

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG SỬ DỤNG DỮ LIỆU MƯA VỆ TINH ĐỂ MÔ PHỎNG DÒNG CHẢY BẰNG MÔ HÌNH THỦY VĂN HYPE, ÁP DỤNG CHO LƯU VỰC SÔNG SÊ SAN

Vũ Văn Lân^{1,2*}, Vũ Minh Cát², Bùi Du Dương³

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

²Trường Đại học Thủy lợi

³Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước Quốc gia

Tóm tắt

Việc đánh giá chất lượng các nguồn mưa vệ tinh phục vụ cho việc mô phỏng dự báo dòng chảy về các hồ chứa ở những khu vực thiếu số liệu đóng vai trò hết sức quan trọng trong việc nâng cao độ chính xác kết quả dự báo dòng chảy đến. Nghiên cứu này thử nghiệm sử dụng mô hình thủy văn HYPE để tính toán dòng chảy đến trạm thủy văn Đăk Mốt, lưu vực sông Sê San từ các nguồn mưa vệ tinh khác nhau như GPM, ERA5, GSMAP, MSWEP, HydroGFD, V-forced. Kết quả nghiên cứu so sánh với số liệu thực đo trạm Đăk Mốt cho thấy dữ liệu mưa vệ tinh V-forced cho kết quả mô phỏng dòng chảy phù hợp nhất với các chỉ số $CC = 0,83$; $KGE = 0,82$ và $NSE = 0,65$. Từ đó đề xuất sử dụng mô hình HYPE và nguồn mưa vệ tinh V-forced để tính toán và dự báo dòng chảy đến cho các lưu vực sông thuộc lưu vực sông Sê San với các lưu vực thiếu hoặc không có tài liệu quan trắc mặt đất.

Từ khóa: HYPE; Dòng chảy; Sông Sê San; Mưa vệ tinh.

Abstract

Assessment of the usability of satellite rainfall data for streamflow simulation using the HYPE hydrological model: Application to the Se San river basin

Evaluating the quality of satellite rainfall data for streamflow forecasting in reservoir inflow simulation is crucial for improving forecast accuracy, especially in data-scarce regions. This study tested the use of the HYPE hydrological model to calculate the streamflow at Dak Mot Hydrological Station in the Se San river basin using various satellite rainfall sources such as GPM, ERA5, GSMaP, MSWEP, HydroGFD, and V-forced. Compared with observed data from Dak Mot station, the results show that the V-forced satellite rainfall data provided the best streamflow simulation results, with performance metrics of $CC = 0.83$, $KGE = 0.82$, and $NSE = 0.65$. Based on these findings, the study suggests using the HYPE model and V-forced satellite rainfall data for streamflow forecasting in the Se San river basin, especially for catchments with limited or no ground-based observational data.

Keywords: HYPE; Streamflow; Se San river; Satellite rainfall.

Nhận bài: 18/9/2024; Phản biện xong: 11/10/2024; Chấp nhận đăng: 20/12/2024

*Tác giả liên hệ, Email: vvlan@hunre.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.63064/khtnmt.2024.615>

1. Đặt vấn đề

Dữ liệu mưa đóng vai trò vô cùng quan trọng trong việc sử dụng các mô hình thủy văn để tính toán và dự báo dòng chảy. Thực tế ở những lưu vực vùng miền núi thì dữ liệu mưa của lưới trạm quan trắc và các trạm khí tượng trong lưới trạm quốc gia thường rất thưa, ngắn và không đồng bộ [1]. Đây là khó khăn lớn nhất trong việc sử dụng các mô hình thủy văn để tính toán và dự báo dòng chảy về các hồ chứa ở những khu vực này.

Hiện nay, trên thế giới đã phát triển và đưa vào sử dụng nhiều mô hình toán thủy văn có thể sử dụng đồng thời các số liệu quan trắc mặt đất và các số liệu từ không gian như số liệu mưa, gió, ẩm, áp, nhiệt với độ phân giải không gian đạt đến 5 km và tần suất quan sát khoảng 3 giờ như vệ tinh GPM (Global Precipitation Measurement) của NASA, TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) và các vệ tinh khác đã tạo điều kiện cho việc dự báo dòng chảy về hồ chứa ở những vùng thiếu số liệu khí tượng thủy văn, đặc biệt là số liệu mặt đất.

Để đánh giá các sai số của các sản phẩm mưa vệ tinh, một số nghiên cứu đã so sánh trực tiếp giá trị ô lưới mưa vệ tinh với giá trị mưa tại trạm đo mặt đất [2, 3, 4] hoặc thông qua các mô hình thủy văn mưa - dòng chảy để đánh giá khả năng mô phỏng dòng chảy [5], trong đó việc ứng dụng các mô hình thủy văn để đánh giá chất lượng mưa phù hợp hơn do việc đánh giá được tiến hành trên cùng quy mô lưu vực nên không bị ảnh hưởng bởi sự chênh lệch quy mô so sánh ở phương pháp thứ nhất (ô lưới và điểm) [6].

Nghiên cứu của nhóm tác giả Chong Wei và cộng sự đã sử dụng mô hình thủy

văn SWAT và sản phẩm mưa khác nhau như đầu vào để mô phỏng dòng chảy đến lưu vực Huaihe (Trung Quốc). Nghiên cứu đã so sánh đánh giá dòng chảy từ các nguồn mưa khác nhau và kết luận như sau: (1) Với quy mô lưới-điểm, lượng mưa thu thập bằng cách sử dụng bản ghi dữ liệu khí hậu mạng nơ-ron nhân tạo (PERSIANN-CDR) cho độ chính xác với mức độ cao, (2) trong khi với quy mô lưu vực vừa và nhỏ thì nguồn dữ liệu mưa toàn cầu của Trung tâm Dự báo Khí hậu (CPC) của NOAA cho kết quả tốt hơn so với các nguồn dữ liệu khác [7].

Việc ứng dụng mô hình thủy văn HYPE trong việc mô phỏng dòng chảy đã được áp dụng thành công trên các lưu vực khác nhau ở Việt Nam như trong nghiên cứu của tác giả Tiên.L.T.Du đã mô phỏng tính toán dự báo dòng chảy trên hệ thống sông Mê Kông [8], hoặc đánh giá ảnh hưởng của hồ chứa đến dòng chảy và vận chuyển bùn cát trên lưu vực sông Srepok, Việt Nam của nhóm tác giả Bùi Thị Phương Thảo và cộng sự [9].

Nghiên cứu này sử dụng số liệu khí tượng, đặc biệt là số liệu mưa vệ tinh từ các nguồn GPM, GSMAP, MSWEP, ERA, hydroGFD, V-forced và dữ liệu mưa tại các trạm mặt đất thuộc lưu vực sông Sê San như số liệu đầu vào của mô hình thủy văn HYPE để đánh giá tính phù hợp và lựa chọn nguồn mưa khi mô phỏng dòng chảy cho các lưu vực nhỏ trong lưu vực sông Sê San trong trường hợp thiếu hoặc không có tài liệu mặt đất.

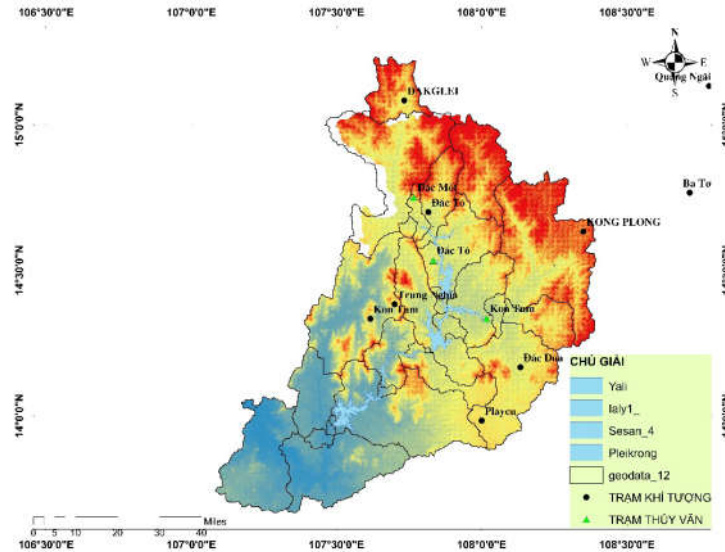
2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Sông Sê San là phụ lưu bờ trái của sông Mê Kông, bắt nguồn từ phần phía

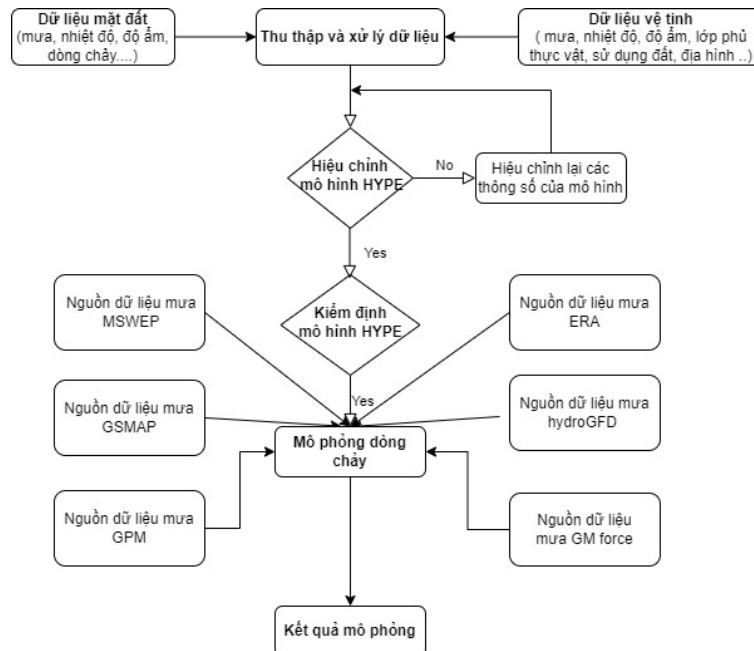
Bắc cao nguyên Gia Lai - Kon Tum, chảy trên lãnh thổ hai nước Việt Nam và Campuchia, nhập vào sông Srêpôk gần Stung Treng. Sông Sê San phía Việt Nam có lưu vực rộng 11.465 km². Phía Bắc giáp sông Thu Bồn; Phía Nam giáp sông Ba, IaĐrang; Phía Đông giáp sông Trà Khúc, Sông Ba; Phía Tây giáp Lào và Campuchia. Sông Sê San có hai chi lưu

là Krông Pôkô ở phía hữu ngạn và Đăk Bla phía tả ngạn. Sông Đăk Bla đổ vào sông Sê San từ bờ trái; Tính đến trạm thủy văn Kon Tum có diện tích lưu vực là 2.968 km² và chiều dài sông là 123,4 km. Sông Krông Pôkô có diện tích lưu vực 3.230 km² với chiều dài sông là 125,6 km. Phạm vi nghiên cứu được thể hiện qua Hình 1.



Hình 1: Khu vực nghiên cứu

2.2. Phương pháp nghiên cứu



Hình 2: Sơ đồ nghiên cứu

Nghiên cứu

Trong nghiên cứu này thu thập và xử lý các dữ liệu từ vệ tinh bao gồm các nguồn dữ liệu mưa khác nhau (GPM, GSMAP, MSWEP, ERA, hydroGFD, V_forced) và các dữ liệu về địa hình, nhiệt độ, sử dụng đất kết hợp với các dữ liệu tại trạm đo mặt đất nhằm tạo ra bộ số liệu đầu vào cho mô hình thủy văn HYPE mô phỏng dòng chảy trên khu vực nghiên cứu. Sau khi quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy văn đạt được kết quả tốt, áp dụng mô hình này mô phỏng dòng chảy ở khu vực nghiên cứu với các nguồn dữ liệu mưa khác nhau nhằm đánh giá khả năng sử dụng nguồn dữ liệu mưa vệ tinh. Sơ đồ nghiên cứu được thể hiện tại Hình 2.

Từ quá trình thu thập, phân tích xử lý dữ liệu cho thấy các yếu tố nhiệt độ, sử dụng đất và lớp phủ bề mặt, độ ẩm và địa hình khu vực nghiên cứu là không thay

đổi, vì vậy trong nghiên cứu chỉ thay đổi các dữ liệu đầu vào mô hình HYPE là dữ liệu mưa theo các nguồn mưa khác nhau để mô phỏng dòng chảy cho lưu vực sông Sê San. Kết quả mô phỏng dòng chảy với các nguồn mưa khác nhau được so sánh với kết quả mô phỏng dòng chảy từ nguồn mưa tại trạm đo Đắk Mốt.

2.3. Dữ liệu nghiên cứu

Nghiên cứu đã sử dụng các nguồn dữ liệu mưa, nhiệt độ, lưu lượng dòng chảy được áp dụng trong nghiên cứu bằng việc thu thập từ các dữ liệu vệ tinh và dữ liệu trạm quan trắc mặt đất trong đó các dữ liệu lượng mưa và nhiệt độ được thu thập từ vệ tinh, dữ liệu dòng chảy tại các trạm đo được thu thập từ các trạm thủy văn. Các thông số dữ liệu tại khu vực sông Sê San được thể hiện qua Bảng 1.

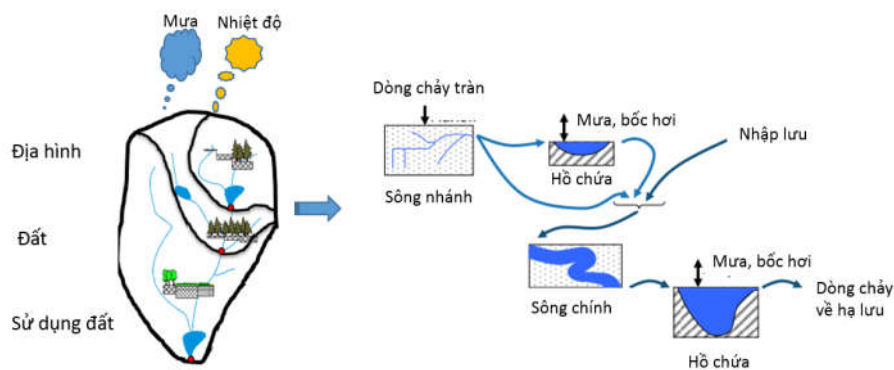
Bảng 1. Thông số dữ liệu mô hình

Loại dữ liệu	Nguồn dữ liệu	Thời gian thu thập dữ liệu	Độ phân giải theo không gian	Độ phân giải theo thời gian
Mưa vệ tinh	Global Precipitation Measurement Integrated MultiSatellitE Retrievals for GPM (GPM-IMERG) v6	2001 - 2023	0,1°	30 phút
	Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP)	2001 - 2023	0,1°	1 giờ
	Multi-Source Weighted Ensemble Precipitation v2 (MSWEP v2)	2001 - 2023	0,1°	3 giờ
	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) fifth generation (ERA5)	2001 - 2023	0,5°	1 giờ
	Hydrological Global Forcing Data	2001 - 2023	0,5°	1 giờ
	V-forced (merge product from five data sources GPM, GSMAP, MSWEP, ERA5)	2001 - 2023	0,1°	1 giờ
Địa hình	Sentinel-1 SAR and SRTM DEM	2002	30 m	-
Nhiệt độ	Nhiệt độ ngày trung bình, dữ liệu toàn cầu GFD	1979 - 2023	0,25°	1 giờ
Lưu lượng dòng chảy	Trạm thủy văn Đắk Mốt	1979 - 2022	-	1 ngày
Sử dụng đất/lớp phủ	ESA Sentinel-2 imagery	2018 - 2023	10 m	-

2.4. Mô hình thủy văn HYPE

Mô hình HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) được phát triển bởi Viện Khí tượng thủy văn Thủy Điện (SMHI). Đây là một mô hình thủy văn thông số bán phân bố của nước và chất lượng nước, được chạy dưới hệ điều hành Window hoặc Linux. Các mã được viết bằng ngôn ngữ lập trình Fortran và một mã nguồn mở dưới dạng Lesser GNU Public License. Cấu trúc mô hình

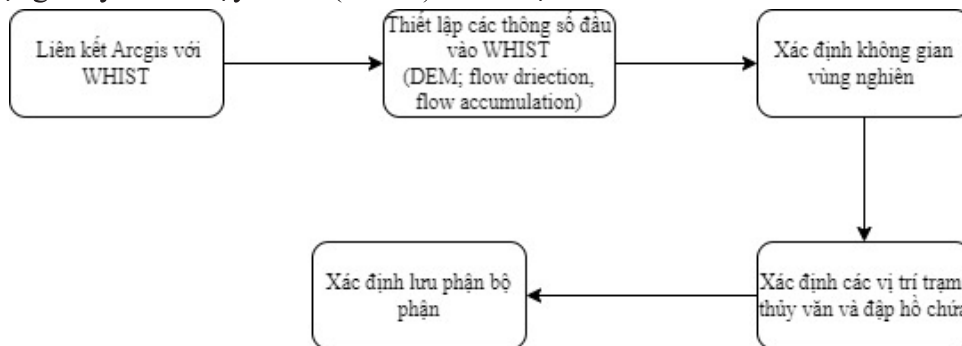
HYPE dựa trên cách tiếp cận đa lưu vực cho phép mô hình hóa đồng thời nhiều lưu vực con hay lưu vực sông được chia thành nhiều tiểu lưu vực và mỗi tiểu lưu vực sẽ sử dụng HYPE để tổng hợp các đơn vị thủy văn (HRU) thành đường quá trình của tiểu lưu vực đó, dựa trên đặc điểm mưa, địa hình và sử dụng đất. Nguyên lý của mô hình là dòng chảy hình thành từ mưa, chịu tác động của các điều kiện mặt đệm.



Hình 3: Các quá trình diễn toán trong mô hình HYPE

Quá trình phân chia các lưu vực tính toán nhằm cung cấp dữ liệu đầu vào cho mô hình HYPE, trong nghiên cứu đã sử dụng phần mềm WHIST (World Hydrological Input Set-up Tool) được phát triển bởi Viện Khí tượng thủy văn Thủy Điện (SMHI) để

tạo các lưu vực dựa trên dữ liệu địa hình số hóa độ cao DEM với tỷ lệ 30×30 m, qua đó thiết lập các dữ liệu về ACC (Accumulation) và DIR (Direction) từ công cụ hydrology của ArcGIS. Các bước thực hiện được thể hiện dưới sơ đồ sau:



Hình 4: Sơ đồ tính toán xác định các lưu vực bộ phận

2.5. Phương pháp đánh giá

Kết quả mô phỏng dòng chảy đã được so sánh với dòng chảy thực đo thông qua các tiêu chí thống kê như

hệ số tương quan tuyến tính (R), sai số quân phương trung bình (RMSE), hệ số Nash-Sutcliffe (NSE) và hiệu suất Kling - Gupta (KGE).

Nghiên cứu

$$CC = \frac{\frac{1}{mi} \sum_{i=1}^{mi} (r_i * c_i) - cm * rm}{cd * rd} \quad (1)$$

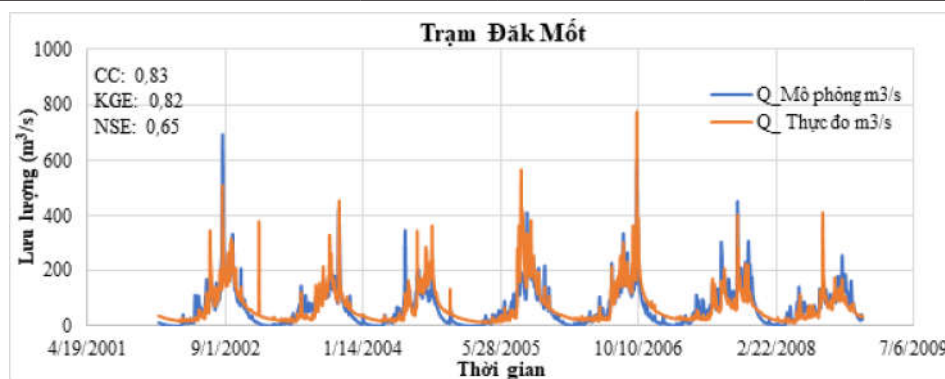
$$KGE = 1 - \sqrt{(CC - 1)^2 + \left(\frac{cd}{rd} - 1\right)^2 + \left(\frac{cm}{rm} - 1\right)^2} \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{mi} (c_i - r_i)^2}{\sum_{i=1}^{mi} (r_i - rm)^2} \quad (3)$$

trong đó, cm: Là giá trị trung bình của mô phỏng; rm: Là giá trị trung bình của thực đo; cd: Là độ lệch chuẩn mô phỏng;

Bảng 2. Bộ thông số mô hình HYPE với giá trị hiệu chỉnh và khoảng giá trị cho phép

TT	Thông số	Ký hiệu	Hiệu chỉnh	Đơn vị	Min	Max
1	Sự thoát hơi nước của các lớp đất	wfc	0,473	-	0,05	0,5
		wcwp	0,13	%	0,05	0,5
2	Độ rỗng của các lớp đất	wcep	0,15	%	0,05	0,5
3	Độ thấm của đất	mperc	113,4	mm/ngày	5	120
4	Hệ số trễ dòng chảy bề mặt	rrcs	0,34	-	0,05	0,6
5	Hệ dòng chảy ngầm	macrate	0,29	-	0,05	0,5
		mactrinf	3,75	mm/ngày	0	100
		mactrsm	0,35	-	0	1
6	Hệ số bốc hơi của đất	cevp	0,17	mm/ngày/Co	0,15	0,3



Hình 5: So sánh giữa dòng chảy mô phỏng và dòng chảy thực đo trong giai đoạn hiệu chỉnh mô hình

Như vậy quá trình hiệu chỉnh mô hình HYPE với dữ liệu mưa trạm đo trong giai đoạn từ năm 2002 đến 2008 đạt được kết quả tương đối tốt, vì vậy nghiên cứu sử dụng bộ thông số mô hình này để kiểm định

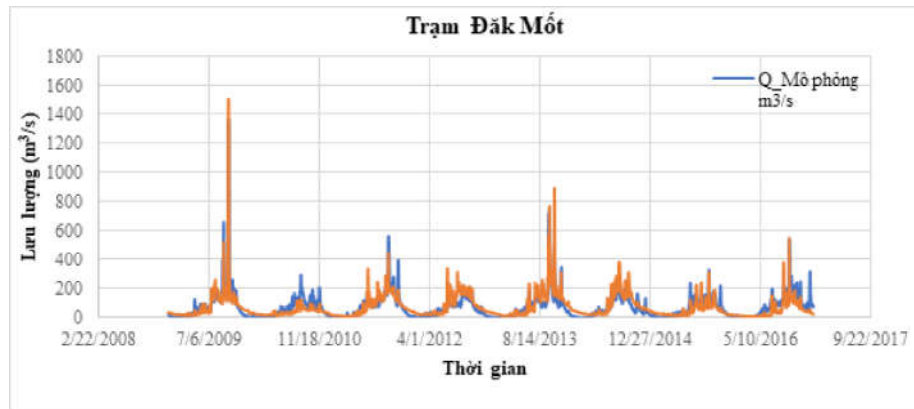
rd: Độ lệch chuẩn thực đo; c_i: Giá trị tính toán; r_i: Giá trị thực đo.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Nghiên cứu sử dụng mô hình HYPE được hiệu chỉnh mô hình với số liệu dòng chảy thực đo trong giai đoạn 2002 đến 2008 với số liệu đầu vào là mưa trạm. Kết quả hiệu suất mô hình tính toán dòng chảy được đánh giá qua trạm thủy văn Đắk Mốt với hệ số CC (0,83), hệ số KGE và hệ số NSE lần lượt là 0,82 và 0,65 kết quả bộ thông số mô hình được thể hiện qua Bảng 2.

mô hình trong giai đoạn từ năm 2009 đến 2016. Kết quả so sánh mô phỏng và thực đo trong giai đoạn kiểm định được thể hiện trong Hình 6, với các hệ số CC đạt 0,75 hệ số KGE đạt 0,74 và hệ số NSE đạt 0,6.



Hình 6: So sánh lưu lượng tính toán và thực đo trong giai đoạn kiểm định mô hình

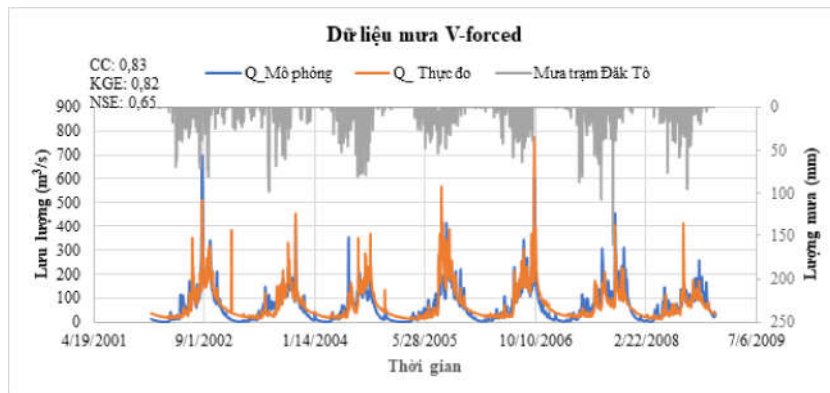
3.2. Đánh giá chất lượng các nguồn mưa vệ tinh

Sau khi hiệu chỉnh và kiểm định mô hình HYPE đã đạt yêu cầu trong việc mô phỏng dòng chảy, nghiên cứu đã sử dụng bộ thông số mô hình này để mô phỏng dòng chảy trên hệ thống sông Sê San từ các nguồn dữ liệu mưa khác nhau. Qua đó phân tích đánh giá lựa chọn nguồn dữ liệu

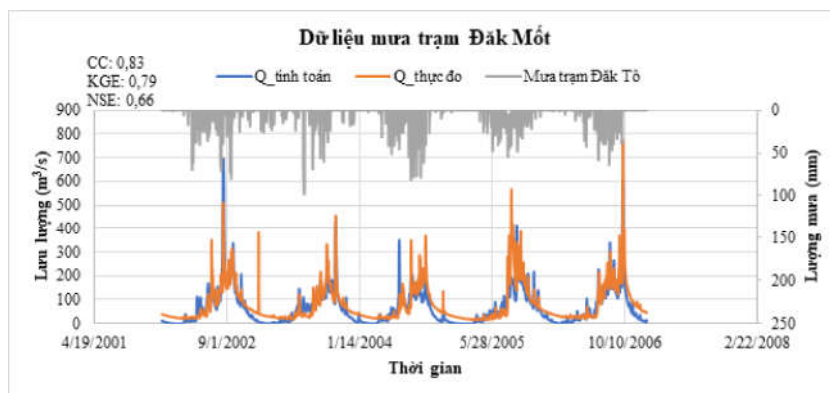
mưa phù hợp nhất với mô hình thủy văn HYPE áp dụng cho vùng nghiên cứu.

Trong nghiên cứu đã lựa chọn khoảng thời gian mô phỏng từ năm 2001 đến 2009 để mô phỏng giá trị dòng chảy trung bình ngày trong nhiều năm (bao gồm dòng chảy mùa lũ và mùa kiệt) để đánh giá chất lượng các nguồn mưa trong các thời kỳ khác nhau.

+ Dữ liệu mưa V-forced

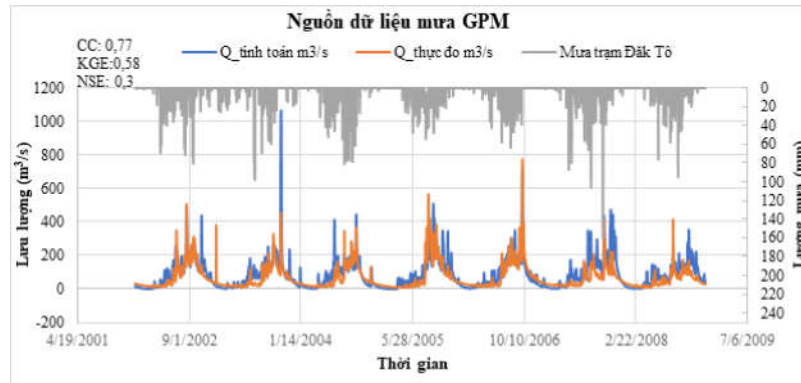


+ Mưa trạm Đắk Mốt

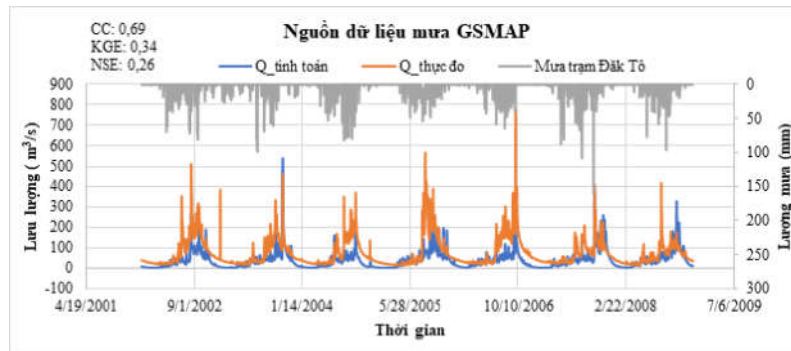


Nghiên cứu

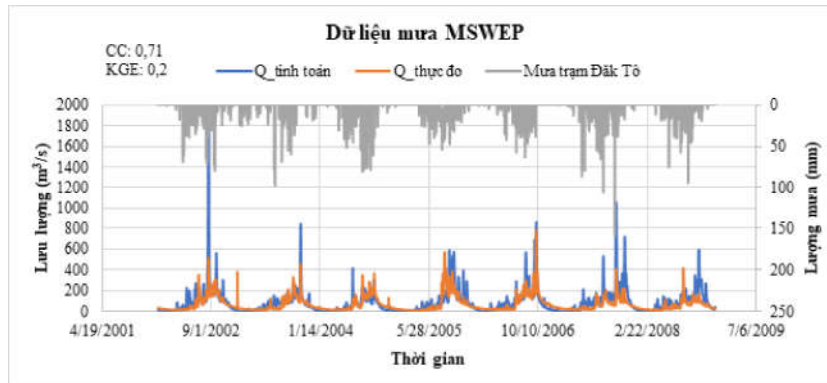
+ Nguồn dữ liệu mưa GPM



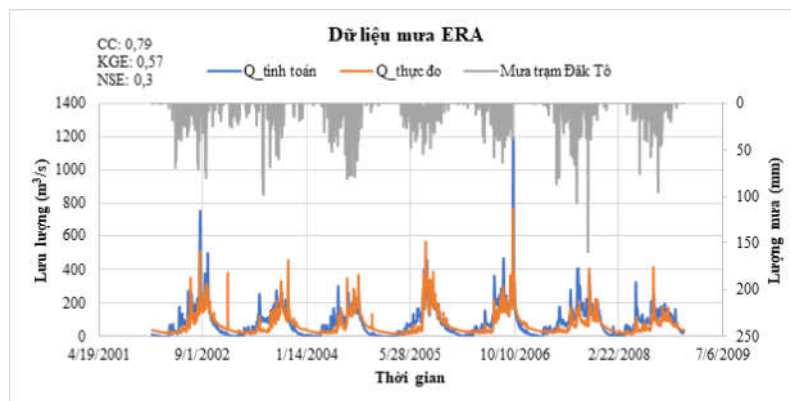
+ Nguồn dữ liệu mưa GMAP



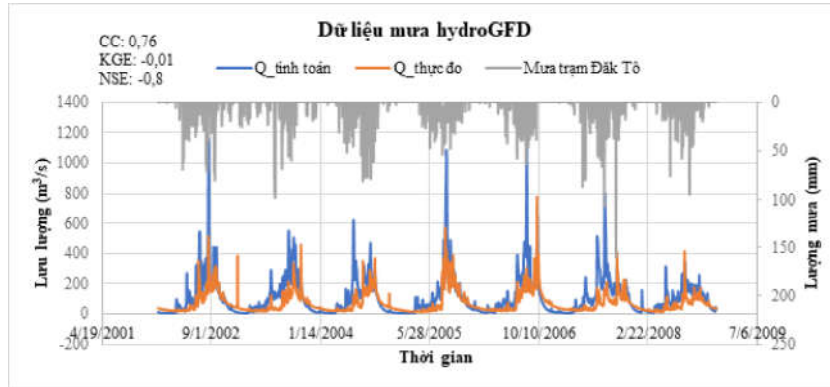
+ Dữ liệu mưa MSWEP



+) Dữ liệu mưa ERA



+) Dữ liệu mưa HydroGFD



Bảng 3. Bảng so sánh các chỉ số đánh giá chất lượng các nguồn mưa vệ tinh

TT	Nguồn mưa	Hệ số CC	Hệ số KGE	Hệ số NSE
1	Mưa Đắk Mốt	0,83	0,79	0,66
2	Mưa V-Forced	0,83	0,82	0,65
3	Mưa_P_ERA	0,79	0,57	0,30
4	Mưa_P_GPM	0,77	0,59	0,30
5	Mưa_GSMAP	0,69	0,34	0,26
6	Mưa_MSWEF	0,71	0,20	-0,53
7	Mưa Hydro GFD	0,76	-0,01	-0,84

Từ kết quả so sánh giá trị lưu lượng tính toán với giá trị thực đo cho thấy nguồn dữ liệu mưa vệ tinh V-force và cho hiệu suất mô phỏng dòng chảy trên lưu vực Sê San là tốt nhất so với các nguồn mưa khác. Các chỉ số đánh giá CC, KGE và NSE đạt giá trị lần lượt là 0,83; 0,82 và 0,65 vượt trội so với các nguồn mưa khác. Trong khi đó nguồn dữ liệu mưa vệ tinh Hydro GFD cho hiệu suất mô phỏng dòng chảy là kém nhất.

4. Kết luận và kiến nghị

4.1. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng được bộ số liệu mô hình thủy văn HYPE mô phỏng quá trình mưa - dòng chảy trên lưu vực sông Sê San và đạt được hiệu suất tương đối tốt trong quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.

Nghiên cứu đã sử dụng các nguồn dữ liệu mưa để đánh giá chất lượng mô

phỏng dòng chảy khu vực nghiên cứu, kết quả nghiên cứu cho thấy với nguồn dữ liệu mưa trạm, mưa V-force và GSMAP cho dòng chảy mô phỏng xu hướng bé hơn so với giá trị lưu lượng thực đo tại trạm Đắk Mốt. Trong khi các nguồn mưa vệ tinh của GSWEF, GPM và hydro GFD cho giá trị lưu lượng mô phỏng xu hướng lớn hơn so với thực đo.

Việc lựa chọn các nguồn mưa khác nhau để mô phỏng dòng chảy ở khu vực nghiên cứu nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho việc tích hợp các nguồn mưa vệ tinh để đưa ra được một giá trị mưa vệ tinh phù hợp và có hiệu suất tốt nhất cho khu vực nghiên cứu. Kết quả mô phỏng cho thấy nguồn mưa vệ tinh V-forced (tích hợp từ các nguồn mưa GPM, GSMAP, MSWEP, ERA5) cho kết quả mô phỏng dòng chảy tốt nhất so với các nguồn mưa vệ tinh đơn lẻ.

Nghiên cứu

Nghiên cứu đã thu thập và xử lý 6 nguồn mưa vệ tinh khác nhau bao gồm (V-forced, ERA, GPM, GSMAP, MSWEP, Hydro GFD) nhằm cung cấp dữ liệu đầu vào cho mô hình thủy văn HYPE để mô phỏng quá trình mưa dòng chảy ở lưu vực sông Sê San. Kết quả nghiên cứu cho thấy với nguồn dữ liệu mưa V-forced là quá trình tích hợp của các nguồn mưa cho hiệu suất mô phỏng dòng chảy trên lưu vực này là tốt nhất so với các nguồn dữ liệu mưa khác.

Mô hình thủy văn HYPE kết hợp với nguồn mưa V-forced đạt hiệu suất trong mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông Sê San là tương đối cao, vì vậy việc sử dụng bộ mô hình này có thể áp dụng cho việc mô phỏng cho những lưu vực thiếu số liệu quan trắc.

4.2. Kiến nghị

Nghiên cứu mới đánh giá các nguồn mưa vệ tinh dựa trên quá trình đánh giá mô phỏng dòng chảy trên lưu vực nghiên cứu mà chưa đề cập đến việc nghiên cứu hiệu chỉnh dữ liệu mưa vệ tinh với mưa trạm đo khu vực nghiên cứu là vùng thiếu dữ liệu quan trắc về khí tượng thủy văn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Kidd, C., Becker, A., Huffman, G.J., Muller, C.L., Joe, P., Skofronick-Jackson, G., & Kirschbaum, D.B., (2017). *So, how much of the Earth's surface is covered by rain gauges?*. Bulletin of the American Meteorological Society, 98, pp. 69 - 78.

[2]. Maggioni, V., Sapiano, M.R., & Adler, R.F., (2016). *Estimating uncertainties in high-resolution satellite precipitation products: Systematic or random error*. Journal of Hydrometeorology, 17, pp. 1119 - 1129.

[3]. Tian, Y., & Peters-Lidard, C.D., (2010). *A global map of uncertainties in*

satellite-based precipitation measurements. Geophysical Research Letters, 37.

[4]. Bùi Tuấn Hải, Nguyễn Văn Tuấn (2018). *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, tr. 17 - 27.

[5]. Beck, H.E., Vergopolan, N., Pan, M., Levizzani, V., van Dijk, A.I., Weedon, G.P., Brocca, L., Pappenberger, F., Huffman, G.J., & Wood, E.F., (2017). *Global-scale evaluation of 22 precipitation datasets using gauge observations and hydrological modeling*. Hydrology and Earth System Sciences, 21, pp. 6201 - 6217.

[6]. Phạm Văn Hưng, Nguyễn Quang Bình, Võ Nguyễn Đức Phước (2021). *Đánh giá khả năng sử dụng các sản phẩm mưa vệ tinh để mô phỏng dòng chảy bằng mô hình thủy văn*. Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, tập 74, tr. 103 - 110.

[7]. Chong Wei, Xiaohua Dong, Yaoming Ma, Jianfeng Gou, Lu Li (2023). *Applicability comparison of various precipitation products of long-term hydrological simulations and their impact on parameter sensitivity*. Journal of Hydrology, 618, pp. 1 - 16.

[8]. Tien L.T. Dua, Hyongki Leea, Duong D. Bui, Berit Arheimer, Hong-Yi Lia, Jonas Olsson (2020). *Streamflow prediction in "geopolitically ungauged" basins using satellite observations and regionalization at a subcontinental scale*. Journal of Hydrology, 588.

[9]. Thao T. P. Bui, Samehahmed Kantoush, Akira Kawamura, Tien L. T. Du, Nuong Thi Bui, René Capell, Ngoc T. Nguyen, Duong Du Bui, Mohamed Saber, Sumi Tetsuya, Hyongki Lee, Ali Saleh, Venkataraman Lakshmi, Alena Bartosova, Doan Van Binh, Binh Quang Nguyen (2023). *Reservoir operation impacts on streamflow and sediment dynamics in the transboundary river basin, Vietnam*. Hydrological Processes, 14994, pp. 1 - 18.