

Bài báo khoa học

## Dự báo dòng chảy dựa vào mô hình toàn cầu và khu vực tổ hợp phân giải cao dự báo lũ trên lưu vực sông Thao giai đoạn 2022-2023

Trần Anh Đức<sup>1</sup>, Phùng Tiên Dũng<sup>1</sup>, Đặng Đình Quân<sup>1</sup>, Hoàng Gia Nam<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Như Quỳnh<sup>1</sup>, Phạm Trường Giang<sup>1</sup>, Phạm Mỹ Linh<sup>1</sup>, Mai Khánh Hưng<sup>1</sup>, Dư Đức Tiến<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; ducbarca88@gmail.com; ptdung77@gmail.com; quandangdin.92@gmail.com; namhoangkt95@gmail.com; quynh.ntn.1984@gmail.com; phtrgiang@gmail.com; linhpm250595@gmail.com; maikhanhhung18988@gmail.com; duductien@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: ducbarca88@gmail.com; Tel.: +84-916106558

Ban biên tập nhận bài: 30/10/2024; Ngày phản biện xong: 20/12/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2025

**Tóm tắt:** Nghiên cứu áp dụng hệ thống đồng hóa tổ hợp dựa trên bộ lọc chuyển dạng địa phương Kalman (*LETKF - Local Ensemble Transformation Kalman Filter*) phát triển cho mô hình khu vực WRF-ARW và kết hợp với dự báo phân giải cao (1km × 1km, kí hiệu LETKF\_WRF-1km) để tăng cường chất lượng dự báo mưa cho các lưu vực trên lãnh thổ Việt Nam. Nghiên cứu trình bày các kết quả dự báo dòng chảy bằng mô hình thủy văn cho lưu vực sông Thao với đầu vào từ số liệu dự báo của mô hình toàn cầu của Châu Âu (IFS), Mỹ (GFS), Nhật Bản (GSM) và phân giải cao (LETKF\_WRF-1km) cho các đợt lũ điển hình trong năm 2022 và 2023.

**Từ khóa:** Dự báo dòng chảy; Lưu vực sông thao; Dự báo mưa mô hình số trị.

### 1. Mở đầu

Thông tin dự báo định lượng về mưa và đặc biệt là mưa lớn cực đoan trên lãnh thổ Việt nam sẽ cho phép tăng cường dự báo chính xác hơn về thủy văn (cảnh báo lũ, lũ quét, dòng chảy, sạt lở đất...) và qua đó tăng cường công tác phòng chống thiên tai giảm nhẹ thiệt hại do mưa lớn, lũ quét gây ra. Trong dự báo nghiệp vụ, vấn đề dự báo mưa, đặc biệt dự báo định lượng mưa QPF (*Quantitative Precipitation Forecast*) là một bài toán vô cùng phức tạp không chỉ ở Việt Nam, mà còn của nhiều nước có nền khoa học công nghệ tiên tiến như Hoa Kỳ, Đức, Nhật Bản [1, 2].

Bên cạnh phương pháp Synop truyền thống cho dự báo mưa định tính, các phương pháp thống kê và phương pháp số (gọi tắt là mô hình số hay *NWP - Numerical Weather Prediction*) dự báo QPF đã được phát triển từ những năm 50 của thế kỷ trước và đến nay đã trở thành phương pháp dự báo QPF chính thống tại nhiều trung tâm dự báo lớn trên thế giới. Với những phát triển trong công nghệ tính toán hiệu năng cao đã cho phép ứng dụng NWP ở quy mô không gian rất nhỏ, đặc biệt trên các lưu vực sông ứng dụng trong lĩnh vực thủy văn. Để nâng cao độ chính xác của trường ban đầu cho các NWP là phương pháp đồng hóa số liệu trong đó thực hiện những phân tích tối ưu lại trường ban đầu từ số liệu thám sát bổ sung ở quy mô địa phương qua đó giảm thiểu được tối đa những phát sinh do sai số ban đầu gây ra [3-6].

Tại Việt Nam, bên cạnh các mô hình toàn cầu GSM của Cơ quan khí tượng Nhật Bản (JMA) và GFS của Trung tâm Dự báo môi trường quốc gia Hòa Kỳ (NCEP), được sự đầu tư

*Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2025**, 773, 75-87; doi:10.36335/VNJHM.2025(773).75-87 <http://tapchikttv.vn/>

của Bộ Tài Nguyên và Môi Trường, từ cuối năm 2011, Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia đã thu nhận dữ liệu dự báo gốc từ Trung tâm Dự báo hạn vừa Châu Âu với độ phân giải theo chiều ngang 14 km cho mô hình tất định IFS và 28 km cho hệ thống dự báo tổ hợp, hạn dự báo đến 10 ngày. Hiện tại, độ phân giải của IFS xấp xỉ 9 km và đây là một trong những mô hình quy mô toàn cầu có độ tin cậy cao nhất về dự báo các yếu tố khí tượng hiện nay theo hầu hết các nghiên cứu và đánh giá trên thế giới. Ngoài các hệ thống mô hình khu vực trước đây ứng dụng tại Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia như HRM, COSMO của Cơ quan khí tượng liên bang Đức (DWD), mô hình WRF-ARW đã được ứng dụng trong nghiệp vụ từ năm 2005 (trong hệ thống dự báo tổ hợp hạn ngắn SREPS, độ phân giải 16 km). Trong khuôn khổ Dự án “Tăng cường hệ thống dự báo thời tiết và cảnh báo sớm” do Ngân hàng thế giới tài trợ, hệ thống tính toán đã được nâng cấp lên siêu máy tính CrayXC40 từ cuối năm 2018, mô hình WRF-ARW phiên bản 3.9.1.1 đã được thiết lập chạy nghiệp vụ với độ phân giải ngang là 3km x 3km sử dụng điều kiện biên từ mô hình IFS (độ phân giải 9km) với miền tính bao phủ toàn bộ lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông, thời gian tích phân dự báo hạn 72 giờ sử dụng toàn bộ năng lực của hệ thống (~ 70-80Tflops) hết 45 phút [1]. Trong nghiên cứu [1] cũng đã đưa ra các kết quả đánh giá kết quả dự báo mưa của mô hình IFS, WRF3kmIFS và WRF3kmIFS-DA trong năm 2020 cho khu vực Việt Nam và chi tiết cho khu vực Bắc Bộ (khu vực chứa lưu vực sông Thao) cho thấy khả năng tăng cường kỹ năng dự báo của các mô hình phân giải cao WRF3kmIFS đặc biệt ở các phân cấp mưa lớn trên 20 mm/24h và các ngưỡng lớn (50 mm và 100 mm) so với hệ thống toàn cầu IFS. Bên cạnh đó, việc bổ sung quá trình đồng hóa số liệu cũng cho phép tăng được khả năng phát hiện hiện tượng mưa cực trị hơn so với IFS và WRF3kmIFS.

Đối với hạn dài hơn đến 10 ngày, việc các thông tin điều kiện biên từ các mô hình toàn cầu chứa nhiều sai số lớn sẽ dẫn tới sản phẩm QPF cực đoan ở hạn đến 10 ngày có sai số rất lớn và chủ yếu được khai thác trực tiếp từ các mô hình quy mô toàn cầu. Gần đây, hướng tiếp cận kết hợp hạ quy mô phân giải cao từ các thành phần chính (control) hoặc trung bình (mean) từ các hệ thống dự báo tổ hợp trong đó không gian nghiệm của hệ dự báo tổ hợp được cập nhật phù hợp với quan trắc có được sao cho phù sát nhất với không gian nghiệm thực tế là tiền đề cho việc triển khai các hệ thống tăng cường chất lượng dự báo mưa hạn đến 10 ngày [4].

Mục tiêu của nghiên cứu là việc ứng dụng hệ thống đồng hóa tổ hợp dựa trên bộ lọc chuyển dạng địa phương Kalman (LETKF - *Local Ensemble Transformation Kalman Filter*) phát triển cho mô hình khu vực WRF-ARW và kết hợp với dự báo phân giải cao (1km x 1km, kí hiệu LETKF\_WRF-1km) để tăng cường chất lượng dự báo mưa cho các lưu vực trên lãnh thổ Việt Nam. Nghiên cứu trình bày các kết quả dự báo dòng chảy bằng mô hình thủy văn MIKE-NAM cho lưu vực sông Thao với đầu vào từ số liệu dự báo của mô hình toàn cầu của Châu Âu (IFS), Mỹ (GFS), Nhật Bản (GSM) và phân giải cao (LETKF\_WRF-1km) cho một số đợt lũ điển hình trong năm 2022 và 2023.

## 2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu sử dụng

### 2.1. Hệ thống dự báo khí tượng LETKF\_WRF-1km

Nghiên cứu áp dụng hệ thống đồng hóa tổ hợp dựa trên bộ lọc chuyển dạng địa phương Kalman (LETKF) phát triển cho mô hình khu vực WRF-ARW [3, 4, 6]. Để mở rộng, nghiên cứu đã nâng cấp sử dụng hệ thống mô hình khu vực WRF với nhân động lực ARW phiên bản 3.9.1.1 do Trung tâm dự báo môi trường quốc gia Mỹ (NCEP) phát triển (gọi tắt là WRF-ARW). Để tạo ra dự báo tổ hợp (ensemble) nghiên cứu dựa trên việc thay đổi các lựa chọn vật lý trong mô hình WRF-ARW gồm: (a) Sơ đồ tham số hóa đối lưu: sơ đồ Kain-Fritsch (KF) hoặc Betts-Miller-Janjic (BMJ); (b) Sơ đồ bức xạ sóng ngắn Goddard hoặc Dudhia; (c) Sơ đồ tham số hóa lớp biên của Yonsei University (YSU) hoặc Mellor-Yamada-Janjic (MYJ), (d) Sơ đồ vi vật lý mây từ đơn giản đến phức tạp gồm sơ đồ Lin, WSM3, WSM5 đến WSM6 (khép kín 6 bậc). Dự báo trung bình tổ hợp sẽ được sử dụng làm điều kiện biên cho dự báo

phân giải cao 1km trên từng lưu vực nghiên cứu. Một số nghiên cứu ứng dụng mô hình WRF-ARW cho khu vực Việt Nam trong dự báo mưa được chi tiết trong các công trình [7–11].

## 2.2. Mô hình tại lưu vực sông Thao

Mô hình MIKE là bộ mô hình về tài nguyên nước do viện Thủy lực Đan Mạch xây dựng [12–16]. MIKE đã chứng minh được tính ưu việt của mình trong một thời gian dài và được sử dụng rộng rãi trong rất nhiều nghiên cứu tại các lưu vực sông của Việt Nam [17–27]. Bộ mô hình gồm rất nhiều mô hình nhỏ giúp mô phỏng các quá trình thủy văn, thủy động lực học, vận chuyển bùn cát, chất lượng nước,... trong đó mô hình MIKE-NAM là mô hình mưa rào - dòng chảy dạng tát định, thông số tập trung, giúp mô phỏng quá trình dòng chảy tại cửa ra các tiểu lưu vực sông. Mô hình MIKE-NAM là mô hình cải tiến của mô hình Nielsen-Hansen được Viện Thủy lực Đan Mạch. Mô hình gồm 4 bể chứa, nguyên lý tính toán trong mỗi bể chứa là giải phương trình cân bằng nước. Điều khác biệt so với mô hình TANK là dòng chảy từ các bể vào sông, tính theo mô hình TANK là theo quy luật tuyến tính còn tính theo mô hình MIKE-NAM là theo quy luật phi tuyến (dạng đường cong nước rút) [28–30].

Mô hình MIKE-NAM là mô hình thủy văn mô phỏng quá trình mưa - dòng chảy diễn ra trên lưu vực. Đây là một mô hình toán thủy văn bao gồm một tập hợp các biểu thức toán học đơn giản để mô phỏng các quá trình trong chu trình thủy văn. Mô hình MIKE-NAM là mô hình nhận thức, tát định, thông số tập trung. Mô hình MIKE-NAM mô phỏng quá trình mưa - dòng chảy một cách liên tục thông qua tính toán cân bằng nước ở bốn bể chứa thẳng đứng, có tác dụng qua lại lẫn nhau để diễn tả các tính chất vật lý của lưu vực.

Dữ liệu đầu vào cho mô hình là mưa, bốc hơi tiềm năng, nhiệt độ (đối với những vùng có tuyết). Kết quả đầu ra của mô hình là dòng chảy trên lưu vực, mực nước ngầm và các thông tin khác trong chu trình thủy văn, như sự thay đổi tạm thời của độ ẩm của đất và khả năng bổ sung nước ngầm. Dòng chảy trên lưu vực được phân gạn đúng thành dòng chảy mặt, dòng chảy sát mặt và dòng chảy ngầm.

Quá trình ứng dụng trong nghiên cứu sẽ thực hiện theo trình tự: (1) Thực hiện thiết lập dữ liệu mưa từ các mô hình; (2) Thiết lập dữ liệu địa hình, dữ liệu quan trắc khí tượng thủy văn; (3) Thiết lập mô hình thủy văn MIKE-NAM: hiệu chỉnh, kiểm định mô hình; (4) Thực hiện dự báo, đánh giá kết quả dự báo dòng chảy.

Sông Thao là dòng chính của sông Hồng bắt nguồn từ dãy núi Ngụy Sơn, Vân Nam Trung Quốc cao 1.766 m, chảy theo hướng Tây Bắc - Đông Nam. Sông Thao chảy qua địa phận tỉnh Yên Bái với chiều dài 100km bắt đầu từ Lang Thíp (Văn Yên) đến Văn Tiến (Trần Yên) và diện tích lưu vực là 2.700 km<sup>2</sup>, có 48 ngòi là các phụ lưu trong đó có 4 phụ lưu lớn là: Ngòi Thia, Ngòi Hút, Ngòi Lâu, Ngòi Lao.

Chế độ mưa gây lũ trên sông Thao có liên quan mật thiết với các hoàn lưu lớn phía Đông, phía Tây, phía Bắc và phía Nam, điển hình là các hình thế dải hội tụ nhiệt đới, xoáy thuận nhiệt đới, rãnh thấp nóng phía Tây, xoáy thấp trên cao, front lạnh và tổ hợp phức tạp của chúng. Lượng mưa trung bình nhiều năm mùa hè (tháng 6 đến 10) trên lưu vực có xu hướng giảm dần từ thượng lưu về hạ lưu phần lưu vực sông Thao thuộc Việt Nam: tại Sa Pa là 1853 mm, Bảo Hà là 1550 mm, Yên Bái là 1512 mm và Phú Thọ là 1192 mm, trung bình của phần lưu vực thuộc Việt Nam là 1448 mm. Lũ trên sông Thao chủ yếu là lũ từ thượng nguồn về (từ phần lưu vực thuộc Trung Quốc) kết hợp với gia nhập khu giữa khá lớn ở địa phận Lào Cai - Phú Thọ.

Để thiết lập mô hình MIKE-NAM cho lưu vực sông Thao, nghiên cứu sử dụng các thông tin chính sau:

- + Bản đồ DEM 30m×30m phục vụ phân chia tiểu lưu vực bộ phận và tính diện tích các tiểu lưu vực;
- + Số liệu bốc hơi tại các trạm khí tượng;
- + Số liệu mưa - dòng chảy phục vụ hiệu chỉnh, kiểm định mô hình bao gồm số liệu mưa của 98 trạm mưa tự động trên lưu vực sông Thao (Hình 1, Bảng 1).

**Bảng 1.** Danh sách các trạm mưa tự động phục vụ nghiên cứu.

STT	Tên Trạm	STT	Tên Trạm	STT	Tên Trạm	STT	Tên Trạm
1	Bao Ha 1	26	Muong Vi	51	Nghia An	76	My Luong
2	Kien Lao	27	Ngoi Phat	52	Lang Nhi	77	Ba Khe
3	Hong Ca	28	Ban Khoang	53	Ta Xi Lang	78	Yen Lap
4	Tan Dong	29	Trung Leng Ho	54	Gia Hoi	79	Cam Khe
5	Co Phuc	30	A Mu Sung	55	Tuc Dan	80	Trung Son
6	Chau Que Thuong	31	Y Ty	56	Son Thinh	81	Xuan Thuy
7	Lam Giang	32	Trinh Tuong	57	Yen Bai	82	Dong Linh
8	Mau A	33	Sa Pa	58	Nghia Lo	83	Chi Cuc TL
9	Yen Bai	34	O Quy Ho	59	Ngoi Thia TV	84	Phuc Khanh
10	Pho Lu	35	Muong Hum	60	AMuSung	85	Hien Luong
11	Sa Pa	36	Lao Cai	61	Nam Chay	86	Tien Luong
12	Ta Thang	37	Hoang Lien	62	Trinh Tuong	87	Ha Hoa
13	Gia Phu	38	Tu Le	63	Coc My Hai	88	Cam Khe
14	Nam Xe	39	Lang Cang	64	Ban Cam	89	Phu Ho
15	Seo Chong Ho	40	Nam Co	65	Ban Lau	90	Phu Tho
16	Cam Duong	41	Nam Xay	66	Ban Xen	91	Lam Thao
17	Kim Son	42	Duong Quy	67	Muong Khuong	92	Di Nau
18	Ta Van	43	Hoa Mac	68	Cao Son	93	Xuan Dai
19	Muong Hoa	44	Ban Ho	69	Y Ty	94	Thach Kiet
20	Ban Ho 1	45	Ngoi Nhu TV	70	Ngoc Dong	95	Dong Cuu 1
21	Lao Chai	46	Ngu Chi Son	71	Quang Huc	96	Tan Minh
22	Ban Ho 2	47	Nam Cuong	72	Thanh Son	97	Thu Cuc
23	Muong Hum	48	Tram Tau	73	Phu Tho	98	Tan Son
24	Coc My 1	49	An Luong	74	Ha Hoa		
25	Bat Xat	50	Tram Tau	75	Thanh Ba		

Tìm kiếm		Sông Thao TL (144.14 mm)							
STT	Thời gian	Sông Thao - TL (138.56 mm)	Ngoi Thia (212.59 mm)	Ngoi Nhu (217.67 mm)	Ngoi Hut (185.54 mm)	Lao Cai (199.24 mm)	KG Lao Cai - Bao Ha (147.15 mm)	KG Bao Ha - Yen Bai (167.09 mm)	
1	07/09/2024 19:00:00	2.77	8.55	6.87	6.05	4.73			7.32
2	07/09/2024 22:00:00	5.4	10.58	11.99	7.84	6.94			10.85
3	08/09/2024 01:00:00	8.1	19.37	12.46	10.54	7.84			13.92
4	08/09/2024 04:00:00	8.87	22.45	16.36	12.8	11.5			14.57
5	08/09/2024 07:00:00	8.36	15.67	17.77	15.02	11.99			13.05
6	08/09/2024 10:00:00	7.93	15.05	15.14	15.34	16.29			12.77
7	08/09/2024 13:00:00	9.8	13.15	14.69	14.38	11.32			11.55
8	08/09/2024 16:00:00	8.11	11.02	10.23	9.46	9.54			7.4
9	08/09/2024 19:00:00	5.73	8.37	7.8	8.55	6.64			4.89
10	08/09/2024 22:00:00	5.7	9.4	12.96	14.32	8.6			6.61
11	09/09/2024 01:00:00	7.74	12.91	17.49	10.77	9.34			8.16
12	09/09/2024 04:00:00	8.05	10.14	11.07	9.38	8			6.12
13	09/09/2024 07:00:00	6.64	6	3.95	5.79	7.19			3.44
14	09/09/2024 10:00:00	8.6	4.04	3.46	3.25	5.08			2.79
15	09/09/2024 13:00:00	5.79	2.62	6.74	2.61	3.76			3.53
16	09/09/2024 16:00:00	3.2	6.03	5.34	5.91	4.48			4.93
17	09/09/2024 19:00:00	2.2	2.79	3.43	4.69	2.94			2.7
18	09/09/2024 22:00:00	2.88	3.81	4.81	4.12	3.15			3.57
19	10/09/2024 01:00:00	3.06	4.79	6.32	4.07	3.15			4.79
20	10/09/2024 04:00:00	3.74	6.1	6.54	5.1	2.72			5.81
21	10/09/2024 07:00:00	4.39	6.12	7.06	3.91	2.57			4.54
22	10/09/2024 10:00:00	4.54	5.5	5.6	3.3	3.41			4.2
23	10/09/2024 13:00:00	4.06	5.1	4.45	4.49	4.7			5.23
24	10/09/2024 16:00:00	2.88	3.03	5.15	3.86	3.35			4.41

**Hình 1.** Các trạm đo mưa trong các tiêu lưu vực sử dụng trong mô hình Mike-Nam trên lưu vực sông Thao.

Nghiên cứu thử nghiệm các đợt mưa, lũ giai đoạn 2022-2023 tại lưu vực sông Thao, được chi tiết trong Bảng 2.

**Bảng 2.** Các đợt mưa lũ thử nghiệm giai đoạn 2022-2023.

TT	Ngày/tháng	Hình thế gây mưa
1	20-25/05/2022	Rãnh áp thấp có trục đi qua khu vực Nam Đồng bằng Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ nâng trục lên phía Bắc, kết hợp hội tụ gió lên đến 5000m
2	06-15/06/2022	Rãnh áp thấp bị nén có trục qua khu vực Bắc Bộ kết hợp với hội tụ gió lên đến 5000m
3	29/06-02/07/2022	Rãnh áp thấp có trục đi qua khu vực Bắc Bộ nối với ATNĐ trên Biển Đông, kết hợp hội tụ gió lên đến 5000m.
4	19-22/07/2022	Ria Tây áp cao cận nhiệt đới lần Tây, hội tụ gió lên đến mực 5000m
5	05-13/08/2022	Rãnh áp thấp có trục đi qua Bắc Bộ, sau chịu ảnh hưởng của bão số 2
6	19-27/08/2022	Rãnh áp thấp có trục đi qua khu vực Bắc Bộ, kết hợp với hội tụ gió rìa Tây áp cao cận nhiệt đới lên đến 5000m, Vùng áp thấp suy yếu từ bão số 3
7	03-05/09/2022	Ria phía Bắc rãnh áp thấp kết hợp với nhiễu động trong đới gió Đông trên cao
8	08-12/09/2022	Ria phía Bắc rãnh áp thấp có trục đi qua khu vực Trung Trung Bộ kết hợp với nhiễu động trong đới gió Đông trên cao
9	28/09-03/10/2022	Bão số 4 đi vào khu vực Trung Bộ, ITCZ nối với vùng áp thấp suy yếu từ bão số 4 nâng trục lên phía Bắc, sau đó áp cao cận nhiệt đới lần Tây, gió Đông Nam dày trên khu vực Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ
10	12-15/06/2023	Rãnh áp thấp có trục qua Bắc Trung Bộ bị đẩy xuống phía Nam do áp cao lạnh lục địa ở phía Bắc kết hợp với rìa Tây áp cao cận nhiệt đới lần Tây.
11	23-25/06/2023	Rãnh áp thấp có trục qua Bắc Bộ bị nén bởi áp cao lục địa ở phía Bắc kết hợp với hội tụ gió lên đến 5000m
12	27/07-09/08/2023	Ria Nam ITCZ qua Trung Trung Bộ nối với cơn bão số 2. Gió mùa Tây Nam có cường độ mạnh và Rãnh áp thấp có trục đi qua khu vực Nam đồng bằng Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ kết hợp hội tụ gió lên đến 5000m
13	26/09-29/09/2023	ITCZ có trục đi qua khu vực Trung Trung Bộ nối với vùng áp thấp suy yếu từ cơn ATNĐ đi vào khu vực Trung Trung Bộ kết hợp KKLTC vào ngày 28-29/9

### 3. Kết quả

#### 3.1. Đánh giá dự báo lũ

Để đánh giá chất lượng dự báo lũ, tùy thuộc và mục đích và nhu cầu mà người ta thường sử dụng một hay một số phương pháp đánh giá sau [28–39]:

- Đánh giá theo hình dạng đường quá trình lũ: Đường quá trình lũ là biểu đồ biểu diễn sự biến đổi của mực nước tại một vị trí trên sông trong một khoảng thời gian dự kiến. Dạng đường quá trình lũ cho ta thấy trận lũ là lũ một đỉnh hay nhiều đỉnh, dạng lũ đỉnh nhọn (mực nước lên nhanh, xuống nhanh) hay dạng lũ đỉnh tù (mực nước lên chậm và xuống chậm), lũ lớn hay lũ nhỏ (so sánh đỉnh lũ với các cấp báo động và với lũ cùng kì hoặc lũ lịch sử...).

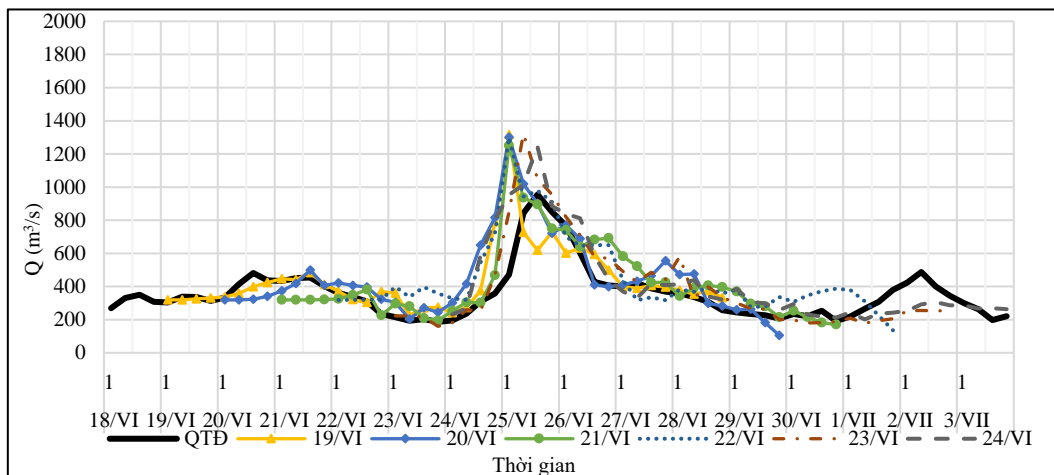
- Đánh giá dự báo lũ theo sai số đỉnh lũ (thời gian xuất hiện đỉnh và sai số đỉnh lũ): Đỉnh lũ có thể được xem là yếu tố quan trọng nhất trong dự báo lũ. Khi dự báo một đợt lũ, cần phải xác định được độ lớn của đỉnh lũ cũng như thời gian xuất hiện đỉnh lũ để phục vụ tốt công tác phòng chống thiên tai do lũ. Giá trị đỉnh lũ có thể được so sánh thông qua tỷ lệ phần trăm (%) sai số tương đối so với giá trị đỉnh lũ thực đo. Đánh giá thời gian xuất hiện đỉnh được xác định thông qua độ lệch (theo giờ hoặc phút) giữa thời gian xuất hiện đỉnh lũ dự báo và thực đo.

- Đánh giá theo tổng lượng lũ: Tổng lượng lũ hay là tổng lượng dòng chảy lũ qua một mặt cắt ngang sông trong một khoảng thời gian nhất định. Khi dự báo lũ, yếu tố tổng lượng dòng chảy lũ cũng thường được sử dụng để đánh giá dự báo lũ khi so sánh tổng lượng dòng chảy lũ dự báo với tổng lượng dòng chảy thực đo trong cùng khoảng thời gian. Có thể sử dụng sai số tuyệt đối hoặc sai số tương đối của giá trị tổng lượng dòng chảy để đánh giá.

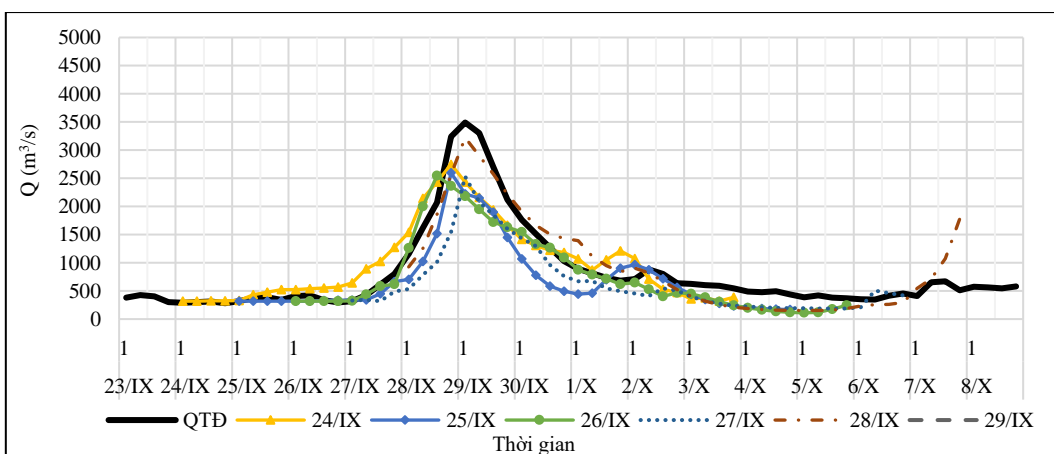
- Đánh giá đường quá trình lũ bằng sai số tương đối so với giá trị thực đo.

3.2. Kết quả dự báo dòng chảy bằng mô hình thủy văn cho lưu vực sông Thao với đầu vào từ số liệu dự báo của 4 mô hình LETKF\_WRF-1km, GFS, GSM và IFS cho các đợt lũ điển hình trong năm 2022 và 2023

Trong mục này, chúng tôi tiến hành dự báo dòng chảy bằng mô hình thủy văn MIKE-NAM, với đầu vào sử dụng số liệu dự báo mưa từ các mô hình gồm: LETKF\_WRF-1km, GFS, GSM và IFS cho các trận lũ điển hình trên lưu vực Thao trong hai năm 2022-2023. Việc lựa chọn bộ thông số của mô hình MIKE-NAM dựa trên bộ thông số đã được tối ưu cho các trận lũ diễn ra vào các năm trước và hiện đang được ứng dụng trong công tác nghiệp vụ dự báo thủy văn trên lưu vực sông Thao. Kết quả mô hình được so sánh với kết quả thực đo tại trạm đo và được đánh giá bằng tiêu chuẩn NASH, sai số đỉnh lũ và thời gian xuất hiện đỉnh. Kết quả dự báo cho một số các trận lũ điển hình trên lưu vực sông Thao lần lượt đưa ra thông qua các Hình 2 đến Hình 9. Trong đó hai hình 2 và 3, thể hiện kết quả dự báo dựa trên số liệu mưa của mô hình LETKF\_WRF-1km cho các trận lũ từ 19-24/06/2023 và 24-28/09/2023.

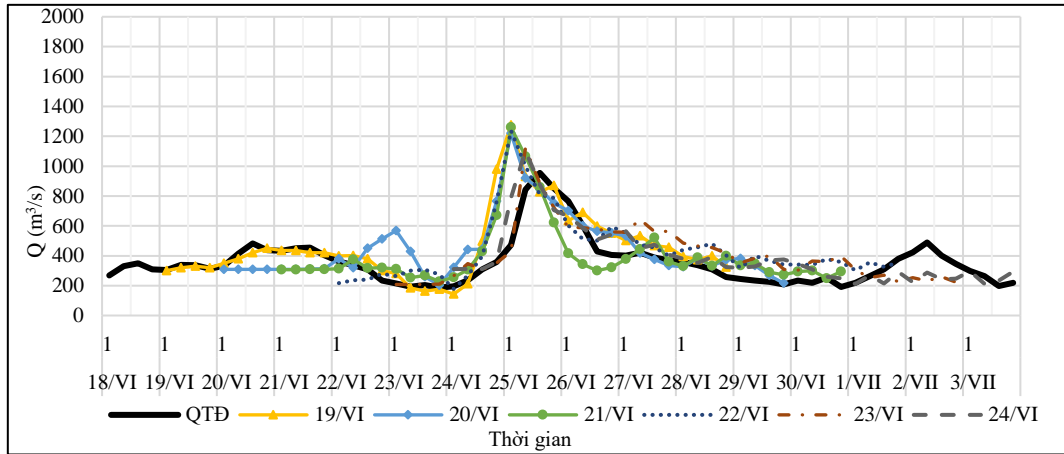


**Hình 2.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 19-24/VI/2023 theo mô hình mưa LETKF\_WRF-1KM cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.

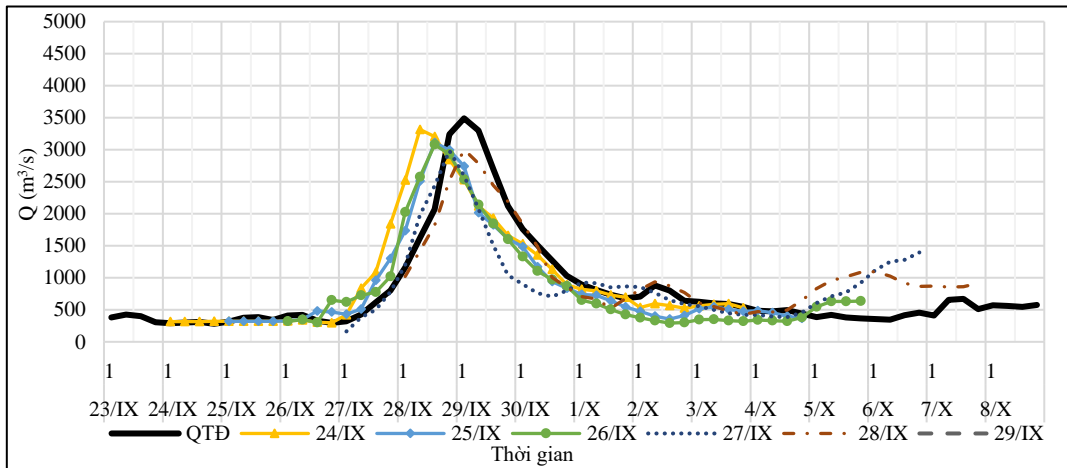


**Hình 3.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 24-28/IX/2023 theo mô hình mưa LETKF\_WRF-1KM cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.

Hình 4 và 5 thể hiện kết quả dự báo các trận lũ từ 19-24/06/2023 và 24-28/09/2023 cho lưu vực sông Thao từ mô hình MIKE-NAM, sử dụng số liệu dự báo mưa từ mô hình GFS.

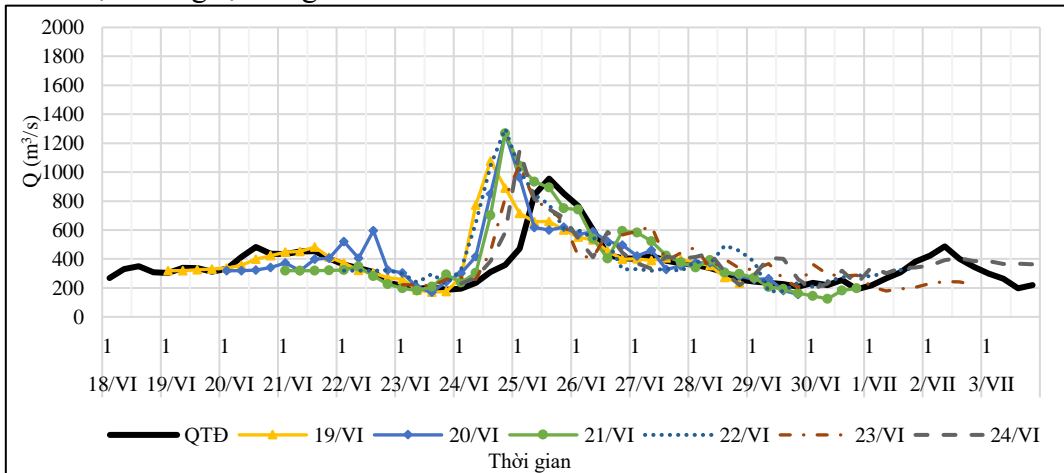


**Hình 4.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 19-24/VI/2023 theo mô hình mưa GFS cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.

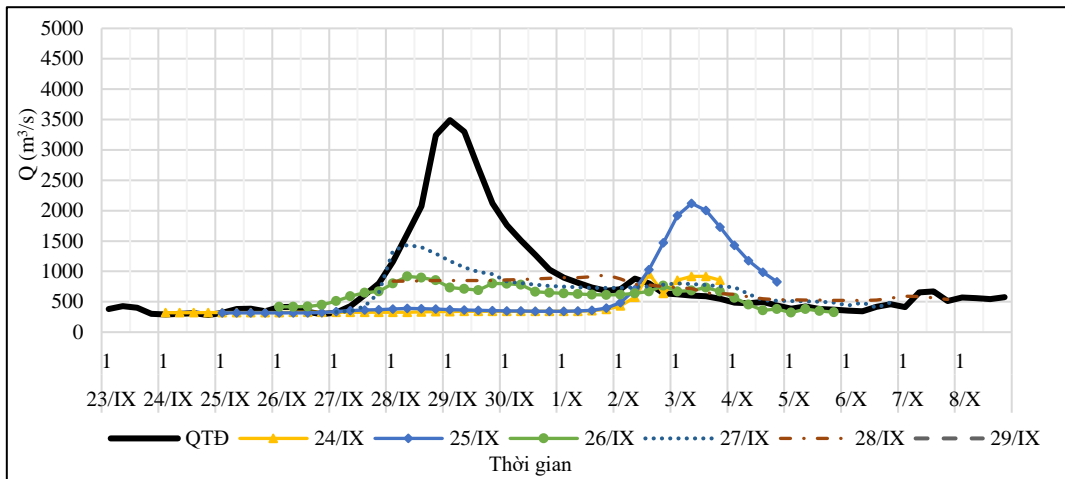


**Hình 5.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 24-28/IX/2023 theo mô hình mưa GFS cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.

Đối với các trận lũ diễn ra từ 19-24/06/2023 và 24-28/09/2023 trên lưu vực sông Thao, kết quả dự báo bằng mô hình MIKE-NAM, sử dụng số liệu dự báo mưa từ mô hình GSM được thể hiện tương tự trong Hình 6 và hình 7.

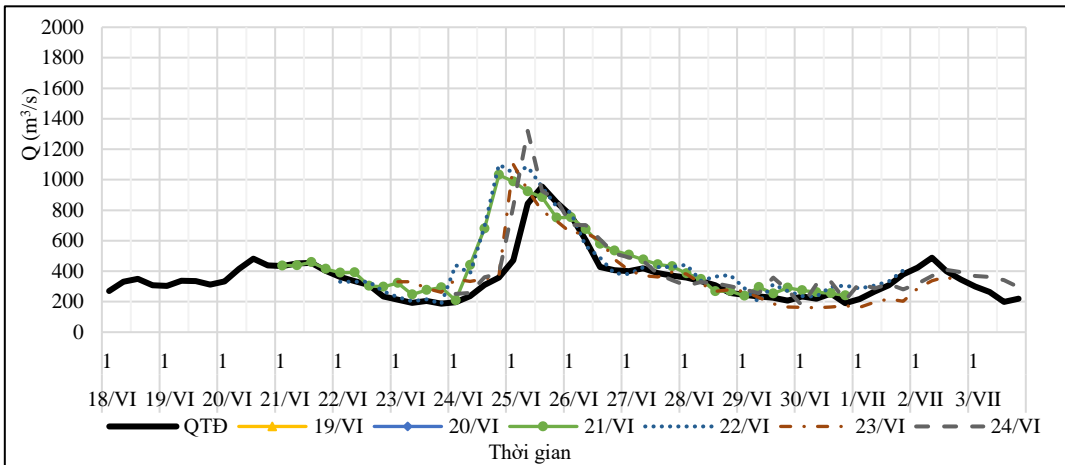


**Hình 6.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 19-24/VI/2023 theo mô hình mưa GSM cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.

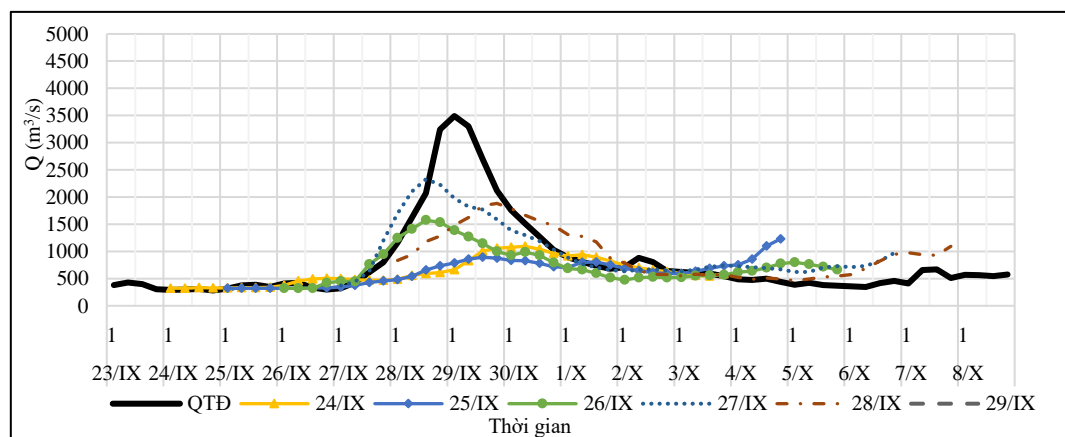


**Hình 7.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 24-28/IX/2023 theo mô hình mưa GSM cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.

Tương tự, với việc sử dụng mô hình MIKE-NAM với số liệu dự báo mưa từ mô hình IFS cho lưu vực sông Thao, các kết quả dự báo cho các trận lũ từ 19-24/06/2023 và 24-28/09/2023 được đưa ra trong Hình 8 và Hình 9.



**Hình 8.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 19-24/VI/2023 theo mô hình mưa IFS cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.



**Hình 9.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 24-28/IX/2023 theo mô hình mưa IFS cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.

Các kết quả đánh giá tổng hợp so sánh giữa 4 đầu vào được đưa ra chi tiết trong Bảng 3.



**Bảng 3.** Tổng hợp kết quả đánh giá kết quả dự báo theo mưa từ 4 mô hình tại trạm Yên Bái - sông Thao cho các trận lũ điển hình giai đoạn 2022-2023.

Thời kỳ dự báo trước lũ	Chỉ tiêu đánh	LETKF_WRF-1KM		GFS		GSM		IFS	
		19-	24-	19-	24-	19-	24-	19-	24-
		24/VI/202	28/IX/202	24/VI/2023	28/IX/2023	24/VI/2023	28/IX/2023	24/VI/2023	28/IX/2023
6 ngày	Nash	0,05		0,00		-0,19			
	$\Delta Q_{max}$ (%)	38		34		13			
	$\Delta t$ (giờ)	12		12		24			
5 ngày	Nash	0,04	0,8	0,00	0,64	-0,42			0,02
	$\Delta Q_{max}$ (%)	36	21	28	5	33			68
	$\Delta t$ (giờ)	12	12	12	18	18			24
4 ngày	Nash	0,31	0,72	0,12	0,77	-0,07		0,26	-0,05
	$\Delta Q_{max}$ (%)	31	25	32	10	33		8	74
	$\Delta t$ (giờ)	12	6	12	12	18	Không dự báo được	18	12
3 ngày	Nash	0,02	0,76	0,15	0,71	-0,54		0,13	0,4
	$\Delta Q_{max}$ (%)	36	26	30	12	36		15	54
	$\Delta t$ (giờ)	12	12	12	12	18		18	12
2 ngày	Nash	0,46	0,65	0,49	0,43	0,14		0,52	0,69
	$\Delta Q_{max}$ (%)	38	27	17	14	10		15	33
	$\Delta t$ (giờ)	6	6	6	6	12		12	12
1 ngày	Nash	0,37	0,85	0,62	0,79	0,34		0,59	0,47
	$\Delta Q_{max}$ (%)	30	8	16	14	21		38	46
	$\Delta t$ (giờ)	0	0	6	0			6	18

Đối với dự báo từ mô hình MIKE-NAM, sử dụng số liệu dự báo mưa từ mô hình LETKF\_WRF\_1km, kết quả dự báo trận lũ 19-24/VI/2023 cho thấy, hệ số tương quan Nash tại trạm không chế Yên Bái là khá thấp, càng gần ngày xuất hiện đỉnh lũ thì mô hình dự báo mưa có xu hướng tốt hơn, tuy nhiên kết quả vẫn chưa đáng kể, sai số đỉnh lũ từ 30-40%; sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ từ 0-12 giờ. Như vậy kết quả dự báo trận lũ này là khá hạn chế, tuy nhiên có thể xem đây là một trong những phương pháp tham khảo bên cạnh các phương pháp dự báo lũ khác. Kết quả dự báo trận lũ 24-28/IX/2023 cho thấy, hệ số tương quan Nash tại trạm không chế Yên Bái là khá tốt, càng gần ngày xuất hiện đỉnh lũ thì mô hình dự báo mưa có xu hướng tốt hơn, sai số đỉnh lũ từ 10-30%; sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ từ 0-12 giờ. Như vậy, kết quả dự báo trận lũ này là khá tốt và có thể tham khảo trong dự báo tác nghiệp.

Đối với dự báo, sử dụng số liệu dự báo mưa từ mô hình GFS, kết quả dự báo trận lũ 19-24/VI/2023 cho thấy, hệ số tương quan Nash tại trạm không chế Yên Bái là khá thấp, tuy nhiên chất lượng tốt hơn mô hình mưa dự báo WRF, càng gần ngày xuất hiện đỉnh lũ thì mô hình dự báo mưa có xu hướng tốt hơn đáng kể, sai số đỉnh lũ từ 15-50%; sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ từ 0-12 giờ. Như vậy kết quả dự báo trận lũ này là khá hạn chế, tuy nhiên có thể xem đây là một trong những phương pháp tham khảo bên cạnh các phương pháp dự báo lũ khác. Kết quả dự báo trận lũ 24-28/IX/2023 cho thấy, hệ số tương quan Nash tại trạm không chế Yên Bái là khá, càng gần ngày xuất hiện đỉnh lũ thì mô hình dự báo mưa có xu hướng tốt hơn, sai số đỉnh lũ từ 10-20%; sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ từ 0-12 giờ. Như vậy kết quả dự báo trận lũ này là khá tốt và có thể tham khảo trong dự báo tác nghiệp.

Đối với dự báo, sử dụng số liệu dự báo mưa từ mô hình GSM, kết quả dự báo trận lũ 19-24/VI/2023 cho thấy, hệ số tương quan Nash tại trạm không chế Yên Bái là khá thấp, càng gần ngày xuất hiện đỉnh lũ thì mô hình dự báo mưa có xu hướng tốt hơn tuy nhiên kết quả vẫn nhiều hạn chế, sai số đỉnh lũ từ 10-30%; sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ từ 12-24 giờ. Như vậy kết quả dự báo trận lũ này là khá hạn chế, tuy nhiên có thể xem đây là một trong những phương pháp tham khảo bên cạnh các phương pháp dự báo lũ khác. Kết quả dự báo trận lũ 24-28/IX/2023 cho thấy mô hình mưa không mô phỏng được trận lũ sẽ xảy ra trong thời gian dự báo.

Đối với dự báo, sử dụng số liệu dự báo mưa từ mô hình IFS, kết quả dự báo trận lũ 19-24/VI/2023 và 24-28/IX/2023 cho thấy, hệ số tương quan Nash tại trạm khống chế Yên Bái là khá thấp, càng gần ngày xuất hiện đỉnh lũ thì mô hình dự báo mưa có xu hướng tốt hơn tuy nhiên kết quả vẫn nhiều hạn chế, sai số đỉnh lũ từ 10-60%; sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ từ 6-24 giờ. Như vậy kết quả dự báo trận lũ này là khá hạn chế, tuy nhiên có thể xem đây là một trong những phương pháp tham khảo bên cạnh các phương pháp dự báo lũ khác.

#### 4. Kết luận

Trong bài báo trên, chất lượng dự báo lũ hạn đến 10 ngày bằng mô hình MIKE-NAM sử dụng số liệu mưa dự báo từ các hệ thống dự báo toàn cầu cũng như hệ thống mô hình phân giải cao LETKF\_WRF\_1km tại lưu vực sông Thao của Việt Nam đã được đánh giá trong các đợt mưa lớn giai đoạn 2022-2023.

Kết quả dự báo lũ theo 4 đầu vào từ 3 mô hình toàn cầu và 1 dự báo phân giải cao cho thấy kết quả nhận được khá phân tán. Dựa theo chỉ số Nash trong bảng 4, nghiên cứu nhận thấy, với hạn dự báo dưới 3 ngày các chỉ số này gần như đều dương, có giá trị trong khoảng từ 0.02 đến 0.85 (có kỹ năng dự báo), mô hình sử dụng dự báo mưa từ LETKF\_WRF\_1km và IFS có chỉ số Nash cao nhất (kỹ năng dự báo tốt nhất), trong đó với đợt thử nghiệm thứ hai, mô hình LETKF\_WRF\_1km cho chỉ số Nash cao nhất, đạt tới 0.76. Trong khi đó với hạn dự báo trên 4-5 ngày, ngoài mô hình sử dụng dự báo mưa từ LETKF\_WRF\_1km và GFS, các chỉ số Nash đều mang giá trị rất thấp, xấp xỉ 0.0 (không có kỹ năng dự báo). Với hạn dự báo 6 ngày, các mô hình đều có chỉ số Nash xấp xỉ bằng 0, tức là không có kỹ năng dự báo. Như vậy mô hình sử dụng dự báo mưa từ LETKF\_WRF\_1km vượt trội so với các mô hình còn lại về kỹ năng dự báo tại tất cả các hạn dự báo từ 1-5 ngày.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.A.D., P.T.D., D.D.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: P.T.D., D.D.T., M.K.H.; Xử lý số liệu: Đ.Đ.Q., H.G.N., N.T.N.Q.; Phân tích mẫu: P.T.G., P.M.L.; Viết bản thảo bài báo: T.A.D., P.T.D.; Chỉnh sửa bài báo: H.G.N., D.D.T.

**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.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu được hoàn thành dựa trên sự hỗ trợ của Đề tài nghiên cứu khoa học “Nghiên cứu xây dựng hệ thống dự báo định lượng mưa hạn 10 ngày phục vụ bài toán dự báo thủy văn”, mã số TNMT.2023.06.01.

#### Tài liệu tham khảo

1. Nga, N.T.; Thanh, C.; Hung, M.K.; Tiến, D.D. Đánh giá kỹ năng dự báo mưa định lượng từ mô hình quy mô toàn cầu và khu vực phân giải cao cho khu vực Bắc Bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 730, 79–92.
2. Tăng, B.M. Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo mưa lớn thời hạn 2-3 ngày phục vụ công tác cảnh báo sớm lũ lụt khu vực miền Trung Việt Nam”, 2014.
3. Tiến, T.T.; Mai, H.T.; Thanh, C. Ứng dụng phương pháp lọc Kalman tổ hợp vào dự báo cường độ bão 5 ngày”, *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. Tạp chí Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2013**, 29(2S), 201–206.
4. Chánh, K.Q. Ước lượng sai số mô hình trong bộ lọc Kalman bằng phương pháp lực nhiễu động. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2010**, 26(3S), 310–316.
5. Chánh, K.Q. Xây dựng hệ thống đồng hóa lọc Kalman tổ hợp địa phương cho mô hình dự báo thời tiết WRF. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2011**, 27(1S), 17–28.

6. Tiến, D.Đ.; Thành, N.Đ.; Chánh, K.Q. Sử dụng đồng thời quan trắc quy mô lớn và quy mô bão trong việc tăng cường thông tin ban đầu cho bài toán dự báo xoáy thuận nhiệt đới bằng mô hình số trị. *VNU J. Sci. Earth Environ. Sci.* **2016**, *S.1(32)*, n. 3S.
7. Cường, H.Đ. Nghiên cứu ứng dụng mô hình WRF phục vụ dự báo thời tiết và bão ở Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ, 2011.
8. Tiến, T.T.; Thanh, C.; Phương, N.T. Dự báo cường độ bão bằng mô hình WRF hạn 5 ngày trên khu vực biển Đông. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN* **2012**, *T28(3S)*, 155–160.
9. Tiến, T.T.; Thanh, N.T. Đồng hóa dữ liệu vệ tinh MODIS trong mô hình WRF để dự báo mưa lớn ở khu vực Trung Bộ. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2011**, *27*, 90–95.
10. Tien, D.D.; Cuong, H.D.; Hole, L.R.; Lam, H.P.; Huyen, L.T.T.; Hung, M.K. Impacts of different physical parameterization configurations on widespread heavy rain forecast over the northern area of Vietnam in WRF-ARW Model. *Adv. Meteorol.* **2019**, *1010858*, 1–24. <https://doi.org/10.1155/2019/1010858>.
11. Saito, K.; Hung, M.K.; Hung, N.V.; Vinh, N.Q.; Tien, D.D. Heavy rainfall in central Viet Nam in December 2018 and modification of precipitation analysis at VNMHA. *VN. J. Hydro-Meteorol.* **2020**, *5*, 65–79.
12. Danish Hydraulic Institute (DHI). MIKE SHE User Manual, Volume 1: User Guide, 2014a, pp. 370.
13. Danish Hydraulic Institute (DHI). MIKE SHE User Manual, Volume 2: Reference Guide, 2014b, pp. 444.
14. Abbott, M.B.; Bathurst, J.C.; Cunge, J.A.; O’Connell, P.E.; Rasmussen, J. An introduction to the European hydrological system-systeme hydrologique Europeen, “SHE”, 1: history and philosophy of a physically-based, distributed modelling system. *J. Hydrol.* **1986a**, *87*, 45–59.
15. Abbott, M.B.; Bathurst, J.C.; Cunge, J.A.; O’connell, P.E.; Rasmussen, J. An introduction to the European hydrological system systeme hydrologique Europeen, “SHE”, 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system. *J. Hydrol.* **1986b**, *87*, 61–77.
16. DHI. MIKE 11, A modelling system for rivers and channel, user guide. 2017. [http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Water\\_Resources/MIKE11\\_UserManual.pdf](http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Water_Resources/MIKE11_UserManual.pdf).
17. Tinh, Đ.N. Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu ứng dụng số liệu vệ tinh, mưa dự báo số trị kết hợp số liệu bề mặt trong dự báo lũ hệ thống sông Hồng- Thái Bình”, 2012.
18. Lập, B.Đ. Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo dòng chảy lũ đến các hồ chứa lớn trên hệ thống sông Hồng”, 2017.
19. Thái, T.H.; Trí, Đ.Q.; Hoàng, Đ.V. Nghiên cứu mô phỏng tác động của sóng và nước dâng bão khu vực ven biển miền Trung. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *687*, 1–14.
20. Dat, T.T.; Truong, D.D.; Tri, D.Q.; Tien, T.Q. Applications of numerical modelling for the study on storm surge in typhoon Xangsane in the central coast of Vietnam. *Tropical Cyclone Res. Rev.* **2018**, *7(3)*, 179–192.
21. Dat, T.T.; Tri, D.Q.; Truong, D.D.; Hoa, N.N. Application of Mike Flood Model in Inundation Simulation with the Dam-break Scenarios: a Case Study of DakDrinh Reservoir in Vietnam. *Int. J. Earth Sci. Eng.* **2019**, *12(01)*, 60–70.
22. Dự án nhiệm vụ chuyên môn (2013-2015). Xây dựng công nghệ dự báo lũ hạn ngắn phục vụ điều tiết hồ chứa cho lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn và lưu vực sông Ba.
23. Long, V.Đ. Nghiên cứu xây dựng công nghệ cảnh báo, dự báo lũ và cảnh báo ngập lụt cho các sông chính ở Quảng Bình, Quảng Trị, 2014.

24. Long, V.Đ. Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu ứng dụng thử nghiệm mô hình TELEMAC 2D tính toán lũ và cảnh báo ngập lụt cho vùng hạ lưu sông Trà Khúc - Sông Vệ”, 2015.
25. Linh, N.T.M.; Tri, D.Q.; Thai, T.H.; Don, N.C. Application of a two-dimensional model for flooding and floodplain simulation: Case study in Tra KhucSong Ve river in Viet Nam. *Lowland Technol. Int.* **2018**, 20(3), 367–378.
26. Huy, H.A. Nghiên cứu khả năng ứng dụng mô hình MIKE-SHE để mô phỏng độ ẩm trong đất, áp dụng thí điểm cho dòng chính khu vực sông La, 2016.
27. Thái, T.H.; Trí, Đ.Q.; Tuyên, T.Đ.T.; Tâm, N.T.; Dịu, B.T. Áp dụng mô hình MIKE SHE kết hợp sử dụng sản phẩm mưa dự báo IFS dự báo lưu lượng đến hồ lưu vực sông Trà Khúc-Sông Vệ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 697, 1–12.
28. Anh, N.K.N.; Anh, T.N.; Tài, N.Q.; Nhật, L.M. Ứng dụng mô hình MIKE 11 tính toán dòng chảy mặt phục vụ công tác cấp phép khai thác tài nguyên nước lưu vực sông Cả. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 740(1), 50–61.
29. Thục, T. Xây dựng công nghệ tính toán dự báo lũ lớn hệ thống sông Hồng – Thái Bình. Đề tài cấp Bộ, 2011.
30. Hải, Đ.V.; Vân, Đ.T.; Trí, Đ.Q. Nghiên cứu xây dựng công cụ dự báo lưu lượng nước đến hồ sông hình phục vụ dự báo lũ hạ lưu sông Ba. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 710, 70–77.
31. Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Liew, M.W. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE* **2007**, 50, 885–900.
32. Moriasi, D.; Wilson, B. Hydrologic and water quality models: use, calibration, and validation. *Trans. ASABE* **2012**, 55, 1241–1247.
33. Mustafa, Y.M.; Amin, M.S.M.; Lee, T.S.; Shariff, A.R.M. Evaluation of land development impact on a tropical watershed hydrology using remote sensing and GIS. *J. Spat. Hydrol.* **2012**, 5, 16–30.
34. Bathurst, J.C.; Ewen, J.; Parkin, G.; O’Connell, P.E.; Cooper, J.D. Validation of catchment models for predicting land-use and climate change impacts. 3. Blind validation for internal and outlet responses. *J. Hydrol.* **2004**, 287, 74–94.
35. Engel, B.A.; Flanagan, D.C. Modeling and risk analysis of nonpoint-source pollution caused by atrazine using SWAT. *Trans. ASABE* **2006**, 49, 667–678.
36. McCuen, R.H.; Knight, Z.; Cutter, A.G. Evaluation of the Nash-Sutcliffe efficiency Index. *J. Hydrol. Eng.* **2006**, 11, 597–602.
37. Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V. River flow forecasting through conceptual models part I-a discussion of principles. *J. Hydrol.* **1970**, 10, 282–290.
38. 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.
39. 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.

## **On the uses of input from forecasts of high-resolution global and regional ensemble models for flow forecasting in the Thao river basin in the period 2022-2023**

**Tran Anh Duc<sup>1</sup>, Phung Tien Dung<sup>1</sup>, Dang Dinh Quan<sup>1</sup>, Hoang Gia Nam<sup>1</sup>, Nguyen Thi Nhu Quynh<sup>1</sup>, Pham Truong Giang<sup>1</sup>, Pham My Linh<sup>1</sup>, Mai Khanh Hung<sup>1</sup>, Du Duc Tien<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>National Center for Hydrometeorological Forecasting; ducbarca88@gmail.com; ptdung77@gmail.com; quandangdinh.92@gmail.com; namhoangkt95@gmail.com; quynh.ntn.1984@gmail.com; phtrgiang@gmail.com; linhpm250595@gmail.com; maikhanhhung18988@gmail.com; duductien@gmail.com

**Abstract:** This study employs the ensemble assimilation system based on the Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF), which was developed for the WRF-ARW regional model. The system is integrated with its dynamic downscaling capabilities to generate high-resolution forecasts (1km x 1km, denoted LETKF\_WRF-1km), with the objective of enhancing the accuracy of rainfall forecasts for Thao river basin in Vietnam. Subsequently, the hydrological model, named MIKE-NAM, was employed for flow forecasting in typical floods in 2022 and 2023, utilizing inputs derived from forecast data of the ECMWF (IFS), NCEP (GFS), JMA (GSM) global models and high-resolution forecasts (LETKF\_WRF-1km). The findings illustrate that the hydrological model utilizing the LETKF\_WRF\_1km model as an input displays enhanced performance in flow forecasting in comparison to the hydrological model employing the global models across all lead times, from one to five days.

**Keywords:** Flow forecast; Thao river basin; Rainfall forecasts; Ensemble models.