



Original Article

Applying Fuzzy Analytical Hierarchy Process to Establish Environmental Sustainability Indicators for Water Resources Srepok River Basin, Vietnam

Bui Thi Nuong^{1,2,*}, Bui Khanh Linh³, Vu Quynh Trang¹, Phung Thi Huyen¹,
Bui Thi Phuong Thao⁴, Nguyen Thi Ngoc⁵, Bui Du Duong⁶

¹*Hanoi University of Natural Resources and Environment, 41A Phu Dien, Tu Liem, Hanoi, Vietnam*

²*University of Southampton, University Rd, Southampton SO17 1BJ, UK*

³*Hanoi University of Science and Technology,*

58 Le Thanh Nghi, Bach Khoa, Hai Ba Trung, Hanoi, Vietnam

⁴*Kyoto University, Yoshidahonmachi, Sakyo Ward, Kyoto, 606-8501, Japan*

⁵*University of Houston, Houston, 4800 Calhoun Rd, Houston, TX 77004, USA*

⁶*National Center for Water Resources Planning and Investigation,*

93/95 Vu Xuan Thieu, Sai Dong, Long Bien, Hanoi, Vietnam

Received 14 August 2022

Revised 07 September 2022; Accepted 11 September 2022

Abstract: Vietnam is gifted with a dense network of rivers and abundant water resources. However, the gift along with the limited irrigation system of the country seems putting more pressure on the sustainable management of water resources in river basins. In order to develop a framework for assessing environmental sustainability for water resources in the Srepok River basin in Vietnam (VSRB), this study applied the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (Fuzzy AHP) since this approach has been powerful and appropriate for sustainability assessment studies. The ten core environmental sustainability indicators were developed based on the current issues existing in the VSRB. The study conducted surveys with experts in the water and environment research fields to quantify the importance of these indicators in the goal of sustainably using water resources from the environment point of view. The results of expert consultation showed that the consistency test was at an acceptable level, in arrange of 0.05-0.07, showing that the weights of the indicators calculated from

* Corresponding author.

E-mail address: btnuong@hunre.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4877>

the consistent pairwise comparison matrices were reliable. The derived weights of these 10 proposed environmental sustainability indicators (ESIs) are slightly different, showing that the ESIs were all core indicators for the composite picture of environmental sustainability of water resources in VSRB. The experts pointed out that water quality, ecological limits and the mitigation of natural disasters and floods for the VSRB were the most significant indicators. In order to improve the environmental sustainability of the VSRB, enhancing the water quality, increasing the rice cultivation land exchange, and encouraging the use of water-saving irrigation techniques should be valued.

Keywords: Environmental Sustainability Indicators, Water Resource, Fuzzy AHP, Srepok River Basin, Vietnam.

Áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc mờ để xây dựng bộ chỉ thị bền vững về môi trường của tài nguyên nước lưu vực sông Srêpôk, Việt Nam

Bùi Thị Nương^{1,2,*}, Bùi Khánh Linh³, Vũ Quỳnh Trang¹, Phùng Thị Huyền¹,
Bùi Thị Phương Thảo⁴, Nguyễn Thị Ngọc⁵, Bùi Du Dương⁶

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội,
41A Đường Phú Diễn, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

²Đại học Southampton, University Rd, Southampton SO17 1BJ, Vương quốc Anh

³Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội,
58 Lê Thanh Nghị, Bách Khoa, Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

⁴Đại học Kyoto, Yoshidahonmachi, Sakyo Ward, Kyoto, 606-8501, Nhật Bản

⁵Đại học Houston, Houston, 4800 Calhoun Rd, Houston, TX 77004, Hoa Kỳ

⁶Trung tâm Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước Quốc gia,
93/95 Vũ Xuân Thiều, Sài Đồng, Quận Long Biên, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 14 tháng 8 năm 2022

Chỉnh sửa ngày 07 tháng 9 năm 2022; Chấp nhận đăng ngày 11 tháng 9 năm 2022

Tóm tắt: Việt Nam được tạo hóa ưu ái cho một mạng lưới sông ngòi dày đặc và tài nguyên nước dồi dào. Tuy nhiên đặt trong bối cảnh hệ thống thủy lợi còn nhiều hạn chế, sự ưu ái ấy dường như tạo thêm sức ép lên công tác quản lý bền vững tài nguyên nước lưu vực sông (LVS). Để xây dựng khung đánh giá tính bền vững về môi trường đối với tài nguyên nước ở LVS Srêpôk Việt Nam, nghiên cứu này đã áp dụng quy trình phân tích thứ bậc mờ Fuzzy AHP. Mười chỉ thị bền vững môi trường cốt lõi được phát triển dựa trên tình hình thực tế những vấn đề chính tồn tại trong khu vực nghiên cứu mục tiêu. Nghiên cứu đã tiến hành tham vấn ý kiến các chuyên gia trong ngành nước và môi trường để đánh giá mức độ quan trọng của các chỉ thị này trong mục tiêu khai thác sử dụng nguồn nước bền vững về phương diện môi trường. Kết quả tham vấn chuyên gia cho thấy ma trận kiểm định tính nhất quán của các bước so sánh đạt ở mức chấp nhận được trong khoảng từ 0,05-0,07. Điều đó cho thấy trọng số hay vai trò của các chỉ thị được tính toán từ các ma trận so sánh cặp nhất quán là đáng tin cậy. Theo kết quả tính toán, 10 chỉ thị bền vững về môi trường (ESIs) có trọng số không bằng nhau song sự chênh lệch không nhiều, cho thấy vai trò không có sự khác biệt lớn và đều là những chỉ thị cốt lõi đảm bảo tính bền vững về phương diện môi trường của việc khai thác, sử dụng và bảo tồn tài nguyên nước LVS Srêpôk. Để cải thiện tính bền vững của LVS Srêpôk, cải thiện chất lượng nguồn nước, chuyển đổi diện tích trồng lúa sang các loại cây trồng có nhu cầu sử dụng nước ít hơn, và khuyến khích sử dụng mở rộng hơn các kỹ thuật tưới tiết kiệm nước thay vì kỹ thuật truyền thống cần được coi trọng.

Từ khóa: Chỉ thị bền vững môi trường; Tài nguyên nước; Fuzzy AHP; LVS Srêpôk Việt Nam.

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: btuong@hvnre.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4877>

1. Mở đầu

LVS Mê Công xuyên biên giới, LVS lớn thứ 21 trên thế giới và là một trong những hệ sinh thái đa dạng và năng suất nhất thế giới, hiện đang đối mặt với thách thức to lớn về nước, biến đổi khí hậu (BĐKH), vốn được coi là mối đe dọa cho phát triển bền vững. BĐKH được coi là vấn đề toàn cầu quan tâm và báo cáo của Ủy ban liên chính phủ về BĐKH (IPCC) (2014) nêu rõ các LVS lớn và các khu vực đồng bằng như sông Mê Công đang bị đe dọa đặc biệt như thế nào. Các nghiên cứu về các hệ thống sông khác nhau ở châu Á, châu Phi và châu Âu bao gồm sông Volta, sông Hằng, Brahmaputra, Meghna, Hooghly, Thames và Mahanadi [1-3], các kết quả chung từ các nghiên cứu này cho thấy các chế độ dòng chảy bị thay đổi, với sự gia tăng dòng chảy trong mùa mưa và giảm dòng chảy vào mùa khô, những điều này có thể tạo ra những tác động tiêu cực như thế nào đến chất lượng nước thông qua tác động của việc giảm độ loãng trong thời gian khô hạn. Các vấn đề liên quan đến nước trong LVS Mê Công và đồng bằng của nó đã thu hút sự quan tâm đặc biệt; nghiên cứu của các tác giả [1-4] đều là những ví dụ đã được thực hiện để ước tính mức độ nghiêm trọng của các tác động của cả BĐKH và thay đổi do con người gây ra và đánh giá tính bền vững của các chiến lược thích ứng tiềm năng.

LVS Srêpôk Việt Nam, một trong những phụ lưu chính của sông Mê Công cũng phải đối mặt với hạn hán nghiêm trọng do BĐKH. Nhu cầu nước liên quan đến nông nghiệp trong lưu vực theo đó đã tăng lên đáng kể và hiện chiếm ưu thế (hơn 80%) tổng nhu cầu nước. Trong khi đó, một số nhà máy thủy điện đã được xây dựng ở thượng nguồn, gây ra tàn phá rừng, thay đổi dòng chảy, các đoạn sông chết và sạt lở bờ. Hơn nữa, xem xét điều kiện sống nghèo nàn của cộng đồng địa phương và những khó khăn trong việc đạt được các thỏa thuận chung về nhu cầu quản lý nước giữa các bên liên quan khác nhau, cần phải tìm ra một kế hoạch phát triển phân bổ nước phù hợp không chỉ đáp ứng nhu cầu nước của các bên liên quan mà còn cả yêu cầu để giảm căng thẳng về nước trong LVS Srêpôk.

Xây dựng khung đánh giá tính bền vững của tài nguyên nước được coi là một kỹ thuật hữu ích để giúp những người ra quyết định xác định những hành động mà họ nên hoặc không nên thực hiện trong nỗ lực hiện thực hóa mục tiêu quản lý và sử dụng bền vững tài nguyên nước. Ở đó phát triển bền vững về môi trường đòi hỏi chúng ta duy trì sự cân bằng giữa bảo vệ môi trường tự nhiên với sự khai thác nguồn tài nguyên thiên nhiên phục vụ lợi ích con người. Ở phương diện này, tính bền vững về môi trường của tài nguyên nước LVS Srêpôk được coi là một mục tiêu cần đạt được, câu hỏi đặt ra là làm thế nào để cụ thể hóa mục tiêu chung này thành các hành động rõ hơn và làm thế nào để cung cấp cho người ra quyết định những thông tin đầy đủ để hỗ trợ cho việc ra các quyết định quản lý, nhằm cải thiện tính bền vững về môi trường. Quy trình phân tích thứ bậc AHP và quy trình phân tích thứ bậc mờ Fuzzy AHP, là những phương pháp hữu ích để giải quyết các vấn đề bền vững đa diện và phi cấu trúc [5, 6], thường được sử dụng cho các dự án đánh giá bền vững khác nhau, bao gồm cả các dự án đánh giá tính bền vững lĩnh vực khai thác mỏ [7] và đặc biệt là trong lĩnh vực quản lý tài nguyên nước như đánh giá tính bền vững chất lượng nước, tài nguyên nước khu vực [3, 8], đánh giá bền vững kinh tế và xã hội đối với tài nguyên nước ngầm [8-11]. Do đó trong nghiên cứu này, với mục đích xây dựng bộ chỉ thị bền vững về phương diện môi trường của tài nguyên nước của LVS Srêpôk, phương pháp phân tích thứ bậc AHP và Fuzzy AHP được áp dụng để xây dựng bộ chỉ thị cho lưu vực bởi tính ưu việt của phương pháp này trong rất nhiều lĩnh vực nghiên cứu cũng như lĩnh vực đánh giá sự bền vững. Kết quả từ nghiên cứu này sẽ hỗ trợ công tác quản lý bền vững tài nguyên nước của LVS Srêpôk.

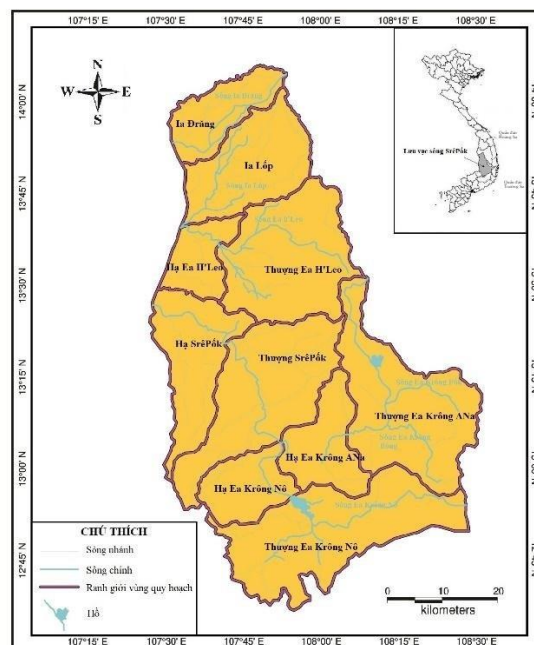
2. Khu vực nghiên cứu

Theo Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước quốc gia (NAWAPI), Tây Nguyên nói chung và LVS Srêpôk nói riêng là một trong những vùng chịu sự tác động lớn của BĐKH.

Với xu hướng lượng mưa tăng cao vào mùa mưa và giảm mạnh vào mùa khô đã dẫn đến tình trạng thiếu nước trầm trọng cho lưu vực nghiên cứu vào mùa khô. Đặc biệt những năm gần đây, diễn biến mưa thất thường đã gây nên tình trạng mùa khô kéo dài, nhiệt độ tăng cao và hạn hán xảy ra thường xuyên trên LVS Srêpôk. Vì LVS Srêpôk là lưu vực kín nên tài nguyên nước mưa sẽ có vai trò quan trọng và là nguồn nước duy nhất để bổ sung và cung cấp nước cho toàn lưu vực [12].

Theo bảng dự báo mưa của các trạm khí tượng tại các tỉnh Gia Lai, Đắk Lắk, Đắk Nông và Lâm Đồng trên LVS Srêpôk cho thấy lượng

mưa vào mùa hè và mùa thu đa phần đều có xu thế tăng so với kịch bản nền 1986-2005, đặc biệt là các giai đoạn sau có xu hướng tăng nhiều hơn các giai đoạn trước. Ngược lại, về mùa Đông, lượng mưa giai đoạn 2016-2035 giảm so với giai đoạn 1986-2005. Tuy nhiên các giai đoạn sau được dự đoán là có xu hướng tăng so với giai đoạn nền 1986-2005 [12]. Tác động trực tiếp và gián tiếp của BĐKH đến tài nguyên nước tại LVS Srêpôk sẽ có thể dẫn đến khan hiếm nguồn nước mặt vào mùa khô. Do thiếu nguồn nước bổ sung nên nước ngầm sẽ bị suy giảm cả lượng và chất.



Hình 1. Bản đồ vùng quy hoạch tổng hợp LVS Srêpôk.

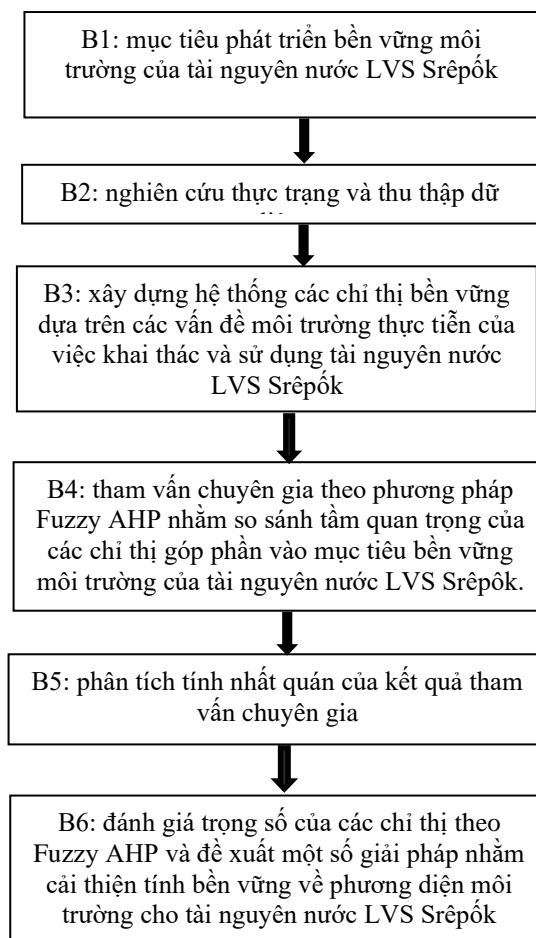
Ngược lại, sự dư thừa nguồn nước mặt vào mùa mưa sẽ gây ra lũ lụt, xói mòn bề mặt và ảnh hưởng xấu đến chất lượng nước mặt và nước ngầm [12]. Tại Gia Lai vào mùa khô các năm gần đây, hầu hết các hồ đập trên địa bàn tỉnh cạn kiệt khiến cho việc sản xuất và sinh hoạt của người dân vô cùng khó khăn. Từ tháng 10 đến cuối tháng 3 hàng năm dù chính quyền địa phương luôn nỗ lực bơm tưới nước cho cây, nhưng các xã trong tỉnh còn nhiều nơi thiếu nước. Thực tế cho thấy kể cả các xã dọc sông Ba vẫn thiếu nước

ở nhiều tháng trong năm. Nhiều diện tích trồng cây cà phê không đủ nước tưới dẫn đến cây bị khô héo mà người dân thì không thể cứu vãn được tài sản của mình do không có nguồn nước dự trữ.

3. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp Fuzzy AHP được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu phục vụ đánh giá tính bền

vững nước của tài nguyên nước. Trong nghiên cứu này, các bước tiến hành áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc mờ Fuzzy AHP được thể hiện trong Hình 2, gồm 6 bước chính từ B1 tới B6. Trong bước B1, mục tiêu phát triển bền vững môi trường của việc khai thác và sử dụng tài nguyên nước LVS Srêpôk được xác định. Thu thập dữ liệu về hiện trạng các vấn đề về môi trường được thực hiện ở bước B2. Từ nền tảng hiện trạng môi trường của việc khai thác và sử dụng tài nguyên nước khu vực nghiên cứu, ta tiến hành thiết lập các chỉ thị trong bước B3. Phương pháp Fuzzy AHP được sử dụng để thiết kế, từ tham vấn chuyên gia để lập các ma trận so sánh cặp các chỉ thị trong cùng một mục tiêu góp phần vào phát triển bền vững về phương diện môi trường ở bước B4. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả thực hiện việc tham vấn ý kiến các chuyên gia đầu ngành về lĩnh vực tài nguyên nước của Việt Nam qua email. Thông tin về các chuyên gia tham gia tham vấn được trình bày trong Bảng A phần phụ lục. Theo phương pháp Fuzzy AHP, các chuyên gia sử dụng các biến theo biểu đạt ngôn ngữ tự nhiên để so sánh giữa hai chỉ thị với nhau: *bằng nhau*, *yếu*, *khá mạnh*, *rất mạnh*, và *tuyệt đối mạnh*. Sau đó phân tích tính nhất quán bằng cách phân tích và kiểm tra tính nhất quán của các ma trận. Khi ma trận so sánh cặp đã nhất quán, tiếp tục tính toán trọng số tương đối của các thành phần trong cây thứ bậc bền vững sử dụng Fuzzy AHP, từ đó sẽ xác định được trọng số tổng thể của các thành phần này. Thang đo chuyển đổi tam giác mờ với 5 biến ngôn ngữ và thang đo đối ứng tam giác mờ tương ứng được thể hiện trong Bảng 1. Xếp hạng *bằng nhau* chỉ ra rằng hai chỉ thị quan trọng như nhau. Xếp hạng *yếu* chỉ ra rằng một chỉ thị này quan trọng hơn một chút so với chỉ thị kia. Xếp hạng *khá mạnh* chỉ ra rằng một chỉ thị này khá quan trọng hơn chỉ thị kia. Xếp hạng *rất mạnh* chỉ ra rằng một chỉ thị này quan trọng mạnh hơn chỉ thị kia. Xếp hạng *tuyệt đối mạnh* chỉ ra rằng một chỉ thị này tuyệt đối quan trọng hơn chỉ thị kia. Mỗi xếp hạng ngôn ngữ được cung cấp một hiệu suất mờ tương ứng và các hiệu suất mờ tương ứng tương ứng dựa trên quy tắc trình bày ở Bảng 1.



Hình 2. Khung áp dụng phương pháp Fuzzy AHP để xây dựng bộ chỉ thị bền vững về môi trường của tài nguyên nước LVS Srêpôk.

Nếu bộ ba (l, m, u) là số mờ, thì đối ứng tương ứng là $(1/u, 1/m, 1/l)$. Trong trường hợp này, m là giá trị trung bình, l là giới hạn dưới, u là giới hạn trên. Số mờ do đó có thể được biểu thị bằng khoảng (l, u) .

$$A = \begin{bmatrix} (1, 1, 1) & (l_{12}, m_{12}, u_{12}) & (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ (l_{21}, m_{21}, u_{21}) & (1, 1, 1) & (l_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (l_{n2}, m_{n2}, u_{n2}) & (1, 1, 1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Ma trận đối ứng A cần được kiểm tra về tính nhất quán; ma trận đối ứng A có tính nhất quán chấp nhận được thì trọng số đưa ra được từ việc tham vấn chuyên gia càng đáng tin cậy. Phương pháp kiểm tra IRCM này được mô tả như sau

[13, 14]: A được coi là đảm bảo tính nhất quán chấp nhận được nếu cả hai ma trận so sánh thành phần, B và C dưới đây là nhất quán. Trong đó:

$$B = (b_{ij})_{n \times n}; C = (c_{ij})_{n \times n} \quad (2)$$

Bảng 1. Thang đo chuyển đổi từ các biến ngôn ngữ so sánh sang số mờ tương ứng [7]

STT	Biến ngôn ngữ	Tỷ lệ chuyển đổi tam giác mờ	Thang đo đối ứng tam giác mờ
1	Bằng nhau	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
2	Yếu	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
3	Khá mạnh	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
4	Rất mạnh	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
5	Tuyệt đối mạnh	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

$$b_{ij} = \{u_{ij} \text{ 1 } l_{ij} \text{ nếu } i < j \text{ nếu } i = j \text{ nếu } i > j \quad (3)$$

$$c_{ij} = \{l_{ij} \text{ 1 } u_{ij} \text{ nếu } i < j \text{ nếu } i = j \text{ nếu } i > j \quad (4)$$

Xét riêng một ma trận thành phần B: RI(B) là giá trị chỉ thị ngẫu nhiên phụ thuộc vào kích thước của B.

$$CI(B) = \frac{(\lambda_{max}^B - n)}{n - 1}; CR(B) = \frac{CI(B)}{RI(B)} \quad (5)$$

Với λ_{max}^B là giá trị riêng lớn nhất của B. Theo Bảng 3, ma trận B được gọi là nhất quán chấp nhận được nếu chỉ thị nhất quán của nó: CR(B) có giá trị nằm trong khoảng cho phép.

Bảng 3. Khoảng giá trị tỷ lệ nhất quán (CR) [13-16]

Kích thước ma trận	3	4	> 4
Khoảng chấp nhận được của CR	(0,0-0,05)	(0-0,08)	(0-0,1)

Trọng số các chỉ thị SIs được tính toán theo phương pháp đề xuất Fuzzy AHP [17]. Đối với mỗi hàng của ma trận (1) đã được thiết lập, có thể tính tổng hàng tương đối như sau.

$$\widetilde{RS}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} = \left(\sum_{j=1}^n l_{ij}, \sum_{j=1}^n m_{ij}, \sum_{j=1}^n u_{ij} \right) \quad i = 1, \dots, n$$

Xác định trọng số cục bộ của từng tiêu chí và các chỉ thị bằng cách tổng hợp từng hàng của ma trận so sánh nhất quán (1) và sau đó chuẩn hóa các tổng hàng để thu được S_i :

$$\begin{aligned} \tilde{s}_i &= \frac{\widetilde{RS}_i}{\sum_{j=1}^n \widetilde{RS}_i} \\ &= \left(\frac{\sum_{j=1}^n l_{ij}}{\sum_{j=1}^n l_{ij} + \sum_{k=1, k \neq i}^n \sum_{j=1}^n u_{kj}} \frac{\sum_{j=1}^n m_{ij}}{\sum_{k=1, k \neq i}^n \sum_{j=1}^n m_{kj}}, \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}}{\sum_{j=1}^n u_{ij} + \sum_{k=1, k \neq i}^n \sum_{j=1}^n l_{kj}} \right) \\ &= (l_i, m_i, u_i) \quad i = 1, \dots, n \quad (7) \end{aligned}$$

Các trọng số được tính toán chuyển đổi các trọng số mờ như sau:

$$w_i = s_i(\tilde{s}_i) = \frac{l_i + m_i + u_i}{3}$$

$$\tilde{S}_i = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) \quad (8)$$

Vectơ trọng số chuẩn hóa là:

$$W = (w'_1, w'_2, \dots, w'_n) \quad (9)$$

Trọng số của từng chỉ thị cho phép nhà quản lý có thêm thông tin về khía cạnh hay hoạt động cụ thể nào có vai trò quan trọng trong việc cải thiện tính bền vững về mặt môi trường cho việc khai thác và sử dụng tài nguyên nước LVS Srêpôk.

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Xây dựng các chỉ thị dựa trên tình hình nước thực tế lưu vực sông Srêpôk

Các chỉ thị về tính bền vững về môi trường của nước tại LVS Srêpôk sẽ được thiết lập dựa trên việc xem xét và đánh giá tất cả các yếu tố liên quan tác động và ảnh hưởng đến môi trường. Các chỉ thị được xây dựng nhằm đảm bảo tính bền vững của môi trường, bằng cách tính đến các đặc điểm của môi trường bao gồm số lượng và

chất lượng nước và tác động của thiên tai đối với môi trường LVS Srêpók.

Srêpók là khu vực chủ yếu phát triển nông nghiệp, lượng nước tưới tiêu rất lớn. Tổng nhu cầu nước cho toàn LVS Srêpók năm 2017 là 2.301,74 triệu m³, trong đó nhu cầu tưới chiếm tỷ trọng cao nhất là 1.946,52 triệu m³ (chiếm 84,57%) [18]. Do đó, chỉ thị SI01 được định nghĩa là “*Một trừ đi Tỷ lệ lượng nước khai thác thực tế và lượng nước thác tiềm năng*” nhằm đánh giá mức độ khai thác nước để đảm bảo khả năng cung cấp đủ nước tưới cho nông nghiệp. Với cách định nghĩa này (Bảng 4), giá trị của chỉ thị SI01 sẽ luôn nằm trong đoạn [0, 1]. Giá trị chỉ thị SI01 tiến về 0 khi lượng nước khai thác thực tế tăng tới mức bằng lượng nước khai thác tiềm năng, đồng nghĩa có dấu hiệu của sự không bền vững về phương diện môi trường vì gây căng thẳng cho nguồn nước. Ngược lại giá trị chỉ thị này tiến tới 1, tức là sự căng thẳng tới nguồn nước càng được giảm, khi giảm tới mức tối đa thì đạt trạng thái bền vững về phương diện môi trường.

Ngoài ra, cần xem xét tổng thể các nguồn nước như sông, suối, ao, đầm, phá và các tầng chứa nước để tính toán các thành phần của lượng nước, từ đó xây dựng các phương án quy hoạch phân bổ nguồn nước phù hợp. Trên cơ sở đó, chỉ thị SI02 được xây dựng nhằm đánh giá tính bền vững của dòng chảy, đảm bảo chế độ cấp nước của sông, duy trì hệ sinh thái và điều tiết khi có cạnh tranh trong sử dụng nước. Nếu Lưu lượng dòng chảy tối thiểu thực tế tại trạm hạ lưu lớn hơn hoặc bằng Lưu lượng dòng chảy môi trường, thì giá trị của chỉ thị sẽ được tính bằng cách lấy một trừ đi tỷ lệ giữa Lưu lượng dòng chảy môi trường và Lưu lượng dòng chảy tối thiểu thực tế tại trạm hạ lưu. Ngược lại nếu Lưu lượng dòng chảy tối thiểu thực tế tại trạm hạ lưu nhỏ hơn Lưu lượng dòng chảy môi trường thì giá trị chỉ thị bằng 0, thể hiện tính bền vững càng thấp.

Theo thực tế, chất lượng nước mặt lưu vực Srêpók từ năm 2002 đến nay bị ô nhiễm bởi các chất hữu cơ, nitrit và nitrat do nước mưa rửa các chất bề mặt theo dòng nước đổ ra sông [19]. Đồng thời chỉ tiêu NO₃⁻ tại một số khu vực có tầng chứa nước ngầm đang vượt quá ngưỡng cho

phép theo QCVN 09-MT:2015/BTNMT ví dụ như tại tiểu lưu vực Ia Đrăng tiểu lưu vực Ea H'leo, tiểu lưu vực Krông Ana,... [18]. Do đó, các chỉ thị chất lượng nước SI03 và SI04 được định nghĩa là “*Một trừ đi tỷ lệ giữa Diện tích khu vực ô nhiễm và Diện tích toàn lưu vực*” đối với từng nguồn nước mặt, nước ngầm nhằm đánh giá ảnh hưởng của ô nhiễm lên tính bền vững về môi trường của LVS. Tương tự như cách phân tích ở chỉ thị SI01, giá trị của chỉ thị tiến về 0 có nghĩa là mức độ ô nhiễm môi trường nước LVS nghiêm trọng trên diện rộng, và ngược lại giá trị của chỉ thị tiến dần về 1 tức là mức độ bền vững chất lượng môi trường nước càng được đảm bảo.

Vào mùa mưa lớn lũ quét, tại LVS Srêpók xảy ra hiện tượng sạt lở đất tại ven sông diễn ra nghiêm trọng làm thu hẹp diện tích đất trồng. Theo VNMC, diện tích sạt lở đất tại các tỉnh trong lãnh thổ LVS ước tính hơn 1.207 ha và diện tích đất bị ảnh hưởng bởi lũ lên đến hơn 30.500 ha (2017). Ngoài ra vào mùa khô, thường xuyên xảy ra hạn hán có cường độ cao. Một số huyện như Kbang, An Khê, Kông Chro, Krông Pa thường xuyên bị hạn hán nặng với quy mô vài nghìn đến trên trăm nghìn hecta mỗi năm, cụ thể năm 2017, tổng diện tích cây trồng hạn hán trong các tỉnh thuộc lãnh thổ LVS ước tính 195.135,4 ha [18]. Vì vậy, ba chỉ thị SI05, SI06, SI07 được xây dựng nhằm đánh giá ảnh hưởng của thiên tai lên tính bền vững về môi trường của LVS. Các chỉ thị này được định nghĩa bằng cách lấy “*Một trừ đi tỷ lệ giữa Diện tích khu vực bị ảnh hưởng bởi thiên tai (sạt lở đất, lũ lụt, hạn hán) và Tổng diện tích LVS*”. Một cách tương tự, các chỉ thị có giá trị tiến dần về 0 thể hiện diện tích và quy mô ảnh hưởng của thiên tai lớn, giá trị tiến về 1 có nghĩa là tác động của thiên tai không ảnh hưởng đến môi trường.

Hiện nay, việc áp dụng kỹ thuật tưới tiết kiệm nước đang được coi là giải pháp đột phá cho cây trồng cạn trong bối cảnh thời tiết ngày càng nắng nóng. Tuy nhiên, tỷ lệ áp dụng tưới kinh tế ở Tây Nguyên nói chung và lưu vực Srêpók nói riêng vẫn thấp hơn các vùng khác. Vì vậy, ba chỉ thị sau liên quan đến giải pháp tiết kiệm nước tưới trên LVS. Chỉ thị SI08 được xác

định là tỷ lệ giữa diện tích đất trồng lúa được chuyển mục đích sử dụng để tiết kiệm nước tưới và diện tích đất trồng lúa có thể chuyển đổi mục đích sử dụng. Chỉ thị SI09 thể hiện tỷ lệ giữa diện tích đất nông nghiệp áp dụng phương pháp tưới tiết kiệm và tổng diện tích đất nông nghiệp toàn lưu vực. Chỉ thị SI10 được xây dựng để đánh giá hiệu quả của kỹ thuật tưới tiết kiệm (Bảng 4).

4.2. Tính toán trọng số các chỉ thị bền vững về phương diện môi trường của tài nguyên nước lưu vực sông Srêpôk

Kết quả kiểm tra tính nhất quán của ma trận đối ứng- kết quả của hàng loạt các so sánh các cặp chỉ thị, cặp chỉ số nhất quán là 0,07 và 0,05 nằm trong khoảng cho phép đối với ma trận kích thước lớn hơn 4 trong Bảng 3. Tính nhất quán chấp nhận được của ma trận đối ứng cho ta kết quả trọng số của các chỉ thị đáng tin cậy.

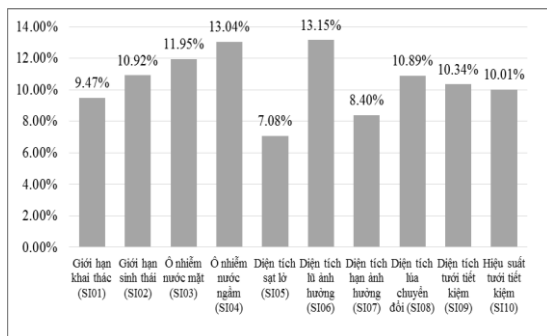
Trọng số của các chỉ thị được trình bày trong Hình 3. Vai trò của các chỉ thị được tính theo tỷ lệ phần trăm của chúng theo đánh giá của các chuyên gia. Có thể thấy tất cả các chỉ thị bền vững về phương diện môi trường đều có trọng số đánh giá khá quan trọng, trên 7%, và độ chênh lệch về trọng số các chỉ thị không lớn. Điều này cho thấy 10 chỉ thị môi trường này đều là các chỉ thị chính của LVS Srêpôk. Trong đó cao nhất là các chỉ thị SI03 (11,95%), SI04 (13,04%) và SI06 (13,15%); điều này cho thấy, các chuyên gia nhận định vai trò rất quan trọng của các chỉ thị về chất lượng nguồn nước và giảm nhẹ ảnh hưởng của thiên tai lũ lụt trong việc tăng cường tính bền vững về phương diện môi trường cho việc khai thác và sử dụng tài nguyên nước khu vực nghiên cứu. Các chỉ thị SI02 (10,92%) cũng là chỉ thị quan trọng không kém so với các chỉ thị cao nhất. Điều đó cho thấy các chuyên gia nhận định vai trò của việc khai thác nước đảm bảo giới hạn sinh thái là quan trọng đối với việc đảm bảo tính bền vững về phương diện môi trường khu vực. Việc đảm bảo giới hạn sinh thái cần được đặc biệt quan tâm khi khai thác nguồn nước, đồng nghĩa với việc tránh khai thác cạn kiệt nguồn tài nguyên này, cần đảm bảo hệ sinh thái tự nhiên của LVS sông.

Bảng 4. Các chỉ thị bền vững môi trường của tài nguyên nước LVS Srêpôk

Chỉ thị	Mô tả chỉ thị
Giới hạn khai thác (SI01)	Một trừ đi tỷ lệ giữa Lượng nước khai thác thực tế và Lượng nước thác tiềm năng.
Giới hạn sinh thái (SI02)	Bảng một trừ đi tỷ lệ giữa Lưu lượng dòng chảy môi trường và Lưu lượng dòng chảy tối thiểu thực tế tại trạm hạ lưu, nếu Lưu lượng dòng chảy tối thiểu thực tế tại trạm hạ lưu \geq Lưu lượng dòng chảy môi trường; Bảng 0, nếu Lưu lượng dòng chảy tối thiểu thực tế tại trạm hạ lưu $<$ Lưu lượng dòng chảy môi trường.
Ô nhiễm nước mặt (SI03)	Một trừ đi tỷ lệ giữa Diện tích nước mặt bị ô nhiễm và Diện tích toàn lưu vực.
Ô nhiễm nước ngầm (SI04)	Một trừ đi tỷ lệ giữa Diện tích nước dưới đất bị ô nhiễm và Diện tích toàn lưu vực.
Diện tích sạt lở (SI05)	Một trừ đi tỷ lệ giữa Diện tích khu vực bị sạt lở và Diện tích toàn lưu vực.
Diện tích lũ ảnh hưởng (SI06)	Một trừ đi tỷ lệ giữa Diện tích khu vực ảnh hưởng bởi lũ lụt và Diện tích toàn lưu vực.
Diện tích hạn ảnh hưởng (SI07)	Một trừ tỷ lệ giữa Diện tích khu vực ảnh hưởng bởi hạn hán và Diện tích toàn lưu vực.
Diện tích trồng lúa chuyên đổi (SI08)	Tỷ lệ giữa Diện tích đất trồng lúa đã được chuyển đổi mục đích sử dụng nhằm tiết kiệm nước tưới và Diện tích đất trồng lúa có thể chuyển đổi mục đích sử dụng.
Diện tích tưới tiết kiệm (SI09)	Tỷ lệ giữa Diện tích đất nông nghiệp áp dụng phương pháp tưới tiết kiệm và Diện tích đất nông nghiệp toàn lưu vực.
Hiệu suất tưới tiết kiệm (SI10)	Hiệu suất của phương pháp tưới tiết kiệm.

Hơn thế nữa thì LVS Srêpôk là lưu vực mà lượng nước dành cho ngành nông nghiệp chiếm

một tỷ lệ rất lớn (trên 80% tổng lượng nước dành cho ngành kinh tế năm 2018). Do đó để đạt được hiệu quả của việc giảm lượng nước sử dụng, chuyên gia nhận định việc chuyển đổi diện tích trồng lúa cũng rất được quan tâm bởi lúa là loại cây trồng yêu cầu sử dụng nhiều nước nhất trong các loại cây trồng (trung bình cần 9700 m³/ha) trong khi hoa màu và các cây lương thực khác trung bình chỉ cần 5000 m³/ha, hoặc café thậm chí chỉ cần chừng 3000 m³/ha. Áp dụng các biện pháp tưới tiết kiệm nhằm tiết kiệm được lượng nước sử dụng mà vẫn đảm bảo năng suất cây trồng là biện pháp đang được khuyến khích tại khu vực này. Vì thế mà ba chỉ thị SI08, SI09, SI10 liên quan khuyến khích áp dụng các giải pháp tăng cường sử dụng kỹ thuật tưới tiết kiệm, chuyển đổi mục đích sử dụng đất từ lúa nước sang các loại hoa màu được nhận định vai trò khá quan trọng trong việc cải thiện tính bền vững về môi trường LVS. Hai chỉ thị SI05 và SI07 có trọng số thấp nhất trong mười chỉ thị chính của phương diện môi trường. Điều này cho thấy, các chuyên gia nhận định vai trò việc sạt lở bờ sông và diện tích hạn hán không thực sự nghiêm trọng ảnh hưởng tới tính bền vững về phương diện môi trường như các vấn đề nổi cộm khác tại khu vực này.



Hình 3. Tương quan trọng số của các chỉ thị bền vững về môi trường.

Đánh giá một cách tổng hợp, cả 10 chỉ thị đều được đánh giá ở mức quan trọng không quá khác biệt, dao động từ mức thấp nhất 7,08% tới mức cao nhất là 13,15% với mức độ trung bình chừng 10,52%. Điều đó một lần nữa cho thấy 10 chỉ thị môi trường được xây dựng trong nghiên

cứu này là các chỉ thị cốt lõi, mô tả được bức tranh tổng thể về sự bền vững về phương diện môi trường cho tài nguyên nước LVS Srêpôk.

5. Kết luận

Để xây dựng khung đánh giá tính bền vững về môi trường đối với tài nguyên nước ở LVS Srêpôk Việt Nam, nghiên cứu này đã áp dụng quy trình phân tích thứ bậc mờ Fuzzy AHP, một trong những phương pháp phù hợp trong các nghiên cứu về đánh giá tính bền vững của tài nguyên nước. Mười chỉ thị bền vững môi trường cốt lõi được phát triển dựa trên tình hình thực tế những vấn đề chính tồn tại trong khu vực nghiên cứu mục tiêu. Nghiên cứu đã tiến hành tham vấn ý kiến các chuyên gia trong ngành nước và môi trường để đánh giá mức độ quan trọng của các chỉ thị này trong mục tiêu khai thác sử dụng nguồn nước bền vững về phương diện môi trường. Kết quả tham vấn chuyên gia cho thấy ma trận kiểm định tính nhất quán của các bước so sánh đạt ở mức chấp nhận được. Điều đó cho thấy trọng số hay vai trò của các chỉ thị được tính toán từ các ma trận so sánh cặp nhất quán là đáng tin cậy. Theo kết quả tính toán từ quy trình này, 10 chỉ thị có trọng số khác nhau song sự chênh lệch không nhiều, cho thấy vai trò không có sự khác biệt lớn và đều là những chỉ thị cốt lõi đảm bảo tính bền vững về phương diện môi trường của việc khai thác, sử dụng và bảo tồn tài nguyên nước LVS Srêpôk. Trong số đó các chuyên gia đặc biệt quan tâm tới chất lượng nguồn nước khai thác, giới hạn sinh thái đảm bảo và việc giảm nhẹ thiên tai lũ lụt cho vùng đất nơi đây. Việc khuyến khích chuyển đổi mục đích sử dụng đất để trồng những loại cây, hoa màu cần lượng nước tưới ít hơn, đồng thời kết hợp với tăng cường sử dụng các hệ thống tưới tiết kiệm, và nâng cao hiệu suất của các biện pháp tưới tiết kiệm được các chuyên gia đánh giá cao bởi nguồn tài nguyên nước rất hạn chế vào mùa khô nơi đây. Kết quả từ nghiên cứu này là nền tảng quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm hỗ trợ nhà quản lý nhìn rõ được vấn đề cần ưu tiên trước tiên đảm bảo bền vững về phương diện môi trường. Để cải thiện tính bền vững của LVS

Srêpôk, cải thiện chất lượng nguồn nước, chuyển đổi diện tích trồng lúa sang các loại cây trồng có nhu cầu sử dụng nước ít hơn, và khuyến khích sử dụng mở rộng hơn các kỹ thuật tưới tiết kiệm nước thay vì kỹ thuật truyền thống cần được coi trọng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 105.08-2020.11. Nhóm tác giả chân thành gửi lời cảm ơn tới các chuyên gia đã đóng góp những ý kiến quý báu để chỉnh sửa bản thảo.

Tài liệu tham khảo

- [1] G. Bussi, S. E. Darby, P. G. Whitehead, L. Jin, S. J. Dadson, H. E. Voepel, G. Vasilopoulos, C. R. Hackney, C. Hutton, T. Berchoux, D. R. Parsons, A. Nicholas, Impact of Dams And Climate Change On Suspended Sediment Flux to the Mekong delta, *Science of the Total Environment*, Vol. 755, No. 1, 2021, pp. 142468, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142468>.
- [2] P. G. Whitehead, L. Jin, G. Bussi, H. E. Voepel, S. E. Darby, G. Vasilopoulos, R. Manley, H. Rodda, C. Hutton, C. Hackney, V. P. D. Tri, N. N. Hung, Water Quality Modelling of the Mekong River Basin: Climate Change and Socioeconomics Drive Flow and Nutrient Flux Changes to the Mekong Delta, *Science of the Total Environment*, Vol. 673, 2019, pp. 218-229, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.315>.
- [3] G. M. Kondolf, R. J. P. Schmitt, P. Carling, S. Darby, M. Arias, S. Bizzi, A. Castelletti, T. A. Cochrane, S. Gibson, M. Kumm, C. Oeurng, Z. Rubin, T. Wild, Changing Sediment Budget of the Mekong: Cumulative Threats and Management Strategies for A Large River Basin, *Science of the Total Environment*, Vol. 625, 2018, pp. 114-134, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.361>.
- [4] A. Chapman, S. Darby, Evaluating Sustainable Adaptation Strategies for Vulnerable Mega-Deltas Using System Dynamics Modelling: Rice Agriculture in the Mekong Delta's An Giang Province, Vietnam, *Science of the Total Environment*, Vol. 559, 2016, pp. 326-338, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.162>.
- [5] A. Boggia, C. Cortina, Measuring Sustainable Development Using A Multi-Criteria Model: A Case Study, *Journal of Environmental Management*, Vol. 91, Iss. 11, 2010, pp. 2301-2306, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.06.009>.
- [6] S. S. Motevallian, M. Tabesh, A. Roozbahani, Sustainability Assessment of Urban Water Supply and Distribution Systems: A Case Study, Zanjan Regional Water Company, The 2nd Research in Water Resources, May 18-19, 2011.
- [7] N. T. Bui, A. Kawamura, K. W. Kim, L. Prathumratana, T. H. Kim, S. H. Yoon, M. Jang, H. Amaguchi, D. D. Bui, N. T. Truong, Proposal of an Indicatorbased Sustainability Assessment Framework for the Mining Sector of APEC Economies, *Resources Policy*, Vol. 52, 2017, pp. 405-417, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.05.005>.
- [8] S. Sun, Y. Wang, J. Liu, H. Cai, P. Wu, Q. Geng, L. Xu, Sustainabilityassessment of Regional Water Resources Under the DPSIR Framework, *Journal of Hydrology*, Vol. 532, 2016, pp. 140-148, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.028>.
- [9] N. T. Bui, A. Kawamura, H. Amaguchi, D. D. Bui, N. T. Truong, H. N. Nguyen, Economic Sustainability Assessment of Groundwater Resources: A Case Study of Hanoi, Vietnam, *Journal of Environmental Science and Engineering* Vol. 6, 2017, pp. 624-633. <https://doi.org/10.17265/2162-5263/2017.12.003>.
- [10] N. T. Bui, A. Kawamura, H. Amaguchi, D. D. Bui, N. T. Truong, K. Nakagawa, Social Sustainability Assessment of Groundwater Resources: A Case Study of Hanoi, Vietnam, *Ecological Indicators*, Vol. 93, 2018, pp. 1034-1042, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.005>.
- [11] N. T. Bui, A. Kawamura, D. D. Bui, H. Amaguchi, D. D. Bui, N. T. Truong, H. H. T. Do, C. T. Nguyen, Groundwater Sustainability Assessment Framework: A Demonstration of Environmental Sustainability Index for Hanoi, Vietnam, *Journal of Environmental Management*, Vol. 241, 2019, pp. 479-487, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.117>.
- [12] NAWAPI, Overview of the Impact of Climate Change on the Srepok River Basin, <http://nawapi.gov.vn/cong-trinh-du-an/nhim-v-chuyen-mon-ang-thc-hin/tng-quan-v-tac-ng-ca-bin-i-khi-hu-n-lu-vc-song-srepok/>, 2018 (accessed on: September 1st, 2022).
- [13] D. Y. Chang, Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, Vol. 95, Iss. 3, 1996, pp. 649-655, [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2).

- [14] F. Liu, Acceptable Consistency Analysis of Interval Reciprocal Comparison Matrices, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol 160, Iss. 18, 2009, pp. 2686-2700, <https://doi.org/10.1016/j.fss.2009.01.010>.
- [15] T. L. Saaty, *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with AHP*, Second ed, RWS Publications, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2000
- [16] E. W. L. Cheng, H. Li, Information Priority-setting For Better Resource Allocation Using Analytic Hierarchy Process (AHP), *Information Management & Computer Security*, Vol. 9, No. 2, 2001, pp. 61-70, <http://dx.doi.org/10.1108/09685220110388827>.
- [17] A. Calabrese, R. Costa, T. Menichini, Using Fuzzy AHP to Manage Intellectual Capital Assets: an Application to the ICT Service Industry, *Expert Systems with Applications*, Vol. 40, Iss. 9, 2013, pp. 3747-3755, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.081>.
- [18] Vietnam National Mekong Committee, Report Explaining The General Planning of Srepok River Basins, 2020 (in Vietnamese).
- [19] Institute of Water Resources Planning, Environmental Status Report – Water Demand For The Environment and the Importance of Maintaining Environmental Flows in the Srepok River Basin, 2013 (in Vietnamese).