

CHỈ SỐ ĐÁNH GIÁ KHAN HIẾM NGUỒN NƯỚC: TỔNG QUAN VÀ PHƯƠNG PHÁP TÍNH

WATER SCARCITY INDICES: REVIEW AND METHODOLOGIES

Mai Thị Thùy Dương^{1*}, Võ Ngọc Dương¹, Trần Thị Việt Nga², Lê Thị Hoàng Diệu³

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

²Trường Đại học Xây dựng

³Quỹ Bảo vệ Môi trường thành phố Đà Nẵng

*Tác giả liên hệ: mttduong@dut.udn.vn

(Nhận bài: 21/6/2021; Chấp nhận đăng: 02/8/2021)

Tóm tắt - An ninh nguồn nước đóng vai trò quan trọng đối với sự phát triển bền vững của một quốc gia. Các chỉ số đo lường về tình trạng khan hiếm nguồn nước đã được phát triển trong nhiều năm qua, từ ngưỡng đơn giản đến phức tạp. Bài báo xem xét các cách tiếp cận phổ biến để đánh giá tình trạng của tài nguyên nước và những tồn tại của các phương pháp tính. Phần lớn các nghiên cứu cũng chỉ đề cập đến các nguồn nước sẵn có, lượng nước khai thác mà bỏ qua biến đổi khí hậu, sự thay đổi điều kiện kinh tế, xã hội, hạ tầng cũng như yêu cầu nước cho môi trường. Nghiên cứu cho rằng, để đánh giá khan hiếm nguồn nước cần: (1) Đánh giá theo quy mô địa phương, lưu vực; (2) Cân quan tâm đến cả tự nhiên và thay đổi hạ tầng trong đánh giá cân bằng cung và cầu; (3) Đo lường khan hiếm nguồn nước được sử dụng làm cơ sở trong việc ra các quyết định về sử dụng, khai thác tài nguyên nước.

Từ khóa - Chỉ số căng thẳng nước; chỉ số khan hiếm nước; lưu trữ nước; tài nguyên nước; yêu cầu nước môi trường

1. Giới thiệu

Nước rất quan trọng đối với an ninh và sự phát triển của 1 quốc gia, là nền tảng cơ bản của sự phát triển bền vững. Rất nhiều tài nguyên thiên nhiên khác như đất đai, rừng, hoặc thủy hải sản sẽ ít được sử dụng nếu con người bị hạn chế tiếp cận với nguồn nước sạch. Tỷ lệ người dân không được tiếp cận với các nguồn nước sạch đã giảm trong những thập kỷ gần đây.

Abstract - Water security plays an important role in the sustainable development of a nation. The metrics of water scarcity and stress have evolved over the years, from simple to complex threshold indicators. This paper reviews the prevailing approaches for assessing the water resources and the shortcomings of methodologies. Most studies only focus on availability of water, water withdrawals, without considering the climate change, the change of the economy, the society, infrastructure as well as environmental water requirements. This study suggests that, in water scarcity assessments, it is necessary to: (1) Assess at local scale, the basin; (2) Consider both nature and infrastructure change to assess water supply and demand balance; (3) Use measurement of water scarcity as a basis of decision-making processes in the use and exploitation of water resources.

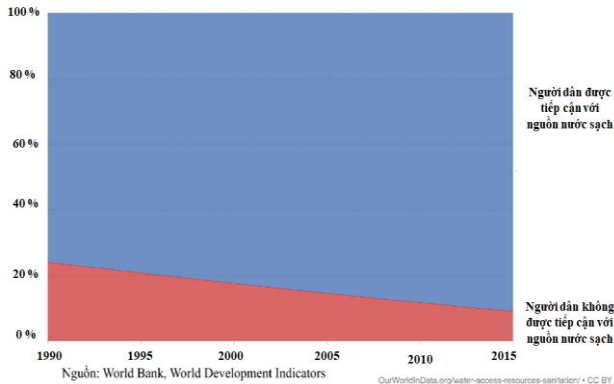
Key words - Water stress index; water scarcity indicator; storage; water resource; environmental water requirements

đã giảm xuống còn 489 triệu người. Tuy nhiên, có những khu vực tỷ lệ số người không được sử dụng nước sạch vẫn tăng ở nhiều khu vực như khu vực châu Phi cận Sahara. Và năm 2020, vẫn còn 2,1 tỷ người (29% dân số thế giới) không được tiếp cận với nguồn nước được quản lý an toàn cả về lưu lượng và chất lượng (World Bank, World Development Indicators).

Dân số toàn cầu ngày càng tăng và sự chuyển dịch kinh tế theo hướng tiêu thụ nhiều tài nguyên hơn, trong đó việc sử dụng nước ngọt toàn cầu - tức là lượng nước ngọt được khai thác phục vụ cho nông nghiệp, công nghiệp và sinh hoạt - Theo số liệu của Chương trình sinh địa quyển quốc tế, lượng nước sử dụng đã tăng gần sáu lần kể từ năm 1900. Điều này được thể hiện trong Hình 2.

Lượng nước ngọt sử dụng trên toàn cầu đã tăng mạnh từ những năm 1950 trở đi, nhưng kể từ năm 2000 dường như đang ở mức cao và sự thay đổi đã bắt đầu chậm lại. Với việc thay đổi hợp lý giá cả sử dụng nước cũng như tác động của việc giáo dục đã làm giảm 20% lượng nước sử dụng ở Israel và giảm lượng nước tiêu thụ ở Úc xuống dưới 140 lít/người/ngày - ít hơn 5 lần so với Mỹ [1].

Tài nguyên nước phân bố không đều trên Trái Đất. Trong khi một số quốc gia nhận được lượng mưa dồi dào, những quốc gia khác có thể rơi vào tình trạng cực kỳ thiếu nước. Nguồn nước không chỉ phân bố không đều về không



Hình 1. Tỷ lệ người dân được và không được tiếp cận nguồn nước sạch trên thế giới

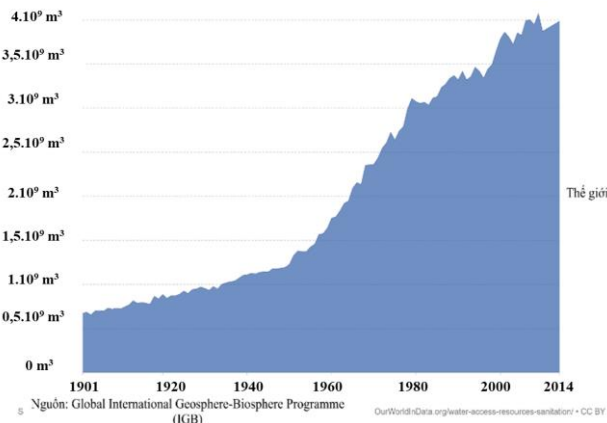
Năm 1990, 1,26 tỷ người trên thế giới không được tiếp cận với nguồn nước uống sạch, đến năm 2020, con số này

¹ The University of Danang - University of Science and Technology (Mai Thị Thùy Dương, Võ Ngọc Dương)

² National University of Engineering (Trần Thị Việt Nga)

³ Danang Environment Protection Fund (Lê Thị Hoàng Diệu)

gian mà còn cả thời gian. Lượng nước thường tập trung vào một khoảng thời gian nhất định trong năm. Mặc dù lượng nước khai thác trên toàn cầu hiện tại thấp hơn nhiều so với lượng nước có sẵn, nhưng vẫn còn hơn hai tỷ người sống ở các khu vực có nhiều áp lực về nước do sự phân bố nguồn nước không đồng đều cả theo thời gian và không gian [2]. Nhu cầu dùng nước ngày càng tăng đòi hỏi phải có sự đánh giá chính xác nhu cầu và nguồn cung cấp nước đối với sự phát triển và ổn định kinh tế, xã hội của đất nước. Sự khan hiếm nước cũng có liên quan chặt chẽ đến nghèo đói, suy dinh dưỡng và việc tiếp cận đầy đủ với nước an toàn vẫn luôn được xem như một quyền của con người.



Hình 2. Biểu đồ về lượng nước sử dụng trên thế giới

Thêm vào đó, hệ sinh thái hay các khu vực tự nhiên ngày càng được đánh giá cao trong việc góp phần ổn định dòng chảy và lưu lượng nước của các con sông, cung cấp nguồn năng lượng sinh học và làm giảm những tác động có hại của biến đổi khí hậu đối với xã hội thông qua các hoạt động của hệ sinh thái. Tuy nhiên, các chức năng này của hệ sinh thái đang bị đe dọa bởi sự thay đổi của quá trình sử dụng, khai thác tài nguyên nước. Ví dụ, tại Hoa Kỳ, việc khai thác thủy văn rộng rãi và sử dụng nước suối tràn lan đã làm thay đổi dòng chảy của sông [3], đe dọa tính bền vững của tài nguyên nước và suy thoái chức năng hệ sinh thái. Những thay đổi về khí hậu trong tương lai sẽ gây thêm áp lực lên nguồn cung cấp nước ngọt. Tác động của các yếu tố gây căng thẳng nguồn nước sẽ thay đổi lớn theo cả thời gian và không gian, gây khó khăn cho việc đánh giá khả năng cung cấp nước trong tương lai, ngay cả với các nước phát triển có nguồn tài chính dồi dào. Các nước đang phát triển phải đối mặt với các vấn đề căng thẳng về nước tương tự như các nước phát triển nhưng với nguồn lực hạn chế để giải quyết những thách thức này.

Các chỉ số đo lường về sự khan hiếm và căng thẳng nguồn nước đã phát triển trong nhiều năm qua, từ các chỉ số ngưỡng đơn giản đến các thước đo tổng thể đặc trưng cho môi trường của con người và tính bền vững của nước ngọt. Sự khan hiếm nước ngọt thường được mô tả như là mối quan hệ qua lại của nguồn nước và số dân sử dụng. Những chỉ số này thường được biểu thị theo lượng nước bình quân đầu người hàng năm và phạm vi đánh giá hầu hết là trên phạm vi quốc gia.

Chỉ số căng thẳng nguồn nước (WSI- Water Stress Index) là chỉ số tính đến nhu cầu sử dụng nước trong sinh hoạt, sản xuất, nông nghiệp và tổng lượng nước bề mặt

cũng như lượng nước để duy trì cân bằng hệ sinh thái [4]. Theo bản đồ rủi ro về nước do Viện Tài nguyên Thế giới phát hành (2019), có 17 quốc gia 'cực kỳ căng thẳng về nước'; 12 trong số 17 quốc gia đó đến từ khu vực Trung Đông và Bắc Phi. Với tài liệu cảnh báo thì biến đổi khí hậu có thể làm phức tạp thêm cuộc khủng hoảng về tài nguyên nước trên thế giới [5].

Tuy nhiên, việc tiếp cận với các công cụ và dữ liệu cần thiết để thực hiện các đánh giá tài nguyên nước như vậy thường bị hạn chế, đặc biệt là ở các nước đang phát triển với năng lực khoa học, công nghệ và kinh phí hạn chế.

2. Tổng quan về chỉ số căng thẳng nguồn nước (WSI)

2.1. Các cách tiếp cận cho việc đo lường tình trạng khan hiếm nguồn nước

Việc đo lường mức độ khan hiếm và căng thẳng nguồn nước không chỉ được đặc trưng bởi tài nguyên nước, nhu cầu dùng nước mà bao gồm thêm cả hai yếu tố: Năng lực của xã hội trong việc thích ứng với mức độ sẵn có của nguồn nước; Tính bền vững về môi trường liên quan đến việc sử dụng nước [4]. Một số cách tiếp cận trong việc đánh giá tính khan hiếm nguồn nước:

2.1.1. Dựa vào nguồn nước ngọt và dân số

Falkenmark và Lindh đã đề xuất một trong những mối liên hệ định lượng đầu tiên giữa nguồn nước ngọt và dân số tại Hội nghị Dân số Thế giới lần thứ ba ở Bucharest năm 1974 [6]. Tuy nhiên, việc định lượng chính thức về tình trạng khan hiếm nước đã bắt đầu vào đầu những năm 1980 với sự phát triển của WSI liên kết rõ ràng giữa an ninh lương thực với nguồn nước ngọt sẵn có [7]. Cách tiếp cận này được sử dụng để kiểm tra tính sẵn có của tài nguyên nước trên toàn cầu nhờ vào các số liệu sẵn có về lưu lượng sông ("dòng chảy sông").

2.1.2. Dựa vào nhu cầu dùng nước cho các hoạt động sinh hoạt cơ bản của con người

Gleick đã phát triển chỉ số căng thẳng nguồn nước như là chỉ số có khả năng đáp ứng tất cả yêu cầu về nước cho các nhu cầu cơ bản của con người như sau: Yêu cầu nước uống tối thiểu (5 lít/người/ngày); Các yêu cầu cơ bản về vệ sinh (20 lít/người/ngày); Yêu cầu nước cơ bản để tắm (15 lít/người/ngày); Yêu cầu cơ bản cho mục đích nấu ăn (10 lít/người/ngày) [8]. Dựa vào các yêu cầu về nước được đề xuất, để đáp ứng các nhu cầu cơ bản của con người, tổng lượng nước đưa ra là 50 lít/người/ngày. Đối với lượng nước trung bình tính cho từng người, cả Falkenmark và Gleick đều phát triển "chỉ số chuẩn" 1.000 m³/người/năm như một tiêu chuẩn đã được Ngân hàng Thế giới chấp nhận [4], [6], [7], [8].

2.1.3. Mối liên hệ về khả năng cấp nước và việc sản xuất lương thực, thực phẩm

Theo tổ chức nông lương thế giới (FAO 2010), khoảng 70% lượng nước khai thác trên thế giới được sử dụng cho mục đích nông nghiệp. Và có sự tồn tại mối quan hệ giữa nguồn nước sẵn có và khả năng sản xuất lương thực, thực phẩm. Đối với các quốc gia hạn chế về nguồn nước ngọt sẵn có thường có tỷ lệ nhập khẩu lương thực lớn để bù đắp cho sự thiếu hụt khả năng sản xuất. Thực phẩm được nhập khẩu vào hầu hết các nước khan hiếm về nguồn nước thường

chiếm ưu thế như là ngũ cốc [9]. Một nghiên cứu khác của Yang và cộng sự cho rằng, với mối tương quan chặt chẽ giữa lượng nguồn nước ngọt sẵn có và số lượng thực phẩm nhập khẩu, việc xây dựng một mô hình để thể hiện chỉ số thiếu hụt nước trong là có thể thực hiện được [10].

Stolpe cũng cho rằng, quá trình xâm nhập mặn, thiếu nguồn nước ngọt sẽ làm gia tăng các vấn đề trong sản xuất nông nghiệp của lưu vực sông Vu Gia – Thu Bồn [11].

2.1.4. Nhu cầu nước cho việc duy trì hệ sinh thái

Hội nghị Dublin năm 1991 kết luận rằng “vi nước duy trì sự sống nên quản lý tài nguyên nước đòi hỏi một cách tiếp cận tổng thể, liên kết giữa phát triển kinh tế và xã hội với bảo vệ các hệ sinh thái tự nhiên” [12]. Sullivan [13] lưu ý rằng, tài nguyên nước ngọt cạn kiệt có liên quan đến suy thoái hệ sinh thái, và do đó, bất kỳ chỉ số nào về khan hiếm nguồn nước cần bao gồm điều kiện duy trì các hệ sinh thái duy trì ở mức độ bền vững. Nhu cầu dùng nước cho việc duy trì hệ sinh thái cũng sẽ thay đổi theo với sự thay đổi của môi trường, của hệ sinh thái, tuy nhiên, phương pháp tiếp cận này phụ thuộc rất nhiều vào sự phát triển của các trọng số tiêu chuẩn được áp dụng cho mỗi biến đã đề cập trước đó.

2.1.5. Tính đến năng lực quản lý nguồn nước của xã hội

Dựa trên chỉ số Falkenmark, năng lực thích ứng của xã hội được Ohlsson [14] xem xét rõ ràng trong chỉ số căng thẳng về nước. Ở đây, chỉ số căng thẳng về nước được cho rằng phân phối nước hợp lý, chính trị hóa và tiếp cận giáo dục là những chỉ số tốt về khả năng của một quốc gia trong việc thích ứng với tình trạng thiếu nước. Để giải thích các yếu tố xã hội này, Ohlsson đã sử dụng chỉ số căng thẳng nguồn nước, trong đó áp dụng Chỉ số Phát triển Con người (HDI), được xác định thông qua tuổi thọ, trình độ học vấn và tổng sản phẩm quốc nội bình quân đầu người (GDP) như một cơ sở cho việc đánh giá khả năng thích ứng với tình trạng thiếu nước, quản lý tài nguyên nước.

2.2. Chỉ số căng thẳng nguồn nước

Kể từ khi có khái niệm về WSI, các lập luận khác nhau đã được đề xuất làm cơ sở cho việc thiết lập các ngưỡng 'căng thẳng về nước' và 'khan hiếm nước'.

2.2.1. Chỉ số Falkenmark

Nhiều giả thiết đã được đưa ra, tuy nhiên cách phân loại tình trạng nguồn nước được chấp nhận và đồng hóa trong các tài liệu chính thống thể hiện trong bảng dưới và chỉ số căng thẳng nguồn nước do Falkenmark phát triển có lẽ là chỉ số áp lực nước được sử dụng rộng rãi nhất. Dựa trên lượng nước sử dụng trên đầu người, điều kiện nước trong một khu vực có thể được phân loại là: Không căng thẳng, căng thẳng, khan hiếm, và rất khan hiếm:

Bảng 1. Tình trạng nguồn nước thô do Falkenmark đề xuất [15]

Chỉ số (m ³ /người/năm)	Tình trạng
> 1700	Không căng thẳng
1000 -1700	Căng thẳng
500- 1000	Khan hiếm
<500	Rất khan hiếm

Việc sử dụng riêng lẻ các nhu cầu là cơ sở cho việc tính toán chỉ số căng thẳng nước Falkenmark và do đó cung cấp

cách phân biệt giữa khan hiếm nước do khí hậu và sự khan hiếm nước do con người gây ra.

2.2.2. Chỉ số dễ bị tổn thương của tài nguyên nước

Chỉ số tính dễ bị tổn thương về tài nguyên nước, đôi khi được gọi là tỷ lệ khai thác so với khả năng cấp nước (WTA - The freshwater Withdrawal – To - Availability), khi đó được phát triển theo tỷ lệ tổng lượng nước khai thác hàng năm so với nguồn nước sẵn có. WTA được tính bằng tỷ lệ của tổng nhu cầu sử dụng nước gồm lượng nước cho các lĩnh vực sinh hoạt (D), công nghiệp (I) và nông nghiệp (A) so với nguồn tài nguyên tái tạo hàng năm (MAR)

$$WTA = \frac{\sum DIA}{MAR} \quad (1)$$

Một quốc gia được coi là khan hiếm nước nếu lượng nước khai thác hàng năm là từ 20 đến 40% nguồn cung cấp hàng năm, và ở mức khan hiếm nghiêm trọng nếu lượng nước khai thác vượt quá 40% [16], [17], [18]. Ngưỡng 40% thường được sử dụng trong các nghiên cứu và được xem là “tỷ lệ tới hạn”, là tỷ lệ khai thác nước cho mục đích sử dụng của con người trên tổng tài nguyên nước tái tạo.

Việc sử dụng MAR để mô tả các nguồn nước ngọt có nghĩa là cách tiếp cận WTA đã bỏ qua sự thay đổi về biến đổi thủy văn, ảnh hưởng của phát triển kinh tế, xã hội đến nguồn nước ngọt. Wada cho rằng, tỷ lệ ngưỡng của WTA là 0,4 tương ứng với ngưỡng WSI là 1700 m³/người/năm, nguồn nước khan hiếm nghiêm trọng khi tỷ lệ trên 0,8 và tương đương với WSI ngưỡng 500 m³/người/năm [19].

Trong nghiên cứu của Hoàng Thị Nguyệt Minh, Nguyễn Ngọc Hà trên lưu vực sông Mã – Việt Nam, dựa vào cách tính của Wada [19] và của Raskin [16], đã đánh giá mức độ căng thẳng nguồn nước lưu vực sông dựa trên việc tính toán, xác định một số chỉ số cụ thể [20]. Qua đó làm rõ bức tranh về mức độ căng thẳng nguồn nước trên lưu vực sông Mã năm 2010 và các năm tiếp theo đến 2020. Điểm căn bản của chỉ số mức độ căng thẳng nguồn nước được sử dụng trong nghiên cứu là tỷ lệ % giữa tổng lượng nước sử dụng (hiện tại) hoặc yêu cầu (tương lai) so với tổng lượng nước hiện có trên mỗi vùng, lưu vực. Kết quả nghiên cứu cho thấy, năm 2020, 6/10 tiểu lưu vực đã rơi vào tình trạng chịu sức ép cao về tài nguyên nước (vượt qua 40% tỷ lệ nước sử dụng/tổng lượng nước sẵn có). Đáng chú ý là so với hiện trạng 2010, đến 2020 tình trạng khan hiếm nước trở nên nghiêm trọng hơn và nhận định đánh giá trên hoàn toàn phù hợp với các công bố trước đó về tình trạng căng thẳng nguồn nước trên lưu vực sông Mã và đã được cập nhật, phân tích, đánh giá một cách chi tiết hóa đến từng tiểu lưu vực và có xem xét dự báo đến năm 2020.

2.2.3. Chỉ số căng thẳng có tính tới năng lực xã hội

"Khả năng thích ứng" được xem xét một cách rõ ràng trong chỉ số căng thẳng về nước xã hội (SWSI) [14]. SWSI cho phép so sánh giá trị giữa WSI2 và SWSI ban đầu sau khi đã tính đến năng lực thích ứng. SWSI được tính như sau:

$$SWSI = \frac{(\text{Chỉ số Falkenmark})^{-1}}{HDI} \times \frac{1}{a} \quad (2)$$

Trong đó, a là đại lượng theo nghiên cứu của Ohlsson [14] được lấy bằng 2. Cuối cùng, giá trị SWSI được so sánh với giá trị HWSI (Chỉ số Căng thẳng Nước Thủy văn -

Tương đương với nghịch đảo chỉ số Falkenmark). Theo phân loại khoảng xếp hạng trong Bảng S2. Ohlsson chỉ ra các quốc gia như Hàn Quốc, Ba Lan, Iran, Anh, Bỉ và Peru, được cho là căng thẳng về nước nếu tính theo HWSI, và là 'tương đối đủ' nếu theo SWSI vì đây là có các quốc gia có giá trị HDI cao, năng lực thích ứng xã hội tốt. Ngược lại, các quốc gia được coi là có khả năng thích ứng thấp hơn như Niger, Burkina Faso, Eritrea và Nigeria chuyển từ "tương đối đủ" sang "căng thẳng về nước".

2.2.4. Chỉ số căng thẳng nguồn nước dựa vào nhu cầu dùng nước

Asheesh đã phát triển một chỉ số khan hiếm để đo lường sự thay đổi về nguồn nước của một khu vực [21]. Tỷ lệ tăng dân số, nguồn nước sẵn có, nước sử dụng cho sinh hoạt, công nghiệp và duy trì hệ sinh thái, tất cả đều được đưa vào chỉ số khan hiếm nước (W_{SCI}). Lượng nước tiêu hao phải được trả lại vào hệ thống để duy trì sự cân bằng giữa nước có sẵn và nhu cầu dùng nước.

$$W_{SCI} = \left[\frac{\alpha}{\left(\frac{100}{100-p}\right)\beta e^{\lambda \Delta t} (\varepsilon + \gamma + \delta) \left(\frac{100}{100-k}\right) + h + b} \right]^{-1} \quad (3)$$

Trong đó:

W_{SCI} : Chỉ số căng thẳng;

α : Đầu vào của hệ thống;

ε : Nhu cầu dùng nước sinh hoạt hằng năm ($m^3/người/năm$);

γ : Nhu cầu cho khu vực xanh, phụ thuộc vào sự gia tăng dân số ($m^3/người/năm$);

δ : Nhu cầu cho nông nghiệp;

λ : Tỷ lệ gia tăng dân số;

Δt : Khoảng thời gian tính toán;

β : Dân số;

h : Lượng nước bốc hơi hằng năm, phụ thuộc vào khí hậu;

b : Nước cần thiết để duy trì môi trường;

k : Lượng nước hao hụt;

p : Nhu cầu nước cho công nghiệp, phụ thuộc cơ cấu quốc gia.

Với cách tính của Asheesh, dữ liệu được sử dụng khá lớn, khó khăn trong việc tính toán và thu thập số liệu.

McNulty đã đề xuất một thuật ngữ thủy văn mới để đánh giá định lượng tương đối độ lớn của cung và cầu nguồn nước [22]. Thuật ngữ mới này là Chỉ số Căng thẳng Cấp nước ($WaSSI$) và tương tự như phương pháp luận WTA:

$$WaSSI_x = \frac{WD_x}{WS_x} \quad (4)$$

Trong đó, WD là nhu cầu nước, nguồn nước thô là WS , và x đại diện cho nguồn cung cấp nước trong hiện tại hoặc tương lai và nhu cầu từ các lĩnh vực môi trường và con người. $WaSSI$ được tính toán cho mỗi lưu vực đầu nguồn và các khu vực nổi bật về căng thẳng nguồn nước thường bị bỏ qua trong các đánh giá ở quy mô lớn hơn. $WaSSI$ có sự khác biệt so với các công cụ đo lường khác đó là tính khả dụng trong đó các yếu tố về nhu cầu nước của con người được đề cập đến. Vì vậy nó là thể có những khu vực có lượng mưa hàng năm cao để có giá trị $WaSSI$ cao.

2.2.5. Chỉ số căng thẳng nguồn nước có tính đến yêu cầu của môi trường

Smakhtin (2005) đã trình bày ước tính về nhu cầu sử dụng nước cho 128 lưu vực sông chính và các khu vực thoát nước trên thế giới [23]. Trong nghiên cứu công nhận các yêu cầu về lượng nước để duy trì hệ sinh thái (EWR) là một thông số quan trọng của nguồn nước ngọt (Công thức 4). Nó chỉ ra rằng, hàng năm có khoảng (20 – 50) % lưu lượng trung bình của các con sông ở các lưu vực khác nhau cần được phân bổ cho các hệ sinh thái phụ thuộc vào nước ngọt để duy trì chúng trong điều kiện hợp lý. Nghiên cứu đã áp dụng chỉ số WSI trong toàn cầu để phân tích đánh giá tài nguyên nước bằng công cụ WaterGAP 2. Các kết quả được sử dụng so sánh với các đánh giá trước đây về tình trạng căng thẳng nước khi bỏ qua EWR (Công thức 5)

$$WSI = \frac{WU}{MAR - EWR} \quad (5)$$

$$WSI = \frac{WU}{MAR} \quad (6)$$

Trong đó: WU : Tổng lượng nước khai thác, sử dụng;

MAR : Tổng lượng nước tái tạo;

EWR : Yêu cầu nước duy trì hệ sinh thái.

Bảng 2. Chỉ số WSI do Smakhtin đề xuất

Chỉ số WSI	Tình trạng
$WSI > 1$	Khan hiếm về nguồn nước thô, khai thác quá mức.
$0,6 \leq WSI < 1$	Bị khai thác ở mức cao, lưu vực căng thẳng.
$0,3 \leq WSI < 0,6$	Bị khai thác ở mức bình thường.
$WSI < 0,3$	Khai thác ở mức nhẹ.

So sánh các bản đồ nhận thấy, nhiều lưu vực có mức độ căng thẳng nước cao hơn khi xem xét yêu cầu về nước cho hệ sinh thái, do đó có được các đánh giá chính xác hơn về tài nguyên nước khu vực.

Nhu cầu về nước của con người và môi trường đều quan trọng, do đó, hai cách tiếp cận được đề xuất để đánh giá tình trạng khan hiếm nước bằng cách sử dụng chỉ số căng thẳng nguồn nước [24]. Trong đó, nhu cầu về nước của con người bao gồm cả yêu cầu nước cho Môi trường là một trong các thành phần ($WSIe1$), ở cách tiếp cận khác, yêu cầu nước cho Môi trường được dự trữ trong nguồn nước sẵn có ($WSIe2$). Kết quả thu được từ nghiên cứu trên cho thấy, việc sử dụng hai cách tiếp cận trong trường hợp đầu nguồn Bang Pakong – Thái Lan, tương ứng góp phần giải thích tình trạng căng thẳng hiện có, đặc biệt là vào mùa khô. Các kết quả căng thẳng được nhận thấy, trong thời gian từ tháng 12 đến tháng 2 đối với cả hai phương pháp đo lượng nước có sẵn ít hơn và yêu cầu nước cho Môi trường cao hơn. Việc đánh giá yêu cầu nước duy trì hệ sinh thái (EWR) trong nghiên cứu này được định lượng theo thời kỳ dòng chảy thấp và cao. Hai cách tiếp cận đều rất hiệu quả để đánh giá sự khan hiếm nước ở lưu vực Bang Pakong. Tuy nhiên, xét về khả năng khan hiếm nước vượt quá ngưỡng tới hạn, việc xem EWR như là một nhu cầu dùng nước làm cho giá trị $WSIe1$ luôn cao hơn $WSIe2$. Tóm lại, ưu tiên phân bổ nước là yếu tố cần cân nhắc để lựa chọn phương pháp tiếp cận. Đối với quan điểm ưu tiên cao hơn cho môi trường ủng hộ việc sử dụng $WSIe2$ để

hoạch định chính sách trong khi mức độ ưu tiên thấp hơn thì sử dụng WSI₁. Trong trường hợp của Thái Lan, cách tiếp cận WSI₂ sẽ được khuyến nghị để đạt EWR là ưu tiên hàng đầu.

3. Thảo luận và đề xuất

Việc phát triển mạnh mẽ cũng như sự đơn giản trong tính toán của WSI ở các nghiên cứu ban đầu, đã góp phần vào việc WSI được áp dụng rộng rãi trong việc mô tả cả nguồn nước ngọt và nhu cầu ở nhiều khu vực.

Từ các cách tiếp cận và các phương pháp tính ở trên cho thấy:

- Các chỉ số WSI, WTA và các chỉ số tổng thể hơn chỉ sử dụng duy nhất về dòng chảy trung bình hàng năm của sông (MARR) để đánh giá, điều này phù nhận sự thay đổi của tài nguyên nước ngọt và không quan tâm đến cả nguồn nước cho hệ sinh thái. Chỉ số này thường được sử dụng trong các đánh giá trên quy mô quốc gia nơi dữ liệu có sẵn và cung cấp kết quả trực quan và dễ hiểu. Tuy nhiên, ở quy mô nhỏ thì thông tin khó tiếp cận, thiếu tính chính xác, thường bỏ qua những khác biệt quan trọng về nhu cầu giữa các quốc gia do văn hóa, lối sống.

- Việc đề cập đến nhu cầu dùng nước cho môi trường trong đánh giá tính căng thẳng của nguồn nước nhằm nâng cao nhận thức về sự cần thiết phải tiến hành đánh giá chi tiết về các dòng chảy môi trường có tính đến các biến về sinh thái. Nhận thức được sự cần thiết phải thiết lập phân bổ nguồn nước cho môi trường và hiểu biết về các mối quan hệ giữa một hệ sinh thái thủy sinh, các dòng chảy cần thiết để duy trì hoạt động của nó. Đây là một bước tiến trong việc sử dụng bền vững tài nguyên nước cho cả con người và hệ sinh thái. Tuy nhiên, đánh giá tình trạng khai thác nước có kể tới nhu cầu cho hệ sinh thái hay là dòng chảy môi trường đã được đề cập tới nhiều nghiên cứu, nhưng với phạm vi quốc gia cũng đã ít nhiều ảnh hưởng đến tính chính xác của kết quả. Năm 2013, Godsken cũng sử dụng chỉ số đánh giá của Smakhtin để đánh giá nguồn nước cho khu vực Copenhagen – Đan Mạch [25]. Nhóm tác giả cũng nhận thấy sự cần thiết của việc giảm quy mô đánh giá căng thẳng nguồn nước, vì ở phạm vi nhỏ hơn có thể tìm thấy rõ ràng mức độ tác động lên các vùng nước địa phương. Nghiên cứu cũng thấy tầm quan trọng của việc phân biệt nước ngầm với nước mặt khi tính toán tác động của việc khai thác nước ngọt. Nước mặt và nước ngầm là hai nguồn tài nguyên khác nhau, không có cùng sự khan hiếm và thậm chí có thể không phục vụ cho cùng đối tượng hoặc cùng mục đích sử dụng. Đồng thời, một số ước tính về EWR, xuất hiện từ đánh giá với phạm vi toàn cầu là quá thô sơ và ít có cơ sở đối với quy mô địa phương.

- Bên cạnh quy mô đánh giá thì việc lưu trữ nước ngọt có nguồn gốc nhân tạo chẳng hạn như đập và hồ chứa, đã được xem xét một cách rõ ràng trong một số đánh giá gần đây dựa trên dòng chảy về sự khan hiếm nước. Những đánh giá này cũng đã đánh dấu một bước tiến quan trọng trong việc tính toán sự khan hiếm nguồn nước, mặc dù vẫn còn bỏ qua sự đóng góp quan trọng của việc lưu trữ nước ngọt phân tán do giếng, đập quy mô nhỏ và từ nước mưa.

Một số đề xuất trong tính toán tình trạng khan hiếm nguồn nước:

- Cần xác định tình trạng khan hiếm ở quy mô lưu vực, địa phương, thay vì quy mô quốc gia như nhiều nghiên cứu trước đây, tránh bỏ qua các tác động cục bộ ảnh hưởng đến kết quả. Và việc đánh giá cần thực hiện hằng năm theo sự thay đổi của khả năng cung cấp và nhu cầu sử dụng nước.

- Trong đánh giá tình trạng khan hiếm nước về lượng nước ngọt dự trữ, cả tự nhiên và xây dựng đều cần thiết để giải quyết tình trạng mất cân bằng trong dòng chảy và cầu hàng năm. Cần phải nhận ra rằng, các biện pháp can thiệp làm giảm nhu cầu nước ngọt (ví dụ như tăng cường sử dụng 'nước xanh' là lượng nước được tích trữ trong đất và trong thực vật) hoặc tăng cơ sở hạ tầng cho tích trữ nước ngọt (ví dụ như xây dựng đập hoặc giếng bơm) ảnh hưởng đến lưu lượng sông mặc dù bản chất và mức độ của những tác động này có thể thay đổi đáng kể.

- Sử dụng các chỉ số về căng thẳng nguồn nước làm cơ sở ban đầu cho việc ra quyết định về việc sử dụng nguồn nước cho phạm vi lưu vực, địa phương và quốc gia.

4. Kết luận

Phương pháp luận được sử dụng để đo lường sự khan hiếm của nguồn nước đã phát triển nhanh trong nhiều năm trở lại đây. Falkenmark là người đã đặt nền tảng quan trọng cho việc xây dựng nhu cầu tiêu thụ nước. Nhiều nghiên cứu sau đã nhận thức được sự gắn kết giữa nhu cầu sử dụng tài nguyên nước và sự gia tăng dân số cũng như tầm quan trọng của sự bền vững sinh thái đối với nguồn nước. Các chỉ số đánh giá tài nguyên nước trong đó chỉ số về căng thẳng nguồn nước đã, đang phát triển và triển khai rộng rãi, phù hợp xu thế chung của thế giới. Các chỉ số sẽ phản ánh tình trạng, tính chất, mức độ đặc trưng tài nguyên nước ở một thời kỳ hoặc thời điểm nhất định. Kết quả chỉ số tài nguyên nước làm cơ sở cho việc xác định tầm nhìn, mục tiêu và kết quả mong muốn đối với công tác quy hoạch, khai thác và quản lý nguồn nước.

Lời cảm ơn: Bài báo này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng với đề tài có mã số: T2021-02-24.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hill, T., & Symmonds, G., "Total Water Management: A Business Model to Ensure Resource Conservation", *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2010 (17), 501 – 515. <https://doi.org/10.2175/193864710798158021>.
- [2] Oki, T., & Kanae, S., "Global hydrological cycles and world water resources", *Science*, 313(5790), 2006, 1068–1072. <https://doi.org/10.1126/science.1128845>
- [3] Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., Lammers, R. B., Douglas, E. M., Green, P. A., & Revenga, C., "Geospatial Indicators of Emerging Water Stress: An Application to Africa", In *Ambio* (Vol. 34, Issue 3), 2005, <http://www.wsag.unh.edu/>
- [4] Damkjær, S., & Taylor, R., The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *Ambio*, 46(5), 2017, 513–531. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0912-z>
- [5] Hofste, R. W., Reig, P., & Schleifer, L., 17 Countries, Home to One-Quarter of the World's Population, Face Extremely High Water Stress. World Resources Institute, 2019, (<https://www.wri.org>), N/A. <https://www.wri.org/print/65485>
- [6] Falkenmark, M., & Lindh, G., "How can we cope with the water resources situation by the year 2015?", *Ambio*, 1974, 3(3–4). <https://doi.org/10.2307/4312063>

- [7] Falkenmark, M., "Fresh water - time for a modified approach", *Ambio*, 1986, 15(4). <https://doi.org/10.2307/4313251>
- [8] Gleick, P. H., "Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs", *Water International*, 21(2), 1996. <https://doi.org/10.1080/02508069608686494>
- [9] Yang, H., & Zehnder, A. J. B., "Water scarcity and food import: A case study for southern Mediterranean countries", *World Development*, 30(8), 2002, [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(02\)00047-5](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(02)00047-5)
- [10] Yang, H., Reichert, P., Abbaspour, K. C., & Zehnder, A. J. B., "A water resources threshold and its implications for food security", *Environmental Science and Technology*, 37(14), 2003. <https://doi.org/10.1021/es0263689>
- [11] Stolpe, H., Führer, N., & Trinh, V. Q., "Land Use Adaption to Climate Change in the Vu Gia–Thu Bon Lowlands: Dry Season and Rainy Season", *Water Resources Development and Management*, 2017, 171–188. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2624-9_11.
- [12] The Dublin Statement and report of Conference, *International Conference on Water and the Environment (ICWE)*, 1992.
- [13] Sullivan, C., "Calculating a Water Poverty Index", *World Development*, 30(7), 2002, [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(02\)00035-9](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(02)00035-9)
- [14] Ohlsson, L., "Water conflicts and social resource scarcity", *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25(3), 2000, [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(00\)00006-X](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(00)00006-X)
- [15] Falkenmark, M., "The massive water scarcity now threatening Africa - why isn't it being addressed?", *Ambio*, 18(2), 1989, <https://doi.org/10.2307/4313541>
- [16] Raskin, P. D., Hansen, E., & Margolis, R. M., "Water and sustainability: Global patterns and long-range problems", *Natural Resources Forum*, 20(1), 1996, 1–15. <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.1996.tb00629.x>
- [17] Alcamo, J., Henrichs, T., & Rösch, T., *World Water in 2025 - Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century*. Kassel World Water Series 2, 2, 2000.
- [18] Rijsberman, F. R., *Water scarcity: Fact or fiction? Agricultural Water Management*, 80(1-3 SPEC. ISS.), 2006, 5–22. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.001>
- [19] Wada, Y., "Human and climate change impacts on global water resources", Ph.D. Thesis, Utrecht, the Netherlands: University of Utrecht, 2013.
- [20] Hoàng Thị Nguyệt Minh, Nguyễn Ngọc Hà, Đánh giá mức căng thẳng nguồn nước lưu vực sông Mã. *Tạp chí khí tượng thủy văn*, 2017, 28–35.
- [21] Asheesh, M., Water gaps connecting neighbours from conflict to co-operation by applying scarcity index. *International Journal of Special Education*, 30(2), 2015, 70–84.
- [22] McNulty, Steve; Cohen, Erika; Sun, Ge; and Caldwell, P., Hydrologic Modeling for Water Resource Assessment in a Developing Country: The Rwanda Case Study. *Forest and the Water Cycle: Quantity, Quality, Management*, 2016, 181–203.
- [23] Smakhtin, V., Revenga, C., & Döll, P., A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity. *Water International*, 29(3), 2004. <https://doi.org/10.1080/02508060408691785>
- [24] Nilsalab, P., & Gheewala, S. H., "Assessing the effect of incorporating environmental water requirement in the water stress index for Thailand", *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 2018, 1–13. <https://doi.org/10.3390/su11010152>
- [25] Godsken, B., Hauschild, M., Rygaard, M., Zambrano, K., & Albrechtsen, H. J., "Life-cycle and freshwater withdrawal impact assessment of water supply technologies", *Water Research*, 47(7), 2013, 2363–2374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.02.005>.