

Assessment of long-term changes in hydrological regime of river basins across Vietnam

Hong X. Do^{1*}, Hien D. X. Nguyen¹, Tu H. Le², & Biet C. Pham³

¹Faculty of Environment and Natural Resources, Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Research Center for Climate Change, Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam

³Center for Technology Business Incubation, Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam

ARTICLE INFO

Research Paper

Received: March 26, 2025

Revised: April 26, 2025

Accepted: May 06, 2025

Keywords

Climate change

Long-term changes

Mann-Kendall test

River basins

Water resources

*Corresponding author

Do Xuan Hong

Email:

doxuanhong@hcmuaf.edu.vn

ABSTRACT

Increased temperatures and changes in rainfall patterns in Vietnam due to climate change are likely to have significant impacts on flow regimes in river basins as well as on national water resources. This study investigated the changes in hydrological regime at 11 freshwater hydrological monitoring stations with good observation data (spanning 35 years, from 1987 to 2022) distributed across Vietnam. The study applied the Mann-Kendall statistical test and calculated Sen's slope for three hydrological indices (annual mean flow, annual maximum flow and annual minimum flow) at selected monitoring stations. The assessment highlighted a dominant decreasing trend throughout the period under study, with data from four monitoring stations (distributed in different river systems) showing a decline in all three indicators. Two basins showed an increasing trend in all three assessed indicators, but most of these trends were not statistically significant. This result demonstrates the complex changes in the hydrological regime of Vietnam's river basins. Some important factors that may influence these trends are changes in land use, the expansion of dams and reservoirs and rapid urbanization (to support the national economic development since 2000s), which should be further investigated in future research.

Cited as: Do, H. X., Nguyen, H. D. X., Le, T. H., & Pham, B. C. (2026). Assessment of long-term changes in hydrological regime of river basins across Vietnam. *The Journal of Agriculture and Development* 25(2), 114-128.

Đánh giá thay đổi dài hạn của chế độ thủy văn tại một số lưu vực sông của Việt Nam

Đỗ Xuân Hồng^{1*}, Nguyễn Đặng Xuân Hiền¹, Lê Hoàng Tú² & Phạm Chí Biết³

¹Khoa Môi Trường và Tài Nguyên, Trường Đại Học Nông Lâm TP.HCM, TP. Hồ Chí Minh

²Trung Tâm Nghiên Cứu Biến Đổi Khí Hậu, Trường Đại Học Nông Lâm TP.HCM, TP. Hồ Chí Minh

³Trung Tâm Ươm Tào Doanh Nghiệp Công Nghệ, Trường Đại Học Nông Lâm TP.HCM, TP. Hồ Chí Minh

THÔNG TIN BÀI BÁO

Bài báo khoa học

Ngày nhận: 26/03/2025

Ngày chỉnh sửa: 26/04/2025

Ngày chấp nhận: 06/05/2025

Từ khóa

Biến đổi khí hậu

Kiểm định Mann-Kendall

Lưu vực sông

Tài nguyên nước

Thay đổi dài hạn

***Tác giả liên hệ**

Đỗ Xuân Hồng

Email:

doxuanhong@hcmuaf.edu.vn

TÓM TẮT

Sự gia tăng nhiệt độ và thay đổi về chế độ mưa tại Việt Nam do biến đổi khí hậu có khả năng dẫn đến những ảnh hưởng đáng kể đến chế độ dòng chảy tại các lưu vực sông cũng như tài nguyên nước quốc gia. Nghiên cứu này khảo sát sự thay đổi của chế độ thủy văn tại 11 trạm quan trắc thủy văn nước ngọt có dữ liệu quan trắc tốt (kéo dài 35 năm, từ năm 1987 đến 2022) trải dài khắp Việt Nam. Nghiên cứu đã áp dụng phép kiểm định thống kê Mann-Kendall và tính toán xu thế Sen cho ba chỉ số thủy văn (dòng chảy trung bình năm, dòng chảy cực đại năm và dòng chảy cực tiểu năm) tại các trạm quan trắc được lựa chọn. Kết quả đánh giá cho thấy, xu hướng giảm được quan sát phổ biến trong giai đoạn được khảo sát, với số liệu tại bốn trạm quan trắc (phân bố tại các hệ thống sông khác nhau) cho thấy sự suy giảm trên cả ba chỉ số. Có hai lưu vực có xu hướng tăng ở cả ba chỉ số được đánh giá, nhưng hầu hết xu hướng là không đáng kể về mặt thống kê. Kết quả này cho thấy sự biến đổi phức tạp của chế độ thủy văn của lưu vực sông Việt Nam. Một số yếu tố quan trọng có thể điều chỉnh những xu hướng này là thay đổi sử dụng đất, tăng số lượng đập và hồ chứa nước cũng như quá trình đô thị hóa nhanh chóng (để hỗ trợ phát triển kinh tế quốc gia từ những năm 2000), những yếu tố cần được tiếp tục khảo sát trong các nghiên cứu tương lai.

1. Đặt Vấn Đề

Cùng với sự phát triển nhanh của nền kinh tế thế giới, lượng khí nhà kính phát thải vào bầu khí quyển cũng đã tăng cao trong những thập niên gần đây, dẫn đến sự gia tăng nhiệt độ trên toàn cầu (IPCC, 2021). Các biến động của khí hậu đã dẫn đến nhiều tác động tại nhiều khu

vực trên thế giới, và Việt Nam là một trong năm quốc gia gánh chịu ảnh hưởng nặng nề nhất do biến đổi khí hậu gây ra (Schmidt-Thomé & ctv., 2015). Trong số các yếu tố tự nhiên chịu ảnh hưởng trực tiếp từ biến đổi khí hậu, chế độ thủy văn tại các lưu vực sông cũng là một trong các yếu tố được đặc biệt quan tâm (Gudmundsson & ctv., 2021) do sự quan trọng của tài nguyên

nước trong phát triển kinh tế xã hội nói chung. Tại Việt Nam, đã có nhiều chỉ dấu của sự gia tăng về nhiệt độ, cường độ mưa cực đoan, và bão lũ (MONRE, 2021), có khả năng sẽ kéo theo các biến động phức tạp của dòng chảy tại các lưu vực sông cũng như tài nguyên nước ngọt tại Việt Nam.

Đánh giá xu hướng biến động của số liệu quan trắc dòng chảy tại các trạm thủy văn nước ngọt có ý nghĩa quan trọng trong công tác quản lý tài nguyên nước, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu. Nhiều nghiên cứu trước đây đã tập trung vào việc phân tích xu hướng biến động của dòng chảy tại các khu vực khác nhau trên thế giới và cả ở Việt Nam. Các nghiên cứu này đã sử dụng nhiều cách tiếp cận khác nhau, ví dụ như hệ thống 32 chỉ số thủy văn đã được Do & ctv. (2020a) áp dụng để đánh giá sự thay đổi trong chế độ thủy văn của sông Đồng Nai và tìm hiểu về sự khác biệt giữa giai đoạn dòng chảy tự nhiên (1977 - 1989) với giai đoạn dòng chảy điều tiết (1990 - 2019). Kết quả cho thấy hồ Trị An có tác động đáng kể đến chế độ thủy văn phía hạ lưu đập. Số lần xuất hiện lũ lớn tại trạm thủy văn Biên Hòa trong giai đoạn sau đập thấp hơn so với giai đoạn tự nhiên, và ngược lại. Phương pháp viễn thám được (Ho & ctv., 2018) sử dụng để đánh giá biến động đường bờ khu vực sông Tiền và sông Hậu giai đoạn 1989 - 2014, kết quả là khu vực có xu hướng bồi lắng và xói lở, sông Hậu ít xói lở hơn sông Tiền và khu vực cửa sông thì bồi tụ mạnh.

Trong số các cách tiếp cận để đánh giá xu hướng biến động trong nghiên cứu khí tượng - thủy văn, việc áp dụng các phương pháp thống kê đối với dữ liệu quan trắc vẫn thường được quan tâm, vì cách tiếp cận này khá đơn giản, và

có thể trực tiếp chỉ ra các xu hướng chủ đạo, dẫn dắt các đánh giá phức tạp, chuyên sâu hơn để tìm hiểu về cơ chế tạo ra các xu hướng được tìm thấy. Phép kiểm định Mann-Kendall là một phương pháp thường xuyên được sử dụng do ưu điểm không đưa ra các yêu cầu giả định về phân phối dữ liệu, phù hợp với tính chất của dữ liệu dòng chảy thủy văn (Kendall, 1948). Một số ví dụ có thể kể đến công bố của Nguyen & ctv. (2024) đã kết hợp với phương pháp xu hướng Sen để phân tích xu thế mưa tại 16 trạm đo thuộc lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn từ năm 1978 đến 2020. Kết quả tất cả các trạm đều thể hiện xu thế tăng, trạm Hiên có biến động mưa lớn nhất và Khâm Đức có sự thay đổi rõ ràng. Do & ctv. (2020b) đã đánh giá xu hướng thay đổi của lượng mưa cực đoan trên lãnh thổ Việt Nam từ năm 1980 đến 2010 và tìm ra dấu hiệu gia tăng khá mạnh về tần suất ngày mưa lớn, với 28,3% diện tích đất liền của Việt Nam cho thấy xu hướng tăng đáng kể. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu phân tích xu hướng dài hạn cho toàn Việt Nam chỉ mới được áp dụng đối với các yếu tố khí tượng (Nguyen & ctv., 2014; Do & ctv., 2020b), còn các phân tích về chế độ thủy văn, theo hiểu biết của chúng tôi, thường được khảo sát ở các lưu vực riêng lẻ. Do sự khác biệt về thời đoạn đánh giá cũng như phương pháp phân tích khác biệt giữa các nghiên cứu độc lập này, việc đưa ra các nhận định nhất quán về thay đổi của chế độ thủy văn tại Việt Nam vẫn còn nhiều hạn chế.

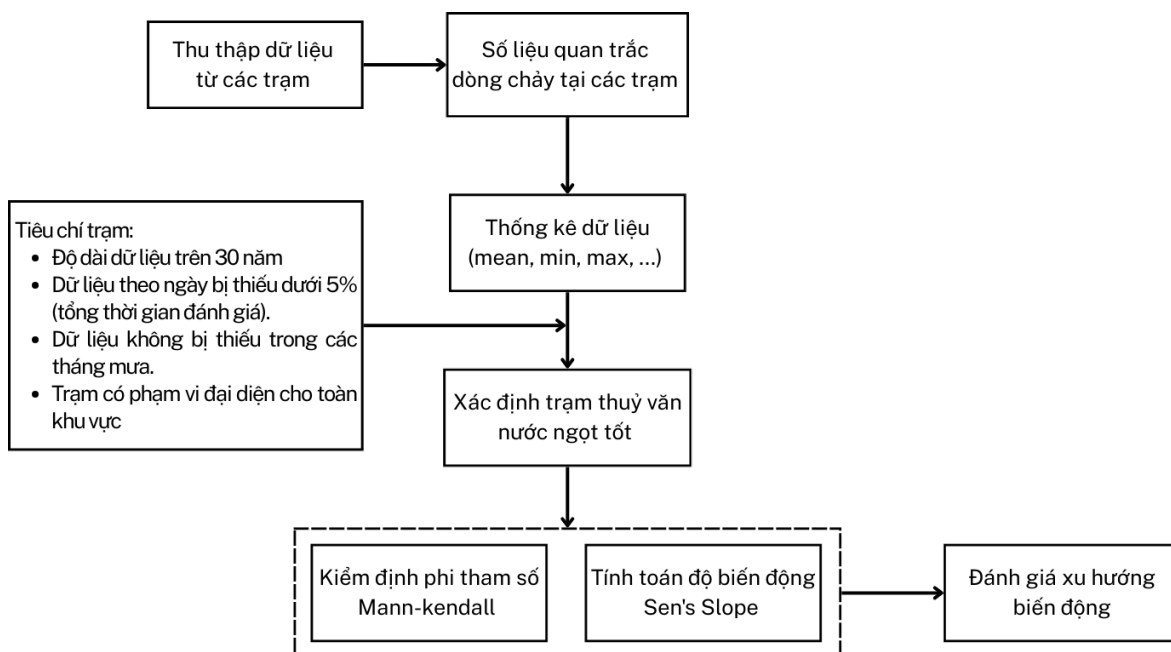
Nghiên cứu này được triển khai nhằm bước đầu xác định khả năng thay đổi của chế độ thủy văn tại các lưu vực sông tại Việt Nam trong bối cảnh ấm lên của Trái Đất. Để thực hiện mục tiêu này, nghiên cứu đã thu thập số liệu quan trắc dòng chảy ở hơn 70 lưu vực, và sau đó phân tích, xác định các trạm thủy văn nước ngọt có dữ liệu

quan trắc tốt (độ dài tối thiểu 30 năm) phân bố dọc Việt Nam. Các chuỗi dữ liệu được thu thập sau đó được sử dụng để trích xuất các chỉ số đại diện cho chế độ thủy văn của từng lưu vực sông, bao gồm chỉ số dòng chảy trung bình năm, dòng chảy cực đại năm, và dòng chảy cực tiểu năm. Các chỉ số này sau đó được phân tích với phép kiểm định phi tham số Mann-Kendall, và xu thế Sen để xác định xu hướng tăng giảm của dòng chảy, và cung cấp thông tin ban đầu về thay đổi của chế độ thủy văn tại Việt Nam trong những năm gần đây.

2. Dữ Liệu và Phương Pháp Nghiên Cứu

2.1. Tổng quan về dữ liệu và quy trình phân tích dữ liệu

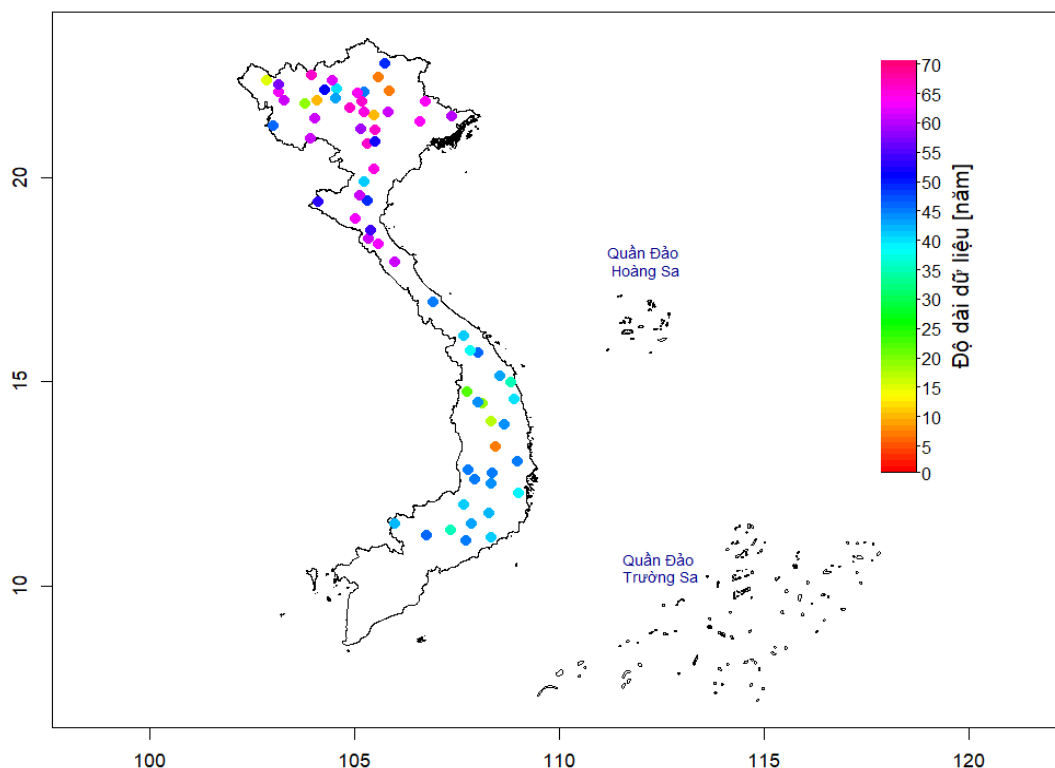
Nghiên cứu này tập trung phân tích dữ liệu thu thập từ toàn bộ hệ thống trạm thủy văn nước ngọt trên lãnh thổ Việt Nam. Việc bao quát toàn quốc sẽ giúp chúng ta có cái nhìn tổng quan về các biến động dòng chảy, từ đó đánh giá một cách chính xác và toàn diện tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước ngọt của cả nước. Hình 1 mô tả quy trình thu thập và xử lý dữ liệu cũng như phương pháp tính toán các chỉ số thống kê đại diện cho xu hướng biến động của chế độ thủy văn tại các trạm thủy văn được lựa chọn.



Hình 1. Sơ đồ quy trình lựa chọn trạm quan trắc và đánh giá xu hướng biến động.

Toàn bộ dữ liệu được thu thập từ các đơn vị phụ trách việc lưu trữ dữ liệu quan trắc của hệ thống quan trắc khí tượng thủy văn quốc gia như Trung tâm Dự báo Khí Tượng Thủy Văn (KTTV), các đài KTTV khu vực và địa phương trên cơ sở một nghiên cứu đã được triển khai trước đó (Do & ctv., 2022). Trên cơ sở các trạm có dữ liệu được thu thập (Hình 2), các phân tích chi tiết được thực hiện cho từng trạm để đảm bảo chất lượng dữ liệu tốt với các tiêu chí (i) có độ dài trên 30 năm, (ii) số ngày thiếu dữ liệu

không quá 5% tổng thời gian đánh giá và (iii) dữ liệu đầy đủ trong các tháng mưa. Sau đó, nghiên cứu đã xác định các trạm thủy văn có phạm vi đại diện cho các lưu vực sông lớn tại Việt Nam. Chúng tôi cũng lưu ý rằng các trạm thủy văn tại khu vực Đồng bằng Sông Cửu Long không được đưa vào khảo sát trong nghiên cứu này do đặc tính thủy văn của khu vực chịu ảnh hưởng lớn của chế độ triều. Đặc điểm này khiến xu hướng tính toán bằng cách tiếp cận của nghiên cứu này sẽ thiếu chính xác.



Hình 2. Vị trí và độ dài dữ liệu quan trắc của các trạm thủy văn nước ngọt được khảo sát trong nghiên cứu này.

Chuỗi dữ liệu dòng chảy tại các vị trí quan trắc được lựa chọn sau đó sẽ được sử dụng để tính toán các giá trị trung bình, cực đại và cực tiểu theo năm. Chuỗi dữ liệu của các chỉ số được tính toán trong cùng một giai đoạn sẽ được sử

dụng để đánh giá xu thế biến động dài hạn dựa trên độ biến động theo phương pháp Sen's Slope và kiểm định phi tham số Mann-Kendall như trình bày chi tiết trong mục 2.2. Các giá trị biến đổi này sau đó sẽ được biểu thị qua các bản đồ để

cung cấp thông tin về xu hướng biến động của các chỉ số thủy văn trong giai đoạn được đánh giá trên các lưu vực sông của Việt Nam.

2.2. Phương pháp phân tích và đánh giá biến động chế độ thủy văn

2.2.1. Kiểm định phi tham số Mann-Kendall

Phương pháp kiểm định phi tham số Mann-Kendall (Kendall, 1948) là phép kiểm định thống kê về xu hướng biến động theo thời gian của các dữ liệu được khảo sát. Đây là phương pháp được sử dụng khá rộng rãi trong nghiên cứu khí tượng thủy văn để đánh giá xem xu hướng thay đổi của một chỉ số có đáng kể về mặt thống kê hay không.

Xét chuỗi dữ liệu trong N bước thời gian quan sát, gọi x_i và x_j là giá trị của dữ liệu trong chuỗi thời tại thời điểm i và j , ta cần tính chỉ số S theo công thức.

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i)$$

với

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } x_j - x_i > 0 \\ 0 & \text{nếu } x_j - x_i = 0 \\ -1 & \text{nếu } x_j - x_i < 0 \end{cases}$$

Phương sai của S có thể được tính theo công thức:

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$

Trong đó, n là số điểm dữ liệu, m là số các nhóm dữ liệu có cùng giá trị và t_i số lượng các điểm số liệu trong nhóm thứ i .

Chỉ số Z của kiểm định Mann-Kendall sau đó được tính theo phương trình:

$$Z_S = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{nếu } S > 0 \\ 0 & \text{nếu } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{nếu } S < 0 \end{cases}$$

Nếu giá trị của Z_S dương (âm), ta có thể kết luận chuỗi thời gian được khảo sát có xu hướng tăng (giảm). Z_S có phân phối chuẩn $N(0,1)$ và ta có thể đánh giá xem giá trị Z_S được tính toán từ dữ liệu thực tế có đáng kể về mặt thống kê hay không trên cơ sở tính toán giá trị P tương ứng và so sánh với mức ý nghĩa α cho trước. Nghiên cứu này lựa chọn mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$ và nếu giá trị P được tính toán thấp hơn $0,05$ thì ta có thể kết luận có bằng chứng để bác bỏ giả thuyết không (chuỗi dữ liệu không có xu thế biến động) và qua đó có thể kết luận xu thế được tìm thấy là đáng kể về mặt thống kê.

2.2.2. Xu thế Sen (Sen's slope)

Sen (1968) sử dụng mô hình tuyến tính để ước tính độ dốc của xu thế cho chuỗi dữ liệu theo thời gian bất kỳ. Xu thế Sen được xác định bằng cách xác định trung vị của chuỗi các giá trị Q_k được tính toán theo công thức sau:

$$Q_k = \frac{x_j - x_i}{j - i} \text{ với } i = 1, \dots, N; j > i.$$

Trong đó, x_j và x_i lần lượt là giá trị dữ liệu quan trắc tại thời điểm j và i trong số N bước thời gian được khảo sát. Nếu giá trị trung vị của $Q_k > 0$ ta kết luận chuỗi dữ liệu có xu hướng tăng và ngược lại.

Trong nghiên cứu này, dữ liệu đầu vào để tính toán xu thế Sen là giá trị của một chỉ số thủy văn (dòng chảy trung bình năm, dòng chảy cực đại năm hoặc dòng chảy cực tiểu năm) trong thời đoạn khảo sát. Để hỗ trợ cho việc so sánh xu hướng của dòng chảy thuộc các lưu vực sông có diện tích lưu vực khác nhau, giá trị của xu thế Sen được chuyển đổi về đơn vị tỉ lệ % thay đổi trên mỗi thập kỷ (%/thập kỷ) theo các công thức được sử dụng rộng rãi trong đánh giá xu thế (Gudmundsson & ctv., 2019).

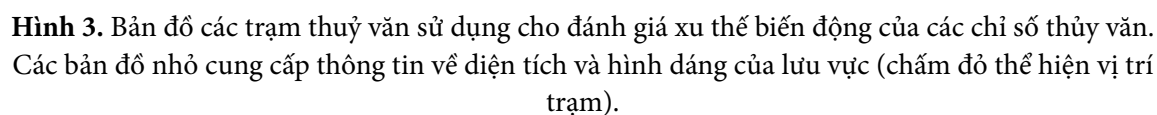
3. Kết Quả và Thảo Luận

3.1. Phân bố về mặt không gian của các lưu vực được lựa chọn

Từ quá trình khảo sát về chất lượng dữ liệu của các trạm và đặc điểm phân bố về mặt không gian của chúng, nghiên cứu này đã lựa chọn ra 11 trạm quan trắc có dữ liệu tốt với vị trí và diện tích lưu vực tương ứng với từng trạm được thể hiện tại Hình 3. Ngoài các chỉ tiêu về chất lượng dữ liệu, các trạm thủy văn còn được lựa chọn dựa vào sự phân bố về mặt không gian, để đảm bảo cho tính đại diện cho toàn lãnh thổ Việt

Nam. Ngoại trừ trạm Sơn Tây (hệ thống sông Hồng - Thái Bình) có diện tích lớn hơn nhiều so với phần còn lại (143.600 km^2), các lưu vực thượng nguồn của các trạm được lựa chọn có diện tích dao động trong khoảng từ 1.500 đến 23.000 km^2 , trong đó trạm Lạng Sơn (hệ thống sông Bằng Giang - Kỳ Cùng) có diện tích nhỏ nhất (1.560 km^2). Có ba hệ thống sông lớn của Việt Nam có hai trạm đại diện (hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn, Mê Công, và Sài Gòn - Đồng Nai) và năm lưu vực sông có một trạm đại diện (hệ thống sông Mã, Hồng - Thái Bình, Bắc Giang - Kỳ Cùng, Cà và sông Ba).

Chuỗi số liệu lưu lượng quan trắc tại các trạm đều có độ dài từ 35 đến 65 năm, đảm bảo độ dài đủ lớn để phân tích xu thế dài hạn. Để đảm bảo tính nhất quán cho các phân tích, nghiên cứu đã sử dụng dữ liệu trong 35 năm (từ năm 1987 đến 2022) tại tất cả các trạm. Từ dữ liệu dòng chảy theo ngày, ba chỉ số thủy văn theo năm, gồm giá trị trung bình, cực đại và cực tiểu, đã được tính toán để làm đầu vào cho các phân tích thống kê để hiểu rõ về xu thế biến động của chế độ thủy văn tại các lưu vực được lựa chọn.



3.2. Các đặc trưng của chế độ thủy văn của các lưu vực sông được lựa chọn

Bảng 1 trình bày giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của lưu lượng dòng chảy tháng tại các trạm thủy văn đại diện cho các hệ thống sông lớn trong giai đoạn 1987 - 2022. Kết quả cho thấy, sự phân hóa theo mùa (mùa lũ - mùa kiệt) và mức độ dao động dòng chảy chịu ảnh hưởng rõ rệt bởi diện tích lưu vực cũng như đặc điểm khí hậu khu vực. Nhìn chung, các trạm đại diện ở khu vực Bắc Bộ như Sơn Tây và Lạng Sơn có biến động lưu lượng theo mùa rõ rệt, gắn với chế độ mưa mùa hè. Các trạm đại diện cho khu vực miền Trung như Thanh Mỹ, Nông Sơn thể hiện đặc trưng mùa lũ tập trung vào cuối năm (tháng 10 - 12). Các lưu vực miền Nam như Phước Hòa

và Tà Lài thuộc hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai có mùa lũ bắt đầu muộn hơn và kéo dài đến tháng 11.

Độ lớn lưu lượng dòng chảy tỷ lệ thuận với diện tích lưu vực, trong đó trạm Sơn Tây (hệ thống sông Hồng - Thái Bình) là trạm có diện tích lớn nhất với lưu lượng trung bình tháng dao động mạnh, giá trị trung bình tháng thấp nhất là $1325,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (vào tháng 3) và cao nhất là $7236,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (vào tháng 7). Trong khi đó, trạm Lạng Sơn (hệ thống sông Bắc Giang Kỳ Cùng) có diện tích lưu vực nhỏ nhất, lưu lượng trung bình rất thấp, khoảng $8 - 12 \text{ m}^3/\text{s}$ trong mùa kiệt (tháng 1 đến 4) và tăng dần vào mùa mưa (tháng 5 đến 9), đạt cực đại vào tháng với giá trị $89,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

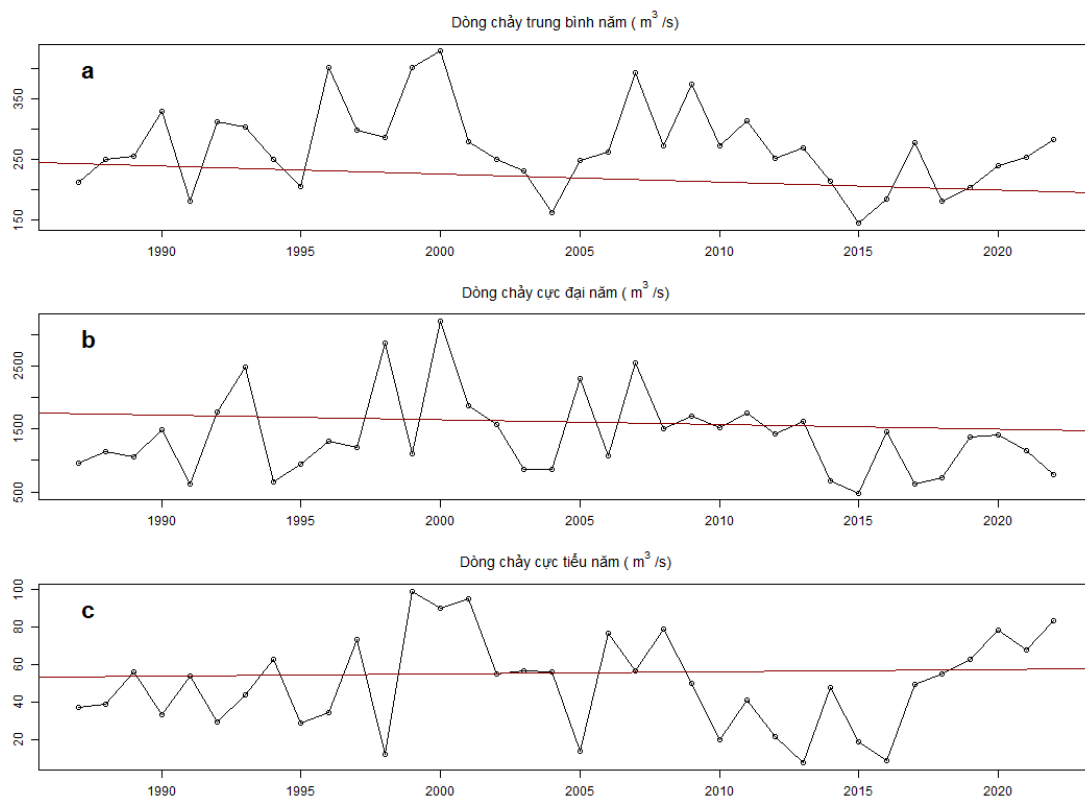
Bảng 1. Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn (giá trị trong ngoặc đơn) của dòng chảy tháng tại các lưu vực tính toán trong giai đoạn từ năm 1987 đến 2022

Trạm	Hệ thống sông	Tháng 1	Tháng 2	Tháng 3	Tháng 4	Tháng 5	Tháng 6	Tháng 7	Tháng 8	Tháng 9	Tháng 10	Tháng 11	Tháng 12
Xà Lã	Mã	50,7 (± 13,0)	42,2 (± 9,2)	37,9 (± 7,8)	43,0 (± 10,3)	63,7 (± 32,9)	128,4 (± 80,7)	261,8 (± 155,5)	310,9 (± 131,3)	217,4 (± 85,1)	120,1 (± 44,7)	79,5 (± 26,2)	60,0 (± 16,4)
Sơn Tây	Hồng - Thái Bình	1.555,1 (± 457,2)	1.427,7 (± 383,7)	1.325,8 (± 392,5)	1.656,3 (± 587,9)	2.586,9 (± 851,0)	4.282,4 (± 1671,7)	7.236,2 (± 2454,9)	6.832,0 (± 2108,9)	4.506,0 (± 1391,3)	3.316,6 (± 1090,0)	2.226,6 (± 942,2)	14.92,7 (± 378,3)
Lạng Sơn	Bắc Giang - Kỳ Cùng	8,4 (± 7,7)	8,3 (± 8,5)	9,1 (± 9,5)	12,5 (± 12,2)	23,2 (± 20,1)	38,0 (± 25,8)	66,9 (± 62,3)	89,0 (± 54,2)	59,3 (± 59,8)	26,3 (± 27,5)	17,2 (± 32,5)	7,7 (± 6,1)
Yên Thương	Cả	225,1 (± 62,0)	190,9 (± 57,7)	184,9 (± 72,0)	172,8 (± 60,8)	286,6 (± 130,8)	397,9 (± 230,7)	540,8 (± 310,5)	918,8 (± 468,8)	1294,7 (± 663,4)	1163,0 (± 660,8)	542,4 (± 430,9)	296,2 (± 96,9)
Thanh Mỹ	Vu Gia - Thu Bồn	108,6 (± 57,7)	62,9 (± 33,4)	46,0 (± 23,1)	41,5 (± 22,9)	54,5 (± 34,2)	46,5 (± 32,2)	41,0 (± 22,7)	50,1 (± 35,3)	106,0 (± 88,1)	274,7 (± 182,7)	362,3 (± 243,6)	241,5 (± 143,5)
Nông Sơn	Vu Gia - Thu Bồn	299,0 (± 142,5)	166,9 (± 80,8)	124,9 (± 60,7)	101,8 (± 59,4)	129,0 (± 65,1)	111,8 (± 54,5)	87,6 (± 48,9)	101,1 (± 57,1)	222,9 (± 174,9)	678,9 (± 386,4)	1038,1 (± 594,1)	690,5 (± 408,6)
Kon Tum	Mekong	63,4 (± 19,8)	44,4 (± 13,5)	34,8 (± 11,0)	33,2 (± 11,0)	46,3 (± 17,6)	55,1 (± 24,5)	80,1 (± 38,1)	123,0 (± 47,9)	166,4 (± 86,7)	180,4 (± 84,1)	164,3 (± 95,1)	96,6 (± 43,5)
Bán Đôn	Mekong	160,3 (± 70,1)	100,7 (± 32,6)	84,7 (± 30,5)	91,2 (± 38,5)	143,7 (± 74,3)	213,4 (± 99,9)	263,0 (± 80,9)	391,4 (± 179,4)	481,0 (± 161,5)	534,2 (± 255,3)	434,3 (± 227,3)	327,3 (± 213,0)
Cùng Sơn	Ba	174,8 (± 94,4)	87,1 (± 40,6)	58,6 (± 21,6)	49,7 (± 29,9)	98,1 (± 64,6)	116,9 (± 75,3)	124,9 (± 68,0)	221,4 (± 92,7)	376,2 (± 182,6)	607,5 (± 353,8)	808,6 (± 535,4)	514,0 (± 445,8)
Phước Hoà	Sài Gòn - Đồng Nai	79,6 (± 29,2)	67,3 (± 34,0)	81,7 (± 44,3)	95,9 (± 55,4)	126,4 (± 73,9)	190,6 (± 95,2)	274,9 (± 106,2)	411,3 (± 171,8)	491,0 (± 178,3)	496,8 (± 171,8)	239,9 (± 82,0)	117,6 (± 36,1)
Tà Lài	Sài Gòn - Đồng Nai	95,4 (± 32,4)	67,7 (± 29,8)	69,8 (± 46,6)	82,3 (± 45,4)	146,3 (± 83,0)	288,3 (± 145,2)	483,3 (± 184,5)	745,2 (± 272,0)	773,9 (± 231,3)	698,0 (± 191,4)	355,7 (± 127,5)	182,4 (± 82,9)

3.3. Thay đổi dài hạn của các chỉ số thủy văn tại các lưu vực sông của Việt Nam

Việc đánh giá xu thế của các chỉ số thủy văn được thực hiện với việc tính toán xu thế Sen cho từng chuỗi dữ liệu và ứng dụng kiểm định Mann-Kendall để xác định xu thế thay đổi có đáng kể

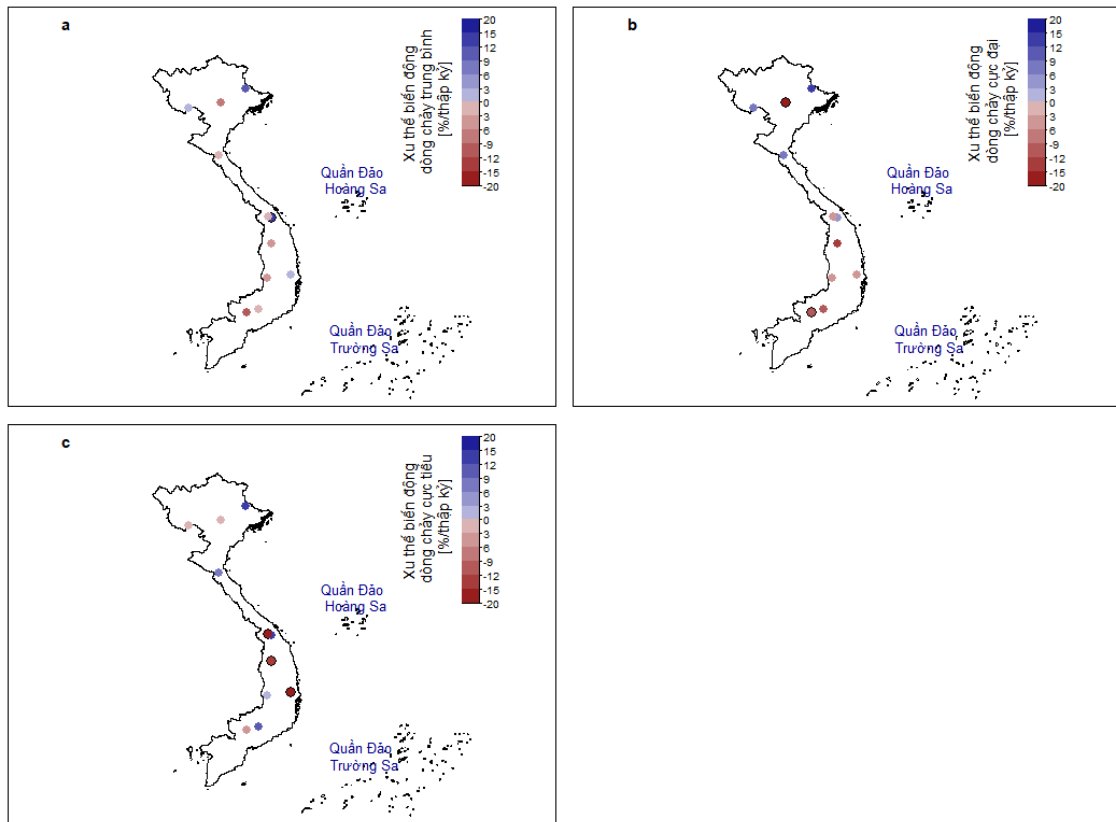
về mặt thống kê hay không. Hình 4 cung cấp ví dụ về việc tính toán xu thế Sen cho các chỉ số được phân tích (trung bình năm, tối cao năm và tối thấp năm) tại trạm Bản Đôn, thuộc hệ thống sông Mê Công.



Hình 4. Biểu đồ xu hướng biến đổi lưu lượng dòng chảy thông qua chỉ số dòng chảy (a) trung bình, (b) tối cao, và (c) tối thấp năm quan trắc tại trạm Bản Đôn (lưu vực sông Srepok thuộc hệ thống sông Mê Công). Đường thẳng màu đỏ thể hiện xu hướng theo giá trị của xu thế Sen.

Có thể thấy, xu thế biến động của 3 chỉ số này không đồng nhất (xu hướng giảm ở chỉ số dòng chảy trung bình và cực đại nhưng lại tăng ở dòng chảy cực tiểu năm), cho thấy sự biến động phức tạp của chế độ thủy văn trong bối cảnh ấm

lên của Trái đất. Các tính toán tương tự đã được thực hiện cho tất cả các trạm được lựa chọn còn lại để hỗ trợ cho việc thiết lập một góc nhìn tổng quan về xu hướng biến động dòng chảy tại Việt Nam.



Hình 5. Thay đổi các chỉ số cao nhất, trung bình, thấp nhất tại các trạm quan trắc. Các chấm được khoanh tròn đại diện cho dữ liệu có biến động đáng kể về mặt thống kê theo kiểm định Mann Kendall.

Các kết quả đánh giá được trình bày trong Hình 5 cho thấy, xu hướng thay đổi chủ đạo của các chỉ số thống kê được khảo sát là suy giảm trong giai đoạn 35 năm (từ năm 1987 đến 2022), với 4 trạm cho thấy xu hướng giảm trên cả 3 chỉ số được đánh giá: Trạm Kon Tum (hệ thống sông Mê Công), trạm Phước Hòa (hệ thống sông Sài Gòn, Đồng Nai), trạm Sơn Tây (hệ thống sông Hồng, Thái Bình), và trạm Thạnh Mỹ (hệ thống sông Vu Gia, Thu Bồn). Một điều thú vị là trạm Nông Sơn thuộc hệ thống sông Vu Gia, Thu Bồn lại cho thấy xu hướng gia tăng ở cả ba chỉ số thủy văn (bên cạnh trạm thứ hai có xu hướng trong tự là trạm Lạng Sơn thuộc hệ thống sông Bằng

Giang, Kỳ Cùng). Điều này tiếp tục khẳng định sự thay đổi khá phức tạp của chế độ thủy văn tại các lưu vực sông, và dòng chảy tại các trạm có vị trí địa lý rất gần nhau trên cùng một hệ thống sông có thể sẽ biểu hiện xu thế thay đổi khác biệt. Nguyên nhân chính là do chế độ thủy văn khá nhạy cảm với nhiều đặc trưng của lưu vực, vốn có thể bị ảnh hưởng mạnh mẽ từ hoạt động phát triển kinh tế xã hội của con người. Một ví dụ cụ thể là việc xây dựng đập và hồ chứa cũng như điều chỉnh dòng chảy ở thượng nguồn của nhiều lưu vực sông, sự thay đổi loại hình sử dụng đất cũng như sự mở rộng của các đô thị (Nguyễn & ctv., 2016; Nguyễn & ctv., 2022; Doan & Ho, 2025).

Đối với chỉ số dòng chảy trung bình (Hình 5a), xu thế giảm được quan sát ở bảy trạm, nhưng giá trị suy giảm chỉ ở mức dưới 10% và kết quả kiểm định Mann-Kendall cho thấy xu thế này là không đáng kể về mặt thống kê. Trong số các trạm có xu hướng tăng, trạm Nông Sơn (tại hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn) là địa điểm duy nhất cho thấy xu hướng tăng là đáng kể về mặt thống kê, với xu thế Sen được tính toán khoảng 15%/thập kỷ.

Đối với chỉ số dòng chảy tối cao (Hình 5b), xu thế giảm cũng được quan sát ở 7 trạm, và xu thế này là đáng kể về mặt thống kê tại trạm Sơn Tây (hệ thống sông Hồng, Thái Bình) và trạm Phước Hòa (hệ thống sông Sài Gòn, Đồng Nai). Trong số ba trạm có xu hướng tăng, không có chuỗi dữ liệu nào cho thấy minh chứng thay đổi đáng kể về mặt thống kê.

Đối với chỉ số dòng chảy tối thấp (Hình 5c), xu thế giảm được quan sát ở 7 trạm, và xu thế này là đáng kể về mặt thống kê tại các trạm Thạnh Mỹ (hệ thống sông Vu Gia, Thu Bồn), Kon Tum (hệ thống sông Mê Công) và Củng Sơn (hệ thống sông Ba). Các trạm còn lại, kể cả trạm có xu hướng tăng đều không cho thấy minh chứng rằng thay đổi được ghi nhận là đáng kể về mặt thống kê.

4. Kết Luận và Kiến Nghị

Nghiên cứu này đã khảo sát thay đổi của chế độ thủy văn tại 11 trạm quan trắc thủy văn nước ngọt có dữ liệu quan trắc tốt tại nhiều khu vực khác nhau của Việt Nam. Mặc dù xu hướng chủ đạo được tìm thấy là sự suy giảm về các chỉ số thủy văn được khảo sát (dòng chảy trung bình năm, dòng chảy cực đại năm và dòng chảy cực

tiểu năm) nhưng vẫn có một số lưu vực có xu hướng tăng ở cả ba chỉ số được đánh giá. Kết quả này cho thấy chế độ thủy văn của các lưu vực sông ở Việt Nam đã có sự biến đổi khá phức tạp trong những thập kỷ gần đây.

Một trong những nguyên nhân có khả năng tạo ra biến động phức tạp của chế độ thủy văn có thể là do thay đổi sử dụng đất, gia tăng đô thị hóa, và quá trình hình thành hệ thống đập thủy văn trên dòng chính của các hệ thống sông nhằm phục vụ phát triển kinh tế từ những năm cuối thế kỷ 20. Tuy nhiên, do giới hạn của nghiên cứu, việc kiểm nghiệm các giả thiết này vẫn chưa được thực hiện, và nghiên cứu chỉ dừng lại ở việc cung cấp thông tin về xu thế biến động của chế độ thủy văn trên các lưu vực sông ở Việt Nam, chứ chưa đi sâu tìm kiếm các tác nhân chính dẫn đến các biến động đã nêu ra. Việc phân tích các xu thế cùng với đặc điểm về thủy điện, hồ chứa hoặc xây dựng các mô hình thủy văn để kiểm tra các giả thuyết về ảnh hưởng của các kịch bản sử dụng đất khác nhau tại các lưu vực sẽ góp phần xác định các yếu tố ảnh hưởng đến biến động dòng chảy của các lưu vực sông.

Một hạn chế khác của nghiên cứu là chỉ mới đánh giá ba chỉ số thủy văn, và chưa đánh giá các chỉ số cũng rất quan trọng khác như các giá trị bách phân vị thứ năm, thứ chín mươi lăm, số ngày lũ, số ngày hạn, chu kỳ lũ, thời điểm diễn ra lũ... Bên cạnh việc mở rộng các phân tích được áp dụng trong nghiên cứu này cho các trạm thủy văn khác tại Việt Nam, các nghiên cứu trong tương lai cũng nên đánh giá biến động của các chỉ số thủy văn khác để hiểu rõ hơn về sự thay đổi của chế độ thủy văn tại các lưu vực sông ở Việt Nam.

Các kết quả phân tích cũng cho thấy sự biến đổi của các chỉ số thủy văn là không đồng nhất: có sự gia tăng chỉ số dòng chảy cực đại nhưng lại suy giảm chỉ số dòng chảy cực tiểu tại một số lưu vực. Điều này cho thấy sự phức tạp của chế độ thủy văn tại các lưu vực sông Việt Nam trong bối cảnh ấm lên. Các nhà hoạch định chính sách; do đó, cần có những định hướng cho việc quy hoạch tài nguyên nước theo hướng linh hoạt, có khả năng thích ứng cao trước những biến động giữa các hiện tượng thủy văn cực đoan. Ngoài ra, việc duy trì và nâng cao đầu tư cho hệ thống quan trắc thủy văn cũng rất quan trọng, để nâng cao mức độ chính xác của các phân tích dựa trên dữ liệu quan trắc thủy văn trong tương lai.

Lời Cam Đoan

Chúng tôi cam đoan bài báo do nhóm tác giả thực hiện và không có bất kỳ mâu thuẫn giữa các tác giả.

Lời Cảm Ơn

Nghiên cứu này là một phần của đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ mã số B2023-NLS-03 được cấp kinh phí bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo.

Tài Liệu Tham Khảo (References)

- Doan, V. B., & Ho, N. N. Y. (2025). Assessing the effects of land use changes and diversion dams on river flow in the Thanh Binh, Dak Nong, and Dai Nga basins. *Vietnam Journal of Hydrometeorology* 769, 27-43.
- Do, H. X., Le, H. M., Pham, H. T., Le, T. H., & Nguyen, B. Q. (2022). Identifying hydrologic reference stations to understand changes in water resources across Vietnam-a data-driven approach. *Vietnam Journal of Earth Sciences* 44(1), 144-164. <https://doi.org/10.15625/2615-9783/16980>.
- Do, Q. M., Pham, T. H. L., Le, T. H., & Le, T. T. H. (2020a). Application of the IHA method (Indicators of Hydrologic Alteration) to evaluate the impacts of Tri An reservoir on hydrological regime in the downstream of the Dong Nai River basin. *Journal Science and Technology Water Resources* 68, 89-97.
- Do, Q. V., Do, H. X., Do, N. C., & Ngo, A. L. (2020b). Changes in precipitation extremes across Vietnam and its relationships with teleconnection patterns of the northern hemisphere. *Water* 12(6), 1646.
- Gudmundsson, L., Boulange, J., Do, H. X., Gosling, S. N., Grillakis, M. G., Koutroulis, A. G., Leonard, M., Liu, J., Schmied, H. M., Papadimitriou, L., Pokhrel, Y., Senerivatne, S. I., Satoh, Y., Thiery, W., Westra, S., Zhang, X., & Zhao, F. (2021). Globally observed trends in mean and extreme river flow attributed to climate change. *Science* 371(6534), 1159-1162.
- Gudmundsson, L., Leonard, M., Do, H. X., Westra, S., & Seneviratne, S. I. (2019). Observed trends in global indicators of mean and extreme streamflow. *Geophysical Research Letters* 46(2), 756-766.
- Ho, Q. N. N., Dao, K. N., Huynh, H. C., & Nguyen, B. T. (2018). Application of remote sensing and GIS to assess riverbank changes of Tien and Hau rivers. *Journal of Meteorology and Hydrology* 690(6), 12-22.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2021). Summary for policymakers. In Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., and Zhou, B. (Eds.), *Climate change 2021: The*

- physical science basis. *Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (3-32). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Kendall, M. G. (1948). *Rank correlation methods*. Oxford, England: Griffin.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13(3), 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>.
- MONRE (Ministry of Natural Resources and Environment). (2021). *Climate change scenarios updated version 2020*. Ha Noi, Vietnam: Vietnam Publishing House of Natural Resources - Environment and Maps.
- Nguyen, D. Q., Renwick, J., & McGregor, J. (2014). Variations of surface temperature and rainfall in Vietnam from 1971 to 2010. *International Journal of Climatology* 34(1), 249-264.
- Nguyen, Q. B., Vo, N. D., & Mai, T. T. D. (2022). Quantifying the impact of upstream dams on the sediment load in the Vu Gia anh Thu Bon river basin. *Journal Science and Technology Water Resources* (2022)78, 121-129.
- Nguyen, T. G., Nguyen, T. H., Nguyen, V., Tran, T. H., Nguyen, N. H., Tran, N. A., & Tran, N. V. (2016). Assessment of hydrologic alterations downstream of the ba river basin under the impact of reservoir system. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences* 32(2).
- Nguyen, T. L., Nguyen, T. A., Do, T. N. B., Le, V. L., Hoang, T. T., Nguyen, H. B., Hoang, B. N., & Pham, L. A. (2024). Rainfall trend analysis in the Vu Gia - Thu Bon river basin from 1978 to 2020. *Vietnam Journal of Hydrometeorology* 1, 74-85. [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2024\(757\).74-85](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2024(757).74-85).
- Schmidt-Thomé, P., Nguyen, T. H., Pham, T. L., Jarva, J., & Nuottimäki, K. (2015). Climate change in Vietnam. In Schmidt-Thomé, P. (Ed.), *Climate change adaptation measures in Vietnam: Development and implementation* (7-15). Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of The American Statistical Association* 63(324), 137-1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>.