

ASSESSING STREAMFLOW DYNAMICS IN THE CHO CHU RIVER BASIN USING SWAT MODEL

Nguyen Ngoc Anh*, Hoang Nhat Anh, Chu Van Trung, Pham Van Tuan, Nguyen Thanh Hai, Nguyen Huy Trung
TNU - University of Agriculture and Forestry

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	25/6/2025	This study simulates and evaluates streamflow dynamics in the Cho Chu River Basin (a tributary of the Cau River) during the period 1990–2020 using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) within a Geographic Information System (GIS) framework. Input datasets include a Digital Elevation Model (DEM), land use/cover, soil types, and long-term meteorological records. These datasets were standardized and processed within a GIS environment to ensure spatial and temporal consistency for hydrological modeling. The spatial configuration of the watershed was divided into 26 sub-basins and 273 Hydrological Response Units (HRU), representing characteristic combinations of topography, land use, and soil characteristics. The model demonstrated robust performance, with an $R^2 = 0.803$ between observed rainfall and simulated streamflow, confirming the model's reliability in mountainous terrain. The results revealed pronounced seasonal variation, with surface runoff concentrated from May to October, peaking at 347.32 mm in July 2001, while dry-season runoff approached zero. Spatially, surface runoff varied significantly among sub-basins, ranging from 23.49 mm to 52.74 mm, highlighting the influence of local topography, vegetation cover, and rainfall distribution. These findings provide a scientific basis for watershed-scale water resource management, land use planning, erosion control, and sustainable development, especially in the context of increasing climate variability.
Revised:	21/11/2025	
Published:	25/11/2025	
KEYWORDS		
Model		
Streamflow		
Watershed		
Hydrology		
Runoff		

ĐÁNH GIÁ DIỄN BIẾN DÒNG CHẢY LƯU VỰC SÔNG CHỢ CHU SỬ DỤNG MÔ HÌNH SWAT

Nguyễn Ngọc Anh*, Hoàng Nhật Ánh, Chu Văn Trung, Phạm Văn Tuấn, Nguyễn Thanh Hải, Nguyễn Huy Trung
Trường Đại học Nông Lâm – ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	25/6/2025	Nghiên cứu tích hợp mô hình thủy văn SWAT với hệ thống thông tin địa lý (GIS) nhằm mô phỏng và đánh giá diễn biến dòng chảy tại lưu vực sông Chợ Chu trong giai đoạn 1990–2020. Tập dữ liệu đầu vào bao gồm mô hình số độ cao (DEM), bản đồ sử dụng đất, bản đồ thổ nhưỡng và chuỗi khí tượng dài hạn, được chuẩn hóa và xử lý trong môi trường GIS để đảm bảo tính nhất quán không gian – thời gian phục vụ mô hình hóa. Kết quả phân chia không gian lưu vực xác định được 26 tiểu lưu vực và 273 đơn vị thủy văn (HRU), đại diện cho các tổ hợp đặc trưng về địa hình, thảm phủ và loại đất. Mô hình cho thấy hiệu suất mô phỏng đáng tin cậy, với hệ số xác định $R^2 = 0,803$ giữa lượng mưa và lưu lượng dòng chảy, phản ánh mối tương quan chặt chẽ giữa hai đại lượng và khẳng định năng lực mô hình trong điều kiện địa hình miền núi. Dòng chảy mặt theo thời gian có mức độ phân hóa theo mùa rõ rệt, tập trung từ tháng 5 đến tháng 10, với các giá trị đỉnh lên tới 347,32 mm (tháng 7/2001). Ngược lại, mùa khô kéo dài với dòng chảy gần như bằng không. Về mặt không gian, dòng chảy mặt phân hóa đáng kể giữa các tiểu lưu vực, dao động trong khoảng 23,49–52,74 mm, phản ánh ảnh hưởng của địa hình, thảm phủ và mưa tại từng khu vực. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho công tác quy hoạch tài nguyên nước, quản lý sử dụng đất hợp lý, kiểm soát xói mòn và phát triển bền vững lưu vực sông trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng rõ nét.
Ngày hoàn thiện:	21/11/2025	
Ngày đăng:	25/11/2025	
TỪ KHÓA		
Mô hình		
Lưu lượng		
Lưu vực		
Thủy văn		
Dòng chảy		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.13131>

* Corresponding author. Email: nguyenngocanh@tuaf.edu.vn

1. Giới thiệu

Lưu vực sông Chợ Chu, một phụ lưu quan trọng của sông Cầu, nằm chủ yếu trên địa bàn huyện Định Hóa, tỉnh Thái Nguyên, là khu vực có vai trò thiết yếu trong đảm bảo nguồn nước cho sản xuất nông nghiệp, sinh hoạt và duy trì cân bằng sinh thái ở vùng trung du miền núi phía Bắc Việt Nam. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, lưu vực này đang phải đối mặt với nhiều thách thức do tác động kết hợp của biến đổi khí hậu và sự gia tăng các hoạt động sử dụng đất. Tình trạng chuyển đổi mục đích sử dụng đất như mở rộng diện tích đất phi nông nghiệp, giảm diện tích rừng và phát triển đô thị đã làm thay đổi cấu trúc bề mặt và đặc tính thủy văn của lưu vực, kéo theo sự biến động rõ rệt về lưu lượng dòng chảy, đặc biệt là sự gia tăng dòng chảy đỉnh và suy giảm dòng chảy mùa kiệt [1], [2]. Do vậy, việc ứng dụng các mô hình thủy văn như SWAT (Soil and Water Assessment Tool) kết hợp với hệ thống thông tin địa lý (Geographic Information System – GIS) đang được coi là một trong những phương pháp hiệu quả và đáng tin cậy trong nghiên cứu lưu vực [3], [4]. Mô hình SWAT cho phép mô phỏng chi tiết quá trình dòng chảy mặt, dòng chảy ngầm, xói mòn và vận chuyển vật chất trong lưu vực dựa trên các đặc điểm không gian như địa hình, đất, lớp phủ và dữ liệu khí tượng [5]. Khi tích hợp với GIS, mô hình càng phát huy hiệu quả trong việc xử lý dữ liệu đầu vào phức tạp, phân tích không gian và trích xuất kết quả mô phỏng theo từng tiểu lưu vực hoặc đơn vị thủy văn (Hydrological Response Unit – HRU) [6].

Trong thời gian vừa qua, tại Việt Nam đã có nhiều nghiên cứu chứng minh tính ứng dụng của mô hình SWAT trong đánh giá dòng chảy, xói mòn và chất lượng nước tại các lưu vực sông có điều kiện địa hình, sử dụng đất và khí hậu đa dạng như lưu vực sông Vu Gia [4], sông Srepok [7], sông Vệ [6], sông Nhật Lệ [1] hay lưu vực Mekong [2]. Các kết quả này cho thấy mô hình SWAT không chỉ phù hợp với lưu vực lớn mà còn ứng dụng tốt trong các lưu vực vừa và nhỏ miền núi có đặc điểm thủy văn phân hóa mạnh theo mùa và không gian [3], [8]. Tuy nhiên, tại khu vực sông Chợ Chu, vẫn chưa có nghiên cứu nào áp dụng mô hình SWAT một cách toàn diện để mô phỏng và đánh giá diễn biến lưu lượng dòng chảy trong giai đoạn dài. Đây là khoảng trống nghiên cứu quan trọng trong bối cảnh lưu vực ngày càng chịu nhiều áp lực từ phát triển kinh tế, thay đổi sử dụng đất và biến đổi khí hậu. Xuất phát từ thực tiễn đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm tích hợp mô hình SWAT và công nghệ GIS để mô phỏng và đánh giá dòng chảy tại lưu vực sông Chợ Chu trong giai đoạn 1990–2020. Mục tiêu cụ thể của nghiên cứu bao gồm: (i) thiết lập và hiệu chỉnh mô hình SWAT trên nền tảng tích hợp dữ liệu địa hình, thổ nhưỡng, lớp phủ sử dụng đất và khí tượng – thủy văn; (ii) phân tích đặc điểm phân hóa dòng chảy mặt theo không gian và theo thời gian; và (iii) cung cấp luận cứ khoa học ban đầu nhằm hỗ trợ công tác quy hoạch tài nguyên nước, phân bổ sử dụng đất hợp lý và nâng cao năng lực quản lý rủi ro thiên tai tại khu vực trung du miền núi phía Bắc Việt Nam trong bối cảnh tác động ngày càng rõ nét của biến đổi khí hậu.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp thu thập số liệu, tài liệu

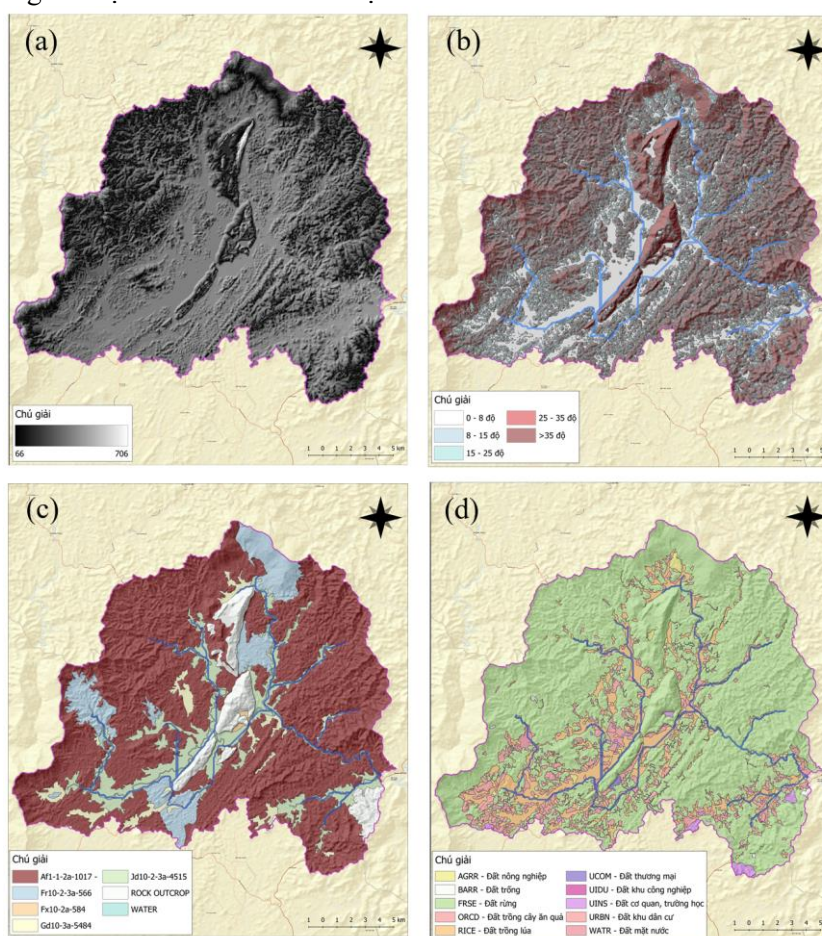
Trong nghiên cứu này, các loại dữ liệu chính được thu thập và xử lý bao gồm dữ liệu mô hình số độ cao (Digital Elevation Model – DEM), đồ hiện trạng sử dụng đất, bản đồ thổ nhưỡng và dữ liệu thời tiết. Tất cả dữ liệu trên sau khi được thu thập đều được xử lý và tổ chức trong môi trường GIS, nhằm đảm bảo tính nhất quán về không gian, thời gian và định dạng kỹ thuật cho quá trình mô hình hóa.

2.2. Phương pháp xử lý dữ liệu

(1) *Dữ liệu khí tượng*: Nghiên cứu sử dụng chuỗi dữ liệu lượng mưa và nhiệt độ được tiến hành thống kê theo ngày bao gồm: 2 trạm đo mưa (Định Hóa, Chợ Mới), và 2 trạm đo nhiệt độ (Thái Nguyên, Bắc Kạn) với khoảng thời gian từ năm 1990 đến 2020. Dữ liệu được xử lý nhằm đảm bảo đúng cấu trúc đầu vào và đồng bộ chuỗi thời gian.

(2) *Dữ liệu địa hình (DEM)*: Dữ liệu mô hình số độ cao sử dụng trong nghiên cứu được trích xuất từ nguồn SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) với độ phân giải không gian 30 m, do Cơ quan Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (United States Geological Survey - USGS) cung cấp thông qua nền tảng EarthExplorer (Hình 1a). Dữ liệu này đóng vai trò nền tảng trong việc phân tích địa hình, xác định mạng lưới dòng chảy và phân định lưu vực trong mô hình SWAT nhằm phục vụ quá trình xây dựng đơn vị phản ứng thủy văn (HRU), dữ liệu độ dốc lưu vực được phân theo 5 cấp bao gồm: $0 - 8^{\circ}$; $8 - 15^{\circ}$; $15 - 25^{\circ}$; $25 - 35^{\circ}$ và lớn hơn 35° . Phân bố không gian cấp độ dốc được thể hiện trong Hình 1b.

(3) *Dữ liệu thổ nhưỡng*: Trong nghiên cứu này, dữ liệu đất được thu thập từ bản đồ thổ nhưỡng tỷ lệ 1:50.000 của tỉnh Thái Nguyên năm 2005 (Hình 1c), được chuẩn hóa theo hệ thống FAO để tích hợp với SWAT. Việc chuẩn hóa này không chỉ đảm bảo tính tương thích với mô hình SWAT mà còn giúp mở rộng khả năng tích hợp với các nghiên cứu quốc tế, so sánh liên vùng hoặc trong các kịch bản biến đổi khí hậu có tính toàn cầu.



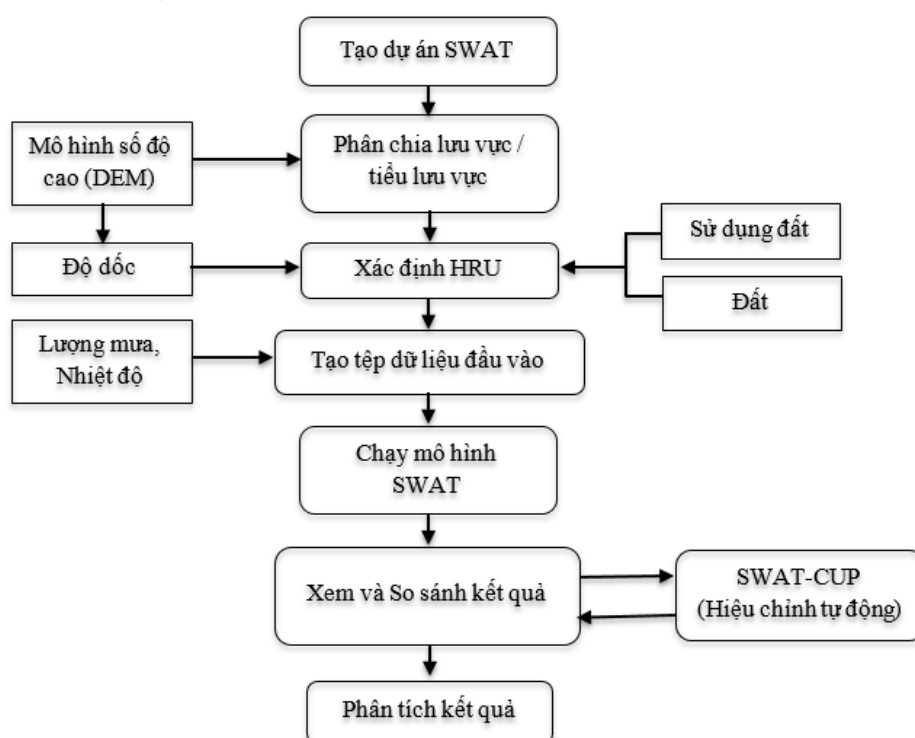
Hình 1. Mô hình số độ cao DEM (a); Bản đồ phân cấp độ dốc (b); Bản đồ thổ nhưỡng (c) và Bản đồ sử dụng đất (d)

(4) *Dữ liệu sử dụng đất*: Dữ liệu hiện trạng sử dụng đất là một trong ba thành phần không gian cốt lõi trong mô hình SWAT, bên cạnh địa hình và thổ nhưỡng. Trong nghiên cứu này, bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2020 được sử dụng đại diện cho toàn bộ giai đoạn mô phỏng (1990–2020) như một giả định “lớp phủ đất không đổi theo thời gian”, được trích xuất từ nguồn dữ liệu chính thức của tỉnh Thái Nguyên (Hình 1d). Sau khi xử lý và chuyển mã tương thích với SWAT, dữ liệu được sử dụng để xác định đặc điểm từng đơn vị phản ứng thủy văn (HRU), ảnh hưởng đến dòng chảy mặt và phát sinh bùn cát. HRU là những vùng có đặc điểm đồng nhất về sử dụng đất.

dùng đất, loại đất và độ dốc, là đơn vị mô phỏng cơ bản trong mô hình SWAT để tính toán các quá trình thủy văn.

2.3. Phương pháp ứng dụng mô hình SWAT

Tiến trình mô phỏng dòng chảy bằng mô hình SWAT được thực hiện trong môi trường ArcSWAT theo các bước chuẩn hóa dữ liệu đầu vào. DEM được sử dụng để chia lưu vực và xác định mạng lưới dòng chảy; các lớp độ dốc, thổ nhưỡng và sử dụng đất được tích hợp để thiết lập các đơn vị phản ứng thủy văn (HRU). Dữ liệu khí tượng (mưa, nhiệt độ) được chuẩn hóa theo định dạng mô hình và kết hợp cùng dữ liệu không gian để khởi tạo mô phỏng. Giai đoạn 1992–2020 là khung thời gian chính, với 2 năm 1990 và 1991 dùng cho khởi tạo mô hình. Kết quả đầu ra bao gồm dòng chảy, dòng chảy mặt được phân tích theo không gian – thời gian. Do không có dữ liệu dòng chảy thực đo, mô hình được kiểm tra tính hợp lý thông qua phân tích xu thế và phân hóa giữa các tiểu lưu vực.



Hình 2. Tiến trình mô phỏng dòng chảy bằng mô hình SWAT

3. Kết quả và bàn luận

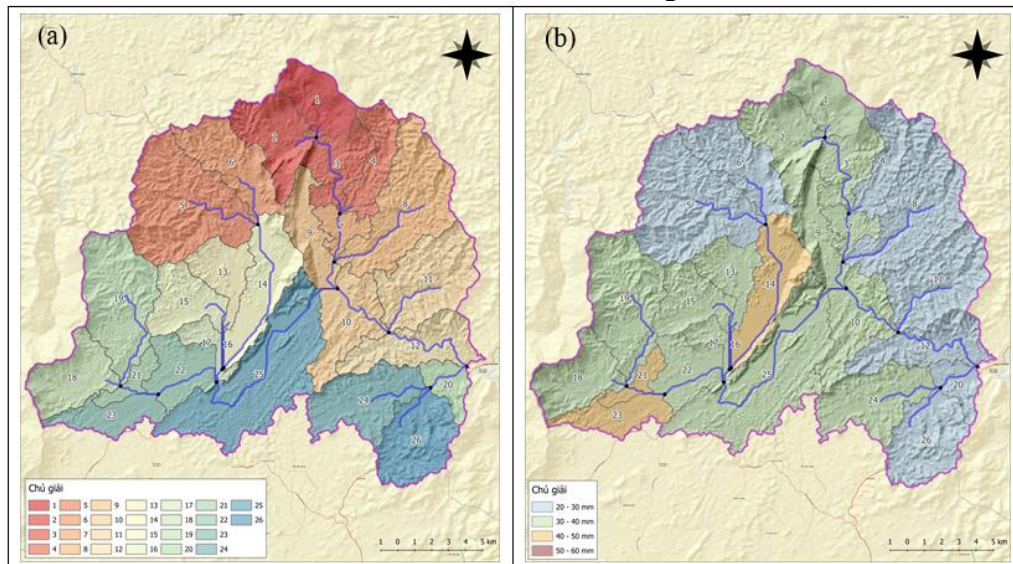
3.1. Khu vực nghiên cứu

Hệ thống sông Chợ Chu là mạng lưới thủy văn lớn nhất trên địa bàn huyện Định Hóa, tỉnh Thái Nguyên. Dòng chính mang tên sông Chợ Chu hình thành từ nhiều khe suối nhỏ bắt nguồn trên các sườn núi thuộc các xã phía Tây và phía Bắc huyện, đặc biệt là các khu vực rừng đầu nguồn. Ba nhánh chính cấu thành hệ thống này gồm suối Chao, suối Múc và suối Tao; trong đó, đoạn chảy qua xã Tân Dương là rộng nhất. Sau khi đi qua địa phận xã Yên Ninh (huyện Phú Lương), sông Chợ Chu tiếp nhận thêm một chi lưu từ xã Yên Trạch và tiếp tục chảy theo hướng Bắc – Tây Bắc trước khi hợp lưu với sông Cầu tại thị trấn Chợ Mới, huyện Chợ Mới, tỉnh Bắc Kạn. Lưu vực có diện tích khoảng 437 km², địa hình khu vực chủ yếu là đồi núi thấp, độ dốc trung bình từ 10–25%, bị chia cắt bởi các dãy núi và thung lũng hẹp, khu vực có khí hậu nhiệt đới ẩm gió mùa với lượng mưa tập trung từ tháng 5 đến tháng 10. Cơ cấu sử dụng đất trong lưu vực

hiện nay gồm khoảng 55% đất lâm nghiệp, 30% đất nông nghiệp và phần còn lại là đất ở, đất trồng và mặt nước. Các hoạt động sản xuất nông – lâm nghiệp như trồng rừng, trồng lúa, ngô và chè là nguồn sinh kế chính của người dân trong lưu vực. Tuy nhiên, tình trạng canh tác trên đất dốc, khai thác rừng chưa bền vững và gia tăng diện tích đất trồng đang làm gia tăng nguy cơ xói mòn, rửa trôi dinh dưỡng và suy giảm chất lượng môi trường đất – nước.

3.2. Thiết lập mô hình SWAT

Mô hình SWAT sử dụng mô hình số độ cao (DEM) toàn cầu để xác định dòng chảy, phạm vi lưu vực và phân các tiểu lưu vực trong toàn vùng dựa trên chức năng tích hợp mô hình SWAT và GIS. Kết quả phân chia lưu vực sông Chợ Chu thành 26 tiểu lưu vực (lớn nhất là tiểu lưu vực 25, với diện tích 41,35 km²) theo vị trí các điểm hợp lưu chính và độ phân giải không gian (Hình 3a). Mỗi tiểu lưu vực được gán mã số và có khả năng mô phỏng riêng biệt trong mô hình. Mỗi tiểu lưu vực trong nghiên cứu được chia thành các đơn vị thủy văn (HRU) dựa trên đặc điểm chung về sử dụng đất, loại đất và độ dốc. Việc phân tích thông tin dòng chảy, xói mòn đất chi tiết tới cấp đơn vị thủy văn nhằm cụ thể hóa phân bố không gian của các chỉ tiêu theo dõi của nghiên cứu. Kết quả lưu vực sông Chợ Chu được chia thành 273 HRU xác định trong 26 tiểu lưu vực trên toàn bộ lưu vực, mỗi HRU đại diện cho đơn vị mô hình hóa nhỏ nhất trong lưu vực.

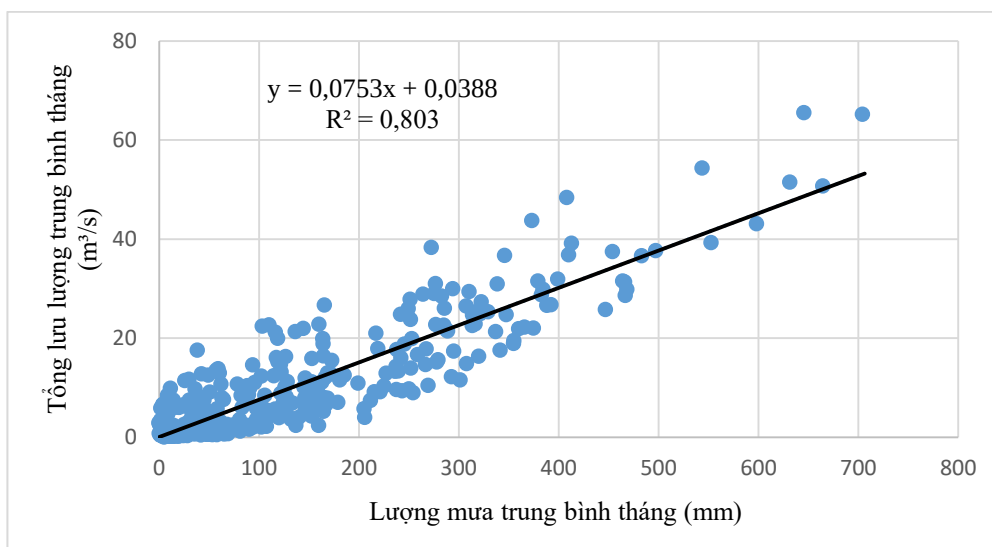


Hình 3. Bản đồ phân chia lưu vực (a) và phân bố dòng chảy mặt trên các tiểu lưu vực (b)

3.3. Kết quả mô phỏng dòng chảy

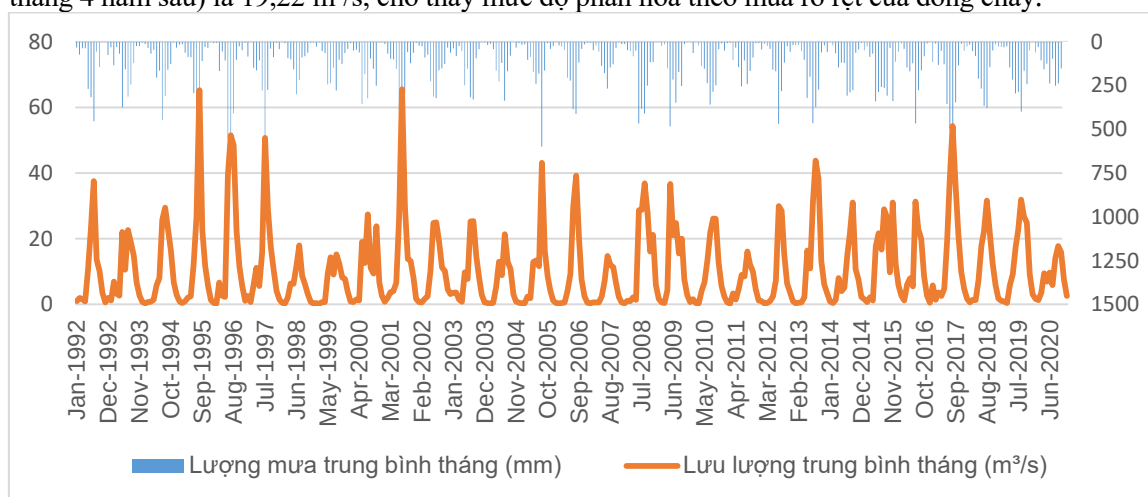
3.3.1. Diễn biến dòng chảy mô phỏng giai đoạn hiện tại

Kết quả mô phỏng lưu lượng dòng chảy trung bình tháng tại lưu vực sông Chợ Chu cho thấy sự phân hóa rõ nét theo mùa, phản ánh đặc trưng của khí hậu nhiệt đới ẩm gió mùa khu vực miền núi phía Bắc. Hình 4 thể hiện mối quan hệ giữa tổng lượng mưa trung bình tháng và lưu lượng dòng chảy trung bình tháng tại lưu vực sông Chợ Chu trong giai đoạn 1992–2020. Kết quả cho thấy mô hình SWAT phản ánh tương đối tốt xu thế vật lý của quá trình thủy văn trong vùng: các tháng có lượng mưa cao thường đi kèm với dòng chảy lớn, và ngược lại. Hệ số xác định $R^2=0,803$ cho thấy mô hình duy trì được tính nhất quán nội tại giữa đầu vào (mưa) và đầu ra (dòng chảy), đặc biệt trong điều kiện không có số liệu thực đo để kiểm định. Mặc dù có một số điểm lệch tại các tháng mưa lớn do ảnh hưởng của thấm, bốc hơi và độ bão hòa đất, kết quả này vẫn cho thấy lượng mưa là yếu tố chi phối chính đối với dòng chảy tại lưu vực và khẳng định độ tin cậy của mô hình SWAT trong mô phỏng quá trình thủy văn khu vực miền núi.



Hình 4. Mối tương quan giữa tổng lượng mưa và lưu lượng dòng chảy từ mô hình

Kết quả mô phỏng tại Hình 5 cho thấy, lưu lượng dòng chảy có xu hướng tăng mạnh trong các tháng mùa mưa (từ tháng 5 đến tháng 10), đặc biệt tập trung vào giai đoạn tháng 6 đến tháng 8. Một số thời điểm trong chuỗi thời gian 1992–2020 ghi nhận giá trị dòng chảy trung bình tháng cao hơn hẳn mức trung bình nhiều năm, điển hình như tháng 8/1995 (65,19 m³/s), tháng 7/2001 (65,54 m³/s), và tháng 8/2017 (54,33 m³/s). Ngược lại, trong mùa khô (tháng 11 đến tháng 4 năm sau), dòng chảy duy trì ở mức rất thấp, nhiều tháng chỉ dưới 0,5 m³/s, như tháng 2/1999 (0,096 m³/s), tháng 12/1998 (0,163 m³/s), và tháng 2/2004 (0,1768 m³/s), phản ánh tình trạng hạn hán kéo dài và sự thiếu hụt nghiêm trọng về nguồn nước. Trung bình toàn chuỗi, lưu lượng dòng chảy trong mùa mưa cao gấp từ 7 đến 12 lần so với mùa khô, phản ánh tính phân hóa mùa mưa – mùa khô rõ rệt của chế độ thủy văn khu vực. Ví dụ, năm 2017, tổng các giá trị lưu lượng dòng chảy trung bình tháng trong mùa mưa (tháng 5 đến 10) là 188,38 m³/s, trong khi mùa khô (tháng 11 năm trước đến tháng 4 năm sau) là 19,22 m³/s, cho thấy mức độ phân hóa theo mùa rõ rệt của dòng chảy.



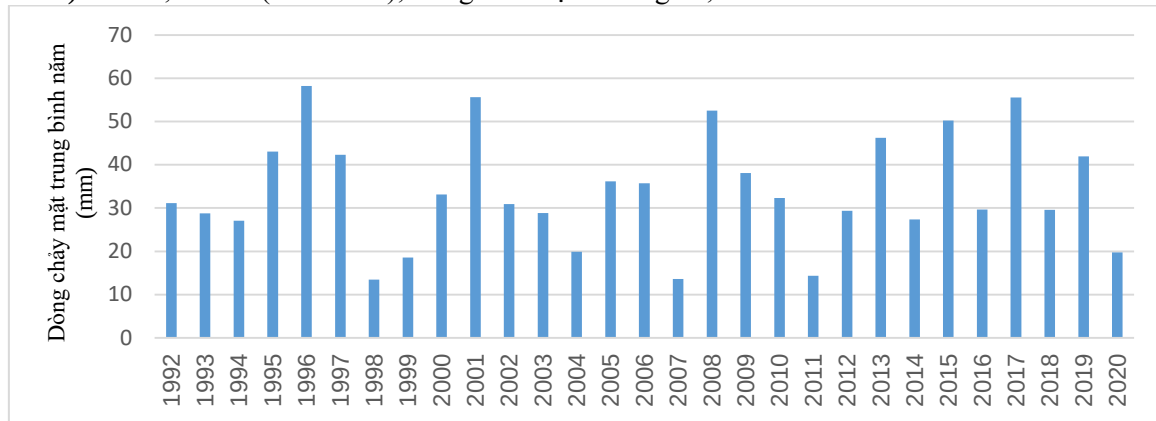
Hình 5. Tổng lượng mưa và lưu lượng dòng chảy trung bình tháng giai đoạn 1992 – 2020

Tổng thể mô hình cho thấy, lưu vực sông Chợ Chu có sự biến động lớn về dòng chảy với nguy cơ lũ lụt cao vào mùa mưa và khan hiếm nước nghiêm trọng vào mùa khô. Diễn biến này là cơ sở quan trọng để xây dựng các giải pháp quản lý tổng hợp tài nguyên nước và đề xuất các biện pháp thích ứng hiệu quả với biến đổi khí hậu.

3.3.2. Diễn biến dòng chảy mặt theo thời gian

a) Theo năm

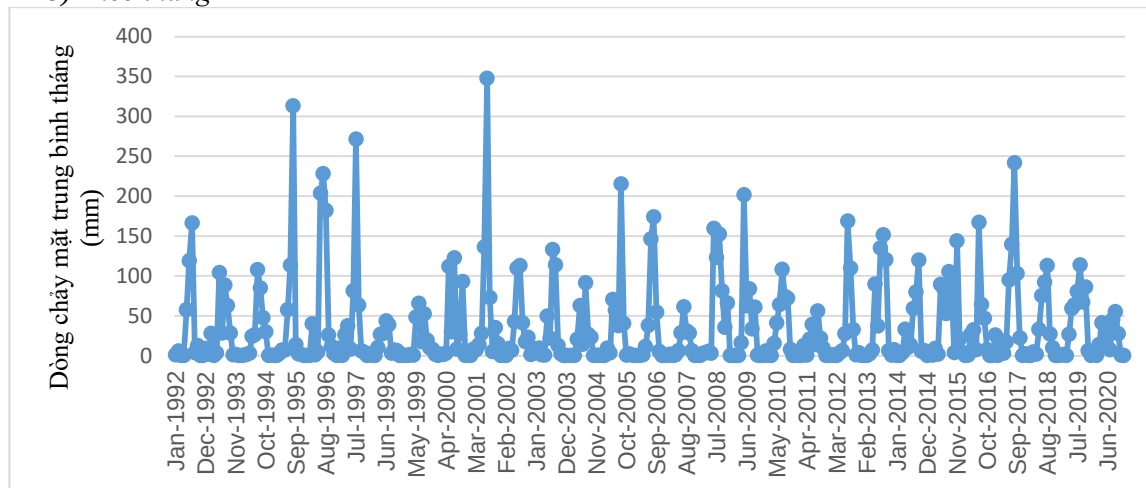
Phân tích chuỗi số liệu dòng chảy mặt trung bình năm tại lưu vực sông Chợ Chu giai đoạn 1992–2020 cho thấy sự dao động đáng kể theo thời gian, với giá trị dao động từ 13,46 mm (năm 1998) đến 58,19 mm (năm 1996), trung bình đạt khoảng 33,3 mm/năm.



Hình 6. Diễn biến dòng chảy mặt trung bình theo năm

Biểu đồ Hình 6 cho thấy không có xu hướng tăng hoặc giảm rõ rệt, tuy nhiên ghi nhận nhiều giai đoạn biến động mạnh như giai đoạn 1992–2001 ghi nhận nhiều năm có dòng chảy mặt cao bất thường, nổi bật là năm 1996 và 2001 với giá trị lần lượt là 58,19 mm và 55,60 mm. Trong khi đó, giai đoạn 2002–2011 tương đối ổn định ở mức trung bình thấp hơn (khoảng 30 mm), xen kẽ với một số năm giá trị rất thấp như 2007 (13,62 mm) và 2011 (14,36 mm). Từ 2012 đến 2020, xu thế dao động tiếp tục thể hiện với các năm đột biến như 2013 (46,25 mm), 2015 (50,24 mm) và 2017 (55,57 mm), cho thấy phản ứng nhanh của lưu vực trước các sự kiện mưa lớn.

b) Theo tháng



Hình 7. Diễn biến dòng chảy mặt trung bình theo tháng

Chuỗi số liệu dòng chảy mặt trung bình theo tháng (Hình 7) tại lưu vực sông Chợ Chu trong giai đoạn 1992–2020 thể hiện mức độ phân hóa theo mùa rõ rệt, đồng thời ghi nhận nhiều tháng có dòng chảy mặt đạt giá trị đỉnh cao bất thường. Dòng chảy bắt đầu tăng mạnh từ tháng 5, đạt cao nhất vào tháng 6, 7 (với giá trị trung bình khoảng 119 mm và 166 mm), phản ánh đặc điểm mưa mùa điển hình của vùng núi phía Bắc Việt Nam. Tuy nhiên, một số tháng ghi nhận dòng chảy mặt vượt xa mức trung bình. Cụ thể, tháng 7/2001 có dòng chảy mặt cao nhất toàn chuỗi với

347,32 mm, tiếp đến là tháng 8/2017 (241,53 mm), tháng 7/1996 (227,87 mm) và tháng 8/2005 (215,07 mm). Những giá trị này đều gấp từ 1,5 đến gần 3 lần so với mức trung bình tháng cao điểm của mùa mưa, cho thấy khả năng xuất hiện các sự kiện mưa cực đoan gây lũ quét hoặc dòng chảy tập trung nhanh trên diện rộng. Đáng chú ý, năm 1996 có cả hai tháng liên tiếp (tháng 6 và tháng 7) đều nằm trong nhóm cao nhất, với dòng chảy lần lượt là 203,51 mm và 227,87 mm, phản ánh mùa mưa đặc biệt mạnh trong năm này.

Tính chất tập trung ngắn hạn của dòng chảy mặt trong các tháng 6–8, thường chỉ kéo dài 1–2 tháng, là một cảnh báo về nguy cơ lũ quét, xói mòn đất và thiệt hại nông nghiệp nếu không có biện pháp kiểm soát dòng chảy bề mặt hiệu quả. Ngược lại, các tháng mùa khô kéo dài với dòng chảy tiệm cận 0 mm cũng cho thấy nguy cơ thiếu nước nghiêm trọng phục vụ nông nghiệp và sinh hoạt.

3.3.2. Diễn biến dòng chảy mặt theo không gian

Kết quả phân tích dòng chảy mặt trung bình theo 26 tiểu lưu vực sông Chợ Chu cho thấy sự phân hóa không gian rõ rệt, phản ánh ảnh hưởng tổng hợp của điều kiện địa hình, sử dụng đất và đặc điểm mưa tại từng khu vực. Trung bình dòng chảy mặt dao động từ 23,49 mm đến 52,74 mm. Cụ thể, tiểu lưu vực 16 ghi nhận dòng chảy mặt cao nhất với 52,74 mm, tiếp theo là tiểu lưu vực 21 (46,22 mm), tiểu lưu vực 23, 14 và 23 lần lượt là (45,15 mm; 41,86 mm; 39,34 mm). Đây nhiều khả năng là các vùng có độ dốc cao, thảm phủ kém hoặc nằm trong khu vực nhận mưa tập trung, dẫn đến khả năng hình thành dòng chảy mặt lớn. Trong khi đó, các tiểu lưu vực có dòng chảy mặt thấp nhất gồm tiểu lưu vực 11 (23,49 mm), tiểu lưu vực 8 (23,52 mm) và tiểu lưu vực 12, 26 và 20 lần lượt là (23,73 mm; 24,69 mm; 28,41 mm), phản ánh khả năng thấm thấu tốt hơn hoặc sự kiểm soát tốt dòng chảy nhờ thảm thực vật hoặc công trình điều tiết.

Kết quả mô phỏng từ mô hình cho thấy dòng chảy mặt có sự biến thiên rõ rệt giữa các khu vực, phản ánh ảnh hưởng tổng hợp của địa hình, thảm phủ và hoạt động sử dụng đất. Nhìn chung, sự khác biệt rõ rệt về dòng chảy mặt giữa các khu vực đã cho thấy mô hình SWAT phản ánh tốt tính không đồng nhất không gian trong thủy văn lưu vực. Kết quả là cơ sở khoa học quan trọng cho khoanh vùng quản lý rủi ro xói mòn, đề xuất giải pháp sử dụng đất hợp lý và phát triển các chiến lược thích ứng bền vững trong lưu vực.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã ứng dụng mô hình SWAT để mô phỏng đặc trưng thủy văn của lưu vực sông Chợ Chu trong giai đoạn 1990–2020. Toàn lưu vực được chia thành 26 tiểu lưu vực và 273 đơn vị phản ứng thủy văn (HRU). Kết quả mô phỏng cho thấy dòng chảy mặt có sự phân hóa theo mùa rất rõ, với giá trị cực đại tập trung vào tháng 7/2001 (65,54 m³/s) và tháng 8/2017 (54,33 m³/s). Trong mùa khô lưu lượng dòng chảy suy giảm mạnh, nhiều tháng tiệm cận 0 m³/s, điển hình như tháng 2/1999 (0,096 m³/s). Mô hình cho thấy mối quan hệ hợp lý giữa lượng mưa và dòng chảy mô phỏng, với hệ số xác định $R^2=0,803$, phản ánh tính nhất quán nội tại của mô hình trong điều kiện không có dữ liệu kiểm định. Dòng chảy mặt có xu hướng gia tăng đột ngột trong mùa mưa, đặc biệt trong những tháng có tổng lượng mưa vượt ngưỡng trung bình nhiều năm (tháng 7/2001 ghi nhận 347,32 mm), cho thấy nguy cơ xảy ra lũ cục bộ. Về mặt không gian, dòng chảy mặt phân bố không đồng đều giữa các tiểu lưu vực, cao nhất tại tiểu lưu vực 16 (52,74 mm), thấp nhất tại tiểu lưu vực 11 (23,49 mm), phản ánh ảnh hưởng tổng hợp của độ dốc, loại đất và lớp phủ thực vật. Kết quả nghiên cứu bước đầu cung cấp luận cứ khoa học quan trọng cho công tác quy hoạch tài nguyên nước, quản lý sử dụng đất và phòng chống rủi ro thiên tai tại vùng trung du miền núi phía Bắc. Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế: (i) mô hình chưa được hiệu chỉnh – kiểm định do thiếu dữ liệu dòng chảy thực đo; (ii) hiện trạng sử dụng đất được giữ cố định (năm 2020) cho toàn chuỗi mô phỏng, chưa phản ánh được biến động sử dụng đất theo thời gian; (iii) chưa tích hợp các kịch bản biến đổi khí hậu, biến đổi sử dụng đất để đánh giá tác

động tương lai. Các điểm này sẽ được cải thiện trong các nghiên cứu tiếp theo nhằm nâng cao độ chính xác và tính ứng dụng của mô hình SWAT trong đánh giá thủy văn lưu vực.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ kinh phí bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo Việt Nam theo đề tài mang mã số: B2024-TNA-15. Chúng tôi xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/REFERENCES

- [1] H. T. Le, T. H. Nguyen, T. H. Phan, N. D. P. Dang, T. N. Nguyen, M. H. Le, D. L. Nguyen, H. A. Hoang, G. D. Pham, and K. L. Nguyen, "Application of the SWAT model for surface water and soil erosion zoning in Gia Lai province," *Journal of Meteorology and Hydrology*, vol. 732, pp. 13–27, 2021.
- [2] M. H. Le, B. H. Tran, D. K. Nguyen, and T. A. Tran, "Results of applying the SWAT model to estimate surface erosion in the lower Mekong river basin," *Journal of Water Resources Science and Technology*, vol. 12, pp. 25–32, 2012.
- [3] T. M. D. Le, H. A. Bui, and T. L. Bui, "Application of SWAT/NAM/MIKE modeling for establishing hydrological and hydraulic parameters for streamflow simulation – Case study in the Ve River, Quang Ngai," *Journal of Meteorology and Hydrology*, June 2019, doi: 10.36335/VNJHM.2019(702).1-12.
- [4] L. B. Nguyen and V. A. Nguyen, "Application of the SWAT model to assess the impact of agricultural practices on nutrient load in the Cong river basin, Thai Nguyen province," *Journal of Hydraulic and Environmental Engineering*, vol. 69, pp. 117–124, 2020.
- [5] T. H. Nguyen, D. L. Nguyen, T. B. Nguyen, D. B. H. Le, H. T. Le, and K. L. Nguyen, "Application of GIS and SWAT model to assess land use change impacts on streamflow in the Vu Gia river basin," *VNU Journal of Science: Natural Sciences and Technology*, vol. 30, no. 2S, pp. 80–91, 2014.
- [6] T. N. Q. Nguyen, D. L. Nguyen, and K. L. Nguyen, "Application of GIS and SWAT model to simulate streamflow in the Srepok river basin, Vietnam," *Proceedings of the National GIS Application Conference*, 2013, pp. 1–9.
- [7] T. P. Nguyen, P. T. Trinh, N. A. Tran, X. H. Nguyen, and V. C. Bui, "Application of the SWAT model to assess climate change impacts on flood discharge at Dong Trang station, Cai Nha Trang river basin, Khanh Hoa province," *Journal of Meteorology and Hydrology*, vol. 682, pp. 15–22, October 2017.
- [8] T. T. H. Nguyen, V. H. Nguyen, T. H. Nguyen, D. C. Vu, and M. H. Hoang, "Application of the SWAT model to assess variations in flow and sediment in the Nhat Le river basin, Quang Binh province," *Journal of Water Resources Science and Technology*, vol. 48, pp. 1–10, 2018.