

NGHIÊN CỨU THỬ NGHIỆM CÔNG CỤ DỰ BÁO LŨ CHO CÁC HỒ CHỨA LỚN TRÊN SÔNG ĐÀ

Lê Văn Nghị, Lê Thế Cường, Nguyễn Đăng Giáp,

Nguyễn Hương Trà, Mai Thị Ngân Anh

Phòng thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển

Lê Xuân Cầu

Công ty TNHH K&G Việt Nam

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả vận hành thử nghiệm bộ công cụ dự báo lũ HECFEWS-SongDa để tính toán và dự báo dòng chảy lũ đến các hồ chứa lớn trên lưu vực sông Đà, gồm Sơn La, Hòa Bình, Bản Chát và Huội Quảng. Dữ liệu sử dụng bao gồm mưa thực đo, mưa vệ tinh và dữ liệu quan trắc trong hai mùa lũ 2023 và 2024. Kết quả cho thấy công cụ đảm bảo độ tin cậy với chỉ số NSE đạt mức tốt (0,7-0,82) và sai số đỉnh lũ từ 4,76%-6,48%.

Bộ công cụ tích hợp các mô hình HEC-HMS và HEC-RAS, cho phép dự báo dòng chảy trong 24-72 giờ và tính toán các phương án vận hành hồ chứa. Tuy nhiên, một số hạn chế còn tồn tại do sai số dự báo mưa và tính phức tạp của lưu vực nghiên cứu, ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả tính toán. Công cụ được đánh giá là hữu ích và có thể ứng dụng trong thực tế để đảm bảo an toàn vùng hạ du, đặc biệt là thủ đô Hà Nội.

Từ khóa: Dự báo lũ sông Đà, thủy điện Hòa Bình, thủy điện Sơn La, thủy điện Lai Châu.

Summary: The paper presents the experimental operation results of the HECFEWS-SongDa flood forecasting tool, designed to calculate and predict flood inflows to major reservoirs on the Da River basin, including Son La, Hoa Binh, Ban Chat, and Huoi Quang. The tool utilized observed rainfall, satellite rainfall, and monitoring data during the flood seasons of 2023 and 2024. Results demonstrate the tool's reliability, with NSE values achieving good levels (0.7-0.82) and peak flow errors ranging from 4.76% to 6.48%.

The tool integrates HEC-HMS and HEC-RAS models, enabling flood flow forecasts within a 24-72 hour timeframe and supporting reservoir operation planning. However, limitations remain due to errors in rainfall forecasts and the complexity of the large research basin, which affect flow calculation accuracy. The tool is assessed as practical and ready for real-world application to ensure downstream safety, particularly for Hanoi.

Keywords: Flood forecast of Da river, Hoa Binh hydroelectric reservoir, Son La hydroelectric reservoir, Lai Chau hydroelectric reservoir.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hồ chứa là công trình sử dụng tổng hợp nguồn nước, được xây dựng trên lưu vực sông nhằm điều hòa sự chênh lệch dòng chảy giữa mùa lũ nhiều nước và mùa kiệt ít nước, để khai thác tổng hợp nguồn nước cho mục đích phòng lũ, phát điện, cấp nước và cải tạo môi trường. Hệ thống các hồ chứa trên lưu vực sông có dạng: bậc thang; dạng song song hoặc kết hợp hai

dạng trên. Mỗi hồ chứa trong hệ thống có nhiệm vụ, chức năng riêng, nhưng nên hoạt động mang tính chất liên hồ theo một biểu đồ điều phối chung, có tác động qua lại tương tác với nhau, đồng thời ảnh hưởng tới thượng và hạ du hồ chứa.

Hồ chứa nước mang lại nhiều lợi ích như điều tiết dòng chảy giữa các mùa trong năm, tăng cao lượng nước ngầm cho thượng hạ du, tạo cảnh quan môi trường, phát triển du lịch, giao thông thủy, thủy sản, cải tạo môi trường. Tuy nhiên, hồ chứa nước và hệ thống hồ chứa nước cũng có mặt tiêu cực như: gây biến hình lòng

Ngày nhận bài: 17/12/2024

Ngày thông qua phản biện: 26/02/2025

Ngày duyệt đăng: 20/3/2025

dẫn hạ du, gây bồi lắng lòng hồ, gây suy thoái môi trường nước (như phú dưỡng, thay đổi thành phần loài thủy sinh), gây lũ nhân tạo, có trường hợp dẫn đến suy thoái nguồn nước. Bên cạnh các mặt lợi và hại có thể mang lại hồ chứa và hệ thống hồ chứa còn chứa đựng nhiều hiểm họa có thể xảy ra, trong đó vấn đề mất an toàn đập hồ chứa là một trong những hiểm họa lớn nhất. Theo thống kê của Hội đập lớn thế giới (ICOLD) [1] đến tháng 5 năm 2018 trên thế giới có tổng cộng 322 sự cố vỡ đập trong tổng số 59.017 đập hiện có, chiếm tỷ lệ 0,55% (chỉ thống kê các đập lớn). Riêng ở Việt Nam, theo thống kê của Tổng cục Thủy lợi, tính từ năm 2010 đến tháng 6 năm 2020, trên cả nước đã xảy ra 71 sự cố đập, hồ chứa. Cụ thể, năm 2010 (5 hồ), năm 2011 (5 hồ), năm 2012 (2 hồ), năm 2013 (10 hồ), năm 2014 (1 hồ), năm 2017 (23 hồ, đập), năm 2018 (12 hồ, đập), năm 2019 (11 hồ, đập) [2]. Theo số liệu mới nhất của Bộ Tài nguyên và Môi trường, từ năm 2010 đến nay, cả nước đã xảy ra 75 sự cố vỡ đập, hồ chứa thủy lợi và 14 sự cố mất an toàn đập, hồ chứa thủy điện [3].

Một trong những nguyên nhân chính gây mất an toàn hồ chứa là chất lượng tính toán, dự báo dòng chảy lũ đến hồ chứa chưa cao. Trên thế giới có nhiều nghiên cứu về các phương pháp tính toán, dự báo dòng chảy đến hồ chứa (mùa lũ, mùa cạn), cùng với các phương pháp nghiên cứu là các kết quả được áp dụng từ các phương pháp đó. Đến nay, các nghiên cứu về phương pháp tính toán, dự báo dòng chảy đến hồ chứa vẫn được các nhà khoa học, các tổ chức tiếp tục hoàn thiện từ các phương pháp đã có hoặc phát triển các phương pháp mới nhằm đáp ứng yêu cầu của bài toán trong tình hình có nhiều yếu tố thay đổi. Trong bài báo

này, chúng tôi trình bày kết quả ứng dụng thử nghiệm kết quả nghiên cứu dự báo lũ cho các hồ chứa lớn trên lưu vực sông Đà thuộc địa phận Việt Nam cho hai mùa lũ năm 2023 và 2024 [4].

2. SỐ LIỆU SỬ DỤNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khu vực nghiên cứu

Lưu vực sông Đà là một lưu vực sông liên quốc gia, nằm trong địa phận đất đai của 3 nước Trung Quốc, Lào và Việt Nam với tổng diện tích lưu vực 52.900km². Phần lưu vực nằm ở Việt Nam là: 26.800km² chiếm 50,7% diện tích lưu vực.

Phạm vi nghiên cứu của đề tài trên lãnh thổ Việt Nam chủ yếu tập trung vào các tỉnh, thành phố vùng thượng lưu công trình thủy điện Hòa Bình, bao gồm: Lai Châu, Điện Biên, Sơn La, Hòa Bình. Các hồ chứa lớn trên sông Đà được đề cập trong qui trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Hồng ban hành theo quyết định 740/QĐ-TTg ngày 17/6/2019 của Thủ tướng Chính phủ [5] như bảng Hình 1.



Hình 1: Bản đồ các hồ chứa lớn trên lưu vực sông Đà

Bảng 2: Thống kê các hồ chứa lớn trên sông Đà phần lãnh thổ Việt Nam

TT	Tên thông số	Đơn vị	Lai Châu	Sơn La	Hòa Bình	Bản Chát	Huội Quảng
	Trên sông		Đà	Đà	Đà	Nậm Mu	Nậm Mu
I	Cấp công trình	Cấp	ĐB	ĐB	ĐB	I	I
	Tần suất lũ TK	%	0,01	0,01	0,01	0,1	0,1
II	Lưu vực						
1	Diện tích lưu vực F_{lv}	Km ²	25.432	43.760	51.700	1.929	2.824
2	Lưu lượng bình quân năm Q_0	m ³ /s	854	1532	1800	111,1	158,1
3	Tổng lượng dòng chảy năm W_0	10 ⁶ m ³	26.900	48.320	56.420		

TT	Tên thông số	Đơn vị	Lai Châu	Sơn La	Hòa Bình	Bản Chất	Huội Quảng
III	Hồ chứa						
1	Mức nước dâng bình thường MNDBT	m	295	215	117	475	370
2	Mức nước gia cường - lũ PMF	m	302.95	228.07	122.07		
3	Mức nước gia cường - lũ kiểm tra	m				479,68	
4	Mức nước gia cường - lũ thiết kế	m	297,9	217,83	120,24	477,31	
5	Mức nước chết MNC	m	270	175	80	431	368
6	Dung tích toàn bộ ứng Z đỉnh đập	10^6 m^3	1.215	9.260	9.450	2137,7	184,2
7	Dung tích hữu ích V_{hi}	10^6 m^3	799,7	5.970	5.650	1702,4	16,3
8	Dung tích chết V_c	10^6 m^3	415,4	2756,40	3.800	435,3	167,9
9	Dung tích phòng lũ	10^6 m^3		4.000	3.000		
10	Dung tích gia cường ứng với $P_{TK}0.01\%$	10^6 m^3		634	1042		
11	Dung tích gia cường ứng với $P_{KT}PMF\%$	10^6 m^3		3220	1042		
12	Diện tích mặt hồ F ứng MNDBT	km^2	39,63	224,28	198,30	60,5	8,7
IV	Dòng chảy lũ						
	Lưu lượng đỉnh lũ ứng với tần suất						
	- PMF	m^3/s	27.823	60.000	63.000		
	- $p = 0,01\%$	m^3/s	21.719	47.740	48.540		
	- $p = 0,02\%$	m^3/s			40.690	16.380	
	- $p = 0,1\%$	m^3/s	15.637	28.600	31.300	11.981	
	- $p = 0,2\%$	m^3/s			28.736		
	- $p = 1\%$	m^3/s	11.994	19.590	21.534		

Qua Hình 1 cho thấy tổng dung tích tính đến cao trình đỉnh đập của 05 hồ chứa lớn trên sông Đà là 22,247 tỷ m^3 , nếu chỉ tính dung tích hữu ích là 14,138 tỷ m^3 . Trong đó chỉ có hai hồ chứa lớn nhất là Sơn La và Hòa Bình có dung tích phòng lũ cho hạ du với tổng dung tích là 7 tỷ m^3 theo nhiệm vụ thiết kế, trong đó hồ Sơn La 4 tỷ m^3 và Hòa Bình 3 tỷ m^3 , chiếm khoảng 31,5% tổng dung tích các hồ tính đến cao trình đỉnh đập.

Qua đó thấy rằng việc dự báo dòng chảy và đưa ra phương án vận hành cho hai hồ chứa Sơn La và Hòa Bình là hết sức quan trọng trong công tác đảm bảo an toàn cho vùng hạ du, trong đó có thủ đô Hà Nội. Vì vậy trong phạm vi nghiên cứu của bài báo chúng tôi tập chung đánh giá kết quả tính toán dự báo và vận hành cho hai hồ chứa này thông qua bộ công cụ HECFEWS-SongDa.

2.2. Số liệu sử dụng

2.2.1. Mùa lũ năm 2023:

Trong mùa lũ năm 2023, để dự báo thử nghiệm cho hệ thống hồ chứa trên bậc thang sông Đà, đề tài sử dụng số liệu mưa thực đo

của 3 ngày trước đó kết hợp số liệu mưa dự báo để tiến hành dự báo các thời đoạn cụ thể như sau:

- Số liệu mưa thực đo tại 57 trạm đo mưa tự động Vrain cho lưu vực sông Đà vùng lãnh thổ Việt Nam.
- Số liệu mưa vệ tinh GsMap cho lưu vực sông Đà phần lãnh thổ Trung Quốc.
- Số liệu mưa dự báo từ các mô hình mưa do Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương cung cấp.
- Số liệu lưu lượng đến, lưu lượng xả, mực nước các hồ chứa trên sông Đà được công bố trên trang web của EVN.

2.2.2. Mùa lũ năm 2024:

Đến năm 2024, để cải thiện kết quả dự báo dòng chảy đến các hồ chứa, nhóm nghiên cứu đã cập nhật thêm các trạm đo mưa tự động cụ thể như sau:

- Số liệu mưa thực đo tại 267 trạm đo mưa tự động Vrain cho lưu vực sông Đà vùng lãnh thổ Việt Nam.
- Số liệu mưa vệ tinh GsMap cho lưu vực sông

Đà phân lãnh thổ Trung Quốc.

- Số liệu mưa dự báo từ các mô hình mưa do Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương cung cấp.
- Số liệu lưu lượng đến, lưu lượng xả, mực nước các hồ chứa trên sông Đà được công bố trên trang web của EVN.
- Số liệu mực nước tại trạm thủy văn Pắc Ma (để tính toán, dự báo dòng chảy đến Pắc Ma).

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp dự báo, vận hành hồ chứa

Trong thực tế việc dự báo dòng chảy lũ đến các hồ chứa để đưa ra các phương án vận hành hồ chứa, nhận định các thông tin về hiện trạng công trình và các thông tin về lũ là vô cùng quan trọng. Các thông tin bao gồm:

- Thông tin hiện trạng và năng lực chống lũ của công trình: Mực nước hiện tại của hồ chứa, khả năng tích nước và cắt lũ cho hạ du, khả năng vận hành các công trình xả lũ nhằm đảm bảo an toàn công trình;
- Thông tin về lượng mưa, thông tin về lũ bao gồm cả hiện trạng và các thông tin dự báo.

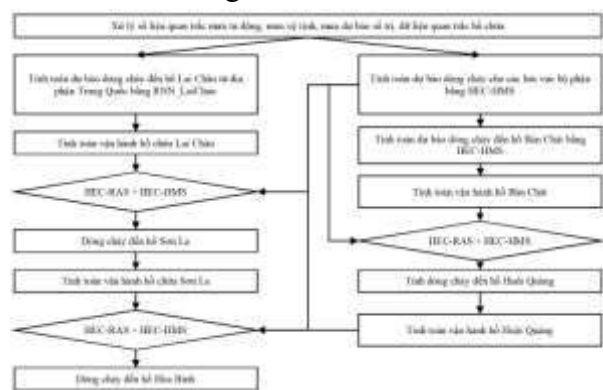
Trong đề tài: “Nghiên cứu xây dựng phương pháp, công nghệ tính toán, dự báo dòng chảy lũ đến các hồ chứa trên lưu vực sông Đà”, mã số: 14/21/HĐ-ĐTĐL.CN-CNN, do Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển thực hiện đã xây dựng bộ công cụ HECFEWS-SongDa dự báo dòng chảy lũ đến hồ chứa lưu vực sông Đà được đề tài xây dựng đáp ứng các yêu cầu về thông tin cần cung cấp cho các chủ hồ và các cơ quan chức năng, là một công cụ hữu ích hỗ trợ ra quyết định vận hành hồ chứa trên bậc thang sông Đà và cung cấp các thông tin về dòng chảy lũ khi vận hành hồ chứa chống lũ và đảm bảo an toàn hạ du. Bộ công cụ bao gồm các thành phần như sau:

1. Mô đun lưu trữ và xử lý dữ liệu phục vụ cho tính toán, dự báo và vận hành hồ chứa trong thời kỳ mùa lũ;
2. Các mô đun tính toán, dự báo lượng nước đến từ địa phận Trung Quốc về hồ chứa Lai Châu với thời gian dự kiến từ 24h ÷ 72h;
3. Các mô đun tính toán, dự báo lượng nước

đến các hồ chứa Sơn La, Hòa Bình trên lưu vực sông Đà với thời gian dự kiến 24h÷72h. Bộ công cụ và các giải pháp công nghệ hỗ trợ tính toán, dự báo lưu lượng lũ đến các hồ chứa Bản Chát, Huội Quảng, Lai Châu, Sơn La và Hòa Bình hỗ trợ ra quyết định vận hành an toàn hồ chứa với thời gian tính toán ≤ 60 phút

4. Tính toán các kịch bản lũ đến hồ chứa Lai Châu, Sơn La, Hòa Bình đảm bảo vận hành an toàn công trình và an toàn chống lũ hạ du.

Quy trình vận hành thử nghiệm bộ công cụ HECFEWS-SongDa được thực hiện theo sơ đồ như thể hiện trong Hình 2.



Hình 2: Sơ đồ tính toán dự báo và vận hành hồ chứa

2.3.2. Phương pháp đánh giá kết quả dự báo

Kết quả tính toán dự báo dòng chảy lũ đến hồ thường được thường sử dụng 03 chỉ số để đánh giá chất lượng của mô hình so với số liệu quan trắc thực tế bao gồm: NSE, RSR và PBIAS. Tiêu chí đánh giá chất lượng cho các chỉ số được trình bày trong 0.

Nash và Sutcliffe (NSE) (1970) là phương pháp phổ biến và đáng tin cậy nhất để đánh giá chất lượng của các mô hình thủy văn, thủy lực. Chỉ số NSE được tính toán theo công thức 1. Các giá trị NSE nằm trong khoảng từ 0 đến 1. Một sự phù hợp tốt nhất được biểu thị bằng giá trị 1 trong khi 0 biểu thị sự phù hợp kém. Andersen và cộng sự (2001) đã chỉ ra rằng NSE trong khoảng từ 0,5 đến 0,95 thể hiện kết quả mô phỏng tốt. Hiện nay trong các nghiên cứu đánh giá mô hình thủy văn, thủy lực việc sử dụng chỉ tiêu NSE như là một công cụ phổ biến trong hầu hết các nghiên cứu.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{iTD} - Q_{iTT})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{iTD} - \bar{Q}_{TD})^2} \quad (1)$$

Tỉ số độ lệch quan trắc tiêu chuẩn RMSE-observations standard deviation ratio (RSR) là một sai số thống kê giúp bình thường hóa RMSE với độ lệch chuẩn của dòng chảy thực đo. Tỉ số độ lệch quan trắc tiêu chuẩn được tính theo công thức 2.

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_i^{TD} - Q_i^{TT})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_i^{TD} - \bar{Q}_{TD})^2}} \quad (2)$$

Trong đó:

Q_{iTT} : Lưu lượng tính toán (m^3/s)

Q_{iTD} : Lưu lượng thực đo (m^3/s)

$\bar{Q}_{TD}$: Lưu lượng thực đo trung bình (m^3/s)

Bảng 3: Bảng tiêu chí đánh giá chất lượng mô hình theo các chỉ số

Đánh giá	RSR	NSE
Rất tốt	$0 \leq RSR \leq 0,5$	$0,75 < NSE \leq 1$
Tốt	$0,5 \leq RSR \leq 0,6$	$0,65 < NSE \leq 0,75$
Đạt yêu cầu	$0,6 \leq RSR \leq 0,7$	$0,5 < NSE \leq 0,65$
Không đạt	$RSR > 0,7$	$NSE \leq 0,5$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

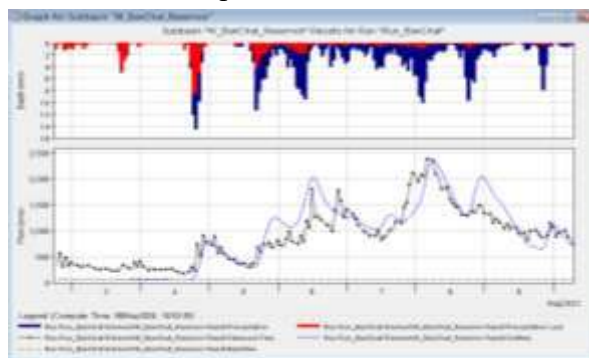
3.1. Đánh giá bộ công cụ cho trận lũ tháng 8 năm 2023

Năm 2023 là năm đầu tiên vận hành thử nghiệm, nhóm thực hiện đề tài tập chung vào công tác thử nghiệm các tính năng của bộ công cụ.

- Công tác thử nghiệm tập chung vào sửa lỗi kết nối giữa các mô đun xử lý dữ liệu quan trắc mưa thực đo, xử lý dữ liệu mưa dự báo, kết nối số liệu đo mưa vệ tinh, kết nối và xử lý dữ liệu quan trắc của hồ chứa;

- Sau khi thử nghiệm để sửa lỗi, cải tiến tính năng của bộ công cụ, chúng tôi lựa chọn trận lũ lớn trong năm để đánh giá kết quả dự báo. Năm 2023 trên lưu vực sông Đà xảy ra ít trận mưa, lũ lớn, nhóm nghiên cứu lựa chọn trận lũ diễn ra từ ngày 01/8/2023 đến ngày 10/8/2023 để kiểm tra kết quả dự báo, trên cơ sở so sánh

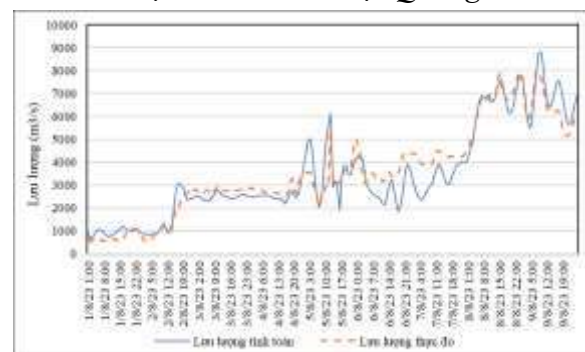
số liệu thực đo và tính toán dòng chảy lũ cho các hồ được kết quả như sau:



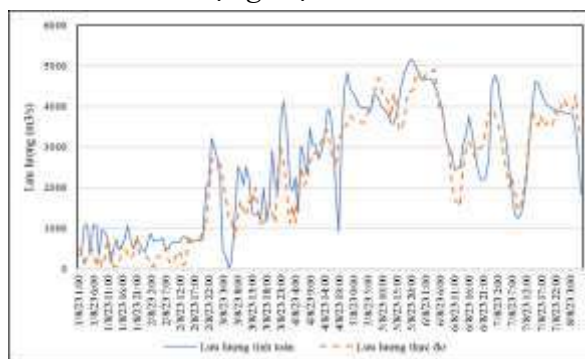
Hình 3: So sánh lưu lượng tính toán với thực đo lưu vực hồ Bản Chát



Hình 4: So sánh dòng chảy tính toán và thực đo đến hồ Huội Quảng



Hình 5: Kết quả so sánh lưu lượng tính toán và lưu lượng thực đo hồ Sơn La



Hình 6: Kết quả so sánh lưu lượng tính toán

và lưu lượng thực đo hồ Hòa Bình

Bảng 4: Bảng so sánh kết quả tính toán và thực đo cho trận lũ tháng 8 năm 2023

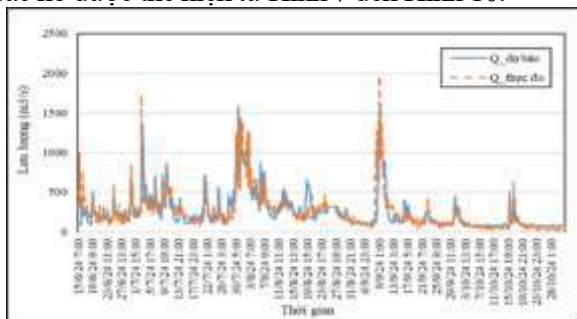
Hồ chứa	Kết quả	Q _{max} (m ³ /s)	Sai số đỉnh (%)	Thời gian xuất hiện đỉnh	Chênh lệch (phút)
Bản Chất	Thực đo	2404,4	1,34	08/08/2023 05:00	60
	Tính toán	2372		08/08/2023 06:00	
Huội Quảng	Thực đo	2127,3	10,01	08/08/2023 22:00	0
	Tính toán	2341,9		08/08/2023 22:00	
Sơn La	Thực đo	8008,5	6,48	09/08/2023 08:00	60
	Tính toán	8527,79		09/08/2023 09:00	
Hòa Bình	Thực đo	4923	4,76	06/08/2023 04:00	60
	Tính toán	5157,41		06/08/2023 03:00	

Từ kết quả sánh với số liệu thực đo, có thể thấy các kết quả thu được cho thấy sai số lưu lượng vào hồ cơ bản đáp ứng được yêu cầu đề ra.

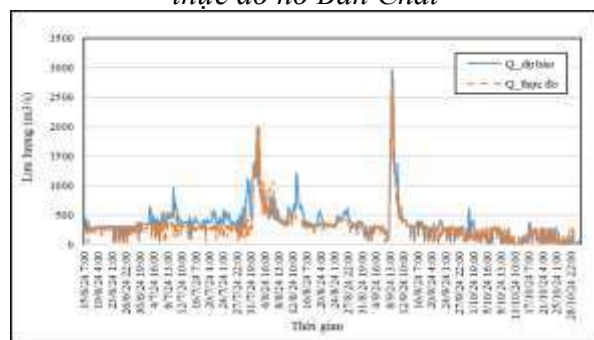
Đánh giá chỉ tiêu NASH mô hình HEC-HMS cho lưu vực hồ Bản Chất đạt 0,8, Huội Quảng đạt 0,7 là chấp nhận được để sử dụng dự báo dòng chảy đến hồ. Kết quả kiểm định so sánh với thực đo, chỉ số NSE đạt 0,82 cho hồ Sơn La ở mức khá tốt. Đường quá trình lũ thực đo và tính toán lưu lượng đến hồ Sơn La đều có xu thế lũ lên và lũ xuống tương đối đồng pha với nhau. Sai số đỉnh lũ giữa thực đo 8008,5 m³/s và lũ tính toán 8527,79 m³/s là 6,48% cho trận lũ tháng 8/2023. Vì vậy cho thấy mạng thủy lực 1D diễn toán lũ đến hồ Sơn La với bộ thông số trên đây có đủ độ tin cậy để ứng dụng cho dự báo dòng chảy đến hồ. Kết quả đánh giá cho hồ Hòa Bình, chỉ số NSE đạt 0,77 ở mức tốt. Đường quá trình lũ thực đo và tính toán lưu lượng đến hồ Hòa Bình đều có xu thế lũ lên và lũ xuống tương đối đồng pha với nhau. Sai số đỉnh lũ giữa thực đo 4923 m³/s và lũ tính toán 5157,41 m³/s là 4,76% cho trận lũ tháng 8/2023.

3.2. Đánh giá bộ công cụ cho mùa lũ năm 2024

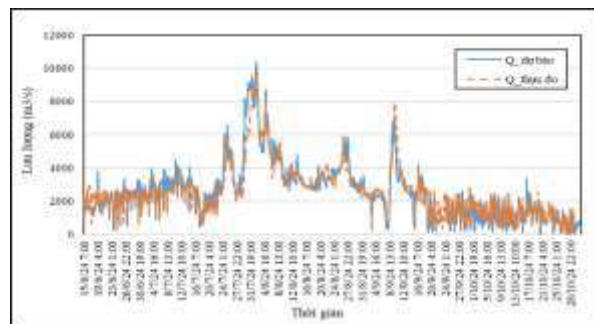
Năm 2024 chúng tôi tiến hành thử nghiệm bộ công cụ cho thời gian mùa lũ từ 15/6/2024 đến hết 31/10/2024, kết quả so sánh cho toàn bộ mùa lũ cho các hồ được thể hiện từ Hình 7 đến Hình 10.



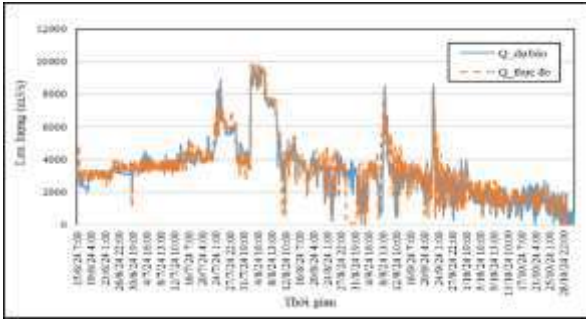
Hình 7: So sánh lưu lượng dự báo với thực đo hồ Bản Chất



Hình 8: So sánh lưu lượng dự báo với thực đo hồ Huội Quảng



Hình 9: So sánh lưu lượng dự báo và thực đo mùa lũ 2024 hồ Sơn La



Hình 10: So sánh lưu lượng dự báo và thực đo mùa lũ 2024 hồ Hòa Bình

Bảng 5: Kết quả hiệu chỉnh mô hình dòng chảy trận lũ 23-26/07/2024

Chỉ tiêu đánh giá	Bản Chất			Huội Quảng			Sơn La			Hòa Bình		
	24h	48h	72h	24h	48h	72h	24h	48h	72h	24h	48h	72h
Chỉ số Nash	0,48	0,58	0,67	0,85	0,73	0,74	0,97	0,40	0,92	0,60	0,61	0,62
RSR	0,7	0,7	0,6	0,4	0,5	0,5	0,2	0,8	0,3	0,6	0,6	0,6
Sai số đỉnh	-31,9	0,9	0,9	-19,8	-27,5	-12,0	2,2	2,2	2,2	-834,4	294,7	294,7
% Sai số đỉnh	7,4	0,2	0,2	5,7	7,7	3,3	0,5	0,5	0,5	11,8	3,4	3,4

Bảng 6: Kết quả hiệu chỉnh mô hình dòng chảy trận lũ 03-06/08/2024

Chỉ tiêu đánh giá	Bản Chất			Huội Quảng			Sơn La			Hòa Bình		
	24h	48h	72h	24h	48h	72h	24h	48h	72h	24h	48h	72h
Chỉ số Nash	0,84	0,37	0,67	0,24	0,45	0,62	-1,32	0,75	0,74	-0,03	0,29	0,69
RSR	0,4	0,8	0,6	1,0	0,7	0,6	1,5	0,5	0,5	1,0	0,8	0,5
Sai số đỉnh	-61,2	-61,2	-61,2	-136,1	-136,1	-136,1	-127,0	-6,0	-6,0	-51,1	-51,1	-51,1
% Sai số đỉnh	7,7	7,7	7,7	10,8	10,8	10,8	2,0	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5

Bảng 7: Kết quả hiệu chỉnh mô hình dòng chảy trận lũ 07-10/08/2024

Chỉ tiêu đánh giá	Bản Chất			Huội Quảng			Sơn La			Hòa Bình		
	24h	48h	72h	24h	48h	72h	24h	48h	72h	24h	48h	72h
Chỉ số Nash	0,82	0,74	0,68	0,63	0,61	0,62	-12,3	-1,17	0,67	-12,3	-4,96	0,74
RSR	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	3,7	1,5	0,6	3,7	2,4	0,5
Sai số đỉnh	-29,4	-29,4	-29,4	-52,7	-52,7	-52,7	153,2	-104,6	-104,6	-26,5	-26,5	-26,5
% Sai số đỉnh	4,8	4,8	4,8	8,6	8,6	8,6	3,2	1,9	1,9	0,3	0,3	0,3

Bảng 8: Kết quả hiệu chỉnh mô hình dòng chảy trận lũ 13-16/08/2024

Chỉ tiêu đánh giá	Bản Chất			Huội Quảng			Sơn La			Hòa Bình		
	24h	48h	72h	24h	48h	72h	24h	48h	72h	24h	48h	72h
Chỉ số Nash	0,64	0,64	0,68	0,97	0,40	0,92	0,65	0,89	0,93	0,34	0,67	0,68
RSR	0,6	0,7	0,6	0,2	0,8	0,3	0,6	0,3	0,3	0,8	0,6	0,6
Sai số đỉnh	12,2	12,2	12,2	2,2	2,2	2,2	-5,6	-5,6	-5,6	212,4	-59,4	-59,4
% Sai số đỉnh	2,5	2,5	2,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	4,5	1,1	1,1

Bảng 9: Kết quả hiệu chỉnh mô hình dòng chảy trận lũ 08-11/09/2024

Chỉ tiêu đánh giá	Bản Chất			Huội Quảng			Sơn La			Hòa Bình		
	24h	48h	72h	24h	48h	72h	24h	48h	72h	24h	48h	72h
Chỉ số Nash	0,64	0,62	0,76	0,94	0,86	0,89	0,58	0,86	0,82	0,22	0,46	0,68
RSR	0,6	0,6	0,5	0,3	0,4	0,3	0,7	0,4	0,4	0,9	0,7	0,6
Sai số đỉnh	66,1	66,1	66,1	100,7	100,7	100,7	867,5	6,0	6,0	1759,0	1759,0	1759,0

% Sai số đỉnh	3,4	3,4	3,4	3,6	3,6	3,6	17,5	0,1	0,1	11,1	11,1	11,1
---------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	------	------	------

Bảng 10: Kết quả hiệu chỉnh mô hình dòng chảy trận lũ 21-24/09/2024

Chỉ tiêu đánh giá	Bản Chất			Huội Quảng			Sơn La			Hòa Bình		
	24h	48h	72h	24h	48h	72h	24h	48h	72h	24h	48h	72h
Chỉ số Nash	-1,94	0,78	0,66	0,89	0,92	0,92	0,60	0,47	0,67	-0,13	0,66	0,60
RSR	1,7	0,5	0,6	0,3	0,3	0,3	0,6	0,7	0,6	1,1	0,6	0,6
Sai số đỉnh	-23,5	-70,8	-70,8	-13,5	9,2	-22,5	-76,4	-76,4	31,7	-426,6	195,9	195,9
% Sai số đỉnh	10,2	17,0	17,0	4,4	3,0	6,6	3,5	3,5	1,3	12,2	2,3	2,3

3.2.1. Đánh giá về chỉ số Nash (NSE):

- Hồ Bản Chất: NSE dao động từ -1,94 đến 0,84.

+ Một số trận lũ có kết quả tốt ($NSE \geq 0,6$) như 23-26/07/2024 và 13-16/08/2024.

+ Trận lũ 21-24/09/2024 cho thấy kết quả rất kém ($NSE = -1,94$).

- Hồ Huội Quảng: NSE ổn định hơn, dao động từ 0,24 đến 0,97, với nhiều kết quả tốt ($NSE \geq 0,7$), đặc biệt trong trận lũ 13-16/08/2024.

- Hồ Sơn La: NSE biến động lớn (-12,3 đến 0,93). Một số trận lũ có kết quả rất kém (NSE âm), như trận 07-10/08/2024.

- Hồ Hòa Bình: NSE trong khoảng từ -12,3 đến 0,68. Một số trận cho kết quả không đạt yêu cầu.

3.2.2. Đánh giá chỉ số RSR

- Hồ Bản Chất: RSR dao động từ 0,4 đến 1,7. Nhiều trận lũ có kết quả RSR cao ($>0,7$), đặc biệt trận 21-24/09/2024 ($RSR = 1,7$).

- Hồ Huội Quảng: RSR chủ yếu dưới 0,7, cho thấy sai số trong phạm vi chấp nhận được.

- Hồ Sơn La: RSR biến động mạnh (0,2 - 3,7). Một số trận lũ có sai số lớn ($RSR > 1,0$), như trận 07-10/08/2024.

- Hồ Hòa Bình: RSR dao động từ 0,5 đến 1,1. Sai số còn cao ở một số trận lũ.

3.2.3. Sai số đỉnh (%)

- Hồ Bản Chất: Sai số đỉnh dao động từ 2,5% đến 17%. Các trận lũ như 23-26/07/2024 và 08-11/09/2024 có sai số khá lớn (17%).

- Hồ Huội Quảng: Sai số đỉnh từ 0,5% đến 10,8%, kết quả nhìn chung khả quan.

- Hồ Sơn La: Sai số đỉnh biến động mạnh (0,1% - 17,5%). Trận lũ 08-11/09/2024 có sai số lớn (17,5%).

- Hồ Hòa Bình: Sai số đỉnh từ 0,3% đến 12,2%. Một số trận lũ vẫn còn sai số cao.

Kết quả đánh giá cho thấy mô hình dự báo đạt độ chính xác tốt tại một số hồ như Huội Quảng, trong khi hồ Sơn La và Hòa Bình vẫn tồn tại sai số lớn ở một số trận lũ. Hồ Bản Chất có tính ổn định trung bình nhưng sai số vẫn cần cải thiện. Sai số chủ yếu xuất phát từ chất lượng dự báo lượng mưa đầu vào và đặc tính thủy văn phức tạp của lưu vực.

4. KẾT LUẬN

Qua tính toán, vận hành thử nghiệm cho hai mùa lũ năm 2023 và 2024, chúng tôi đã hoàn thiện bộ công cụ về mặt công nghệ đồng thời hiệu chỉnh bộ mô hình dự báo dòng chảy lũ đến các hồ chứa lưu vực sông Đà và thu được một số kết quả bao gồm:

1. Bộ mô hình toán có khả năng tính toán dự báo lũ đến hồ chứa, mô phỏng quá trình vận hành công trình, diễn toán dòng chảy lũ đến các hồ chứa trên bậc thang sông Đà.

2. Phần mềm kết nối, quản lý và vận hành hệ thống mô hình toán hoạt động liên hoàn, dễ sử dụng và có tính ứng dụng cao. Các kết quả ứng dụng thử nghiệm và kiểm thử bộ công cụ cho thấy mức độ ổn định, dễ sử dụng và sẵn sàng để thực hiện các nhiệm vụ trong điều hành

thực tế.

3. Vận hành thử nghiệm với hai mùa lũ 2023 và 2024, hiệu chỉnh bộ thông số phù hợp với điều kiện thủy văn thực tế, tuy nhiên còn một số tồn tại như kết quả dự báo dòng chảy đến hồ Lai Châu, Hòa Bình còn sai số khá lớn, nguyên nhân là do kết quả dự báo dòng chảy phụ thuộc lớn vào chất lượng dự báo lượng mưa, trong khi số liệu dự báo mưa còn nhiều

sai số, đặc biệt đối với các lưu vực lớn.

LỜI CẢM ƠN: Bài báo được tác giả viết là một phần kết quả nghiên cứu của đề tài cấp Nhà nước: “*Nghiên cứu xây dựng phương pháp, công nghệ tính toán, dự báo dòng chảy lũ đến các hồ chứa trên lưu vực sông Đà*”, mã số: 14/21/HĐ-ĐTĐL.CN-CNN. Chúng tôi cảm ơn Bộ Khoa học và Công nghệ đã tài trợ kinh phí cho chúng tôi thực hiện đề tài này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] International Commission on Large Dams, "ICOLD Incident database - Bulletin 99 update: Statistical analysis of dam failures," 2019.
- [2] “Kinh tế và Đô thị,” 15 07 2020. [Trực tuyến]. Available: <https://kinhtedothi.vn/tong-cuc-thuy-loi-ly-giai-nguyen-nhan-71-su-co-ho-dap-xay-ra-trong-10-nam-qua.html>. [Đã truy cập 16 12 2024].
- [3] “Dân tộc và Phát triển,” 03 06 2024. [Trực tuyến]. Available: <https://baodantoc.vn/tiem-an-nguy-co-mat-an-toan-ho-dap-1717386368120.htm>. [Đã truy cập 16 12 2024].
- [4] L. T. Cường, N. Đ. Giáp, N. H. Tra, M. T. N. Anh và L. X. Cầu, “Chuyên đề vận hành thử nghiệm bộ công cụ tính toán, dự báo dòng chảy lũ đến các hồ chứa trên lưu vực sông Đà,” Hà Nội, 2024.
- [5] *Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Hồng, gồm các hồ: Sơn La, Hòa Bình, Thác Bà, Tuyên Quang, Lai Châu, Bản Chát và Huội Quảng. Ban hành theo Quyết định số 740/QĐ-TTg ngày 17 tháng 6 năm 2019 của Thủ tướng Chính phủ*, 2019.
- [6] H. V. Gupta, S. Sorooshian and P. O. Yapo, "A systematic method of validation for hydrologic models," *Water Resources Research*, vol. 35, no. 2, pp. 519-528, 1999.