

DỰ BÁO LŨ BẰNG PHƯƠNG PHÁP CHI TIẾT HÓA ĐỘNG LỰC KẾT HỢP VỚI MÔ HÌNH THỦY VĂN VẬT LÝ THỰC ÁP DỤNG CHO LƯU VỰC SÔNG VU GIA - THU BỒN

Trịnh Quang Toàn, Đỗ Hoài Nam, Nguyễn Thị Thu Thảo, Trần Phương Anh

Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Lê Xuân Dũng

Công ty CP tư vấn xây dựng Thủy lợi Hà Tây

Vũ Thị Minh Huệ

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này, phương pháp dự báo lũ sớm từ 1, 2, 3 ngày đã được áp dụng qua phương pháp chi tiết hóa động lực kết hợp với mô hình thủy văn, với nguồn số liệu đầu vào được lấy từ hai mô hình dự báo thời tiết số trị (NWP) toàn cầu GFS và GSM. Nguồn dữ liệu khí tượng sau đó được chi tiết hóa xuống độ phân giải 6km sử dụng mô hình WRF. Kết quả đã được hiệu chỉnh và kiểm định với bộ dữ liệu mưa thực đo VnGP và dữ liệu mưa quan trắc từ Tổng cục Khí tượng Thủy văn Việt Nam. Sau khi được chi tiết hóa, dữ liệu dự báo khí tượng (bao gồm mưa, gió, nhiệt độ, độ ẩm, bức xạ, v.v) sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho mô hình WEHY. Qua kết quả nghiên cứu, có thể thấy dự báo lũ bằng phương pháp chi tiết hóa động lực kết hợp mô hình khí tượng với mô hình thủy văn có thể cho kết quả khả quan. Và có thể tiếp tục cải thiện bằng các phương pháp đồng hóa dữ liệu nhằm nâng cao độ chính xác các kết quả dự báo.

Summary: In this study, a coupling dynamical downscaling and hydrological models was used to forecast flood in the Vu Gia- Thu Bon area with the input data taken from two global Numerical Weather Prediction (NWP) models GFS and GSM. The global meteorological data were downscaled by means of the WRF model. The downscaled results have been calibrated and validated by two different observation data including the Vietnam Gridded Precipitation (VnGP) dataset, and gauged-rainfall data from the Vietnam Center of Hydro-Meteorological Data (VCHMD). The downscaled GFS and GSM data are then used as input for the WEHY model. The WEHY forecast simulation results of 1, 2, 3 days were calibrated and validated based on the corresponding observation data, and the results show that the simulation are quite similar and close to the observation values. Overall, the flood forecast result are reliable for 1 ahead, while the 2- and 3-day flood forecast are required to improve further by data assimilation methods.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lũ lụt là loại hình thiên tai xuất hiện thường xuyên ở khu vực ven biển miền Trung Việt Nam, nơi chịu ảnh hưởng của gió mùa và bão nhiệt đới. Lũ lụt gây thiệt hại nặng nề về người, tài sản, môi trường, điều kiện sống và các hoạt động kinh tế - xã hội. Trong những năm gần

đây, lũ lụt ở Việt Nam xảy ra do dòng chảy trên sườn dốc bắt nguồn từ những trận mưa lớn [1]. Lượng mưa trong các trận mưa lớn có thể gây ra lũ lụt chỉ sau vài giờ sau khi quan sát trên radar, vệ tinh hoặc trạm quan trắc. Điều này đặc biệt đúng đối với những khu vực có địa hình đồi núi dốc, nơi thường xây dựng đập và các nhà

Ngày nhận bài: 07/5/2022

Ngày thông qua phản biện: 10/6/2022

Ngày duyệt đăng: 13/6/2022

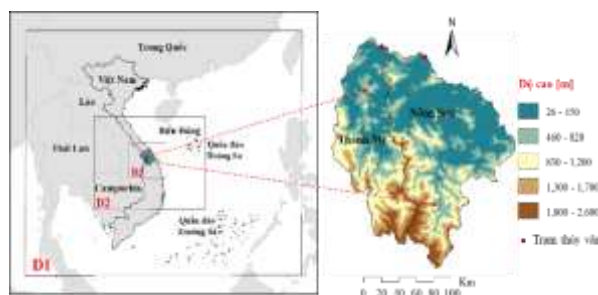
máy thủy điện [2] [3]. Fenn và cs (2004) [2] đã chỉ ra rằng lũ lụt lên đến đỉnh điểm trong 1.5 giờ và lũ tràn bờ trong khoảng 5 giờ tại Boscastle, Vương quốc Anh. Schad và cs (2012) [3] chỉ ra mực nước hồ chứa dâng nhanh với tốc độ 2.5cm/h tại Chiềng Khoi và vượt mức tới hạn 11.9m, bắt đầu chảy tràn sau vài giờ. Do vậy, việc xây dựng hệ thống dự báo và cảnh báo lũ sớm để cung cấp thông tin về thời gian bắt đầu, cường độ lũ có thể xảy ra trong tương lai nhằm giảm thiểu tối đa những thiệt hại là điều vô cùng quan trọng.

Khi hệ thống dự báo, cảnh báo lũ chính xác, đáng tin cậy sẽ cải thiện và nâng cao hiệu quả của công tác phòng chống lũ. Tuy nhiên, việc dự báo chính xác và kịp thời trong khoảng thời gian ngắn để đưa ra được các biện pháp ứng phó khẩn cấp như sơ tán người dân là thách thức đối với các nhà khoa học cũng như các nhà quản lý. Để cải thiện điều này, việc dự báo lượng mưa và các điều kiện khí tượng khác nhau ở các thời điểm khác nhau, từ vài giờ đến 2-3 ngày là một trong những điều kiện cần thiết trong dự báo và cảnh báo lũ sớm. Gần đây với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, các mô hình dự báo số trị toàn cầu (NWP) được sử dụng khá phổ biến. Hiện nay, hạn dự báo của các mô hình có thể kéo dài lên đến 10 ngày, song việc sử dụng hạn dự báo 1-3 ngày thường có độ tin cậy cao hơn [5]. Các mô hình NWP đã được nghiên cứu và phát triển rộng rãi ở nhiều quốc gia trên thế giới như Nhật Bản, Hoa Kỳ, châu Âu, v.v. với mức độ chi tiết và hoàn thiện ngày càng cao. Trong đó phải kể đến hai mô hình NWP toàn cầu là GFS (Global Forecasting System) của Mỹ và GSM (Global Spectral Model) của Nhật Bản. Đặc điểm của hai bộ dữ liệu này là liên tục, ổn định và có thể thu thập được trong một khoảng thời gian đủ dài. Nguồn dữ liệu NWP này có thể được tải xuống trực tiếp từ <https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/global-forecast> đối với dữ liệu GFS và <http://apps.diasjp.net/gpv/data/> cho dữ liệu GSM.

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp chi tiết hóa động lực kết hợp với mô hình thủy văn để ước tính các sự kiện lũ lụt trong thời gian thực với thời hạn dự báo từ 1-3 ngày. Sử dụng mô hình khí hậu khu vực (RCM) và mô hình thủy văn cho lưu vực Thành Mỹ (TM) và Nông Sơn (NS) trên lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn (VG-TB) ở miền Trung Việt Nam với dữ liệu đầu vào là hai bộ dữ liệu khí tượng toàn cầu là GFS và GSM.

2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU

Hai lưu vực Thành Mỹ (Vu Gia) và Nông Sơn (Thu Bồn) thuộc hệ thống sông VG-TB. Tổng diện tích của hai lưu vực là 5219.78km², trong đó TM là 2017.52km² và NS là 3202.26km².

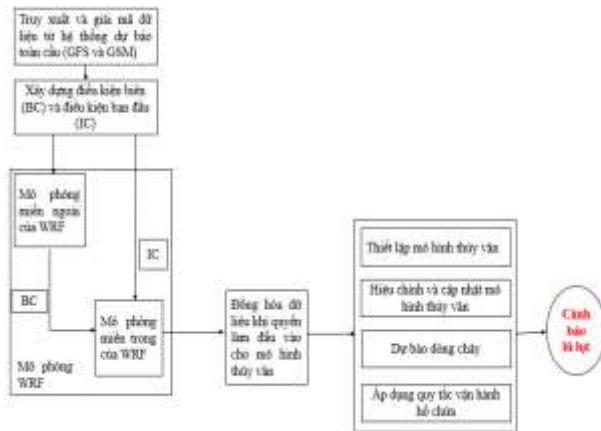


Hình 1: Khu vực nghiên cứu

Các con sông ở miền Trung Việt Nam bắt nguồn từ các dãy núi cao, dọc biên giới Việt - Lào (Hình 1), chảy qua vùng đồng bằng trũng thấp ven biển và đổ ra Biển Đông. Với địa hình hẹp ngang, dốc nên sông ngòi ở đây thường nhỏ, ngắn và dốc. Cùng với đó là quá trình chuyển đổi cơ cấu sử dụng đất để phát triển kinh tế làm cho quá trình tập trung dòng chảy trong sông nhanh hơn, tăng nguy cơ ngập lụt ở vùng hạ lưu. Lưu vực nghiên cứu có lượng mưa lớn, mùa mưa (tháng 9-12) chiếm 85% lượng mưa cả năm. Mùa khô (tháng 1-8) chỉ chiếm 25% lượng mưa cả năm. Theo số liệu thống kê trong 50 năm cho thấy 6 trong số 7 trận lũ lớn xảy ra trong giai đoạn 1995 - 2010 [18]. Do đó, việc đề xuất phương pháp dự báo lũ sớm phù hợp sẽ giúp ích rất nhiều trong công tác phòng chống lũ lụt, giảm áp lực lên hệ thống quản lý.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu này phát triển một hệ thống dự báo lũ bằng phương pháp kết hợp mô hình khí tượng và thủy văn vật lý thực. Sử dụng dữ liệu từ các mô hình toàn cầu GFS và GSM làm điều kiện ban đầu và điều kiện biên cho các dự báo chi tiết hóa động lực (Hình 2).



Hình 2: Sơ đồ phương pháp dự báo lũ sớm

Có bốn thành phần chính trong phương pháp này, đó là: truy xuất và giải mã dữ liệu từ hai NWP toàn cầu; chi tiết hóa động lực dữ liệu đầu vào của NWP bằng mô hình khí tượng; chuẩn hóa dữ liệu khí tượng sau khi chi tiết hóa làm đầu vào cho mô hình thủy văn; mô hình dự báo thủy văn; cuối cùng là thông tin dự báo lũ sẽ liên tục được cập nhật với thời gian dự báo từ 1-3 ngày cho các lưu vực được chọn. Hệ thống dự báo này được cập nhật tự động 24 giờ mỗi lần dựa trên việc truy xuất dữ liệu khí quyển GFS và GSM.

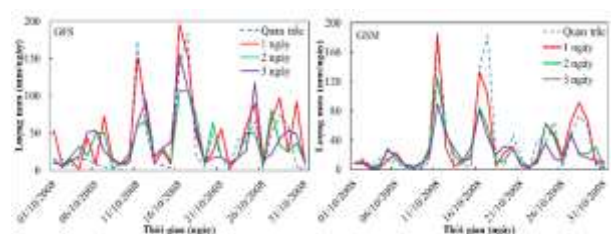
3.1. Mô hình khí hậu khu vực

Mô hình WRF được chọn để chi tiết hóa các dữ liệu khí tượng toàn cầu xuống độ phân giải 6km. WRF đã được ứng dụng thành công trong nhiều nghiên cứu ở Việt Nam và cho thấy có độ tin cậy cao. WRF cung cấp hoạt động dự báo trên một nền tảng linh hoạt và tính hiệu quả cao về mặt tính toán, cho phép sử dụng các tùy chọn khác nhau đối với tham số hóa các quá trình vật lý. Dữ liệu đầu vào cho mô hình WRF được lấy từ hai bộ dữ liệu GFS và GSM. Trong tính toán chi tiết hóa động lực, ba miền tính được thiết lập cho nghiên cứu với độ phân giải lần lượt là

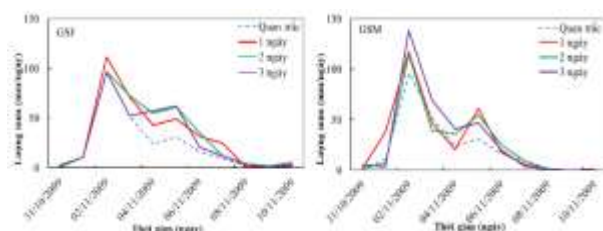
54km (D1) → 18km (D2) → 6km (D3) (Hình 1).

Kết quả dự báo được hiệu chỉnh và kiểm định thông qua 2 bộ dữ liệu lượng mưa thực đo là VnGP và dữ liệu mưa quan trắc từ Tổng cục Khí tượng Thủy văn Việt Nam. So sánh 17 sơ đồ tham số hóa dựa trên các nghiên cứu trước đây ở Việt Nam [6] [7] [8]. Kết quả lựa chọn hai sơ đồ tốt nhất dựa trên hệ số hiệu quả Nash giữa lượng mưa dự báo và thực đo VnGP là: sơ đồ tham số hóa quá trình vi vật lý WSM3 và sơ đồ tham số hóa đối lưu Grell-Freitas đối với dữ liệu GFS; sơ đồ tham số hóa quá trình vi vật lý Goddard và sơ đồ tham số hóa đối lưu Tiedtke cho dữ liệu GSM. Các sự kiện mưa lũ lớn ngày 01-31/10/2008 được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình. Sự kiện mưa lớn từ 31/10-10/11/2009 được dùng để kiểm định.

Các kết quả hiệu chỉnh (Hình 3) và kiểm định (Hình 4) đều cho thấy sự tương đồng giữa các giá trị quan trắc và dự báo tương ứng cho lượng mưa trung bình lưu vực trong 1, 2 và 3 ngày đối với cả hai bộ dữ liệu tại TM và NS. Các chỉ số thống kê cho thấy giá trị quan trắc và dự báo có sự phù hợp cao ($0.86 \leq R^2 \leq 0.98$ và $0.67 \leq NSE \leq 0.88$). Dữ liệu chi tiết hóa từ mô hình WRF sau khi hiệu chỉnh và kiểm định sẽ được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho mô hình WEHY.



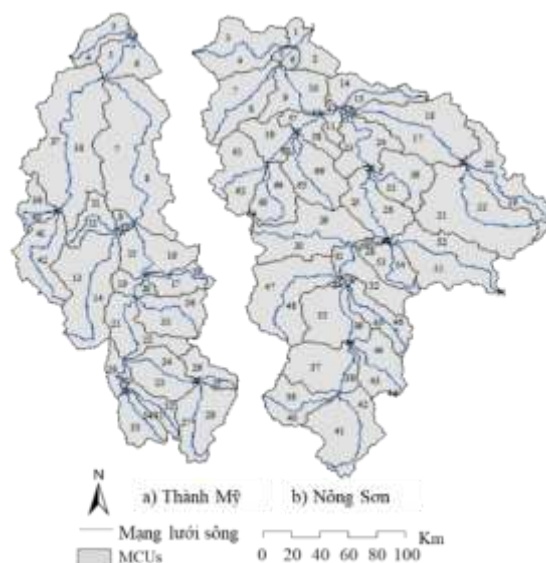
Hình 3: So sánh kết quả hiệu chỉnh lượng mưa trung bình lưu vực sông VG-TB dự báo và thực đo, từ ngày 01-31/10/2008 cho hai bộ dữ liệu GFS và GSM



Hình 4: Kết quả kiểm định lượng mưa trung bình lưu vực sông VG-TB dự báo và thực đo, từ ngày 31/10-10/11/2009 cho hai bộ dữ liệu GFS và GSM

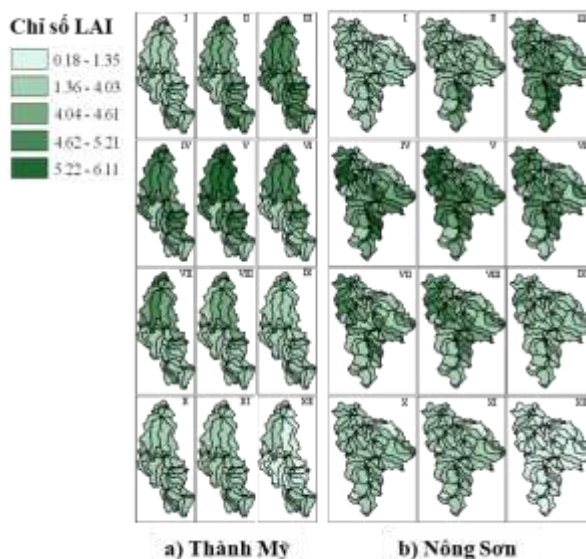
3.2. Ứng dụng mô hình thủy văn lưu vực WEHY trong dự báo lũ

Mô hình WEHY được phát triển từ năm 2004 bởi nhóm nghiên cứu thủy văn thủy lực trường đại học UC Davis. Đây là một mô hình dựa trên tham số vật lý với phương trình bảo toàn khối lượng, động lượng, [9] [10] [11]. WEHY là mô hình tính toán xây dựng dựa vào bản chất vật lý thực của các quá trình thủy văn. Mô hình có khả năng mô phỏng các quá trình vật lý từ quá trình mưa, thấm, bốc hơi, quá trình hình thành dòng chảy mặt, sát mặt, dòng chảy ngầm, diễn toán trên lòng sông. Mô hình WEHY đã kết hợp thành công với các mô hình khí tượng tạo nên bộ mô hình thủy văn WEHY, được ứng dụng thành công ở nhiều nơi trên thế giới như California, Thái Lan, Thổ Nhĩ Kỳ, Malaysia, Việt Nam [12] [13] [14]. Ứng dụng mô hình WEHY vào lưu vực gồm 4 bước chính. Bước đầu tiên là phân chia tiểu lưu vực (Hình 5): TM gồm 42 đơn vị tính – MCU (Model Computational unit) và 21 mạng lưới sông; NS gồm 66 MCU và 33 mạng lưới sông dựa trên mô hình số độ cao ASTER với độ phân giải không gian là 30m. Bước thứ hai là đồng hóa dữ liệu khí quyển làm đầu vào cho mô hình thủy văn. Đầu ra của mô hình WRF bao gồm 8 biến khác nhau (mưa, nhiệt độ, gió, bức xạ sóng ngắn, bức xạ sóng dài, áp suất, tỷ lệ xáo trộn, độ cao địa thế vị) đã được đưa về các định dạng chuẩn của mô hình WEHY. Lưu ý, 8 biến khác nhau đã được tính cho mỗi MCU được phân định cho TM và NS.

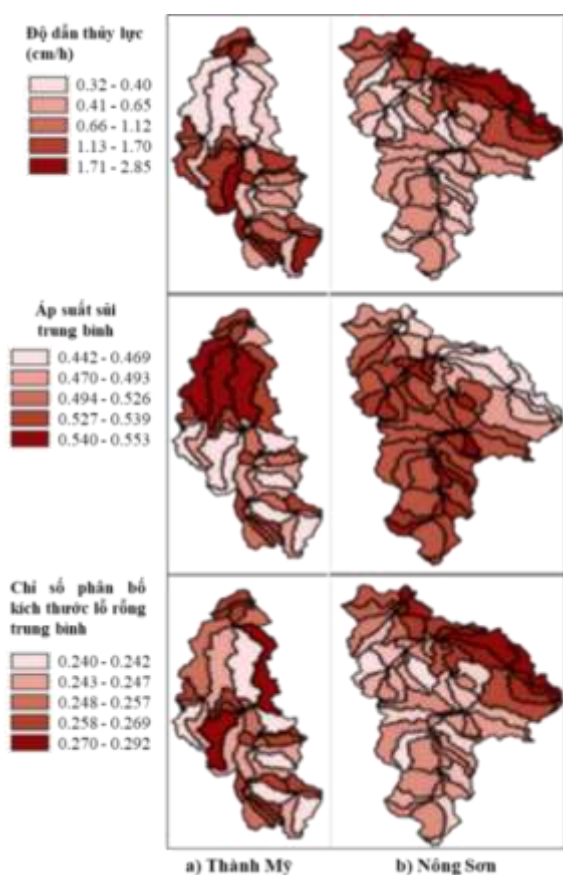


Hình 5: Bản đồ phân chia MCU và mạng lưới sông tại TM và NS

Bước thứ ba, ước tính thông số thảm phủ liên quan đến việc xử lý dữ liệu về độ che phủ lá cây, đặc tính của đất, đặc điểm về địa hình bề mặt lưu vực. Các thông số về lớp phủ bề mặt cũng rất quan trọng đối với việc thiết lập mô hình thủy văn và được thu thập từ bộ dữ liệu Đặc điểm lớp phủ bề mặt toàn cầu (GLCC). Các giá trị thông số về đất và thảm phủ đều được ước tính riêng cho các MCU [11] như trong hình 6 và hình 7.



Hình 6: Chỉ số che phủ lá cây (LAI) trung bình tháng ở TM và NS



Hình 7: Bản đồ thông số độ dẫn thủy lực của đất ước tính cho TM và NS

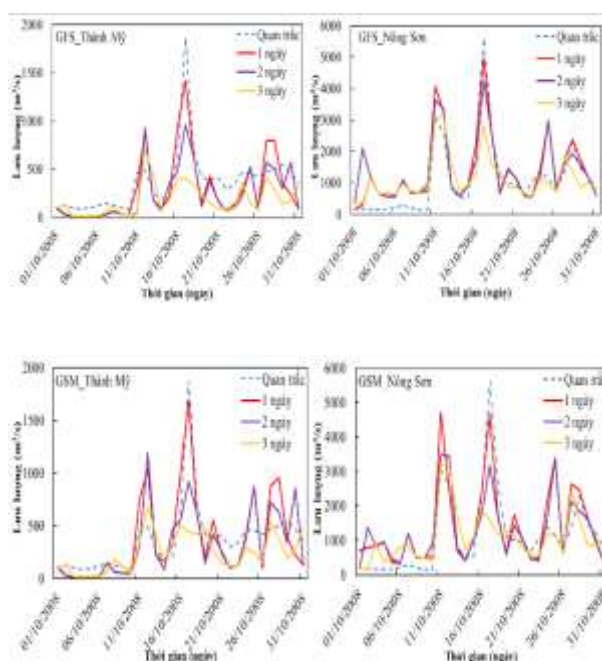
3.2.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình WEHY

Để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình WEHY, dữ liệu dòng chảy dự báo được so sánh với các giá trị thực đo. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định lưu lượng dòng chảy với dữ liệu chi tiết hóa động lực GFS, GSM được thể hiện bằng các giá trị thống kê như hệ số tương quan (R^2) và hệ số hiệu quả Nash (NSE).

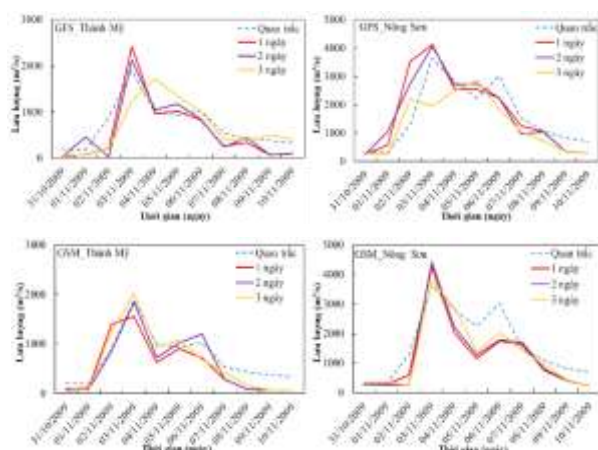
Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình WEHY cho thấy đường quá trình của lưu lượng dòng chảy dự báo và thực đo có sự tương đồng với nhau đối với cả hai bộ dữ liệu GFS và GSM tại TM và NS (Hình 8, 9). Các chỉ số thống kê chỉ ra rằng giá trị quan trắc và dự báo có sự phù hợp khá cao, như hệ số tương quan và hệ số NSE đều có hiệu suất dự báo đối với lưu lượng hàng ngày nằm trong khoảng “đạt yêu cầu” (Bảng 1, 2).

Bảng 1: Thông số thống kê lưu lượng dòng chảy trung bình lưu vực 1, 2, 3 ngày dự báo và quan trắc tại TM và NS trong giai đoạn hiệu chỉnh, từ ngày 01-31/10/2008

	Thành Mỹ				Nông Sơn			
	Quan trắc	1 ngày	2 ngày	3 ngày	Quan trắc	1 ngày	2 ngày	3 ngày
01-31/10/2008-GFS								
Trung bình (m^3/s)	368	295	247	186	1129	1399	1379	1130
Độ lệch chuẩn (m^3/s)	330	348	273	169	1170	1144	1006	716
Hệ số tương quan		0.84	0.75	0.52		0.91	0.83	0.81
Hệ số hiệu quả Nash		0.82	0.58	0.20		0.86	0.72	0.65
	Thành Mỹ				Nông Sơn			
	Quan trắc	1 ngày	2 ngày	3 ngày	Quan trắc	1 ngày	2 ngày	3 ngày
01-31/10/2008 - GSM								
Trung bình (m^3/s)	368	371	322	249	1129	1398	1271	1090
Độ lệch chuẩn (m^3/s)	330	414	325	183	1170	1201	968	752
Hệ số tương quan		0.82	0.65	0.53		0.83	0.74	0.64
Hệ số hiệu quả Nash		0.79	0.50	0.28		0.81	0.69	0.47



Hình 8: So sánh lưu lượng dòng chảy trung bình ngày dự báo bằng mô hình WEHY với hạn dự báo 1-3 ngày sử dụng dữ liệu WRF-GFS, WRF-GSM với dữ liệu thực đo tại TM và NS, từ ngày 01-31/10/2008



Hình 9: Kiểm định dự báo WEHY sử dụng dữ liệu WRF-GFS, WRF-GSM và dữ liệu lưu lượng quan trắc trung bình lưu vực 1, 2, 3 ngày, từ 31/10 - 10/11/2009 tại trạm TM và NS

Bảng 2: Thông số thống kê lưu lượng dòng chảy trung bình lưu vực 1, 2, 3 ngày tại TM và NS giữa dự báo và quan trắc trong giai đoạn kiểm định, từ 31/10 - 10/11/2009

31/10 - 10/11/2009- GFS	Thành Mỹ				Nông Sơn			
	Quan trắc	1 ngày	2 ngày	3 ngày	Quan trắc	1 ngày	2 ngày	3 ngày
Trung bình (m³/s)	709	573	595	667	1608	1702	1672	1294
Độ lệch chuẩn (m³/s)	505	713	649	564	1144	1367	1276	994
Hệ số tương quan		0.94	0.86	0.72		0.81	0.86	0.78
Hệ số hiệu quả Nash		0.58	0.52	0.35		0.51	0.67	0.52
31/10 - 10/11/2009 - GSM	Thành Mỹ				Nông Sơn			
	Quan trắc	1 ngày	2 ngày	3 ngày	Quan trắc	1 ngày	2 ngày	3 ngày
Trung bình (m³/s)	709	535	570	620	1608	1208	1237	1276
Độ lệch chuẩn (m³/s)	505	553	603	638	1144	1200	1281	1193
Hệ số tương quan		0.89	0.97	0.95		0.89	0.89	0.93
Hệ số hiệu quả Nash		0.62	0.80	0.78		0.64	0.62	0.75

4. ÁP DỤNG QUY TẮC VẬN HÀNH HỒ CHỨA CHO LƯU VỰC TM VÀ NS

Có hai đập chính ở TM và NS lần lượt là Sông Tranh 2 và Đăk Mi 4 (Hình 10). Thông tin tóm tắt về hai đập được trình bày trong bảng 3.

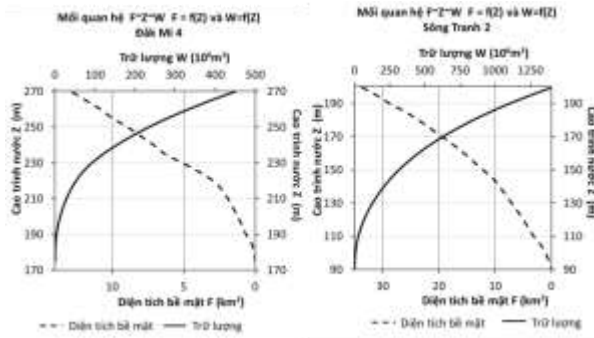
Bảng 3: Thông tin về đập Sông Tranh 2 và Đăk Mi 4

Hồ chứa	Lưu vực	Bắt đầu xây dựng	Bắt đầu hoạt động	Cao trình (m)	Dung tích (10 ⁶ m ³)
Sông Tranh2	NS	2006	2010	180	730
Đăk Mi 4	TM	2007	2012	262.0	312.38

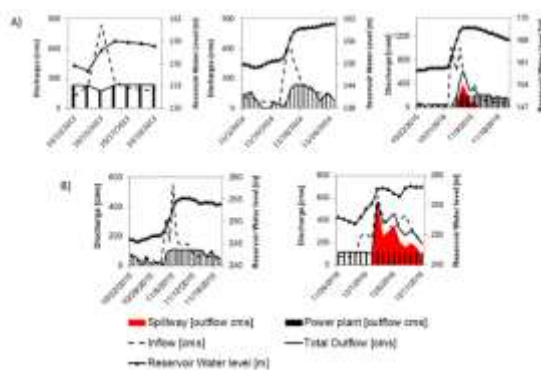


Hình 10: Vị trí của hồ chứa Đăk Mi 4, nhà máy điện Đăk Mi 4 và hồ chứa Sông Tranh 2 tại lưu vực TM, NS

Nghiên cứu này sử dụng quy tắc vận hành hồ chứa Sông Tranh 2 và Đăk Mi 4 hiện có vào dự báo lũ sớm. Chương trình con vận hành đập cũng cần được tùy chỉnh cho từng hồ chứa chính trong các lưu vực được chọn (Sông Tranh 2 và Đăk Mi 4). Các quy tắc hoạt động ban đầu được thực hiện theo dữ liệu có sẵn nhưng phải được hoàn thiện thêm bằng các dự báo của mô hình. Các quy tắc vận hành cho các đập này rất quan trọng trong việc dự báo chính xác đặc trưng dòng chảy bằng mô hình WEHY.



Hình 11: Mối quan hệ giữa diện tích bề mặt, cao trình mực nước và trữ lượng tại hồ chứa Đăk Mi 4 và Sông Tranh 2



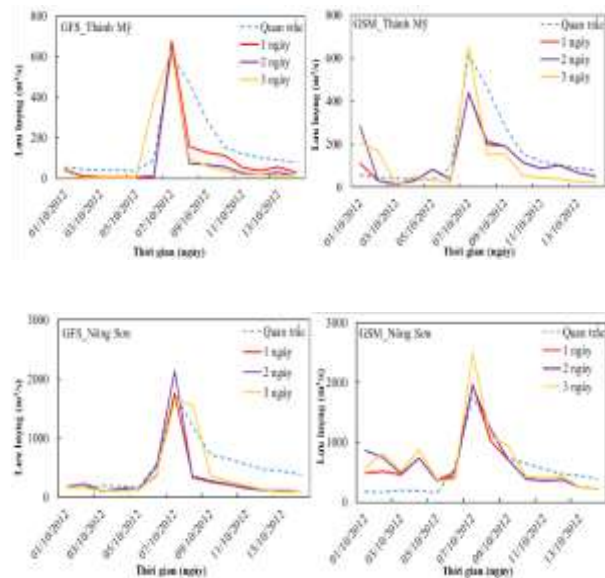
Hình 12: Quy tắc vận hành hồ chứa hiện tại bao gồm mực nước hồ chứa, dòng chảy ra từ nhà máy điện, từ đập tràn, tổng dòng chảy ra và dòng chảy vào cho A) Sông Tranh 2; B) Đăk Mi 4

Các quy tắc vận hành cho hồ chứa Sông Tranh 2 và Đăk Mi 4 được Công ty Điện lực Việt Nam lấy từ năm 2011-2019 và được sử dụng cho mô hình WEHY trong chương trình con vận hành đập. Chương trình con vận hành đập của WEHY dựa trên các hàm về mối quan hệ giữa diện tích bề mặt (F), cao trình nước (Z) và trữ lượng (W) (Hình 11) và quy tắc vận hành hiện tại (Hình 12). Trong nghiên cứu này, chương trình con vận hành đập của WEHY tuân theo mực nước hồ chứa trong quá khứ.

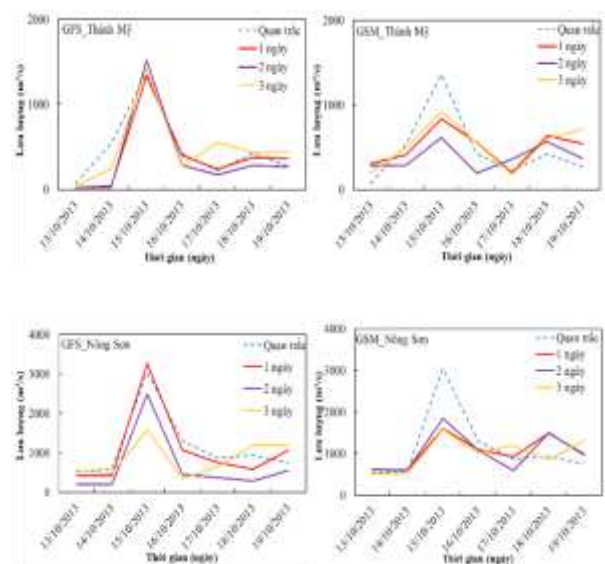
5. KẾT QUẢ DỰ BÁO LŨ SỚM THỬ NGHIỆM SAU KHI HỢP NHẤT VỚI QUY TẮC VẬN HÀNH HỒ CHỨA (2012 - 2016)

Sau khi kiểm định, mô hình WEHY được áp dụng để dự báo lũ sớm tại TM và NS. Kết quả

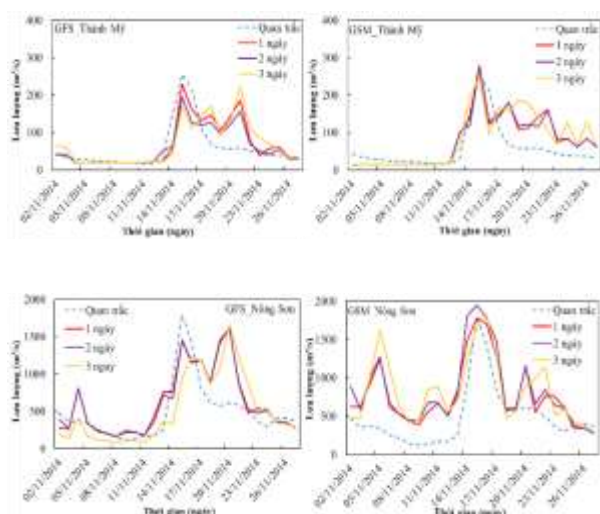
dự báo sau khi hợp nhất quy luật vận hành hồ chứa Sông Tranh 2 và Đăk Mi 4 được thể hiện ở hình 13 - 17.



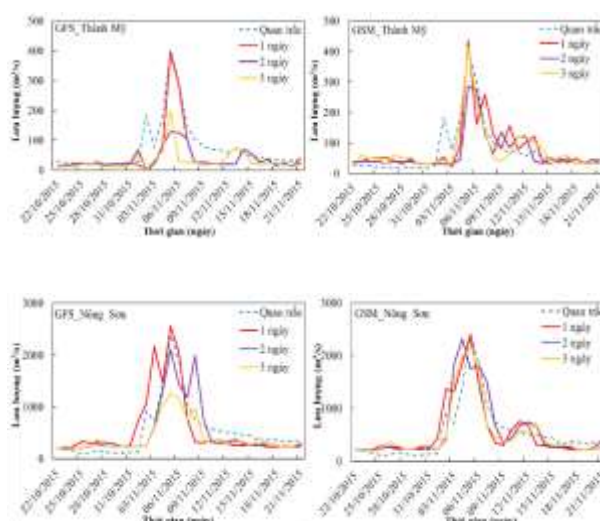
Hình 13: Kết quả dự báo lưu lượng dòng chảy trung bình lưu vực 1, 2, 3 ngày sử dụng WRF-GFS, WRF-GSM và dữ liệu quan trắc theo ngày tại TM, NS từ ngày 01-14/10/2012



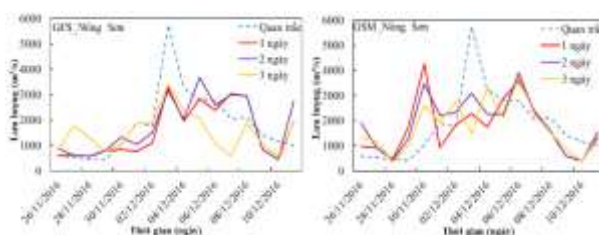
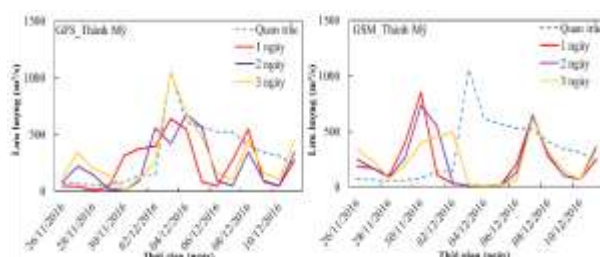
Hình 14: Kết quả dự báo lưu lượng dòng chảy trung bình lưu vực 1, 2, 3 ngày sử dụng WRF-GFS, WRF-GSM và dữ liệu quan trắc theo ngày tại TM, NS từ ngày 13-19/10/2013



Hình 15: Kết quả dự báo lưu lượng dòng chảy trung bình lưu vực 1, 2, 3 ngày sử dụng WRF-GFS, WRF-GSM và dữ liệu quan trắc theo ngày tại TM, NS từ ngày 02-27/11/2014



Hình 16: Kết quả dự báo lưu lượng dòng chảy trung bình lưu vực 1, 2, 3 ngày sử dụng WRF-GFS, WRF-GSM và dữ liệu quan trắc theo ngày tại TM, NS từ ngày 22/10-21/11/2015



Hình 17: Kết quả dự báo lưu lượng dòng chảy trung bình lưu vực 1, 2, 3 ngày sử dụng WRF-GFS, WRF-GSM và dữ liệu quan trắc theo ngày tại TM, NS từ ngày 26/11-11/12/2016

Có thể thấy đường quá trình của dòng chảy khá tương đồng với giá trị thực đo trong các năm 2012, 2013, 2015. Trong năm 2016 (GSM_TM) các giá trị dự báo chưa được tốt và sai lệch khá nhiều so với dữ liệu thực đo. Tuy nhiên, hầu hết các giá trị thống kê nằm trong khoảng “đạt yêu cầu” đối với cả hai bộ dữ liệu GFS và GSM (Bảng 4, 5). Kết quả dự báo lũ sớm dựa vào hai bộ dữ liệu này không có sự khác biệt quá lớn, do vậy có thể sử dụng cả GFS và GSM làm dữ liệu đầu vào cho mô hình thủy văn WEHY.

Bảng 4: Đánh giá thống kê lưu lượng trung bình 1, 2, 3 ngày tại NS và TM giữa các giá trị dự báo và thực đo sử dụng dữ liệu GFS

GFS	Năm	Ngày	Hệ số	1 ngày	2 ngày	3 ngày
Nông Sơn	2012	01-14/10	NSE	0.393	0.325	0.658
			R ²	0.847	0.822	0.919
	2013	13-19/10	NSE	0.916	0.560	0.270
			R ²	0.976	0.970	0.640
	2014	02-27/11	NSE	0.242	0.245	0.082
			R ²	0.718	0.717	0.621
	2015	22/10-21/11	NSE	0.605	0.671	0.643
			R ²	0.851	0.834	0.9
	2016	26/11-11/12	NSE	0.540	0.455	0.449
			R ²	0.760	0.685	0.724
Thành Mỹ	2012	01-14/10	NSE	0.63	0.39	-0.05
			R ²	0.88	0.82	0.64
	2013	13-19/10	NSE	0.75	0.69	0.76
			R ²	0.90	0.93	0.89
	2014	02-27/11	NSE	0.47	0.56	0.09
			R ²	0.75	0.76	0.55
	2015	22/10-21/11	NSE	0.70	0.24	0.15
			R ²	0.89	0.76	0.69
	2016	26/11-11/12	NSE	0.11	-0.02	0.50
			R ²	0.52	0.45	0.74

Bảng 5: Đánh giá thống kê lưu lượng trung

biểu 1, 2, 3 ngày tại TM và NS giữa các giá trị dự báo và thực đo sử dụng dữ liệu GSM

GSM	Năm	Ngày	Hệ số	1 ngày	2 ngày	3 ngày
Nông Sơn	2012	01-14/10	NSE	0.667	0.667	0.258
			R ²	0.834	0.762	0.794
	2013	13-19/10	NSE	0.457	0.578	0.420
			R ²	0.755	0.816	0.727
	2014	02-27/11	NSE	0.011	-0.26	-0.523
			R ²	0.808	0.816	0.664
	2015	22/10-21/11	NSE	0.794	0.606	0.786
			R ²	0.902	0.835	0.895
	2016	26/11-11/12	NSE	-0.054	0.275	0.089
			R ²	0.372	0.563	0.419
Thành Mỹ	2012	01-14/10	NSE	0.693	0.589	0.532
			R ²	0.931	0.801	0.473
	2013	13-19/10	NSE	0.541	0.286	0.575
			R ²	0.792	0.650	0.784
	2014	02-27/11	NSE	0.334	0.333	-0.002
			R ²	0.773	0.753	0.681
	2015	22/10-21/11	NSE	0.669	0.676	0.795
			R ²	0.831	0.831	0.892
	2016	26/11-11/12	NSE	-1.344	-1.361	-1.161
			R ²	-0.276	-0.334	-0.426

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp chi tiết hóa động lực kết hợp các mô hình dự báo thời tiết số trị với mô hình thủy văn để dự báo lũ cho lưu vực sông VG-TB. Dữ liệu GFS và GSM sau khi được chi tiết hóa xuống độ phân giải 6km bằng mô hình WRF đã được hiệu chỉnh và kiểm định với dữ liệu mưa thực đo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. Trinh, H. Cuong, N. Do Hoai, A. Ercan, and M. Kavvas, "Development of high-resolution 72h precipitation and hillslope flood maps over a tropical transboundary region by physically based numerical atmospheric-hydrologic modeling," *Journal of Water and Climate Change*, vol. 11, Jun. 2020, doi: 10.2166/wcc.2020.062.
- [2] C. R. Fenn, R. Bettess, B. Golding, F. A. Farquharson, and T. Wood, "The Boscastle flood of 16 August 2004: Characteristics, causes and consequences," presented at the Defra Flood and Coastal Management Conference 2005, York, UK, 2005. Accessed: Mar. 25, 2022. [Online]. Available: <https://eprints.hrwallingford.com/546/>
- [3] I. Schad *et al.*, "Why do people not learn from flood disasters? Evidence from Vietnam's northwestern mountains," *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, vol. 62, no. 2, pp. 221–241, 2012.
- [4] S. L. Barr *et al.*, "Flood-Prepared a Nowcasting System for Real-Time Impact Adaption to

Sau đó, sử dụng dữ liệu chi tiết hóa động lực GFS, GSM và các thông số về thảm phủ, đặc tính của đất làm dữ liệu đầu vào cho mô hình WEHY. Lưu lượng dòng chảy dự báo 1, 2, 3 ngày từ mô hình WEHY được hiệu chỉnh và kiểm định với các giá trị thực đo. Kết quả dự báo của hai bộ dữ liệu có độ tin cậy tốt và đạt các chỉ tiêu thống kê trong giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định. Tuy nhiên, kết quả dự báo lũ thử nghiệm của một số năm không được tốt, với $0.1 \leq R^2 \leq 0.97$ và $0.2 \leq NSE \leq 0.86$ đối với cả hai bộ dữ liệu GFS và GSM.

Qua kết quả nghiên cứu, có thể thấy dự báo lũ bằng phương pháp chi tiết hóa động lực kết hợp mô hình khí tượng với mô hình thủy văn có thể cho kết quả khả quan. Điều này giúp cho công tác phòng, chống lũ lụt đạt được hiệu quả cao, giúp giảm thiệt hại về người và tài sản. Ngoài ra, việc vận hành hồ chứa và đập thủy điện cũng ảnh hưởng đến dòng chảy của lưu vực.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả gửi lời cảm ơn đến Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED), Bộ Khoa học và Công nghệ đã tài trợ kinh phí thực hiện cho đề tài này (Mã số: ĐTDL.CN-84/21)

- Surface Water Flooding in Cities,” *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 64W2, pp. 9–15, Sep. 2020, doi: 10.5194/isprs-annals-VI-4-W2-2020-9-2020.
- [5] J. F. Adamowski, “River flow forecasting using wavelet and cross-wavelet transform models,” *Hydrol. Process.*, vol. 22, no. 25, pp. 4877–4891, Dec. 2008, doi: 10.1002/hyp.7107.
- [6] T. Trinh, N. Do, V. T. Nguyen, and K. Carr, “Modeling high-resolution precipitation by coupling a regional climate model with a machine learning model: an application to Sai Gon–Dong Nai Rivers Basin in Vietnam,” *Climate Dynamics*, vol. 57, Nov. 2021, doi: 10.1007/s00382-021-05833-6.
- [7] Ho, V and Trinh, T., “Assessment of hydro-climatological drought conditions for Hong-Thai Binh river watershed in Vietnam using high-resolution model simulation.,” 2019a. . Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering, 61(2), pp.90-96.
- [8] P. T. Minh, B. T. Tuyet, T. T. T. Thao, and L. T. T. Hang, “Application of ensemble Kalman filter in WRF model to forecast rainfall on monsoon onset period in South Vietnam,” *Vietnam Journal of Earth Sciences*, vol. 40, no. 4, Art. no. 4, 2018, doi: 10.15625/0866-7187/40/4/13134.
- [9] Z. Q. Chen *et al.*, “Geomorphologic and Soil Hydraulic Parameters for Watershed Environmental Hydrology (WEHY) Model,” *J. Hydrol. Eng.*, vol. 9, no. 6, pp. 465–479, Nov. 2004, doi: 10.1061/(ASCE)1084-0699(2004)9:6(465).
- [10] M. L. Kavvas *et al.*, “Watershed Environmental Hydrology (WEHY) Model Based on Upscaled Conservation Equations: Hydrologic Module,” *J. Hydrol. Eng.*, vol. 9, no. 6, pp. 450–464, Nov. 2004, doi: 10.1061/(ASCE)1084-0699(2004)9:6(450).
- [11] M. L. Kavvas, S. Kure, Z. Q. Chen, N. Ohara, and S. Jang, “WEHY-HCM for Modeling Interactive Atmospheric-Hydrologic Processes at Watershed Scale. I: Model Description,” *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 18, no. 10, pp. 1262–1271, Oct. 2013, doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000724.
- [12] M. Z. M. Amin *et al.*, “Future climate change impact assessment of watershed scale hydrologic processes in Peninsular Malaysia by a regional climate model coupled with a physically-based hydrology model,” *Sci Total Environ*, vol. 575, pp. 12–22, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.009.
- [13] Wuthiwongyothin, S., “Assessment of Water Resources During the 21 st Century in Northern Thailand with Focus on Ping River Basin.” University of California, Davis., 2016.
- [14] T. Trinh *et al.*, “Reconstruction of Historical Inflows into and Water Supply from Shasta Dam by Coupling Physically Based Hydroclimate Model with Reservoir Operation Model,” *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 21, no. 9, p. 04016029, Sep. 2016, doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001391.