TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Nghiên cứu đánh giá và lựa chọn sản phẩm mưa vệ tinh độ phân giải cao mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông Mã

Nguyễn Thị Lan Anh[1], Lê Mạnh An[2], Trần Anh Phương[1]*

[1] Viện khoa học Tài nguyên nước, Bộ Tài nguyên và Môi trường; phuongtran.monre@gmail.com; anhlannguyentv@gmail.com

[2] Trung tâm Công nghệ Khí tượng thủy văn, Tổng Cục Khí tượng thủy văn, Bộ Tài nguyên và Môi trường; lemanhan82@gmail.com

*Tác giả liên hệ: phuongtran.monre@gmail.com; Tel.: +84–961776683

Ban Biên tập nhận bài: 5/7/2024; Ngày phản biện xong: 26/8/2024; Ngày đăng bài: 25/1/2025

Tóm tắt: Dữ liệu mưa vệ tinh đang ngày càng được sử dụng rộng rãi ở những vùng thiếu số liệu quan trắc. Nghiên cứu này đã so sánh hiệu quả của 4 nguồn mưa vệ tinh CHIRPS, GPM, CMORPH và ERA5_Ag để lựa chọn nguồn mưa phù hợp cho lưu vực sông Mã. Các nguồn mưa vệ tinh đã được đánh giá so sánh với dữ liệu mưa trạm và đánh giá tiềm năng làm đầu vào cho mô hình SWAT để mô phỏng quá trình mưa - dòng chảy trên lưu vực sông Mã. Kết quả cho thấy ở thời đoạn ngày mức độ phù hợp giữa mưa trạm và mưa vệ tinh tương đối kém. Tuy nhiên, ở thời đoạn tháng sự phù hợp giữa hai nguồn mưa tăng lên đáng kể. GPM là nguồn mưa phù hợp nhất cho lưu vực nghiên cứu. Cụ thể, ở thời đoạn tháng tháng các chỉ số đánh giá kết quả mô phỏng dòng chảy sử dụng mưa GPM là R^2 = 0,81, NSE = 0,74 và PBIAS = 22,05%. Ở thời đoạn ngày, độ chính xác của mô phỏng dòng chảy giảm đi (R^2 = 0,60, NSE = 0,55 và PBIAS = 20,82%) nhưng GPM vẫn cho kết quả khả quan hơn hẳn các nguồn mưa còn lại. Kết quả của nghiên cứu này sẽ là tiền đề quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo sử dụng dữ liệu mưa vệ tinh phục vụ công tác dự báo và quản lý tài nguyên nước.

Từ khóa: Mưa vệ tinh; GPM; Sông Mã; SWAT; Thiếu số liệu; Mưa-dòng chảy.

1. Mở đầu

Mưa được coi là yếu tố khí tượng quan trọng nhất ảnh hưởng đến độ chính xác của các mô hình thủy văn do biến động không gian và thời gian của nó ảnh hưởng đáng kể đến các quá trình thủy văn trên lưu vực [1–3]. Tuy nhiên, nhiều lưu vực trên thế giới đặc biệt là các lưu vực ở vùng miền núi, số liệu mưa từ các trạm đo mặt đất hay các trạm radar thời tiết thường phân bố thưa thớt vì chi phí xây dựng và quản lý cao [4, 5]. Do đó, việc mô phỏng, dự báo quá trình thủy văn trên các lưu vực này thường gặp rất nhiều khó khăn do thiếu số liệu đo để hiểu chỉnh và kiểm định mô hình. Trong bối cảnh đó, các sản phẩm lượng mưa vệ tinh mở đã phát triển rất mạnh mẽ trong thời gian qua với độ che phủ toàn cầu và độ phân giải tương đối cao theo không gian và thời gian đã tạo điều kiện thuận lợi cho việc dự báo dòng chảy ở những lưu vực sông thiếu thiếu số liệu mưa [6]. Mặc dù đã đạt được các tiến bộ nhảy vọt về các công nghệ quan trắc từ xa như radar, vệ tinh nhưng các nguồn dữ liệu thu thập từ vệ tinh vẫn còn tiềm ẩn nhiều sai số do thiết bị thu nhận hay do sự khác biệt điều kiện khí hậu, mặt đệm giữa các vùng khác nhau trên thế giới [7, 8], và độ chính xác của nó cũng không đồng nhất giữa các khu vực cũng như loại số liệu mưa vệ tinh lựa chọn [9–11]. Do đó, việc sử dụng các dữ liệu mưa vệ tinh này cần được lựa chọn và đánh giá một cách cẩn trọng.

Hiện nay, các dữ liệu mưa vệ tinh nguồn mở tương đối phong phú và phổ biến như CMORPH (*Climate Prediction Center MORPHing Technique*), CHIRPS (*Climate Hazards*

Group InfraRed Precipitation with Station data), GPM (*Global Precipitation Measurement*), TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mision*). Những dữ liệu lượng mưa này cũng có độ phân giải về không gian và thời gian khác nhau. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra sự khác biệt về độ chính xác giữa các loại mưa vệ tinh, cũng như trong cùng một loại mưa vệ tinh ở các khu vực khác nhau. Chẳng hạn, các nghiên cứu [12–15] đã đánh giá và so sánh ưu điểm và nhược điểm của 29 loại mưa vệ tinh tinh với các độ phân giải không gian và thời gian khác nhau liên quan đến khả năng mô tả lượng mưa toàn cầu của chúng. Nghiên cứu [16] đã đánh giá ba sản phẩm lượng mưa ở Ethiopoa và thấy rằng CHIRPS tốt nhất trong số đó. Nghiên cứu [17] đã sử dụng số liệu mưa PERSIAN-CDR và CHIRPS để mô phỏng thủy văn ở lưu vực sông Beijiang ở Trung Quốc. Kết quả cho thấy rằng CHIRPS tốt hơn đáng kể so với PERSIANN-CDR. Tại Việt Nam, các nghiên cứu đánh giá chất lượng và ứng dụng mưa vệ tinh cũng đã được thực hiện trên các quy mô khác nhau. Nghiên cứu [18] đã phân tích và so sánh giữa các dữ liệu GPM, TRMM, CHIRPS, CMORPH với dữ liệu mưa tại 12 trạm đo mưa trên lưu vực sông Cả. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra khả năng nhận diện mưa ngày ở các dữ liệu mưa vệ tinh là khá tốt, tuy nhiên tương quan lượng mưa ngày với mưa trạm lại không cao. Tương quan lượng mưa tháng cho kết quả tốt hơn và dữ liệu CHIRPS cho kết quả ổn định nhất. Nghiên cứu [19] đánh giá khả năng sử dụng các sản phẩm mưa vệ tinh MSWEP, TMPA 3B42, TMPA 3B42RT, PERSIANN CDR, PERSIANN RT thông qua việc so sánh với giá trị mưa đo tại 6 trạm mưa trên lưu vực Nông Sơn - Quảng Nam. Kết quả cho thấy sai số của các sản phẩm mưa vệ tinh so với mưa trạm đo là khá lớn, gây ra khác biệt lớn trong kết quả mô phỏng dòng chảy. Các sản phẩm mưa vệ tinh dựa vào thông tin sóng siêu cao tần (MW) như TMPA cho kết quả mô phỏng dòng chảy và thời gian xuất hiện đỉnh lũ tốt hơn các sản phẩm mưa vệ tinh dựa vào thông tin sóng hồng ngoại (IR) như PERSIANN.

Lưu vực sông Mã là một trong những lưu vực sông lớn nhất của nước ta, đóng vai trò quan trọng đối với khai thác, sử dụng nước trên lưu vực. Tuy nhiên, là một lưu vực sông liên quốc gia với 38% diện tích nằm trên lãnh thổ Lào, phần lớn lưu vực nằm ở miền núi, mật độ các trạm khí tượng thủy văn trên lưu vực rất thưa thớt. Do thiếu dữ liệu mưa, việc tính toán tài nguyên nước trên lưu vực còn thiếu chính xác ảnh hưởng lớn đến công tác dự báo và quản lý tài nguyên nước trên lưu vực. Trong thời gian gần đây, một số nghiên cứu sử dụng dữ liệu mưa radar [20] hoặc mưa vệ tinh [9] trên lưu vực để bổ sung dữ liệu mưa trạm. Các nghiên cứu đã chỉ ra hiệu quả của việc sử dụng dữ liệu mưa radar và vệ tinh trong cải thiện chất lượng mô phỏng dòng chảy trên sông Mã. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chỉ dựa vào 1 nguồn mưa duy nhất để mô phỏng dòng chảy trên lưu vực. Trong khi đó, hiện nay có nhiều nguồn mưa vệ tinh khác cũng cung cấp dữ liệu mưa với độ chính xác tương đối cao. Nghiên cứu [18, 19] đã so sánh một số nguồn mưa khác nhau cho một số lưu vực sông ở Việt Nam. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chỉ đánh giá hiệu suất của mưa vệ tinh thông qua so sánh với các trạm đo mưa [18] hoặc qua mô hình mô phỏng dòng chảy [19]. Việc đánh giá chất lượng của mưa vệ tinh đồng thời với mưa trạm và mô phỏng dòng chảy ở các thời đoạn ngày và tháng chưa được thực hiện. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm lựa chọn được dữ liệu mưa vệ tinh phù hợp cho lưu vực sông Mã từ các sản phẩm mưa vệ tinh CHIRPS, GPM, CMORPH và ERA5_Ag sử dụng hai đánh giá chính: (1) So sánh giá trị lượng mưa của các sản phẩm mưa vệ tinh với dữ liệu mưa trạm theo thời đoạn ngày và tháng; (2) Đánh giá hiệu quả của mưa vệ tinh trong mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông Mã sử dụng mô hình SWAT.

2. Phương pháp và số liệu nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Sông Mã là lưu vực sông lớn thứ 5 nước ta nằm ở sườn Đông của dãy Trường Sơn thuộc cực Bắc của Trung Bộ, Trung Lào và Tây bắc Bắc Bộ với tổng diện tích toàn lưu vực là 28,400 km^2 trong đó diện tích thuộc lãnh thổ Việt Nam là 17,720 km^2, chiếm 62% tổng diện tích diện tích toàn lưu vực. Lưu vực sông thuộc địa phận 5 tỉnh Điện Biên, Sơn La, Hòa Bình,

Nghệ An, Thanh Hóa trong đó Thanh Hóa chiếm phần lớn diện tích lưu vực (Hình 1). Lưu vực sông Mã có lượng dòng chảy khá dồi dào nhưng phân bố không đều trong năm. Trong 4 tháng mùa lũ tổng lượng dòng chảy chiếm tới 74% tổng lượng dòng chảy năm. Trong khi đó, vào mùa khô, tổng lượng dòng chảy chỉ có 4,76 tỷ m^3, tương đương với 26% dòng chảy năm. Do sự phân phối dòng chảy không đồng đều trong năm, lũ lụt thường xuyên xảy ra vào mùa lũ và tình trạng hạn hán thiếu nước xuất hiện vào mùa khô, ảnh hưởng lớn đến các ngành dùng nước trên lưu vực.

Hình 1. Bản đồ lưu vực sông Mã.

2.2. Dữ liệu

2.2.1. Dữ liệu mưa thực đo

Trong nghiên cứu này, dữ liệu mưa ngày tại 8 trạm khí tượng gồm: Hồi Xuân, Bái Thượng, Cẩm Thủy, Cửa Đạt, Giàng, Lang Chánh, Lý Nhân, Xuân Khánh giai đoạn 1992-2012 được sử dụng để đánh giá, so sánh với số liệu mưa thực đo (Hình 1). Số liệu thực đo thời đoạn ngày được sử dụng để làm cơ sở để đánh giá độ chính xác của các dữ liệu mưa vệ tinh.

2.3.2. Dữ liệu mưa vệ tinh

Nghiên cứu này sử dụng 4 bộ dữ liệu mưa vệ tinh phổ biến với độ phân giải cao để đánh giá, so sánh. Dữ liệu được thu thập từ nguồn mở Climate Engine (https://app.climateengine.org/climateEngine) trong thời đoạn mưa ngày từ năm 2001 đến 2012. Các dữ liệu mưa vệ tinh gồm:

a) Dữ liệu mưa CHIRPS:

CHIRPS là một sản phẩm dữ liệu lượng mưa toàn cầu có từ năm 1981 đến nay. Dữ liệu này kết hợp thông tin từ nhiều vệ tinh quan sát lượng mưa và dữ liệu lượng mưa mặt đất để tạo ra bản đồ lượng mưa toàn cầu với độ phân giải không gian 0,05°.

b) Dữ liệu mưa GPM:

GPM sử dụng công nghệ tiên tiến để xác định lượng mưa toàn cầu từ tổ hợp các vệ tinh khác nhau. Độ phân giải của GPM từ 10 km, cung cấp số liệu mưa từ năm 2000 đến nay.

c) Dữ liệu mưa CMORPH:

CMORPH là một sản phẩm dữ liệu lượng mưa toàn cầu được tạo ra bởi Trung tâm Dự báo Khí hậu (CPC) thuộc NOAA (Cơ quan Quản lý Đại dương và Khí quyển Quốc gia Hoa Kỳ). Dữ liệu này kết hợp thông tin từ nhiều vệ tinh quan sát lượng mưa để tạo ra bản đồ lượng mưa toàn cầu với độ phân giải không gian từ 0,25° đến 1°, cho phép theo dõi lượng mưa gần thời gian thực. Dữ liệu có sẵn từ năm 1998 đến nay.

d) Dữ liệu mưa ERA5_Ag:

Dữ liệu mưa ERA5_Ag là một sản phẩm dữ liệu tái phân tích toàn cầu về lượng mưa hàng ngày, được tạo bởi Trung tâm Dự báo Khí hậu Toàn cầu (ECMWF) dựa trên dữ liệu vệ tinh và các mô hình khí hậu. Dữ liệu có độ phân giải 0,25° có từ năm 1979 đến nay.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp phân tích thống kê

Để đánh giá độ tin cậy, so sánh các sản phẩm mưa vệ tinh, nghiên cứu so sánh các dữ liệu mưa toàn cầu với dữ liệu mưa trạm theo thời đoạn ngày và tháng sử dụng các chỉ số thống kê sau: Hệ số tương quan (CC) đại diện cho mức độ tương quan giữa dữ liệu lượng mưa trạm và mưa vệ tinh; trung bình bình phương quân phương (RMSE) tím toán mức độ sai khác trung bình của hai dữ liệu; độ lệch tương đối (BIAS) và sai số trung bình (ME) đánh giá mức độ thiên lệch của dữ liệu mưa thực đo và dữ liệu mưa vệ tinh; xác suất phát hiện (POD) là tỷ lệ phản ánh số lần lượng mưa vệ tinh và mưa trạm đều phát hiện mưa so với tổng số lần mưa; tỷ lệ cảnh báo sai (FAR) biểu thị tần suất lượng mưa được phát hiện bằng lượng mưa vệ tinh nhưng không được phát hiện bằng lượng mưa thực đo [20, 21]. Bảng 1 trình bày biểu thức xác định các chỉ số này như sau:

Bảng 1. Các chỉ số thống kê sử dụng để đánh giá sản phẩm mưa vệ tinh.

Chỉ số thống kê	Đơn vị	Phương trình	Điểm hoàn hảo
Hệ số tương quan (CC)	-	$CC=\frac{\sum_{i}^{n}(Gi-\overline{G})(Si-\overline{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Gi-\overline{G})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Si-\overline{S})^2}}$	1
Lỗi bình phương trung bình gốc (RMSE)	mm	$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Si-Gi)^2}$	0
Sai số trung bình (ME)	mm	$ME=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Si-Gi)$	0
Độ lệch tương đối (BIAS)	%	$BIAS=\frac{\sum_{i=1}^{n}(Si-Gi)}{\sum_{i=1}^{n}Gi}$	0
Xác suất phát hiện (POD)	%	$POD=\frac{H}{H+M}$	1
Tỷ lệ cảnh báo sai (FAR)	%	$FAR=\frac{F}{H+F}$	0

Trong đó G_i là lượng mưa thực đo, S_i là lượng mưa vệ tinh, $\overline{G}$ là lượng mưa trung bình thực đo, $\overline{S}$ là lượng mưa trung bình vệ tinh, H biểu thị khi thực đo và vệ tinh đều phát hiện sự kiện mưa, M biểu thị thực đo phát hiện ra một sự kiện mưa, F biểu thị vệ tinh phát hiện ra một sự kiện mưa.

2.3.2. Mô hình thủy văn

Để so sánh khả năng của các nguồn mưa vệ tinh trong mô phỏng quá trình mưa - dòng chảy, cần thiết phải thiết lập mô hình thủy văn với đầu vào là các dữ liệu mưa vệ tinh. Trong

nghiên cứu này, mô hình SWAT (*Soil & Water Assessment Tool*) được lựa chọn. SWAT là mô hình thủy văn bán phân bố được phát triển bởi Trung tâm phục vụ nghiên cứu nông nghiệp thuộc Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ và Đại học Texas A&M, Hoa Kỳ [22]. Mô hình SWAT cho phép mô phỏng quá trình vật lý trong một lưu vực và cho phép phân chia lưu vực thành các tiểu lưu vực, các đơn vị thủy văn (HRU) dựa trên bản đồ sử dụng đất, điều kiện địa hình, thổ nhưỡng để mô phỏng chi tiết hơn theo không gian. Thông tin chi tiết về mô hình được trình bày chi tiết ở [23]. So với các mô hình khác SWAT có nhiều ưu việt vì mặc dù mô phỏng tương đối chi tiết quá trình hình thành dòng chảy trên lưu vực với mức độ chi tiết không gian cao, mô hình yêu cầu tương đối ít các tham số cần hiệu chỉnh do các tham số được xác định trực tiếp từ các bản đồ thảm phủ và thổ nhưỡng đầu vào. Mô hình có mã nguồn mở, miễn phí sử dụng được trên nhiều nền tảng (Windows, Mac OS, Linux) và được tích hợp trên các phần mềm GIS thông dụng (ArcGIS, QGIS). Giao diện mô hình thân thiện người dùng, có cộng đồng người dùng lớn, nhiều dữ liệu toàn cầu như dữ liệu khí tượng, sử dụng đất, địa hình, loại đất được cung cấp cùng với mô hình. Do đó, mô hình rất phù hợp cho nghiên cứu này.

SWAT yêu cầu một lượng lớn dữ liệu đầu vào bao gồm bản đồ địa hình (DEM); bản đồ sử dụng đất, thảm phủ; các số liệu về khí tượng thủy văn,… Cụ thể, số liệu đầu vào cho mô hình SWAT ở nghiên cứu này bao gồm các thành phần như trình bày ở Bảng 2. Độ chính xác của các loại mưa vệ tinh khác nhau sẽ được đánh giá trong các giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định mô hình sử dụng các chỉ tiêu để đánh giá mô hình bao gồm hệ số hiệu quả Nash & Sutcliffe, hệ số tất định R^2 và PBIAS như ở Bảng 3. Với mỗi nguồn mưa, mô hình SWAT sẽ được hiệu chỉnh tự động bằng công cụ SWAT-CUP (*SWAT Calibration and Uncertainty Procedure*) sử dụng thuật toán SUFI-2 (*Sequential Uncertainty Fitting*).

Hình 2. Sơ đồ đánh giá, so sánh nguồn mưa vệ tinh phù hợp với lưu vực sông Mã.

Bảng 2. Các dữ liệu đầu vào của mô hình SWAT.

Dữ liệu	Độ phân giải	Nguồn	Mục đích sử dụng
DEM	30m x 30m	USGS (https://earthexplorer.usgs.gov/)	Thiết lập mô hình
Bản đồ sử dụng đất	Cơ sở dữ liệu vectơ	USGS Global Land Cover	
Bản đồ đất	Độ phân giải 1km	FAO soil and land legacy maps	
Dữ liệu nhiệt độ	0,5°×0,5°	POWER Data Access Viewer (DAV)	

Dữ liệu	Độ phân giải	Nguồn	Mục đích sử dụng
Dữ liệu mưa	8 Trạm thực đo và 4 loại mưa vệ tinh	- Tổng cục Khí tượng Thủy văn -CLIMATE ENGINE (https://app.climateengine.org/climateEngine)	
Lưu lượng dòng chảy	Trạm quan trắc Cẩm Thủy (thời gian ngày)	Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn auốc gia	Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Bảng 3. Chỉ tiêu thống kê đánh giá khả năng của mô hình thủy văn.

Xếp hạng	NSE & R^2	PBIAS
Rất tốt	$0,75 < NSE \& R^2 \leq 1,00$	$\lvert PBIAS \rvert < 10$
Tốt	$0,65 < NSE \& R^2 \leq 0,75$	$10 \leq \lvert PBIAS \rvert < 15$
Đạt yêu cầu	$0,5 < NSE \& R^2 \leq 0,65$	$15 \leq \lvert PBIAS \rvert < 25$
Không đạt yêu cầu	$NSE \& R^2 \leq 0,5$	$\lvert PBIAS \rvert \geq 25$

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phân tích, so sánh dữ liệu mưa vệ tinh và mưa trạm theo thời đoạn ngày

3.1.1. Phân tích khả năng giám sát sự kiện mưa

Phân tích chỉ số POD và FAR của 4 nguồn dữ liệu mưa vệ tinh cho 8 trạm đo mưa trong Hình 3. Kết quả so sánh cho thấy CHIRPS và GPM nổi trổi hơn hẳn về khả năng giám sát chính xác sự kiện mưa. Cụ thể, POD của hai nguồn dữ liệu này thường trên 80%, thậm chí đạt 90% tại một số trạm như Cửa Đạt, Giàng và Xuân Khánh. Trong khi đó, ERA5_AG và CMORPH cho thấy POD thấp hơn, dao động từ 60% đến 80%, tuy nhiên ERA5_AG có POD tương đương CHIRPS tại Cẩm Thủy và Bái Thượng. Mặc dù khả năng phát hiện mưa tốt, cả bốn sản phẩm vẫn tồn tại tỷ lệ sai (FAR) đáng kể, dao động khoảng 50-70%. Trong đó, ERA5_AG có xu hướng cho FAR thấp hơn một chút so với ba nguồn còn lại, nhưng sự khác biệt không đáng kể.

Hình 3. Giá trị POD và FAR của các sản phẩm lượng mưa.

3.1.2. So sánh lượng mưa ngày giữa mưa vệ tinh và mưa thực đo

Nghiên cứu này đã phân tích mối tương quan giữa dữ liệu lượng mưa hàng ngày từ năm 2001 đến 2012 tại 8 trạm đo mưa với 4 nguồn dữ liệu mưa vệ tinh: CHIRPS, GPM, ERA5_Ag và CMORPH.Với mỗi trạm đo, ô lưới mưa vệ tinh gần nhất sẽ được sử dụng để so sánh, đánh giá. Các chỉ số thống kê CC, RMSE, ME, BIAS được tính toán để đánh giá hiệu quả của từng nguồn dữ liệu và trình bày ở Bảng 4. Nhìn chung, có sự sai khác lớn giữa dữ liệu mưa trạm và mưa vệ tinh theo thời đoạn ngày. So sánh hiệu suất của bốn sản phẩm lượng mưa vệ tinh cho thấy ERA5_Ag nổi bật với độ chính xác cao và sai số dự báo thấp nhất (RMSE dao động

từ 10,60 đến 14,71). GPM thể hiện hiệu suất ở mức khá ổn định. Trong khi đó, CHIRPS cho kết quả trung bình, thì CMORPH lại kém hiệu quả nhất với độ chính xác thấp và sai số lớn, thể hiện rõ nhất qua chỉ số RMSE cao bất thường tại Bái Thượng (70,58).

Bảng 4. Các chỉ số thống kê sản phẩm lượng mưa vệ tinh so với trạm thực đo.

Mưa vệ tinh	Trạm đo mưa	Hồi Xuân	Bái Thượng	Cẩm Thủy	Cửa Đạt	Giàng	Lang Chánh	Lý Nhân	Xuân Khánh
CHIRPS	CC	0,23	0,26	0,26	0,22	0,16	0,25	0,23	0,21
	RMSE	11,76	12,48	11,22	14,75	10,61	13,09	10,70	10,83
	ME	-0,30	-1,04	-0,95	-1,11	-0,68	-1,05	-0,71	-0,72
	BIAS	-0,29	-0,95	-0,95	-0,83	-0,76	-0,96	-0,76	-0,77
GPM	CC	0,25	0,29	0,26	0,24	0,22	0,24	0,31	0,28
	RMSE	11,71	12,15	11,93	14,70	10,47	12,85	10,50	10,65
	ME	-0,17	-0,77	-0,67	-1,05	-0,57	-0,81	-0,60	-0,62
	BIAS	-0,16	-0,70	-0,67	-0,79	-0,64	-0,74	-0,65	-0,65
ERA5_Ag	CC	0,09	0,08	0,07	0,09	0,07	0,07	0,09	0,08
	RMSE	12,09	12,27	12,05	14,71	10,60	12,88	10,74	10,86
	ME	-0,06	-0,47	-0,41	-0,75	-0,42	-0,46	-0,46	-0,47
	BIAS	-0,06	-0,43	-0,41	-0,56	-0,47	-0,42	-0,49	-0,50
CMORPH	CC	0,11	0,09	0,10	0,12	0,10	0,12	0,08	0,21
	RMSE	12,74	70,58	79,93	35,04	81,35	18,17	81,48	10,83
	ME	-0,06	8,79	10,62	4,38	10,31	1,80	10,28	-0,72
	BIAS	-0,06	8,03	10,62	3,27	11,50	1,65	11,05	-0,77

3.2. Phân tích, so sánh và đánh giá dữ liệu mưa tháng

Kết quả đánh giá cho thấy các sản phẩm vệ tinh ước tính tổng lượng mưa tháng hiệu quả hơn hẳn so với lượng mưa ngày. Trong đó, CHIRPS và GPM cho thấy khả năng nắm bắt tốt xu hướng biến động của lượng mưa thực tế, thể hiện qua hệ số tương quan (CC) cao. Mưa GPM cho độ chính xác cao nhất, theo sau là mưa CHIRPS. Mặc dù có độ chính xác dự báo cao và ổn định (RMSE thấp), ERA5_Ag lại chưa cho thấy khả năng nắm bắt tốt xu hướng biến động của lượng mưa do CC chỉ ở mức trung bình. Cuối cùng, CMORPH cho thấy hiệu suất kém nhất với độ chính xác thấp và sai số dự báo lớn, đặc biệt tại trạm Bái Thượng, cho thấy CMORPH có thể không phù hợp để sử dụng trong khu vực nghiên cứu (Bảng 5).

Bảng 5. Kết quả tính các chỉ số CC, RMSE, ME, BIAS.

Mưa vệ tinh	Trạm đo mưa	Hồi Xuân	Bái Thượng	Cẩm Thủy	Cửa Đạt	Giàng	Lang Chánh	Lý Nhân	Xuân Khánh
CHIRPS	CC	0,83	0,84	0,80	0,77	0,69	0,84	0,90	0,76
	RMSE	0,35	0,74	0,69	0,83	0,53	0,78	0,37	0,56
	ME	-0,01	-0,03	-0,03	-0,04	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02
	BIAS	-0,29	-0,95	-0,95	-0,83	-0,75	-0,96	-0,76	-0,77
GPM	CC	0,85	0,78	0,75	0,76	0,74	0,76	0,90	0,78
	RMSE	0,33	0,60	0,56	0,81	0,48	0,66	0,31	0,50
	ME	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02
	BIAS	-0,16	-0,70	-0,67	-0,79	-0,63	-0,74	-0,65	-0,65
ERA5_Ag	CC	0,70	0,56	0,52	0,57	0,54	0,55	0,64	0,55
	RMSE	0,44	0,58	0,55	0,76	0,49	0,62	0,28	0,51
	ME	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02
	BIAS	-0,05	-0,42	-0,41	-0,56	-0,47	-0,42	-0,48	-0,49
CMORPH	CC	0,64	0,66	0,66	0,64	0,57	0,62	0,75	0,63
	RMSE	0,44	5,97	7,14	2,97	6,99	1,23	7,06	6,59
	ME	0,00	0,29	0,35	0,14	0,34	0,06	0,34	0,34
	BIAS	-0,06	8,07	10,69	3,30	11,58	1,66	11,22	10,96

3.3. Đánh giá hiệu suất của mưa vệ tinh trong mô phỏng dòng chảy

3.3.1. Kết quả đánh giá mô hình theo thời đoạn ngày

Mô hình được hiệu chỉnh dựa vào số liệu dòng chảy thực đo tại trạm thủy văn Cẩm Thủy với thời đoạn từ 1/1/1992 đến 31/12/2012, trong đó giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định được thiết lập lần lượt là 2001-2006 và 2009-2011 (Hình 4). Các thông số mô hình được đưa vào xem xét hiệu chỉnh và kiểm định được trình bày ở Bảng 7. Với mỗi nguồn mưa, mô hình SWAT được chạy lặp 500 lần sử dụng công cụ SWAT CUP.

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình dòng chảy ngày, được trình bày tại Hình 4 và Bảng 6, cho thấy dữ liệu GPM vượt trội hơn hẳn so với CHIRPS, ERA5_Ag và CMORPH. Cụ thể, GPM đạt hiệu suất mô phỏng tốt với hệ số xác định R^2 đạt 0,60, hiệu suất mô hình NSE đạt 0,55 và sai số PBIAS là 20,82% trong giai đoạn hiệu chỉnh. Hiệu suất mô hình với GPM tiếp tục duy trì ở mức đạt trong giai đoạn kiểm định (R^2 = 0,56, NSE = 0,52, PBIAS = 15,69%). Trong khi đó, CHIRPS cho kết quả kém khả quan hơn với NSE thấp (0,31) và PBIAS cao (46,55%), mặc dù R^2 ở mức chấp nhận được (0,59). Tương tự, ERA5_Ag và CMORPH cho thấy hiệu suất mô phỏng kém hơn đáng kể so với GPM. Kết quả này cho thấy GPM là nguồn dữ liệu mưa phù hợp nhất cho mô hình dòng chảy lưu vực sông Mã, đáp ứng các tiêu chí đánh giá chất lượng mô hình tại Bảng 3.

Bảng 6. Đánh giá kết quả mô phòng dòng chảy giai đoạn hiệu chỉnh, kiểm định theo quy mô hàng ngày.

Giai đoạn		Giá trị		
		R^2	**NSE**	**PBIAS**
Hiệu chỉnh (01/01/2001 - 31/12/2006)	CHIRPS	0,59	0,31	46,55
	ERA5_Ag	0,55	0,53	-11,23
	GPM	0,60	0,55	20,82
	CMORPH	0,16	-26,95	-203,9
Kiểm định (01/01/2009 - 31/12/2011)	CHIRPS	0,45	0,08	52,7
	ERA5_Ag	0,51	0,43	-24,13
	GPM	0,56	0,52	15,69
	CMORPH	0,22	-40,11	-241,9

Bảng 7. Các thông số tối ưu được hiệu chỉnh cho cả bốn mô hình.

Tên thông số	Mô tả	Khoảng giá trị mặc định		Khoảng giá trị tối ưu	
		Min	**Max**	**Min**	**Max**
V_CN2	Chỉ số CN ứng với điều kiện ẩm II	35	98	35,02	37,02
V_ALPHA_BF	Hệ số triết giảm dòng chảy ngầm	0	1	0,195	0,23
V_GW_DELAY	Thời gian trữ nước tầng ngầm (ngày)	0	500	25	25,3
V_GWQMN	Ngưỡng sinh dòng chảy ngầm	0	5000	0,02	1,28
V.GW_REVAP	Hệ số tái tạo nước ngầm	0,02	0,2	0,02	0,06
V_REVAPMN	Ngưỡng độ sâu của nước trong tầng chứa nước nông để xảy ra hiện tượng "bốc hơi" (mm)	0	500	28,5	252
V_ESCO	Hệ số bốc hơi của đất	0	1	0,07	0,45
V_OV_N	Giá trị "n" của Manning cho dòng chảy trên mặt đất	0,01	1	0,10	1,00
V_SOL_AWC	Khả năng trữ nước của đất	0	1	0,005	1,00

3.3.2. Kết quả đánh giá mô hình theo thời đoạn tháng

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình dòng chảy ở bước thời gian tháng (Bảng 8, Hình 5) cho thấy dữ liệu mưa GPM cho hiệu quả tốt nhất và ổn định nhất. Cụ thể, trong giai đoạn hiệu chỉnh, GPM đạt R^2 = 0,81, NSE = 0,74, PBIAS = 22,05%. Hiệu suất của GPM tiếp tục được duy trì ở giai đoạn kiểm định với R^2 = 0,78, NSE = 0,73, PBIAS = 13,11%. Mặc dù CHIRPS và ERA5_Ag đạt R^2 khả quan nhưng lại cho hệ số NSE thấp. CMORPH cho kết quả kém nhất, không phù hợp cho mô hình dòng chảy. Như vậy, dữ liệu CMORPH không tốt khi so sánh với dữ liệu mưa trạm và khi mô phỏng dòng chảy.

Hình 4. Đường quá trình lưu lượng thực đo và mô phỏng từ mô hình SWAT tại trạm Cẩm Thủy theo thời đoạn ngày giai đoạn hiệu chỉnh (01/01/2001-31/12/2006) và kiểm định (01/01/2009-31/12/2011).

Bảng 8. Đánh giá kết quả mô phòng dòng chảy giai đoạn hiệu chỉnh, kiểm định theo quy mô hàng tháng.

Giai đoạn		Giá trị		
		R^2	NSE	PBIAS
Hiệu chỉnh (01/01/2001 - 31/12/2006)	CHIRPS	0,86	0,26	57,68
	ERA5_Ag	0,72	0,68	-12,05
	GPM	0,81	0,74	22,05
	CMORPH	0,46	-13,44	-202,66
Kiểm định (01/01/2009 - 31/12/2011)	CHIRPS	0,66	0,09	52,79
	ERA5_Ag	0,64	0,51	-24,34
	GPM	0,78	0,73	13,11
	CMORPH	0,61	-25,68	-239,06

Hình 5. Đường quá trình lưu lượng thực đo và mô phỏng từ mô hình SWAT tại trạm Cẩm Thủy theo thời đoạn tháng giai đoạn hiệu chỉnh (01/01/2001-31/12/2006) và kiểm định (01/01/2009-31/12/2011).

4. Kết luận

Nghiên cứu này tập trung đánh giá và so sánh hiệu quả của bốn sản phẩm mưa vệ tinh độ phân giải cao (CHIRPS, ERA5_Ag, GPM và CMORPH) trong mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông Mã, một trong những lưu vực sông liên quốc gia chính của Việt Nam. Kết quả cho thấy khi so sánh với dữ liệu mưa trạm, các sản phẩm mưa vệ tinh đều có khả năng nhận diện mưa khá tốt, đạt độ chính xác khoảng 80%. Tuy nhiên, tương quan về lượng mưa thời đoạn ngày giữa mưa trạm và mưa vệ tinh tương đối thấp, cho thấy sự khác biệt đáng kể về lượng giữa hai nguồn dữ liệu. Điều này là do các sai số liên quan đến phạm vi không gian của mưa vệ tinh và mưa trạm cũng như sai số đo đạc của cả 2 loại nguồn mưa. Với thời đoạn tháng, kết quả hai nguồn mưa có sự phù hợp với nhau tương đối tốt với hệ số tương quan

(CC). Mưa GPM và CHIRPS là 2 nguồn mưa phù hợp nhất với dữ liệu mưa trạm với hệ số tương quan của lượng mưa tháng của 2 nguồn này với các trạm đo mưa đều lớn hơn 0.75. Trong khi đó, dữ liệu mưa CMORPH có độ phù hợp với mưa trạm kém nhất. Khi sử dụng các nguồn mưa vệ tinh làm đầu vào để mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông Mã, mưa GPM cũng cho kết quả tốt nhất, vượt trội hơn hẳn so với CHIRPS, ERA5_Ag và CMORPH ở cả thời đoạn ngày và tháng. Kết quả mô phỏng dòng chảy sử dụng dữ liệu GPM cho độ chính xác cao với R^2 = 0,81, NSE = 0,74 và PBIAS = 22,05% ở quy mô tháng và R^2= 0,60, NSE = 0,55 và PBIAS = 20,82% ở quy mô ngày. Mặc dù tương quan của dòng chảy thực đo và mô phỏng tương đối tốt, sai số tổng lượng tương đối lớn. Điều này là do các nguồn mưa vệ tinh chưa được hiệu chỉnh. Trong thời gian tới, nghiên cứu sẽ tiến hành hiệu chỉnh dữ liệu mưa vệ tinh để phù hợp với điều kiện lưu vực sông Mã.

Mặc dù nghiên cứu mới chỉ đánh giá bốn nguồn dữ liệu mưa vệ tinh phổ biến và giới hạn trong phạm vi lưu vực sông Mã, phương pháp và kết quả của nó có thể được tham khảo và ứng dụng cho các lưu vực sông khác tại Việt Nam, đặc biệt là những nơi thiếu số liệu quan trắc. Việc mở rộng nghiên cứu sang các lưu vực sông với đặc điểm tự nhiên và điều kiện khí hậu thủy văn khác nhau sẽ giúp khẳng định tính hiệu quả và khả năng ứng dụng rộng rãi của phương pháp này cứu.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.A.P.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.A.P., N.T.L.A., L.M.A.; Xử lý số liệu: N.T.L.A.; L.M.A.; Thiết lập mô hình: N.T.L.A., L.M.A.; Viết bản thảo bài báo: N.T.L.A.; Chỉnh sửa bài báo: T.A.P., L.M.A.

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. Galván, L.; Olías, M.; Izquierdo, T.; Cerón, J.C.; Villarán, R.F. Rainfall estimation in SWAT: An alternative method to simulate orographic precipitation. *J. Hydrol.* **2014**, 257–265.
2. Lobligeois, F.; Andréassian, V.; Perrin, C.; Tabary, P.; Loumagne, C. When does higher spatial resolution rainfall information improve streamflow simulation? An evaluation using 3620 flood events. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2014**, *18*, 575–594.
3. Roth, V.; Lemann, T. Comparing CFSR and conventional weather data for discharge and soil loss modelling with SWAT in small catchments in the Ethiopian Highlands. *Hydrol. Earth Syst. Sci*. **2016**, *20*, 921–934.
4. Kidd, C.; Becker, A.; Huffman, G.J.; Muller, C.L.; Joe, P.; Skofronick-Jackson, G.; Kirschbaum, D.B. So, how much of the Earth's surface is covered by rain gauges?. *Bull. Am.* **2017**, *98*, 69–78.
5. Alsalal, S.T.; Leong, M.; Sâmt, N.; Al-Bakri, Jawad, T.; Longhui, L. Evaluation of CHIRPS and CFSR precipitation products over the Mujib Basin, Jordan. *Geografia Malaysian J. Soc. Space* **2023**, *19(2)*, 1–20.
6. Serrat-Capdevila, A.; Valdes, J.B.; Stakhiv, E.Z. Water management applications for satellite precipitation products: Synthesis and recommendations. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **2014**, *50*, 509–525.
7. Mekonnen, G.; Menberu, M.B.; Feyera, A.H.; Gebrehiwot, N.T. Accuracy of satellite rainfall estimates in the Blue Nile Basin: Lowland plain versus highland mountain. *Water Resour. Res.* **2014**, *50(11)*, 8775–8790.
8. Guo, H.; Chen, S.; Bao, A.; Hu, J.; Gebregiorgis, A.S.; Xue, X.; Zhang, X. Inter-comparison of high-resolution satellite precipitation products over Central Asia. *Remote Sens*. **2015**, *7*, 7181–7211.
9. 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 Thủy lợi và Môi trường* **2019**, *64*, 76–83.

10. Ngọc, T.M.; Khá, Đ.Đ.; Tuấn, N.C.; Như, N.Y. Đánh giá chất lượng mưa vệ tinh CMORPH trên lưu vực sông Lam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, *763*, 24–34.
11. Lành, N.V.; Dũng, N.V.; Dương, T.H.; Tâm, T.T. Sử dụng lượng mưa vệ tinh đánh giá khả năng hạn hán khí tượng dựa trên chỉ số SPI cho khu vực tỉnh Thanh Hóa. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *696*, 1–9.
12. 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. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.025.
13. Zambrano-Bigiarini, M.; Nauditt, A.; Birkel, C.; Verbist, K.; Ribbe, L. Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile. *Hydrol. Earth Syst. Sci*. **2017**, *21*, 1295–1320. https://doi.org/10.5194/hess-21-1295-2017.
14. Luo, X.; Wu, W.; He, D.; Li, Y.; Ji, X. Hydrological simulation using TRMM and CHIRPS precipitation estimates in the lower Lancang-Mekong river basin, Chinese. *Geogr. Sci*. **2019**, *29*, 13–25. https://doi.org/10.1007/s11769-019-1014-6.
15. 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*, 79–107. https://doi.org/10.1002/2017RG000574.
16. Duan, Z.; Tuo, Y.; Liu, J.; Gao, H.; Song, X.; Zhang, Z.; Yang, L.; Mekonnen, D.F. Hydrological evaluation of open-access precipitation and air temperature datasets using SWAT in a poorly gauged basin in Ethiopia. *J. Hydrol*. **2019**, *569*, 612–626. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.026.
17. Lai, C.; Zhong, R.; Wang, Z.; Wu, X.; Chen, X.; Wang, P.; Lian, Y. Monitoring hydrological drought using long-term satellite-based precipitation data. *Sci. Total. Environ*. **2019**, *649*, 1198–1208. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.245.
18. Hải, B.T.; Tuân, N.V. Nghiên cứu đánh giá và so sánh các dữ liệu mưa vệ tinh độ phân giải cao lưu vực sông Cả. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *695*, 17–28.
19. 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.
20. Minh, N.H.; Dũng, P.T.; Vân, V.T.T.; Đại, H.V.; Khiêm, M.V.; Nhung, N.P. Nghiên cứu hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar phục vụ nâng cao chất lượng mô phỏng dòng chảy. *Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn* **2022**, *743*, 23–35.
21. Alsalal, S.T.; Leong, M.; Sâmt, N.; Al-Bakri, J.T; Longhui, L. Evaluation of CHIRPS and CFSR precipitation products over the Mujib Basin, Jordan. *Geografia Malaysian J. Soc. Space*. **2023**, *19(2)*, 1–20.
22. Pang, J.; Zhang, H.; Xu, Q.; Wang, Y.; Wang, Y.; Zhang, O.; Hao, J. Hydrological evaluation of open-access precipitation data using SWAT at multiple temporal and spatial scales. *Hydrol. Earth Sys. Sci*. **2020**, *24*, 3603–3626.
23. Arnold, J. SWAT-soil and water assessment tool. 1994.
24. Neitsch, S.; Arnold, J.; Kiniry, J.; Srinivasan, R.; Williams, J.J.G.r. Soil and water assessment tool user's manual version 2000, 2012, pp. 202.
25. Azarnivand, A.; Camporese, M.; Alaghmand, S.; Daly, E. Simulated response of an intermittent stream to rainfall frequency patterns. *Hydrol. Processes* **2019**, *34*, 615–632.
26. Wen, T.; Xiong, L.; Jiang, C.; Hu, J.; Liu, Z. Effects of climate variability and human activities on suspended sediment load in the Ganjiang river basin, China. *J. Hydrol. Eng*. **2019**, *24(11)*, 1943–5584.

A study on evaluation and comparison of high-resolution satellite precipitation for streamflow simulation in the Ma river basin

Nguyen Thi Lan Anh[1], Le Manh An[1], Tran Anh Phuong[1]*

[1] Water Resources Institute, Ministry of Natural Resources and Environment; phuongtran.monre@gmail.com; anhlannguyentv@gmail.com
[2] Center for Hydrometeorological Technology, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration, Ministry of Natural Resources and Environment; lemanhan82@gmail.com

Abstract: The increasing availability of satellite precipitation has opened up opportunities to supplement ground-based observations, especially in data-sparse regions. This study compared the effectiveness of four satellite precipitation sources including CHIRPS, GPM, CMORPH and ERA5_Ag to select the appropriate satellite precipitation source for the Ma River basin. To achieve this goal, satellite precipitation sources were evaluated in comparison with station precipitation data and evaluated for their potential as inputs for the SWAT model to simulate the rainfall-runoff process in the Ma River basin. The results show that in the daily period, the degree of agreement between station rain and satellite rain is relatively poor. However, in the monthly period, the compatibility between the two rain sources increases significantly. GPM precipitation source is the most suitable data source for the study basin with better evaluation indexes than other precipitation sources when simulating hydrological processes in the basin, especially at the monthly time step. Specifically, GPM achieved $R^2 = 0.81$, NSE = 0.74 and PBIAS = 22.05% at the monthly scale, showing the ability to simulate accurate flow. At the daily scale, although the accuracy decreased slightly ($R^2 = 0.60$, NSE = 0.55 and PBIAS = 20.82%), GPM still gave better results than the remaining precipitation sources. This study has identified the application potential of satellite precipitation data and selected a reliable satellite precipitation data source to simulate flow for the Ma river basin, serving the forecasting and management of water resources.

Keywords: Satellite precipitation; GPM; Ma river; SWAT; Data scarce; Rainfall-runoff.