



Original Article

Study of the Effects of Climate Change on Surface Water Resources in the Ba River Basin

Pham Thi Thu Ha^{1,*}, Tran Duc Thien², Nguyen Dieu Xuan¹, Duong Ngoc Bach³,
Nguyen Vu Trung Kien^{1,3}, Nguyen Duc Tai¹, Luu Minh Loan¹

¹*Faculty of Environmental Sciences, VNU University of Science,
334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*

²*Water Resources Institute, 24 Huynh Thuc Khang, Lang, Hanoi, Vietnam*

³*Research Center for Environmental Monitoring and Modeling, VNU University of Science,
334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*

Received 08th August 2025

Revised 15th September 2025; Accepted 30th September 2025

Abstract: This study assessed the impact of climate change on surface water resources at selected sites within the Ba River Basin, Vietnam. This research used the MIKE NAM hydrological model to assess surface water resources in the Ba River Basin. A parameter set is developed for the model to evaluate the current discharge of surface water and to simulate flows for future periods. Incorporating climate change scenarios for Vietnam provided by the Ministry of Natural Resources and Environment in 2020, the study reveals that mean annual streamflow across all sub-basins of the Ba River is likely to increase in all future periods relative to the baseline (1986-2005), with greater increases under RCP4.5 compared to RCP8.5. In the mid-21st century (2046-2065), projected changes of flows range from 13% to 15%, while in the late 21st century period (2080-2099), the annual flow variations range from 7% to 17%, with the largest increases projected in the late 21st century under RCP4.5 scenario. The simulation results indicate a prolonged dry season with low water levels, while the flood season ends earlier with higher water discharge, increasing the variability between the two seasons. Especially during the dry season, the flow discharge decreases in the late 21st century (2080-2099), with the reduction of -0.8% at An Khe station, -2% at Ayun Pa station, -1% at Cung Son station, and -2% across the entire basin compared to the baseline period (1986-2005). The findings of this study provide a scientific basis for supporting integrated water resources management, strategic planning, and sustainable exploitation of surface water resources in the Ba River Basin under climate change.

Keywords: Surface water resources, Ba River Basin, climate change.

* Corresponding author.

E-mail address: thuhaee@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuées.5433>

Nghiên cứu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước mặt lưu vực sông Ba

Phạm Thị Thu Hà^{1,*}, Trần Đức Thiện², Nguyễn Diệu Xuân¹, Dương Ngọc Bách³,
Nguyễn Vũ Trung Kiên^{1,3}, Nguyễn Đức Tài¹, Lưu Minh Loan¹

¹Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Khoa học Tài nguyên nước, 24 Huỳnh Thúc Kháng, Láng, Hà Nội, Việt Nam

³Trung tâm Nghiên cứu Quan trắc và Mô hình hóa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên,
Đại học Quốc gia Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 08 tháng 8 năm 2025

Chỉnh sửa ngày 15 tháng 9 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 30 tháng 9 năm 2025

Tóm tắt: Nghiên cứu này đã đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu (BĐKH) đến tài nguyên nước mặt tại một số vị trí trên lưu vực sông Ba. Mô hình Mike Nam được sử dụng để đánh giá tài nguyên nước mặt trên lưu vực sông Ba. Bộ thông số cho mô hình được xây dựng để đánh giá lưu lượng dòng chảy mặt cho hiện tại và mô phỏng cho các giai đoạn trong tương lai. Kết hợp với kịch bản BĐKH cho Việt Nam do bộ Tài nguyên và Môi trường cung cấp năm 2020, nghiên cứu đã chỉ ra rằng dòng chảy năm trung bình tại các tiểu lưu vực sông Ba đều có xu hướng tăng ở tất cả các thời kỳ ở cả hai kịch bản BĐKH RCP4.5 và RCP8.5 so với thời kỳ nền (1986-2005), trong đó kịch bản RCP4.5 tăng nhiều hơn kịch bản RCP8.5. Giữa thế kỷ 21 (2046-2065), biến đổi dòng chảy năm dao động từ 13% đến 15%, và cuối thế kỷ 21 (2080-2099), dòng chảy năm biến đổi từ 7% đến 17%, với sự gia tăng cao nhất được ghi nhận vào giai đoạn cuối thế kỷ 21 theo kịch bản RCP4.5. Các kịch bản mô phỏng cho thấy mùa cạn kéo dài với lượng nước thấp, trong khi mùa lũ kết thúc sớm với lưu lượng nước cao, làm tăng sự biến đổi giữa hai mùa. Đặc biệt, vào mùa cạn lưu lượng dòng chảy giảm đi tại giai đoạn cuối thế kỷ 21 (2080-2099) với mức giảm so với thời kỳ nền (1986-2005) là -0,8% tại trạm An Khê, -2% tại trạm Ayun Pa, -1% tại trạm Củng Sơn và -2% trên toàn lưu vực. Kết quả của nghiên cứu này là một trong những cơ sở hỗ trợ cho công tác quản lý, định hướng khai thác, sử dụng và phát triển bền vững tài nguyên nước lưu vực sông Ba trong bối cảnh BĐKH.

Từ khóa: Tài nguyên nước mặt, lưu vực sông Ba, BĐKH.

1. Mở đầu

Sự nóng lên toàn cầu và mực nước biển dâng là những biểu hiện lớn nhất của biến đổi khí hậu (BĐKH). Đây là một trong những thách thức lớn nhất đối với nhân loại trong thế kỷ 21, nhiều nơi trên thế giới đã phải chịu nhiều thiên tai nguy hiểm như bão lớn, nắng nóng dữ dội, lũ lụt, hạn

hán và khí hậu khắc nghiệt gây thiệt hại lớn về tính mạng con người và vật chất. BĐKH tác động đến những yếu tố cơ bản của đời sống con người trên phạm vi toàn cầu như: nước, lương thực, năng lượng, sức khỏe và môi trường. BĐKH có ảnh hưởng đáng kể đến các quá trình thủy văn lưu vực [1, 2]. Một số nghiên cứu gần

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: thuhaee@hus.edu.vn

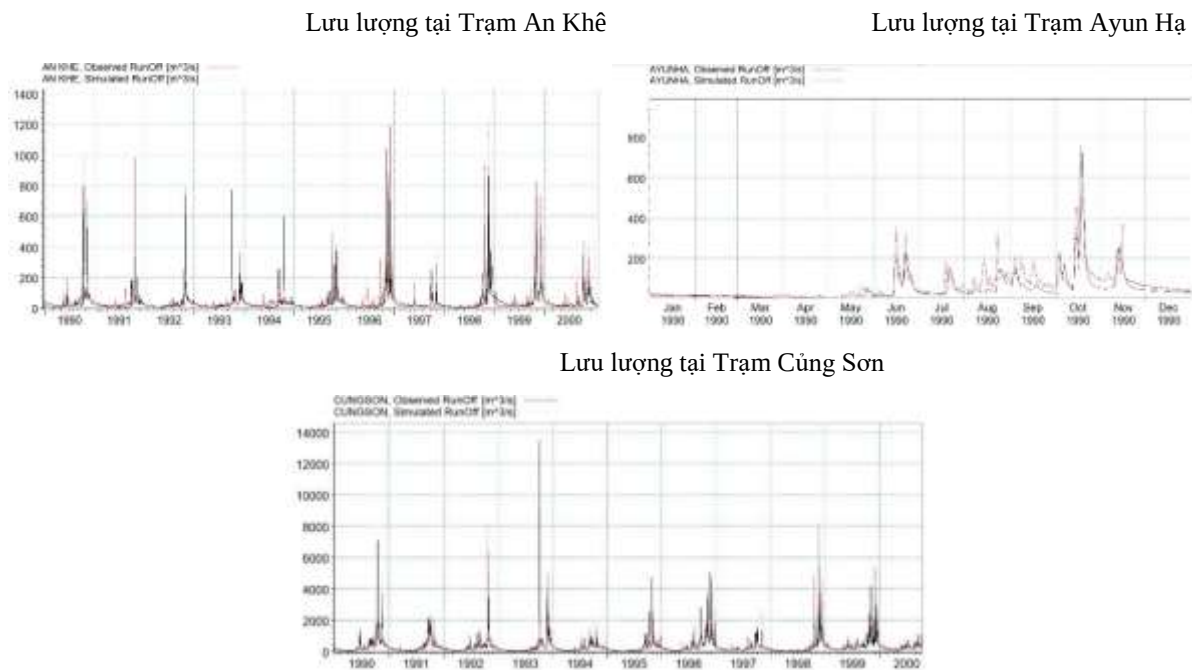
<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5433>

đây trên thế giới đã chỉ ra rằng BĐKH làm thay đổi nhiệt độ và lượng mưa, từ đó dòng chảy của sông thay đổi. Zhang và cộng sự (cs), 2025 [3] khi nghiên cứu về đánh giá tác động của BĐKH và đặc điểm dữ liệu sử dụng đất lên dòng chảy đã sử dụng mô hình SWAT để mô phỏng dòng chảy trong tương lai, và những thay đổi về dòng chảy ở thượng nguồn lưu vực sông Hàn trong giai đoạn tương lai gần (2040-2070) và tương lai xa (2071-2100) theo kịch bản SSP1-2.6 và kịch bản SSP5-8.5. Kết quả nghiên cứu này chỉ ra rằng các dự báo trong tương lai cho thấy lưu lượng dòng chảy trung bình hàng năm tăng 28,8% theo kịch bản SSP1-2.6 (phát thải thấp) và 18,1% theo kịch bản SSP5-8.5 (phát thải cao); Sự thay đổi theo mùa bao gồm sự giảm đáng kể tỷ lệ dòng chảy mùa hè từ 44% xuống 34-35%, kèm theo sự gia tăng tỷ lệ dòng chảy mùa xuân từ 18% lên 26%, tạo ra những thách thức tiềm ẩn đối với việc quản lý tài nguyên nước trong mùa khô. Shrestha và cs, 2018 [4] cũng đã định lượng tác động riêng lẻ và tổng hợp của BĐKH, sử dụng đất đối với dòng chảy và tải lượng nitơ nitrat trên sông Songkhram, Thái Lan. Nghiên cứu này sử dụng mô hình SWAT để mô phỏng dòng chảy trong tương lai. Kết quả cho thấy BĐKH là nguyên nhân làm giảm 19,5% và 24% lưu lượng dòng chảy, giảm 11,25% và 15,25% tải lượng nitrat tương ứng theo kịch bản RCP 4.5 và 8.5. Nghiên cứu của Aslam và cs 2024 [5] đánh giá tình trạng khan hiếm nước hiện tại ở Lưu vực sông Hub, Pakistan sử dụng công cụ SWAT đã được hiệu chuẩn để mô phỏng dòng chảy trong ba giai đoạn khác nhau: 2010-2039, 2040-2069 và 2070-2099. Kết quả cho thấy lưu lượng trung bình mô phỏng bởi SWAT tăng đáng kể, dao động từ 15,27 đến 52,78 m³/giây theo kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 so với lưu lượng cơ sở. Sammen và cs, 2022 [6] đã đánh giá tác động của BĐKH lên dòng chảy mùa lũ cực đại tại một lưu vực nhiệt đới ở Bang Perak, Malaysia. Kết quả cho thấy dòng chảy mùa lũ cực đại tăng 48,9% và 122,6% trong giai đoạn đầu (2031-2045) và giai đoạn cuối (2060-2075). Sự gia tăng lớn của dòng chảy mùa lũ cực đại cho thấy khả năng xảy ra lũ lụt tàn phá trong

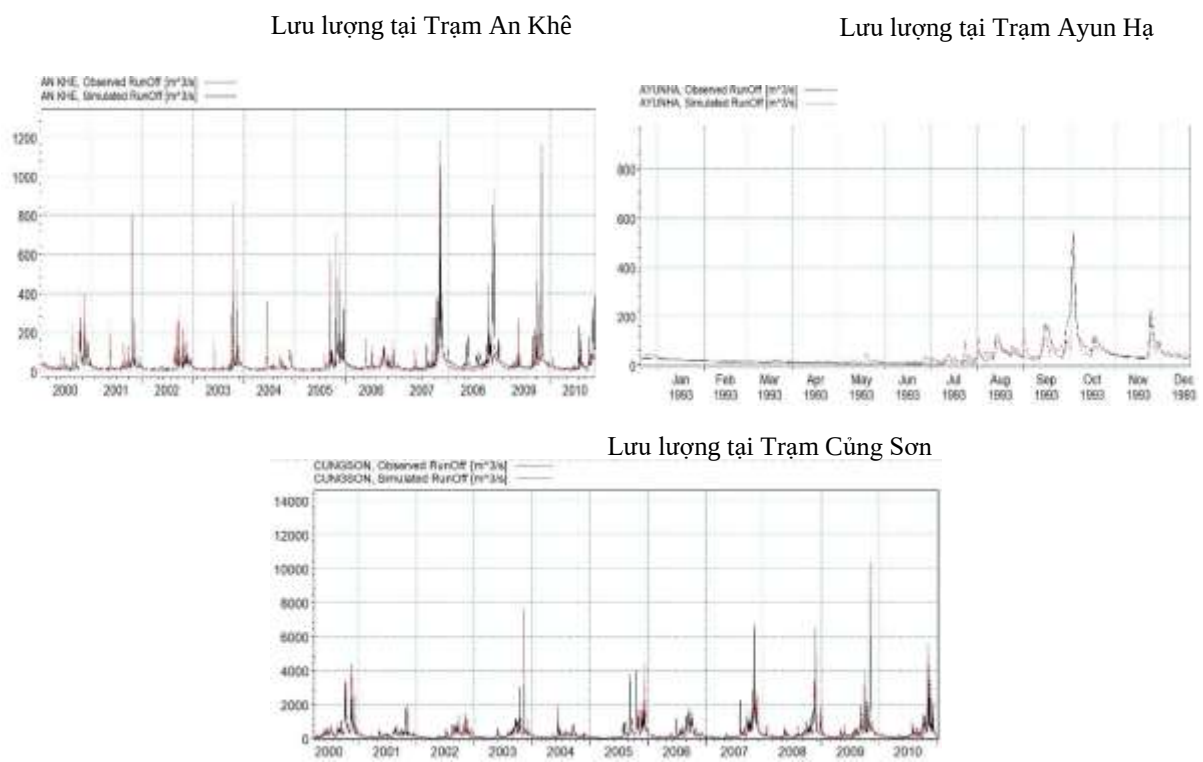
tương lai tại lưu vực sông này do ảnh hưởng của BĐKH. Tại Việt Nam, nghiên cứu của Nguyễn Anh Nam và cs, 2022 [7] về đánh giá tác động của BĐKH đến tình hình ngập lụt hạ lưu sông Trà Khúc tỉnh Quảng Ngãi. Kết quả cho thấy diện tích và độ sâu ngập các giai đoạn của kịch bản tương lai đều lớn hơn giai đoạn cơ sở (1986-2005), nhất là giai đoạn cuối thế kỷ (2080-2099). Nguyễn Thị Bích Ngọc và cs, 2022 [8] đánh giá tác động của BĐKH theo 2 kịch bản RCP4.5 và RCP4.5 đến dòng chảy trung bình năm và dòng chảy trung bình mùa lũ trên sông Lại Giang. Kết quả cho thấy dòng chảy có xu hướng tăng so với thời kỳ nền, trạm An Hòa có xu hướng tăng rõ rệt hơn so với trạm Bồng Sơn. Nghiên cứu của Huỳnh Thị Lan Hương, 2013 [9] và nghiên cứu của Lê Văn Quy và cs, 2020 [10] đã nghiên cứu ảnh hưởng của BĐKH đến dòng chảy lưu vực sông Ba và chỉ ra rằng dòng chảy sông Ba có sự biến đổi, dòng chảy năm và dòng chảy mùa cạn giảm, nhưng dòng chảy mùa lũ có xu thế tăng, và có sự thay đổi theo các tháng của từng mùa. Tuy nhiên 2 nghiên cứu này mới chỉ dừng lại ở việc đánh giá theo các kịch bản BĐKH A2, B2, B1.

Từ những công trình nghiên cứu trong và ngoài nước cho thấy, BĐKH ảnh hưởng lớn đến lưu lượng nước, dòng chảy, chất lượng nước của các con sông. Sông Ba là con sông lớn nhất vùng ven biển miền Trung nằm trọn vẹn trong lãnh thổ Việt Nam, chảy qua 3 tỉnh miền Trung là Kon Tum (nay là tỉnh Quảng Ngãi), Gia Lai và Phú Yên (nay là tỉnh Đắk Lắk) với 13.900 km² diện tích lưu vực sông. Phần thượng lưu gọi là Ea Pa, phần hạ lưu gọi là sông Đà Răng. Hằng năm có khoảng 3-4 trận lũ xuất hiện trên các sông thuộc lưu vực sông Ba. Thời gian truyền lũ rất nhanh là đặc điểm lũ của sông Ba, khoảng 2-8 giờ mưa lớn ngập lụt sẽ xảy ra. Cường suất lũ rất lớn, thay đổi theo từng đoạn sông và từng trận lũ, độ sâu, biên độ ngập lụt cao, trung bình từ 2-3 m. Một số trận lũ đặc biệt lớn biên lũ có thể lên đến 4-5 m; gây ra ngập lụt nghiêm trọng ở vùng hạ lưu.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của BĐKH theo các kịch bản BĐKH cập nhật năm 2020 đến tài nguyên nước mặt tại một số vị trí trên lưu vực sông Ba đại diện



Hình 2. Kết quả hiệu chỉnh mô hình tại ba trạm An Khê, Ayun Hạ và Củng Sơn.



Hình 3. Kết quả kiểm định mô hình tại ba trạm An Khê, Ayun Hạ và Củng Sơn.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Để kết quả mô phỏng dòng chảy có độ tin cậy cao, quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình được thực hiện nhằm xác định các thông số của mô hình để cho kết quả tính toán phù hợp nhất với số liệu thực đo. Nghiên cứu đã tiến hành hiệu chỉnh và kiểm định mô hình tại 3 vị trí: trạm An Khê, Ayun Hạ và Củng Sơn. Số liệu được sử dụng là các số liệu vào đầu thế kỷ 21 cho phù hợp với thời kỳ nền được lựa chọn trong đánh giá sự biến đổi dòng chảy. Kết quả hiệu chỉnh mô hình cho hệ số Nash là 0,78 tại trạm An Khê, 0,81 tại trạm Ayun Hạ, và 0,79 tại trạm Củng Sơn. Kết quả kiểm định mô hình cho hệ số Nash là 0,76 tại trạm An Khê, 0,82 tại trạm Ayun Hạ, và 0,72 tại trạm Củng Sơn. Kết quả này được đánh giá là chấp nhận được cho việc nghiên cứu mô phỏng lưu lượng dòng chảy mặt tại lưu vực sông Ba.

3.2. Đánh giá ảnh hưởng của các kịch bản biến đổi khí hậu đến dòng chảy sông

3.2.1. Các kịch bản biến đổi khí hậu

Kịch bản BĐKH cho lưu vực sông Ba được xác định dựa trên kịch bản BĐKH cho Việt Nam được công bố bởi Bộ Tài Nguyên và Môi trường năm 2020 [12] để mô phỏng cho thời kỳ giữa thế kỷ 21 (2046-2065) và cuối thế kỷ 21 (2080-2099). Nghiên cứu lựa chọn 2 kịch bản BĐKH để đánh giá ảnh hưởng đến dòng chảy sông, đó là: RCP4.5 là kịch bản phát thải trung bình, và RCP8.5 là kịch bản phát thải cao.

* *Đối với nhiệt độ*: cả hai kịch bản RCP4.5, RCP8.5 đều cho thấy trong các thời kỳ giữa (2046-2065) và cuối thế kỷ 21 (2080-2099), nhiệt độ trung bình năm ở lưu vực sông Ba đều thể hiện xu thế tăng lên so với thời kỳ cơ sở 1986-2005. Theo kịch bản RCP4.5, vào giữa thế kỷ, nhiệt độ tăng phổ biến 1,3-1,5°C. Đến cuối thế kỷ, nhiệt độ tăng phổ biến dưới 1,8°C. Theo kịch bản RCP8.5, vào giữa thế kỷ, nhiệt độ tăng 1,8-2,0°C. Đến cuối thế kỷ, nhiệt độ tăng 3,0-3,4°C.

* *Đối với lượng mưa*: Theo cả 2 kịch bản RCP4.5 và RCP8.5, trong thế kỷ 21, lượng mưa năm ở Lưu vực sông Ba có xu thế tăng so với thời kỳ cơ sở. Theo kịch bản RCP4.5, vào giữa thế kỷ (2046-2065), lượng mưa tăng phổ biến 10%, đến cuối thế kỷ (2080-2099), lượng mưa tăng phổ biến 30-50%. Theo kịch bản RCP8.5, vào giữa thế kỷ, lượng mưa tăng phổ biến khoảng 15%, đến cuối thế kỷ lượng mưa tăng phổ biến 5-15%.

3.2.2. Đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước mặt lưu vực sông Ba

Nghiên cứu lựa chọn 3 vị trí trên lưu vực sông Ba để đánh giá ảnh hưởng của BĐKH đến lưu lượng nước sông, đó là 3 vị trí: trạm An Khê thuộc tiểu lưu vực phía thượng lưu, trạm Ayun Pa thuộc tiểu lưu vực vùng trung lưu, và trạm Củng Sơn thuộc tiểu lưu vực vùng hạ lưu (Hình 1). Ngoài ra, lưu lượng trung bình trên toàn lưu vực sông Ba cũng được tính toán, mô phỏng và được sử dụng để so sánh với lưu lượng nước tại 3 trạm trên. Nghiên cứu lựa chọn 3 giai đoạn đầu, giữa và cuối thế kỷ 21, trong đó giai đoạn đầu thế kỷ 21 (1986-2005) được lựa chọn làm thời kỳ nền, giai đoạn giữa (2046-2065) và giai đoạn cuối thế kỷ 21 (2080-2099) được chọn làm thời kỳ mô phỏng để đánh giá sự biến đổi của lưu lượng nước do ảnh hưởng của BĐKH. Kết quả nghiên cứu được thể hiện như sau:

i) *Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy năm lưu vực sông Ba*

Dòng chảy trung bình nhiều năm theo giai đoạn của các kịch bản BĐKH được đánh giá mức độ tăng, giảm so với thời kỳ nền (1986-2005) trên toàn lưu vực sông Ba và tại 3 trạm An Khê, Ayun Pa, Củng Sơn (Hình 4). Cụ thể kết quả mô phỏng dòng chảy trung bình nhiều năm giai đoạn thời kỳ nền từ năm 1986-2005 trên toàn lưu vực đạt 296,9 m³/s. Tuy nhiên với kịch bản BĐKH dòng chảy trung bình nhiều năm có xu hướng tăng rõ rệt cụ thể: kịch bản RCP4.5 giai đoạn 2046-2065 dòng chảy đạt 341,4 m³/s (tăng khoảng 15% so với thời kỳ nền); giai đoạn 2080-2099 dòng chảy đạt 347,4 m³/s (tăng khoảng 17% so với thời kỳ nền). Trong khi kịch bản

RCP8.5 các giai đoạn 2045-2065 và 2080-2099 dòng chảy trung bình năm cũng tăng lên tương ứng 13% và 7% so với thời kỳ nền, tuy nhiên giai đoạn

cuối thế kỷ (2080-2099) lại có xu hướng giảm đi, cụ thể là giảm khoảng 5,3% so với thời kỳ 2045-2065;



Hình 4. Biến đổi dòng chảy năm tại Lưu vực sông Ba theo các kịch bản BĐKH.

Tại trạm An Khê (thượng lưu) và trạm Ayun Pa (trung lưu), hình thái biến đổi dòng chảy năm tương tự như sự biến đổi trên toàn lưu vực sông Ba. Cả hai kịch bản BĐKH đều cho thấy xu hướng tăng dòng chảy, trong đó kịch bản RCP4.5 có mức tăng cao và ổn định hơn. Kịch bản RCP8.5 có sự biến đổi dòng chảy trung bình năm tăng rồi giảm, thể hiện biến động mạnh và suy giảm dòng chảy về cuối thế kỷ, điều này có thể là do vào giai đoạn cuối thế kỷ nhiệt độ tăng cao hơn, bốc hơi mạnh hơn và có sự biến đổi lượng mưa thấp hơn so với giai đoạn giữa thế kỷ. Điều này có thể dẫn đến rủi ro thiếu nước và biến động nguồn tài nguyên nước tăng cao trong kịch bản phát thải cao (RCP8.5);

Tại trạm Củng Sơn (hạ lưu), dòng chảy trung bình năm có xu hướng tăng mạnh theo thời gian ở cả hai kịch bản RCP4.5 và RCP8.5. Đối với kịch bản RCP4.5 dòng chảy tăng liên tục và ổn

định. Theo kịch bản RCP8.5, dòng chảy trung bình năm tăng mạnh vào giai đoạn giữa thế kỷ (2046-2065), sau đó giảm nhẹ, phản ánh sự biến động lớn về nguồn tài nguyên nước, điều này cho thấy sự cực đoan và dao động mạnh của dòng chảy một cách rõ rệt. Nguyên nhân có thể do nhiệt độ tăng cao khoảng 1,8-2,0°C, gia bốc hơi và thoát hơi nước làm giảm nước thực chảy trên bề mặt ở một số thời điểm. Ngoài ra, lượng mưa tăng phổ biến khoảng 15%, mưa có thể tập trung trong một khoảng thời gian nhất định làm lượng nước tăng gia tăng mạnh, gia tăng tần suất các hiện tượng thời tiết cực đoan khiến dòng chảy biến động bất thường;

ii) Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy mùa lũ lưu vực sông Ba

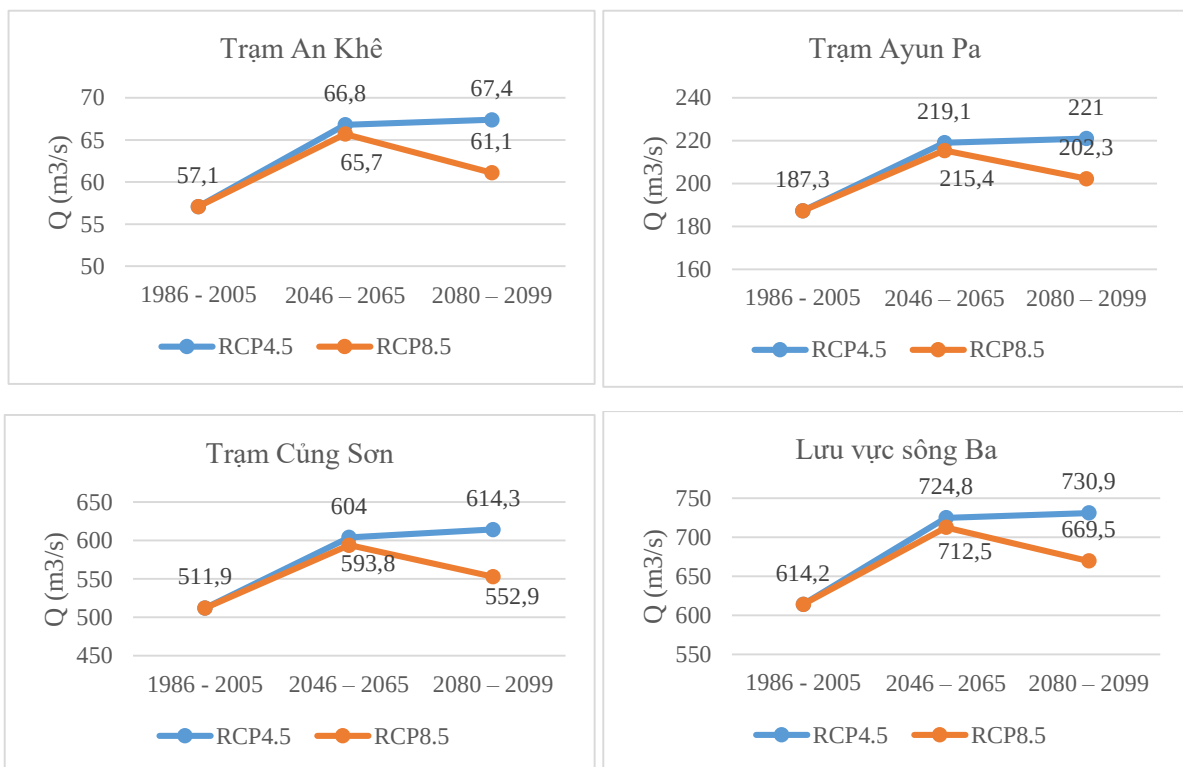
Mùa lũ trên lưu vực sông Ba kéo dài 4 tháng, thường bắt đầu vào tháng IX và kết thúc vào cuối tháng XII. Lũ lớn thường xảy ra vào tháng X và

XI và tổng lượng dòng chảy các tháng mùa lũ chiếm khoảng 75% đến 80% lượng dòng chảy năm. Hình 5 thể hiện sự biến đổi dòng chảy vào mùa lũ do ảnh hưởng của 2 kịch bản BĐKH. Kết quả chỉ ra rằng dòng chảy trung bình mùa lũ tại các tiểu lưu vực đều có xu hướng tăng ở tất cả các thời kỳ ở cả hai kịch bản BĐKH RCP4.5 và RCP8.5 so với thời kỳ nền (1986-2005), trong đó kịch bản RCP4.5 tăng nhiều hơn kịch bản RCP8.5.

Theo kịch bản RCP4.5: dòng chảy mùa lũ tăng mạnh nhất tại giai đoạn cuối thế kỷ 21 (2080-2099) với mức tăng cao nhất so với thời kỳ nền (1986-2005) là 18% tại trạm An Khê,

18% tại trạm Ayun Pa, 20% tại trạm Củng Sơn và 19% trên toàn lưu vực.

Theo kịch bản RCP8.5: dòng chảy mùa lũ lại gia tăng mạnh nhất tại giai đoạn giữa thế kỷ 21 (2046-2065) với mức tăng cao nhất so với thời kỳ nền (1986-2005) là 15,1% tại trạm An Khê, 15% tại trạm Ayun Pa, 4,2% tại trạm Củng Sơn và 16% trên toàn lưu vực. Tuy nhiên, lưu lượng dòng chảy mùa lũ lại có xu hướng giảm ở giai đoạn cuối thế kỷ. Nguyên nhân có thể là do giai đoạn cuối thế kỷ lượng mưa trong mùa lũ của kịch bản RCP8.5 tăng so với thời kỳ nền khoảng 5-15%, ít hơn sự gia tăng trong giai đoạn giữa thế kỷ.



Hình 5. Biến đổi dòng chảy mùa lũ tại lưu vực sông Ba theo các kịch bản BĐKH.

iii) Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy mùa cạn lưu vực sông Ba

Mùa cạn trên lưu vực sông Ba kéo dài 7 tháng, thường bắt đầu vào tháng I và kết thúc vào cuối tháng VII. Trong mùa cạn dòng chảy trung bình nhỏ, chiếm khoảng 20-25% tổng lượng dòng chảy năm. Hình 6 thể hiện sự biến đổi dòng

chảy vào mùa cạn do ảnh hưởng của 2 kịch bản BĐKH. Kết quả chỉ ra rằng dòng chảy trung bình mùa cạn tại tất cả các vị trí và trên toàn lưu vực đối với kịch bản RCP4.5 tăng nhiều hơn kịch bản RCP8.5;

Theo kịch bản RCP4.5: dòng chảy trung bình mùa cạn tại các tiểu lưu vực đều có xu hướng

tăng ở tất cả các thời kỳ so với thời kỳ nền (1986-2005), tăng mạnh nhất tại giai đoạn cuối thế kỷ 21 (2080-2099) với mức tăng cao nhất so với thời kỳ nền (1986-2005) là 5,2% tại trạm An Khê, 10% tại trạm Ayun Pa, 10% tại trạm Củng Sơn và 11% trên toàn lưu vực;

Theo kịch bản RCP8.5: trái ngược với kịch bản phát thải trung bình RCP4.5, kịch bản RCP8.5 lại có dòng chảy mùa cạn có xu hướng

tăng lên tại giai đoạn giữa thế kỷ 21 (2046-2065), nhưng giảm đi tại giai đoạn cuối thế kỷ 21 (2080-2099) với mức giảm so với thời kỳ nền (1986-2005) là -0,8% tại trạm An Khê, -2% tại trạm Ayun Pa, -1% tại trạm Củng Sơn và -2% trên toàn lưu vực. Việc suy giảm lượng nước này tuy nhỏ nhưng là dấu hiệu cảnh báo sự mất cân bằng nguồn tài nguyên nước, gây nguy cơ khan hiếm nước.



Hình 6. Biến đổi dòng chảy mùa cạn tại lưu vực sông Ba theo các kịch bản BĐKH.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu về sự biến đổi dòng chảy năm trung bình tại 3 trạm thuộc 3 tiểu lưu vực ở thượng lưu, trung lưu, hạ lưu, và trung bình trên toàn lưu vực sông Ba cho thấy lưu lượng nước trung bình năm đều có xu hướng tăng ở tất cả các thời kỳ theo cả hai kịch bản BĐKH RCP4.5 và RCP8.5 so với thời kỳ nền (1986-2005). Dòng chảy trung bình năm theo kịch bản RCP4.5 tăng nhiều hơn kịch bản RCP8.5. Trong giai đoạn giữa thế kỷ 21 (2046-2065), biến đổi dòng chảy năm dao động từ 13% đến 15%, và cuối thế kỷ

21 (2080-2099), dòng chảy năm biến đổi từ 7% đến 17%, với sự gia tăng cao nhất được ghi nhận vào giai đoạn cuối thế kỷ 21 theo kịch bản RCP4.5. Các kịch bản cho thấy mùa cạn kéo dài với lượng nước thấp, trong khi mùa lũ kết thúc sớm với lưu lượng nước cao, làm tăng sự biến đổi giữa hai mùa. Lưu lượng dòng chảy mùa lũ có xu hướng tăng khoảng 4-20% ở cả 2 giai đoạn giữa và cuối thế kỷ 21. Vào mùa cạn dòng chảy giảm đi tại giai đoạn cuối thế kỷ 21 (2080-2099) với mức giảm so với thời kỳ nền (1986-2005) là -0,8% tại trạm An Khê, -2% tại trạm Ayun Pa, -1% tại trạm Củng Sơn và -2% trên toàn lưu vực.

Kết quả của nghiên cứu này là một trong những cơ sở hỗ trợ cho công tác quản lý, định hướng khai thác, sử dụng và phát triển bền vững tài nguyên nước lưu vực sông Ba.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin chân thành cảm ơn sự tài trợ kinh phí từ Đề tài cấp Bộ số TNMT.ĐL.2024.08 của Bộ Tài nguyên và Môi trường (nay là Bộ Nông nghiệp và Môi trường) để thu thập dữ liệu và thực hiện nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1] D. Ma, Y. P. Xu, W. Xuan, H. Gu, Z. Sun, Z. Bai, Do Model Parameters Change Under Changing Climate and Land Use in the Upstream of the Lancang River Basin, China? *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 65, No. 11, 2020, pp. 1894-1908. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1782915>.
- [2] C. Li, H. Fang, Assessment of Climate Change Impacts on the Streamflow for the Mun River in the Mekong Basin, Southeast Asia: Using SWAT Model, *Catena*, Vol. 201, 2021, pp. 105199, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105199>.
- [3] L. Zhang, C. Deng, J. Wei, J. Zou, Assessing the Impacts of Climate Change and Land Use/Land Cover Data Characteristics on Streamflow Using the SWAT Model in the Upper Han River Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Vol. 61, 2025, pp. 102764, <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102764>.
- [4] S. Shrestha, B. Bhatta, M. Shrestha, P. K. Shrestha, Integrated Assessment of the Climate and Landuse Change Impact on Hydrology and Water Quality in the Songkhram River Basin, Thailand. *Science of the Total Environment*, Vol. 643, 2018, pp. 1610-1622, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.306>.
- [5] M. N. Aslam, S. Ashraf, S. Shrestha, M. Ali, Climate Change Impact on Water Scarcity in the Hub River Basin, Pakistan, *Groundwater for Sustainable Development*, Vol. 27, 2024, pp. 101339, <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101339>.
- [6] S. S. Sammen, T. A. Mohammed, A. H. Ghazali, et al., Assessment of Climate Change Impact on Probable Maximum Floods in a Tropical Catchment, *Theor Appl Climatol*, Vol. 148, 2022, pp. 15-31.
- [7] N. A. Nam, T. N. Anh, D. D. Chien et al., Assessing the Impact of Climate Change on Flooding in Tra Khuc River Basin, Quang Ngai Province, *Journal of Hydro-Meteorology*, Vol. 740, No. 1, 2022, pp. 77-86, doi:10.36335/VNJHM.2022(740(1)).77-86.
- [8] N. T. B. Ngoc, T. V. Tinh, N. T. L. Anh, Assessment of Climate Change Impacts on the Lai Giang River Flow in Binh Dinh Province, *Journal of Science on Natural Resources and Environment*, Vol. 42, 2022, pp. 76-89.
- [9] H. T. L. Huong, Research Results on Impact of Climate Change to Flows in Ba River Basin, *Journal of Water Resources Science and Technology*, No. 13, 2013, pp. 71-79.
- [10] L. V. Quy, P. V. Thanh, M. T. Hoang, L. V. Tuat, P. N. Truong, Assessment of Climate Change Impacts to the Flow Mode of Ba River Basin, *Journal of Climate Change Science*, No. 14, 2020, pp. 66-75.
- [11] T. V. Tinh, Mathematical Model in Surface Water Resources, Hanoi University of Natural Resources and Environment, 2022.
- [12] Ministry of Natural Resources and Environment, Climate Change Scenarios, Viet Nam Publishing House of Natural Resources Environment and Cartography, 2020.