2)-Chỉ số ANNN dựa vào mức độ cung cấp nước sạch của hệ thống cấp nước tập trung		Tỷ lệ người dân được sử dụng mước từ các công trình cấp nước tập trung	%
6	WSI (2,3)-Chỉ số ANNN dựa vào hiệu quả của hệ thống cấp nước tập trung		Tỷ lệ tổn thất nước của các công trình nước tập trung	%
7	WSI (2,4)-Chỉ số ANNN dựa vào mức độ bảo vệ vệ sinh nguồn nước		Tỷ lệ lượng nước thải được xử lý Tỷ lệ số hộ gia đình có hố xí hợp vệ sinh Tỷ lệ cơ sở sản xuất, sinh hoạt có hệ thống thu gom nước thải kết nối với hệ thống thải tập trung	% % %
8	WSI (2,5)-Chỉ số ANNN dựa vào mức độ chi phí cho mua nước sinh hoạt		Tỷ lệ phần trăm tiền mua nước sinh hoạt so với thu nhập của người dân	%
	III. Nhóm chỉ số ANNN liên quan đến các ngành kinh tế, WSI (3)			
9	WSI (3,1)-Chỉ số ANNN dựa vào mức độ khai thác sử dụng nước của các ngành kinh tế		Tỷ lệ phần trăm lượng nước sử dụng cho các ngành kinh tế (có tiêu hao) so với tổng lượng nước có thể khai thác sử dụng	%
10	WSI (3,2)-Chỉ số ANNN liên quan đến ngành nông nghiệp	WSI (3,2,1)-Chỉ số ANNN dựa vào mức độ đáp ứng nhu cầu tưới	Tỷ lệ diện tích được tưới so với tổng diện tích cần được tưới	%
		WSI (3,2,2)-Chỉ số ANNN dựa vào hiệu quả sử dụng nước trong nông nghiệp	Hiệu quả sử dụng nước trong ngành nông nghiệp	USD/m^3
11	WSI (3,3)-Chỉ số ANNN liên quan đến ngành giao thông thủy		Thời gian không đảm bảo lưu thông thuyền	Ngày
12	WSI (3,4)-Chỉ số ANNN liên quan đến ngành công nghiệp		Hiệu quả sử dụng nước trong ngành công nghiệp	USD/m^3
	IV. Nhóm chỉ số ANNN liên quan đến rủi ro, thiệt hại do thiên tai, WSI (4)			
13	WSI (4,1)-Chỉ số ANNN dựa vào khả năng ứng phó thiên tai		Tiềm lực kinh tế của người dân	USD/ người/ năm
14	WSI (4,2)-Chỉ số ANNN dựa vào rủi ro thiệt hại do hạn hán		Thiệt hại do hạn hán gây ra	USD/ người/ năm
			Tỷ lệ phần trăm diện tích đất bị hạn	%

STT	Chỉ số	Chỉ số phụ	Thông số	Đơn vị
			Tần suất xuất hiện hạn hán	Lần/năm
15	WSI (4,3)-Chỉ số ANNN dựa vào rủi ro thiệt hại do lũ lụt		Thiệt hại do lũ lụt gây ra	USD/ người/ năm
			Tỷ lệ phần trăm diện tích đất bị lũ lụt	%
			Tần suất xuất hiện lũ lụt	Lần/năm
16	WSI (4,4)-Chỉ số ANNN dựa vào rủi ro thiệt hại do xâm nhập mặn		Thiệt hại do xâm nhập mặn gây ra	USD/ người/ năm
			Tỷ lệ phần trăm diện tích đất bị xâm nhập mặn	%
			Tần suất xuất hiện xâm nhập mặn	Lần/năm
17	WSI (4,4)-Chỉ số ANNN dựa vào rủi ro thiệt hại do sạt lở đất		Thiệt hại do sạt lở đất gây ra	USD/ người/ năm
V. Nhóm chỉ số ANNN cho bảo vệ môi trường, hệ sinh thái, WSI (5)				
18	WSI (5,1)-Chỉ số ANNN dựa vào mức độ duy trì dòng chảy cho môi trường và hệ sinh thái		Dòng chảy duy trì hệ sinh thái	%
			Chênh lệch của lưu lượng trên sông so với lưu lượng của dòng chảy tự nhiên tháng nhỏ nhất chấp nhận được trong mùa khô	%
19	WSI (5,2)- Chỉ số ANNN dựa vào kết quả đánh giá chất lượng nước		Chỉ số chất lượng nước (WQI) cho môi trường, hệ sinh thái	
20	WSI (5,3)-Chỉ số ANNN dựa vảo ảnh hưởng của phát triển thượng nguồn		Mức độ tác động của các hoạt động phát triển vùng thượng nguồn	
VI. Nhóm chỉ số ANNN liên quan đến quản lý tài nguyên nước ở đồng bằng châu thổ và hợp tác quốc tế trong LVSMC, WSI (6)				
21	WSI (6,1)-Chỉ số ANNN dựa vào kết quả quản lý tài nguyên nước ở ĐBSCL của Việt Nam		Kết quả thực hiện QLTHTNN và QLLVS ở ĐBSCL của Việt Nam	
22	WSI (6,1)-Chỉ số ANNN dựa vào kết quả quản lý tài nguyên nước ở đồng bằng châu thổ của Campuchia		Kết quả thực hiện QLTHTNN và QLLVS ở vùng đồng bằng châu thổ của Campuchia	
23	WSI (6,2)-Chỉ số ANNN dựa vào kết qủa hợp tác quốc tế		Kết quả hợp tác quốc tế về quản lý tài nguyên nước trong lưu vực	

b.1. Chỉ số ANNN dựa vào mức độ biến đổi nguồn nước trong năm: Nguồn nước càng ít biến động giữa các tháng trong năm thì mức độ đảm bảo ANNN của khu vực càng cao. Chỉ số phụ này được tính toán dựa theo chuỗi số liệu quan trắc thủy văn trong năm thông qua hệ số biến đổi C_v của nguồn nước theo công thức sau [6]:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(K_i-1)^2}{n-1}} \quad (2)$$

Trong đó $K_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}$ là hệ số mô đun dòng chảy tháng thứ i; $\bar{Q}=\frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i}{i=n}$ là lượng dòng chảy trung bình năm; Q_i là lượng dòng chảy tháng thứ i; và n là tổng số tháng tính toán.

b.2. Chỉ số ANNN dựa vào mức độ biến đổi nguồn nước trong nhiều năm: Nguồn nước càng ít biến động giữa các năm thì mức độ đảm bảo ANNN của khu vực càng cao. Chỉ số phụ này được tính toán dựa theo chuỗi số liệu quan trắc thủy văn nhiều năm thông qua hệ số biến đổi Cvn của nguồn nước theo công thức sau [6]:

$$C_{vn} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{m}(K_j-1)^2}{m-1}} \quad (3)$$

Trong đó $K_j = \frac{Q_j}{\bar{Q}_{nm}}$ là hệ số mô đun năm thứ j; $\bar{Q}_{nm}=\frac{\sum_{j}^{m} Q_j}{m}$ là lưu lượng dòng chảy trung bình nhiều năm; và m là tổng số năm tính toán.

b.3. Chỉ số ANNN dựa vào khả năng trữ nước của các công trình: Các công trình trữ nước được đầu tư xây dựng nhằm đối phó với sự biến đổi nguồn nước về vùng châu thổ. Dung tích nước trong các công trình trữ nước càng lớn thì mức độ đảm bảo ANNN của khu vực càng cao. Khả năng ứng phó với sự biến động của nguồn nước đến được biểu thị thông

qua khoảng thời gian mà các công trình nước trữ có khả năng năng đáp ứng với nhu cầu sử dụng nước trong vùng [10].

$$Thời\ gian\ đáp\ ứng\ nhu\ cầu\ sử\ dụng\ nước\ của\ các\ công\ trình\ trữ\ nước = \frac{W_{hđ}}{W_{sd}} \quad (4)$$

Trong đó $W_{hđ}$ là lượng nước ngọt được tích trữ trong các công trình và W_{sd} là tổng lượng nước sử dụng cho sinh hoạt và phát triển các ngành kinh tế của vùng trong một ngày.

c. Chỉ số ANNN dựa vào sự phụ thuộc vào nguồn nước đến từ nước ngoài: Các vùng châu thổ nằm ở cuối nguồn nên ngoài lượng nước được sản sinh ra trong vùng còn có lượng nước đến từ thượng nguồn các con sông. Đối với các lưu vực sông xuyên biên giới thì nguồn nước đến từ vùng thượng nguồn chính là nguồn nước đến từ các quốc gia khác. Vì vậy, nguồn nước sẵn có càng ít phụ thuộc vào nguồn nước đến từ nước ngoài thì mức độ đảm bảo ANNN của khu vực càng cao. Mức độ phụ thuộc vào nguồn nước đến từ nước ngoài được biểu thị thông qua công thức sau [6]:

$$Mức\ độ\ phụ\ thuộc\ vào\ nguồn\ nước\ ngoài = \frac{W_{nn}}{W_{sc}} x100\% \quad (5)$$

Trong đó W_{nn} là tổng lượng nước đến từ thượng nguồn và W_{sc} là tổng lượng nước sẵn có của vùng châu thổ.

3.2. Nhóm chỉ số ANNN liên quan đến cung cấp nước sạch cho dân cư

ANNN cho cấp nước sinh hoạt được định nghĩa là "Cộng đồng dân cư được tiếp cận với nguồn nước an toàn, đầy đủ với giá cả phải chăng để đáp ứng nhu cầu cơ bản về nước uống, sinh hoạt và vệ sinh, để bảo vệ sức khỏe và hạnh phúc, và thực hiện các quyền cơ bản của con người". Vì vậy, chỉ số ANNN cho cấp nước sinh hoạt sẽ được tổng hợp từ năm chỉ số phụ sau:

a. Chỉ số ANNN dựa vào mức độ cung cấp nước sạch cho dân cư: Mức độ cung cấp nước sạch cho dân cư được đánh giá thông qua tỷ lệ phần trăm số dân được cung cấp nước sạch so với tổng số dân trong vùng [25]. Càng nhiều người dân tiếp cận được với nguồn nước sạch thì mức độ đảm bảo ANNN càng cao.

$$Mức\ độ\ cung\ cấp\ nước\ sạch\ cho\ dân\ cư = \frac{P_{ns}}{P} x100\% \quad (6)$$

Trong đó, P_{ns} là số dân được cung cấp nguồn nước sạch (người) và P là tổng số dân trong khu vực (người).

b. Chỉ số ANNN dựa vào mức độ cung cấp nước sạch của hệ thống cấp nước tập trung: Người dân tiếp cận được với nguồn nước sạch từ nhiều hệ thống khác nhau, bao gồm hệ thống cấp nước tập trung do nhà nước đầu tư xây dựng, hệ thống cấp nước của các doanh nghiệp tư nhân và hệ thống cấp nước do người dân tự xây dựng, quản lý. Trong các hệ thống này thì hệ thống cấp nước do nhà nước đầu tư xây dựng được đánh giá là có khả năng tạo ra nguồn nước sạch ổn định và đạt tiêu chuẩn vệ sinh nhất. Vì vậy, mức độ đảm bảo ANNN cho cấp nước sinh hoạt cũng phụ thuộc vào khả năng cung cấp nước sạch cho dân cư của hệ thống cấp nước tập trung và được đánh giá thông qua tỷ lệ phần trăm số dân được cung cấp nước sạch từ các công trình cấp nước tập trung so với tổng số dân trong vùng [25]. Càng nhiều người dân tiếp cận được với nguồn nước sạch từ hệ thống cấp nước tập trung thì mức độ đảm bảo ANNN càng cao.

$$Mức\ độ\ cung\ cấp\ nước\ sạch\ của\ hệ\ thống\ cấp\ nước\ tập\ trung\ = \frac{P_{nstt}}{P} x100\% \quad (7)$$

Trong đó P_{nstt} là số dân được cung cấp nguồn nước sạch từ các hệ thống cấp nước tập trung (người) và P là tổng số dân trong vùng (người).

c. Chỉ số ANNN dựa vào hiệu quả hoạt động của hệ thống cấp nước sạch tập trung: Hiệu quả hoạt động của các công trình cấp nước sạch được biểu thị thông qua mức độ tổn thất của các công trình cấp nước. Mức độ tổn thất càng thấp thì ANNN càng cao và được biểu diễn qua tỷ lệ phần trăm của lượng nước bị tổn thất so với tổng lượng nước cấp của các công trình cấp nước [16].

$$Mức\ độ\ tổn\ thất = (1 - \frac{V_{sd}}{V_t})x100\% \quad (8)$$

Trong đó, V_{sd} là lượng nước sử dụng của dân cư từ các công trình cấp nước tập trung (m^3/ngày) và V_t là tổng lượng nước cấp của công trình cấp nước tập trung (m^3/ngày).

d. Chỉ số ANNN dựa vào mức độ bảo vệ vệ sinh nguồn nước: Nguồn nước sinh hoạt có thể bị ô nhiễm bởi nước thải từ các hoạt động sản xuất và sinh hoạt nếu nước thải được xả thẳng vào nguồn nước. Càng nhiều nước thải được xử lý trước khi thải ra môi trường thì ANNN càng cao. Chỉ số này được biểu diễn thông qua tỷ lệ phần trăm giữa lượng nước thải được xử lý đạt tiêu chuẩn và tổng lượng nước thải từ các hoạt động sản xuất và sinh hoạt, hoặc thông qua tỷ lệ phần trăm giữa số lượng cơ sở sản xuất có hệ thống thu gom nước thải kết nối với hệ thống thải tập trung. Đặc biệt, trong điều kiện thiếu thông tin số liệu, cách tính trên cơ sở tỷ lệ phần trăm số hộ dân có hố xí hợp vệ sinh so với tổng số hộ dân [16].

$$Mức\ độ\ bảo\ vệ\ vệ\ sinh\ nguồn\ nước\ = \frac{H_{vs}}{H}x100\% \quad (9)$$

Trong đó, H_{vs} là số hộ gia đình có hố xí hợp vệ sinh và H là tổng số hộ trong khu vực.

e. Chỉ số ANNN dựa vào mức độ chi phí mua nước sinh hoạt của người dân: Người dân phải chi trả cho lượng nước sinh hoạt mà họ sử dụng. Mức chi phí cho sử dụng nước sinh hoạt được biểu thị thông qua tỷ lệ phần trăm của số tiền mà người dân phải chi trả cho sử dụng nước sinh hoạt so với tổng thu nhập của người dân [25]. Mức chi phí này càng thấp thì mức độ đảm bảo ANNN càng cao.

$$Mức\ chi\ phí\ cho\ mua\ nước\ sinh\ hoạt = \frac{C_{sh}}{GDP_t}x100\% \quad (10)$$

Trong đó C_{sh} là chi phí của hộ dân mua nước sinh hoạt (USD/năm) và GDP_t – tổng thu nhập trung bình của hộ dân (USD/năm).

3.3. Nhóm chỉ số liên quan đến các ngành kinh tế

Ở các vùng châu thổ, ngoài mục đích sinh hoạt, nguồn nước còn được sử dụng cho phát triển các ngành kinh tế, bao gồm các ngành sử dụng nước có tiêu hao như nông nghiệp (trồng trọt, chăn nuôi và nuôi trồng thủy sản) và công nghiệp; và ngành sử dụng nước không tiêu hao (giao thông thuỷ). Vì vậy, nghiên cứu này sẽ tập trung xây dựng và đánh giá các chỉ số về ANNN cho ba ngành sử dụng nước lớn nêu trên.

a. Chỉ số ANNN dựa vào mức độ khai thác, sử dụng nước của các ngành kinh tế: Mức độ sử dụng nước của các ngành kinh tế được biểu thị thông qua tỷ lệ phần trăm giữa tổng lượng nước sử dụng của các ngành kinh tế và tổng lượng nước có thể khai thác sử dụng [16]. Lượng nước được sử dụng cho các ngành kinh tế càng lớn thì mức độ ANNN của khu vực càng bị ảnh hưởng.

$$Mức\ độ\ KTSD\ của\ các\ ngành\ kinh\ tế = \frac{Tổng\ lượng\ nước\ sử\ dụng\ (m3)}{Tổng\ lượng\ nước\ có\ thể\ ktsd\ (m3)}x100\% \quad (11)$$

b. Chỉ số ANNN liên quan đến ngành nông nghiệp: Các yếu tố ảnh hưởng đến ANNN cho sản xuất nông nghiệp bao gồm mức độ đáp ứng yêu cầu tưới của các công trình thủy lợi và hiệu quả sử dụng nước của ngành nông nghiệp. Vì vậy, ANNN cho sản suất nông nghiệp được biểu thị thông qua hai chỉ số phụ dưới đây.

b.1. Chỉ số ANNN dựa vào mức độ đáp ứng nhu cầu tưới: Mức độ đáp ứng yêu cầu tưới được biểu thị thông qua tỷ lệ phần trăm giữa diện tích được tưới bởi các công trình thủy lợi so với tổng diện tích cần được tưới [6,11]. Tỷ lệ này càng cao thì càng đảm bảo ANNN.

$$Mức\ độ\ đáp\ ứng\ nhu\ cầu\ tưới = \frac{Diện\ tích\ được\ tưới}{Tổng\ diện\ tích\ yêu\ cầu\ được\ tưới}x100\% \quad (12)$$

b.2. Chỉ số ANNN dựa vào hiệu quả sử dụng nước trong ngành nông nghiệp: Hiệu quả sử dụng nước của ngành nông nghiệp được biểu thị thông qua năng suất sử dụng nước của ngành nông nghiệp [6] và bằng tỷ số của tổng giá trị sản phẩm của ngành nông nghiệp với tổng lượng nước sử dụng trong nông nghiệp (USD/m^3). Hiệu quả sử dụng nước càng cao thì mức độ đảm bảo ANNN càng lớn.

$$Năng\ suất\ sử\ dụng\ nước\ trong\ nông\ nghiệp\ = \frac{GDP_{nn}}{W_{nn}} \quad (13)$$

Trong đó GDP_{nn} là tổng giá trị sản phẩm trong vùng của ngành nông nghiệp (USD) và W_{nn} là tổng lượng nước sử dụng trong nông nghiệp (m^3).

c. Chỉ số ANNN liên quan đến ngành giao thông thủy: Chỉ số ANNN cho ngành giao thông thủy được xác định dựa vào thời gian không đảm bảo độ sâu thông thuyền. Do độ sâu mực nước thay đổi theo dọc tuyến sông/kênh nên độ sâu thông thuyền được xác định tại mặt cắt bất lợi nhất, đó là mặt cắt có độ sâu mực nước thấp nhất trên toàn tuyến sông/kênh. Mức độ ANNN đối với giao thông thủy sẽ được xác định trên cơ sở số ngày không đảm bảo lưu thông, nghĩa là số ngày mà độ sâu mực nước trung bình ngày nhỏ hơn độ sâu yêu cầu ứng với cấp kỹ thuật của tuyến sông/kênh. Thời gian không đảm bảo độ sâu thông thuyền càng nhỏ thì an ninh cho ngành giao thông thủy càng lớn.

d. Chỉ số ANNN liên quan đến ngành công nghiệp: Cũng như ngành nông nghiệp, chỉ số ANNN cho sản xuất công nghiệp được được xác định thông qua năng suất sử dụng nước của ngành công nghiệp [6], và bằng tỷ số của tổng giá trị sản phẩm của ngành công nghiệp với tổng lượng nước đã sử dụng cho ngành công nghiệp (USD/m^3). Chỉ số này càng cao thì mức độ đảm bảo ANNN cho ngành công nghiệp càng cao.

$$Hiệu\ quả\ sử\ dụng\ nước\ trong\ ngành\ công\ nghiệp\ = \frac{GDP_{cn}}{W_{cn}} \quad (14)$$

Trong đó GDP_{cn} là tổng giá trị sản phẩm trong vùng của ngành công nghiệp (USD) và W_{cn} là tổng lượng nước sử dụng trong công nghiệp (m^3).

3.4. Nhóm chỉ số liên quan đến các rủi ro thiệt hại do thiên tai

Rủi ro thiệt hại thiên tai do nước gây ra ở các vùng châu thổ bao gồm rủi ro thiệt hại do lũ lụt, hạn hán, sạt lở đất và xâm nhập mặn gây ra. Các rủi ro, thiệt hại do thiên tai gây ra, tùy theo mức độ của nó sẽ tác động tới ANNN của khu vực. Chỉ số ANNN liên quan đến rủi ro thiệt hại do nước gây ra được tổng hợp từ 5 chỉ số phụ sau:

a. Chỉ số ANNN dựa vào khả năng ứng phó thiên tai: Chỉ số này được đánh giá dựa vào tiềm lực kinh tế của người dân trong việc ứng phó với thiên tai và được biểu diễn thông qua mức thu nhập bình quân đầu người GDP (USD/người/năm).

b. Chỉ số ANNN dựa vào rủi ro thiệt hại do hạn hán gây ra: Thiệt hại do hạn hán gây ra có thể đánh giá dựa vào mức độ thiệt hại tính trên đầu người trong một năm (USD/người/năm) và tần suất xuất hiện hạn hán trong năm. Trong điều kiện thiếu thông tin số liệu nêu trên thì tỷ lệ % giữa diện tích bị hạn hán và tổng diện tích đất canh tác sẽ được sử dụng để đánh giá mực độ rủi ro, thiệt hại do hạn hán gây ra [11].

$$Mức\ độ\ rủi\ ro\ thiệt\ hại\ do\ hạn\ hán = \frac{Diện\ tích\ đất\ canh\ tác\ bị\ hạn}{Tổng\ diện\ tích\ đất\ canh\ tác} x100\% \quad (15)$$

c. Chỉ số ANNN dựa vào rủi ro thiệt hại do lũ lụt: Thiệt hại do lũ lụt gây ra có thể đánh giá dựa vào mức độ thiệt hại tính trên đầu người trong một năm (USD/người/năm), tỷ lệ phần trăm giữa diện tích bị lũ lụt và tổng diện tích đất canh tác, tỷ lệ phần trăm số người sống trong vùng ngập lũ so với tổng dân số của vùng, và tần suất xảy ra lũ lụt.

d. Chỉ số ANNN dựa vào rủi ro thiệt hại do xâm nhập mặn: Xâm nhập mặn xảy ra chủ yếu ở các khu vực tiếp giáp trực tiếp với biển và chưa có hệ thống đê bao khép kín. Theo Mùi [16], với độ mặn từ 1 g/L trở xuống sẽ không ảnh hưởng lớn đến sinh hoạt và sản xuất; độ mặn từ 1-3 g/L sẽ ảnh hưởng lớn đến sinh hoạt và sản xuất; độ mặn từ 4 g/L trở lên sẽ không thể dùng được cho sinh hoạt và sản xuất. Thiệt hại do xâm nhập mặn gây ra có thể đánh giá dựa vào mức độ thiệt hại tính trên đầu người trong một năm (USD/người/năm), tỷ lệ phần trăm giữa diện tích bị nhiễm mặn và tổng diện tích đất canh tác, và tần suất xảy ra xâm nhập mặn.

e. Chỉ số ANNN dựa vào rủi ro thiệt hại do sạt lở đất: Sạt lở đất xảy ra chủ yếu tại các khu vực ven sông, làm hư hại các công trình, nhà cửa và sản xuất của người dân. Thiệt hại cho sạt lở đất có thể đánh giá dựa vào mức độ thiệt hại trên đầu người một năm (USD/người/năm).

3.5. Nhóm chỉ số ANNN liên quan đến bảo vệ môi trường và hệ sinh thái

Các hoạt động phát triển trên lưu vực sẽ làm thay đổi chế độ dòng chảy và chất lượng nước của các dòng sông. Ngoài ra, việc xây dựng các con đập thủy điện chắn ngang dòng sông sẽ gây cản trở cho sự di cư của các loài thủy sinh từ vùng châu thổ lên phía thượng nguồn và ngược lại. Những yếu tố này có nguy cơ gây ảnh hưởng rất lớn tới môi trường và hệ sinh thái của các vùng châu thổ. Vì vậy, chỉ số ANNN liên quan đến bảo vệ môi trường, hệ sinh thái sẽ được tổng hợp từ 3 chỉ số phụ sau:

a. Chỉ số ANNN dựa vào mức độ duy trì dòng chảy cho môi trường và hệ sinh thái: Để duy trì môi trường và hệ sinh thái dòng sông, trên thế giới đã đưa ra khái niệm dòng chảy môi trường. Đây là dòng chảy cần được duy trì để đảm bảo sự tồn tại và phát triển bình thường của hệ sinh thái và môi trường dòng sông. Có nhiều phương pháp để xác định dòng chảy môi trường này. Theo phương pháp Tennant của Mỹ, giá trị dòng chảy môi trường được tính theo tỷ lệ phần trăm của lưu lượng dòng chảy trung bình nhiều năm và dòng chảy thực tế của tháng kiệt nhất phải lớn hơn dòng chảy môi trường [16]. Một cách tính khác dựa trên khái niệm đưa ra bởi Ủy hội sông Mê Công quốc tế tại Điều 6 của Hiệp định Mê Công 1995, đó là dòng chảy trên sông phải luôn được duy trì ở mức "Không nhỏ hơn dòng chảy tự nhiên tháng nhỏ nhất chấp nhận được trong từng tháng mùa khô". Giá trị dòng chảy tối thiểu tự nhiên này được tính toán theo Hướng dẫn kỹ thuật thực hiện Thủ tục "Duy trì dòng chảy trên dòng chính" của Ủy hội sông Mê Công quốc tế.

b. Chỉ số ANNN dựa vào kết quả đánh giá chất lượng nước: Chất lượng nước trong vùng có thể đánh giá dựa vào chỉ số chất lượng nước (WQI) và chỉ số này được tính toán theo một trong bốn phương pháp đã được Călmuc và các cộng sự [27] mô tả kỹ lưỡng trong bài báo của mình. Ở Việt Nam, chỉ số WQI được tính theo hướng dẫn của Tổng cục môi trường theo Quyết định số 879/QĐ-TCMT ngày 1 tháng 7 năm 2011 [28]. Mức độ đảm bảo an ninh về chất lượng nước sau đó được phân chia theo giá trị WQI.

c. Chỉ số ANNN dựa vào mức độ ảnh hưởng của phát triển thượng nguồn: Việc gia tăng khai thác sử dụng tài nguyên nước của các dòng sông cho mục tiêu phát triển kinh tế của các quốc gia trong lưu vực, một mặt sẽ mang lại những lợi ích nhất định cho các quốc gia đó, nhưng mặt khác cũng gây ra những tác động tiêu cực tới môi trường và hệ sinh thái cho vùng châu thổ. Các tác động tiêu cực bao gồm thay đổi chế độ dòng chảy, giảm phù sa bùn cát và chất dinh dưỡng, ngăn cản sự di chuyển của các loài thủy sinh. Mức độ tác động của các hoạt động phát triển trên lưu vực đến hệ sinh thái và môi trường dòng sông có thể tính toán thông qua các mô hình toán [29, 30].

3.6. Nhóm chỉ số liên quan đến quản lý TNN và hợp tác quốc tế

Công tác quản lý tài nguyên nước và hợp tác quốc tế đóng vai trò rất quan trọng trong việc đảm bảo ANNN của lưu vực sông xuyên biên giới. Vì vậy, trong Nghiên cứu này, ba chỉ số ANNN được đề xuất, bao gồm chỉ số ANNN dựa vào kết quả quản lý tài nguyên nước ở vùng châu thổ của Việt Nam và Campuchia và chỉ số ANNN dựa vào kết quả hợp tác quốc tế giữa quốc gia có vùng châu thổ và các quốc gia khác trong lưu vực.

a. Chỉ số ANNN dựa vào kết quả quản lý TNN ở Việt Nam và Campuchia: Các nội dung chủ yếu của quản lý tài nguyên nước bao gồm xây dựng và phát triển thể chế chính sách quản lý TNN cho phù hợp để thực hiện QLTHTNN và QLTHLVS, thành lập và vận hành hiệu quả các tổ chức quản lý lưu vực sông; xây dựng nguồn nhân lực đủ năng lực để thực hiện các nội dung của QLTHTNN và QLTHLVS, và tổ chức thực hiện các nội dung quản lý tài nguyên nước trong thực tế.

b. Chỉ số ANNN dựa vào kết quả của hợp tác quốc tế: Các nội dung chủ yếu của hợp tác quốc tế về TNN bao gồm thiết lập các cơ chế hợp tác song phương và đa phương, xây dựng các thể chế và chính sách hợp tác, tổ chức triển khai các chương trình hợp tác nhằm quản lý và phát triển bền vững tài nguyên nước và các tài nguyên liên quan trong lưu vực.

Trên cơ sở đánh giá kết quả thực tế đạt được của công tác quản lý tài nguyên nước tại vùng châu thổ và kết quả hợp tác quốc tế trong khai thác, sử dụng, quản lý và bảo vệ tài nguyên nước trong lưu vực, có thể đưa ra các thang điểm đánh giá các chỉ số ANNN này.

3.7. Chuẩn hóa các chỉ số ANNN

Chuẩn hóa các chỉ số là bước quan trọng của quá trình ra quyết định nhằm chuyển đổi các thành phần được đo lường bằng các đơn vị khác nhau thành một thang đo và đơn vị chung để có thể so sánh được với nhau. Kết quả của việc chuẩn hóa sẽ phản ánh tình trạng và giá trị mong muốn của mỗi chỉ số. Để có thể chuẩn hóa các chỉ số, trước hết trên cơ sở thông tin, số liệu sẵn có đã thu thập được, tiến hành tính toán các thông số một cách định lượng hoặc định tính. Các thông số này sau đó sẽ được chuẩn hóa với thang điểm từ 1 tới 5 thông qua việc sử dụng các kết quả của các nghiên cứu trước đây (nếu có), suy luận lô gíc hoặc tham khảo ý kiến của các chuyên gia, các nhà khoa học. Ví dụ, Ngân hàng Phát triển Châu Á [5] kiến nghị các thang điểm 1, 2, 3, 4, và 5 để đo lường hiệu quả sử dụng nước của ngành công nghiệp, tương ứng với các giá trị là 0-2,1; 2,1-5,5; 5,5-20; 20-50; và > 50 USD/m^3 nước sử dụng. Ở đây cũng cần lưu ý rằng các thang điểm (ngưỡng) này có thể khác nhau khi áp dụng cho các vùng khác nhau, phụ thuộc vào điều kiện cụ thể của từng vùng và thời điểm tính toán các chỉ số ANNN. Ngoài ra, không phải tất cả các chỉ số đã được trình bày trong khung chỉ số sẽ được sử dụng để tính toán ANNN cho vùng châu thổ. Việc lựa chọn chỉ số nào để tính toán hoàn toàn phụ thuộc vào sự sẵn có của thông tin, số liệu của vùng đó.

Tiếp theo, chỉ số của nhóm chỉ số được tính theo phương pháp trọng số trên cơ sở của điểm số của các chỉ số ANNN và được xác định theo công thức sau:

$$WSI_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} v_j WSI_{i,j}}{v} \quad (16)$$

Trong đó WSI_i là chỉ số ANNN của nhóm chỉ số thứ i, $WSI_{i,j}$ là điểm số của chỉ số thứ j của nhóm thứ i, i là số thứ tự của nhóm, j là số thứ tự của chỉ số, m là tổng số chỉ số ANNN của nhóm, v_j là trọng số chỉ số thứ j, và v là tổng trọng số của nhóm chỉ số.

Cuối cùng, chỉ số ANNN cho toàn vùng châu thổ sẽ được tổng hợp từ các chỉ số ANNN của các nhóm chỉ số theo công thức sau:

$$WSI = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i WSI_i}{w} \quad (17)$$

Trong đó WSI là chỉ số ANNN vùng; WSI_i: chỉ số ANNN của nhóm chỉ số thứ i; n là tổng số các nhóm chỉ số; w_i là trọng số của nhóm chỉ số thứ I; và w là tổng trọng số của các nhóm chỉ số ANNN.

Trọng số của các chỉ số hoặc nhóm chỉ số được xác định bằng phương pháp phân tích lô-gíc trên cơ sở đặc điểm và điều kiện của từng vùng châu thổ, kết hợp với tham khảo ý kiến của các chuyên gia, các nhà khoa học. Ngoài ra, cũng có thể tham khảo, sử dụng các trọng số đã được sử dụng bởi các nghiên cứu trước đây.

3.8. Phân cấp mức độ đảm bảo ANNN của các chỉ số

Kết quả tính toán các điểm số về chỉ số ANNN sẽ được sử dụng để đo lường mức độ an ninh nguồn nước cho vùng châu thổ. Theo Abloelnga và các cộng sự [9], mức đảm bảo ANNN được chia thành 5 mức từ 1 đến 5 như ở Bảng 2.

Bảng 2. Phân cấp mức độ đảm bảo ANNN của các chỉ số.

STT	Thang điểm	Mức độ bảo đảm ANNN	Mức độ bảo đảm ANNN của chỉ số
1	< 1,5	Rất thấp	Khu vực có mức độ an toàn rất thấp đối với hầu hết các khía cạnh của an ninh nước. Khu vực bị ảnh hưởng rất nghiêm trọng bởi các vấn đề liên quan đến nước. Ngoài ra, việc quản lý và quản trị tài nguyên nước trong khu vực cũng không hiệu quả.

STT	Thang điểm	Mức độ bảo đảm ANNN	Mức độ bảo đảm ANNN của chỉ số
2	1,5–2,5	Thấp	Khu vực không an toàn đối với hầu hết các khía cạnh của an ninh nước. Khu vực bị ảnh hưởng bởi một số vấn đề liên quan đến nước. Cần tăng cường quản lý và quản trị tài nguyên nước trong khu vực.
3	2,5–3,5	Trung bình	ANNN của khu vực đạt yêu cầu đối với các khía cạnh của ANNN, tuy vẫn còn tồn tại một số vấn đề liên quan đến nước. Đã có các công cụ quản lý và quản trị tài nguyên nước nhưng vẫn chưa thực sự đem lại các kết quả như mong đợi.
4	3,5–4,5	Cao	Khu vực có mức độ an toàn cao đối với hầu hết các khía cạnh của an ninh nước. Hầu như không có bất kỳ vấn đề gì liên quan đến nước trong khu vực. Các công cụ quản lý và quản trị tài nguyên nước đã và đang đem lại hầu hết các kết quả như mong đợi.
5	> 4,5	Rất cao	Khu vực có độ an toàn rất cao đối với tất cả các khía cạnh của an ninh nguồn nước. Không có các vấn đề nào liên quan đến nước trong khu vực. Các công cụ quản lý và quản trị tài nguyên nước đã và đang đem lại các kết quả như mong đợi.

4. Kết luận và kiến nghị

Đánh giá ANNN cho một khu vực là một quá trình phức tạp, đòi hỏi một cách tiếp cận tổng hợp và có hệ thống. Đã có rất nhiều nghiên cứu liên quan đến ANNN, nhưng chưa có một nghiên cứu nào về ANNN cho vùng châu thổ của các lưu vực sông quốc tế. Nghiên cứu này đã lần đầu tiên xây dựng và phát triển một bộ khung chỉ số chung để đánh giá ANNN cho vùng châu thổ sông Mê Công trên cơ sở xem xét tất cả các yếu tố có thể ảnh hưởng đến ANNN của vùng.

Việc đánh giá mức độ đảm bảo ANNN cho bất kỳ vùng châu thổ nào không thể chỉ dựa vào các chỉ số về số lượng và chất lượng nguồn nước mà phải dựa vào 6 nhóm chỉ số liên quan đến nguồn nước, cấp nước sinh hoạt, phát triển các ngành kinh tế, công tác phòng chống rủi ro, thiên tai do nước gây ra, bảo vệ môi trường sinh thái, và quản lý tài nguyên nước. Đặc biệt, đối với các lưu vực sông quốc tế, tỷ lệ nguồn nước đến từ nước ngoài và tình hình hợp tác giữa các quốc gia trong lưu vực đóng vai trò rất quan trọng trong đảm bảo ANNN của vùng. Lưu ý rằng không phải tất cả các chỉ số đã được trình bày trong khung chỉ số sẽ được sử dụng để tính toán ANNN cho vùng châu thổ. Việc lựa chọn chỉ số nào, thông số nào và phương pháp nào để tính toán phụ thuộc hoàn toàn vào sự sẵn có của thông tin, số liệu của vùng nghiên cứu.

Bộ chỉ số được Nhóm tác giả đề xuất trong nghiên cứu này cho phép các nhà hoạch định chính sách, các nhà quản lý và các bên liên quan tiến hành đánh giá và cập nhật tình hình ANNN, xác định các yếu tố ảnh hưởng đến ANNN và đưa ra các giải pháp phù hợp nhằm quản lý hiệu quả và bền vững tài nguyên nước cho các vùng châu thổ. Để có được những quyết sách kịp thời và phù hợp nhằm đảm bảo an ninh nguồn nước cho các vùng châu thổ, Nhóm nghiên cứu đề xuất cần tiến hành đánh giá các chỉ số ANNN thường xuyên (định kỳ 3-5 năm/lần). Để đạt được mục tiêu này, Nhóm nghiên cứu cũng đề xuất cần triển khai xây dựng một chương trình giám sát, đo đạc các thông số liên quan đến các chỉ số ANNN một cách thường xuyên và có hệ thống.

Cuối cùng, khung đánh giá chỉ số ANNN được Nhóm nghiên cứu phát triển là khung chung, có thể áp dụng cho các vùng châu thổ của các lưu vực sông quốc tế khác thông qua việc điều chỉnh các chỉ số trên cơ sở xem xét các điều kiện thực tế của lưu vực.

Đóng góp của các tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: P.T., N.H.P., N.Đ.Đ.; Phương pháp nghiên cứu: T.H.T.; N.Đ.Đ.; V.M.T.; Phân tích, đánh giá kết quả: T.H.T., N.Đ.Đ., V.M.T., N.T.Q.; Viết bản thảo bài báo: T.H.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.H.P.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả gửi lời cảm ơn chân thành tới (i) Bộ Khoa học Công nghệ (thông qua Văn phòng các Chương trình trọng điểm cấp nhà nước và Vụ Khoa học Xã hội, Nhân văn và Tự nhiên) đã hỗ trợ và cấp kinh phí để thực hiện Đề tài độc lập cấp nhà nước (Mã số:

ĐTĐL.CN-48/19, và (ii) Ủy ban nhân dân, các sở, ban, ngành liên quan của các tỉnh đồng bằng sông Cửu Long đã hỗ trợ, cung cấp thông tin trong quá trình thực hiện nghiên cứu.

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. Arab, N.U.; Abubakr, A.; Balkhi, M.H.; Bazaz, A.I.; Yousuf, Z.; Hafeez, M.; Mansoor, A.B.; Razak, N., Ahmad, I. Water security and its scarcity: A review. *Pharma Innovation J.* **2021**, *10(1)*, 217–219.
2. Dennis, L.E.; Grady, C.A. Watery research boundaries: A bibliometric and network science approach to explore gaps and overlaps in water research. *Water Secur.* **2022**, *16*, 100117.
3. Gain, A.K.; Giupponi, C.; Wada, Y. Measuring global water security towards sustainable development goals. *Environ. Res. Lett.* **2016**, *11*, 124015.
4. Global Water Partnership. Assessing water security with appropriate indicators. Proceedings from the GWP workshop, Global Secretariat, Stockholm, Sweden, 2014.
5. Asian Development Bank. Measuring Water Security in Asia and the Pacific. Asian Water Development Outlook, Manila, Philippines, 2014.
6. Makin, I.; Arriens, W.L.; Prudente, N. Indicators for assessing national water security: Asia Water Development Outlook 2013. Proceedings from the GWP workshop: Assessing water security with appropriate indicators, 2013, pp. 53–81.
7. Marttunen, M.; Mustajoki, J.; Sojamo, S.; Ahopelto, L.; Keskinen, M. A Framework for Assessing Water Security and the Water–Energy–Food Nexus: The Case of Finland. *Sustainability* **2019**, *11*, 2900.
8. Koontanakulvong, S.; Doungmanee, P. Thailand's Water Security situation in the context of the world and ASEAN. Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future. Proceedings of the 11th Kovacs Colloquium, Paris, France, 2015.
9. Aboelnga, H.T.; Ribbe, L.; Frechen, F.B.; Saghir, J. Urban Water Security: Definition and Assessment Framework. *Resour.* **2019**, *9*, 178.
10. Jensen, O.; Wu, H. Urban water security indicators: Development and pilot. *Environ. Sci. Policy* **2018**, *83*, 33–45.
11. Babel, M.; Shinede, V.R. A framework for water security assessment at basin scale. *APN Sci. Bull.* **2018**, *8(1)*, 27–32.
12. Teixeira, A.L.F.; Bhaduri, A.; Bunn, S.E.; Ayrimoraes, S.R. Operationalizing Water Security Concept in Water Investment Planning: Case Study of São Francisco River Basin. *Water* **2021**, *13*, 3658.
13. Hatmoko, W.; Firmansyah, R.R.; Fathony, A. Water security of river basins in West Java. *IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci.* **2019**, *419*, 012140.
14. Dong, Q.; Liu, X. Risk assessment of water security in Haihe River Basin. *Water Sci. Eng.* **2014**, *7(2)*, 119–132.
15. Dang, N.M.; Tu, V.T.; Babel, M.S.; Sharma, D. Water security assessment for the Red River Basin, Vietnam. Conference of Water Security and Climate Change in Cologne, 2017.
16. Mùi, N.T. Nghiên cứu an ninh nguồn nước cho phát triển bền vững lưu vực sông Mã. Luận án tiến sỹ kỹ thuật, chuyên ngành môi trường đất, 2018, mã số: 9.44.03.03.
17. Thang, L.V.; Thanh, N.H.; Tuan, N.V. Security for Water Source of Mekong River and Impacts on Vietnam National Security. *Resour. Environ.* **2019**, *9(4)*, 71–79.
18. Hong, V.N.H. Water Security in the Mekong River Basin Challenges, Causes and Solutions. *Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci.* **2020**, *64(1)*, 187–199.

19. Quang, N.M. Đồng bằng sông Cửu Long trước nguy cơ mất an ninh nguồn nước: Những nguyên nhân và thách thức. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Việt Nam* **2020**, tr. 3.
20. Mekong River Commission. State of the Basin Report, 2018.
21. Mekong River Commission and International Centre for Environmental Management. Strategic Environmental Assessment of Hydropower on the Mekong Mainstream, 2010, Vientiane, Lao PDR.
22. UNU. Water Security and the Global Water Agenda. United Nations University Institute for Water, Environment and Health, 2013.
23. Xia, J.; Campana, M.; Jia, S.; Sheng, Z. Introduction to the Featured Collection: Water Security — New Technologies, Strategies, Policies, and Institutions. *J. Am. Water Resour. Assoc*. **2021**, *51(4)*, 527–529.
24. Vachnadze, R. Prioritization of performance measures using analytic hierarchy process. *Int. J. Analytic Hierarchy Process* **2016**, *8(3)*, 490–501.
25. Assefa, Y.T.; Babel, M.S.; Susnik, J.; Shinde, V.R. Development of a Generic Domestic Water Security Index, and its application in Addis Ababa, Ethiopia. Water **2019**, *11*, 37.
26. Oluwasanya, G.; Perera, D.; Qadir, M.; Smakhtin. V. Water Security in Africa: A Preliminary Assessment. United Nations University Institute for Water, Environment and Health, Report Series 13, 2022.
27. Călmuc, V.A.; Călmuc, M.; Ţopa, M.C.; Timofti, M.; Iticescu, C.; Lucian P. Georgescu, L.P. Various methods for calculating the water quality index. Annals of "Dunarea De Jos" University of Galati– Fascicle II, **2018**, *2*, 171–178.
28. Tổng cục môi trường. Quyết định về việc ban hành sổ tay hướng dẫn tính toán chỉ số chất lượng nước, **2011**.
29. Mekong River Commission. Study on Sustainable Management and Development of the Mekong River including Impacts of Mainstream Hydropower Projects, Vientiane, Lao PDR, 2017.
30. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Ủy ban sông Mê Công Việt Nam. Nghiên cứu tác động của các công trình thủy điện trên dòng chính sông Mê Công, 2015.

Development a framework for water security assessment for the Mekong Delta

Truong Hong Tien[1*], Nguyen Đinh Dat[1], Pham Tuong[1], Vu Minh Thien[1], Nguyen Huy Phuong[1], Nguyen Trung Quan[1]

[1] Viet Nam National Mekong Committee, 23 Hang Tre, Ha Noi;
thtien652004@gmail.com; dinhdat143@gmail.com; phamtuong307@gmail.com; vumthien@gmail.com; huyphuongmk@gmail.com; quantnn@gmail.com

Abstract: Ensuring water security for human life and ecosystems becomes the top concern of countries around the world. Many studies on water security at different levels have been conducted, but there is no specific study for a delta of the international river basin such as the Mekong Delta. The objective of this study is to develop an indicator framework for assessment of the water security for the Mekong Delta. The main result of the study is an indicator framework comprizing 6 dimensions on water resources, domestic water supply, water for economic development, water-related disasters, ecological and environment protection, and water governance. The trans-boundary nature of the international water has been carefully integated into the assessment indicators. The water security assessment framework proposed in this study will help policy makers, managers and relevant stakeholders conduct assessment and determine appropriate solutions for ensuring water security for the Mekong Delta of Viet Nam and Cambodia.

Keywords: Water security; Plain; River delta; Ecosystem; Disaster risk; Transboundary.