

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ RỦI RO KHAN HIẾM NƯỚC

LÊ VĂN LINH¹, NGUYỄN ĐẠI TRUNG²
NGUYỄN TỬ ANH¹, PHẠM LAN ANH¹

¹ Viện Khoa học tài nguyên nước

² Trường Cao đẳng Công nghệ Kinh tế và Thủy lợi miền Trung

Tóm tắt:

Đánh giá rủi ro khan hiếm nước cần dựa trên các khía cạnh kinh tế, xã hội và môi trường khác nhau. Bài báo đã đưa ra một số phương pháp đánh giá rủi ro khan hiếm nước phổ biến được áp dụng trong các nghiên cứu trên thế giới, bao gồm theo khung đánh giá rủi ro của IPCC (rủi ro khan hiếm nước quốc gia) và dựa trên nước ảo (rủi ro khan hiếm nước khu vực). Rủi ro khan hiếm nước dựa trên khung đánh giá rủi ro của IPCC được cấu tạo từ ba thành phần chính: hiểm họa, mức độ phơi bày và tính dễ bị tổn thương. Rủi ro khan hiếm nước dựa trên nước ảo là khả năng tổn thất sản lượng kinh tế trong một ngành do khan hiếm nước bao gồm tổn thất sản lượng trực tiếp và tổn thất sản lượng gián tiếp thông qua thương mại. Bài viết góp phần làm rõ nội hàm và tác động của khan hiếm nước, đồng thời cung cấp thêm công cụ hỗ trợ tăng cường hiệu quả của các chiến lược quản lý tài nguyên nước, hướng tới phát triển bền vững.

Từ khóa: Chỉ số khan hiếm nước, hiểm họa, mức độ phơi bày, tính dễ bị tổn thương.

Nhận bài: 4/11/2023; Sửa chữa: 24/11/2023;

Duyệt đăng: 22/12/2023.

1. Mở đầu

Nước đóng vai trò quan trọng trong các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội, BVMT và ứng phó với biến đổi khí hậu. Tuy nhiên, nước còn là nguồn tài nguyên hữu hạn và đảm bảo an ninh nước là một trong những thách thức mang tính toàn cầu lớn nhất hiện nay [1]. Tính đến năm 2020, nhu cầu sử dụng nước toàn cầu đã tăng gấp 6 lần trong vòng 100 năm và dự kiến sẽ tiếp tục tăng khoảng 1% mỗi năm do tăng dân số, phát triển kinh tế và thay đổi mô hình tiêu dùng [2]. Hiện nay, khoảng 40% dân số thế giới sống ở những khu vực mà nguồn nước bị phân bổ quá mức do khan hiếm và cạnh tranh. Khoảng 4 tỷ người, chiếm gần 2/3 dân số toàn cầu, gặp phải tình trạng khan hiếm nước trầm trọng trong ít nhất một tháng trong năm

RESEARCH ON METHODS OF WATER SCARCITY RISK ASSESSMENT

Abstract:

The assessment of water scarcity risk requires the examination of diverse economic, social, and environmental factors. This article presents a comprehensive examination of commonly used methodologies for assessing the risk of water scarcity in various global research initiatives. The acquisition of knowledge associated with these methods serves the dual purpose of augmenting comprehension and importance of water scarcity while also providing additional tools to strengthen the effectiveness of water resource management strategies, thus promoting the advancement of sustainable development. Water scarcity risk assessment involves two main approaches: the IPCC risk assessment framework, which primarily evaluates the risk of water scarcity within a nation, and the virtual water-based approach, which primarily assesses the risk of water scarcity at the regional level. The IPCC risk framework consists of three essential components: hazards, exposures, and vulnerabilities. The concept of virtual water-based water scarcity risk refers to the prospective economic consequences faced by industries due to the scarcity of water resources. This impact encompasses both the direct loss of output and the indirect loss of output through trade.

Keywords: *Water scarcity index, hazard, vulnerability, exposure.*

JEL Classifications: Q53, P48.

[3]. Thêm vào đó, ô nhiễm môi trường, đô thị hóa và biến đổi khí hậu đang làm gia tăng và phức tạp hơn tình trạng khan hiếm nước [4].

Khan hiếm nước có thể tác động nghiêm trọng đến nền kinh tế của một khu vực hay quốc gia. Khía cạnh nguy hiểm nhất của khan hiếm nước là tác hại của nó đối với tăng trưởng kinh tế trong tương lai [5]. Dự báo đến năm 2050, chi phí liên quan đến khan hiếm nước của một số khu vực có thể sẽ lên đến khoảng 6% GDP của họ và khiến các khu vực này rơi vào tình trạng tăng trưởng âm liên tục [6]. Nghiên cứu của Alrwis [7] đã đo lường tác động của khan hiếm nước đối với kinh tế nông nghiệp ở Ả Rập Xê Út dựa trên phân tích và kinh tế học để đề xuất ra mô hình hồi quy. Kết quả mô hình đã chỉ ra mỗi 10% thay đổi trong lượng tài



nguyên nước sẵn có tỷ lệ thuận với 0.8% thay đổi sản lượng nông nghiệp và 0.2% thay đổi của GDP [7].

Tuy nhiên, khan hiếm nước không chỉ bắt nguồn từ tình trạng thiếu nước vật lý mà còn từ nhiều yếu tố xã hội khác như quy hoạch và kế hoạch quản lý tài nguyên nước chưa phù hợp, năng lực thể chế hạn chế, các chính sách kinh tế không bền vững, mối quan hệ quyền lực không đồng đều, bất bình đẳng và nghèo đói [8]. Các nghiên cứu về khan hiếm nước đến nay chủ yếu tập trung vào khía cạnh vật lý như tỷ lệ giữa nhu cầu sử dụng nước (phía cầu) [9] và lượng nước sẵn có hoặc lượng nước ngọt có thể tái tạo trên đầu người (phía cung) [10]. Việc đánh giá đầy đủ các khía cạnh vật lý và xã hội rất quan trọng để có được bức tranh tổng thể về khan hiếm nước.

Trong khi đó, đánh giá rủi ro khí hậu hướng đến xác định các tác động có thể xảy ra từ các hiện tượng khí hậu bất lợi. Các đánh giá này thường dựa trên phân tích các yếu tố bên trong của một hệ thống nhất định và các tác động bên ngoài đến hệ thống đó trong các bối cảnh kinh tế, xã hội và môi trường khác nhau. Do vậy, cách tiếp cận đánh giá rủi ro khan hiếm nước được coi là một cách tiếp cận toàn diện và đang thu hút được sự quan tâm của cộng đồng quốc tế.

Mục tiêu của bài báo này là đưa ra được một số phương pháp đánh giá rủi ro khan hiếm nước phổ biến đã và đang được áp dụng cho các nghiên cứu trên thế giới. Những phương pháp này không những góp phần làm rõ nội hàm và tác động của khan hiếm nước mà còn cung cấp thêm công cụ hỗ trợ tăng cường hiệu quả của các chiến lược quản lý tài nguyên nước, hướng tới sự phát triển bền vững.

2. Khái niệm và chỉ số khan hiếm nước

2.1. Định nghĩa khan hiếm nước

Đến thời điểm hiện nay có rất nhiều định nghĩa và cách tiếp cận khác nhau về khan hiếm nước. UN-Water định nghĩa ngắn gọn khan hiếm nước là điểm mà tại đó tác động tổng hợp của tất cả người dùng ảnh hưởng đến việc cung cấp hoặc chất lượng nước theo các thỏa thuận thể chế hiện hành trong chừng mực mà nhu cầu của tất cả các lĩnh vực, bao gồm cả môi trường, không thể được đáp ứng đầy đủ, một khái niệm tương đối có thể xảy ra ở bất kỳ mức cung hoặc cầu nào [11]. FAO có chung cách tiếp cận khi chỉ ra khan hiếm nước có thể xảy ra ở bất kỳ mức độ cung và cầu nào, với nhiều nguyên nhân khác nhau và có khả năng được khắc phục hoặc giảm bớt cho một số mức độ [12]. Theo đó, khan hiếm nước được định nghĩa là sự mất cân bằng giữa cung và cầu nước ngọt trong một khu vực cụ thể (quốc gia, khu vực, lưu vực, lưu vực sông...) do tỷ lệ cầu cao hơn so với nguồn cung sẵn có, theo các quy định thể chế hiện hành (bao gồm cả giá cả) và điều kiện cơ sở hạ tầng. Khan hiếm

được báo hiệu bởi nhu cầu không được thỏa mãn, căng thẳng giữa những người sử dụng, cạnh tranh về nước, khai thác nước ngầm quá mức và không đảm bảo được dòng chảy môi trường.

Một thuật ngữ thường được sử dụng cùng với khan hiếm nước là “thiếu nước”. Thiếu nước được FAO [12] định nghĩa là thiếu nguồn cung cấp nước có chất lượng chấp nhận được; mức cung cấp nước thấp, tại một địa điểm nhất định và thời gian nhất định, so với mức cung cấp thiết kế. Sự thiếu hụt có thể phát sinh từ các yếu tố khí hậu, hoặc các nguyên nhân khác như không đủ nguồn nước, thiếu cơ sở hạ tầng hoặc bảo trì kém; hoặc hàng loạt các yếu tố thủy văn, địa chất thủy văn khác. Trong các nghiên cứu trên thế giới đến nay thường không có sự phân biệt rõ ràng giữa thuật ngữ “khan hiếm nước” và “thiếu nước” do có sự đan xen về nội hàm. Thiếu nước trong phạm vi này được hiểu là thiếu nước tuyệt đối (vật lý) nghĩa là không đủ lượng nước đảm bảo nhu cầu của con người. Khan hiếm nước không chỉ bắt nguồn từ tình trạng thiếu nước vật lý mà từ tác động tổng hợp từ các khía cạnh vật lý và kinh tế - xã hội khác nhau. Ba khía cạnh chính của tình trạng khan hiếm nước thường được tính đến bao gồm [12]:

- Khan hiếm về nguồn nước có chất lượng chấp nhận được đối với nhu cầu tổng hợp, trong trường hợp thiếu nước vật lý;
- Khan hiếm do thiếu cơ sở hạ tầng đầy đủ, bất kể mức độ tài nguyên nước, do các hạn chế về tài chính, kỹ thuật hoặc các hạn chế khác;
- Khan hiếm khả năng tiếp cận các dịch vụ nước do thiếu các thể chế (bao gồm cả các quyền hợp pháp) để đảm bảo cung cấp nước đáng tin cậy, an toàn và công bằng cho người sử dụng.

2.2. Chỉ số khan hiếm nước

Để xác định mức độ khan hiếm nước, các nghiên cứu trên thế giới đã xây dựng chỉ số đo lường mức độ khan hiếm nước, đến nay có rất nhiều chỉ số về khan hiếm nước. Việc định lượng chính thức sự khan hiếm nước đã bắt đầu vào đầu những năm 1980 với sự phát triển của chỉ số căng thẳng về nước (WSI) liên kết rõ ràng an ninh lương thực với nguồn nước ngọt sẵn có [10], [13]. WSI đã trở thành thước đo được áp dụng rộng rãi nhất về tình trạng khan hiếm nước ở cấp khu vực và toàn cầu [14], [15], [16], [17], [18], [19].

Bảng 1. Tình trạng nguồn nước thô

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

Nguồn: [13], [10]

Chỉ số tính dễ bị tổn thương về tài nguyên nước, hay còn 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) [20].

$$WTA = \frac{\sum DIA}{MAR}$$

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], [20], [21].

Smakhtin đã đề xuất chỉ số khan hiếm nước có tính đến lượng nước duy trì hệ sinh thái. Nghiên cứu của Smakhtin chỉ ra việc ước tính nhu cầu nước cho môi trường là một phần không thể thiếu trong các đánh giá và dự báo nước cho sản xuất lương thực toàn cầu [22]. Tính toán mức độ khan hiếm nước theo đề xuất của Smakhtin theo công thức dưới đây:

$$WSI = \frac{WU}{MAR - EWR}$$

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.

Nếu WSI >1 được phân loại là khan hiếm nước, khai thác quá mức; $0.6 \leq WSI < 1$ được phân loại là nước bị khai thác ở mức cao; $0.3 \leq WSI < 0.6$ phân loại là khai thác nước ở mức trung bình; $WSI < 0.3$ được phân loại là khai thác nước ở mức thấp hay lưu vực an toàn nước về môi trường [22].

Trong những năm trở lại đây đã có nhiều cách đánh giá về khan hiếm nước và được phát triển từ các chỉ số đơn giản đến các chỉ số mô tả đặc điểm môi trường và tính bền vững của nước [23]. Các số liệu được ước tính thường sử dụng các số liệu dòng chảy trung bình hàng năm, chưa thể hiện sự biến đổi của thủy văn và các dữ liệu về điều kiện kinh tế - xã hội. Nghiên cứu của Damkjaer và Taylor đã so sánh 2 chỉ số WTA và WSI cho thấy ở hầu hết các quốc gia thuộc châu Phi được đặc trưng là có đủ nước nhưng số quốc gia được định nghĩa là “khan hiếm nước” hoặc “căng thẳng về nước” bằng WSI nhiều hơn gấp đôi so với WTA [23].

Damkjaer và Taylor đã đề xuất ba thay đổi chính đối với đặc điểm của tình trạng khan hiếm nước. Đầu tiên, xác định lại tình trạng khan hiếm nước về nguồn nước ngọt dự trữ, cả trong các cơ sở hạ tầng nước xanh và xám, được yêu cầu để giải quyết tình

trạng mất cân bằng trong dòng cung và cầu hàng năm. Thứ hai, hạn chế mức độ khan hiếm nước về mặt định lượng đối với các thông số vật lý có thể kiểm chứng được mô tả lượng cung và cầu đối với nước ngọt. Thứ ba, sử dụng các mô tả vật lý về tình trạng khan hiếm nước làm điểm khởi đầu cho các quá trình ra quyết định cụ thể mà theo đó các cộng đồng, quận, huyện, lưu vực và quốc gia giải quyết theo yêu cầu lưu trữ định lượng [23].

3. Một số phương pháp đánh giá rủi ro khan hiếm nước

Để đối mặt với tình trạng khan hiếm nước ngày càng có khả năng tăng lên và phức tạp, việc đánh giá rủi ro khan hiếm nước trở nên quan trọng để quản lý tài nguyên nước hiệu quả và đảm bảo phát triển bền vững. Hiện nay có hai phương pháp chính đánh giá rủi ro khan hiếm nước là đánh giá dựa trên tài nguyên nước quốc gia [24], [25], [26], [27] và dựa trên nước ảo [28], [29], [30], [31].

3.1. Đánh giá rủi ro khan hiếm nước theo khung đánh giá rủi ro của IPCC

Các nghiên cứu đánh giá rủi ro khan hiếm nước dựa trên đánh giá rủi ro được đưa ra và đề xuất bởi Ủy ban Liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC). Thông qua phân tích các nghiên cứu liên quan, IPCC đã phát triển khung đánh giá rủi ro, trong đó rủi ro được cấu thành từ ba thành phần: hiểm họa, phơi bày và tính dễ bị tổn thương [32], [33]. Tại Việt Nam đã có hướng dẫn đánh giá rủi ro do biến đổi khí hậu, phương pháp đánh giá này được dựa trên hướng dẫn của IPCC và gồm ba thành phần chính: hiểm họa, phơi bày và tính dễ bị tổn thương [34].

Trong đó, hiểm họa được coi là một sự kiện vật lý tự nhiên hoặc do con người gây ra ví dụ như lũ lụt, sạt lở... Đánh giá mức độ khan hiếm nước đã có nhiều nghiên cứu sử dụng chỉ số khan hiếm nước WSI [26] hay sử dụng các chỉ số hạn khí tượng, chỉ số hạn thủy thủy văn và chỉ số hạn nông nghiệp để đánh giá chỉ số khan hiếm nước [25]. Phơi bày là sự hiện diện của con người, các hoạt động kinh tế - xã hội... ở những nơi có thể chịu ảnh hưởng bất lợi bởi khan hiếm nước. Tính dễ bị tổn thương là mức độ chịu ảnh hưởng của hệ thống tự nhiên, kinh tế, xã hội từ các tác động của hiểm họa (khan hiếm nước) [33]. Tính dễ bị tổn thương bao gồm khả năng thích ứng và độ nhạy cảm đối với các tác động từ khan hiếm nước. Các định nghĩa trên cũng tương tự với các định nghĩa theo hướng dẫn của Việt Nam trong đánh giá rủi ro do biến đổi khí hậu.

Theo đó, rủi ro khan hiếm nước xảy ra do sự kết hợp giữa các yếu tố về sinh thái và xã hội bao gồm hiểm họa, phát triển kinh tế, thay đổi sử dụng đất, dân số và nghèo đói [35]. Các chỉ số đánh giá rủi ro được



lựa chọn trong các thành phần chính trên. Lựa chọn các chỉ số phù hợp trong đánh giá rủi ro khan hiếm nước rất quan trọng nhằm đảm bảo nghiên cứu cung cấp các thông tin đầy đủ về tình hình khan hiếm nước và các tác động của nước đối với các yếu tố khác trong môi trường. Việc lựa chọn chỉ số cũng phải đánh giá, mô tả xu hướng của mức độ rủi ro trong quá khứ và tương lai [26].

Nghiên cứu của Animesh K. Gain và Carlo Giupponi đã lựa chọn 9 chỉ số nhằm đánh giá rủi ro khan hiếm nước cho hạ lưu lưu vực sông Brahmaputra. Hiếm hợa khan hiếm nước đã sử dụng chỉ số khan hiếm nước (WSI) được định nghĩa là tổng lượng nước khai thác trên lượng nước có sẵn [35]. Phơi bày được xem xét tới hai chỉ số “mật độ dân số” và “diện tích rừng lú” vì con người và nông nghiệp là các yếu tố chính phơi nhiễm với tình trạng khan hiếm nước. Với tính dễ bị tổn thương, Gain và Giupponi đã đánh giá gồm 2 thành phần là khả năng thích ứng và khả năng ứng phó [35]. Khả năng thích ứng gồm các chỉ tiêu về quản trị nước tổng hợp, tỷ lệ phần trăm người nghèo và diện tích rừng che phủ. Khả năng ứng phó gồm các chỉ tiêu tỷ lệ lao động trong nông nghiệp, chỉ số sản xuất lương thực và tỷ lệ dân số phụ thuộc và nông nghiệp [35].

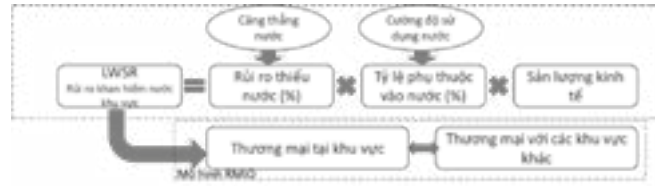
3.2. Đánh giá rủi ro khan hiếm nước dựa trên nước ảo

Sự khan hiếm nước có thể gây ra rủi ro đáng kể cho nền kinh tế toàn cầu [36]. Tài nguyên nước thường được quản lý tại một khu vực, địa phương nhưng tình trạng khan hiếm nước ở địa phương có thể tác động đến các quốc gia khác và các khu vực ở xa [28]. Rủi ro khan hiếm nước là khả năng tổn thất sản lượng kinh tế trong một ngành do khan hiếm nước bao gồm tổn thất sản lượng trực tiếp (rủi ro khan hiếm nước khu vực, LWSR) và tổn thất sản lượng gián tiếp (rủi ro khan hiếm nước ảo, VWSR) [28].

LWSR được định nghĩa là tổn thất tiềm năng về sản lượng kinh tế trong một ngành do bị khan hiếm nước cục bộ bằng cách so sánh lượng nước ngọt tiêu thụ hàng năm, nguồn cung cấp nước mặt và nước ngầm cũng như tổng sản lượng của từng ngành [28] [29]. Tại các khu vực bị căng thẳng về nước, hoạt động kinh tế trong các ngành sử dụng nước có nguy cơ không được cung cấp đủ nước để đáp ứng nhu cầu sản xuất. Khi đó, một phần sản lượng sẽ bị mất đi và quy mô của phần này được xác định bởi mức độ hoạt động phụ thuộc vào tài nguyên nước. Qu Shen và cộng sự đã xây dựng phương trình đánh giá tình trạng khan hiếm nước với khả năng mất sản lượng cho từng ngành kinh tế, cụ thể như sau [29]:

$$LWSR_{k,c} = WDR_c \times WD_k \times x_{k,c}$$

Trong đó $LWSR_{k,c}$ là tổn thất sản lượng trực tiếp do khan hiếm nước của ngành k ở quốc gia c ; WDR_c



▲ Hình 1. Khung đánh giá rủi ro khan hiếm nước cục bộ đến thương mại toàn cầu [29]

là rủi ro thiếu nước ở quốc gia c ; $WD_{k,c}$ là mức độ phụ thuộc vào nước của ngành k ở quốc gia c ; $x_{k,c}$ là sản lượng tham chiếu nếu ngành k trong quốc gia c không thiếu nước.

Nhằm đánh giá những ảnh hưởng của LWSR truyền đến các ngành tiếp theo thông qua việc giảm cung cấp nguyên liệu đầu vào, bằng cách sử dụng một mô hình đầu vào - đầu ra đa khu vực toàn cầu (MRIO) [37]. Xuất khẩu rủi ro khan hiếm nước ảo (VWSR) cho thấy ảnh hưởng của LWSR trong một quốc gia đến các quốc gia khác thông qua hoạt động xuất khẩu. Điều này giúp chúng ta hiểu tầm quan trọng của vấn đề khan nước trong những quốc gia này thông qua mạng lưới thương mại toàn cầu. Nhập khẩu VWSR chỉ ra sự tổn thất của mỗi quốc gia đối với tình trạng khan nước ở các quốc gia nước ngoài thông qua hệ thống thương mại [29].

4. Kết luận

Khan hiếm nước không chỉ bắt nguồn từ tình trạng thiếu nước vật lý mà từ tác động tổng hợp tới các khía cạnh vật lý và kinh tế - xã hội khác nhau. Nghiên cứu về rủi ro khan hiếm nước đang ngày càng trở nên quan trọng trong bối cảnh ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và nhu cầu sử dụng nước của con người tăng lên. Có hai phương pháp chính đánh giá rủi ro của khan hiếm nước là dựa trên đánh giá rủi ro và dựa trên nước ảo. Rủi ro khan hiếm nước dựa trên đánh giá rủi ro được cấu tạo từ ba thành phần chính: hiếm hợa, mức độ phơi nhiễm và tính dễ bị tổn thương. Rủi ro khan hiếm nước dựa trên nước ảo là khả năng tổn thất sản lượng kinh tế trong một ngành do khan hiếm nước bao gồm tổn thất sản lượng trực tiếp và tổn thất sản lượng gián tiếp thông qua thương mại. Việc đánh giá rủi ro khan hiếm giúp chúng ta nhìn thấy những tác động của khan hiếm đến kinh tế - xã hội, là cơ hội để phòng ngừa các ảnh hưởng có thể xảy ra giúp đưa ra các kế hoạch, chiến lược quản lý hiệu quả, hướng tới sự phát triển bền vững.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn đề tài: “Nghiên cứu xây dựng mô hình đánh giá, dự báo tổn thất và thiệt hại do khan hiếm nước tại lưu vực sông, áp dụng thí điểm cho lưu vực sông Srepok”, mã số: TNMT.2023.562.01 đã hỗ trợ nghiên cứu này■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. World Water Assessment Programme, "Water in a changing world," UNESCO and Earthscan, Paris and London, 2009.
2. U. N. Water, "Water and climate change," United Nations World Water Dev. Rep., 2020.
3. M. M. Mekonnen and A. Y. Hoekstra, "Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity," *Sci. Adv.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–7, 2016, doi: 10.1126/sciadv.1500323.
4. S. N. Gosling and N. W. Arnell, "A global assessment of the impact of climate change on water scarcity," *Clim. Change*, vol. 134, no. 3, pp. 371–385, 2016, doi: 10.1007/s10584-013-0853-x.
5. A. S. Guarino, "The Economic Implications of Global Water Scarcity," *Res. Econ. Manag.*, vol. 2, no. 1, p. 51, 2017, doi: 10.22158/rem.v2n1p51.
6. World Bank, "High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy," 2017.
7. K. N. Alrwis, A. M. Ghanem, O. S. Alnashwan, A. A. M. Al Duwais, S. A. B. Alaagib, and N. M. Aldawdahi, "Measuring the impact of water scarcity on agricultural economic development in Saudi Arabia," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 28, no. 1, pp. 191–195, 2021, doi: 10.1016/j.sjbs.2020.09.038.
8. K. Watkins, "Human Development Report 2006-Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis," UNDP Hum. Dev. Reports, 2006.
9. C. J. Vörösmarty, E. M. Douglas, P. A. Green, and C. Revenga, "Geospatial indicators of emerging water stress: an application to Africa," *AMBIO A J. Hum. Environ.*, vol. 34, no. 3, pp. 230–236, 2005.
10. M. Falkenmark, "The massive water scarcity now threatening Africa: Why isn't it being addressed?," *Ambio*, vol. 18, pp. 112–118, 1989.
11. UN-Water, *The United Nations World Water Development Report 2: water, a shared responsibility*, vol. 2. 2006.
12. FAO, *Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security*. 2012.
13. M. Falkenmark, "Fresh water: Time for a modified approach," *Ambio*, vol. 15, pp. 192–200, 1986.
14. Y. Wada, "Human and climate impacts on global water resources." University Utrecht, 2013.
15. C. Vorosmarty, P. Green, J. Salisbury, and R. Lammers, "Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth," *Science (80-.)*, vol. 289, p. 284, Jul. 2000, doi: 10.1126/science.289.5477.284.
16. J. Alcamo et al., "Global Estimates of Water Withdrawals and Availability Under Current and Future 'Business-as-Usual' Conditions," *Hydrol. Sci. Journal-Journal Des Sci. Hydrol.*, vol. 48, pp. 339–348, May 2003, doi: 10.1623/hysj.48.3.339.45278.
17. N. W. Arnell, "Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 14, no. 1, pp. 31–52, 2004, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2003.10.006>.
18. Y. Wada, L. P. H. Beek, and M. F. P. Bierkens, "Modelling global water stress of the recent past: On the relative importance of trends in water demand and climate variability," *Hydrol. Earth Syst. Sci. - HYDROL EARTH SYST SCI*, vol. 15, pp. 3785–3805, Dec. 2011, doi: 10.5194/hessd-8-7399-2011.
19. J. Schewe et al., "Multimodel assessment of water scarcity under climate change," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 111, no. 9, pp. 3245–3250, 2013, doi: 10.1073/pnas.1222460110.
20. P. D. Raskin, E. Hansen, and R. M. Margolis, "Water and sustainability," *Nat. Resour. Forum*, vol. 20, no. 1, pp. 1–15, Feb. 1996, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.1996.tb00629.x>.
21. F. R. Rijsberman, "Water scarcity: Fact or fiction?," *Agric. Water Manag.*, vol. 80, no. 1, pp. 5–22, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.001>.
22. V. Smakhtin, C. Revenga, and P. Doell, "A Pilot Global Assessment of Environmental Water Requirements and Scarcity," *Water Int. - WATER INT*, vol. 29, pp. 307–317, Sep. 2004, doi: 10.1080/02508060408691785.
23. S. Damkjaer and R. Taylor, "The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator," *Ambio*, vol. 46, no. 5, pp. 513–531, 2017, doi: 10.1007/s13280-017-0912-z.
24. P. B. Sayers et al., "Drought risk management: a strategic approach," *Publ.*, 2016.
25. F. R. Thomaz, M. G. Miguez, J. G. de Souza Ribeiro de Sá, G. W. de Moura Alberto, and J. P. M. Fontes, "Water Scarcity Risk Index: A Tool for Strategic Drought Risk Management," *Water (Switzerland)*, vol. 15, no. 2, 2023, doi: 10.3390/w15020255.
26. A. K. Gain and C. Giupponi, "A dynamic assessment of water scarcity risk in the Lower Brahmaputra River Basin: An integrated approach," *Ecol. Indic.*, vol. 48, pp. 120–131, 2015, doi: 10.1016/j.ecolind.2014.07.034.
27. O. D. Cardona et al., "Determinants of risk: exposure and vulnerability," in *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change*, Cambridge University Press, 2012, pp. 65–108.
28. H. Zhao et al., "Virtual water scarcity risk in China," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 160, no. April, p. 104886, 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.104886.
29. S. Qu et al., "Virtual Water Scarcity Risk to the Global Trade System," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 52, no. 2, pp. 673–683, 2018, doi: 10.1021/acs.est.7b04309.
30. X. Chen, B. Zhao, C. Shuai, S. Qu, and M. Xu, "Global spread of water scarcity risk through trade," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 187, p. 106643, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106643>.
31. H. Zhao, S. Qu, S. Guo, H. Zhao, S. Liang, and M. Xu, "Virtual water scarcity risk to global trade under climate change," *J. Clean. Prod.*, vol. 230, pp. 1013–1026, 2019.
32. IPCC, "Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.," Cambridge University Press, Cambridge and New York, 2012. doi: 10.1017/CBO9781139177245.009.