

Bài báo khoa học

## Mô hình hóa và đánh giá tài nguyên nước mặt: Trường hợp nghiên cứu tại lưu vực sông Ba tỉnh Gia Lai

Lê Hoàng Tú<sup>1\*</sup>, Đặng Nguyễn Đông Phương<sup>1</sup>, Phan Thị Hà<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Huyền<sup>2</sup>,  
Nguyễn Kim Lợi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trung Tâm Nghiên Cứu Biến Đổi Khí Hậu, Trường Đại Học Nông Lâm Thành Phố Hồ Chí Minh; tu.lehoang@hcmuaf.edu.vn; dangnguyendongphuong@gmail.com; haphan0604@gmail.com; ngkloi@hcmuaf.edu.vn

<sup>2</sup> Khoa Tài nguyên và Môi trường, Trường Đại Học Nông Lâm Thành Phố Hồ Chí Minh; nt.huyen@hcmuaf.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: tu.lehoang@hcmuaf.edu.vn; Tel.: +84-931844631

Ban biên tập nhận bài: 5/2/2022; Ngày phản biện xong: 16/3/2022; Ngày đăng bài: 25/4/2022

**Tóm tắt:** Đánh giá hiện trạng tài nguyên đất và nước là yêu cầu tiên quyết hỗ trợ công tác quản lý và sử dụng hiệu quả, bền vững các nguồn tài nguyên này. Theo yêu cầu đó, nghiên cứu đã ứng dụng mô hình SWAT để mô phỏng lưu lượng dòng chảy phục vụ công tác đánh giá tài nguyên nước mặt. Nghiên cứu được tiến hành tại lưu vực sông Ba phần tỉnh Gia Lai trong giai đoạn 1980–2011. Kết quả mô phỏng lưu lượng dòng chảy trung bình hàng năm cho lưu vực sông Ba trong khoảng 244,54 m<sup>3</sup>/s trong giai đoạn nghiên cứu. Lưu lượng dòng chảy có sự phân hóa rõ rệt theo mùa. Bên cạnh đó, lưu lượng dòng chảy tại lưu vực sông Ba có xu hướng giảm nhẹ hoặc không thay đổi đáng kể chiếm phần lớn các ước tính trong giai đoạn mô phỏng.

**Từ khóa:** Mô hình SWAT; Lưu lượng dòng chảy; Phân tích xu hướng; Đánh giá tài nguyên nước mặt; Lưu vực sông Ba.

### 1. Mở đầu

Tài nguyên nước nói chung và tài nguyên nước mặt nói riêng chiếm một vị trí đặc biệt quan trọng trong nguồn tài nguyên trên toàn thế giới, quyết định đến đời sống con người [1–2]. Tuy nhiên, trong năm thập kỷ qua, biến đổi khí hậu, phát triển kinh tế cũng như sự bùng nổ dân số đã kéo theo nhu cầu nước ngày càng tăng đã ảnh hưởng rõ ràng đến sự sẵn có của các nguồn tài nguyên nước tiềm năng ở nhiều vùng [3–6]. Sự suy thoái tài nguyên nước được biểu hiện rõ về cả mặt số lượng và chất lượng cho cả quốc gia đã và đang phát triển [2]. Hiện nay, cũng như nhiều nước trên thế giới và trong khu vực, Việt Nam đang phải đối mặt với nhiều thách thức liên quan đến nguồn nước. Nguồn nước mặt tại nhiều nơi đang suy giảm mạnh kèm theo đó là tình trạng lũ lụt, nước biển dâng, triều cường, sạt lở bờ biển ngày càng trầm trọng [7]. Ngoài ra, nhu cầu khai thác nước mặt gia tăng sẽ khiến 11 trong số 16 lưu vực sông lớn ở Việt Nam phải đối mặt với căng thẳng về nước vào năm 2030 và tình trạng căng thẳng về nước sẽ ảnh hưởng tới nền kinh tế, xã hội [8]. Bên cạnh đó, đứng trước nguy cơ suy thoái, cạn kiệt tài nguyên nước còn làm phát sinh những mâu thuẫn trong khai thác, sử dụng, bảo vệ tài nguyên nước của các quốc gia ở thượng nguồn [9].

Sông Ba được xếp hạng là lưu vực sông lớn nhất ở miền Trung Việt Nam với tổng diện tích 13.417 km<sup>2</sup> [10]. Lưu vực sông Ba cung cấp nước phần lớn cho địa phận của tỉnh Gia

Lai và tỉnh Phú Yên [11]. Tuy nhiên, với lượng mưa hàng năm chỉ khoảng 1700 mm và môđun dòng chảy trung bình năm 25,72 l/s km<sup>2</sup>, chế độ dòng chảy của sông phân bố không đồng đều theo không gian và thời gian, chỉ có 25–30% lượng dòng chảy tập trung vào 8–9 tháng mùa khô, dẫn đến hạn hán, ô nhiễm dòng chảy và xâm nhập mặn ở nhiều nơi trên lưu vực [12–13]. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu cùng với nhu cầu sử dụng nguồn nước ngày một tăng, dự báo dòng chảy sông vào mùa khô sẽ suy giảm đáng kể và đe dọa an toàn nguồn nước trong tương lai [12, 14]. Tại lưu vực sông Ba cũng có nhiều nghiên cứu liên quan đến ứng dụng các chỉ số khí tượng và thủy văn hạn hán để thiết lập bản đồ phân loại hạn hán [15]; mô phỏng lượng mưa–dòng chảy vào hồ An Khê trên lưu vực sông [16]; lập bản đồ và mô hình hóa tiềm năng nước ngầm sử dụng mô hình AI [17]. Tuy nhiên, hiện nay vẫn chưa có một nghiên cứu nào liên quan trực tiếp đến đánh giá xu hướng tài nguyên nước mặt tại lưu vực sông Ba trong giai đoạn hiện tại.

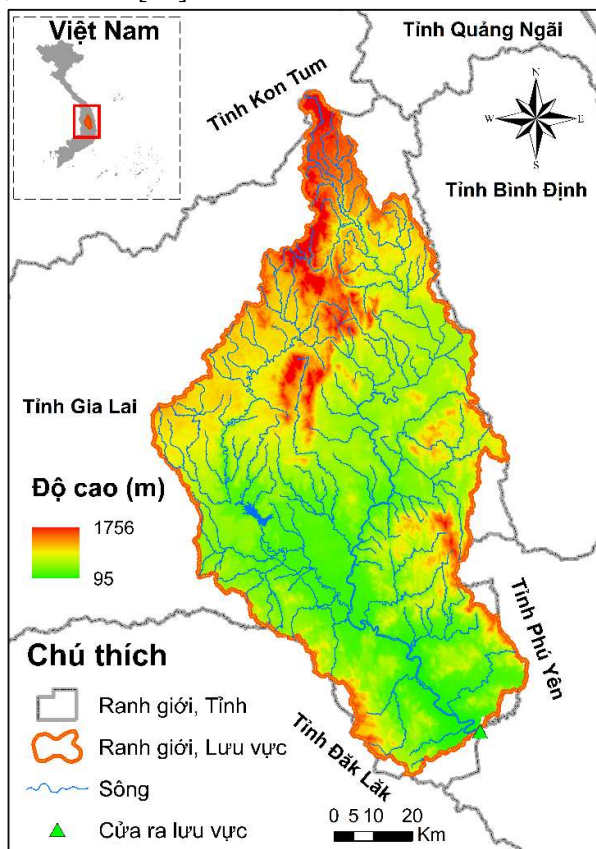
Các nhà nghiên cứu đã sử dụng rộng rãi các mô hình thủy văn để đánh giá tài nguyên nước trên toàn thế giới. Kết quả đã thu được rất nhiều báo cáo về các mô hình và phương pháp khác nhau [6, 18–20]. Trong đó, SWAT được mô tả là công cụ có ứng dụng rộng rãi và đạt hiệu quả cao trong đánh giá tài nguyên nước và các khía cạnh liên quan đến tài nguyên nước [5, 21–23]. Trong những năm gần đây, SWAT cũng đã được áp dụng phổ biến trong đánh giá, quản lý tài nguyên nước tại Việt Nam. Các nghiên cứu ứng dụng SWAT cho hiệu quả trong việc đánh giá chất lượng nước; mô phỏng lũ lụt, xây dựng hệ thống cảnh báo lũ sớm và phân tích tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên hoặc tài nguyên nước bên vũng [24–30]. Vào năm 2016, mô hình thủy văn cho lưu vực sông tại Huế ứng dụng SWAT đã đánh giá, mô phỏng tài nguyên nước và rủi ro liên quan đến lũ lụt và cũng như đánh giá hiệu quả mô hình SWAT [24]. Bên cạnh đó, vào năm 2019, [25] nghiên cứu thành công trong việc xây dựng hệ thống cảnh báo lũ sử dụng kết hợp mô hình SWAT và HEC–RAS cho lưu vực sông Vu Gia Thu Bồn. Năm 2021, [26] cũng đã triển khai xây dựng và xác nhận mô hình SWAT nhằm cung cấp các thông số không gian để đánh giá tài nguyên nước cho lưu vực sông Mê Kông trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Kết quả thu nhận được khẳng định hiệu suất tốt của mô hình mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông và các thông số không gian được hiệu chỉnh phản ánh hợp lý sự phức tạp địa hình và khí hậu lưu vực sông Cửu Long. Cũng trong năm 2021, [27] đã thực hiện đánh giá tính tổn thương cho tài nguyên nước của thượng nguồn lưu vực sông Đồng Nai. Nghiên cứu đã ứng dụng tích hợp GIS, viễn thám và SWAT. Các kết quả đã chứng minh rằng SWAT và các kỹ thuật tích hợp có thể là một cách tiếp cận hiệu quả để cung cấp thông tin hữu ích về hiện trạng tài nguyên nước cho các bên liên quan trong việc đánh giá các phương án toàn diện về quản lý tài nguyên nước bên vũng. Từ những cái nhìn tổng quan về các nghiên cứu trong và ngoài nước, có thể nhận định SWAT là một mô hình có tính ứng dụng cao trong mô phỏng thủy văn lưu vực. Từ những luận điểm đã nêu, nghiên cứu này được thực hiện nhằm mục tiêu cụ thể là mô hình hóa và đánh giá dòng chảy mặt cho lưu vực sông Ba thuộc phạm vi tỉnh Gia Lai.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu này được giới hạn thực hiện cho lưu vực sông Ba thuộc địa phận tỉnh Gia Lai có diện tích khoảng 8334,19 km<sup>2</sup> (Hình 1). Lưu vực sông Ba nằm ở phía Đông và Đông Nam của tỉnh Gia Lai. Lưu vực sông Ba nằm ở độ cao từ 95–1756 m so với mực nước biển và giảm dần theo chiều bắc nam. Địa hình của lưu vực rất phức tạp bao gồm bị chia cắt bởi núi và cao nguyên. Theo bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2020 của tỉnh Gia Lai thì các loại hình sử dụng đất trong lưu vực có thể phân thành 6 nhóm chính gồm đất lâm nghiệp; nông nghiệp; đất ở; đất chuyên dùng; đất sông suối, mặt nước và đất chưa sử dụng. Trong đó đất lâm nghiệp chiếm 51,05% tổng diện tích toàn lưu vực [31]. Về mặt thổ nhưỡng, theo hệ thống phân loại thổ nhưỡng của theo phân loại của Tổ Chức Nông Lương Thế Giới (*Food*

and Agriculture Organization–FAO) lưu vực có các nhóm đất chính gồm đất cát; đất phù sa; đất gley; đất mới biến đổi; đất đen; đất nâu vùng bán khô hạn; đất có tầng đá ong; đất xám; đất đỏ; đất xói mòn trơ sỏi đá; đất nâu thẫm; đất sét chặt và than bùn [32]. Trong đó, nhóm đất đỏ vàng là nhóm đất chiếm diện tích lớn nhất với 38,59 % diện tích lưu vực. Lưu vực sông Ba thuộc vùng khí hậu cao nguyên nhiệt đới gió mùa với lượng mưa trung bình hàng năm trong khoảng 1200–1750 mm. Khí hậu được chia thành hai mùa rõ rệt: mùa mưa (từ tháng V đến tháng XI) và mùa khô (từ tháng XII đến tháng IV năm sau). Nhiệt độ trung bình hàng năm dao động trong khoảng 22°C đến 25°C. Bên cạnh hệ thống sông suối khá phong phú, trên lưu vực hiện nay còn có rất nhiều hồ nước tự nhiên và nhân tạo như hồ thủy lợi Ayun Hạ, hồ thủy điện An Khê [33].



**Hình 1.** Vị trí địa lý và địa hình lưu vực sông Ba phần thuộc tỉnh Gia Lai.

## 2.2. Đánh giá tài nguyên nước mặt

### 2.2.1. Mô hình hóa dòng chảy mặt

Công cụ đánh giá đất và nước (*Soil and Water Assessment Tool–SWAT*) là mô hình thủy văn bán phân bố được phát triển để dự báo và đánh giá những ảnh hưởng của thực hành quản lý sử dụng đất đến nước, sự bồi lắng và lượng hóa chất sinh ra từ hoạt động nông nghiệp theo ranh giới lưu vực trong khoảng thời gian dài [34–35]. Mô hình được xây dựng dựa trên bản chất vật lý của hiện tượng tự nhiên và sử dụng các phương trình tương quan, hồi quy để mô tả mối quan hệ giữa thông số đầu vào (ví dụ sử dụng đất/thảm thực vật, đất, địa hình và khí hậu) và biến số đầu ra (ví dụ lưu lượng dòng chảy, bồi lắng, chất lượng nước). Trong nghiên cứu này mô hình SWAT được dùng để mô phỏng lưu lượng dòng chảy cho các lưu vực sông Ba trên địa bàn tỉnh Gia Lai. Mặc dù trong mô hình SWAT có hai phương pháp là ước lượng dòng chảy mặt là đường cong số SCS (*Soil Conservation Service*) [36] hoặc Green–Ampt

[36] có thể áp dụng để mô phỏng dòng chảy mặt, nhưng phương pháp SCS được chọn trong nghiên cứu này vì tính phổ biến và độ tin cậy cao [36].

$$Q_{surf} = \frac{R_{day} - I_a}{R_{day} - I_a + S}$$

Trong đó  $Q_{surf}$  là dòng chảy mặt (mm);  $R_{day}$  là lượng mưa trong ngày (mm);  $I_a$  là lưu lượng dòng chảy mặt đi ban đầu bao gồm lưu trữ bề mặt, thấm trước khi hình thành dòng chảy (mm);  $S$  là lượng thấm cho phép tối đa có thể trữ trong đất (mm).

Nghiên cứu này kế thừa mô hình SWAT đã được xây dựng, hiệu chỉnh và kiểm định cho lưu vực sông Ba từ nghiên cứu của [13]. Nhằm phục vụ cho mục tiêu đánh giá tài nguyên nước mặt, thời gian chạy mô hình được thiết lập cho giai đoạn 1980–2011. Mô hình SWAT được hiệu chỉnh trong giai đoạn 1990–2000 và kiểm định trong giai đoạn 2001–2011 tại trạm An Khê. Bộ thông số đã được hiệu chỉnh và kiểm định từ tiểu lưu vực có trạm thủy văn này được áp dụng cho các tiểu lưu vực còn lại. Độ tin cậy của mô hình SWAT được đánh giá thông qua ba chỉ số gồm (i) Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE), (ii) Tỉ số giữa căn bậc hai sai số quân phương của số liệu thực đo và số liệu mô phỏng với độ lệch chuẩn của số liệu thực đo (*Ratio of standard deviation of the observation to the root mean square error–RSR*) và (iii) Phần trăm độ lệch (Percent Bias–PBIAS) [37–38]. Kết quả tính toán các chỉ số đánh giá cho thấy mô hình SWAT có độ tin cậy tốt trong mô phỏng lưu lượng dòng chảy theo số liệu quan trắc tại trạm An Khê (Bảng 1) [13].

**Bảng 1.** Kết quả đánh giá hiệu quả mô phỏng lưu lượng dòng chảy của mô hình SWAT.

| Giai đoạn  | NSE  | RSR  | PBIAS |
|------------|------|------|-------|
| Hiệu chỉnh | 0,88 | 0,35 | –3,4  |
| Kiểm định  | 0,81 | 0,44 | –16,1 |

## 2.2.2. Phân tích xu hướng dòng chảy mặt

Nhận dạng và định lượng xu thế thay đổi cho yếu tố dòng chảy là bài toán quan trọng trong việc đánh giá đặc điểm thủy văn trên quy mô lưu vực sông. Thông thường, các phân tích chỉ tập trung đánh giá sự thay đổi cho một giai đoạn nhất định với độ dài số liệu không thay đổi. Tuy nhiên, việc thay đổi thời điểm bắt đầu, thời điểm kết thúc hay độ dài số liệu sử dụng trong bước phân tích chỉ một hoặc một vài năm cũng có thể ảnh hưởng đáng kể đến kết quả ước tính xu thế cho các yếu tố thủy văn [39], ví dụ như tăng/giảm độ dốc xu thế đột ngột hoặc đảo chiều xu thế tăng/giảm.

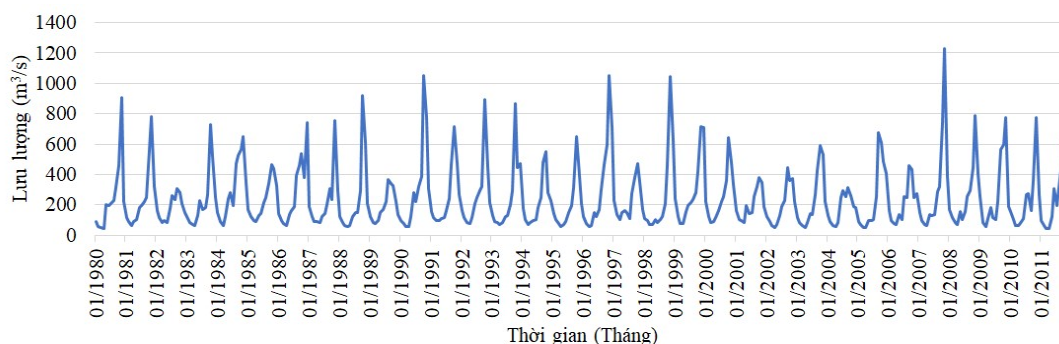
Do đó, nghiên cứu này đã áp dụng phương pháp kiểm định thống kê phi tham số Mann–Kendall [40–41] và hệ số dốc Sen [42] theo hướng tiếp cận tổ hợp tất cả các ước tính xu thế từ 10 năm trở lên trong giai đoạn phân tích 1980–2011 để đánh giá rõ hơn về đặc điểm thay đổi của lưu lượng dòng chảy trong nhiều năm qua. Hướng tiếp cận này lần lượt được phát triển [39, 43]. Theo đó, đối với mỗi đối tượng phân tích (Ví dụ: lưu lượng dòng chảy trung bình cả năm tại lưu vực sông Ba), nghiên cứu đã thực hiện  $N = 276$  ước tính ( $N = [(n - 8) \times (n - 9)]/2$ , với  $n$  là độ dài số liệu từ 1980–2011). Nhìn chung, cách thức lập lại các phép tính cho phép đánh giá chi tiết hơn về độ nhạy của kết quả ước tính xu thế đối với mỗi thời điểm bắt đầu, thời điểm kết thúc và tương ứng với mỗi độ dài số liệu từ 10 đến 32 năm trong giai đoạn 1980–2011. Ngoài ra, phần lớn các biến số khí tượng thủy văn đều tồn tại yếu tố tự tương quan [44–45]. Vì vậy, nghiên cứu đã kết hợp sử dụng kỹ thuật Block Bootstrapping [46–47] để làm giảm ảnh hưởng của yếu tố tự tương quan trong bước kiểm định mức ý nghĩa thống kê cho các phân tích xu thế.



### 3. Kết quả nghiên cứu

#### 3.1. Mô hình hóa lưu lượng dòng chảy mặt

Dựa vào kết quả mô phỏng, lưu lượng dòng chảy trung bình hàng năm trong khoảng 244,54 m<sup>3</sup>/s trong giai đoạn 1980–2011 (Hình 2). Như vậy, tổng lượng dòng chảy nước mặt trung bình hàng năm của các sông suối trên lưu vực khoảng 7,71 tỷ m<sup>3</sup>, chủ yếu là từ lượng nước mặt sinh ra từ mưa. Lưu lượng dòng chảy trong lưu vực có sự phân hóa rõ rệt theo mùa. Lượng mưa là yếu tố quan trọng chi phối tài nguyên nước cũng như sự phân bố của tài nguyên nước. Do sự ảnh hưởng của mưa, lưu lượng dòng chảy thay đổi theo quy luật tăng cao trong mùa mưa và giảm trong mùa khô. Vì vậy, lưu lượng dòng chảy trên lưu vực sông Ba chia ra hai mùa mưa và mùa khô rõ rệt. Mùa mưa bắt đầu từ tháng V cho đến hết tháng XI và mùa khô từ tháng XII cho đến tháng IV năm sau. Trong giai đoạn mùa mưa, giá trị lưu lượng dòng chảy trên lưu vực sông có thể đạt giá trị 450,36 m<sup>3</sup>/s. Những tháng từ XII đến tháng IV năm sau (những tháng mùa khô) thì giá trị lưu lượng dòng chảy nhỏ, nhỏ nhất vào tháng II, III. Trong giai đoạn này, giá trị trung bình lưu lượng dòng chảy trên sông tại cửa ra lưu vực ở mức khoảng 92,03 m<sup>3</sup>/s. Do sự phân bố không cân đối giữa các mùa, tài nguyên nước có thể bị thất thoát lớn hoặc gây ra thiên tai như lũ lụt trong mùa mưa và thiếu hụt, khan hiếm trong mùa khô cạn (Hình 2).



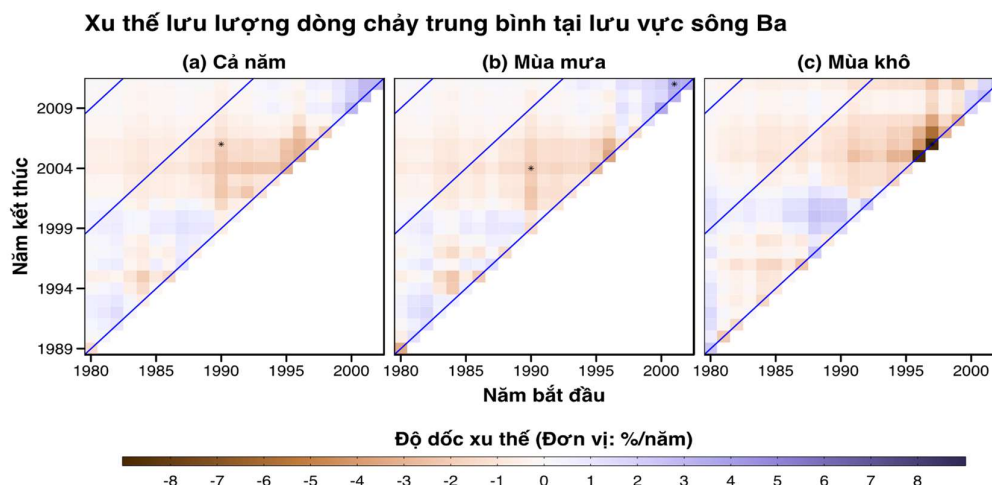
**Hình 2.** Kết quả mô phỏng lưu lượng dòng chảy lưu vực sông Ba giai đoạn 1980–2011.

#### 3.2. Đánh giá xu hướng dòng chảy mặt

Hình 3 trình bày kết quả nhận dạng và định lượng xu thế lưu lượng dòng chảy trung bình cả năm, mùa mưa và mùa khô trên lưu vực sông Ba. Kết quả phân tích ghi nhận xu thế giảm nhẹ hoặc không thay đổi đáng kể chiếm phần lớn các ước tính. Tuy nhiên, giai đoạn 10–15 năm gần nhất ghi nhận khuynh hướng tăng trở lại trên lưu vực sông Ba. Ngoài ra, lưu lượng dòng chảy trung bình trong mùa mưa và tính cho cả năm có đặc điểm xu thế thay đổi cơ bản thống nhất với nhau tại lưu vực sông Ba, với nguyên nhân phần lớn do tính liên kết với sự biến thiên của tổng lượng mưa tại khu vực nghiên cứu. Theo đó, tổng lượng mưa năm chủ yếu do đóng góp từ lượng mưa trong mùa mưa, vì vậy đặc điểm xu thế thay đổi của lượng mưa và lưu lượng dòng chảy trong mùa mưa và cả năm thường thống nhất với nhau.

Đối với lưu lượng dòng chảy trung bình trong mùa mưa và cho cả năm, các phân tích có thời điểm kết thúc khoảng trước năm 2000 thường ghi nhận xu thế tăng trên lưu vực sông Ba, với mức tăng phổ biến từ 0,26–1,62%/năm. Ngược lại, các phân tích có thời điểm kết thúc trong giai đoạn 2001–2007 thường ghi nhận xu thế giảm, với độ dốc xu thế chủ yếu từ –0,53 %/năm đến –3,57 %/năm. Trong khi đó, lưu vực sông Ba tiếp tục ghi nhận xu thế tăng trở lại đối với các phân tích trong giai đoạn 10–15 năm gần nhất, với mức tăng phần lớn từ 1,48–3,57%/năm. Trong mùa khô, lưu lượng dòng chảy trung bình có xu thế giảm chủ yếu tại khu vực nghiên cứu. Kết quả chỉ ghi nhận xu thế tăng trong các phân tích có thời điểm bắt đầu khoảng 1990–1993 và thời điểm kết thúc trong những năm 1999–2002 tại lưu vực sông Ba, với mức tăng chủ yếu từ 0,62–2,35%/năm. Trong khi đó, các phân tích có thời điểm bắt đầu

đầu sau 1995 và thời điểm kết thúc sau 2004 có xu thế giảm rõ hơn với độ dốc xu thế chủ yếu từ  $-0,93\%/năm$  đến  $-8,84\%/năm$ .



**Hình 3.** Kết quả nhận dạng và định lượng xu thế lưu lượng dòng chảy trung bình cho lưu vực sông Ba. Đường thẳng 1:1 và các đường 45° song song đại diện kết quả cho các giai đoạn 10, 20, và 30 năm. Dấu hoa thị “\*” đại diện cho xu thế đạt ý nghĩa thống kê với khoảng tin cậy 95%.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu này sử dụng cách tiếp cận mô hình SWAT để mô phỏng lưu lượng dòng chảy phục vụ đánh giá nguồn tài nguyên nước mặt cho lưu vực sông Ba trên địa bàn tỉnh Gia Lai. Mô hình SWAT của lưu vực sông Ba được kế thừa với các chỉ số NSE, RSR và PBIAS cho thấy mô hình SWAT có độ tin cậy tốt trong mô phỏng lưu lượng dòng chảy. Kết quả mô phỏng lưu lượng dòng chảy trong giai đoạn 1980–2011 chỉ ra rằng lưu lượng dòng chảy có sự phân hóa rõ rệt theo mùa. Bên cạnh đó, lưu lượng dòng chảy tại lưu vực sông Ba có xu hướng giảm nhẹ hoặc không thay đổi đáng kể chiếm phần lớn các ước tính trong giai đoạn mô phỏng. Các kết quả từ nghiên cứu này đã chứng minh khả năng ứng dụng hiệu quả của mô hình SWAT và phương pháp phân tích xu hướng trong đánh giá nguồn tài nguyên nước cho các lưu vực sông ở khu vực có địa hình dốc.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.H.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: L.H.T., D.N.D.P.; Xử lý số liệu: D.N.D.P., P.T.H.; Chạy mô hình: L.H.T., D.N.D.P., P.T.H.; Phân tích và đánh giá kết quả: L.H.T., N.K.L.; Viết bản thảo bài báo: L.H.T., D.N.D.P., P.T.H., N.K.L., N.T.H.; Chỉnh sửa bài báo: L.H.T., D.N.D.P., P.T.H., N.T.H., N.K.L.

**Lời cảm ơn:** Để hoàn thành nghiên cứu này, chúng tôi trân trọng gửi lời cảm ơn đến Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Gia Lai đã cấp kinh phí thông qua đề tài: “Xác định tập đoàn giống cây trồng nông nghiệp chủ lực của tỉnh Gia Lai”, Mã số: KHGL–09–18.

**Lời cam đoan:** Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

#### Tài liệu tham khảo

1. Figuères, Caroline M.; Cecilia, T. Johan, R. World Water Resources: A New Appraisal and Assessment for the 21<sup>st</sup> Century. Rethinking Water Management Innovative Approaches to Contemporary Issues. **1998**, 1–242. <http://dx.doi.org/10.4324/9781849772402>.

2. Zhiltsov, S.S.; Igor, S.Z.; Aleksandr V.S.; Oleg, E.G.; Elena, A.M. Role of Water Resources in the Modern World. *Handbook of Environmental Chemistry* 2020, 105, 13–29. [http://dx.doi.org/10.1007/698\\_2020\\_598](http://dx.doi.org/10.1007/698_2020_598).
3. Ahn, S.; Zhuping, S. Assessment of Water Availability and Scarcity Based on Hydrologic Components in an Irrigated Agricultural Watershed Using SWAT. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **2021**, 57(1), 186–203. Doi: 10.1111/1752–1688.12888.
4. Orlov, A.A.; Chechevishnikov, A.L.; Chernyavsky, S.I. Fresh Water Problem the Global Context of the Russian Policy. 2011.
5. Uddin, Md. G.; Stephen, N.; Agnieszka, I.O. A Review of Water Quality Index Models and Their Use for Assessing Surface Water Quality. *Ecol. Indic.* **2021**, 122–107218. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>.
6. Xu, C.Y.; Singh, V.P. Review on Regional Water Resources Assessment Models under Stationary and Changing Climate. *Water Resour. Manage.* **2004**, 18(6), 591–612. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-004-9130-0>.
7. Sagris, T.; Siraj, T.; Jennifer, Quang, M.G.; N.V.; Justin, A.; Lu, Y. Viet Nam: Hydro–Economic Framework for Assessing Water Sector Challenges 2030. *Water Resour. Group* **2017**, 124.
8. Kyoochul.; Ha.; Ngoc, N.T.M.; Eunhee, L.; Ramasamy, J. Current Status and Issues of Groundwater in the Mekong River Basin. *Korea Inst. Geosci. Min. Resour.* **2015**, 125.
9. ADB (Asian Development Bank). Water Vital for Viet Nam’s Future.
10. Thủ Tướng Chính phủ (2010). Quyết định số 1989/QĐ–TTg ngày 1/11/2010 về việc ban hành danh mục sông liên tỉnh. 2009.
11. Anh, V.T.V.; Thuc, T.; Thong, N.; Duong, P.T.T. Decision Scaling Approach to Assess Climate Change Impacts on Water Shortage Situation in the Ba River Basin –Vietnam, 2020.
12. IWARP. Project Synthesis Report: Adjusting Irrigation Planning of the Ba River Basin and Vicinity Area until 2025 and Vision until 2035, 2018.
13. Tu, L.H.; Huyen, Ha, P.T.; Phuong, D.N.D.; Nghia, N.T.; Hai, L.M.; Liem, N.D.; Anh, H. H.; Diep, P.G.; Loi, N.K. Ứng dụng mô hình SWAT phục vụ phân vùng tài nguyên nước mặt và xói mòn đất tại tỉnh Gia Lai. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 732, 13–27. Doi:10.36335/VNJHM.2021(732).13-27.
14. Huynh, T.L.H. Impacts of Climate Change on Ba River Flow. *J. Water. Resour. Sci. Tech.* **2018**, 71–79.
15. Tri, D.Q.; Dat, T.T.; Truong, D.D. Application of Meteorological and Hydrological Drought Indices to Establish Drought Classification Maps of the Ba River Basin in Vietnam. *Hydrology* **2019**, 6(2), 49. <http://dx.doi.org/10.3390/hydrology6020049>.
16. Hieu, N.V.; Van, C.T.; Cat, V.M. Application of Hydrological Model to Simulate Rainfall–Runoff into An Khe Reservoir in the Ba River Basin, Vietnam. *J. Environ. Sci. Eng.* **2018**, 4(3), 634–639.
17. Yen, H.P. Hai.; Binh, T.P.; Phong, T.V.; Ha, D.H.; Romulus, C.; Hiep, V.L.; Huu, D.N.; Mahdis, A.; Tao, N.V.; Indra, P. Locally Weighted Learning Based Hybrid Intelligence Models for Groundwater Potential Mapping and Modeling: A Case Study at Gia Lai Province, Vietnam. *Geosci. Front.* **2021**, 12(5), 101154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101154>.
18. Chanapathi, T.; Thatikonda, S.; Raghavan, S. Analysis of Rainfall Extremes and Water Yield of Krishna River Basin under Future Climate scenarios. *J. Hydrol. Reg. Stud.* **2018**, 19, 287–306.
19. Lee, K.S.; Chung, E.S.; Kim, Y.O. Integrated Watershed Management for Mitigating Streamflow Depletion in an Urbanized Watershed in Korea. *Phys. Chem. Earth Parts A/B/C* **2008**, 382–394.

20. Sun, G.; McNulty, S.G.; Moore Myers, J.A.; Cohen, E.C. Impacts of Multiple Stresses on Water Demand and Supply across the Southeastern United States 1 JAWRA *J. Am. Water Resour. Assoc.* **2008**, 1441–1457.
21. Ahn, S.; Zhuping, S. Assessment of Water Availability and Scarcity Based on Hydrologic Components in an Irrigated Agricultural Watershed Using SWAT. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **2021**, 57(1), 186–203.
22. Mengistua, D.; Woldeamlak, B.; Alessandro, D.; Hans-Juergen, P. Climate Change Impacts on Water Resources in the Upper Blue Nile (Abay) River Basin, Ethiopia. *J. Hydrol.* **2021**, 592–125614. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125614>.
23. Saade, J.; Maya, A.; Sophia, G.; Golmar, G. Modeling Impact of Climate Change on Surface Water Availability Using SWAT Model in a Semi-Arid Basin: Case of El Kalb River, Lebanon. *Hydrology.* **2021**, 8(3), 134. Doi: 10.3390/hydrology8030134.
24. Rafiei, E.A.; Martin, K.; Linh, H.K.N. Tsolmon, R. Hydrological Modeling in an Ungauged Basin of Central Vietnam Using SWAT Model. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* **2016**, 1–33.
25. Loi, N.K.; Liem, N.D.; Tu, L.H.; Hong, N.T.; Truong, C.D.; Tram, V.N.Q.; Nhat, T.T.; Anh, T.N.; Jaehak, J. Automated Procedure of Real-Time Flood Forecasting in vu Gia – Thu Bon River Basin, Vietnam by Integrating Swat and Hec-Ras Models. *J. Water Clim. Change* **2019**, 10(3), 535–545. Doi:10.2166/wcc.2018.015.
26. Kha, D.D.; Anh, T.N. Development of a Hydrological Distributed Model Water Resources Assessment in the Mekong River Basin. *Earth. Environ. Sci.* **2021**, 37(3), 11–20.
27. Hung, P.; Trung, V.L.; Phu, L.V.; Hung, C.D.; Md Mostafizur, R. Vulnerability Assessment of Water Resources Using GIS, Remote Sensing and SWAT Model—a Case Study: The Upper Part of Dong Nai River Basin, Vietnam. *Int. J. River Basin Manage.* **2021**, 1–16. <http://dx.doi.org/10.1080/15715124.2021.1901729>.
28. Khoi, D.N.; Loi, P.T.; Sam, T.T. Impact of Future Land-Use/Cover Change on Streamflow and Sediment Load in the Be River Basin, Vietnam. *Water* **2021**, 13(9), 1244. <http://dx.doi.org/10.3390/w13091244>.
29. Son, N.T.; Huong, H.L.; T.T. Phuong.; N.D. Loc. Application of SWAT Model to Assess Land Use and Climate Changes Impacts on Hydrology of Nam Rom River Basin in Vietnam. *Prepr.* **2020**, 1–17.
30. Tran, V.B.; Hiroshi, I.; Takashi, N.; Thu, N.D.; Kei, N. Estimation of Nitrogen Load with Multi-Pollution Sources Using the SWAT Model: A Case Study in the Cau River Basin in Northern Vietnam. *J. Water. Environ. Technol.* **2017**, 15(3), 106–119. <http://dx.doi.org/10.2965/jwet.16-052>.
31. UBND tỉnh Gia Lai. Điều Kiện Tự Nhiên. Công thông tin điện tử tỉnh Gia Lai. 2020.
32. UBND tỉnh Gia Lai. Báo cáo thuyết minh tổng hợp: Quy hoạch sử dụng đất đến năm 2020, kế hoạch sử dụng đất 5 năm (2011–2015) tỉnh Gia Lai. UBND tỉnh Gia Lai. 2012.
33. Kỳ, N. Đ. Xây dựng cơ sở dữ liệu GIS và Atlas điện tử vùng Tây Nguyên. Viện Địa lý – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Đề tài nghiên cứu thuộc Chương trình Tây Nguyên 3. 2016.
34. Arnold, J.G.; Srinivasan, R.; Muttiah, R.S.; Williams, J.R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **1998**, 34, 73–89. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>.
35. Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R. Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation: Version 2005. *Texas Water Resour. Ins.* **2005**, 406–494.



36. Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. *Texas Water Resour. Inst.* **2011**, 406–647.
37. Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Van Liew, M.W.; Bingner, R.L.; Harmel, R.D.; Veith, T.L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Trans. ASABE* **2007**, 50, 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>.
38. Moriasi, D.N.; Gitau, M.W.; Pai, N.; Daggupati, P. Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria. *Trans. ASABE*, **2015**, 58, 1763–1785. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10715>.
39. Zhang, Z.; Dehoff, A.D.; Pody, R.D. New Approach to Identify Trend Pattern of Streamflows. *J. Hydrol. Eng.* **2010**, 15, 244–248. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000179](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000179).
40. Kendall, M.G. Rank Correlation Methods. Charles Griffin & Company Limited, London. 1975.
41. Mann, H.B. Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica. J. Econom. Soc.* **1945**, 13, 245–259. <http://www.jstor.org/stable/1907187>.
42. Sen, P.K. Estimates of The Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *J. Am. Stat. Assoc.* **1968**, 63, 1379–1389. <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>.
43. McCabe, G.J.; Wolock, D.M. A step increase in streamflow in the conterminous United States. *Geophys. Res. Lett.* **2002**, 29, 31–38. <https://doi.org/10.1029/2002GL015999>.
44. Almazroui, M.; Şen, Z. Trend Analyses Methodologies in Hydro–meteorological Records. *Earth Syst. Environ.* **2020**, 4, 713–738. <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00190-6>.
45. Storch, H. Misuses of statistical analysis in climate research. In: von Storch H, Navarra A (ed.) Analysis of climate variability: applications of statistical techniques. Springer, New York. **1995**, 11–26. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-03744-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-03744-7_2).
46. Kundzewicz, Z.W.; Robson, A.J. Detecting Trend and Other Changes in Hydrological Data. World Climate Programme Water, World Climate Programme Data and Monitoring, WCDMP–45, WMO/TD no. 1013, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. 2000.
47. Önöz, B.; Bayazit, M. Block bootstrap for Mann–Kendall trend test of serially dependent data. *Hydrol. Processes* **2012**, 26, 3552–3560. <https://doi.org/10.1002/hyp.8438>.

## Modeling and assessing surface water resource: A case study of Ba river watershed, Gia Lai province, Vietnam

Le Hoang Tu<sup>1\*</sup>, Dang Nguyen Dong Phuong<sup>1</sup>, Phan Thi Ha<sup>1</sup>, Nguyen Thi Huyen<sup>2</sup>, Nguyen Kim Loi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Research Center for Climate Change, Nong Lam University–Ho Chi Minh City; [tu.lehoang@hcmuaf.edu.vn](mailto:tu.lehoang@hcmuaf.edu.vn); [dangnguyendongphuong@gmail.com](mailto:dangnguyendongphuong@gmail.com); [haphan0604@gmail.com](mailto:haphan0604@gmail.com); [ngkloi@hcmuaf.edu.vn](mailto:ngkloi@hcmuaf.edu.vn)

<sup>2</sup> Faculty of Environment and Natural Resources, Nong Lam University–Ho Chi Minh City; [nt.huyen@hcmuaf.edu.vn](mailto:nt.huyen@hcmuaf.edu.vn)

**Abstract:** Assessment status of the existing status of land and surface water resources is a prerequisite to support effective and sustainable management of these resources. Thus, the

study applied SWAT model to simulate streamflow which used for surface water resource assessment. The case study was Ba river watershed in Gia Lai province during period of 1980–2011. The simulated annual streamflow was 244.54 m<sup>3</sup>/s during the study period. The simulated streamflow was strongly influenced by seasons in a year. Meanwhile, the trend analysis results showed that the simulated streamflow had slightly decreasing or unchanged tendencies in majority estimations during the period.

**Keywords:** SWAT model; Streamflow; Trend analysis; Surface water resource assessment; Ba river watershed.