



ĐÁNH GIÁ RỦI RO HẠN HÁN TỔNG HỢP CHO LƯU VỰC SÔNG BA, VIỆT NAM

ĐỖ THỊ NGỌC BÍCH¹, NGUYỄN TÚ ANH¹, LÊ VĂN LINH¹, HOÀNG THỊ THẢO¹,
HOÀNG BÍCH NGỌC¹, NGUYỄN HOÀNG BÁCH¹, NGUYỄN THÀNH LONG¹, LÊ THU HÀ¹

¹Viện Khoa học tài nguyên nước

Tóm tắt

Hạn hán là một trong những thiên tai phức tạp và khó đánh giá do tính ngẫu nhiên, phạm vi ảnh hưởng rộng và sự lan truyền qua nhiều thành phần của hệ thống thủy văn. Nghiên cứu này đề xuất và ứng dụng một khung đánh giá rủi ro hạn hán tổng hợp cho lưu vực sông Ba. Cách tiếp cận này kết hợp đồng thời ba loại hạn (khí tượng, nông nghiệp và thủy văn) và xem xét quá trình lan truyền hạn. Chỉ số hiểm họa (DHI) được tính toán liên tục theo chuỗi tháng giai đoạn 1980–2023. Chỉ số này được kết hợp với chỉ số dễ bị tổn thương (DVI), được xây dựng từ các chỉ thị kinh tế - xã hội, để hình thành chỉ số rủi ro tổng hợp (DRI). Từ chuỗi dài hạn, bốn năm điển hình (2015, 2016, 2019 và 2020) trong mùa cạn (tháng I–IV) được lựa chọn để phân tích chi tiết. Kết quả cho thấy các điểm nóng rủi ro chủ yếu tập trung ở khu vực hạ lưu, nơi vừa có mức hiểm họa cao vừa có tính dễ bị tổn thương lớn. Hạn hán trong giai đoạn 2015–2016 tập trung mạnh ở các huyện trung và hạ lưu, với nhiều khu vực đạt mức rủi ro cao. Ngược lại, giai đoạn 2019–2020 có sự phân bố rủi ro rải rác hơn, chủ yếu tại một số huyện thượng lưu và trung du, với mức độ từ trung bình đến cao. Cách tiếp cận này khắc phục hạn chế của các chỉ số đơn biến và cung cấp bức tranh toàn diện hơn về rủi ro hạn hán, giúp nhận diện rõ các điểm nóng cần ưu tiên quản lý. Kết quả nghiên cứu là cơ sở quan trọng để hỗ trợ xây dựng chiến lược giảm thiểu rủi ro và nâng cao năng lực thích ứng hạn hán tại lưu vực sông Ba.

Từ khóa: Chỉ số hạn tổng hợp, đánh giá rủi ro, hạn hán tổng hợp; Sông Ba, Copula.

Ngày nhận bài: 8/2025; Ngày sửa chữa: 9/2025; Ngày duyệt đăng: 9/2025.

Integrated drought risk assessment for the Ba river basin, Vietnam

Abstract

Drought is one of the most complex natural hazards to assess due to its stochastic nature, wide-ranging impacts, and propagation across multiple components of the hydrological system. This study develops and applies an integrated framework for integrated drought risk assessment in the Ba River Basin, simultaneously incorporating three drought types (meteorological, agricultural, and hydrological) and accounting for drought propagation processes. The Drought Hazard Index (DHI) was computed as a continuous monthly time series for 1980–2023, and combined with a Drought Vulnerability Index (DVI) derived from socio-economic indicators to construct an integrated Drought Risk Index (DRI). From this long-term dataset, four representative drought years (2015, 2016, 2019, and 2020) during the dry season (January–April) were selected for detailed analysis. Results indicate that risk hotspots are concentrated primarily in downstream areas, where high hazard levels coincide with elevated vulnerability. The 2015–2016 droughts were particularly severe across middle and downstream districts, with many areas reaching high-risk levels, whereas in 2019–2020 risk was more spatially dispersed, affecting selected upstream and midstream districts at moderate to high intensity. This approach not only overcomes the limitations of univariate indices but also provides a more comprehensive understanding of drought risk, enabling the identification of priority “hotspots” for management. The findings offer a valuable basis for developing strategies to mitigate drought risk and enhance adaptive capacity in the Ba River Basin.

Keywords: Risk, Integrated drought, Ba River Basin, Copula.

JEL Classifications: Q15, Q51, Q54.

I. MỞ ĐẦU

Hạn hán là một hiện tượng tự nhiên ngẫu nhiên và là một thảm họa thiên nhiên được biết đến có thể gây ra thiệt hại và ảnh hưởng đáng kể đến kinh tế xã hội (D. A. Wilhite, 1993). Hạn hán thường không gây thiệt hại vật chất đáng kể so với các thiên tai khác như lũ lụt, bão và lốc xoáy. Do đó, việc đánh giá tác động

của hạn hán và cung cấp cứu trợ thiên tai là một nhiệm vụ khó khăn hơn so với các loại hình thiên tai khác. Những đặc điểm độc đáo của hạn hán đã gây khó khăn cho việc định lượng chính xác và đáng tin cậy mức độ nghiêm trọng và tác động của hạn hán cũng như xây dựng các kế hoạch ứng phó hạn hán hiệu quả ở hầu hết các quốc gia trên thế giới (D. Wilhite, 2000).



Cho đến nay, đã có rất nhiều nghiên cứu trong nước và quốc tế đánh giá rủi ro hạn hán, trong đó nhiều nghiên cứu của các tác giả quốc tế đã thực hiện đánh giá rủi ro hạn hán tổng hợp (gồm nhiều hơn một loại hạn khi chúng xảy ra tuần tự hay đồng thời). Tuy nhiên, các nghiên cứu trong nước về vấn đề này vẫn còn hạn chế ở các đánh giá rủi ro hạn đơn. Thông qua việc xác định rủi ro hạn hán bằng một hàm thực nghiệm của 03 nhân tố là hiểm họa (H), mức độ phơi bày (E) và tính dễ bị tổn thương (H), nhóm tác giả Lê Văn Tuấn và các cộng sự (Tuân et al., 2019) đã đánh giá rủi ro hạn hán khu vực Nam Bộ. Trong nghiên cứu này, các tác giả sử dụng nguồn số liệu bao gồm số liệu quan trắc lượng mưa, bốc hơi tháng tại 14 trạm khu vực Nam Bộ từ năm 1980 đến năm 2018 và bộ số liệu kinh tế - xã hội cập nhật đến năm 2018. Bộ tiêu chí đánh giá rủi ro do hạn hán khu vực Nam Bộ do các tác giả xây dựng có tổng cộng 27 tiêu chí, trong đó có 02 tiêu chí về hiểm họa, 03 tiêu chí về mức độ phơi bày và 22 tiêu chí về tính dễ bị tổn thương. Đối với hiểm họa, nhân tố này được xác định thông qua tần suất hạn (a) và cường độ hạn (chỉ số DHI). Trong đó, tần suất hạn (a) được tính bằng tỷ số giữa tổng số tháng xảy ra hạn dựa trên chỉ số khô hạn K và số năm quan trắc hạn. Cường độ hạn được xác định dựa trên chỉ số DHI (drought hazard index). Chỉ số này được tính toán qua chỉ số chuẩn hóa lượng mưa SPI để phân cấp cấp hạn và sử dụng xác suất xảy ra để xác định trọng số đối với mỗi cấp hạn. Ngoài nghiên cứu nói trên, dựa trên cách tiếp cận của Ủy ban Liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC), nhóm tác giả Vũ Đức Long và Nguyễn Thị Thu Trang đã đánh giá mức độ rủi ro hạn hán cho khu vực Tây Nguyên (Long & Trang, 2020). Cũng sử dụng phương pháp của IPCC, nhóm tác giả Huỳnh Thị Lan Hương và các cộng sự đã đánh giá rủi ro hạn hán khu vực Trung Trung Bộ (Hương et al., 2020).

Trên thế giới ngoài những nghiên cứu đánh giá rủi ro hạn đơn, các nghiên cứu đánh giá rủi ro hạn tổng hợp đã được thực hiện trong những năm gần đây. Một nghiên cứu của Rui Wang và cộng sự (2019) (Wang et al., 2019) đã thiết lập một mô hình rủi ro hạn hán tổng hợp dựa trên đường cong quan hệ giữa xác suất chung của hạn hán và tổn thất do hạn hán của các đối tượng bị ảnh hưởng. Đầu tiên, các đặc trưng hạn hán, bao gồm thời gian và mức độ nghiêm trọng, được phân loại bằng cách sử dụng lượng mưa bất thường từ năm 1953 đến 2010 ở lưu vực Taoerhe dựa trên lý thuyết dòng chảy, và sự phân bố cận biên của chúng được xác định lần lượt theo phân bố hàm mũ và phân bố Gamma. Sau đó, thời gian hạn hán và mức độ nghiêm trọng được xác định phân bố xác suất chung dựa trên hàm copula. Nghiên cứu đã sử dụng mô hình

EPIC (Khí hậu tích hợp chính sách môi trường) để mô phỏng năng suất ngô và dữ liệu lịch sử nhằm tính toán tỷ lệ tổn thất của nông nghiệp, công nghiệp và chăn nuôi trong khu vực nghiên cứu. Tiếp theo, tác giả xây dựng các đường cong dễ bị tổn thương. Cuối cùng, sự phân bố không gian của rủi ro hạn tổng hợp trong các chu kỳ lặp lại 10, 20 và 50 năm được thể hiện bằng cách sử dụng trọng số nghịch đảo. Kết quả của nghiên cứu chỉ ra rằng sự phân bố không gian của ba giai đoạn lặp lại là nhất quán. Các nghiên cứu tương tự sử dụng phương pháp này còn có Rina Wu và cộng sự (2019) (Wu et al., 2019). Ngoài ra, Nghiên cứu của Deepthi Rajsekhar và cộng sự (2015) (Rajsekhar et al., 2015) cũng là một ví dụ điển hình của đánh giá rủi ro hạn tổng hợp, những khía cạnh về kinh tế xã hội đã được tính đến, bằng cách xem xét các chỉ số dễ bị tổn thương. Ngoài ra, các đặc trưng đa biến của hạn hán cũng đã được tính đến bằng cách thực hiện đánh giá nguy cơ hạn đa biến dựa trên copula cho cả ba loại hạn lượng mưa (P), dòng chảy (R), độ ẩm đất (SM) và thoát hơi nước (ET).

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

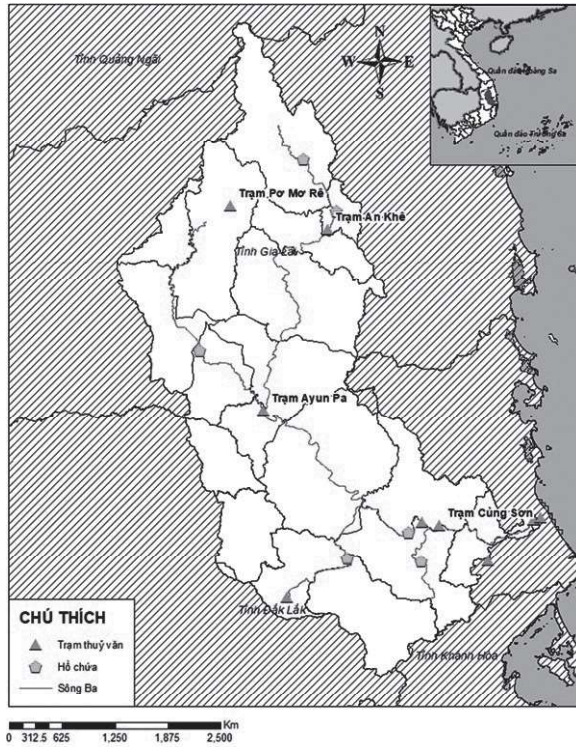
Lưu vực sông Ba có dạng kéo dài và hẹp, với diện tích tự nhiên khoảng 13.417 km². Lưu vực phân bố chủ yếu trên địa phận ba tỉnh Gia Lai, Đắk Lắk và Phú Yên, bao gồm một thành phố, hai thị xã và 19 huyện. Sông Ba bắt nguồn từ núi Ngọc Rô (cao 1.549 m) thuộc dãy Trường Sơn. Từ thượng nguồn đến thị xã An Khê, dòng chảy có hướng Tây Bắc – Đông Nam; sau đó chuyển dần sang hướng bắc – nam; và kể từ hợp lưu với sông Hinh thì chuyển sang hướng Tây – Đông trước khi đổ ra biển Đông tại cửa sông Đà Ràng, thành phố Tuy Hòa, tỉnh Phú Yên.

Lượng mưa trung bình năm của lưu vực đạt khoảng 1.760 mm. Do chịu ảnh hưởng của chế độ mưa sườn đông Trường Sơn, mùa mưa thường kéo dài từ tháng V đến tháng X nhiều nơi đến tháng XII, chiếm khoảng 78–82% tổng lượng mưa năm; trong khi mùa khô chỉ đóng góp 18–22%. Lượng mưa lớn nhất thường xuất hiện vào tháng VIII, còn các tháng khô hạn nhất tập trung trong giai đoạn tháng I đến tháng IV.

Mặc dù có diện tích khá lớn, lưu vực sông Ba lại nằm trong số những lưu vực ở Việt Nam có mạng lưới trạm đo mưa và mực nước còn thưa thớt. Trên lưu vực hiện có năm hồ chứa lớn gồm An Khê-Ka Nak, Ayun Hạ, Krông H'rang, Sông Hinh và Sông Ba Hạ, đóng vai trò quan trọng trong phát điện, tưới tiêu và điều tiết nguồn nước (Hình 1).

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu này được chia thành hai nhóm chính, tương ứng với hai hợp phần



Hình 1. Bản đồ lưu vực sông Ba

cấu thành Rủi ro hạn tổng hợp (Drought Risk Index – DRI), bao gồm dữ liệu tính toán Hiểm họa hạn hán (Drought Hazard Index – DHI) và dữ liệu xác định Tính dễ bị tổn thương (Drought Vulnerability Index – DVI).

(i) Dữ liệu tính toán Hiểm họa (DHI):

Nhóm dữ liệu này tương đồng với bộ dữ liệu được sử dụng trong tính toán Chỉ số hạn tổng hợp (IDI), bao gồm chuỗi số liệu mưa, dòng chảy, độ ẩm đất và các biến khí tượng – thủy văn liên quan. Nghiên cứu sử dụng chuỗi số liệu dòng chảy quan trắc giai đoạn 1980–2023 do Tổng cục Khí tượng Thủy văn Việt Nam (VMHA) cung cấp, đảm bảo chuỗi dài phục vụ phân tích thủy văn. Dữ liệu lượng mưa cùng kỳ được lấy từ bộ số liệu mưa lưới Việt Nam (Vietnam Gridded Precipitation – VnGP) (Nguyen-Xuan et al., 2016), đã được phát triển và kiểm chứng cho các ứng dụng khí tượng – thủy văn trong nước.

Các biến khí quyển được khai thác từ bộ phân tích hồi tố toàn cầu ERA5 (1980–2023) do Trung tâm Dự báo Thời tiết Hạn vừa Châu Âu (ECMWF) xây dựng (Hersbach et al., 2023), bao gồm tốc độ gió, bốc thoát hơi và nhiệt độ trung bình, cực đại, cực tiểu – những yếu tố thiết yếu cho giám sát hạn và mô hình thủy văn.

Thông tin địa hình được thu thập từ cơ sở dữ liệu ALOS World 3D (AW3D30) với độ phân giải khoảng 30 m, do Cơ quan Vũ trụ Nhật Bản (JAXA)

phát hành năm 2012 (JAXA EORC, 2023). Đặc tính đất được lấy từ bản đồ đất FAO–UNESCO (Soil Map of the World – SMW) (Fischer et al., 2008), cung cấp thông tin phân bố loại đất và tính chất đất theo không gian. Ngoài ra, dữ liệu hiện trạng sử dụng và lớp phủ đất được sử dụng từ bộ Land Cover CCI (ESA, phiên bản 2.0, năm 2017) (ESA, 2017).

(ii) Dữ liệu tính toán Tính dễ bị tổn thương (DVI): Tính dễ bị tổn thương (DVI) được xác định thông qua hai hợp phần cơ bản: Mức độ nhạy cảm (Sensitivity – S) và Khả năng thích ứng (Adaptive Capacity – AC).

Mức độ nhạy cảm (S) được đặc trưng bởi các chỉ thị con (S_1, S_2, \dots, S_n) phản ánh đặc tính nội tại của đối tượng (ví dụ: cơ cấu kinh tế, mức độ phụ thuộc vào nông nghiệp, dân số chịu ảnh hưởng) khiến đối tượng dễ bị tổn thương trước tác động của hạn hán.

Khả năng thích ứng (AC) được phản ánh bởi các chỉ thị thành phần (AC_1, AC_2, \dots, AC_n), thể hiện năng lực về nguồn lực, cơ sở hạ tầng, chính sách và các biện pháp ứng phó, giúp giảm thiểu thiệt hại và rủi ro do hạn hán gây ra.

Số liệu cho các chỉ số nhạy cảm (S_1 – S_8) được thu thập từ Niên giám Thống kê của các tỉnh trong lưu vực qua các năm tương ứng. Trong khi đó, dữ liệu về khả năng thích ứng (AC) được tổng hợp từ Niên giám Thống kê kết hợp với các báo cáo chuyên đề do địa phương cung cấp. Bộ chỉ thị cụ thể áp dụng trong nghiên cứu được trình bày tại Bảng 1.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp đánh giá DHI

Chuỗi số liệu tháng về lượng mưa, độ ẩm đất, dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm được trích xuất từ mô phỏng bằng mô hình VIC cho từng ô lưới. Các kết quả này sau đó được tổng hợp lên quy mô huyện bằng phương pháp trung bình có trọng số diện tích, nhằm tạo ra bộ dữ liệu nhất quán phục vụ tính toán các chỉ số hạn.

Từ các dữ liệu trên, bốn chỉ số hạn đơn biến được xác định bao gồm: Chỉ số lượng mưa chuẩn hóa (SPI), Chỉ số độ ẩm đất (SMI), Chỉ số dòng chảy chuẩn hóa (SRI) và Chỉ số nước ngầm chuẩn hóa (SGI). Các chỉ số này được tính tại nhiều thang thời gian tích lũy khác nhau nhằm phản ánh đặc trưng lan truyền của hạn hán qua các thành phần thủy văn: 1–3–6–12 tháng đối với SPI, SRI và SGI, và 1–6 tháng đối với SMI.

Để tích hợp các chỉ số đơn biến này, nghiên cứu áp dụng phương pháp copula theo đề xuất của Shah và Mishra (2019). Do hạn hán thường lan truyền nối tiếp trong chu trình thủy văn, từ thiếu hụt khí tượng (SPI), suy giảm độ ẩm đất (SMI), giảm dòng chảy (SRI) đến suy thoái mực nước ngầm (SGI), nên trước hết cần phân tích mối quan hệ trễ giữa các biến. Phân tích tương quan Pearson được thực hiện để lựa chọn thang thời gian đại

Bảng 1. Bộ chỉ số đánh giá TDBTT do hạn tổng hợp tại lưu vực sông Ba

Các chỉ số thành phần	Ý nghĩa của các chỉ số	Tương quan
Mức độ nhạy cảm		
S1-Tỷ lệ đóng góp GDP của ngành nông nghiệp (%)	Tỷ lệ đóng góp càng nhiều càng nhạy cảm với tác động của hạn hán (Phản ánh nguy cơ thiệt hại kinh tế của địa phương đối với hạn hán)	↑
S2- Tỷ lệ dân số không được sử dụng nguồn nước hợp vệ sinh (%)	Tỷ lệ càng cao càng chịu rủi ro lớn (Phản ánh mức độ dễ bị tổn thương trước hạn hán khi CSHT chưa được đảm bảo)	↑
S3-Tỷ lệ hộ nghèo (%)	Người nghèo, người già, trẻ em và dân số nông thôn có khuynh hướng dễ bị tổn thương dưới tác động của hạn hán	↑
S4-Tỷ lệ người già (> 64 tuổi) (%)		↑
S5-Tỷ lệ trẻ em (0-15 tuổi) (%)		↑
S6-Tỷ lệ dân số nông thôn (%)		↑
S7-Tỷ lệ thất nghiệp (%)	Tỷ lệ càng cao càng chịu rủi ro lớn	↑
S8-Số lượng cộng đồng dân tộc sinh sống tại khu vực (nhóm)	Số lượng càng nhiều, khả năng rủi ro càng lớn	↑
Khả năng thích ứng		
AC1-Tỷ lệ đảm bảo tưới của các công trình thủy lợi (%)	Khả năng đáp ứng của hệ thống thủy lợi càng cao sẽ giúp việc tiêu thoát nước tốt hơn, làm giảm nguy cơ hạn hán	↓
AC2-Mức độ che phủ của rừng (%)	Mức độ che phủ rừng càng cao thì khả năng trữ nước càng lớn và càng giảm rủi ro có thể xảy ra	↓
AC3-Tỷ lệ kiên cố hóa hệ thống công trình thủy lợi (%)	Phản ánh mức độ thích ứng của khu vực đối với hạn hán so với khu vực khác	↓
AC4-Mật độ sông, suối (km/km2)	Phản ánh khả năng thích ứng với hạn hán của điều kiện tự nhiên trên lưu vực (Khả năng tích trữ nước)	↓
AC5-Tỷ lệ xã đạt chuẩn nông thôn mới (%)	Phản ánh khả năng thích ứng của khu vực với điều kiện thiên tai (Năng lực thích ứng với hạn hán cao khi đảm bảo các tiêu chí nông thôn mới)	↓
AC6-Tỷ lệ đất mặt nước chuyên dùng (%)	Phản ánh khả năng thích ứng với hạn hán của khu vực (Khả năng tích trữ nước)	↓
AC7-GDP bình quân đầu người (triệu đồng/người/năm)	GDP bình quân đầu người cao thường có cơ sở hạ tầng và nguồn lực tài chính tốt hơn để ứng phó với thiên tai, bao gồm hạn hán. Các biện pháp như cung cấp nước sạch, hỗ trợ nông dân, xây dựng hệ thống dự trữ và tưới tiêu hiệu quả hơn sẽ giúp giảm bớt tác động của hạn hán. Ngược lại, GDP thấp có ít khả năng đối phó, dẫn đến thiệt hại lớn hơn và khó khăn trong việc phục hồi.	↓
AC8-Tuổi thọ trung bình	Phản ánh chất lượng sống và điều kiện y tế của một khu vực. Khu vực có tuổi thọ trung bình thấp, khả năng phục hồi từ hạn hán sẽ yếu hơn, vì người dân sẽ dễ bị ảnh hưởng bởi các điều kiện sống khắc nghiệt và thiếu hụt dịch vụ y tế.	↓
↑ thể hiện tương quan đồng biến		
↓ thể hiện tương quan nghịch biến		

diện cho từng chỉ số, đảm bảo tổ hợp chỉ số phản ánh được sự phụ thuộc mạnh nhất giữa các dạng hạn.

Cấu trúc phụ thuộc đồng thời giữa SPI, SMI, SRI và SGI được mô hình hóa bằng Clayton Copula, vốn có ưu thế trong việc mô tả sự phụ thuộc ở phần đuôi thấp, tức là những trường hợp thiếu hụt cực đoan xảy ra đồng thời. Trong khung tính toán này, các chỉ số chuẩn hóa được biến đổi sang xác suất tích lũy thông

qua hàm phân phối chuẩn tích lũy (CDF chuẩn). Các xác suất này sau đó được tích hợp bằng hàm Clayton Copula:

$$C(u_1, u_2, u_3, u_4, \theta) = (u_1^{-\theta} + u_2^{-\theta} + u_3^{-\theta} + u_4^{-\theta} - d + 1)^{-\frac{1}{\theta}} \quad (1)$$

trong đó u_i là xác suất biên của từng chỉ số hạn, $d=4$ là số biến, và $\theta > 0$ là tham số phụ thuộc được ước lượng theo phương pháp cực đại khả năng.



Hàm phân phối tích lũy đồng thời (Joint CDF) thu được từ copula cho biết xác suất xảy ra đồng thời các điều kiện hạn. Giá trị Joint CDF càng thấp thể hiện xác suất cao của tình trạng thiếu hụt nghiêm trọng, trong khi giá trị cao phản ánh điều kiện ẩm ướt. Để thuận tiện trong diễn giải, Joint CDF được chuyển đổi ngược lại về thang chuẩn thông qua hàm phân phối ngược chuẩn (inverse normal), tạo thành chỉ số hạn tổng hợp IDI:

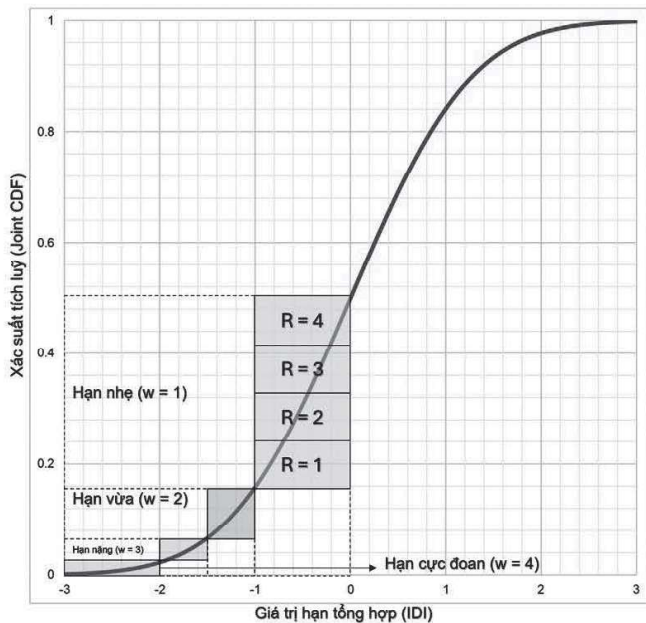
$$IDI = \Phi^{-1}(\text{JointCDF}) \quad (2)$$

Chuỗi IDI theo thời gian cho phép mô tả tổng hợp đặc trưng hạn hán trên cả ba phương diện: khí tượng, nông nghiệp và thủy văn. IDI được phân thành 4 cấp (thấp – trung bình – cao – rất cao).

Sau đó áp dụng phương pháp phân cụm (clustering), k-means clustering, để chia nhỏ hơn trong từng cấp độ dựa trên tần suất xuất hiện của các giá trị IDI trong mỗi nhóm. Các cụm với tần suất cao sẽ được đánh giá nặng hơn. Sử dụng kết quả phân loại (cấp độ & cụm), gán Rating tương ứng với cụm và Weight tương ứng với cấp độ để tính hiểm họa khu vực (Kim et al., 2015).

Công thức DHI cuối cùng sẽ là một hàm số của Rating và Weight (Hình 2), cho phép không chỉ xác định một khu vực có đang bị hạn hán hay không mà còn đánh giá được mức độ hiểm họa tiềm tàng của sự kiện đó. Sau khi tính toán được chỉ số thô (DH), một quá trình chuẩn hóa tiếp theo sẽ được thực hiện để đưa giá trị về một thang điểm thống nhất (từ 0 đến 1), giúp việc so sánh giữa các khu vực và các thời điểm khác nhau trở nên dễ dàng và ý nghĩa hơn.

$$DH = \sum_{i=0}^n \text{Weight}_i \times \text{Rating}_i \quad (3)$$



Hình 2: Sơ đồ Weight và Rating dựa trên hàm phân phối tích lũy (CDF) của các giá trị hạn tổng hợp IDI

trong đó n là độ dài của chuỗi IDI

$$DHI = \frac{DH - DH_{min}}{DH_{max} - DH_{min}} \quad (4)$$

2.3.2. Phương pháp đánh giá DVI

Các chỉ thị thành phần của S và AC được thực hiện chuẩn hóa số liệu từ các số liệu có đơn vị khác nhau về các giá trị không thứ nguyên nằm trong khoảng 0 – 1 để có thể so sánh giữa các đơn vị hành chính (quận/ huyện) với nhau. Các chỉ thị phải được chuẩn hóa một cách riêng biệt cho một đơn vị không gian (chẳng hạn như trong một tỉnh) và cần phải xác định mối tương quan là đồng biến hay nghịch biến với DVI để áp dụng công thức tính chuẩn hóa cho phù hợp. Việc xác định mối tương quan này có thể được xác định dựa trên các tài liệu tham khảo, tham vấn chuyên gia hoặc kinh nghiệm cộng đồng. Theo nghiên cứu, hầu hết các chỉ thị thành phần của S có quan hệ đồng biến với DVI tức là làm gia tăng tính dễ bị tổn thương tại vùng nghiên cứu; trong khi đó chỉ số thành phần của AC lại có quan hệ nghịch biến với DVI tức là làm giảm tính dễ bị tổn thương. Nếu mối tương quan là đồng biến, công thức chuẩn hóa được áp dụng như sau:

$$y_{ij} = \frac{(X_{ij} - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \quad (5)$$

Trong trường hợp tương quan là nghịch biến, áp dụng công thức chuẩn hóa sau:

$$y_{ij} = \frac{(X_{max} - X_{ij})}{(X_{max} - X_{min})} \quad (6)$$

Trong đó:

- i là chỉ số chạy của đơn vị không gian gian (đơn vị không gian có thể là tỉnh, huyện, xã hoặc vùng/khu vực,...), j là chỉ số chạy của chỉ số thành phần;
- y_{ij} : là giá trị chuẩn hóa tại đơn vị không gian thứ i của chỉ số thành phần thứ j;
- X_{ij} là giá trị của chỉ số thành phần;
- X_{min} là giá trị nhỏ nhất của chỉ số thành phần thứ j trong toàn bộ đơn vị không gian;
- X_{max} là giá trị lớn nhất của chỉ số thành phần thứ j trong toàn bộ đơn vị không gian.

Khi đã thực hiện chuẩn hóa số liệu, trọng số của từng chỉ thị thành phần của S, AC cần phải được tính toán. Trọng số của từng chỉ số phụ cũng là cơ sở để đánh giá tầm quan trọng của các chỉ số và được tính toán dựa trên phương pháp tính trọng số bất cân bằng của Iyengar và Sudarshan (1982) (Iyengar & Sudarshan, 1982) bằng phương pháp toán học trong đó đánh giá trọng số của từng chỉ số dựa trên độ lệch chuẩn của từng chỉ số. Trọng số của từng chỉ số thành

phần được xác định bởi công thức:

$$W_j = \frac{C}{\sqrt{\text{Var}(x_j)}} \quad (7)$$

Trong đó:

- W_j là trọng số của chỉ thị thành phần con thứ j của S , AC .

- $\text{Var}(x_j)$ là phương sai của chỉ số phụ thứ j được xác định bởi công thức:

$$\text{Var}_{x_j} = \sum_{i=1}^n \frac{(x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{(n-1)} \quad (8)$$

- C : được xác định bởi công thức sau:

$$C = \left[\sum_{j=1}^m \frac{1}{\sqrt{\text{Var}(x_j)}} \right]^{-1} \quad (9)$$

Trong đó m là số các yếu tố thành phần đóng góp vào DVI; Tổng trọng số của nhóm chỉ số phụ phải bằng 1.

Sau khi tính chuẩn hóa và áp dụng trọng số đối với các chỉ số thành phần, các chỉ số tại các đơn vị không gian được tính toán theo công thức tổng quát sau:

$$M_i = \sum_{j=1}^m w_j y_{ij}, \quad i=1, \dots, m \quad (10)$$

Trong đó:

- M_i : là S_i hoặc là AC_i ;
- i là chỉ số chạy của đơn vị không gian;
- j là chỉ số chạy của chỉ số thành phần;
- n là tổng chỉ số thành phần;
- m là tổng số đơn vị không gian;
- w_j : là trọng số của chỉ số thành phần thứ j trong toàn bộ đơn vị không gian;
- y_{ij} : là giá trị chuẩn hóa của chỉ số thành phần thứ j , được tính theo công thức (5) hoặc công thức (6).

Tính toán tính dễ bị tổn thương tại các đơn vị không gian (DVI_i):

$$DVI_i = \frac{S_i + (1 - AC_i)}{2} \quad (11)$$

2.3.2. Phương pháp đánh giá DRI

Chỉ số rủi ro hạn hán DRI được xây dựng dựa trên nguyên tắc cơ bản của đánh giá rủi ro thiên tai, trong đó rủi ro được định nghĩa là hàm của DHI và DVI. Hiểm họa đại diện cho khả năng một sự kiện thiên tai xảy ra, trong khi tổn thương thể hiện mức độ bị ảnh hưởng của một hệ thống khi sự kiện đó xảy ra. Cả hai yếu tố này đều đóng vai trò then chốt trong việc xác định mức độ rủi ro tổng thể.

Để tính chỉ số DRI, nhóm nghiên cứu sử dụng công thức:

$$DRI = \sqrt{DHI \times DVI} \quad (12)$$

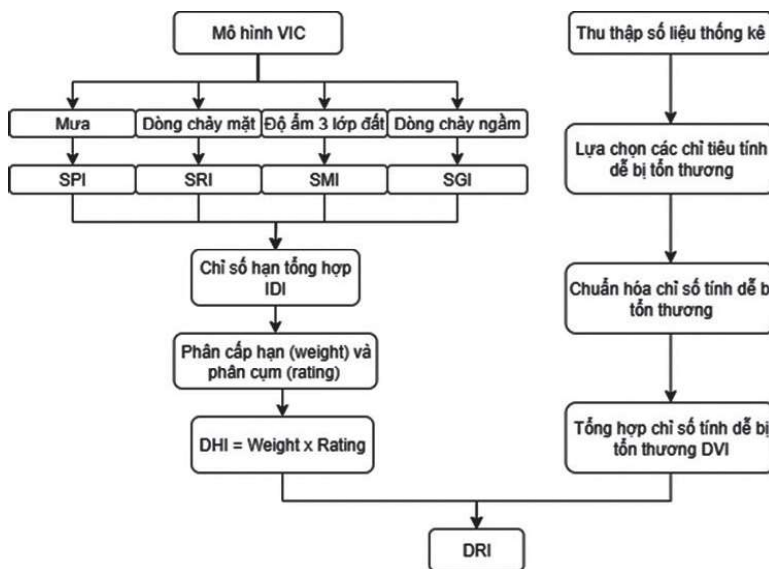
Công thức này đảm bảo rằng một khu vực có mức độ hiểm họa cao nhưng tổn thương thấp (hoặc ngược lại) sẽ có chỉ số rủi ro thấp hơn so với một khu vực có cả hiểm họa và tổn thương đều cao. Việc lấy căn bậc hai được thực hiện nhằm mục đích chuẩn hóa và giảm nhẹ sự chênh lệch quá lớn giữa các chỉ số đầu vào, giúp kết quả DRI phản ánh một cách cân bằng và chính xác hơn rủi ro tiềm tàng. Các giá trị DHI và DVI đều đã được chuẩn hóa về một thang điểm thống nhất (từ 0 đến 1), đảm bảo tính nhất quán của phép tính. Kết quả là chỉ số DRI cũng sẽ nằm trong khoảng từ 0 đến 1, trong đó giá trị càng gần 1 thể hiện rủi ro hạn hán càng cao.

Sơ đồ thực hiện của nghiên cứu này được mô tả như trong Hình 3.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Nghiên cứu này tập trung đánh giá rủi ro do hạn hán tổng hợp, bao gồm cả ba loại hạn khí tượng, hạn nông nghiệp và hạn thủy văn, đồng thời xem xét quá trình lan truyền hạn trong chu trình thủy văn. Đây là một điểm mới so với nhiều nghiên cứu trước đây vốn chủ yếu dựa vào hạn đơn biến. Kết quả tính toán cho thấy chỉ số hiểm họa hạn hán tổng hợp (DHI) được xác định liên tục theo tháng trong giai đoạn 1980–2023, phản ánh đầy đủ sự biến động theo thời gian cũng như khả năng lan truyền của hạn từ khí tượng sang nông nghiệp và thủy văn.

Từ chuỗi dữ liệu dài hạn này, nghiên cứu lựa chọn các thời kỳ mùa cạn (tháng I đến tháng IV) của bốn



Hình 3. Sơ đồ thực hiện của nghiên cứu



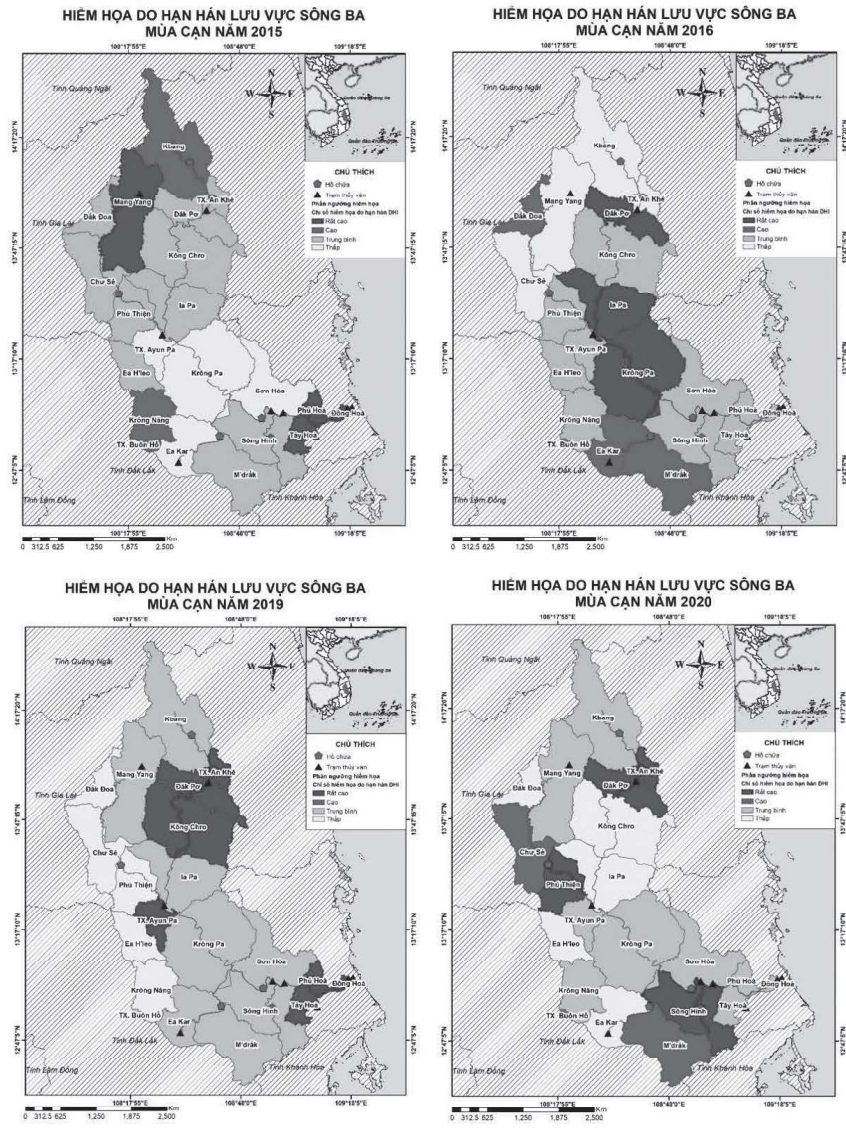
năm điển hình là 2015, 2016, 2019 và 2020 để phân tích chi tiết. Đây là những năm được lựa chọn nhằm đối chiếu điều kiện El Nino mạnh (2015–2016) với các năm hạn chế hơn (2019–2020). Kết quả bản đồ DHI (Hình 4) cho thấy trong các năm 2015 và 2016, phạm vi và cường độ hạn tổng hợp ở mức cao nhất, đặc biệt tại khu vực trung và hạ lưu lưu vực sông Ba. Điều này phản ánh sự ảnh hưởng rõ nét của El Nino đến chuỗi thiếu hụt khí tượng – thủy văn trong khu vực. Ngược lại, các năm 2019 và 2020 ghi nhận mức hiểm họa hạn tổng hợp thấp hơn, cho thấy sự khác biệt rõ rệt về điều kiện khí hậu giữa các giai đoạn.

Trong khi DHI có sự biến động lớn giữa các năm do chịu tác động trực tiếp của yếu tố khí hậu, thì DVI (Hình 5) lại có sự ổn định hơn theo thời gian. DVI được xác định cho từng năm nghiên cứu, phản ánh các đặc điểm kinh tế – xã hội và khả năng thích ứng vốn thay đổi chậm. Kết quả cho thấy các khu vực có

dân cư đông, cơ cấu kinh tế phụ thuộc nhiều vào nông nghiệp và hạ tầng thủy lợi chưa phát triển, đặc biệt tại trung du và hạ lưu, thường có mức DVI cao hơn. Điều này cho thấy nền tảng xã hội – kinh tế là một tác nhân quan trọng làm gia tăng rủi ro hạn hán tổng hợp.

Khi kết hợp DHI và DVI, bản đồ rủi ro hạn hán tổng hợp DRI (Hình 6) đã được xây dựng. Kết quả cho thấy các điểm nóng rủi ro chủ yếu tập trung ở khu vực hạ lưu, nơi vừa có mức hiểm họa cao vừa có tính dễ bị tổn thương lớn. Hạn hán tổng hợp giai đoạn 2015–2016 tập trung mạnh ở các huyện trung và hạ lưu, với nhiều khu vực đạt mức rủi ro cao. Trong khi đó, giai đoạn 2019–2020 rủi ro phân bố rải rác hơn, chủ yếu tại một số huyện thượng lưu và trung du, với mức độ trung bình đến cao.

Những kết quả trên cho thấy việc đánh giá rủi ro hạn hán dựa trên cách tiếp cận hạn tổng hợp và có tính đến lan truyền hạn giúp nhận diện được đầy đủ

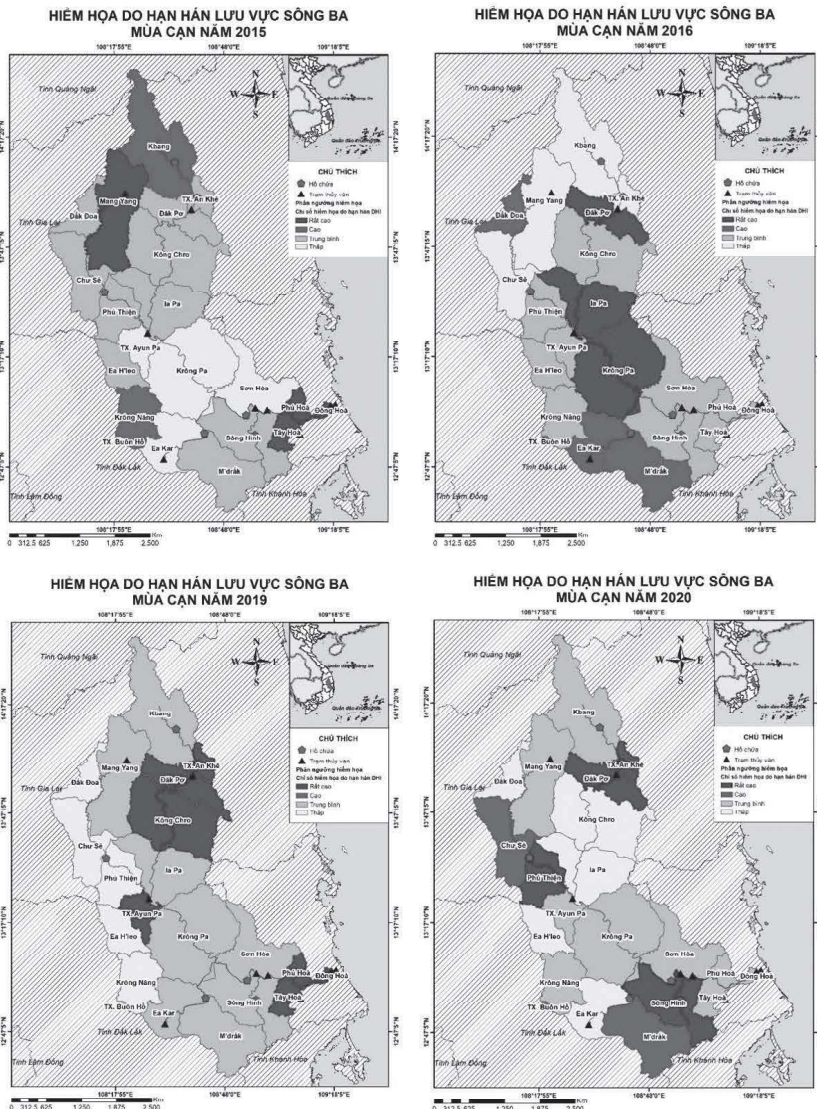


hơn các đặc trưng của rủi ro so với các chỉ số đơn biến. Kết quả cũng phản ánh đúng tác động thực tế của các sự kiện khí hậu cực đoan như El Nino cũng như vai trò của năng lực thích ứng trong quyết định mức độ rủi ro. Về ý nghĩa thực tiễn, bản đồ DRI cung cấp cơ sở quan trọng cho việc xác định các khu vực ưu tiên trong quản lý hạn hán. Để giảm thiểu rủi ro, cần đồng thời triển khai hai nhóm giải pháp: tăng cường giám sát – cảnh báo sớm nhằm phát hiện kịp thời các đợt hạn trong điều kiện khí hậu bất thường, và nâng cao năng lực thích ứng thông qua cải thiện cơ sở hạ tầng thủy lợi, hỗ trợ đa dạng hóa sinh kế và tăng khả năng tiếp cận nguồn nước ở những khu vực có mức DVI cao.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phát triển cách tiếp cận đánh giá rủi ro hạn hán tổng hợp cho lưu vực sông Ba, phản ánh đồng thời ba loại hạn (khí tượng, nông

Hình 4. Bản đồ phân cấp hiểm họa do hạn tổng hợp năm 2015, 2016, 2019, 2020



Hình 5. Bản đồ phân cấp TDBTT do hạn tổng hợp năm 2015, 2016, 2019, 2020

nghiệp và thủy văn) và quá trình lan truyền hạn. Kết quả cho thấy rủi ro tập trung chủ yếu ở khu vực trung và hạ lưu, đặc biệt nghiêm trọng trong các năm 2015–2016 và 2019–2020 dưới tác động của El Nino. Điều này khẳng định vai trò kết hợp của điều kiện khí hậu và năng lực thích ứng trong quyết định rủi ro hạn hán.

Tính mới của nghiên cứu là việc ứng dụng khung đánh giá rủi ro dựa trên hạn tổng hợp có xét đến tính chuỗi và lan truyền, cho phép nhận diện rõ “điểm nóng” rủi ro và cung cấp bằng chứng thực tiễn phục vụ quản lý. Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn còn hạn chế khi chưa xem xét kịch bản tương lai và chưa tích hợp đầy đủ các yếu tố thể chế – xã hội vào bộ chỉ số để bị tổn thương. Trong tương lai, cần mở rộng phân tích sang các kịch bản biến đổi khí hậu, đồng thời phát triển các bộ chỉ số thích ứng giàu tính động hơn để nâng cao độ tin cậy và khả năng ứng dụng kết quả trong quản lý hạn hán.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng, Phương pháp nghiên cứu, Phân tích kết quả và Viết bản thảo bài báo; Đỗ Thị Ngọc Bích; Tính toán: Hoàng Thị Thảo, Nguyễn Thành Long, Nguyễn Hoàng Bách; Xử lý số liệu: Lê Văn

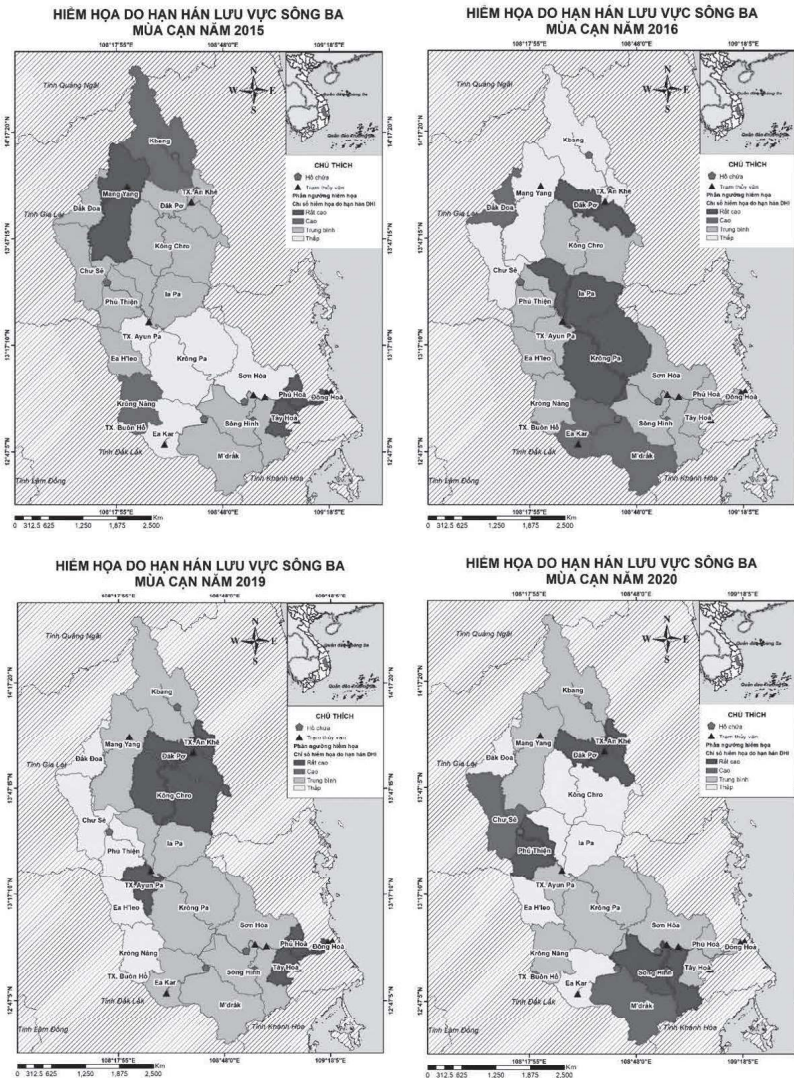
Linh, Hoàng Thị Thảo, Hoàng Bích Ngọc, Nguyễn Hoàng Bách, Nguyễn Thành Long, Lê Thu Hà; Định hướng và Chính sửa bài báo: Nguyễn Tú Anh.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của đề tài khoa học công nghệ cấp bộ “Nghiên cứu đánh giá rủi ro hạn tổng hợp nhằm bảo đảm an ninh nguồn nước trên các lưu vực sông. Áp dụng thí điểm cho lưu vực sông Ba” Mã số: TNMT.2024.02.06 do Viện Khoa học tài nguyên nước chủ trì thực hiện.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của mình, chưa từng công bố trước đó, không sao chép, đạo văn; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ESA. (2017). Land Cover CCI Product User Guide Version 2. Tech. Rep. maps. elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf
2. Fischer, G., Nachtergaele, F., Prieler, S., Velthuisen, H. T. van, Verelst, L., & Wiberg, D. (2008). Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.
3. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., & Thépaut, J.-N. (2023). ERA5 monthly averaged data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.f17050d7>.
4. Hương, H. T. L., Hiền, N. X.,



Hình 6. Bản đồ phân cấp rủi ro do hạn tổng hợp năm 2015, 2016, 2019, 2020

Thanh, N. T., & Lan, N. T. (2020). Đánh giá rủi ro hạn hán cho khu vực Trung Trung Bộ. *Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ Việt Nam*, 62(11), 17–21. [https://doi.org/10.36335/vnvhm.2020\(719\).38-51](https://doi.org/10.36335/vnvhm.2020(719).38-51).

5. Iyengar, N. S., & Sudarshan, P. (1982). A Method of Classifying Regions from Multivariate Data. *Economic and Political Weekly*, 17(51), 2047–2052. <http://www.jstor.org/stable/4371674>.

6. JAXA EORC. (2023). ALOS Global Digital Surface Model “ALOS World 3D - 30m” (AW3D30) Version 4.0. <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/data/index.htm>

7. Kim, H., Park, J., Yoo, J., & Kim, T.-W. (2015). Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: A case study for administrative districts in South Korea. *Journal of Hydro-Environment Research*, 9(1), 28–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jher.2013.07.003>.

8. Long, V.Đ., & Trang, N. T. T. (2020). Đánh giá nguy cơ rủi ro do hạn hán phục vụ phát triển kinh tế xã hội cho khu vực Tây Nguyên. *Vietnam Journal of Hydrometeorology*, 711(3), 25–38. [https://doi.org/10.36335/vnvhm.2020\(711\).25-38](https://doi.org/10.36335/vnvhm.2020(711).25-38).

9. Nguyen-Xuan, T., Ngo-Duc, T., Kamimera, H., Trinh-Tuan, L., Matsumoto, J., Inoue, T., & Phan-Van, T. (2016). The Vietnam Gridded Precipitation (VnGP) Dataset: Construction and Validation. *SOLA*, 12(0), 291–296. <https://doi.org/10.2151/SOLA.2016-057>.

10. Rajsekhar, D., Singh, V. P., & Mishra, A. K. (2015). Integrated drought causality, hazard, and vulnerability assessment for future socioeconomic scenarios: An information theory perspective. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(13), 6346–6378. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/2014JD022670>

11. Tuấn, L. V., Thăng, V. V., Trọng, T. Đ., Nghĩa, T. T., & Thủy, T. T. T. (2019). Đánh giá rủi ro hạn hán khu vực Nam Bộ. *Tạp Chí Khoa Học Biển Đổi Khí Hậu*, 11.

12. Wang, R., Zhang, J., Guo, E., Alu, S., Li, D., Ha, S., & Dong, Z. (2019). Integrated drought risk assessment of multi-hazard-affected bodies based on copulas in the Taoerhe Basin, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(1), 577–592. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2374-z>

13. Wilhite, D. (2000). Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. *Drought: A Global Assessment*, 1, 3–18.

14. Wilhite, D. A. (1993). The Enigma of Drought. In D. A. Wilhite (Ed.), *Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies* (pp. 3–15). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3224-8_1.

15. Wu, R., Zhang, J., Bao, Y., & Guo, E. (2019). Run Theory and Copula-Based Drought Risk Analysis for Songnen Grassland in Northeastern China. In *Sustainability* (Vol. 11, Issue 21). <https://doi.org/10.3390/su11216032>.