TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Nghiên cứu mô phỏng dòng chảy lũ lưu vực sông Lô - Gâm bằng dữ liệu viễn thám và mô hình IFAS

Bùi Tuấn Hải[1]*, Bùi Thế Văn[1]

[1] Viện Quy hoạch Thủy lợi; buituanhai@gmail.com; buithevan97@gmail.com

*Tác giả liên hê: buituanhai@gmail.com; Tel.: +84–989336330

Ban biên tập nhận bài: 10/11/2024; Ngày phản biện xong: 3/1/2025; Ngày đăng bài: 25/6/2025

Tóm tắt: Lưu vực sông Lô - Gâm là lưu vực sông lớn nằm ở phía Bắc của Việt Nam, thường xảy ra ngập lụt khi gặp mưa lớn. Tuy nhiên, khu vực thượng nguồn sông Lô - Gâm nằm trên lãnh thổ Trung Quốc, chiếm hơn 40% diện tích toàn bộ lưu vực sông. Sự thiếu hụt (hoặc khan hiếm) số liệu quan trắc tại khu vực này đã gây ra những khó khăn đáng kể trong công tác dự báo mực nước cũng như lưu lượng lũ trên sông. Nhờ những tiến bộ vượt bậc trong công nghệ vệ tinh, việc kết hợp dữ liệu viễn thám và mô hình thủy văn ngày càng chứng tỏ hiệu quả trong quản lý, giám sát tài nguyên nước xuyên biên giới. Nghiên cứu được trình bày trong bài báo này tập trung vào việc mô phỏng diễn biến lưu lượng lũ xuyên biên giới cho lưu vực sông Lô - Gâm thông qua việc kết hợp giữa số liệu từ vệ tinh với mô hình thủy văn phân bố IFAS. Kết quả đạt được: (1) Mô phỏng và hiệu chỉnh mô hình IFAS cho trận lũ tháng 8/2017 đạt R^2 = 0,81 và NSE = 0,80; (2) Kiểm định lại với trận lũ tháng 6/2018 đạt R^2 = 0,93 và NSE = 0,91; (3) Nghiên cứu này cho thấy khả năng ứng dụng hiệu quả phương pháp trên cho mô phỏng lũ đối với các lưu vực sông thiếu hụt về số liệu quan trắc.

Từ khóa: Sông Lô - Gâm; Viễn thám; Mô hình IFAS.

1. Giới thiệu

Mặc dù công nghệ viễn thám, đặc biệt là các hệ thống radar và vệ tinh, đã có những bước phát triển vượt bậc và được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, bao gồm cả quản lý tài nguyên nước, dữ liệu thu thập từ vệ tinh vẫn tồn tại những hạn chế. Cụ thể, dữ liệu viễn thám, đặc biệt là dữ liệu mưa, địa hình và thảm thực vật được sử dụng cho các mô hình dự báo lũ, có thể chứa đựng sai số do nhiều nguyên nhân. Các sai số này có thể bắt nguồn từ chính thiết bị thu nhận hoặc do sự khác biệt về điều kiện khí hậu và đặc điểm bề mặt giữa các khu vực khác nhau trên thế giới [1, 2]. Thêm vào đó, độ chính xác của dữ liệu mưa vệ tinh còn phụ thuộc vào từng khu vực và loại dữ liệu được sử dụng [3, 4].

Mặc dù các nguồn dữ liệu mưa vệ tinh nguồn mở như CMORPH, CHIRPS, GPM, TRMM và GSMaP khá phổ biến, độ chính xác của chúng là một vấn đề cần được xem xét. Các dữ liệu này có độ phân giải không gian và thời gian khác nhau, và nhiều nghiên cứu đã chỉ ra sự khác biệt về độ chính xác giữa các loại, cũng như trong cùng một loại ở các khu vực khác nhau. Có thể kể đến các nghiên cứu [5–8] đã so sánh 29 loại dữ liệu để đánh giá khả năng mô tả lượng mưa toàn cầu. Đặc biệt, nghiên cứu [7] tại lưu vực Nông Sơn - Quảng Nam đã cho thấy sự chênh lệch đáng kể giữa dữ liệu mưa vệ tinh và số liệu đo tại trạm, dẫn đến sai khác lớn trong kết quả mô phỏng dòng chảy. Nghiên cứu này cũng kết luận rằng các sản phẩm dựa trên thông tin sóng siêu cao tần (MW) như TMPA cho kết quả mô phỏng dòng chảy và thời gian xuất hiện đỉnh lũ chính xác hơn so với các sản phẩm dựa trên sóng hồng ngoại (IR) như PERSIANN. Dựa trên các quan sát của 20 trạm khí tượng từ năm 2015 đến năm 2018 trên một vùng đô thị điển hình là Bắc Kinh, một đánh giá toàn diện về bốn loại

mưa vệ tinh phổ biến đã được tiến hành trong nghiên cứu [8]. Với độ phân giải thời gian một giờ, Kết quả cho thấy IMERG và GSMaP có hiệu suất tốt nhất, tiếp theo là CMORPH, trong khi PERSIANN hoạt động kém nhất. Nghiên cứu [9] đánh giá dữ liệu mưa GSMAP với dữ liệu tại những trạm mưa thực đo ở thành phố Banjarbaru, Indonesia. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng dữ liệu GSMAP có các giá trị tương quan đáng kể với các giá trị quan sát. Giá trị tương quan đủ cao cho thấy dữ liệu GSMAP có thể được sử dụng làm nguồn dữ liệu lượng mưa thay thế cho phân tích thủy văn, đặc biệt là đối với lưu vực không có trạm đo. Một nghiên cứu khác [10] đánh giá độ chính xác của sản phẩm mưa GSMAP so với thực đo tại lưu vực hồ Bà Dương, Trung Quốc, với kết quả hệ số tương quan hàng tháng là 0,85, cho thấy mối quan hệ tuyến tính đáng kể giữa ước tính sản phẩm và quan sát đo lượng mưa trong khi hệ số tương quan hàng ngày trung bình nhỏ hơn 0,50.

Dữ liệu vệ tinh quang học và radar dựa trên Mô hình độ cao kỹ thuật số toàn cầu (DEM) đóng vai trò là nguồn dữ liệu chính trong các nghiên cứu thủy văn hiện nay. Các sản phẩm viễn thám truy cập mở có độ chính xác ngày càng tăng và độ phân giải không gian được cải thiện. Nghiên cứu [11] so sánh các dữ liệu DEM khác nhau cho nghiên cứu thủy văn ở vùng núi, bao gồm AW3D30, ASTER GDEM V003 và SRTMGL1 DEM. So sánh các DEM này với độ phân giải không gian 30 m xác nhận rằng DEM AW3D30 có độ chính xác theo chiều cao cao hơn so với các mô hình khác và có thể được sử dụng để mô hình hóa lưu vực sông và hồ trên địa hình miền núi cao. Nghiên cứu [12] so sánh 5 loại DEM khác nhau, bao gồm SRTM, ASTER, Cartosat-1, AW3D30 và ALOS để lập bản đồ khả năng xói mòn. Kết quả chỉ ra rằng ALOS DEM (với độ phân giải 12,5 m) cho thể hiện độ chính xác cao nhất trong 5 loại DEM kể trên.

Tình trạng thiếu dữ liệu thực đo tại các lưu vực sông, đặc biệt là các sông xuyên biên giới, đang là một thách thức đối với nhiều nhà khoa học. Trong bối cảnh đó, công nghệ viễn thám nổi lên như một giải pháp hữu ích, cung cấp dữ liệu chi tiết và chính xác về biến động tự nhiên và xã hội theo không gian và thời gian. Một số nghiên cứu đã ứng dụng thành công công nghệ viễn thám kết hợp với mô hình toán trong mô phỏng dòng chảy lũ xuyên biên giới, ví dụ như tại lưu vực sông Cả [13] và sông Thao [14]. Việc tiếp tục nghiên cứu và ứng dụng công nghệ này trong dự báo khí tượng, thủy văn, dòng chảy và quản lý tài nguyên nước là rất cần thiết. Lưu vực sông Lô - Gâm nằm trên lãnh thổ hai nước Việt Nam và Trung Quốc, có tổng diện tích lưu vực 37.878 km^2, trong đó: diện tích trên Việt Nam là 22.629 km^2 chiếm gần 60% tổng diện tích lưu vực [15]. Trong lãnh thổ nước ta lưu vực sông Lô Gâm thuộc địa giới hành chính của 8 tỉnh: Hà Giang, Tuyên Quang, Cao Bằng, Bắc Kạn, Lào Cai, Yên Bái, Phú Thọ, Vĩnh Phúc; phần diện tích thuộc Trung Quốc là khu vực thượng nguồn chiếm trên 40% diện tích lưu vực.

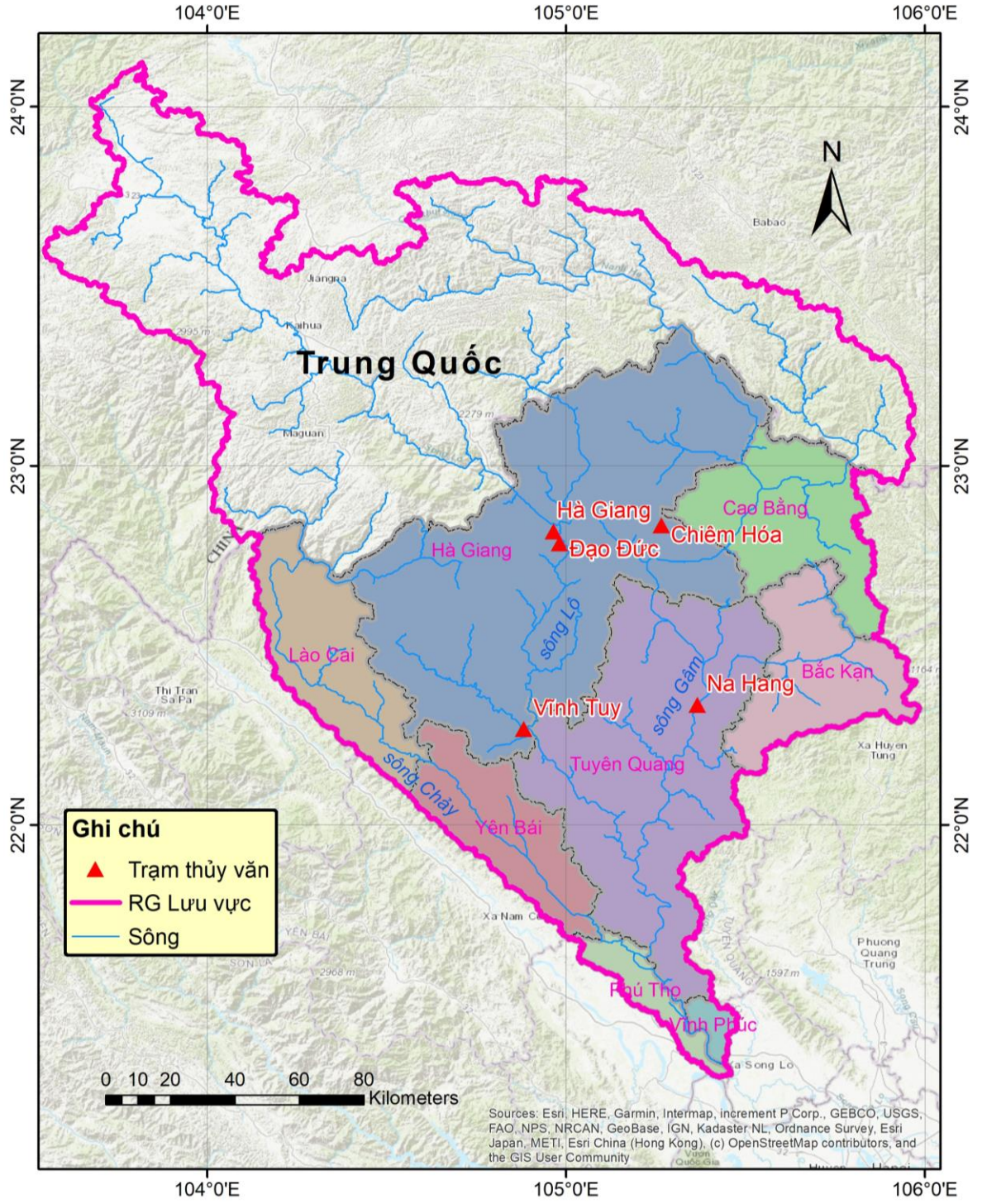
Kể từ năm 2001, Trung Quốc đã nhất trí chia sẻ dữ liệu quan trắc mực nước và lưu lượng của 4 trạm thủy văn trên hai nhánh sông Đà (Trung Ái Kiều, Thổ Khả Hà) và sông Thao (Nguyên Giang, Mạn Hảo) và số liệu 07 trạm đo mưa Synop trên 2 nhánh sông này. Tuy nhiên, trên các nhánh sông Lô - Gâm chưa được phía Trung Quốc cung cấp số liệu mực nước và lưu lượng, do đó đặt ra vấn đề phải có nghiên cứu về giám sát và dự báo dòng chảy lũ đối với phần thượng nguồn lưu vực sông này về Việt Nam phục vụ điều hành các hồ chứa trên lưu vực Lô - Gâm như các hồ Tuyên Quang, Thác Bà, Ba Bể, …[16]. Mục đích nghiên cứu nhằm giới thiệu những kết quả sơ bộ của nghiên cứu kết hợp dữ liệu viễn thám và mô hình toán IFAS để mô phỏng chế độ lũ xuyên biên giới Việt Nam - Trung Quốc tại khu vực thượng lưu sông Lô - Gâm.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phạm vi nghiên cứu

Lưu vực sông Lô - Gâm tương đối rộng lớn, trải dài trên cả phạm vi Việt Nam và Trung Quốc. Nếu với việc tiếp cận mô phỏng truyền thống, công việc khả thi là tính toán dòng chảy lũ với các nhánh sông lớn, có số liệu về mặt cắt ngang cũng như số liệu quan trắc tại khu vực

Việt Nam. Tuy nhiên, thông qua việc sử dụng các dữ liệu từ viễn thám và phần mềm xử lý dữ liệu GIS và viễn thám, nhóm nghiên cứu xác định phạm vi thực hiện là toàn bộ 37.878 km^2 lưu vực sông Lô - Gâm, bao gồm cả phần nằm ở phía Trung Quốc và phần nằm trên lãnh thổ VIệt Nam.



Hình 1. Bản đồ tổng thể lưu vực sông Lô - Gâm.

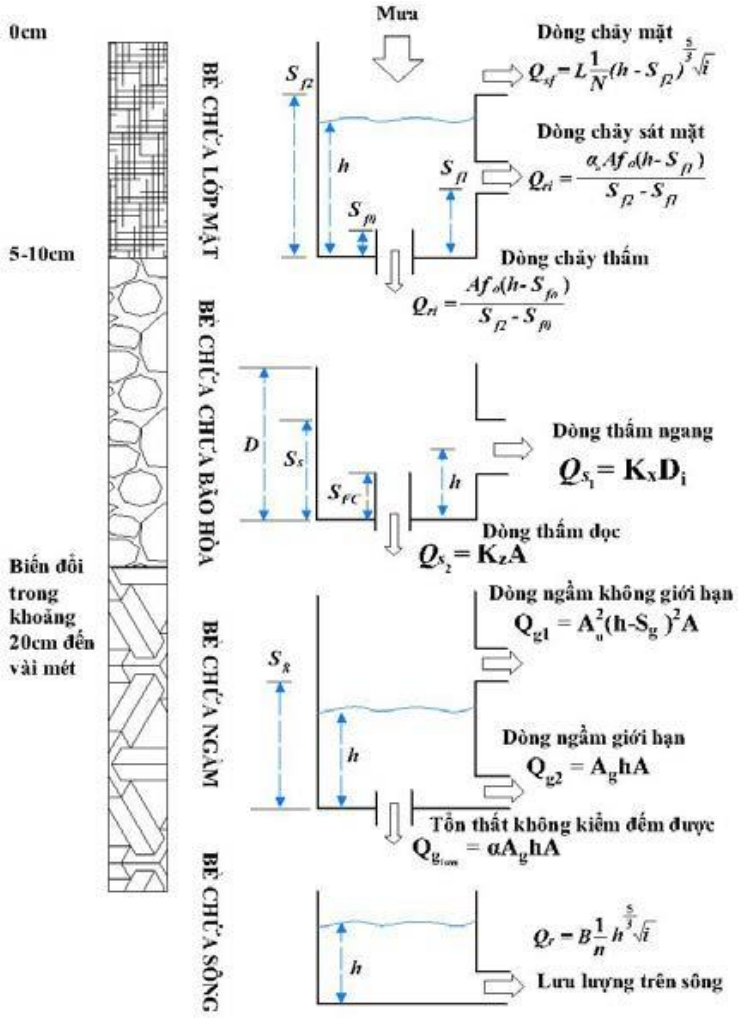
2.2. Mô hình IFAS

Mô hình IFAS là mô hình thủy văn phân bố gồm các mô hình bể chứa: (1) Surface Tank Model (Mô hình bể chứa nước mặt): bao gồm các yếu tố dòng thấm vào tầng chưa bão hào, dòng chảy bề mặt, khu trữ bề mặt, bốc thoát hơi nước,…; (2) Unsaturated Tank Model (Mô hình bể chứa tầng chưa bão hòa): Bao gồm các yếu tố dòng thấm xuống tầng ngầm, dòng

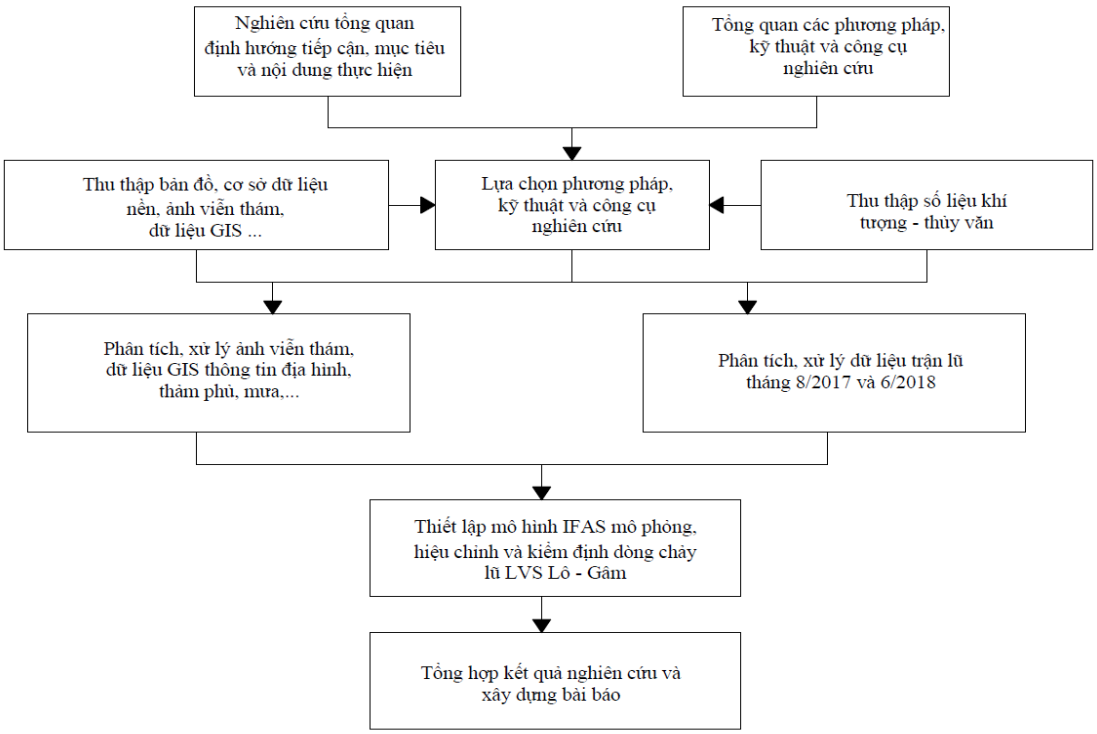
chảy dưới lớp mặt, khu trữ dưới lớp mặt,…; (3) Aquifer Tank Model (Mô hình bể chứa ngầm): bao gồm các yếu tố dòng chảy ra khỏi tầng nước ngầm, tổn thất dòng chảy ngầm; và (4) River Tank Model (Mô hình bể chứa sông suối): mô tả lưu lượng dòng chảy trong sông [17].

2.3. Dữ liệu nghiên cứu và phương pháp nghiên cứu

a) Dữ liệu mưa thu nhận từ vệ tinh có độ bao phủ toàn cầu với những đặc tính kỹ thuật khác nhau như độ phân giải về không gian (spatial resolution) và về thời gian (temporal resolution). Các dữ liệu mưa vệ tinh nghiên cứu và đánh giá về độ chính xác [19], kết quả nghiên cứu cho thấy các dữ liệu mưa từ vệ tinh được cung cấp liên tục, có độ chính xác không cao nhưng có thể sử dụng đối với khu vực thiếu số liệu mưa. Trong



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc 3 bể chứa của mô hình IFAS [18].



Hình 3. Sơ đồ nghiên cứu.

nghiên cứu này, dữ liệu mưa GSMAP đã được sử dụng.

b) Dữ liệu mô hình số độ cao (DEM) cũng được sử dụng trong nghiên cứu để phân lưu dòng chảy, phân chia lưu vực và tiểu lưu vực cho vùng nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu về DEM [20] đã chỉ ra dữ liệu DEM mô tả rất tốt về mặt địa hình cho vùng nghiên cứu với hệ số tương quan R^2 đều lớn hơn 0,98. Trong phạm vi nghiên cứu này, dữ liệu ALOS DEM đã được sử dụng.

c) Một số dữ liệu toàn cầu khác cũng được sử dụng trong cung cấp số liệu đầu vào như số liệu lớp phủ bề mặt toàn cầu (GLCC) của Cơ quan Địa chất Hoa Kỳ (USGS) và Bản đồ số dữ liệu đất toàn thế giới (DSMW) của Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên Hiệp Quốc (FAO).

d) Để đánh giá kết quả mô phỏng lũ từ mô hình IFAS số liệu thực đo trong hai trận lũ tháng 8/2017 và tháng 6/2018 tại trạm thủy văn Đạo Đức đã được sử dụng.

2.4. Đánh giá kết quả mô phỏng dòng chảy lũ

Để đánh giá kết quả giữa giá trị mô phỏng lũ từ IFAS và thực đo tại trạm thủy văn, nghiên cứu sử dụng hệ số NSE (*Nash-Sutcliffe*), hệ số xác định R^2, hệ số RMSE, PE và PBIAS:

Hệ số Nash-Sutcliffe (NSE) [23–25]:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs,i} - Q_{sim,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs,i} - \overline{Q}_{obs}\right)^2} \quad (\text{Giá trị NSE} \le 1) \tag{1}$$

Trong đó $Q_{sim,i}$, $Q_{obs,i}$ là giá trị mô phỏng và thực đo tại thời điểm i; $\overline{Q}_{obs}$ là giá trị trung bình thực đo.

Hệ số xác định R^2 [21, 22]:

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs,i} - \overline{Q}_{obs}\right)\left(Q_{sim,i} - \overline{Q}_{sim}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs,i} - \overline{Q}_{obs}\right)^2 \sum_{i=1}^{n}\left(Q_{sim,i} - \overline{Q}_{sim}\right)^2}} \right)^2 \quad (\text{Giá trị } 0 \le R^2 \le 1) \tag{2}$$

Trong đó $Q_{sim,i}$, $Q_{obs,i}$ là giá trị mô phỏng và thực đo tại thời điểm i; $\overline{Q}_{sim}$, $\overline{Q}_{obs}$ là giá trị trung bình mô phỏng và thực đo.

Sai số bình phương trung bình RMSE (*Root Mean Square Error*) [26]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs,i} - Q_{sim,i}\right)^2} \tag{3}$$

Phần trăm BIAS (PBIAS) [27]:

$$PBIAS = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs,i} - Q_{sim,i}\right) \times 100}{\sum_{i=1}^{n} Q_{obs,i}} \right) \tag{4}$$

Sai số đỉnh lũ PE (*Peak Error*):

$$PE = \left(\frac{Max_{obs} - Max_{sim}}{Max_{obs}} \right) \times 100 \tag{5}$$

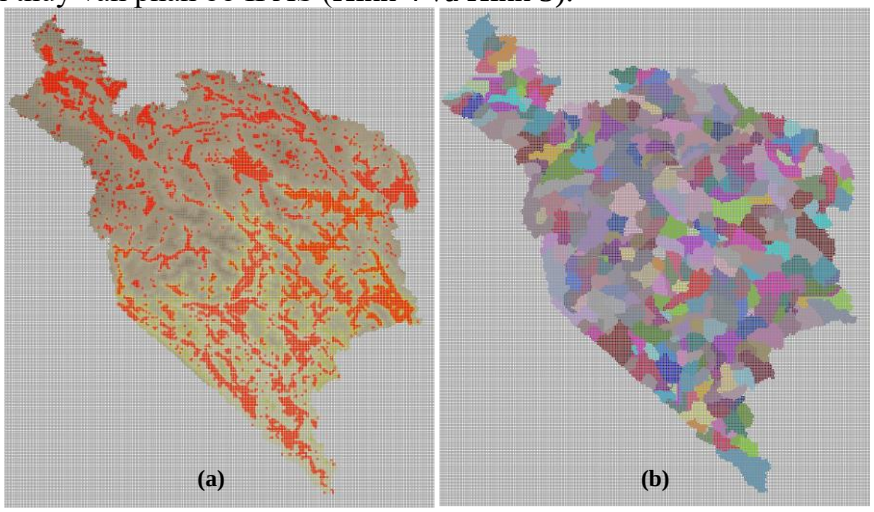
Trong đó $Max_{sim,i}$, $Max_{obs,i}$ là giá trị đỉnh lũ mô phỏng và thực đo.

2.5. Thiết lập mô hình phân bố IFAS

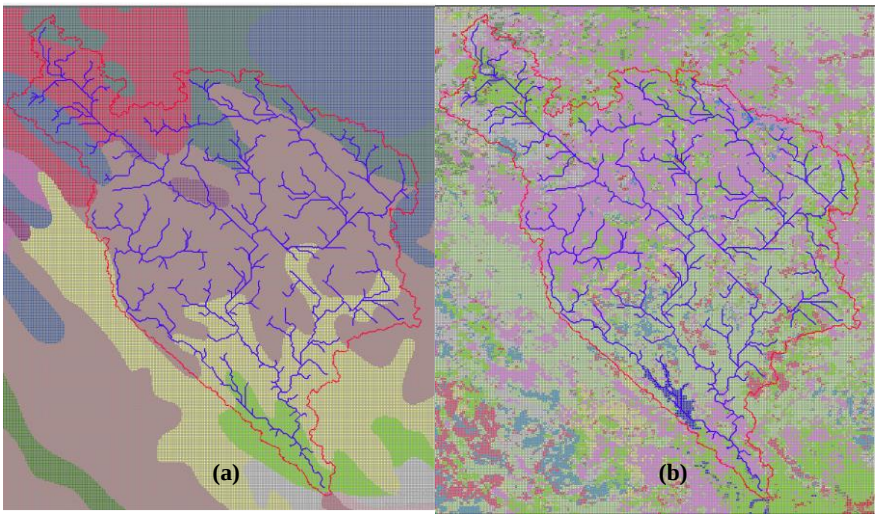
a) Thiết lập thông tin chung về lưu vực cho mô hình IFAS

Do không có các số liệu địa hình, địa chất phần diện tích lưu vực nằm ở phía Trung Quốc nên trong nghiên cứu này. Sử dụng dữ liệu DEM ALOS độ phân giải 30 m và công cụ GIS phân chia lưu vực, phân chia sông suối thông qua mô đun Basin Data Manager cho phần lưu

vực nằm ở phía Trung Quốc và lưu vực nằm ở Việt Nam; sử dụng số liệu toàn cầu GLCC để lấy thông tin về lớp phủ bề mặt và sử dụng dữ liệu DSMW để lấy thông tin dữ liệu đất đưa vào mô hình thủy văn phân bố IFAS (Hình 4 và Hình 5).



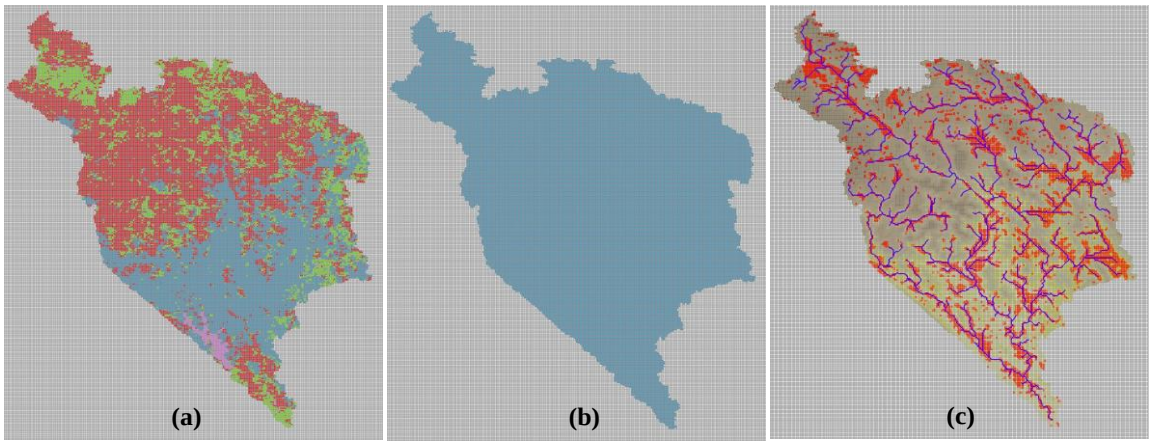
Hình 3. Kết quả phân chia (a) lưu vực và (b) tiểu lưu vực Lô - Gâm.



Hình 4. Số liệu (a) địa chất (soil) và (b) lớp phủ bề mặt (land use).

b) Thiết lập thông số mô hình

Đối với nghiên cứu này, mô hình bể chứa 2 lớp sẽ được lựa chọn do việc mô phỏng dòng chảy lũ có thời gian ngắn chỉ trong vài giờ hoặc vài ngày. Do đó, các thông số cần thiết lập trong mô hình bao gồm lớp sông suối, lớp dòng chảy tầng ngậm nước và dòng chảy mặt.



Hình 5. Thông số (a) dòng chảy mặt (surface), (b) tầng ngậm nước (aquifer) và (c) sông suối (river course).

c) Dữ liệu mưa được sử dụng cho mô hình

Qua kết quả nghiên cứu về dữ liệu mưa thì dữ liệu GSMAP là dữ liệu có độ phân giải không gian và thời gian tương đối tốt, đáp ứng yêu cầu của nghiên cứu, ngoài ra dữ liệu GSMAP_Gauge cũng là dữ liệu đã được hiệu chỉnh dựa trên phân tích từ các số liệu trạm mưa trên khắp thế giới được NOAA cung cấp.

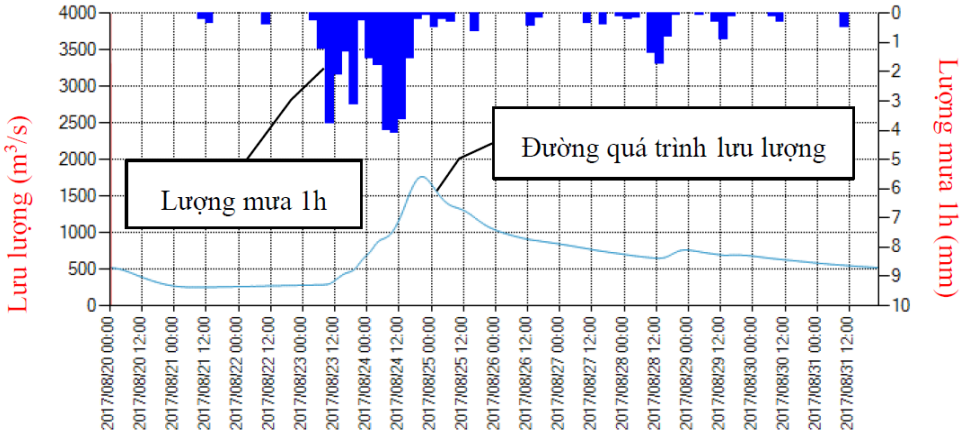
3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Nghiên cứu này sẽ sử dụng mô hình IFAS để mô phỏng trận lũ tháng 8/2017 với các thông số được hiệu chỉnh và kiểm định lại mô hình với trận lũ tháng 06/2018 tại trạm thủy văn Đạo Đức trên sông Lô.

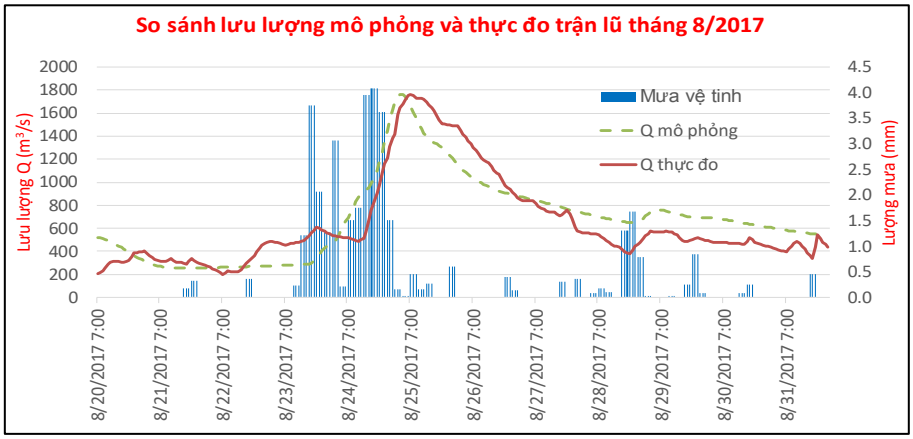
a) Kết quả hiệu chỉnh mô hình IFAS cho trận lũ tháng 8/2017

Để mô phỏng cho trận lũ tháng 8/2017 lưu vực Lô - Gâm, các bộ thông số của mô hình đã được hiệu chỉnh đảm bảo việc mô phỏng là chính xác nhất về thời gian xuất hiện đỉnh lũ và lưu lượng lũ lớn nhất. Trong các bộ thông số của mô hình, thông số lớp bề mặt (surface layer) và lớp ngậm nước (aquifer layer) được dùng để hiệu chỉnh mô hình; còn thông số lớp sông suối (river course) được thiết lập dựa trên thuộc tính của các sông và nhánh sông, do đó sẽ không được sử dụng để hiệu chỉnh nhằm tránh việc mất ổn định của mô hình, theo khuyến cáo hướng dẫn sử dụng của IFAS [17].

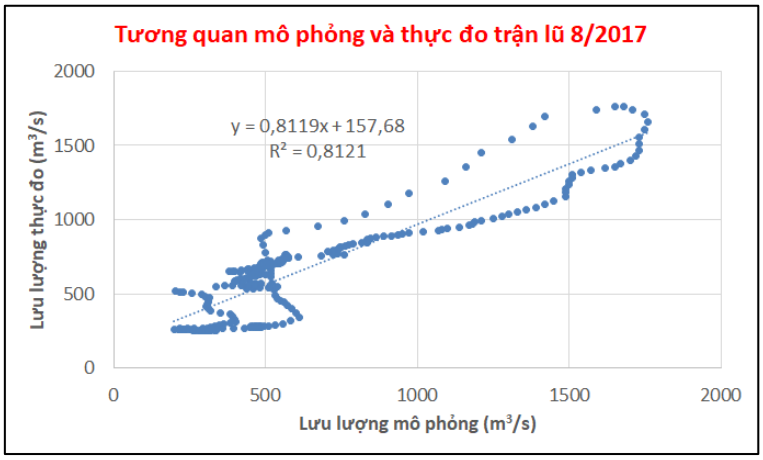
Hình 7 và Hình 8 giới thiệu kết quả sử dụng mô hình IFAS để mô phỏng trận lũ 8/2017 tại trạm thủy văn Đạo Đức sau khi đã hiệu chỉnh các bộ thông số lớp bề mặt (surface layer) và lớp ngậm nước (aquifer layer) và so sánh giữa giá trị thực đo với giá trị mô phỏng. Kết quả tính toán hệ số tương quan R^2 giữa lưu lượng lũ thực đo và mô phỏng đạt R^2 = 0,81 (Hình 9) còn hệ số Nash-Sutcliffe (NSE) giữa thực đo và mô phỏng cũng đạt NSE = 0,80; giá trị PE = -0,16; giá trị PBIAS = -5,62 và giá trị RMSE = 174,21. Như vậy kết quả mô phỏng dòng chảy lũ tháng 8/2017 là chấp nhận được.



Hình 6. Kết quả mô phỏng trận lũ 8/2017 với mô hình IFAS.



Hình 7. So sánh kết quả mô phỏng với thực đo trận lũ 8/2017.



Hình 8. Tương quan giữa mô phỏng và thực đo trận lũ 8/2017.

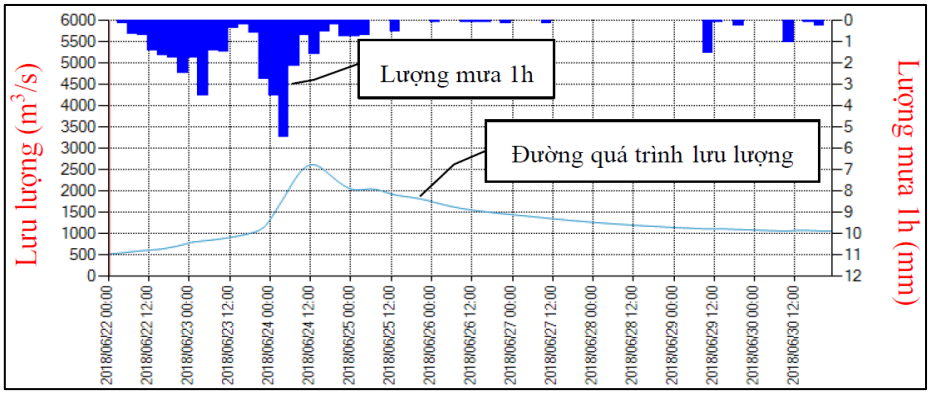
b) Kết quả kiểm định lại mô hình IFAS với trận lũ tháng 6/2018

Mặc dù kết quả mô phỏng với việc hiệu chỉnh các bộ thông số cho dòng chảy lũ sông Lô tại trạm thủy văn Đạo Đức với trận lũ tháng 8/2017 là khá tốt, tuy nhiên vẫn cần kiểm định lại mô hình để đảm bảo kết quả mô phỏng của mô hình với bộ thông số là chính xác. Trong nội dung nghiên cứu này, trận lũ tháng 6/2018 đã được xem xét để đánh giá kiểm định lại mô hình IFAS.

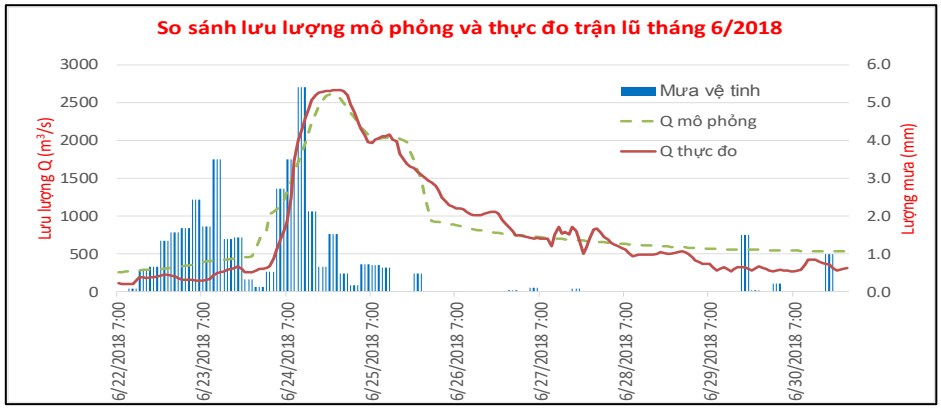
Kết quả kiểm định lại mô hình cho trận lũ tháng 6/2018 tại trạm thủy văn Đạo Đức được thể hiện trên Hình 10 và Hình 11. Kết quả tính toán hệ số tương quan R^2 giữa lưu lượng lũ thực đo và mô phỏng là R^2 = 0,93 (Hình 12), còn hệ số NASH giữa mô phỏng và thực đo là NSE = 0,91; hệ số PE = 2,0; hệ số PBIAS = -11,66; hệ số RMSE = 209,70.

c) Nhận xét chung về kết quả nghiên cứu

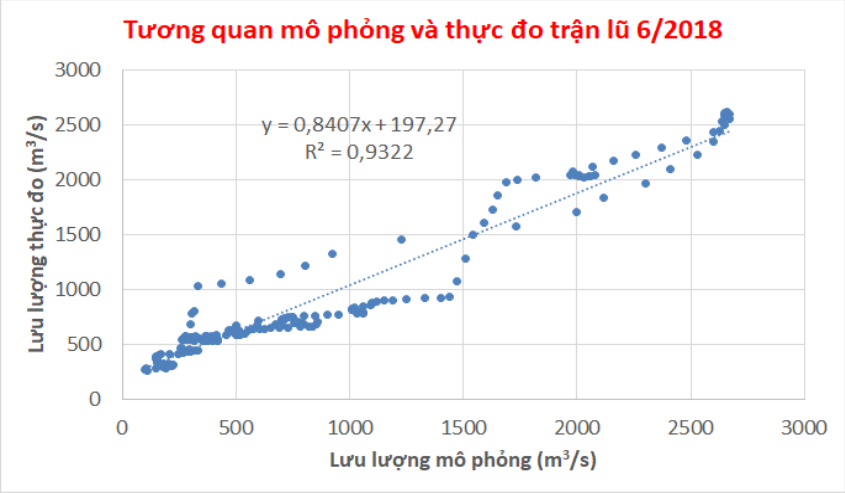
Các kết quả mô phỏng lũ trên lưu vực sông Lô - Gâm, sử dụng mô hình IFAS với dữ liệu viễn thám làm đầu vào, cho thấy sự phù hợp cao với các trận lũ thực tế.



Hình 9. Kết quả mô phỏng trận lũ 6/2018 bằng mô hình IFAS.



Hình 10. So sánh kết quả mô phỏng và thực đo trận lũ 6/2018.



Hình 11. Tương quan giữa mô phỏng và thực đo trận lũ 6/2018.

4. Kết luận

Việc kết hợp dữ liệu viễn thám làm đầu vào cho mô hình IFAS đã được thực hiện trong nghiên cứu này để mô phỏng chế độ dòng chảy trong các trận lũ cho lưu vực sông Lô – Gâm, nghiên cứu điển hình cho các trận lũ trên sông Lô tại trạm thủy văn Đạo Đức. Mô hình IFAS thể hiện khả năng vượt trội trong việc xử lý khối lượng lớn dữ liệu viễn thám, bao gồm nhiều loại dữ liệu khác nhau, đặc biệt là dữ liệu mưa vệ tinh. Bên cạnh đó, thời gian tính toán mô phỏng của mô hình rất nhanh. Nghiên cứu đã sử dụng dữ liệu mưa vệ tinh GSMAP và dữ liệu độ cao DEM ALOS. Kết quả tính toán các hệ số R^2, NSE, PBIAS, RMSE và PE giữa thực đo và tính toán mô phỏng dòng chảy lũ qua 2 trận lũ vào năm 2017 và 2018 cho thấy mô phỏng dòng chảy lũ từ mô hình IFAS tương đối chính xác, và có thể áp dụng trong các bài toán mô phỏng lũ sử dụng dữ liệu từ vệ tinh viễn thám. Kết quả của nghiên cứu cho thấy việc sử dụng dữ liệu viễn thám đã hỗ trợ tốt cho việc mô phỏng dòng chảy lũ cho khu vực còn thiếu số liệu từ phía Trung Quốc, hỗ trợ công tác điều hành các hồ chứa trên lưu vực như hồ Tuyên Quang, Thác Bà, Ba Bể,... giảm thiểu tác động cho hạ du lưu vực sông Lô - Gâm. Tuy nhiên, hạn chế của độ chính xác từ dữ liệu viễn thám, đặc biệt là dữ liệu mưa có thể khiến kết quả mô phỏng lũ từ mô hình đôi khi không chính xác, cũng như khả năng hiệu chỉnh các dữ liệu mưa vệ tinh từ các nguồn dữ liệu mưa thực đo.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: B.T.H., B.T.V.; Xử lý số liệu: B.T.H.; Viết bản thảo bài báo: B.T.V.; Chỉnh sửa bài báo: B.T.V.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, kết quả nghiên cứu chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây.

Tài liệu tham khảo

1. Guo, H. et al. Inter-comparison of high-resolution satellite precipitation products over Central Asia. *Remote Sens.* **2015**, *7(6)*, 7181–7211. doi: 10.3390/rs70607181.
2. Gebremichael, M.; Bitew, M.M.; Hirpa, F.A.; Tesfay, G.N. Accuracy of satellite rainfall estimates in the Blue Nile Basin: Lowland plain versus highland mountain. *Water Resour. Res.* **2014**, *50*, 8755–8790. doi: doi:10.1002/2013WR014500.
3. Kiên, N.T.; An, N.L.; Thành, L.Đ. Đánh giá chất lượng mưa vệ tinh GSMaP mô phỏng mưa lớn - ứng dụng cho lưu vực Sông Mã. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thuỷ lợi và Môi trường* **2019**, *64*, 76–83.
4. Nguyễn, V.L.; Nguyễn, V.D.; Trịnh, H.D.; Trần, T.T. Using satellite prepitation data to assess meteorological drought based on spi index for Thanh Hoa province. *VN J. Hydro-Meteorol.* **2018**, *6*, 1–9.

5. Sun, Q.; Miao, C.; Duan, Q.; Ashouri, H.; Sorooshian, S.; Hsu, K.L. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Rev. Geophys.* **2018**, *56(1)*, 79–107. doi: 10.1002/2017RG000574.
6. Gao, Z.; Long, D.; Tang, G.; Zeng, C.; Huang, J.; Hong, Y. Assessing the potential of satellite-based precipitation estimates for flood frequency analysis in ungauged or poorly gauged tributaries of China's Yangtze River basin. *J. Hydrol.* **2017**, *550*, 478–496. doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.05.025.
7. Hưng, P.T.; Bình, N.Q.; Phước, V.N.Đ. Đánh Giá Khả Năng Sử Dụng Các Sản Phẩm Mưa Vệ Tinh Để Mô Phỏng Dòng Chảy Bằng Mô Hình Thủy Văn. *Tạp chí Khoa Học Kỹ Thuật Thủy Lợi và Môi Trường* **2021**, *74*, 103–111.
8. Gu, Y.; Peng, D.; Luo, Q.; Gong, Y.; Fan, Z.; Pang, B.; Zhu, Z. Comprehensive evaluation of satellite-based precipitation products at hourly scale in Beijing. *Urban Clim.* **2024**, *57*, 102109.
9. Helda, N. et al. Evaluation of GSMap (Global Satellite Mapping of Precipitation) with the reference to rain gauge observations in Banjarbaru City, Indonesia. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2024**, *1343*, 012005.
10. Fu, Q.; Ruan, R.; Liu, Y. Accuracy assessment of global satellite mapping of precipitation (GSMaP) product over Poyang Lake Basin, China. *Procedia Environ. Sci.* **2011**, *10*, 2265–2271. doi: 10.1016/j.proenv.2011.09.354.
11. Chymyrov, A. Comparison of different DEMs for hydrological studies in the mountainous areas. *Egypt. J. Remote Sens. Sp. Sci.* **2021**, *24(3)*, 587–594. doi: 10.1016/j.ejrs.2021.08.001.
12. Chowdhuri, I.; Pal, S.C.; Saha, A.; Chakrabortty, R.; Roy, P. Evaluation of different DEMs for gully erosion susceptibility mapping using in-situ field measurement and validation. *Ecol. Inform.* **2021**, *65*, 101425. doi: 10.1016/j.ecoinf.2021.101425.
13. Hải, B.T.; Vinh, L.Q. Nghiên cứu ứng dụng kết hợp dữ liệu viễn thám và mô hình toán IFAS trong mô phỏng dòng chảy lũ lưu vực sông Nậm Nơn thuộc hệ thống sông Cả. *Tạp chí Nông nghiệp Phát triển nông thôn* **2019**, *369*, 96–101.
14. Hải, B.T. Nghiên cứu ứng dụng mô hình IFAS và dữ liệu viễn thám trong mô phỏng dòng chảy lũ xuyên biên giới lưu vực sông Thao. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, *713*, 24–36. doi: 10.36335/vnjhm.2020(713).24-36.
15. Viện Quy hoạch Thủy lợi. Báo cáo tổng hợp dự án Rà soát Quy hoạch thủy lợi lưu vực sông Lô - Gâm. Hà Nội, 2014.
16. Khối, H.V.; Huệ, V.T.M. Phân tích ảnh hưởng của các hồ chứa thượng nguồn trên địa phận Trung Quốc đến dòng chảy hạ lưu sông Đà, sông Thao. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2012**, *38*, 3–8.
17. ICHARM. IFAS ver.2.0 technical manual.
18. Hải, B.T. Nghiên cứu sử dụng dữ liệu viễn thám trong mô phỏng dòng chảy mặt phục vụ quy hoạch thủy lợi và phòng chống thiên tai - Áp dụng cho lưu vực sông Cả. Luận án tiến sĩ, Đại học Thủy Lợi, 2020.
19. Hải, B.T.; Tuấn, N.V. Nghiên Cứu Đánh Giá Vá So Sánh Các Dữ Liệu Mưa Vệ Tinh Độ Phân Giải Cao Lưu Vực Sông Cả. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *695*, 17–27.
20. Hải, B.T.; Công, V.T. So sánh, đánh giá các dữ liệu mô hình số độ cao (DEM) trên sông Cả. Tuyển tập Hội nghị Khoa học Địa lý toàn quốc lần thứ XI, 2019.
21. Krause, P.; Boyle, D.P.; Bäse, F. Comparison of different efciency criteria for hydrological model assessment. *Adv. Geosci.* **2005**, *5*, 89–97.
22. Nejadhashemi, A.P.; Wardynski, B.J.; Munoz, J.D. Evaluating the impacts of land use changes on hydrologic responses in the agricultural regions of Michigan and Wisconsin. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Disc.* **2011**, *8*, 3421–3468.

23. Andersen, J.; Refsgaard, J.C.; Jensen, K.H. Distributed hydrological modelling of the Senegal River basin model construction and validation. *J. Hydrol.* **2001**, *247*, 200–214.
24. McCuen, R.H.; Knight, Z.; Cutter, A.G. Evaluation of the Nash-Sutcliffe efciency Index. *J. Hydrol. Eng.* **2006**, *11*, 597–602.
25. Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V. River flow forecasting through conceptual models part I-a discussion of principles. *J. Hydrol.* **1970**, *10*, 282–290.
26. Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Liew, M.W.; Bingner, R.L.; Harmel, R.D.; Veith, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantifcation of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE* **2007**, *50*, 885–900.
27. Gupta, H.V.; Sorooshian, S.; Yapo, P.O. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *J. Hydrol. Eng.* **1999**, *4*, 135–143.

Study on simulating cross-border flood flows in the Lo - Gam river basin using remote sensing data and the IFAS model

Bui Tuan Hai[1]*, Bui The Van[1]

[1] Institute of Water Resources Planning; buituanhai@gmail.com; vanbt53@wru.vn

Abstract: The Lo-Gam River basin, a major river basin in Northern Vietnam, is prone to flooding during heavy rainfall. However, over 40% of its upstream area lies within Chinese territory, resulting in a scarcity of observational data and posing significant challenges for flood forecasting. Leveraging advancements in satellite technology, the integration of remote sensing data and hydrological models has proven effective for transboundary water resource management. This study focuses on simulating transboundary flood discharge in the Lo-Gam River basin using a combination of satellite data and the IFAS distributed hydrological model. The results show good agreement between simulated and observed data: (1) Calibration for the August 2017 flood achieved R^2 = 0.81 and NSE = 0.80; (2) Validation with the June 2018 flood yielded R^2 = 0.93 and NSE = 0.91; (3) This study demonstrates the effective applicability of this approach for flood simulation in data-scarce river basins.

Keywords: Lo - Gam basin; Remote sensing; IFAS.