

Bài báo khoa học

Ứng dụng mô hình SWAT phục vụ phân vùng tài nguyên nước mặt và xói mòn đất tại tỉnh Gia Lai

Lê Hoàng Tú^{1*}, Nguyễn Thị Huyền², Phan Thị Hà¹, Đặng Nguyễn Đông Phương¹, Nguyễn Thành Nghĩa¹, Lê Minh Hải^{3,4}, Nguyễn Duy Liêm², Hoàng Hà Anh⁵, Phạm Gia Diệp⁶, Nguyễn Kim Lợi¹

¹ Trung tâm Nghiên cứu Biến đổi Khí hậu, Trường Đại học Nông Lâm Tp. Hồ Chí Minh; tu.lehoang@hcmuaf.edu.vn; haphan0604@gmail.com; dangnguyendongphuong@gmail.com; 13162055@st.hcmuaf.edu.vn; ngkloi@hcmuaf.edu.vn

² Khoa Tài nguyên và Môi trường, Trường Đại học Nông Lâm Tp. Hồ Chí Minh; nt.huyen@hcmuaf.edu.vn; nguyenduyliem@hcmuaf.edu.vn

³ Trung tâm Ứng dụng và Chuyển giao công nghệ, Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Gia Lai; minhhai.sokhen@gmail.com

⁴ Viện Môi trường và Tài nguyên, Đại học Quốc Gia Tp. Hồ Chí Minh;

⁵ Khoa Kinh tế, Trường Đại học Nông Lâm Tp. Hồ Chí Minh; hoanghaanh@hcmuaf.edu.vn

⁶ Phòng Thông tin và Truyền thông, Trường Đại học Nông Lâm Tp. Hồ Chí Minh; phamgiadiiep@hcmuaf.edu.vn

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

Ban Biên tập nhận bài: 24/8/2021; Ngày phản biện xong: 11/9/2021; Ngày đăng bài: 25/12/2021

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 và xói mòn đất phục vụ công tác xây dựng bản đồ phân vùng xói mòn đất và tài nguyên nước mặt. Nghiên cứu được tiến hành tại tỉnh Gia Lai. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định lưu lượng dòng chảy và lượng bùn cát lơ lửng theo tháng trong giai đoạn 1990–2011 tại lưu vực sông Ba cho thấy mô hình SWAT khá phù hợp. Theo kết quả ước tính thì tài nguyên nước mặt tương đối dồi dào và có khác biệt nhỏ trong phân bố tài nguyên nước mặt giữa các vùng trên địa bàn tỉnh Gia Lai. Nhưng nếu xem xét phân bố của tài nguyên nước mặt theo các mùa trong năm thì lại có sự khác biệt rất rõ rệt. Trong khi đó, kết quả mô phỏng từ mô hình SWAT chỉ ra rằng hiện tượng xói mòn đất trên địa bàn tỉnh Gia Lai là không đáng kể (nhỏ hơn 1 tấn/ha.năm). Bản đồ phân vùng xói mòn đất cho thấy xói mòn đất nhiều ở các khu vực phía bắc và phía tây của tỉnh Gia Lai.

Từ khóa: Mô hình SWAT; Bản đồ phân vùng; Xói mòn đất; Tài nguyên nước mặt; Tỉnh Gia Lai.

1. Mở đầu

Tài nguyên nước và đất đai không chỉ là đối tượng của lao động mà còn là tư liệu sản xuất quan trọng bậc nhất hiện nay trong sản xuất nông nghiệp, lâm nghiệp, là thành phần quan trọng hàng đầu của môi trường sống, là địa bàn phân bố các khu dân cư, xây dựng các

cơ sở kinh tế, văn hoá, xã hội, an ninh và quốc phòng [1–2]. Tuy nhiên, trong những thập niên gần đây, sự tăng nhanh về dân số và khai thác quá mức tài nguyên nước, đất và rừng đã làm suy kiệt các nguồn tài nguyên này. Suy thoái tài nguyên nước trên lưu vực sông được biểu hiện ở sự giảm sút cả về số lượng và chất lượng. Việt Nam đã được xếp loại quốc gia có tài nguyên nước suy thoái [3]. Trong khi đó, nguồn tài nguyên đất của nước ta cũng bị suy thoái do tác động của tự nhiên như sông suối thay đổi dòng chảy, thay đổi khí hậu, xói mòn đất vùng đồi núi. Bên cạnh đó, nhiều hoạt động sản xuất của con người dẫn đến làm thoái hoá và sa mạc hoá đất như chặt đốt rừng làm nương rẫy, thiếu các biện pháp chống xói mòn đất vào mùa mưa và giữ ẩm đất vào mùa khô, không chăm sóc đất canh tác. Các nghiên cứu trước cũng đã chỉ ra rằng một trong những nguyên nhân chính khiến đất bị suy thoái là do mất rừng và xói mòn đất [4]. Thêm vào đó, việc khai thác tài nguyên đất và nước không hợp lý, đặc biệt dưới tác động của biến đổi khí hậu, góp phần tác động tiêu cực đến môi trường ngày càng trầm trọng [5–8].

Khu vực Tây Nguyên từng được báo cáo là vùng có nguồn tài nguyên đất và nước phong phú [9]. Nhưng việc khai thác quá mức các nguồn tài nguyên đặc biệt là tài nguyên rừng và xây dựng nhiều nhà máy thủy điện, cùng với sự tác động của biến đổi khí hậu, đã dẫn đến suy kiệt nguồn nước phục vụ sản xuất nông nghiệp ở khu vực này [9–10]. Thêm vào đó, do phương thức canh tác thiếu khoa học đã làm thay đổi lớp thảm phủ bề mặt nhanh chóng kéo theo tình trạng xói mòn đất ngày càng gia tăng [11–12]. Để giải quyết được bài toán quản lý tài nguyên đất và nước dựa trên cơ sở bảo vệ môi trường và phát triển bền vững, đòi hỏi phải có sự phối hợp chặt chẽ giữa các cơ quan chức năng và người dân. Trong đó, trước tiên cần phải đánh giá hiện trạng tài nguyên nước và xói mòn đất tại vùng Tây Nguyên. Từ đó, đề ra các giải pháp khai thác và quản lý tài nguyên đất và nước một cách hợp lý và bền vững.

Một trong những phương pháp phổ biến của các nghiên cứu gần đây về đánh giá xói mòn đất và tài nguyên nước cho các lưu vực sông ở Việt Nam là sử dụng cách tiếp cận mô hình hóa [13–14]. Các mô hình thủy văn được áp dụng rộng rãi để đưa ra những kịch bản biến động khác nhau của tài nguyên đất và nước trong tương lai ở nhiều quy mô khác nhau và phù hợp với tình hình nghiên cứu trên thế giới [15]. Trong các nghiên cứu về đánh giá xói mòn đất và tài nguyên nước, mô hình đánh giá đất và nước (Soil and Water Assessment Tool–SWAT) là một trong số những mô hình thủy văn được ứng dụng khá rộng rãi trên thế giới. Ở Việt Nam, trong những năm gần đây, các nghiên cứu ứng dụng SWAT có thể được phân loại thành các chủ đề sau: (i) đánh giá tác động của biến đổi khí hậu; (ii) đánh giá thay đổi sử dụng đất; (iii) đánh giá bốc hơi; (iv) phân tích diễn biến cực đoan của tài nguyên nước; (v) tác động của hệ thống tưới; (vi) xói mòn, bồi lắng và vận chuyển bùn cát; (vii) chất lượng nước; (viii) phân tích tính bất định của đầu vào mô hình; (ix) phát triển tham số vùng [16–17]. Năm 2016, [18] đã nghiên cứu ứng dụng mô hình hóa dòng chảy nước mặt và xói mòn đất cho tỉnh Yên Bái. Mối liên hệ giữa lượng mưa, phủ bề mặt, dòng chảy nước mặt và xói mòn đất cũng được các tác giả phân tích và trình bày chi tiết [18]. Nghiên cứu [19] đánh giá tác động của che phủ rừng tới dòng chảy và xói mòn đất tại các lưu vực sông thuộc vùng Tây Nguyên. Nghiên cứu này đã sử dụng mô hình SWAT để xác định tác động của che phủ rừng tới dòng chảy và xói mòn đất trên toàn lưu vực. Kết quả cho thấy, biến động về dòng chảy và tình trạng xói mòn đất được xác định là chịu ảnh hưởng của các yếu tố địa hình, địa chất, lượng mưa, che phủ rừng và kỹ thuật canh tác. Nhiều nghiên cứu khác cũng đã ứng dụng mô hình SWAT trong đánh giá tác động của thay đổi lớp phủ bề mặt đến lưu lượng dòng chảy hoặc tải lượng bùn cát lơ lửng vào các vùng nước mặt [20–21]. Bằng việc sử dụng SWAT và chỉ số sai chuẩn mưa (SPI), Vũ cùng cộng sự đã bước đầu đánh giá hạn hán trên một lưu vực sông ở Tây Nguyên [22]. Kết quả cho thấy hạn hán trong lưu vực thường xuất hiện sau các đợt hoạt động mạnh của El Niño. Hai mô đun dòng chảy và vận chuyển bùn cát trong SWAT đã được Bách và cộng sự sử dụng để tính toán lưu lượng dòng chảy và bùn cát trên lưu vực sông Cầu. Kết quả cho thấy lượng bùn cát tại sông Cầu có biến động theo không gian và thời

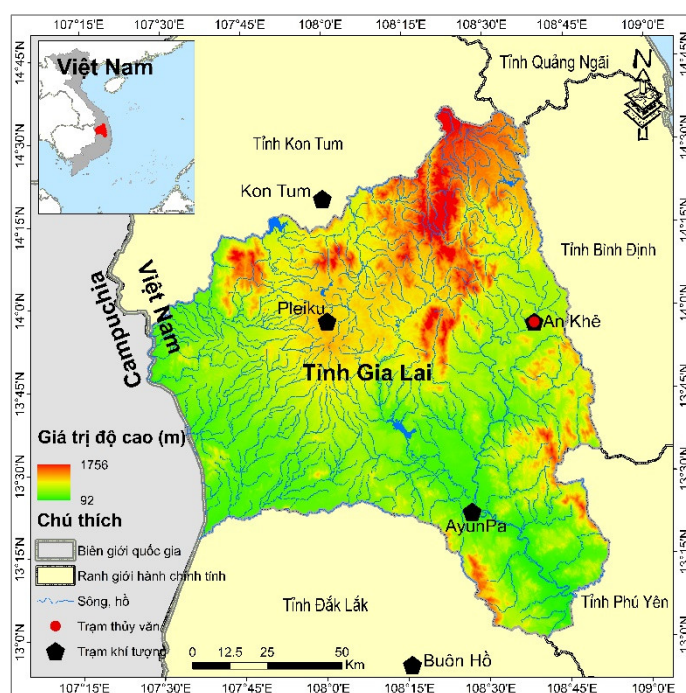
gian với tổng lượng hàng năm khoảng 940.000 tấn [23]. Ngoài ra, một số nghiên cứu ứng dụng tự cũng được tiến hành trên các lưu vực sông DakBlá và Sê San [14, 24].

Trên cơ sở các yếu tố đã nêu, các mục tiêu của nghiên cứu là xây dựng bản đồ phân vùng và đánh giá tài nguyên nước mặt và xói mòn đất. Trong nghiên cứu này do hạn chế về mặt số liệu thu thập được nên việc đánh giá tài nguyên nước mặt và xói mòn đất được tiến hành trên địa bàn tỉnh Gia Lai thuộc khu vực Tây Nguyên.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1 Khu vực nghiên cứu

Gia Lai là một tỉnh biên giới miền núi nằm ở vùng Tây Nguyên và có diện tích tự nhiên khoảng 15.536,92 km² [25] (Hình 1). Tỉnh nằm độ cao trung bình 800–900 m, với đỉnh cao nhất là Konkakinh thuộc huyện Kbang (1.748 m) và nơi thấp nhất là vùng hạ lưu sông Ba thuộc huyện Krông Pa (92 m) [26]. Gia Lai thuộc vùng khí hậu cao nguyên nhiệt đới gió mùa với hai mùa rõ rệt là mùa mưa và mùa khô. Nhiệt độ trung bình năm là 22–25°C. Vùng Đông Trường Sơn có lượng mưa trung bình năm 1.200–1.750 mm, Tây Trường Sơn có lượng mưa trung bình năm 2.200–2.500 mm [27–28].



Hình 1. Vị trí địa lý, địa hình tỉnh Gia Lai và các trạm khí tượng và thủy văn sử dụng trong nghiên cứu.

Tỉnh Gia Lai 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 tro sỏi đá; đất nâu thẫm; đất sét chặt và than bùn theo phân loại của FAO–UNESCO [26]. Trong đó, nhóm đất đỏ vàng là nhóm đất chiếm diện tích lớn nhất với 756.842 ha, chiếm 48,71% tổng diện tích tự nhiên. Theo bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2020 tỉnh Gia Lai có thể phân thành 6 nhóm sử dụng đất chính gồm đất sản xuất nông nghiệp; đất lâm nghiệp; đất ở; đất chuyên dùng; đất sông suối, mặt nước và đất chưa sử dụng. Trong đó đất lâm nghiệp chiếm 46,87% tổng diện tích đất tự nhiên toàn tỉnh [28]. Tỉnh Gia Lai có hai hệ thống sông chính là hệ thống sông Ba và sông Sê San, ngoài ra còn có các phụ lưu của sông Srêpok. Bên cạnh hệ thống sông suối khá phong phú, trên địa bàn tỉnh hiện nay còn có rất nhiều hồ nước tự nhiên và nhân tạo như: hồ thủy lợi Ayun Hạ, Biển Hồ, Ia Hrun, Ia Năng; hồ thủy điện: Ya Ly, Ry Ninh [27].

2.2. Mô hình SWAT

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 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 trên những lưu vực rộng lớn và phức tạp trong khoảng thời gian dài [29–30]. 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). Tiến trình mô phỏng của mô hình tại một lưu vực được phân chia thành hai pha chính [31]: (1) Pha đất của chu trình thủy văn: kiểm soát lượng nước, bùn cát, dinh dưỡng và thuốc trừ sâu được đưa từ trong mỗi tiểu lưu vực ra sông chính; (2) Pha nước của chu trình thủy văn: kiểm soát quá trình di chuyển của dòng nước, quá trình bồi lắng, chất dinh dưỡng, thuốc bảo vệ thực vật diễn ra thông qua hệ thống sông ngòi của lưu vực đến cửa ra lưu vực.

Trong nghiên cứu này mô hình SWAT được dùng để mô phỏng lưu lượng dòng chảy và xói mòn đất cho các lưu vực trên địa bàn tỉnh Gia Lai. Dòng chảy mặt có thể được mô phỏng trong SWAT theo hai phương pháp là ước lượng dòng chảy mặt là đường cong số SCS (*Soil Conservation Service*) [31] hoặc Green-Ampt [31]. Phương pháp SCS (1) được chọn trong nghiên cứu này vì tính phổ biến và độ tin cậy cao [31].

$$Q_{surf} = \frac{R_{day} - I_a}{R_{day} - I_a + S} \quad (1)$$

Trong đó Q_{surf} là dòng chảy mặt (mm); R_{day} là lượng mưa trong ngày (mm); I_a là lưu lượng dòng chảy mất 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).

Đối với mô phỏng xói mòn đất trong lưu vực, mô hình SWAT tính toán dựa theo công thức mất đất phổ dụng hiệu chỉnh (*Modified Universal Soil Loss Equation-MUSLE*). Theo phương pháp này, lượng xói mòn được tính theo công thức [31]:

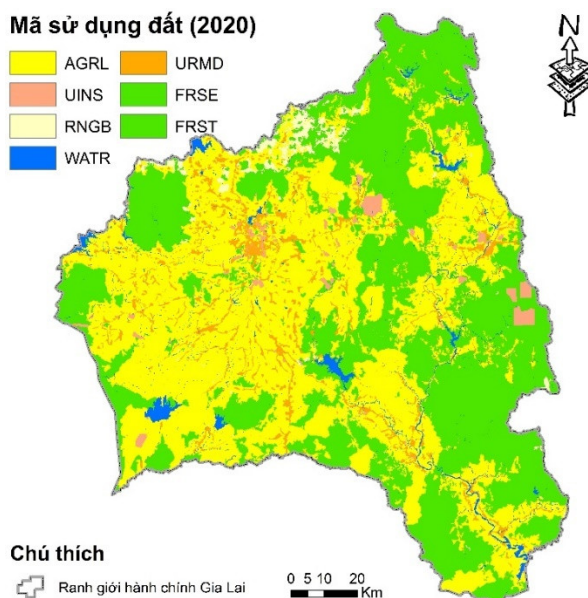
$$sed = 11,8 \times (Q_{surf} \times q_{peak} \times Area_{hru})^{0,56} \times K_{USLE} \times C_{USLE} \times P_{USLE} \times LS_{USLE} \times CFRG \quad (2)$$

Trong đó sed là lượng đất bị xói mòn trong ngày (tấn); Q_{surf} là tổng lượng dòng chảy mặt (mm/ha); q_{peak} là lưu lượng đỉnh lũ (m^3/s); $Area_{hru}$ là diện tích của một đơn vị thủy văn (ha); K_{USLE} là hệ số xói mòn đất đặc trưng cho từng loại đất; C_{USLE} là hệ số ảnh hưởng của cây trồng đến xói mòn đất; P_{USLE} là hệ số ảnh hưởng của biện pháp canh tác đến xói mòn đất; LS_{USLE} là hệ số xói mòn do ảnh hưởng của chiều dài sườn dốc và độ dốc; $CFRG$ là hệ số hạt đất thô.

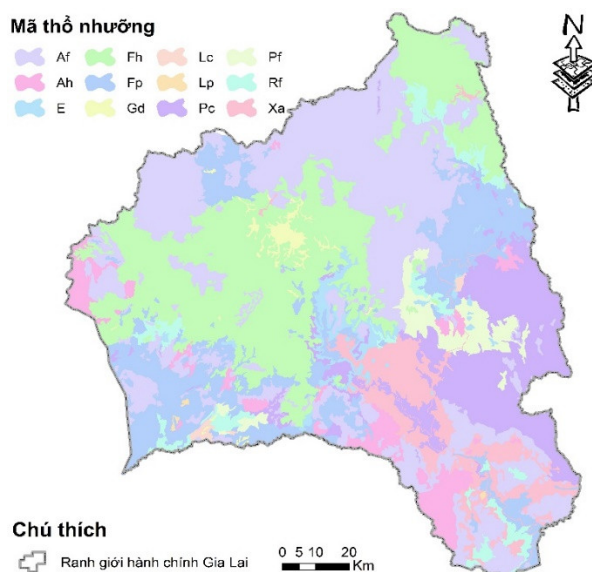
Các loại dữ liệu đầu vào và nguồn thu thập dữ liệu được thể hiện tại Bảng 1. Hình 2 và 3 thể hiện bản đồ sử dụng đất và thổ nhưỡng theo yêu cầu của mô hình SWAT. Thời gian chạy mô hình là giai đoạn 1990–2011 tương ứng với các dữ liệu mưa và nhiệt độ thu thập tại các trạm khí tượng và thủy văn trên địa bàn tỉnh và các tỉnh lân cận (Hình 1). Thời gian chạy mô hình được chia ra làm 2 giai đoạn gồm (i) giai đoạn hiệu chỉnh mô hình (1990–2000) và (ii) giai đoạn kiểm định mô hình (2001–2011). Do hạn chế về mặt số liệu quan trắc mà nghiên cứu có thể thu thập được nên việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình cho lưu lượng dòng chảy và bùn cát lơ lửng chỉ được tiến hành cho lưu vực sông Ba tại trạm thủy văn An Khê (Hình 1). Các lưu vực còn lại trên địa bàn tỉnh áp dụng bộ thông số đã được hiệu chỉnh và kiểm định từ lưu vực sông Ba. Để hỗ trợ cho quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình phần mềm SWAT-CUP đã được áp dụng [32]. Độ tin cậy của mô hình SWAT được đánh giá thông qua ba chỉ số gồm (i) Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE), (ii) Tỷ 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*) [33–34]. Độ chính xác của mô hình của mô hình sẽ được đánh giá qua giá trị tính toán của các chỉ số này và bảng phân loại của Moriasi và cs [33–34].

Bảng 1. Các dữ liệu yêu cầu thu thập cho mô hình SWAT.

TT	Loại dữ liệu	Nguồn dữ liệu
1	Địa hình	Cơ quan khảo sát địa chất Hoa Kỳ (United States Geological Survey-USGS) (https://earthexplorer.usgs.gov/). Dữ liệu mô hình độ cao số (<i>Digital Elevation model-DEM</i>) với độ phân giải 30m x 30m
2	Sử dụng đất (2020)	Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Gia Lai. Dữ liệu bản đồ hiện trạng sử dụng đất tỷ lệ 1:100.000
3	Thổ nhưỡng	Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Gia Lai. Dữ liệu bản đồ thổ nhưỡng tỷ lệ 1:100.000
4	Mưa, Nhiệt độ (1988–2011)	Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Gia Lai và Tây Nguyên.
5	Lưu lượng dòng chảy, bùn cát lơ lửng (1990–2011)	Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Gia Lai.



Hình 2. Bản đồ phân loại sử dụng đất theo mô hình SWAT cho tỉnh Gia Lai.



Hình 3. Bản đồ phân loại thổ nhưỡng theo mô hình SWAT cho tỉnh Gia Lai.

2.3. Phân vùng tiềm năng tài nguyên nước mặt và xói mòn đất

Việc phân vùng tiềm năng tài nguyên nước mặt có thể thực hiện dựa trên một số phương pháp như (i) phân vùng theo giá trị mô đun dòng chảy; (ii) phân vùng theo bình quân đầu người; (iii) phân vùng theo hệ số C [35]. Mô đun dòng chảy (3) được chọn áp dụng để phân vùng tiềm năng tài nguyên nước bởi tính đại diện cao và có thể tận dụng hiệu quả kết quả từ mô hình SWAT. Bảng 2 thể hiện giá trị phân cấp tiềm năng tài nguyên nước [35]. Trong khi đó, xói mòn đất được phân vùng dựa theo tiêu chuẩn Quốc Gia (TCVN 5299:2009) về chất lượng đất – phương pháp xác định mức độ xói mòn đất do mưa [36] (Bảng 3).

$$M = k \frac{Q}{F} \quad (3)$$

Trong đó M là mô-đun lưu lượng (l/s–km²); k là hệ số đổi đơn vị, không thứ nguyên (k = 1000); Q là lưu lượng (m³/s); F là diện tích lưu vực (km²).

Bảng 2. Phân cấp tiềm năng tài nguyên nước mặt tại Việt Nam [35].

Cấp độ	Giá trị phân cấp của M (l/s–km ²)	Mức đánh giá tài nguyên nước
1	< 10	Hiếm nước
2	10–20	Nghèo nước
3	20–40	Đủ nước
4	40–60	Tương đối giàu nước
5	60–80	Giàu nước

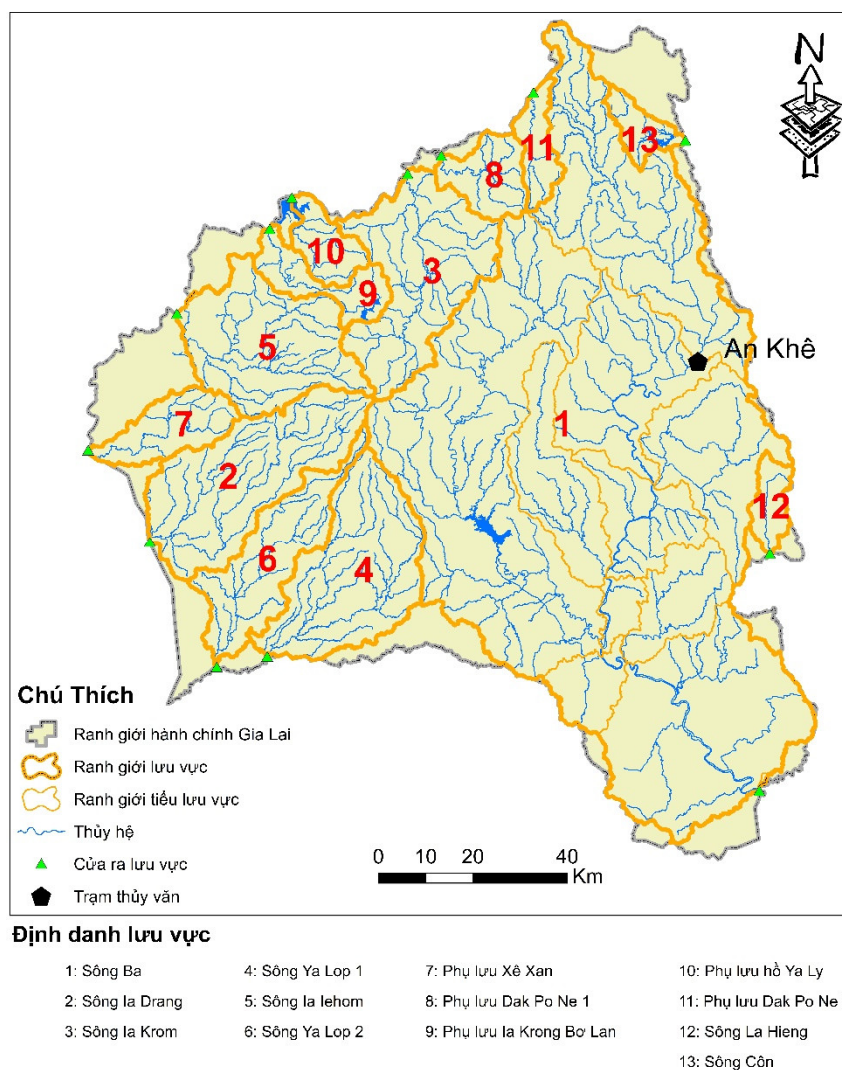
Bảng 3. Phân cấp xói mòn đất do mưa tại Việt Nam [36].

Cấp độ	Lượng đất bị xói mòn trung bình năm (t/ha.năm)	Mức đánh giá xói mòn đất
I	≤ 1	Không bị xói mòn đất
II	1–5	Xói mòn đất nhẹ
III	5–10	Xói mòn đất trung bình
IV	10–50	Xói mòn đất mạnh
V	> 50	Xói mòn đất rất mạnh

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xây dựng mô hình SWAT cho các lưu vực sông tại tỉnh Gia Lai

Dữ liệu DEM được dùng để xác định mạng lưới các sông, vị trí các cửa ra lưu vực và ranh giới của các lưu vực trên địa bàn tỉnh Gia Lai (Hình 4). Các lưu vực này được chọn với ngưỡng diện tích lớn hơn 10.000 ha. Có khoảng 13 lưu vực độc lập được xác định trên địa bàn tỉnh Gia Lai và chiếm khoảng 89,22% diện tích tỉnh. Trong số các lưu vực này thì lưu vực sông Ba là lưu vực có diện tích lớn nhất và lưu vực sông Côn có diện tích nhỏ nhất trên địa bàn tỉnh Gia Lai (Bảng 4). Do lưu vực sông Ba có diện tích khá lớn so với các lưu vực còn lại nên quá trình mô phỏng và kết quả đều dựa trên các tiểu lưu vực của lưu vực sông này. Như vậy kết quả phân vùng tài nguyên nước và xói mòn sẽ được thể hiện theo ranh giới của tiểu lưu vực. Tiếp theo, mô hình sẽ tính toán thông số cho mỗi lưu vực như số lượng tiểu lưu vực và độ cao lưu vực. Mô hình sẽ tiếp tục xác định sự phân bố của các đơn vị thủy văn trong lưu vực sau khi dữ liệu sử dụng đất và thổ nhưỡng được đưa vào mô hình. Cuối cùng, dữ liệu về thời tiết được đưa vào mô hình.



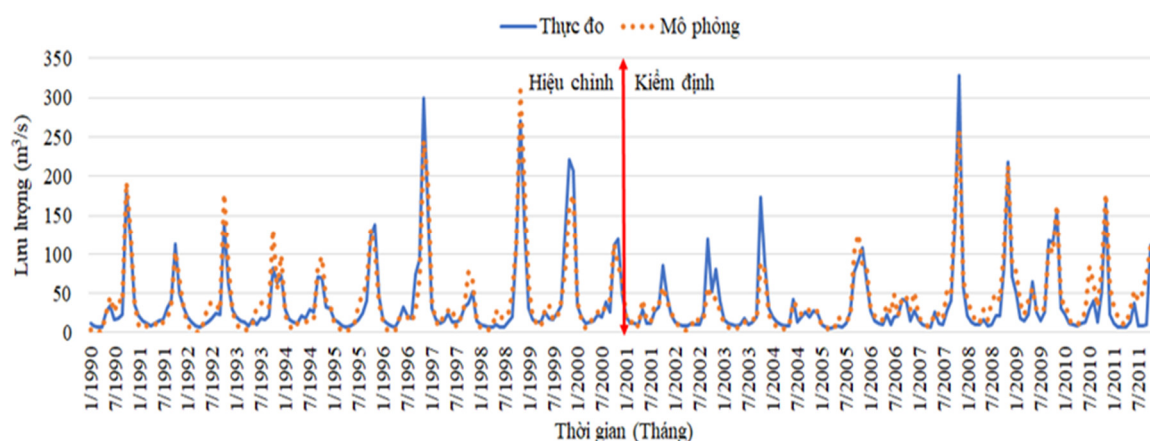
Hình 4. Phân chia các lưu vực trên địa bàn tỉnh Gia Lai.

Bảng 4. Số lượng và diện tích của các lưu vực trên địa bàn tỉnh Gia Lai.

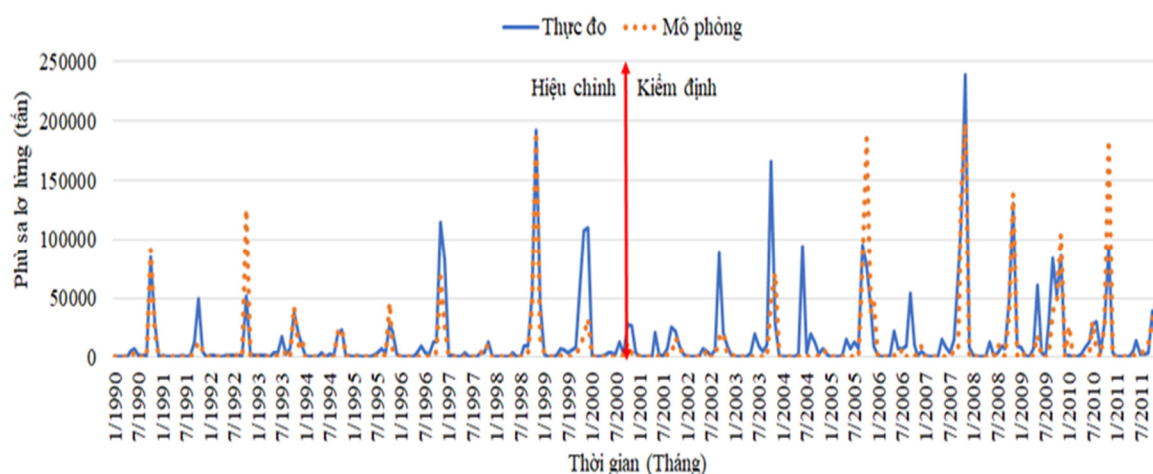
TT	Định danh lưu vực	Diện tích (km ²)
1	Sông Ba	8.341,37
2	Sông Ia Drang	968,39
3	Sông Ia Krom	900,56
4	Sông Ya Lop 1	894,85
5	Sông Ia Iehom	825,45
6	Sông Ya Lop 2	564,53
7	Phụ lưu Xê Xan	291,86
8	Phụ lưu Dak Po Ne 1	243,33
9	Phụ lưu Ia Krong Bơ Lan	235,22
10	Phụ lưu hồ Ya Ly	185,97
11	Phụ lưu Dak Po Ne 2	159,74
12	Sông La Hieng	126,87
13	Sông Côn	124,66

3.2. Đánh giá hiệu quả của mô hình SWAT

Quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình tập trung vào việc cải thiện kết quả mô phỏng của mô hình SWAT. Số liệu quan trắc lưu lượng dòng chảy và bùn cát lơ lửng theo tháng giai đoạn 1990–2000 và 2001–2011 tại trạm An Khê được sử dụng lần lượt cho quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình SWAT (Hình 5 và 6). Đối với biến lưu lượng dòng chảy, phân tích độ nhạy dựa trên dòng chảy mặt cho thấy các thông số nhạy nhất trong quá trình mô phỏng thủy văn trên lưu vực sông Ba đó là hệ số đường cong SCS cho điều kiện độ ẩm II (CN2), hệ số phân định dòng chảy cơ sở (ALPHA_BF), độ trễ dòng chảy ngầm (GW_DELAY) và độ cao mực nước ngầm (GWQMN) (Bảng 5). Trong khi đó, phân tích độ nhạy dựa trên lượng bùn cát lơ lửng cho thấy các thông số nhạy nhất trong quá trình mô phỏng thủy văn trên lưu vực sông Ba đó là tham số tuyến tính để tính lượng bùn cát lơ lửng tối đa trong dòng chảy (SPCON), hệ số xói mòn của đất (USLE_K), hệ số phương pháp canh tác (USLE_P), độ che phủ ban đầu (RSDIN) và hiệu suất hỗn hợp sinh khối (BIOMIX) (Bảng 5). Kết quả đánh giá độ tin cậy của mô hình trong mô phỏng dòng chảy và bùn cát lơ lửng được đánh giá bằng các chỉ số NSE, PBIAS, và hệ số RSR (Bảng 6). Thông qua giá trị của các chỉ số đánh giá, mô hình cho ra kết quả mô phỏng khá tốt cho cả lưu lượng dòng chảy và bùn cát lơ lửng [34].



Hình 5. Lưu lượng dòng chảy trung bình tháng thực đo và mô phỏng tại trạm An Khê thuộc lưu vực sông Ba trong giai đoạn hiệu chỉnh (1990–2000) và kiểm định (2001–2011).



Hình 6. Tải lượng bùn cát lơ lửng trung bình tháng thực đo và mô phỏng tại trạm An Khê thuộc lưu vực sông Ba trong giai đoạn hiệu chỉnh (1990–2000) và kiểm định (2001–2011).

Bảng 5. Bộ thông số hiệu chỉnh lưu lượng dòng chảy và bùn cát lơ lửng cho mô hình SWAT tại trạm An Khê thuộc lưu vực sông Ba.

TT	Thông số	Đơn vị	Ngưỡng giá trị	Ghi chú
1	CN2	–	-0,2 – -0,1	Thông số hiệu chỉnh lưu lượng dòng chảy
2	ALPHA_BF	–	0–0,1	
3	GW_DELAY	ngày	0–100	
4	GWQMN	mm	2500–3500	
5	LAT_TTIME	ngày	0–30	Thông số hiệu chỉnh lượng bùn cát lơ lửng
6	SPCON	–	0,0001–0,01	
7	USLE_K	–	0–0,65	
8	RSDIN	–	0–10000	
9	BIOMIX	–	0–1	
10	USLE_P	–	0–1	

Bảng 6. Kết quả đánh giá hiệu quả mô phỏng lưu lượng dòng chảy và bùn cát lơ lửng của mô hình SWAT.

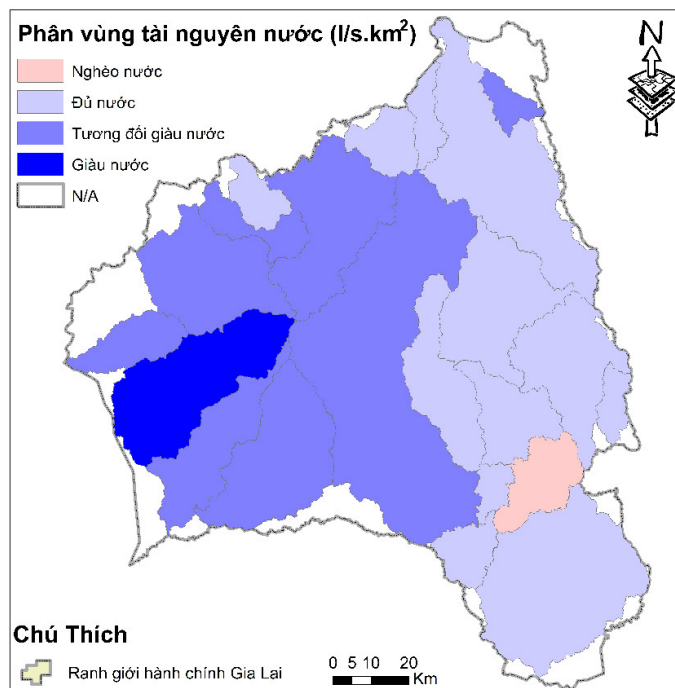
Biến đầu ra mô hình	Hiệu chỉnh			Kiểm định		
	NSE	RSR	PBIAS	NSE	RSR	PBIAS
Lưu lượng dòng chảy	0,88	0,35	–3,4	0,81	0,44	–16,1
Bùn cát lơ lửng	0,67	0,57	33,1	0,54	0,68	26,0

3.3. Phân vùng tài nguyên nước mặt

Dựa vào kết quả tính toán mô đun dòng chảy, các lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Gia Lai có nguồn tài nguyên nước khá dồi dào (Hình 7). Tuy nhiên, trên địa bàn tỉnh có một tiểu lưu vực nhỏ (351 km²) thuộc lưu vực sông Ba nằm trên địa bàn huyện Ia pa có nguồn tài nguyên nước hạn chế. Nguyên nhân là do hạn chế về lượng mưa ở khu vực này (~1280 mm/năm) thấp hơn 43,8% so với các khu vực khác. Dựa trên kết quả mô phỏng lượng dòng chảy, mô đun dòng chảy trung bình hàng năm trên các lưu vực cũng được tính toán và thể hiện ở bảng 7. Trong đó, đáng chú ý là lưu vực sông Ia Drang, Ya Lop 1 và phụ lưu Xê Xan là các lưu vực với mức mô đun dòng chảy trung bình hàng năm cao nhất tương ứng là 63,4 và 60,0 và 58,8 l/s–km². Nhìn chung, không có sự khác biệt lớn (< 5%) trong phân bố tài nguyên nước giữa các lưu vực trên địa bàn tỉnh, khoảng 48% nguồn nước tập trung ở lưu vực sông Ba (chiếm 8,58 tỷ m³), toàn bộ các lưu vực còn lại chiếm có 52% lượng nước. Theo đó, khu vực phía tây có nguồn tài nguyên nước nhiều hơn 4% so với khu vực phía đông của tỉnh Gia Lai. Như vậy, tổng quỹ nước mặt hàng năm của các sông suối trên địa bàn tỉnh Gia Lai khoảng 17,74 tỷ m³, chủ yếu là từ lượng nước mặt sinh ra từ mưa.

Nguồn tài nguyên nước trên địa bàn tỉnh 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, tỉnh Gia Lai chia ra hai mùa khô và mùa mưa rõ rệt [28]. Mùa mưa bắt đầu từ tháng V cho đến hết tháng XI và mùa khô từ tháng XII cho đến tháng IV năm sau. Dòng chảy tại các lưu vực trong giai đoạn mô phỏng đạt đỉnh mùa mưa (tháng V đến tháng XI), các tháng còn lại trong năm (nhất là trong mùa khô) dòng chảy rất nhỏ. Trong giai đoạn mùa mưa, giá trị mô đun dòng chảy trên các lưu vực sông dao động từ khoảng 73,5 l/s–km² (lưu vực Sông phụ lưu Dak Po Ne 2) đến 146,6 l/s–km² (sông Ia Drang). Những tháng mùa mưa này có thể đóng góp lên đến khoảng 90% lượng tài nguyên nước hàng năm. Những tháng từ XII đến tháng IV năm sau (những tháng mùa khô) thì giá trị lưu lượng dòng chảy rất nhỏ, nhỏ nhất vào tháng

II, III. Trong giai đoạn này, giá trị mô đun dòng chảy trên các lưu vực sông ở mức khoảng 0,5 l/s–km² (lưu vực phụ lưu sông Dak Po Ne 2) đến 8,1 l/s–km² (lưu vực sông Côn). Do sự phân phối không đều giữa các mùa, tài nguyên nước có thể bị tổn thất lớn hoặc gây ra thiên tai như lũ lụt trong mùa mưa và thiếu hụt, khan hiếm trong mùa khô hạn. Trên cơ sở đó, các biện pháp công trình có thể là một giải pháp giúp điều hòa phân bố của tài nguyên nước theo mùa nhằm giảm thiểu thoát nước trong mùa mưa và tăng cường lượng nước trong mùa khô hạn. Bên cạnh đó, cần có sự điều tiết sử dụng hợp lý nguồn tài nguyên nước cũng như điều chỉnh lịch sản xuất theo mùa một cách hợp lý phục vụ cho mục tiêu phát triển kinh tế xã hội của tỉnh.



Hình 7. Bản đồ phân vùng tài nguyên nước mặt cho các lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Gia Lai.

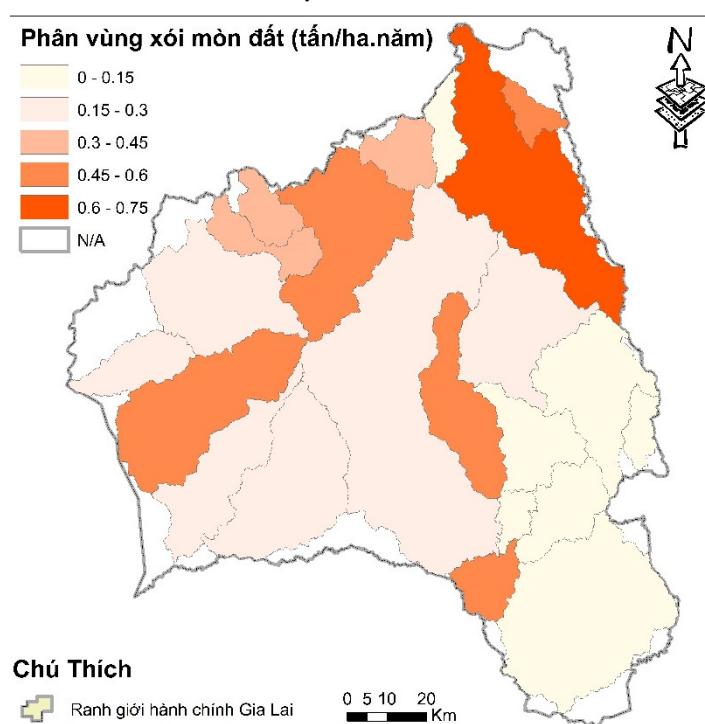
Bảng 7. Mô đun dòng chảy và lượng đất xói mòn trung bình hàng năm của các lưu vực trên địa bàn tỉnh Gia Lai.

TT	Định danh lưu vực	Mô đun dòng chảy trung bình hàng năm (l/s–km ²)	Lượng đất xói mòn trung bình hàng năm (tấn/ha.năm)
1	Sông Ba	32,6*	0,250*
2	Sông Ia Drang	63,4	0,358
3	Sông Ia Krom	52,9	0,510
4	Sông Ya Lop 1	60,0	0,256
5	Sông Ia Iehom	55,2	0,286
6	Sông Ya Lop 2	45,3	0,286
7	Phụ lưu Xê Xan	58,8	0,216
8	Phụ lưu Dak Po Ne 1	29,7	0,352
9	Phụ lưu Ia Krong Bơ Lan	50,5	0,366
10	Phụ lưu hồ Ya Ly	32,9	0,381
11	Phụ lưu Dak Po Ne 2	28,4	0,003
12	Sông La Hieng	31,4	0,00003
13	Sông Côn	45,7	0,411

* Giá trị trung bình của các tiểu lưu vực thuộc lưu vực sông Ba

3.4. Phân vùng xói mòn đất

Theo bảng phân loại cấp độ xói mòn đất trong tiêu chuẩn Quốc Gia (TCVN 5299:2009) và kết quả mô phỏng thì xói mòn đất trên địa bàn tỉnh Gia Lai không đáng kể vì tất cả các lưu vực trên địa bàn tỉnh đều có lượng xói mòn dưới 1 tấn/ha.năm. Các lưu vực sông trên địa bàn tỉnh có giá trị xói mòn trong khoảng từ 0 đến 0,75 tấn/ha.năm (Hình 8). Các lưu vực có giá trị xói mòn từ 0,3 đến 0,75 tấn/ha.năm tập trung ở khu vực phía bắc và tây của tỉnh. Điều này có thể được giải thích là do địa hình khá dốc (trung bình độ dốc khoảng 11,2°) của khu vực này cùng với lượng mưa lớn và độ che phủ của rừng ở mức trung bình. Trong khi đó, lưu vực sông phụ lưu Dak Po Ne 2 và phần phía đông nam của tỉnh Gia Lai (một số tiểu lưu vực gần cửa ra của lưu vực sông Ba và lưu vực sông La Hieng) là nơi có xói mòn đất rất thấp (0 đến 0,15 tấn/ha.năm). Nguyên nhân có thể là do diện tích rừng che phủ lớn từ 90% đến 100 diện tích của các khu vực này. Thêm vào đó, riêng đối với vùng phía đông nam của tỉnh Gia Lai thì đây là khu vực có lượng mưa thấp (~1280 mm/năm) và điều này có thể đã làm giảm lượng xói mòn đất so với các khu vực khác.



Hình 8. Bản đồ phân vùng mức độ xói mòn đất cho các lưu vực sông tại tỉnh Gia Lai.

Đất sau khi bị xói mòn có thể đi vào dòng chảy sông suối và được biểu thị qua lưu lượng bùn cát lơ lửng. Ngoài ra, theo kết quả mô phỏng thì lượng bùn cát lơ lửng từ 0,00001 kg/s cho lưu vực sông La Hieng đến 6,77 kg/s cho lưu vực sông Ba. Lưu lượng bùn cát lơ lửng trong các lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Gia Lai thuộc vào loại nhỏ, so với các lưu vực sông suối khác ở các khu vực khác trên cả nước thì nhỏ hơn nhiều. Ví dụ lưu lượng bùn cát lơ lửng của sông Đà ở Hòa Bình là 2.260 kg/s [37]. Nguyên nhân chính có thể là do các lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Gia lai có diện tích nhỏ và được che phủ bởi diện tích rừng lớn cũng như lượng mưa trung bình hàng năm nằm ở mức trung bình. Trong các loại hình sử dụng đất thì đất nông nghiệp trong khu vực nghiên cứu là loại hình dễ bị xói mòn nhất với lượng xói mòn 0,514 tấn/ha.năm. Nếu chỉ xem xét đến mỗi yếu tố thảm phủ bề mặt, các nhóm đất khác như lâm nghiệp hoặc phi nông nghiệp có lượng xói mòn không đáng kể.

Nhìn chung quá trình biến đổi lưu lượng bùn cát lơ lửng trong năm chịu sự tác động của chế độ dòng chảy, cụ thể lưu lượng nước tăng, lưu lượng bùn cát lơ lửng lớn, lưu lượng nước giảm, lưu lượng bùn cát lơ lửng nhỏ. Theo đó, lưu lượng bùn cát lơ lửng tại các lưu vực sông

khá ổn định trong các tháng mùa khô nhưng biến đổi rất mạnh trong các tháng mùa mưa. Vào mùa mưa, lượng bùn cát lơ lửng trong dòng chảy có giá trị trung bình khoảng 28.311,71 tấn cho toàn tỉnh Gia Lai, với diện tích lớn nhất thì lượng bùn cát thất thoát ra khỏi lưu vực sông Ba lên đến 192.801,58 tấn. Lượng bùn cát lơ lửng trong năm tập trung nhiều vào mùa mưa (từ tháng V đến giữa tháng XI), chiếm khoảng 96% lưu lượng bùn cát cả năm. Bốn tháng có lượng bùn cát lơ lửng lớn nhất là tháng VIII, IX, X, XI so với cả năm chúng chiếm từ 63–85% trên địa bàn toàn tỉnh và đặc biệt 84% đối với lưu vực sông Ba và 85% đối với lưu vực sông Côn. Vào mùa khô, lượng bùn cát lơ lửng rất thấp, có thể chỉ đạt giá trị trung bình khoảng 1.480,01 tấn cho toàn tỉnh Gia Lai. Ba tháng có lượng bùn cát nhỏ nhất là tháng I, II, III tổng lượng bùn cát lơ lửng của 3 tháng này đạt không tới 1% trên cả năm.

4. Kết luận

Nghiên cứu này sử dụng cách tiếp cận mô hình SWAT để mô phỏng lưu lượng dòng chảy và xói mòn đất phục vụ phân vùng và đánh giá nguồn tài nguyên nước mặt và xói mòn đất cho các lưu vực trên địa bàn tỉnh Gia Lai. Mô hình SWAT của 13 lưu vực sông cho tỉnh Gia Lai được xây dựng. Các chỉ số NSE, RSR và PBIAS cho thấy mô hình SWAT có độ tin cậy tốt trong mô phỏng lưu lượng dòng chảy và trung bình trong mô phỏng lưu lượng bùn cát lơ lửng. Hai bản đồ phân bố tài nguyên nước mặt và mức độ xói mòn đất theo từng lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Gia Lai được thành lập dựa trên các kết quả mô phỏng. Nhìn chung các lưu vực sông tại tỉnh Gia Lai có nguồn tài nguyên nước mặt tương đối dồi dào. Vùng bị xói mòn tập trung ở khu vực phía bắc và tây của tỉnh nơi có địa hình dốc và núi cao. Các kết quả từ nghiên cứu này đã chứng minh khả năng ứng dụng hiệu quả của mô hình SWAT trong đánh giá nguồn tài nguyên nước và xói mòn đất cho các lưu vực sông ở khu vực có địa hình dốc. Cuối cùng, do hạn chế về mặt dữ liệu đầu vào và quá trình hiệu chỉnh, kiểm định mô hình SWAT chỉ được thực hiện ở một tiểu lưu vực (vị trí cửa ra tiểu lưu vực tại trạm An Khê) của lưu vực sông Ba có thể tạo nên sự bất định cao và thiếu chính xác trong ước lượng, phân vùng và đánh giá tài nguyên nước mặt và xói mòn đất cho tỉnh Gia Lai. Do đó, hướng nghiên cứu tiếp theo là nên tăng cường việc thu thập dữ liệu đầu vào đặc biệt là dữ liệu mưa và thủy văn, cũng như thông tin về các thông số đã hiệu chỉnh và kiểm định của mô hình SWAT cho các lưu vực lân cận. Đồng thời, chi tiết hóa hơn sự phân chia lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Gia Lai và mở rộng phạm vi hiệu chỉnh và kiểm định cho toàn bộ lưu vực sông Ba cũng như các lưu vực sông Sê San và sông Srepok.

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

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. Sơn, N.T. Đánh giá tài nguyên nước Việt Nam. Nhà Xuất Bản Đại Học Quốc Gia Hà Nội, 2005.
2. Lan, Đ.T.; Tài, Đ.A. Kinh tế tài nguyên đất. Nhà Xuất Bản Nông Nghiệp, 2007.

3. Đạt, N.T. Suy thoái tài nguyên nước lưu vực sông ở Việt Nam, nguyên nhân và giải pháp. Hội thảo lớn Việt Nam, 2007.
4. Thu, Đ.C. Suy thoái đất và phục hồi đất bị suy thoái. Trung tâm Nghiên cứu và Phát triển Nông nghiệp Bền vững Đại học Nông nghiệp Hà Nội, 2009.
5. Dũng, N.B. Nghiên cứu xây dựng mô hình số bề mặt nước ngầm lưu vực sông Ba phục vụ công tác quản lý và quy hoạch tài nguyên nước. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 6, 36–43.
6. Trí, L.Q.; Gương, V.T.; Vũ, P.T.; Bình, N.T.S.; Kiệt, N.H.; Chiến, V.V. Đánh giá sự thay đổi đặc tính đất và sử dụng đất của 03 huyện ven biển tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2008**, 9, 59–68.
7. Tuấn, L.A. Quản lý tài nguyên nước bền vững, ứng phó với biến đổi khí hậu ở Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam* **2019**, 7, 13–15.
8. Nguyên, M.H. Đánh giá tổng quát tác động của biến đổi khí hậu đối với tài nguyên đất đai và các biện pháp ứng phó. Viện nghiên cứu quản lý đất đai, **2012**, 272–282.
9. Khánh, N.N. Bước đầu nghiên cứu sự chuyển đổi quản lý tài nguyên đất, rừng, nước trên địa bàn Tây Nguyên. Hội thảo Quốc tế Viện Việt Nam học. *Nhà xuất bản Viện Việt Nam học và Khoa học phát triển* **2015**, 316–328.
10. Nhíp, N.T.; Dân, N.L.; Hằng, P.T.T. Tiềm năng và hiện trạng khai thác tài nguyên nước thượng lưu vực sông Đồng Nai (thuộc lãnh thổ Tây Nguyên). *Tạp chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường* **2019**, 65, 36–42.
11. Thúy, V.T.; Tuấn, N.V.; Lan, P.T.H. Ứng dụng phương trình USLE và GIS xây dựng bản đồ xói mòn đất khu vực Tây Nguyên. *Khoa học Kỹ Thuật Thủy Lợi và Môi Trường* **2019**, 66, 100–107.
12. Vần, N.V.; Quý, T.D.; Khánh; L.Đ.; Khải, L.Q.; Thủy, N.T.; Toàn, T.T. Những nguyên nhân gây suy thoái và rút ngắn chu kỳ kinh doanh của các vườn cà phê ở Tây Nguyên. *Bản B của Tạp Chí Khoa học Và Công nghệ Việt Nam* **2015**, 2(9), 10–16.
13. Sơn, N.T.; Tuấn, N.C.; Thanh, C.; Vân, H.T. Nghiên cứu mô phỏng quá trình mưa – dòng chảy trên một số lưu vực sông ngòi miền trung phục vụ sử dụng hợp lý tài nguyên nước và đất. Nhà xuất bản Đại Học Quốc Gia Hà Nội, Đề tài NCKH QG. 07.15, **2008**, tr. 180.
14. Khôi, Đ.N.; Sâm, T.T.; Nhi, P.T.T.; Thịnh, N.V. Bước đầu xây dựng khung mô hình tích hợp đánh giá tài nguyên nước mặt dựa trên phương pháp tiếp cận môi liên kết nước – năng lượng – lương thực (WEF). *Kỷ yếu Hội nghị: Nghiên cứu cơ bản trong Khoa học Trái đất và Môi trường* **2019**, 382–385.
15. Gudmundsson, L.; Boulange, J.; Hong, D.X.; Gosling, S.N.; Grillakis, M.G.; Koutroulis, A.G.; Leonard, M.; Liu, J.; Schmied, H.M.; Papadimitriou, L.; Pokhrel, Y. Globally observed trends in mean and extreme river flow attributed to climate change. *Science* **2021**, 371(6534), 1159–1162. <https://doi.org/10.1126/science.aba3996>.
16. Âu, N.T.T; Liêm, N.D.; Lợi, N.K. Application of SWAT model and GIS for assessing water discharge at Dakbla river watershed. *VNU J. Sci. Earth Environ. Sci.* **2013**, 29(3), 1–13.
17. Tan, M.L.; Gassman, P.W.; Srinivasan, R.; Arnold, J.G.; Yang, X. A review of SWAT studies in Southeast Asia: applications, challenges and future directions. *Water* **2019**, 11(5), 914. <https://doi.org/10.3390/w11050914>.
18. Quang, N.H.; Hang, L.T.T.; Nga, P.T.T.; Kappas, M. Mô hình hóa nước chảy mặt và xói mòn đất cho tỉnh Yên Bái, Việt Nam sử dụng mô hình SWAT. *J. VN Environ.* **2016**, 8(1), 71–79. <https://doi.org/10.13141/jve.vol8.nol.pp71-79>.
19. Quế, N.D.; Hải, V.D. Đánh giá tác động của rừng đến dòng chảy và xói mòn đất trên một số lưu vực sông miền Trung và Tây Nguyên. *Tạp chí Nông nghiệp Công nghiệp Thực phẩm* **2006**, 19, tr. 57.

20. Hồng, N.T.; Liêm, N.D.; Bích, N.T.; Hiếu, L.D.B.; Tú, L.H.; Lợi, N.K. Application of SWAT model and GIS for assessing land use change to water discharge at Vu Gia river watershed. *VNU J. Sci. Nat. Sci. Technol.* **2014**, 30(2S), 80–91.
21. Bình, N.Q.; Công, N.H.; Dương, V.N. Đánh giá lượng vận chuyển bùn cát đến đầm Thị Nại, tỉnh Bình Định. *Khoa Học Kỹ Thuật Thủy Lợi và Môi Trường* **2019**, 65, 58–66.
22. Vu, M.T.; Raghavan, V.S.; Liong, S.Y. Ensemble climate projection for hydro-meteorological drought over a river basin in Central Highland, Vietnam. *KSCE J. Civ. Eng.* **2015**, 19(2), 427–433. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0506-x>.
23. Bách, T.V. Ứng dụng mô hình SWAT để tính toán lưu lượng dòng chảy và bùn cát trên lưu vực sông Cầu. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường* **2017**, 57, 136–142.
24. Dũng, N.K.; Bích, N.T. Ứng dụng SWAT tính toán dòng chảy và bùn cát lưu vực sông Sê San. *Hội thảo khoa học lần thứ 9, Viện Khí Tượng Thủy Văn*, 2005.
25. UBND tỉnh Gia Lai. Giới thiệu chung về tỉnh Gia Lai. *Cổng thông tin điện tử tỉnh Gia Lai*, 2010.
26. 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.
27. 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.
28. UBND tỉnh Gia Lai. Điều Kiện Tự Nhiên. *Cổng thông tin điện tử tỉnh Gia Lai*, **2016**.
29. Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R. Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation: Version 2005. Texas Water Resour. Institute, TR–406, **2005**, 494 Tr.
30. 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>.
31. Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R.. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resour. Institute, TR–406, **2011**, pp. 647.
32. Abbaspour, K.C. SWAT Calibration and Uncertainty Programs. *Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology*, **2015**, pp. 100.
33. 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>.
34. 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>.
35. Tín, B.T.; Nhu, N.T.; Đăng, N.M. Đánh giá hiện trạng tài nguyên nước mặt phục vụ cấp nước sinh hoạt tỉnh Ninh Bình. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2014**, 23, 91–101.
36. Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng. Tiêu Chuẩn Quốc Gia (TCVN 5299 : 2009) Chất lượng đất – phương pháp xác định mức độ xói mòn đất do mưa. Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng, Bộ Khoa học và Công nghệ, 2009.
37. Công ty Khảo sát thiết kế điện I. Nâng cao hiệu quả khai thác và sử dụng năng lượng. Thuộc đề tài KC.03.06. Nâng cao hiệu quả khai thác công trình thủy điện Hòa Bình. Công ty Khảo sát thiết kế điện I, Tổng công ty điện lực Việt Nam, 1995, tr. 10.

Application of SWAT model for zoning soil erosion and surface water resource in Gia Lai province

Le Hoang Tu^{1*}, Nguyen Thi Huyen², Phan Thi Ha¹, Dang Nguyen Dong Phuong¹, Nguyen Thanh Nghia¹, Le Minh Hai^{3,4}, Nguyen Duy Liem², Hoang Ha Anh⁵, Pham Gia Diep⁶, Nguyen Kim Loi¹

¹ Research Center for Climate Change, Nong Lam University–Ho Chi Minh City; tu.lehoang@hcmuaf.edu.vn; haphan0604@gmail.com; dangnguyendongphuong@gmail.com; 13162055@st.hcmuaf.edu.vn; ngkloi@hcmuaf.edu.vn

² Faculty of Environment and Natural Resources, Nong Lam University–Ho Chi Minh City; nt.huyen@hcmuaf.edu.vn; nguyenduyliem@hcmuaf.edu.vn

³ Center of Technology Application and Transfer, Department of Science and Technology of Gia Lai Province; minhhai.sokhcn@gmail.com

⁴ Institute for Environment and Resources, Vietnam National University–Ho Chi Minh City; minhhai.sokhcn@gmail.com

⁵ Faculty of Economics, Nong Lam University–Ho Chi Minh City; hoanghaanh@hcmuaf.edu.vn, nnthuy@hcmuaf.edu.vn

⁶ Information and communication office, Nong Lam University–Ho Chi Minh City; phamgiadiep@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 and sediment which used for building zoning maps of soil erosion and surface water resource. The case study was Gia Lai province which is located in the Central Highlands of Vietnam. After calibrating and validating, the model performances in monthly timestep during period of 1990–2011 were satisfactory. The estimated results showed that the surface water resource has been relatively abundant and there were slightly differences in spatial distribution of surface water resources between the zones in Gia Lai province. However, temporal distribution of surface water resources had huge difference between seasons in a year. Meanwhile, simulated results from the SWAT model indicated that the soil erosion was negligible (less than 1 tons/ha.year) in the province. The soil erosion zoning map showed that soil erosion was occurred in the northern and western areas of Gia Lai province.

Keywords: SWAT model; Zoning map; Soil erosion; Surface water resource; Gia Lai province.