

Bài báo khoa học

Nghiên cứu xây dựng bộ công cụ tích hợp dự báo lũ, cảnh báo ngập lụt cho 03 lưu vực sông: Thạch Hãn, Vu Gia–Thu Bồn và Trà Khúc–Sông Vệ

Đoàn Quang Trí^{1*}, Phạm Thị Nga²

¹ Tạp chí Khí tượng Thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; doanquangtrikttv@gmail.com

² Khu di tích chủ tịch Hồ Chí Minh, Số 1 Hoàng Hoa Thám, Ba Đình, Hà Nội; phamlinhnga.pct@gmail.com

*Tác giả liên hệ: doanquangtrikttv@gmail.com; Tel.: +84–988928471

Ban Biên tập nhận bài: 13/2/2022; Ngày phản biện xong: 29/3/2022; Ngày đăng bài: 25/4/2022

Tóm tắt: Nghiên cứu ứng dụng các tiến bộ khoa học kỹ thuật và các mô hình hiện đại nhằm nâng cao chất lượng cho công tác dự báo khí tượng thủy văn. Nghiên cứu này đã xây dựng được một bộ công cụ tích hợp hoàn chỉnh với các mô đun cập nhật theo thời gian thực số liệu mưa thực đo, mực nước, lưu lượng, hoạt động điều tiết hồ chứa được vận hành tích hợp trong các mô hình thủy văn (MIKE SHE) phục vụ dự báo dòng chảy đến hồ, điều tiết hồ chứa, mô hình thủy lực MIKE 11 dự báo lũ trong sông, mô hình MIKE 11 GIS để cảnh báo ngập lụt cho khu vực hạ lưu. Bộ công cụ sử dụng số liệu mưa dự báo trung hạn (5 ngày) từ mô hình IFS đã được hiệu chỉnh và đánh giá là phù hợp. Kết quả đánh giá áp dụng thử nghiệm một mùa lũ cho 02 lưu vực Thạch Hãn và Vu Gia–Thu Bồn cho kết quả tương đối khả quan và tiếp tục thử nghiệm đánh giá cho lưu vực Trà Khúc–Sông Vệ. Nghiên cứu đã xây dựng được bộ bản đồ cảnh báo ngập lụt theo cấp mực nước và cấp báo động lũ là một tài liệu tham khảo quan trọng hỗ trợ tốt cho công tác cảnh báo, dự báo ngập lụt phục vụ cho công tác phòng chống thiên tai khi có sự cố xảy ra.

Từ khóa: Bộ công cụ; Dự báo lũ; Cảnh báo ngập lụt; Thạch Hãn; Vu Gia–Thu Bồn; Trà Khúc–Sông Vệ.

1. Mở đầu

Nghiên cứu dự báo mưa lũ trung hạn trên thế giới hiện nay vẫn là một đề tài hấp dẫn các nhà khoa học, đặc biệt là vấn đề làm thế nào để nâng cao chất lượng và thời gian dự kiến. Các nước tiên tiến trên thế giới như Anh, Mỹ, Pháp, Thụy Điển, và Nhật đều đã xây dựng hệ thống cảnh báo thiên tai dựa vào việc ứng dụng mô hình thủy văn kết hợp với hệ thống GIS và các thông tin dự báo, cảnh báo mưa từ radar, vệ tinh và mô hình dự báo số trị. Mô hình có thể được tích hợp trong hệ thống dự báo nghiệp vụ theo hai cách tiếp cận: (1) Tích hợp truyền thống: hệ thống dự báo được xây dựng dựa trên các mô hình đã được tối ưu hoá bộ thông số để sử dụng trong hệ thống dự báo nghiệp vụ. Tuy nhiên, phương pháp này có hạn chế là khó thích nghi hoặc khó thay đổi bộ thông số hoặc cập nhật bộ thông số của mô hình; (2) Tích hợp kiểu mở: Trong cách tiếp cận này, việc sử dụng mô hình không bị ràng buộc bởi các điều kiện áp dụng thực tế. Hệ thống xử lý dữ liệu và cho phép các mô hình được tích hợp khi cần. Với sự phát triển của các kỹ thuật tính toán hiện đại cũng như nhiều phần mềm hỗ trợ, rất nhiều hệ thống dự báo mở đã được xây dựng như hệ thống dự báo Delft–FEWS [1], hệ thống dự báo MIKE FLOOD WATCH [2] hoặc FloodWorks. Hệ thống cảnh báo lũ sớm Delft–FEWS cho

phép liên kết nhiều dạng số liệu dự báo thời tiết, mô hình thủy văn – thủy lực và đã được ứng dụng dự báo lũ tại một số vùng của Anh, Thụy Điển và một số lưu vực [3–5]. Hệ thống MIKE FLOOD WATCH là mô hình tích hợp hệ thống quản lý dữ liệu và các mô hình dự báo [6].

Để nâng cao chất lượng mô phỏng dòng chảy từ mưa, xu hướng mới trên thế giới hiện nay là sử dụng các mô hình thủy văn có thông số phân bố [7–11]. Các ứng dụng theo xu hướng này đang được nghiên cứu phát triển và áp dụng trong dự báo thủy văn. Đầu vào của các mô hình thủy văn có thông số phân bố là các số liệu thông tin địa lý (GIS), viễn thám, ước lượng mưa từ vệ tinh, ra đa hay mưa dự báo số trị. Một số các nghiên cứu và ứng dụng ở nước ngoài như: Hệ thống cảnh báo lũ toàn cầu (*Global Flood Alert System, GFAS*) [12] và mạng lưới lũ quốc tế (*International Flood Network, IFNet*) sử dụng số liệu mưa bề mặt cùng các số liệu ước lượng mưa từ vệ tinh để cảnh báo khả năng hay xác suất xảy ra lũ trên các sông lớn toàn cầu (IFNet) khi lượng mưa đã rơi vượt ngưỡng giới hạn mưa hiệu quả sinh lũ và ngưỡng giới hạn này được xác định trước cho từng lưu vực. Tuy nhiên hệ thống này chưa tính tới điều kiện mặt đệm lưu vực, ảnh hưởng của địa hình, tình trạng ẩm, hiện trạng lũ của lưu vực nên độ chính xác không cao, chỉ có tính cảnh báo xác suất có khả năng xảy ra lũ trên lưu vực sông lớn. Đại học Tokyo bước đầu phát triển mô hình thủy văn phân bố sử dụng vốn từ Quỹ nước và năng lượng (*Water and Energy Budget-based Distributed Hydrological Model, WEB-DHM*) [13], [10] mô phỏng cho năm 2009 với dòng chảy sông Agatsuma, Tokyo trong khuôn khổ Chương trình Chu trình nước châu Á (*Asia Water Cycle Initiative, AWCI*). Mô hình này dựa trên số liệu viễn thám và số liệu mưa bề mặt. Ngoài ra, WEB-DHM cũng được sử dụng để tính toán dòng chảy cho một số lưu vực khác ở Nepal [2] và một số các quốc gia khác [14]. Cùng với sự phát triển của các mô hình toán thủy văn tính toán mưa rào – dòng chảy trên lưu vực, các mô hình diễn toán lũ trong sông, mô hình thủy lực 1 chiều, 2 chiều tính toán thủy lực trong sông và mô phỏng ngập lụt cũng được phát triển mạnh mẽ trong những năm gần đây, có thể kể đến một số mô hình như: TOPMODEL [15], họ mô hình HEC (HEC-3, HEC-RAS) [16], họ mô hình MIKE (MIKE-BASIN, MIKE-11, MIKE-FLOOD WATCH, MIKE 21) [17–22].

Hướng nghiên cứu trên thế giới về dự báo lũ hạn vừa trong những năm gần đây thường tập trung vào việc sử dụng phương pháp mạng trí tuệ nhân tạo (ANN), Machine Learning (ML) [23] với nhiều thuật toán tối ưu khác nhau [24–25]. Bên cạnh đó, dự báo lũ hạn vừa còn kết hợp với việc sử dụng các phương pháp thống kê truyền thống như mô hình ARIMA (p,d,q) và việc mở rộng áp dụng các mô hình thủy văn thông số phân bố dựa trên cơ sở tận dụng các thông tin từ viễn thám và GIS kết hợp với kết quả dự báo mưa từ các mô hình số trị dự báo thời tiết như MM5, RAMS, HRM, BOLAM [9–10].

Hiện nay rất nhiều mô hình toán thủy văn, thủy lực đã được nghiên cứu để ứng dụng trên các hệ thống sông miền Trung, nhưng chỉ rất ít trong số đó có thể ứng dụng được trong nghiệp vụ dự báo hàng ngày: mô hình Wetspa kết hợp với mô hình thủy lực HEC-RAS đã nghiên cứu và ứng dụng thành công trên lưu vực sông Vu Gia–Thu Bồn [26]; bộ mô hình MIKE (MIKE NAM, MIKE 11-GIS, MIKEFLOOD) cho sông Thạch Hãn [27], mô hình thủy lực Telemac-2D kết hợp với MIKE NAM cho vùng hạ lưu hệ thống sông Trà Khúc–Sông Vệ [28]. Trong khi đó mô hình MIKE SHE – mô hình thông số phân bố lại chưa được nghiên cứu và áp dụng trong nghiệp vụ hàng ngày. MIKE SHE được sử dụng nhiều nơi trên thế giới, tuy nhiên, ở Việt Nam những nghiên cứu ứng dụng MIKE SHE còn chưa nhiều. Mô hình MIKE SHE và MIKE 11 trong đề tài nghiên cứu cấp Bộ của Ngô Đức Chân xác định lượng cung cấp thấm từ các hồ chứa nước lớn cho các tầng chứa nước ở Đông Nam Bộ. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở (2016) – chủ nhiệm Hoàng Anh Huy nghiên cứu ứng dụng MIKE SHE để mô phỏng độ ẩm trong đất, áp dụng thí điểm cho dòng chính khu vực sông La, tỉnh Nghệ An. Dự án “Khả năng nguồn nước, sử dụng nước và khuynh hướng ở lưu vực SREPOK (Việt Nam)” đã ứng dụng mô hình MIKE SHE để xem xét tác động của hệ thống khai thác sử dụng nước mặt vùng dự án đối với tầng nước ngầm.

Các lưu vực sông ở khu vực Trung Trung Bộ chủ yếu sử dụng mô hình thông số tập trung MIKE NAM để mô phỏng dòng chảy, chưa có nghiên cứu nào ứng dụng mô hình thông số phân phối MIKE SHE cho khu vực này. Xuất phát từ việc đánh giá hiện trạng việc áp dụng các mô hình toán trong bài toán nghiệp vụ, nghiên cứu đưa ra đề xuất xây dựng một bộ công cụ phần mềm MIKE trong đó lần đầu tiên MIKE SHE được sử dụng trong nghiên cứu dự báo nghiệp vụ kết hợp với MIKE 11 và MIKE 11–GIS trong việc mô phỏng, tính toán, kéo dài thời đoạn dự báo lên đến 5 ngày trên một số sông chính ở khu vực Trung Trung Bộ (Thạch Hãn, Vu Gia–Thu Bồn và Trà Khúc–Sông Vệ). Mô hình MIKE SHE có khả năng mô phỏng quá trình mưa–dòng chảy trên tầng ô lưới theo không gian, phù hợp với việc sử dụng số liệu mưa số trị. Đây là một mô hình thương mại kết hợp đồng bộ với mô hình thủy lực MIKE 11 và mô hình MIKE 11–GIS nên có thể can thiệp rút ngắn thời gian vận hành mô hình. Mô hình MIKE 11 đã được ứng dụng vào nghiệp vụ dự báo dòng chảy lũ trên một số lưu vực ở khu vực Trung Trung Bộ, và đã được kiểm tra trong thực tế với khả năng dự báo tương đối tốt, nên việc triển khai ứng dụng cho các lưu vực tương tự là hoàn toàn hợp lý.

Mục đích của nghiên cứu nhằm xây dựng được bộ công cụ tích hợp hoàn chỉnh kết hợp mưa dự báo sau hiệu chỉnh IFS làm đầu vào cho các mô hình thủy văn, điều tiết hồ chứa và mô hình thủy lực phục vụ cho công tác dự báo lũ trên sông và cảnh báo ngập lụt cho khu vực hạ du. Bộ công cụ được xây dựng đóng gói hoàn chỉnh sẽ là một công cụ hiệu quả hỗ trợ tốt cho công tác nghiệp vụ tại trung ương và địa phương sử dụng.

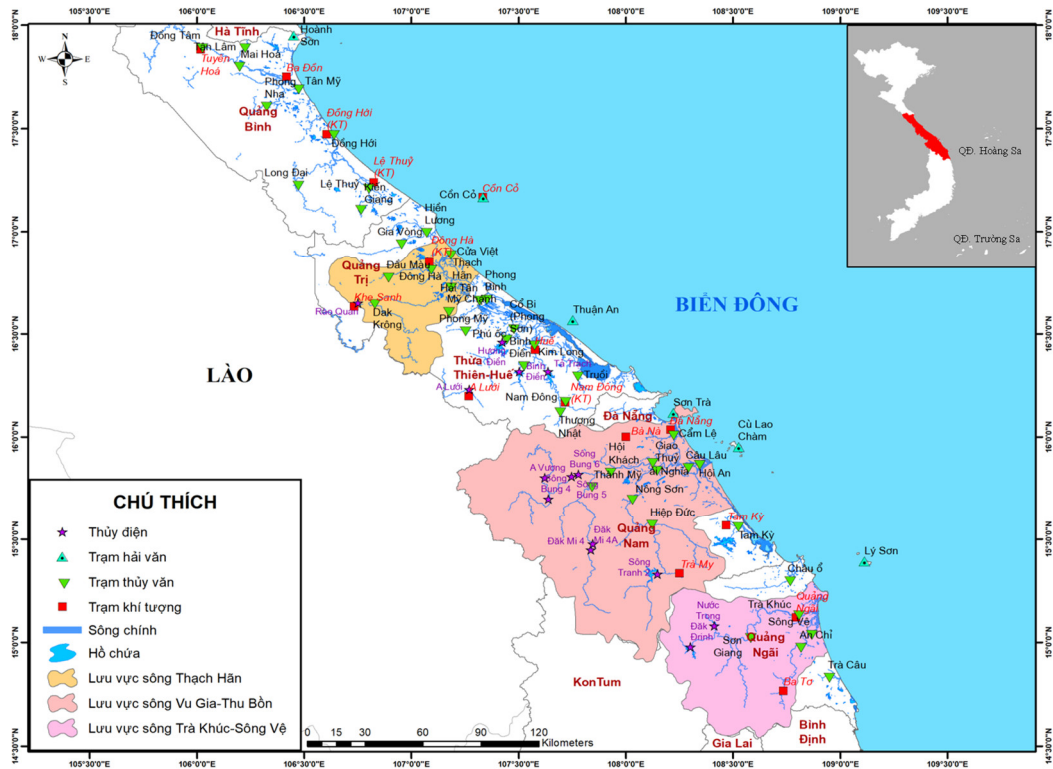
2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

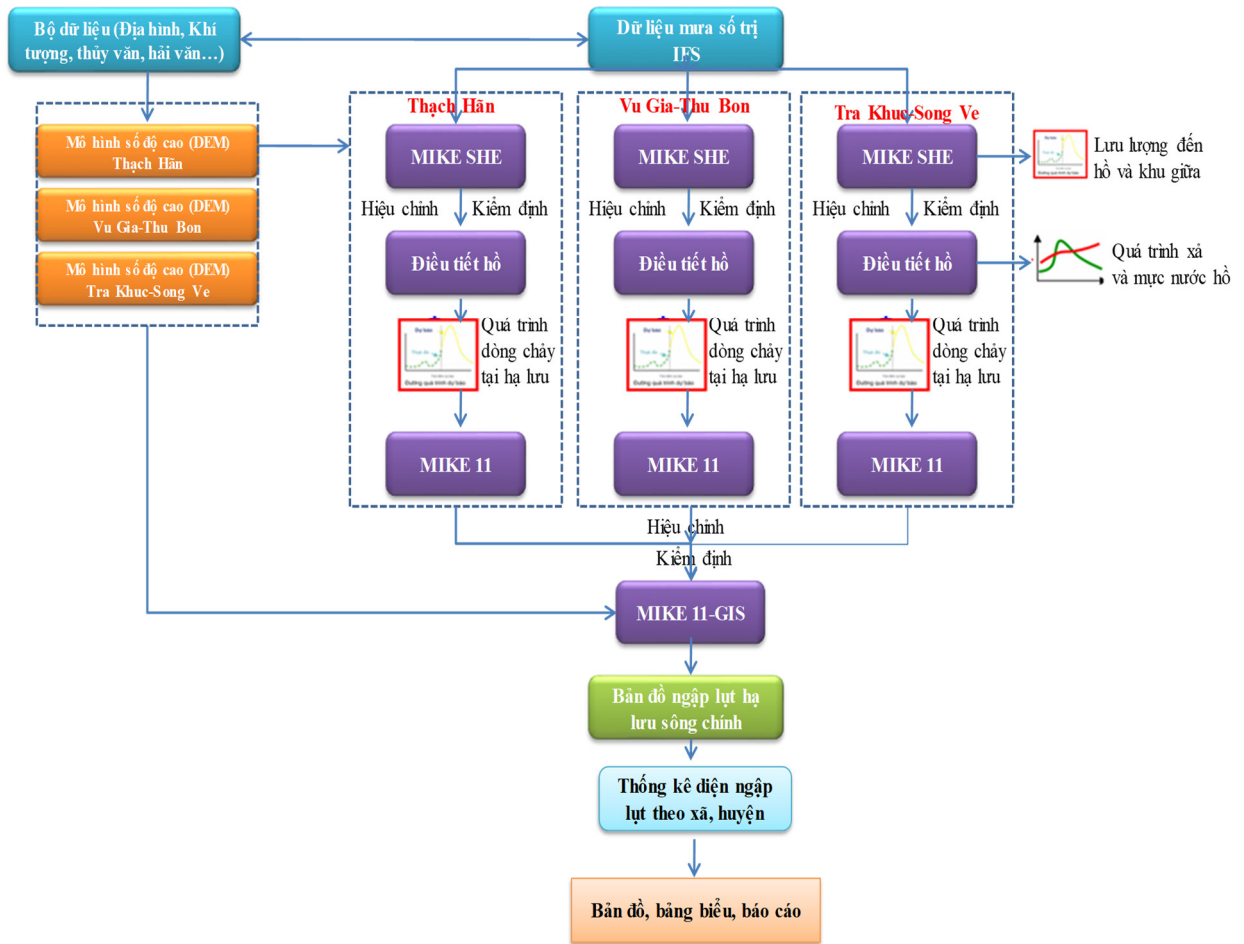
Nghiên cứu được thực hiện trên ba lưu vực chính của khu vực Trung Trung Bộ: Thạch Hãn, Vu Gia–Thu Bồn và Trà Khúc–Sông Vệ. Bộ công cụ được xây dựng độc lập cho ba lưu vực nhằm phục vụ dự báo cho 04 vị trí dự báo chính: Thạch Hãn trên sông Thạch Hãn, Câu Lâu trên sông Thu Bồn, Ái Nghĩa trên sông Vu Gia và Trà Khúc trên sông Trà Khúc khi có lũ lớn (từ báo động II trở lên) với thời gian dự kiến là dự báo lũ 5 ngày (Hình 1).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

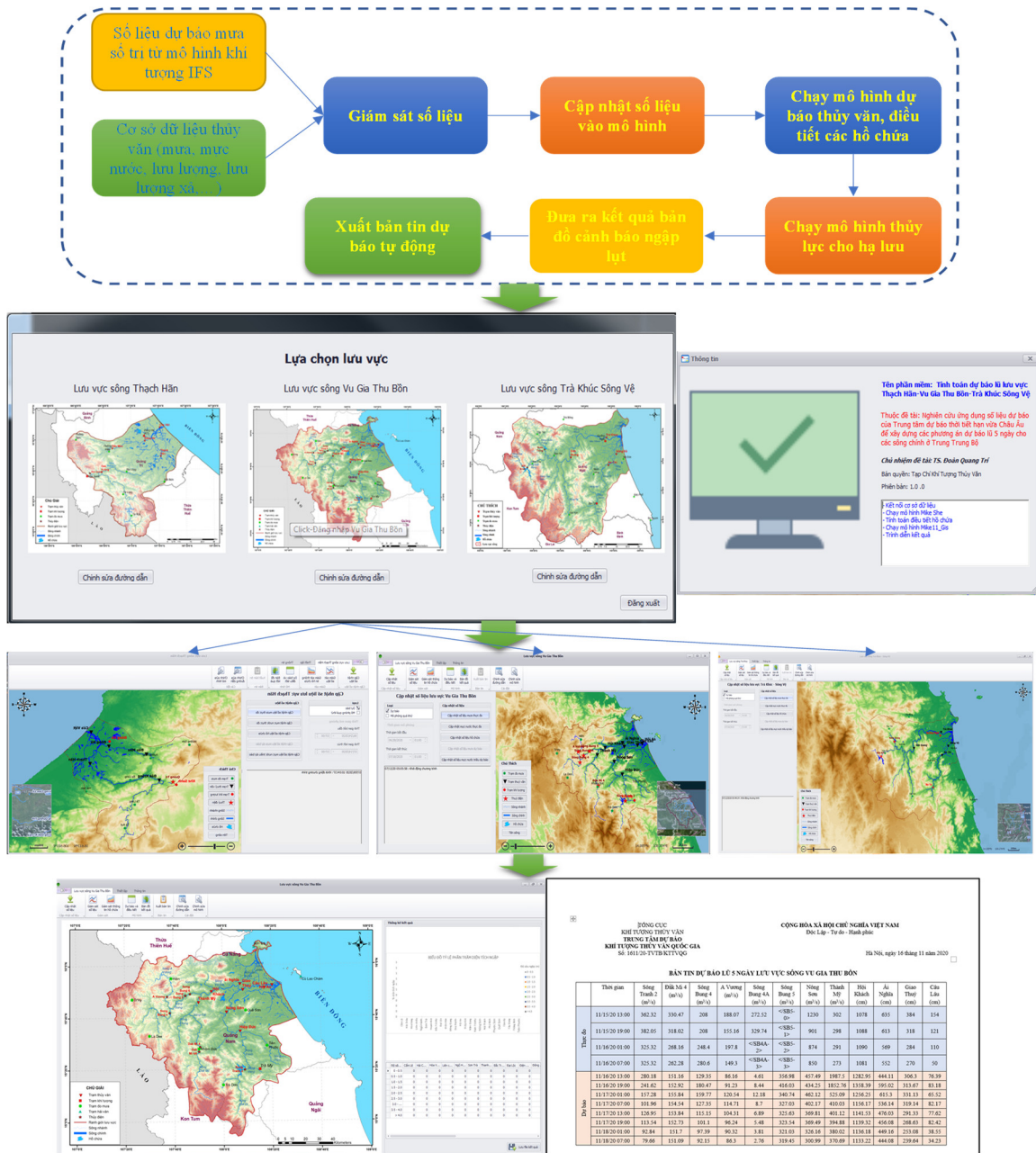
Bộ công cụ được xây dựng cho ba lưu vực nghiên cứu với sự kết hợp vận hành tổ hợp của các mô hình thủy văn MIKE SHE, điều tiết hồ chứa trong excel, mô hình thủy lực MIKE 11 diễn toán thủy lực trong sông, và mô hình MIKE 11–GIS để xây dựng các bản đồ cảnh báo ngập lụt theo cấp mực nước cho cả ba lưu vực nghiên cứu. Quá trình thiết lập mô hình, hiệu chỉnh, kiểm định mô hình để xác định được bộ thông số tối ưu của các mô hình đã được tiến hành trong kết quả nghiên cứu của đề tài cấp Bộ “Nghiên cứu ứng dụng số liệu dự báo của Trung tâm dự báo thời tiết hạn vừa Châu Âu để xây dựng các phương án dự báo lũ 5 ngày cho các sông chính ở Trung Trung Bộ”, mã số TNMT.2018.05.35 [29–32]. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu được tổng quát hóa trên sơ đồ hình 1. Trên cơ sở xây dựng hoàn thiện các quy trình thực hiện trên Hình 2, nghiên cứu tiến hành tổng hợp xây dựng bộ công cụ phần mềm tích hợp vận hành một cách độc lập phân quyền sử dụng cho các dự báo viên, nghiên cứu viên hỗ trợ cho công tác nghiệp vụ theo thời gian thực và tổng hợp xuất bản tin tự động theo kết quả tính toán, vận hành các mô hình đã được tích hợp trong hệ thống. Sơ đồ hóa bộ công cụ và giao diện bộ công cụ cho từng lưu vực được trình bày trên hình 3.



Hình 1. Bản đồ phạm vi khu vực nghiên cứu.



Hình 2. Sơ đồ tổng quát về quá trình nghiên cứu [29].



Hình 3. Sơ đồ khối bộ công cụ phần mềm, giao diện bộ công cụ, bản đồ cảnh báo ngập lụt, xuất bản tin dự báo lũ cho từng lưu vực nghiên cứu.

2.3. Thu thập và xử lý số liệu

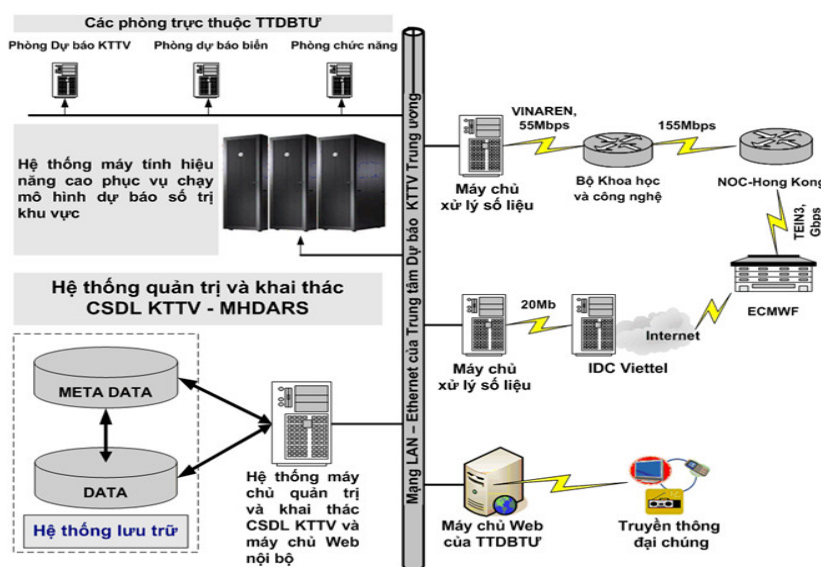
Số liệu IFS được cung cấp tại Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia (TTDBKTTVQG) với độ phân giải 0.125×0.125 độ tương đương với độ phân giải 14km được áp dụng sử dụng. Dạng mưa dự báo: lượng mưa tích lũy 6 giờ một; Hạn dự báo: đến 10 ngày tiếp theo; Số phiên dự báo trong ngày: 2 phiên bắt đầu từ 00UTC (7 giờ Việt Nam) và 12UTC (19 giờ Việt Nam) (Hình 4). Chuỗi số liệu sử dụng đánh giá, hiệu chỉnh mưa IFS từ 2011–2018.

Nghiên cứu thu thập số liệu quan trắc tại 74 trạm đo mưa tự động thuộc khu vực Trung Trung Bộ (Hình 5). Số liệu quan trắc mưa tại 74 trạm đo mưa được thu thập dưới dạng lượng mưa đo từng 1 giờ một và dưới dạng các tệp tin mã điện gốc được gửi từ trạm về. Nguồn số liệu này được thu thập trong thời gian xảy ra mưa của 59 đợt mưa lớn diện rộng xảy ra trên khu vực Trung Trung Bộ trong giai đoạn 2011–2018 (chỉ thu thập từ 2011 về mạng lưới đo mưa tự động nói trên bắt đầu hoạt động ổn định từ năm 2011). Bảng 1 đưa ra kết quả thống kê

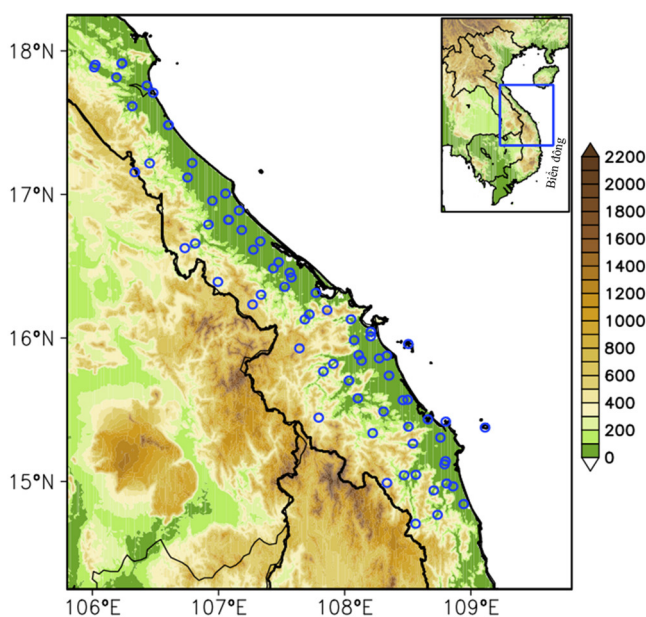
các đợt mưa lớn theo các năm từ 2011 đến 2018 trong đó trung bình có 7 đợt/năm, năm ít nhất là 5 đợt (2015) và năm nhiều nhất là 9 đợt (2017). Các đợt mưa trung bình kéo dài trong 3 ngày, đợt mưa kéo dài nhất là đến 8 ngày (đợt mưa lớn từ ngày 9 đến 19 tháng 10 năm 2011). Trên thực tế số liệu dự báo mưa từ mô hình IFS được cung cấp dưới dạng số liệu dự báo mưa tích lũy 6 giờ một, nhưng nghiên cứu hướng tới đánh giá dự báo mưa theo các ngưỡng mưa ngày nên cần thêm một bước tính toán để tạo ra lượng mưa tích lũy 24h từ lượng mưa tích lũy 6h. Số liệu mưa dự báo của IFS được thu thập về dưới dạng mưa trên lưới trong các tệp tin có định dạng NetCDF. Sau khi được xử lý và nội suy về điểm trạm, số liệu lại được lưu lại dưới dạng các tệp tin NetCDF để thuận tiện cho việc đánh giá.

Bảng 1. Phân bố các đợt mưa lớn xảy ra trên khu vực Trung Trung Bộ theo năm trong giai đoạn 2011–2018 được sử dụng trong nghiên cứu.

Năm	2011	2021	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Số đợt	7	8	8	7	5	7	9	8

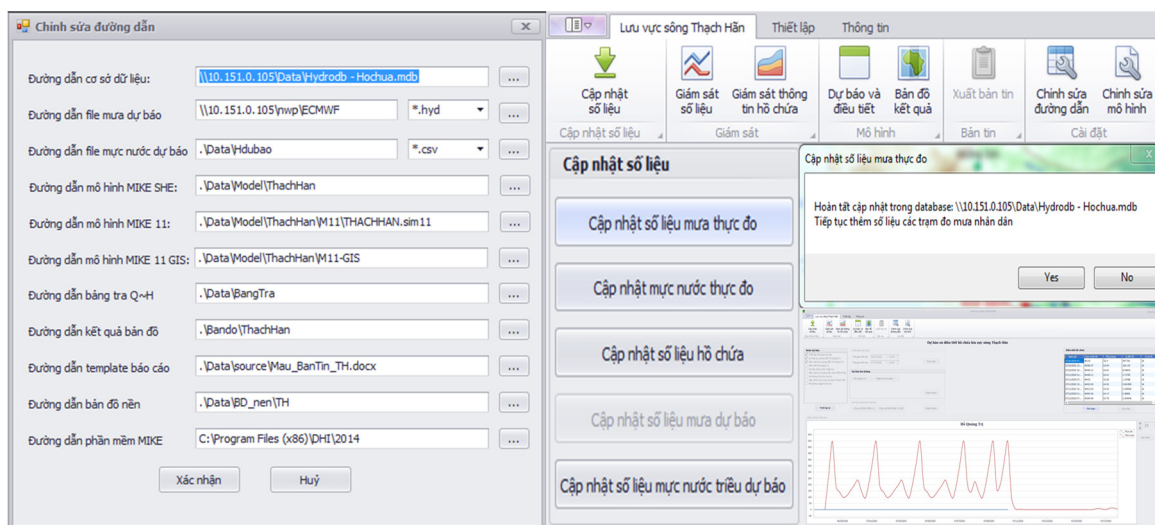


Hình 4. Sơ đồ khối quá trình thu thập số liệu ECMWF tại TTDBKTTVQG.



Hình 4. Phân bố theo không gian của 74 trạm quan trắc đo mưa tự động thuộc khu vực Trung Trung Bộ.

Số liệu thủy văn: Mực nước, lưu lượng, lưu lượng xả của các hệ thống hồ chứa trên 03 lưu vực nghiên cứu được cập nhật theo thời gian thực từ số liệu của hệ thống hồ chứa EVN. Số liệu mực nước, lưu lượng tại các trạm được cập nhật từ cơ sở dữ liệu theo thời gian thực tại Trung tâm thông tin và dự liệu khí tượng thủy văn (Hình 5).



Hình 5. Giao diện thiết lập đường dẫn cho bộ công cụ, modul cập nhật số liệu, giám sát số liệu.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả đánh giá mưa dự báo IFS cho khu vực nghiên cứu

Về dự báo định lượng mưa: dự báo từ mô hình IFS cho sai số dự báo định lượng mưa tăng theo hạn dự báo. Tại các ngưỡng mưa nhỏ và vừa, mô hình cho dự báo thiên cao. Tuy nhiên, tại các ngưỡng mưa to và rất to mô hình IFS lại cho dự báo thiên thấp. Dự báo định lượng mưa tại Quảng Bình, Quảng Trị là tốt hơn so với các khu vực còn lại ở Trung Trung Bộ (Bảng 2).

Bảng 2. Kết quả tính toán các chỉ số ME, RMSE, MAE và R trung bình trên toàn khu vực TTB và các đợt mưa lớn được thử nghiệm.

Chỉ số	Hạn dự báo				
	+24h	+48h	+72h	+96h	+120h
ME (mm/24h)	-12,18	-11,81	-12,43	-10,82	-4,96
MAE (mm/24h)	13,18	10,24	26,53	25,64	30,23
RMSE (mm/24h)	10,95	18,71	27,36	35,48	42,20
R	0,71	0,62	0,58	0,43	0,34

Về dự báo pha: mô hình IFS có xu hướng dự báo thiên cao tại các ngưỡng mưa nhỏ và vừa, thiên thấp tại các ngưỡng mưa to và rất to. Về mặt tổng thể, chất lượng dự báo pha mưa tốt nhất là tại các ngưỡng mưa nhỏ và mưa vừa. Tại ngưỡng mưa to, chất lượng dự báo pha chỉ tốt trong 72h dự báo đầu tiên và đối với ngưỡng mưa rất to chỉ là trong 24h đầu tiên. Ngoài ra, kết quả đánh giá dựa trên chỉ số FAR cũng cho thấy dự báo pha mưa của IFS bị lệch (sớm hơn hoặc muộn hơn) (Bảng 3).

Bảng 3. Bảng tổng hợp đánh giá dự báo pha theo các chỉ số BIAS, POD, FAR, ETS.

Hạn dự báo	Ngưỡng mưa			
	Nhỏ	Vừa	To	Rất to
	Chỉ số BIAS			
24h	1,32	0,82	0,38	0,22
48h	1,22	0,91	0,55	0,43

Hạn dự báo	Ngưỡng mưa			
	Nhỏ	Vừa	To	Rất to
72h	1,16	0,96	0,57	0,47
96h	1,17	1,04	0,61	0,40
120h	1,24	1,20	0,71	0,47
Chỉ số POD				
24h	0,95	0,91	0,80	0,79
48h	0,85	0,87	0,75	0,73
72h	0,80	0,78	0,71	0,71
96h	0,70	0,76	0,69	0,56
120h	0,60	0,67	0,59	0,56
Chỉ số FAR				
24h	0,25	0,37	0,48	0,59
48h	0,19	0,36	0,54	0,69
72h	0,14	0,39	0,62	0,75
96h	0,15	0,46	0,68	0,83
120h	0,19	0,52	0,72	0,87
Chỉ số ETS				
24h	0,39	0,42	0,36	0,32
48h	0,36	0,40	0,30	0,27
72h	0,24	0,34	0,27	0,25
96h	0,13	0,29	0,20	0,18

Về dự báo diện mưa: vùng mưa dự báo từ IFS thường lệch so với vùng mưa thực tế về phía Đông (khoảng 8–16 km) và phía Nam (16–24 km). Tuy nhiên, sai số vị trí vùng mưa không đóng góp nhiều vào sai số tổng cộng. Đóng góp nhiều nhất tới sai số tổng cộng vẫn là sai số trong dự báo định lượng mưa. Nếu xét riêng cho 18 đợt mưa lớn sinh lũ trên 3 lực vực sông nghiên cứu, có thể thấy diện mưa dự báo từ IFS là tương đối phù hợp.

Bảng 4. Kết quả tính toán các đặc trưng sai số cho dự báo mưa từ IFS trong giai đoạn 2011–2018 cho ngưỡng mưa nhỏ, mưa vừa, mưa to và mưa rất to.

Giờ	Sai số tổng cộng trên toàn bộ cụm đánh giá (mm/24h)	Sai số kiểu dáng (%)	Sai số dịch chuyển (%)	Sai số thể tích (mm/24h)	X	Y
Mưa nhỏ						
24h	124,88	9,56	0,39	8,18	-0,73	2,09
48h	150,99	9,42	-1,33	12,54	-0,51	1,99
72h	203,08	9,32	-3,56	16,74	-0,32	2,01
96h	256,95	9,25	-6,50	20,85	-0,16	2,00
120h	306,54	9,13	-8,28	24,86	-0,08	2,10
Mưa vừa						
24h	138,21	9,55	1,33	7,39	-0,96	1,65
48h	159,50	9,49	-2,01	11,91	-0,49	2,08
72h	208,41	9,32	-2,99	16,13	-0,49	2,22
96h	260,22	9,25	-5,70	20,23	-0,36	2,16
120h	314,10	9,16	-8,74	24,82	-0,37	2,52
Mưa to						
24h	121,74	9,52	2,92	6,44	-1,21	2,15
48h	171,39	9,45	0,00	10,62	-1,01	2,00
72h	221,49	9,33	-1,96	14,85	-0,49	2,42
96h	270,77	9,25	-4,59	19,04	-0,35	2,28
120h	317,58	9,17	-7,67	23,58	-0,44	2,71
Mưa rất to						
24h	115,79	9,64	0,53	6,47	-0,29	1,50
48h	158,02	9,50	0,60	9,13	-1,38	2,51
72h	228,96	9,48	-3,75	13,85	-0,88	2,27

Giờ	Sai số tổng cộng trên toàn bộ cụm đánh giá (mm/24h)	Sai số kiểu dáng (%)	Sai số dịch chuyển (%)	Sai số thể tích (mm/24h)	X	Y
96h	277,27	9,33	-5,77	18,81	-0,43	2,69
120h	330,11	9,29	-9,86	23,57	-0,32	3,14

3.2. Kết quả đánh giá thử nghiệm bộ công cụ trong công tác dự báo lũ

Số liệu mưa dự báo sau khi đã hiệu chỉnh, nghiên cứu tiến hành dự báo thử nghiệm bộ công cụ với thời đoạn dự báo hạn vừa (5 ngày) cho mùa lũ năm 2020 với thời gian bắt đầu từ 01/09/2020–20/12/2020 cho hai lưu vực Vu Gia–Thu Bồn và Thạch Hãn tại hai điểm dự báo: trạm thủy văn Câu Lâu trên lưu vực sông Vu Gia–Thu Bồn và trạm Thạch Hãn trên lưu vực sông Thạch Hãn. Kết quả đánh giá sai số dựa trên Quyết định số 772/QĐ–TCKTTV ngày 05/12/2018 về việc “Ban hành quy định tạm thời sai số cho phép tại các vị trí dự báo thủy văn trên các sông thuộc phạm vi cả nước” của Tổng cục Khí tượng Thủy văn [33]. Trong đó quy định sai số cho phép hạn vừa mùa lũ được quy định trong bảng 5.

Bảng 5. Sai số cho phép dự báo thủy văn hạn vừa.

Trạm	Lưu vực	Sai số hạn vừa (5 ngày) mùa lũ (cm)		
		Trung bình	Lớn nhất	Nhỏ nhất
Câu Lâu	Vu Gia–Thu Bồn	35	64	24
Thạch Hãn	Thạch Hãn	36	82	21

3.2.1. Kết quả đánh giá thử nghiệm bộ công cụ dự báo lũ cho lưu vực Thạch Hãn

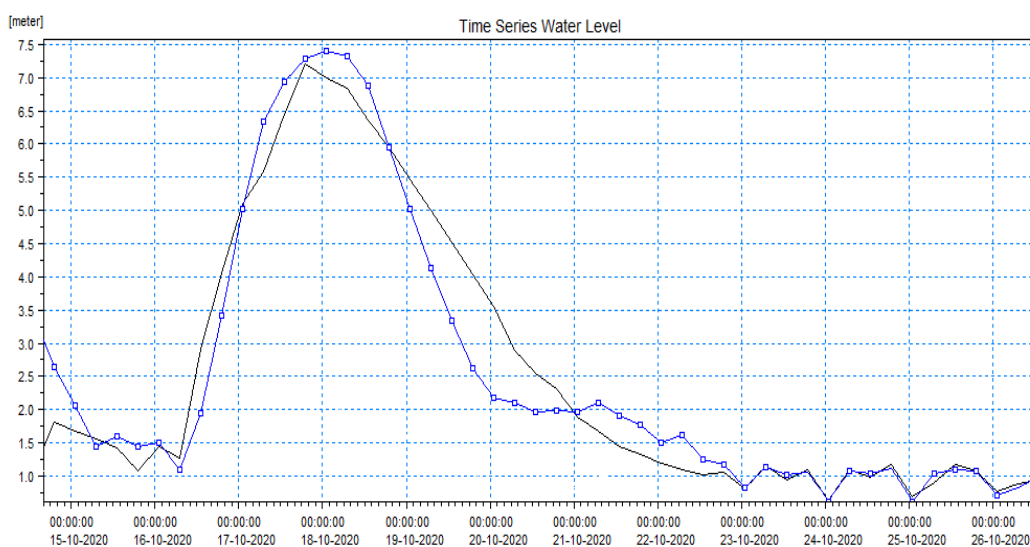
Nghiên cứu ứng dụng bộ công cụ đánh giá sai số dự báo hạn vừa (5 ngày) cho mùa lũ năm 2020 cho lưu vực Thạch Hãn với thời gian bắt đầu từ 01/09/2020 – 20/12/2020. Kết quả đánh giá sai số dự báo được thể hiện trên Bảng 7.

Bảng 7. Đánh giá sai số dự báo hạn vừa 5 ngày mùa lũ năm 2020.

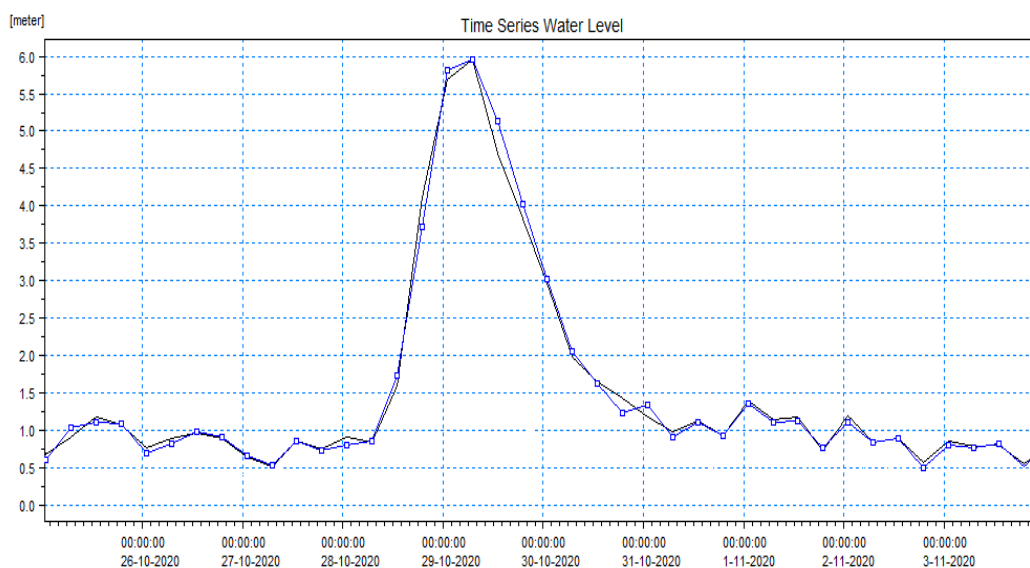
Thời Đoạn Dự Báo	Thực Đo (cm)			Tính Toán (cm)			Đánh Giá Sai Số (cm)					
	Trung bình	Lớn nhất	Nhỏ nhất	Trung bình	Lớn nhất	Nhỏ nhất	Trung bình	Đánh giá	Lớn nhất	Đánh giá	Nhỏ nhất	Đánh giá
06/09/2020 – 10/09/2020	8,1	39,0	-25,0	8,7	36,7	-19,8	0,7	Đạt	2,3	Đạt	5,2	Đạt
11/09/2020 – 15/09/2020	6,8	38,0	-36,0	0,6	32,5	-34,9	6,1	Đạt	5,5	Đạt	1,1	Đạt
16/09/2020 – 20/09/2020	34,8	123,0	-31,0	38,2	137,2	-22,7	3,4	Đạt	14,2	Đạt	8,3	Đạt
21/09/2020 – 25/09/2020	17,7	64,0	-35,0	28,6	67,0	2,2	11,0	Đạt	3,0	Đạt	37,2	Không Đạt
26/09/2020 – 30/09/2020	20,7	45,0	-25,0	22,2	42,7	-2,3	1,5	Đạt	2,3	Đạt	22,7	Không Đạt
01/10/2020 – 05/10/2020	34,5	87,0	-25,0	26,6	81,5	-22,1	7,9	Đạt	5,5	Đạt	2,9	Đạt
06/10/2020 – 10/10/2020	379,1	680,0	2,0	342,1	762,5	24,6	37,0	Không Đạt	82,5	Không Đạt	22,6	Không Đạt
11/10/2020 – 15/10/2020	461,2	715,0	145,0	398,5	661,2	143,1	62,7	Không Đạt	53,8	Đạt	1,9	Đạt
16/10/2020 – 20/10/2020	409,4	739,0	109,0	446,2	720,1	107,6	36,8	Không Đạt	18,9	Đạt	1,4	Đạt
21/10/2020 – 25/10/2020	129,4	211,0	61,0	118,3	232,0	62,6	11,1	Đạt	21,0	Đạt	1,6	Đạt
26/10/2020 – 31/10/2020	209,9	596,0	53,0	207,4	595,4	52,0	2,5	Đạt	0,6	Đạt	1,0	Đạt
01/11/2020 – 05/11/2020	85,7	136,0	50,0	87,6	139,5	52,2	1,9	Đạt	3,5	Đạt	2,2	Đạt
06/11/2020 – 10/11/2020	127,8	278,0	63,0	103,7	131,9	60,5	24,0	Đạt	146,1	Không Đạt	2,5	Đạt
11/11/2020 – 15/11/2020	240,7	479,0	98,0	241,0	489,1	67,3	0,4	Đạt	10,1	Đạt	30,7	Không Đạt

Thời Đoạn Dự Báo	Thực Đo (cm)			Tính Toán (cm)			Đánh Giá Sai Số (cm)					
	Trung bình	Lớn nhất	Nhỏ nhất	Trung bình	Lớn nhất	Nhỏ nhất	Trung bình	Đánh giá	Lớn nhất	Đánh giá	Nhỏ nhất	Đánh giá
16/11/2020 – 20/11/2020	63,7	159,0	10,0	48,5	185,9	5,6	15,1	Đạt	26,9	Đạt	4,4	Đạt
21/11/2020 – 25/11/2020	23,9	61,0	-13,0	17,5	47,4	-16,2	6,4	Đạt	13,6	Đạt	3,2	Đạt
26/11/2020 – 30/11/2020	62,7	117,0	20,0	26,1	73,9	15,9	36,6	Không Đạt	43,1	Đạt	4,1	Đạt
01/12/2020 – 05/12/2020	107,5	109,0	57,0	115,9	191,7	53,2	8,5	Đạt	82,7	Không Đạt	3,8	Đạt
06/12/2020 – 10/1122020	53,2	78,0	20,0	45,6	74,9	20,4	7,6	Đạt	3,1	Đạt	0,4	Đạt
11/12/2020 – 15/12/2020	33,5	74,0	-13,0	19,5	48,3	-38,1	14,0	Đạt	25,7	Đạt	25,1	Không Đạt
16/12/2020 – 20/12/2020	64,7	97,0	-5,0	39,2	64,9	2,2	25,4	Đạt	32,1	Đạt	7,2	Đạt
Đánh giá chung								81% Đạt	85% Đạt		76% Đạt	

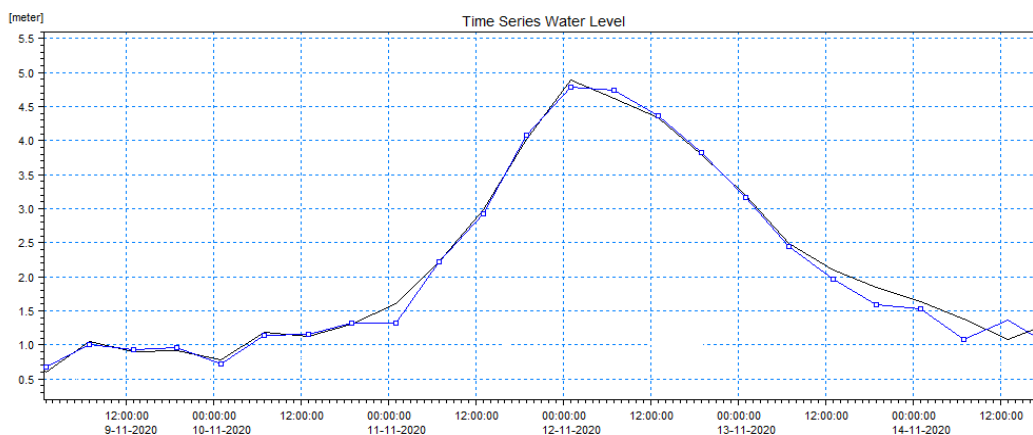
Quá trình dự báo thử nghiệm cho một số trận lũ cụ thể trong mùa lũ năm 2020 được miêu tả trong các hình dưới đây cho trạm thủy văn Thạch Hãn thuộc lưu vực nghiên cứu.



Hình 6. Trận lũ từ 16/10/2020–25/10/2020.



Hình 7. Trận lũ từ 26/10/2020–04/11/2020.



Hình 8. Trận lũ từ 09/11/2020–15/11/2020.

Nhận thấy với 3 trận lũ được đánh giá, sai số giá trị “lớn nhất” (tương ứng với giá trị của đỉnh lũ) thì chỉ có 2 trận lũ xảy ra trong giai đoạn 16–25/10 và 26/10–4/11 nằm trong sai số cho phép và có xu thế tương đồng về đường quá trình tính toán với thực đo tuy nhiên thời gian xảy xuất hiện đỉnh lũ của trận lũ từ 16–25/10 bị chậm so với thực tế, trận lũ xảy ra trong giai đoạn từ 09–15/11 không đạt khi đánh giá giá trị đỉnh lũ.

Với trận lũ xảy ra trong thời đoạn từ 26/10–4/11, ba chỉ tiêu đánh giá bao gồm “trung bình”, “lớn nhất” và “nhỏ nhất” đều nằm trong sai số cho phép. Đối với trận lũ xảy ra trong thời đoạn từ 16–25/10 chỉ tiêu giá trị “lớn nhất” (tương ứng với giá trị của đỉnh lũ) và “nhỏ nhất” đều nằm trong sai số cho phép, chỉ có chỉ tiêu giá trị “trung bình” là lớn hơn sai số so phép. Đối lập với nó là trận lũ từ 09–15/11 chỉ có chỉ tiêu giá trị “trung bình” nằm trong sai số cho phép, còn hai chỉ tiêu “lớn nhất” (tương ứng với giá trị của đỉnh lũ) và “nhỏ nhất” đều đang bị lớn hơn sai số cho phép. Với việc dự báo thử nghiệm cho mùa lũ năm 2020 và dựa vào đánh giá dự báo hạn vừa cho mùa lũ 2020 với đánh giá cụ thể cho 4 trận lũ xảy ra trong thời gian thử nghiệm, nhận thấy mô hình có khả năng đáp ứng trong dự báo nghiệp vụ với các khả năng dự báo của mô hình đạt độ chính xác từ 76–81% trong mùa lũ năm 2020.

3.2.1. Kết quả đánh giá thử nghiệm bộ công cụ dự báo lũ cho lưu vực Vu Gia–Thu Bồn

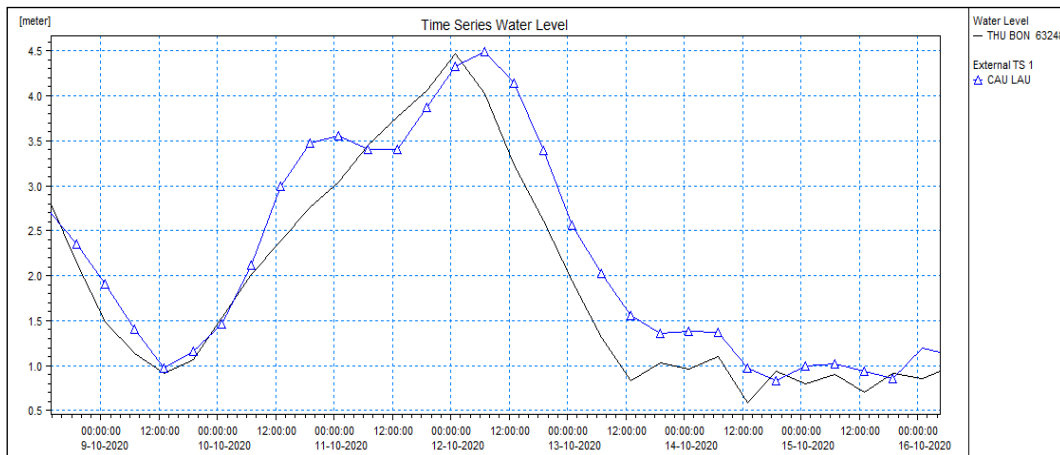
Nghiên cứu đánh giá sai số dự báo hạn vừa (5 ngày) cho mùa lũ năm 2020 với thời gian bắt đầu từ 01/09/2020–20/12/2020 cho kết quả đánh giá được thể hiện trên Bảng 6.

Bảng 6. Đánh giá sai số dự báo hạn vừa 5 ngày mùa lũ năm 2020.

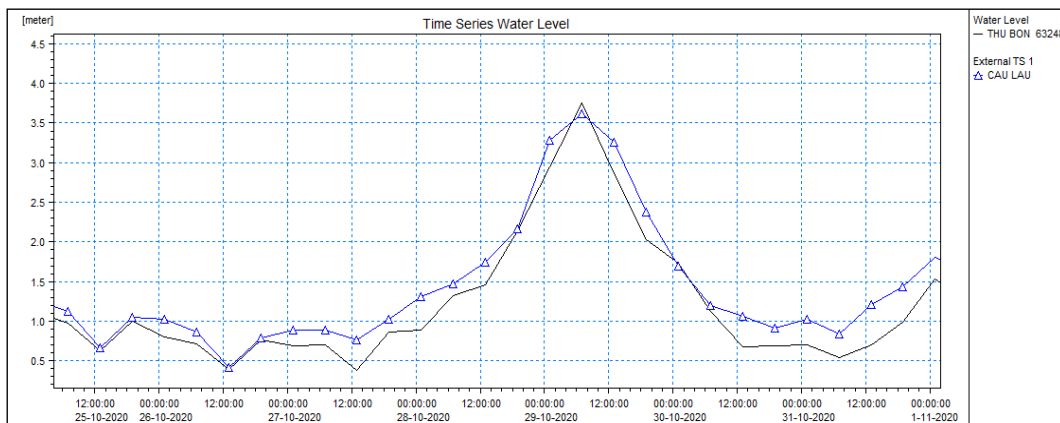
Thời Đoạn Dự Báo	Thực Đo (cm)			Tính Toán (cm)			Đánh Giá Sai Số (cm)					
	Trung bình	Lớn nhất	Nhỏ nhất	Trung bình	Lớn nhất	Nhỏ nhất	Trung bình	Đánh giá	Lớn nhất	Đánh giá	Nhỏ nhất	Đánh giá
06/09/2020 – 10/09/2020	12,9	43,0	-17,0	16,0	44,0	-13,0	3,1	Đạt	1,0	Đạt	4,0	Đạt
11/09/2020 – 15/09/2020	7,0	53,0	-35,0	12,1	51,0	-28,0	5,1	Đạt	2,0	Đạt	7,0	Đạt
16/09/2020 – 20/09/2020	23,3	85,0	-19,0	26,2	70,0	-17,0	2,9	Đạt	15,0	Đạt	2,0	Đạt
21/09/2020 – 25/09/2020	22,2	60,0	-23,0	23,8	60,0	-18,0	1,6	Đạt	0,0	Đạt	5,0	Đạt
26/09/2020 – 30/09/2020	24,1	57,0	-26,0	30,0	53,0	-8,0	5,9	Đạt	4,0	Đạt	18,0	Đạt
01/10/2020 – 05/10/2020	31,0	62,0	-7,0	36,0	60,0	6,0	4,9	Đạt	2,0	Đạt	13,0	Đạt
06/10/2020 – 10/10/2020	131,3	347,0	-7,0	114,1	282,0	6,0	17,3	Đạt	65,0	Không đạt	13,0	Đạt
11/10/2020 – 15/10/2020	235,3	449,0	83,0	210,7	447,0	24,6	50,6	Đạt	2,0	Đạt	39,0	Không đạt
16/10/2020 – 20/10/2020	165,8	296,0	85,0	131,3	255,0	40,0	34,5	Đạt	41,0	Đạt	45,0	Không đạt
21/10/2020 –	132,9	245,0	58,0	108,9	274,0	37,0	24,0	Đạt	29,0	Đạt	21,0	Đạt

Thời Đoạn Dự Báo	Thực Đo (cm)			Tính Toán (cm)			Đánh Giá Sai Số (cm)					
	Trung bình	Lớn nhất	Nhỏ nhất	Trung bình	Lớn nhất	Nhỏ nhất	Trung bình	Đánh giá	Lớn nhất	Đánh giá	Nhỏ nhất	Đánh giá
25/10/2020												
26/10/2020 – 31/10/2020	145,1	362,0	42,0	120,0	372,0	32,0	25,1	Đạt	10,0	Đạt	10,0	Đạt
01/11/2020 – 05/11/2020	106,1	181,0	52,0	64,2	151,0	10,0	42,0	Không đạt	30,0	Đạt	42,0	Không đạt
06/11/2020 – 10/11/2020	144,9	326,0	52,0	101,5	277,0	22,0	43,3	Không đạt	49,0	Đạt	30,0	Không đạt
11/11/2020 – 15/11/2020	249,4	394,0	121,0	168,8	386,0	56,0	80,6	Không đạt	8,0	Đạt	65,0	Không đạt
16/11/2020 – 20/11/2020	76,1	213,0	10,0	41,0	90,0	-18,0	35,1	Không đạt	123,0	Không đạt	28,0	Không đạt
21/11/2020 – 25/11/2020	40,4	85,0	-3,0	30,5	72,0	-17,0	9,9	Đạt	13,0	Đạt	14,0	Đạt
26/11/2020 – 30/11/2020	95,7	247,0	34,0	64,9	184,0	26,0	30,8	Đạt	65,0	Không Đạt	8,0	Đạt
01/12/2020 – 05/12/2020	214,9	369,0	78,0	163,9	382,0	53,0	51,0	Không đạt	13,0	Đạt	25,0	Không đạt
06/12/2020 – 10/12/2020	74,8	125,0	37,0	70,6	102,0	33,0	4,2	Đạt	23,0	Đạt	4,0	Đạt
11/12/2020 – 15/12/2020	51,6	88,0	-7,0	64,5	102,0	4,0	12,8	Đạt	14,0	Đạt	11,0	Đạt
16/12/2020 – 20/12/2020	73,7	115,0	1,0	63,5	101,0	4,0	10,2	Đạt	14,0	Đạt	3,0	Đạt
Đánh giá chung								71% Đạt		90% Đạt		67% Đạt

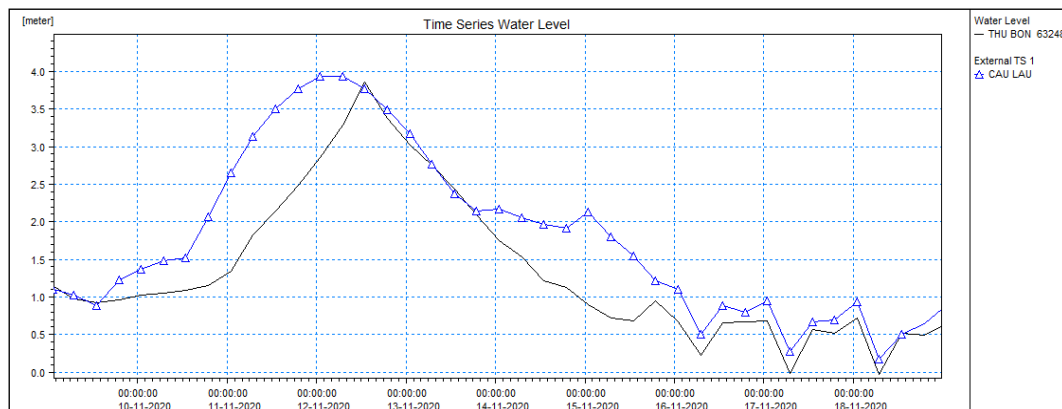
Quá trình dự báo thử nghiệm cho một số trận lũ cụ thể trong mùa lũ năm 2020 được miêu tả trong các hình dưới đây tại trạm thủy văn Câu Lâu thuộc lưu vực nghiên cứu.



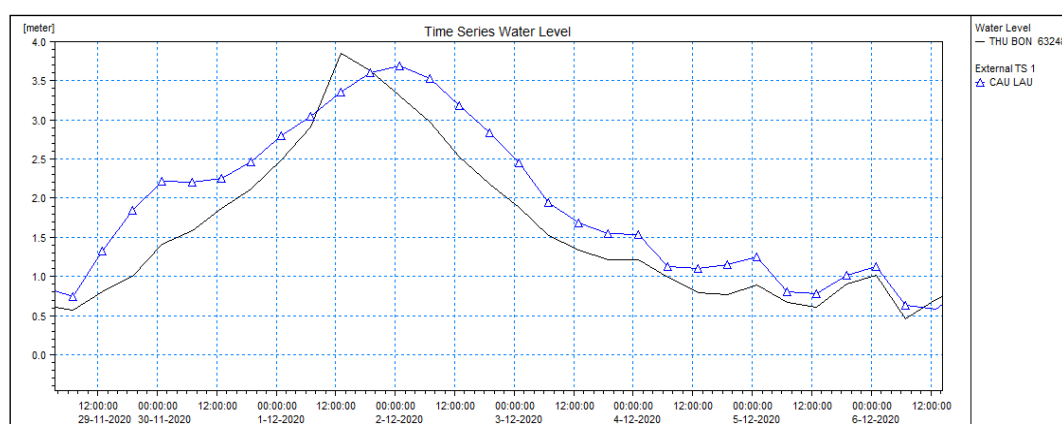
Hình 9. Kết quả dự báo thử nghiệm trận lũ từ 11/10/2020–15/10/2020.



Hình 10. Kết quả dự báo thử nghiệm trận lũ từ 26/10/2020–31/10/2020.



Hình 11. Kết quả dự báo thử nghiệm trận lũ từ 11/11/2020–15/11/2020.



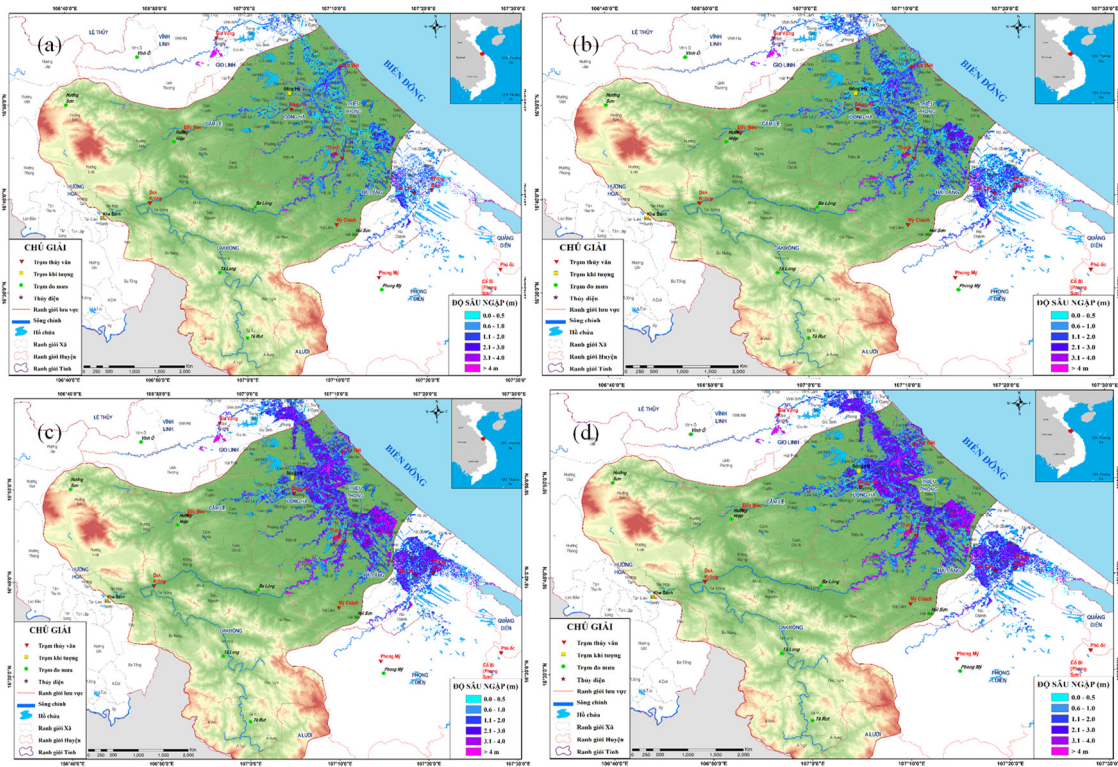
Hình 12. Kết quả dự báo thử nghiệm trận lũ từ 01/12/2020–05/12/2020.

Bốn trận lũ được đánh giá, sai số giá trị “lớn nhất” (tương ứng với giá trị của đỉnh lũ) đều nằm trong sai số cho phép và có xu thế tương đồng về đường quá trình tính toán với thực đo, tuy nhiên, chỉ có trận lũ xảy ra trong thời đoạn từ 26/10/2020–31/10/2020 là có thời gian xuất hiện đỉnh lũ trùng với thực tế, các trận lũ khác còn chênh nhau về thời gian xuất hiện đỉnh lũ với sai số từ 6–12h. Với trận lũ xảy ra trong thời đoạn từ 11/10/2020–15/10/2020 và từ 26/10/2020–31/10/2020, ba chỉ tiêu đánh giá bao gồm “trung bình”, “lớn nhất” và “nhỏ nhất” đều nằm trong sai số cho phép. Đối với trận lũ xảy ra trong thời đoạn từ 11/11/2020–15/11/2020 và từ 01/12/2020–05/12/2020 chỉ có chỉ tiêu lớn nhất (tương ứng với giá trị đỉnh lũ) nằm trong sai số cho phép, còn hai chỉ tiêu “trung bình” và “nhỏ nhất” đều có giá trị dự báo lớn hơn sai số cho phép. Kết quả dự báo thử nghiệm và đánh giá dự báo hạn vừa cho mùa lũ năm 2020 và đánh giá cụ thể cho 4 trận lũ xảy ra trong thời gian thử nghiệm, cho thấy bộ công cụ, phần mềm có khả năng đáp ứng trong dự báo nghiệp vụ với các khả năng dự báo của mô hình đạt độ chính xác từ 67–71% trong mùa lũ năm 2020.

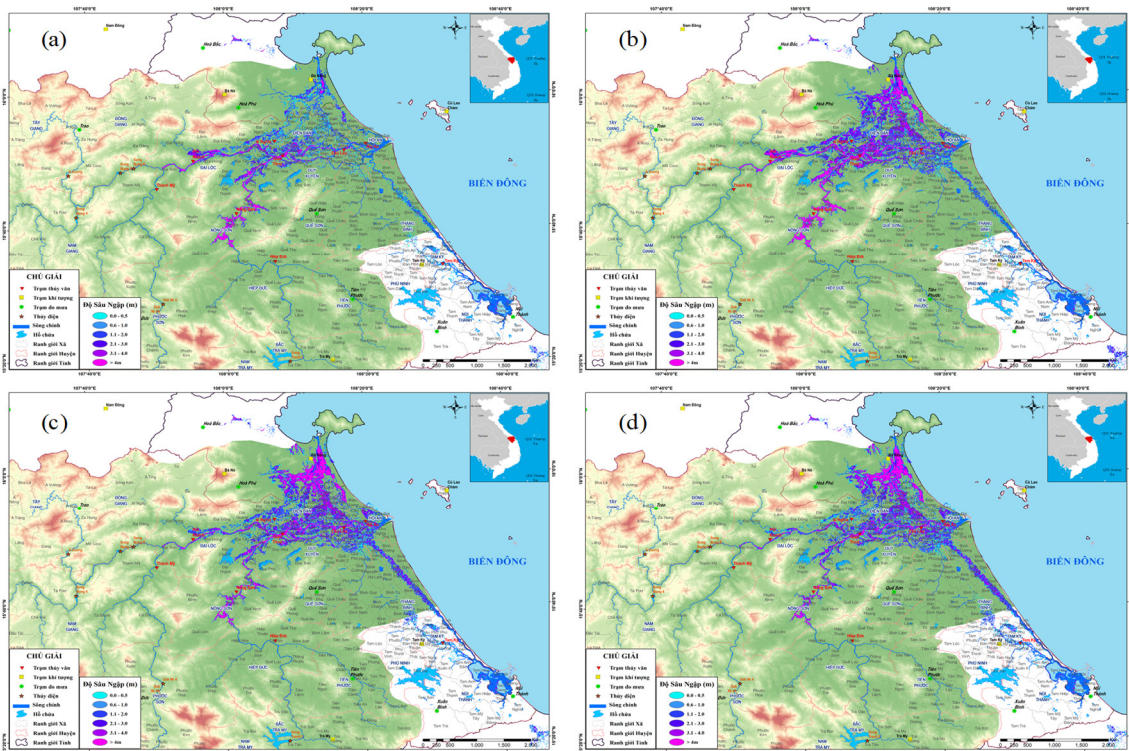
3.3. Thử nghiệm bộ công cụ trong công tác cảnh báo ngập lụt

Nghiên cứu ứng dụng mô hình MIKE 11–GIS, tích hợp kết quả mô phỏng tính toán từ mô hình thủy lực MIKE 11 với nền bản đồ DEM 30m × 30m để xây dựng các kịch bản ngập theo cấp mực nước tăng dần 20cm từ cấp báo động I, cấp báo động I, II, III và cấp lũ lịch sử cho cả 3 lưu vực nghiên cứu. Bộ bản đồ ngập lụt được xây dựng cho cả ba lưu vực gồm tổng số gần 80 bản đồ trong đó có thống kê diện tích ngập và biểu đồ thống kê theo cấp xã, huyện để hỗ trợ cung cấp thông tin cảnh báo, tham khảo phục vụ công tác phòng chống thiên tai khi có sự cố xảy ra. Bộ bản đồ cảnh báo và biểu đồ thống kê diện tích ngập theo cấp xã, huyện, bảng thống kê excel được tích hợp trực tiếp trong bộ công cụ phần mềm. Đây là một tài liệu tham khảo tốt, hiệu quả và cung cấp thông tin nhanh kịp thời khi có thiên tai xảy ra trên ba lưu

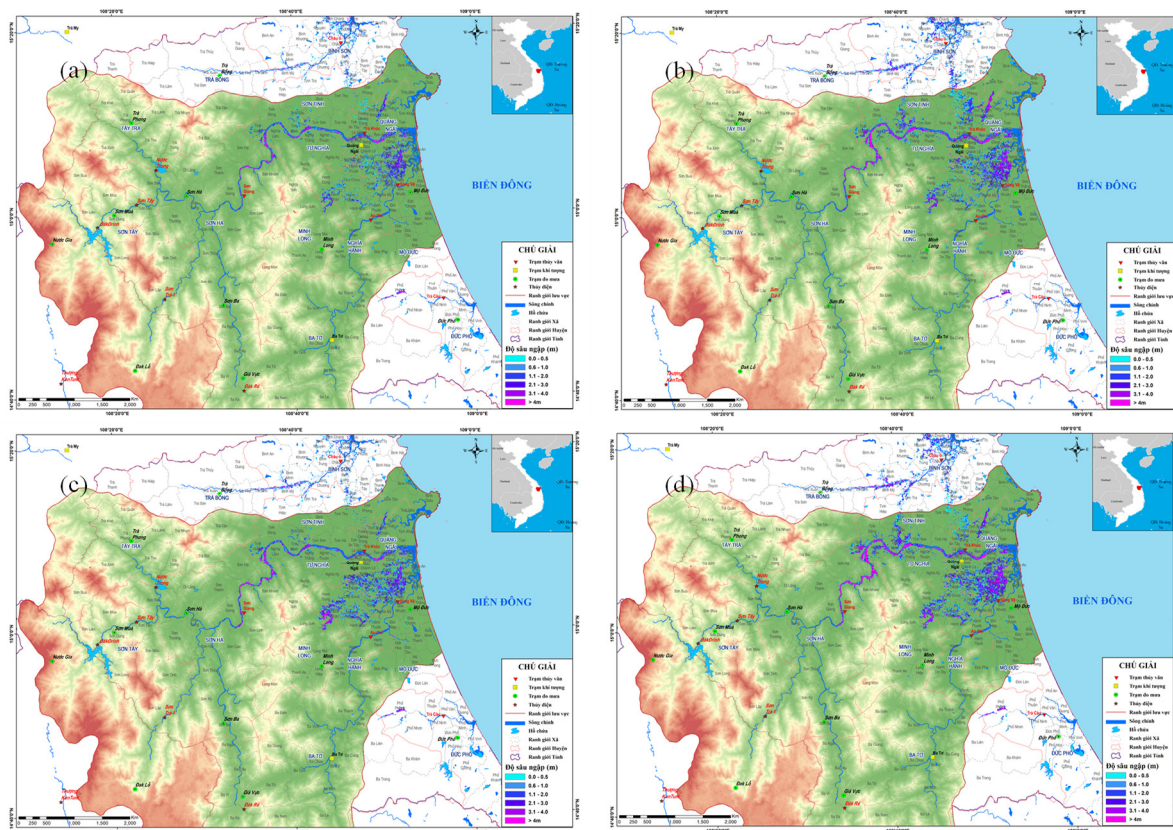
vực nghiên cứu. Dưới đây là một số kết quả xây dựng bản đồ ngập lụt theo mức báo động lũ và mức lũ lịch sử trên ba lưu vực nghiên cứu (Hình 13–15).



Hình 13. Bản đồ ngập lụt theo mức báo động lũ và mức lũ lịch sử năm 2009 tại khu vực hạ lưu sông Thạch Hãn: (a) 4,20 m (> BĐII = 4,0 m); (b) 5,60m (> BĐIII = 5,50 m); (c) 7,70 m (> BĐIII); (d) 7,29 m ($H_{Lịch\ sử} = 7,29\text{ m}$).



Hình 14. Bản đồ ngập lụt theo mức báo động lũ và mức lũ lịch sử năm 2009 tại khu vực hạ lưu sông Vu Gia–Thư Bồn: (a) 3,20 m (> BĐII = 3,0 m); (b) 4,20m (> BĐIII = 4,0 m); (c) 5,0 m (BĐIII); (d) 5,40 m (> $H_{Lịch\ sử} = 5,39\text{ m}$) [30].



Hình 15. Bản đồ ngập lụt theo mức bão động lũ và mức lũ lịch sử năm 2009 tại khu vực hạ lưu sông Trà Khúc–Sông Vệ: (a) 5,20 m (> BĐII = 5,0 m); (b) 6,80m (> BĐIII = 6,5 m); (c) 7,0 m (> BĐIII); (d) 8,80 m (> H_Llịch sử = 8,76 m).

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy bộ công cụ được xây dựng cho ba lưu vực nghiên cứu Thạch Hãn, Vu Gia–Thu Bồn và Trà Khúc–Sông Vệ đã đáp ứng được yêu cầu đặt ra và hỗ trợ tốt cho công tác nghiệp vụ dự báo tại Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia. Kết quả dự báo thử nghiệm khi áp dụng bộ công cụ cho hai lưu vực Thạch Hãn và Vu Gia–Thu Bồn cho kết quả bước đầu khả quan với chất lượng dự báo 5 ngày tương tự đạt từ 76–81% và 67–71% cho mùa lũ năm 2020. Kết quả thử nghiệm bộ công cụ tương tự cho lưu vực Trà Khúc–Sông Vệ sẽ được bổ sung đánh giá tương tự.

Kết quả thử nghiệm bộ công cụ cảnh báo ngập lụt cho ba lưu vực nghiên cứu cho thấy nghiên cứu đã xây dựng được bộ bản đồ tương đối chi tiết và đầy đủ trong đó đã thống kê được diện tích ngập chi tiết tới cấp xã, cấp huyện. Đây là một tài liệu tham khảo quan trọng hỗ trợ cho công tác thống kê, báo cáo phục vụ công tác phòng chống thiên tai một cách hiệu quả.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: Đ.Q.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: Đ.Q.T.; Xử lý số liệu: Đ.Q.T.; Viết bản thảo bài báo: Đ.Q.T.; Chỉnh sửa bài báo: Đ.Q.T.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ “Nghiên cứu ứng dụng số liệu dự báo của Trung tâm dự báo thời tiết hạn vừa Châu Âu để xây dựng các phương án dự báo lũ 5 ngày cho các sông chính ở Trung Trung Bộ”, mã số TNMT.2018.05.35 thuộc Chương trình “Khoa học và công nghệ nhằm nâng cao năng lực cảnh báo, dự báo khí tượng, thủy văn, hải văn và phục vụ quản lý nhà nước về khí tượng, thủy văn và biến đổi khí hậu giai đoạn 2016–2020”, Mã số: TNMT.05/16–20 và đề tài nghiên cứu cơ sở “Ứng dụng thử nghiệm và hoàn thiện bộ công cụ dự báo lũ 5 ngày trên lưu vực Thạch

Hãn, Vu Gia–Thu Bồn và Trà Khúc–Sông Vệ phục vụ công tác nghiệp vụ dự báo”, mã số CS.2020.3. Bên cạnh đó, tác giả trân trọng cảm ơn sự giúp đỡ của các thành viên chính tham gia thực hiện hai nghiên cứu này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Deltares (Flood forecasting system (Delft–FEWS). <http://www.delft-fews.nl/>.
2. Sherestha, M.; Wang, L.; Koike, T. Investigating the applicability of WEB–DHM to the Himalayan river basin of Nepal. *Ann. J. Hydraul. Eng.* **2010**, *54*, 55–60.
3. Werner, M.; van Dijk, M.; Schellekens, J. DELFT–FEWS: an open shell flood forecasting system. In: Liang, S. ; Phoon, K. ; Babovic, V. (Eds.). Proceedings of the 6th International Conference on Hydroinformatics. World Scientific Publishing Company, Singapore, 2004, pp. 12051212.
4. Werner, M.; Cranston, M.; Harrison, T.; Whitfield, D.; Schellekens, J. Recent developments in operational flood forecasting in England, Wales and Scotland. *Meteorol. Appl.* **2009**, *16*, 13–22.
5. Werner, M.; Schellekens, J.; Gijssbers, P.; van Dijk, M.; van den Akker, O.; Heynert, K. The Delft–FEWS flow forecasting system. *Environ. Modell. Software* **2013**, *40*, 65–77.
6. Skotner, C.; Klinting, A.; Ammentorp, H.C. MIKE FLOOD WATCH – Managing Real–Time Forecasting, 2005. https://pdfs.semanticscholar.org/f176/f607a3112c73db9b8a73964759e340209aa6.pdf?_ga=2.85300505.165438480.1586159325-1029435390.1555942776.
7. Danish Hydraulic Institute (DHI). MIKE SHE User Manual, Volume 1: User Guide, 2014, pp. 370.
8. Danish Hydraulic Institute (DHI). MIKE SHE User Manual, Volume 2: Reference Guide, 2014, pp. 444.
9. Wang, L.; Koike, T.; Yang, K.; Jackson, T.J., Bindlish, R.; Yang, D. WEB–DHM: A distributed biosphere hydrological model developed by coupling a simple biosphere scheme with a hillslope hydrological model. American Geophysical Union, Fall Meeting 2008, abstract id. H32D–08, 2008.
10. Wang, L.; Koike, T. Comparison of a distributed biosphere hydrological model with GBHM. *Ann. J. Hydraul. Eng.* **2009**, *53*, 103–108.
11. Yang, D.W.; Herath, S.; Musiak, K. A hillslope–based hydrological model using catchment area and width functions. *Hydrol. Sci. J.* **2002**, *47(1)*, 49–65. Doi:10.1080/02626660209492907.
12. Huffman, G.J.; Adler, R.F.; Rudolf, B.; Schneider, U.; Keehn, P.R. Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite–based estimates, rain gauge analysis, and NWP model precipitation information. *J. Clim.* **1995**, *8*, 1284–1295.
13. Wang, Z.; Batelaan, O.; De Smedt, F. A distributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa). *Phys. Chem. Earth.* **1997**, *21(3)*, 189–193.
14. Zhou, J.; Wang, L.; Zhang, Y.; Guo, Y.; Li, X.; Liu W. Exploring the water storage changes in the largest lake (Selin Co) over the Tibetan Plateau during 2003–2012 from a basin–wide hydrological modelling. *Water Resour. Res.* **2015**, *51(10)*, 8060–8086. <https://doi.org/10.1002/2014WR015846>.

15. Tianqi, A.; Ishidaira, H.; Takeuchi, K. Study of distributed runoff simulation model based on block type TOPMODEL and Muskingum–Cunge method (in Japanese). *Ann. J. Jpn Soc. Civ. Eng.* **1999**, *43*, 7–12.
16. Knebla, M.R.; Yanga Z.L.; Hutchisonb, K.; Maidment, D.C. Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC–HMS/RAS: a case study for the San Antonio river basin summer 2002 storm event. *J. Environ. Manage.* **2005**, *75*, 325–336.
17. Deakin, R. Data to information: GIS and decision support for coastal management. In *Hydroinformatics'94*. Rotterdam: Balkema, **1994**, 559–564.
18. Kadam, P.; Sen, D. Flood inundation simulation in Ajoy river using MIKE–FLOOD. *ISH Journal of Hydraulic Engineering* **2012**, *18(02)*, 129–141.
19. Mason, D.C.; Cobby, D.M.; Horritt, M.S.; Bates, P.D. Two–dimensional hydraulic flood modelling using floodplain topographic and vegetation features derived from airborne scanning laser altimetry, EGS XXVII General Assembly, Nice, France, 2002.
20. Nguyen, T.M.L.; Doan, Q.T.; Tran, H.T.; Nguyen, C.D. Application of a two–dimensional model for flooding and floodplain simulation: Case study in Tra Khuc Song Ve river in Viet Nam. *Lowland Technol. Int.* **2018**, *20(3)*, 367–378.
21. Tran, T.D.; Doan, Q.T.; Dinh, D.T.; Nguyen, N.H. 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. 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. <https://doi.org/10.21276/ijee.2019.12.0106>.
23. Pham, Q.B.; Abba, S.I.; Usman, A.G.; Linh, N.T.T.; Gupta, V.; Malik, A.; Costache, R.; Vo, N.D.; Tri, D.Q. Potential of hybrid data–intelligence algorithms for multi–station modelling of rainfall. *Water Res. Manage.* **2019**, *33(15)*, 5067–5087.
24. Chena, Y.H.; Chang, F.J. Evolutionary artificial neural networks for hydrological systems forecasting. *J. Hydrol.* **2009**, *367(1–2)*, 125–137.
25. Philippe, B. The WGNE survey of verification methods for numerical prediction of weather elements and severe weather events. *Meteo – France*, Toulouse, 2003.
26. Mai, Đ.T. Nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo lũ và cảnh báo ngập lụt cho các sông chính tỉnh Bình Định và Khánh Hòa. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp Bộ, 2015.
27. 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. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp Bộ, 2014.
28. Long, V.Đ. 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. Báo cáo tổng kết đề tài cơ sở, 2015.
29. Trí, Đ.Q. và cs. Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu ứng dụng số liệu dự báo của Trung tâm dự báo thời tiết hạn vừa Châu Âu để xây dựng các phương án dự báo lũ 5 ngày cho các sông chính ở Trung Trung Bộ”, mã số TNMT.2018.05.35, 2021, tr. 318.
30. Trí, Đ.Q. Ứng dụng mô hình thủy văn–thủy lực kết hợp mưa dự báo IFS phục vụ cảnh báo lũ, ngập lụt hạ lưu sông Vu Gia–Thu Bồn. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *703*, 27–41.
31. 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. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *697*, 1–12.

32. Thai, T.H.; Tri, D.Q. Combination of hydrologic and hydraulic modeling on flood and inundation warning. *VN J. Earth Sci.* **2019**, *41(3)*, 240–251. <https://doi.org/10.15625/0866-7187/41/3/13866>.
33. Quyết định số 772/QĐ–TCKTTV ngày 05/12/2018 về việc “Ban hành quy định tạm thời sai số cho phép tại các vị trí dự báo thủy văn trên các sông thuộc phạm vi cả nước” của Tổng cục Khí tượng Thủy văn, 2018.

Establishment of an integrated toolkit flood forecasting and inundation warning for 03 river basins: Thach Han, Vu Gia–Thu Bon and Tra Khuc–Song Ve

Doan Quang Tri^{1*}, Pham Thi Nga²

¹ Vietnam Journal of Hydrometeorology, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; doanquangtrikttv@gmail.com

² President Ho Chi Minh’s Vestige in the Presidential Palace Area, No.1 (Red Gate), Hoang Hoa Tham St., Ba Dinh Dist., Ha Noi; phamlinhnga.pct@gmail.com

Abstract: Research and applying for new scientific and technical advances and modern new models to improve the quality of hydro-meteorological forecasting. This study has built a complete set of integrated tools with modules that update with real-time measured rain data, water level, discharge, and reservoir regulation activities that are integrated into the operating systems. hydrological model (MIKE SHE) for forecasting flow to the lake, regulating reservoirs, hydraulic model MIKE 11 to predict floods in rivers, MIKE 11 GIS model for flood warning for downstream areas. The toolkit uses medium-term (5-day) forecast rain data from the IFS model, which has been calibrated and evaluated as appropriate. The results of the evaluation and trial application of one flood season for the two basins Thach Han and Vu Gia–Thu Bon gave relatively positive results and continued testing for the Tra Khuc–Song Ve basin. This study has built a set of flood warning maps according to water level and flood warning level, which is an important reference document that provides good support for flood forecasting and inundation warning to serve the prevention of natural disasters.

Keywords: A toolkit; Flood Forecasting; Inundation warning; Thach Han; Vu Gia–Thu Bon; Tra Khuc–Song Ve.