

# ỨNG DỤNG MÔ HÌNH HEC-RAS MÔ PHỎNG NGẬP LỤT CHO HẠ LƯU SÔNG BA

Lương Hữu Dũng, Lê Quốc Huy, Phan Văn Thành,  
Văn Thị Hằng, Trần Thanh Thủy, Nguyễn Văn Đại  
Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu

Ngày nhận bài: 28/3/2024; ngày chuyển phản biện: 29/3/2024; ngày chấp nhận đăng: 6/5/2024

**Tóm tắt:** Bài báo giới thiệu một số kết quả tính toán ngập lụt hệ thống sông Ba tỉnh Phú Yên sử dụng bộ mô hình HEC. Các số liệu lưu lượng đầu vào trên sông Ba mô phỏng từ mưa bằng mô hình HEC-HMS. Bộ thông số mô hình kết nối 1-2 chiều HEC-RAS được hiệu chỉnh và kiểm định bằng số liệu thực đo mực nước các trận lũ lớn các năm 2009, 2016, 2021 tại trạm Phú Lâm trên sông Ba kết hợp với các tài liệu đo đạc vết lũ của trận lũ lớn năm 2021. Kết quả hiệu chỉnh kiểm định HEC-RAS cho thấy sai số đỉnh lũ nhỏ chỉ dưới 0,17 m, hình dạng quá trình lũ thực đo khá tương đồng về pha và độ lớn chứng tỏ khả năng ứng dụng của mô hình trong công tác xây dựng bản đồ ngập lụt và cảnh báo thiên tai lũ lụt cho khu vực hạ lưu. Dựa trên kết quả mô phỏng tốt các trận lũ lớn sẽ tiến hành tính toán mô phỏng cho các trận lũ với tần suất 1%, 3%, 5%, 10%, để đánh giá mức độ ngập lụt hạ lưu sông Ba, sông Bàn Thạch theo các kịch bản mưa lũ khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy ngập lụt xuất hiện ở các huyện Đông Hòa, Phú Hòa, Tây Hòa và TP. Tuy Hòa với các mức độ và cấp ngập khác nhau, đặc biệt ngập lụt lớn có thể thấy ở khu vực huyện Đông Hòa với tần suất 1%.

**Từ khóa:** Bộ mô hình HEC, sông Ba, ngập lụt.

## 1. Đặt vấn đề

Lũ lụt miền Trung nói chung và trên lưu vực sông Ba nói riêng là một trong những thiên tai, thường xuyên đe dọa cuộc sống của người dân và sự phát triển kinh tế xã hội trong vùng. Theo thống kê, một số năm gần đây cho thấy tình hình lũ lụt trên lưu vực ngày càng nghiêm trọng với mức độ thiệt hại có xu hướng ngày càng tăng một số trận lũ lớn xảy ra trên lưu vực là các năm 1993, 2009, 2021. Chính vì vậy, xây dựng mô hình diễn toán lũ mô phỏng ngập lụt cho vùng hạ lưu sông Ba trong điều kiện hiện trạng cũng như trong tương lai nhằm phục vụ nâng cao hiệu quả quản lý vận hành hệ thống công trình cắt giảm lũ, đồng thời đề xuất các giải pháp thích ứng là rất cần thiết.

Mô phỏng và dự báo ngập lụt có nhiều phương pháp đang được sử dụng như: Mô hình thủy lực 1 chiều, 2 chiều, mô hình thủy động lực kết nối 1-2 chiều, mô hình thủy lực kết hợp với

mô hình thủy văn. Trong đó, nổi bật là mô hình thủy lực kết nối 1-2 chiều như MIKE FLOOD, HEC-RAS 1-2D, với ưu điểm như khắc phục được sai số tính toán do yếu tố địa hình lòng sông (dữ liệu đầu vào quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả tính toán), chi tiết hóa chế độ thủy động lực, các công trình trên cơ sở kết nối vùng 1 chiều với vùng 2 chiều.

Trong đó, một số bộ mô hình thủy lực phổ biến như MIKE DHI được ứng dụng ở Việt Nam là dạng mô hình thương mại với chi phí cao, khối lượng tính toán lớn và cần có ứng dụng cụ thể cho các khu vực nghiên cứu có tính chất đặc thù riêng. Trong khi đó, bộ mô hình HEC là dạng mô hình mã nguồn mở, dễ hiểu và ứng dụng trong công tác nghiên cứu. Nghiên cứu ứng dụng bộ mô hình HEC bao gồm HEC-GEOHMS, HEC-HMS, HEC-RAS 1D, HEC-RAS 2D nhằm mô phỏng ngập lụt cho hạ lưu sông Ba trên cơ sở kết nối động lực 1-2 chiều.

Những năm gần đây, với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ số đã tạo nên những công cụ đắc lực để mô phỏng toàn bộ các quá trình

Liên hệ tác giả: Lương Hữu Dũng  
Email: dungluonghuy@gmail.com

ngoài thực tế bằng các công thức toán học, chính là các mô hình hóa. Dựa vào hệ phương trình Saint Venat, nhiều mô hình thủy lực đã mô phỏng các quá trình dòng chảy trong sông. Trên thế giới, việc áp dụng mô hình thủy lực để tính toán ngập lụt đã được sử dụng rất rộng rãi. Knebla và cs (2005) [1] đã nghiên cứu mô hình HEC-HMS/RAS mô phỏng ngập lụt quy mô lớn ở lưu vực sông San Antonio, (khoảng 10.000 km<sup>2</sup>) ở trung tâm Texas, Mỹ. Nielsen (2006) đã ứng dụng mô hình MIKE SHE để tính toán ngập lụt vùng đồng bằng và tiêu thoát nước đô thị [2]. Tomkratoke và Sirisup (2015) đã dùng mô hình thủy động lực học FVCOM để mô phỏng ngập lụt vùng nghiên cứu [3]. Trong nước, việc sử dụng các mô hình thủy lực để tính toán ngập lụt cũng rất rộng rãi. Hoàng Thanh Tùng (2011) [4] đã sử dụng mô hình HEC-RAS để tính toán lũ cho lưu vực sông Cả. Trần Duy Kiều (2012) đã xây dựng bộ công cụ quản lý lũ lớn cho lưu vực sông Lam [5]. Hoàng Thanh Tùng (2011) đã Nghiên cứu dự báo mưa, lũ trung hạn cho vận hành hệ thống hồ chứa phòng lũ - ứng dụng cho lưu vực sông Cả [4]. Đoàn Văn Hải và cộng sự đã nghiên cứu xây dựng công cụ dự báo lưu lượng nước đến hồ sông Ninh phục vụ dự báo lũ hạ lưu sông Ba [6]. Phạm Thanh Long và cộng sự, (2022) đã xây dựng hệ thống cảnh báo, dự báo lũ và ngập lụt hạ lưu sông Kôn - Hà Thanh và Lại Giang tỉnh Bình Định [7]. Đặng Thanh Mai và cộng sự, 2013 và 2016 đã nghiên cứu xây dựng hệ thống phân tích, giám sát, cảnh báo, dự báo lũ, ngập lụt và hạn hán cho hệ thống sông Ba [8].

Để đánh giá khả năng ngập lụt đối với khu vực hạ lưu sông Ba, nghiên cứu này đã ứng dụng bộ phần mềm họ HEC gồm HEC-HMS, HEC-RAS

1-2D để mô phỏng quá trình lũ trên sông Ba, kết hợp với phần mềm ArcGIS xây dựng bản đồ ngập lụt, đánh giá nguy cơ ngập lụt cho lưu vực sông Ba. Ngoài kết quả bản đồ ngập lụt, bộ công cụ mô hình thủy văn, thủy lực có thể bàn giao cho các sở ban ngành có chuyên môn sử dụng cho việc dự báo lũ cho lưu vực sông Ba.

## 2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu

### 2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

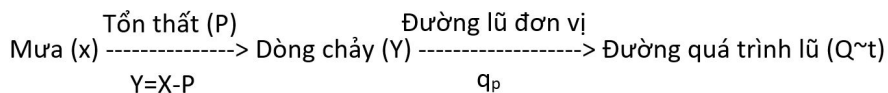
Lưu vực sông Ba nằm trong phạm vi 03 tỉnh Tây Nguyên: Kon Tum, Gia Lai, Đắk Lắk và 01 tỉnh Duyên hải miền Trung Trung Bộ là Phú Yên. Đây là một trong chín lưu vực sông lớn nhất Việt Nam có diện tích tự nhiên toàn lưu vực 13.417 km<sup>2</sup>. Phía Bắc giáp thượng nguồn sông Trà Khúc, Bắc và Tây Bắc giáp sông Sê San, Tây và Tây Nam giáp sông Srêpok. Phía Nam giáp sông Bàn Thạch. Phía Đông là dải Trường Sơn Đông ngăn cách với các lưu vực sông Kone, sông Kỳ Lộ. Sông Ba đổ ra biển Đông ở cửa Đà Nẵng, thành phố Tuy Hòa tỉnh Phú Yên. Khu vực hạ lưu sông Ba được tính toán từ sau hồ chứa Ba Hạ và sông Ninh ra đến cửa Đà Diễn (Hình 1).

### 2.2. Phương pháp mô hình hóa

Các mô hình số trị thuộc bộ mô hình HEC được sử dụng để xây dựng tính toán ngập lụt lưu vực sông Ba bao gồm: HEC-GEO HMS, HEC HMS, HEC-RAS 1D, HEC-RAS 2D. Ngoài ra dự án cũng sử dụng kết quả tính toán mưa từ mô hình khí tượng WRF.

#### 2.2.1. Mô hình HEC-HMS

Mô hình HEC-HMS là mô hình được sử dụng mô phỏng dòng chảy từ quá trình mưa trên lưu vực. Có thể biểu thị mô hình bằng sơ đồ sau:



#### 2.2.2. Mô hình Hec Ras 1D

Mô hình HEC-RAS do Trung tâm Kỹ thuật Thủy văn - Quân đội Mỹ xây dựng và phát triển, có ưu điểm nổi bật là có thể trao đổi được dữ liệu với các phần mềm hệ thống thông tin địa lý GIS và liên kết dễ dàng với mô hình thủy văn HEC- HMS, có thể sử dụng mô hình để dự báo lũ,

mô phỏng kiểm soát lũ, mô phỏng vận hành hệ thống tưới và tiêu thoát nước mặt, nghiên cứu sóng triều và dòng chảy do mưa ở sông và cửa sông,... Mô hình thủy lực HEC-RAS 1 chiều cho dòng chảy không ổn định trong sông được mô tả bằng hệ phương trình Saint Venant.

### 2.2.3. Mô hình Hec Ras 2D và kết nối 1-2D

Mô hình HEC-RAS 2 chiều mô phỏng dòng chảy không ổn định được biểu diễn thông qua hệ phương trình Navier-Stokes bao gồm các phương trình bảo toàn động lượng và bảo toàn khối lượng.

#### *Cơ sở kết nối 1-2 chiều dạng chảy tràn*

Do phạm vi nghiên cứu của đề tài chỉ áp dụng mô phỏng ngập trong điều kiện chảy tràn nên trong phần này sẽ trình bày lý thuyết cơ sở kết nối thủy động lực 1-2 chiều trong điều kiện chảy tràn.

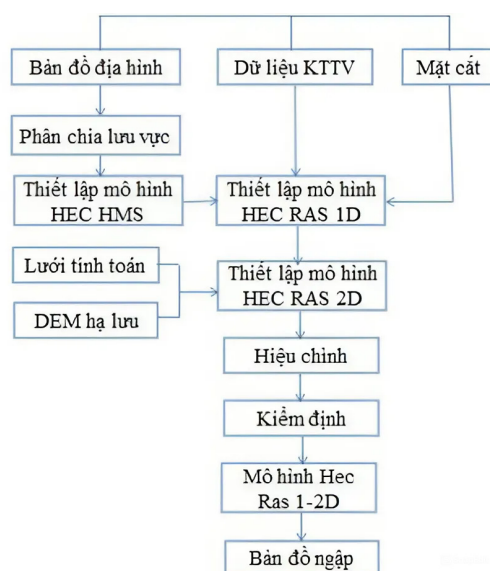
Sử dụng hệ thống kết nối thủy động lực 1-2 chiều để mô phỏng. Với cách này, dữ liệu 1 chiều (lòng sông được thể hiện bằng các mặt cắt thông qua đo đạc trực tiếp) được kết nối trực tiếp với vùng 2 chiều để diễn toán quá trình chảy ra, chảy vào, tràn, vỡ bờ... của dòng nước, từ đó dựa vào chênh lệch cao độ địa hình tạo ra vùng ngập. Dựa vào những dữ liệu sẵn có, nghiên cứu đã lựa chọn cách thức kết nối này để mô phỏng ngập lụt cho một số trận lũ điển hình.

Mô hình HEC-RAS cho phép mô phỏng vùng 2 chiều dưới dạng hệ thống các ô ruộng. Các ô này liên kết với sông - kênh thông qua các hệ thống công trình như: Cống điều tiết, đập tràn đáy, đập tràn tự do, đập tràn có cửa điều khiển. Nước có thể chảy ra hoặc vào tùy theo tương quan mực nước giữa sông và ô ruộng.

Các mô hình số trị thủy văn, thủy lực được xây dựng nhằm tính toán, mô phỏng ngập lụt tại hạ lưu của lưu vực sông Ba và sông Bàn Thạch. Theo thứ tự, ứng dụng, mô hình HEC-HMS tính toán lưu lượng từ số liệu mưa lưới để tạo biên nhập lưu khu giữa cho sông Ba từ sau hồ chứa Ba Hạ, sông Hinh ra đến cửa biển và biên trên, nhập lưu khu giữa cho sông Bàn Thạch, mô hình thủy lực một chiều (mô hình HEC-RAS 1D) để tính toán dòng chảy trên hệ thống sông Ba kết nối với mô hình HEC-RAS 2D và mô hình kết nối HEC-RAS 1D-2D để tính toán diễn biến ngập lụt khu vực hạ lưu 2 sông. Sơ đồ liên kết các mô hình cho hệ thống sông Ba được miêu tả trong Hình 2.



Hình 1. Bản đồ lưu vực sông Ba sông Bàn Thạch



Hình 2. Sơ đồ tính toán ngập lụt hạ lưu hệ thống sông Ba

### 2.3. Dữ liệu đầu vào cho mô hình

Dữ liệu khí tượng thủy văn của trận lũ năm 2009, 2016, 2021 bao gồm các trạm:

+ Trạm đo mưa khí tượng: An Khê, Pleiku, M'Đrăk, AyunPa, Buôn Hồ, Buôn Mê Thuột, Kon Tum, Sơn Hòa;

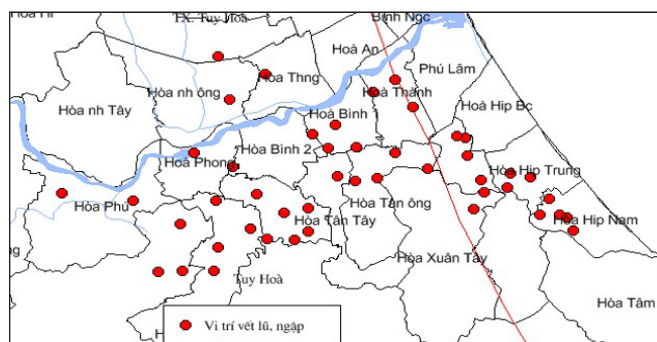
+ Trạm đo lưu lượng: An Khê, PơMơRê, AyunPa, Củng Sơn;

+ Trạm đo mực nước: Phú Lâm.

Số liệu mưa lưới là kết quả mô phỏng từ mô hình WRF và WRFDA phiên bản V3.9.1.1 để làm số liệu đầu vào cho mô hình thủy văn. Số liệu mưa có độ phân giải ngang 1x1 km là kết quả của phương pháp đồng hóa dữ liệu giữa mô hình số trị với số liệu tại các trạm đo mưa tự động và trạm radar được tính toán bởi Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn Quốc gia.

Dữ liệu địa hình bao gồm: Địa hình toàn lưu vực sông Ba mô hình cao độ số (DEM): 12,5x12,5

m; địa hình chi tiết hạ lưu sông Ba từ sau hồ Ba Hạ, hồ sông Hinh đến TP. Tuy Hòa với tỷ lệ 1:10.000, địa hình TP. Tuy Hòa với tỷ lệ 1:2000, 1:5000; Đoạn sông Ba từ sau hồ chứa sông Ba Hạ ra ra đến cửa sông Đà Diễn dài 69,65 km với 59 mặt cắt số liệu được đo đạc từ năm 2010, mới nhất kế thừa của Đề tài ĐTĐL.CN.15/15 [9] được đo đạc năm 2016 và được Dự án “Xây dựng mô hình nguồn mở HEC-RAS dự báo và cảnh báo ngập lụt cho hạ lưu sông Ba theo công nghệ Hàn Quốc” đo đạc bổ sung với 20 mặt cắt mới trên sông Ba từ sau hồ thủy điện Ba Hạ đến trước đập Đồng Cam vào tháng 3/2023; Sông Hinh từ sau hồ thủy điện sông Hinh đến trước nhập lưu với sông Ba dài 19,59 km với 10 mặt cắt được đo đạc bổ sung vào tháng 3/2023; Sông Bàn Thạch có chiều dài 30,5 km với 09 mặt cắt được kế thừa của Đề tài ĐTĐL.CN.15/15 và 09 mặt cắt được Dự án đo đạc mới vào tháng 3/2023.



Hình 3. Bản đồ vị trí các điểm khảo sát đo đạc vết lũ khu vực hạ lưu sông Ba cho trận lũ từ ngày 25/11-05/12/2021

Kết quả khảo sát các vết lũ thuộc địa phận các xã thuộc huyện Tây Hòa, Đông Hòa, Phú Hòa và các huyện ở dọc hai bên sông hạ lưu sông Ba (Hình 3), sẽ được dùng để hiệu chỉnh mô hình ngập lụt.

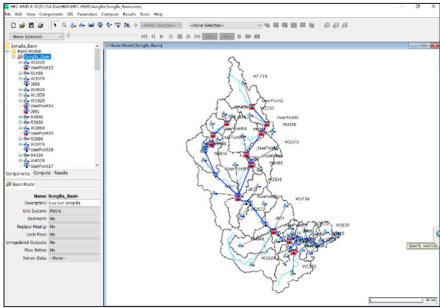
3. Thiết lập mô hình

3.1. Thiết lập mô hình Hec HMS

Lưu vực sông Ba có diện tích 13.417 km<sup>2</sup> được chia thành 36 tiểu lưu vực con (Hình 4), lưu vực sông Bàn Thạch có diện tích 1.624 km<sup>2</sup> được chia thành 9 tiểu lưu vực con (Hình 5) nhờ công cụ HEC-GEO HMS trong mô hình Armap.

Xác định dữ liệu đầu vào cho mô hình Hec HMS

Dữ liệu đầu cho mô hình HEC-HMS bao gồm



Hình 4. Mô hình Hec HMS thiết lập cho sông Ba

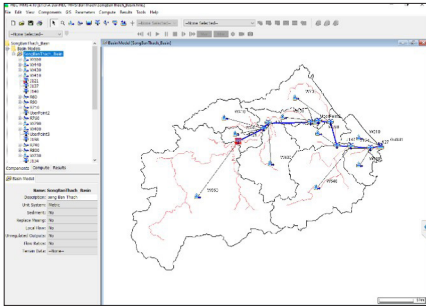
3.2. Thiết lập mô hình Hec Ras 1D

Phạm vi mô phỏng là sông chính phần hạ lưu sông Ba từ sau hồ chứa thủy điện Ba Hạ ra đến cửa sông Đà Diễn đoạn sông chính này có chiều dài 69,65 km và sau hồ chứa thủy điện sông Hinh đến nhập lưu với sông Ba dài 19,59 km, phần hạ lưu sông Bàn Thạch dài 30,5 km ra đến cửa sông Đà Nông.

Biên trên mô hình của sông Ba là quá trình lưu lượng theo giờ xả ra từ hồ chứa thủy điện Ba

dữ liệu mưa lưới bao trùm toàn bộ miền tính của lưu vực sông Ba và sông Bàn Thạch. Mô hình HEC-HMS để tính nhập lưu khu giữa cho mô hình thủy lực từ sau hồ chứa Ba Hạ, sông Hinh, sông Bàn Thạch ra đến cửa biển.

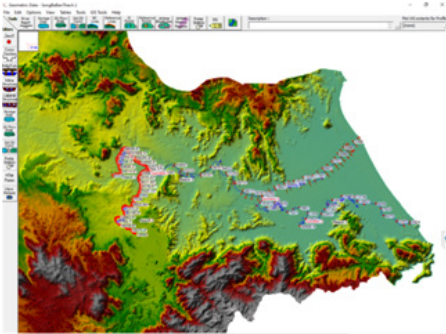
Phạm vi của mưa lưới bao gồm 160 ô lưới theo chiều ngang và 223 ô lưới theo chiều dọc với kích thước ô lưới 1.000 m, vị trí góc trái dưới là 175.000 m kinh độ Đông và 1.393.000 m vĩ độ Bắc theo hệ tọa độ Universal Transverse Mercator (WGS 84), múi chiếu UTM 49N. Sử dụng số liệu mưa lưới đồng hóa của trận lũ năm 2016 và năm 2021 là 2 năm gần đây nhất có lũ lớn để tính toán dòng chảy lũ làm đầu vào cho mô hình thủy lực.



Hình 5. Mô hình Hec HMS thiết lập cho sông Bàn Thạch

Hạ, hồ sông Hinh, biên trên của sông Bàn Thạch và lưu lượng khu giữa sông Ba, sông Bàn Thạch được tính toán từ mô hình HEC-HMS với mưa lưới 1 km.

Biên dưới là mực nước triều theo giờ tại cửa sông Đà Diễn, Đà Nông được tính toán từ tương quan truyền triều tại trạm triều Quy Nhơn. Sử dụng mực nước tại trạm thủy văn trạm Phú Lâm hiệu chỉnh, kiểm định quá trình mực nước. Sơ đồ mạng thủy lực mô hình HEC-RAS sông Ba sau khi thiết lập thể hiện ở Hình 6.

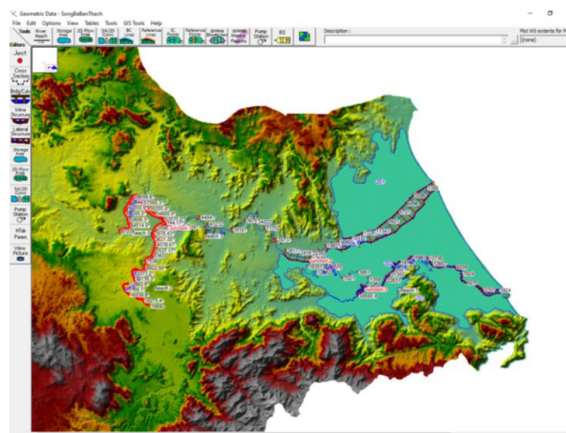


Hình 6. Sơ đồ mạng thủy lực HEC RAS 1D sông Ba, sông Bàn Thạch

### 3.3. Thiết lập mô hình HEC-RAS 2D và kết nối 1-2D

Mạng thủy lực sông hạ lưu sông Ba được hình thành từ sự kết hợp 3 con sông nên phạm vi các vùng 2 chiều cũng khác nhau. Để đảm bảo mô phỏng được diễn biến cũng như phạm vi ngập lụt, căn cứ vào các khu vực ngập dựa trên ảnh vệ tinh, căn cứ vào địa hình (những nơi địa hình thấp có nhiều khả năng bị ngập úng) từ bản đồ số độ cao DEM để đưa ra cơ sở khoanh các vùng ngập lụt 2 chiều. Trong nghiên cứu này đã chia vùng có nguy cơ ngập lụt hạ lưu sông Ba thành 3 vùng để kết nối với các sông 1 chiều thông qua dạng kết nối biên. Cụ thể, vùng 1 là

vùng 2D1: Là vùng địa hình phía bên trái hạ lưu sông Ba từ phía hồ thủy điện Ba Hạ về cửa Đà Diễn với tổng số 46.342 ô lưới, ô lưới có diện tích nhỏ nhất là 1.312 m<sup>2</sup>, ô lưới có diện tích lớn nhất là 5.583 m<sup>2</sup>. Vùng 2D2: Là vùng địa hình phía bên phải hạ lưu sông Ba từ phía nhập lưu sông Đồng Bò về cửa Đà Diễn với tổng số 59.289 ô lưới, ô lưới có diện tích nhỏ nhất là 986 m<sup>2</sup>, ô lưới có diện tích lớn nhất là 3.983 m<sup>2</sup>. Vùng 2D3: Là vùng địa hình phía bên phải hạ lưu sông Bàn Thạch từ phía sau đập Đồng Cam về cửa Đà Nông với tổng số 39.140 ô lưới, ô lưới có diện tích nhỏ nhất là 1.107 m<sup>2</sup>, ô lưới có diện tích lớn nhất là 3.686 m<sup>2</sup> (Hình 7).



Hình 7. Mô hình HEC-RAS 2D và kết nối các vùng 1-2D

## 4. Kết quả và thảo luận

### 4.1. Hiệu chỉnh kiểm định bộ thông số mô hình

Số liệu khí tượng thủy văn trận lũ từ ngày 27/11-13/12/2021 được sử dụng để hiệu chỉnh và trận lũ từ 11-24/12/2016 kiểm định bộ thông số mô hình HEC-HMS tại trạm thủy văn Củng Sơn. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định thông số mô hình HEC- HMS thể hiện ở Hình 8, Hình 9.

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định thông số mô hình HEC-HMS tại trạm Củng Sơn cho kết quả khá tốt, hệ số Nash trận lũ năm 2021 đạt 0,93, năm 2016 đạt 0,76, sai số tổng lượng tương đối thấp năm 2021 là 4,5%, năm 2016 là 10,2%, sai số đỉnh lũ cũng nhỏ với năm 2021 là 3,6% với năm 2016 là 4,8%. Đường quá trình lưu lượng tính toán và thực đo tương đối phù hợp. Vậy, kết quả bộ thông số của mô hình sẽ được sử dụng để tính toán dòng chảy từ mưa tại các lưu vực nghiên cứu để tính toán đầu

vào và nhập lưu khu giữa cho mô hình HEC-RAS 1D.

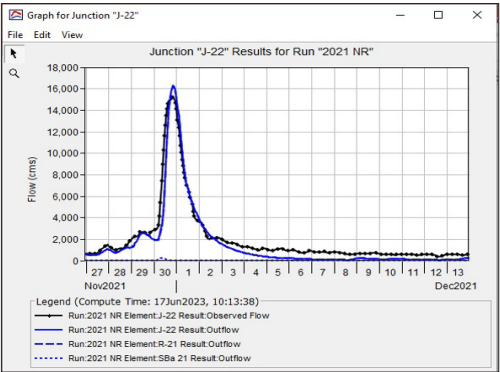
Bộ thông số mô hình HEC-RAS được hiệu chỉnh thông qua số liệu các trận lũ năm 2021 và kiểm định dựa trên trận lũ năm 2016, trận lũ tháng 11/2009. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mực nước tại trạm Phú Lâm cho trận lũ các năm 2021, 2016, 2009 được thể hiện tại Hình 10, Hình 11, Hình 12.

Kết quả mô phỏng quá trình mực nước tại trạm Phú Lâm để hiệu chỉnh cho trận lũ năm 2021 cho thấy mô hình đã mô phỏng tương đối tốt quá trình mực nước tính toán và thực đo, chênh lệch sai số đỉnh lũ thấp 0,16 m, sai số hệ số NSE đạt 0,89 được đánh giá theo tiêu chuẩn của hệ số NSE [10] cho kết quả tốt. Sau khi kết quả hiệu chỉnh tốt đối với trận lũ năm 2021 tiến hành kiểm định với trận lũ năm 2016 và 2009 đều cho kết quả tốt chênh lệch sai số đỉnh lũ

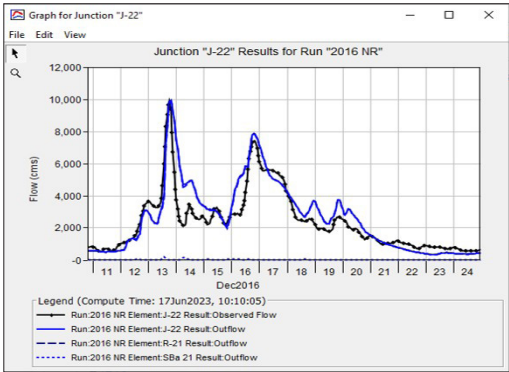
nhỏ chỉ dưới 0,06 m, hệ số Nash cũng đạt cao năm 2016 đạt 0,92, năm 2009 đạt 0,91, hình dạng quá trình lũ thực đo khá tương đồng về pha và độ lớn.

Sau khi đã thiết lập được mô hình HEC-RAS 1D mô phỏng tốt quá trình thủy lực trong sông sẽ xây dựng và thiết lập kết nối mô hình HEC-RAS 1-2D để mô phỏng đánh giá quá trình ngập lụt hạ lưu sông Ba. Do không có đo đạc được vết

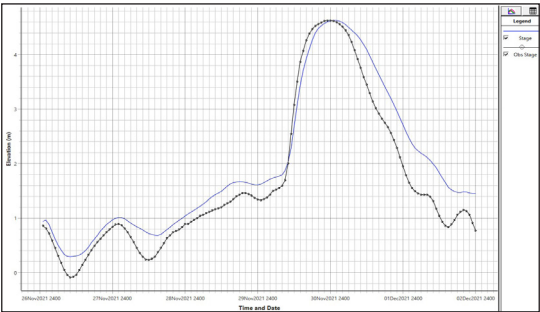
lũ năm 2016 nên sẽ sử dụng vết lũ năm 2021 khảo sát đo đạc tại 46 điểm để hiệu chỉnh mô hình ngập lụt, sau đó sẽ kiểm định cho trận lũ năm 2009 để đánh giá mô phỏng về diện ngập. Kết quả hiệu chỉnh cho trận lũ năm 2021 tại các vết lũ được đánh giá dựa trên tương quan cao độ vết lũ tính toán và thực đo (Hình 13) và sai số tính toán giữa mực nước tính toán và thực đo tại Bảng 1.



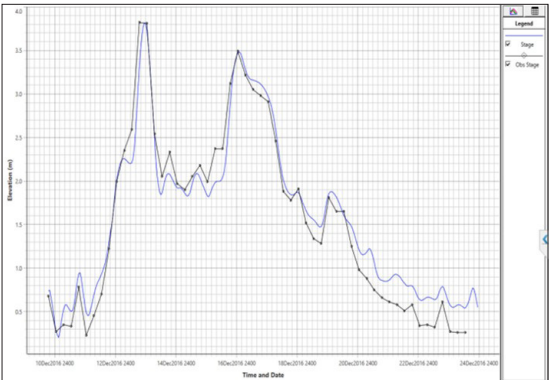
Hình 8. Kết quả hiệu chỉnh lưu lượng tại trạm Củng Sơn



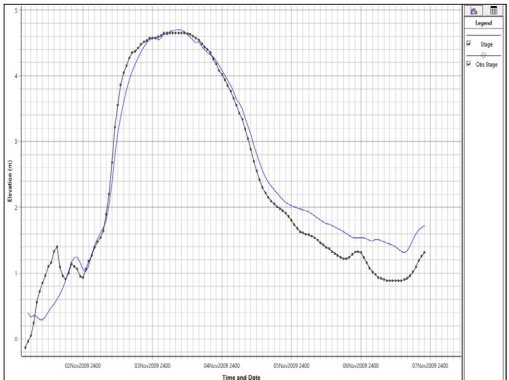
Hình 9. Kết quả Kiểm định lưu lượng tại trạm Củng Sơn



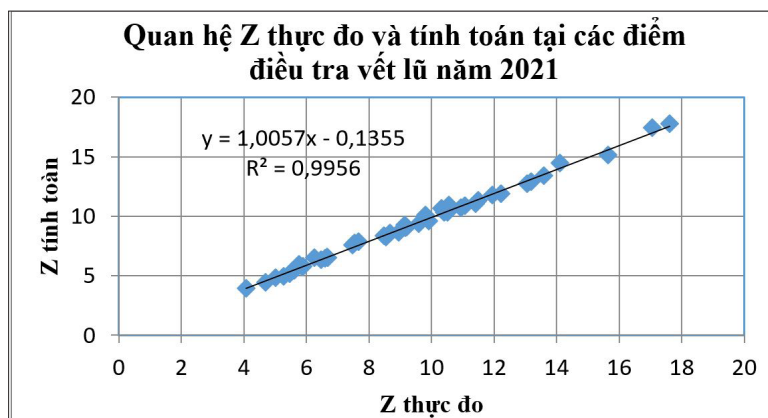
Hình 10. Kết quả hiệu chỉnh mực nước tại trạm Phú Lâm trận lũ 2021 cho mô hình HEC-RAS



Hình 11. Kết quả kiểm định mực nước tại trạm Phú Lâm trận lũ năm 2016 mô hình HEC-RAS



Hình 12. Kết quả kiểm định mực nước trạm Phú Lâm trận lũ 2009 mô hình HEC-RAS



Hình 13. Tương quan cao độ vết lũ tính toán và thực đo trận lũ năm 2021

Bảng 1. Kết quả mực nước tính toán và vết lũ tại một số vị trí điều tra tháng 5/2022 ứng với trận lũ tháng 25/11-05/12/2021

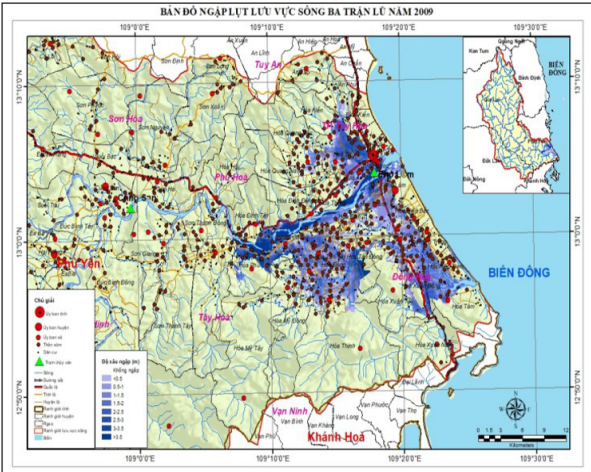
| Tên Điểm | Tọa độ  |       | Z_thực đo (m) | Z_tính toán (m) | $\Delta Z$ (m) |
|----------|---------|-------|---------------|-----------------|----------------|
|          | Kinh độ | Vĩ độ |               |                 |                |
| 1        | 109,18  | 12,94 | 14,11         | 14,49           | -0,38          |
| 2        | 109,19  | 12,94 | 13,18         | 12,92           | 0,26           |
| 3        | 109,21  | 12,94 | 11,47         | 11,26           | 0,21           |
| 4        | 109,21  | 12,95 | 11,95         | 11,76           | 0,19           |
| 5        | 109,25  | 12,96 | 8,95          | 8,65            | 0,3            |
| 6        | 109,23  | 12,96 | 9,81          | 10,08           | -0,27          |
| 7        | 109,25  | 12,96 | 9,15          | 9,03            | 0,12           |
| 8        | 109,23  | 12,96 | 10,32         | 10,64           | -0,32          |
| 9        | 109,39  | 12,96 | 4,7           | 4,45            | 0,25           |
| 10       | 109,19  | 12,96 | 13,59         | 13,39           | 0,2            |
| 11       | 109,38  | 12,97 | 5,26          | 4,97            | 0,29           |
| 12       | 109,24  | 12,97 | 11,06         | 10,91           | 0,15           |
| 13       | 109,37  | 12,97 | 5,02          | 4,82            | 0,2            |
| 14       | 109,38  | 12,97 | 5,77          | 5,94            | -0,17          |
| 15       | 109,25  | 12,97 | 9,13          | 9,28            | -0,15          |
| 16       | 109,34  | 12,97 | 4,08          | 3,97            | 0,11           |
| 17       | 109,17  | 12,98 | 17,06         | 17,44           | -0,38          |
| 18       | 109,21  | 12,98 | 13,06         | 12,71           | 0,35           |
| 19       | 109,13  | 12,98 | 17,6          | 17,79           | -0,19          |
| 20       | 109,38  | 12,98 | 5,62          | 5,44            | 0,18           |

Kết quả mô phỏng trận lũ 11-12/2021 cho kết quả khá tốt tại các vết lũ, kết quả mô phỏng ở các bãi ngập lũ ở mức chấp nhận được. Sai số trung bình tuyệt đối các vết lũ giữa tính toán và thực đo là 0,22 m. Hầu hết các vết lũ đều có

chênh lệch mực nước giữa tính toán và điều tra nhỏ và ở trong mức chấp nhận được. Về thời gian xuất hiện đỉnh lũ, giữa tính toán và thực đo lệch nhau 1,5 giờ (tính toán xuất hiện sớm hơn). Với một trận lũ có cường suất lũ lớn và

đỉnh khá cao như vậy thì sai số thời gian xuất hiện đỉnh như vậy là chấp nhận được.

Trận lũ tháng 11/2009 dùng để kiểm định đánh giá mô phỏng diện tích ngập của mô hình



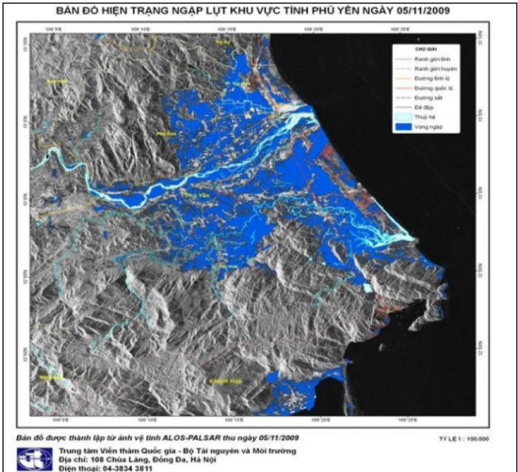
Hình 14. Bản đồ ngập lụt hạ lưu sông Ba sông Bàn Thạch mô hình HEC- RAS 2D trận lũ tháng 11/2009

Dựa trên bản đồ ngập lớn nhất mô phỏng từ mô hình và bản đồ ngập được xây dựng từ cơ sở ảnh dữ liệu vệ tinh cho thấy diện tích ngập khu vực hạ lưu sông Ba và sông Bàn Thạch có sự tương đồng với nhau khu vực ngập và mức độ ngập, mặc dù có nhiều khu vực diện tích ngập từ mô hình thấp hơn ngập thực tế nhưng vấn đề này vẫn chấp nhận được trong mức độ sai số của mô hình cũng như chưa có sự đồng nhất và mức độ chi tiết của địa hình khu vực nghiên cứu. Như vậy cho thấy mô hình mô phỏng ngập lụt cho lưu vực hạ lưu sông Ba và sông Bàn Thạch đã mô phỏng tương đối tốt quá trình ngập lụt cho khu vực nghiên cứu.

4.2. Mô phỏng ngập lụt ở hạ lưu sông Ba sông Bàn Thạch theo các tần suất

Để xác định và đánh giá quá trình ngập lụt trên sông Ba sông Bàn Thạch với các trận lũ

2 chiều HEC-RAS 2D, kết quả ngập lụt thể hiện trong (Hình 14) so với diện tích ngập ảnh vệ tinh thu thập được cho trận lũ tháng 11/2009, khu vực hạ lưu sông Ba, sông Bàn Thạch (Hình 15).

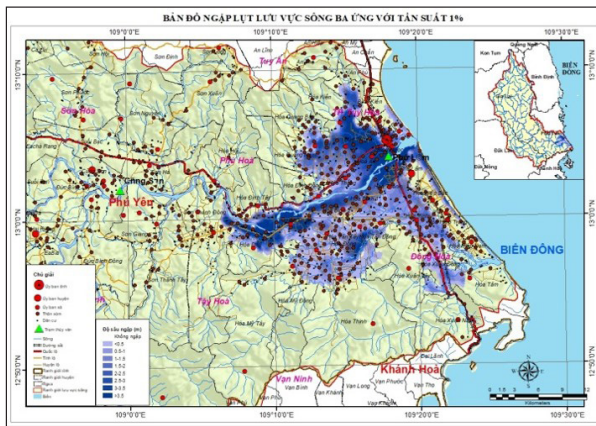


Hình 15. Bản đồ ảnh vệ tinh ngập khu vực hạ lưu sông Ba sông Bàn Thạch tháng 11/2009 [11]

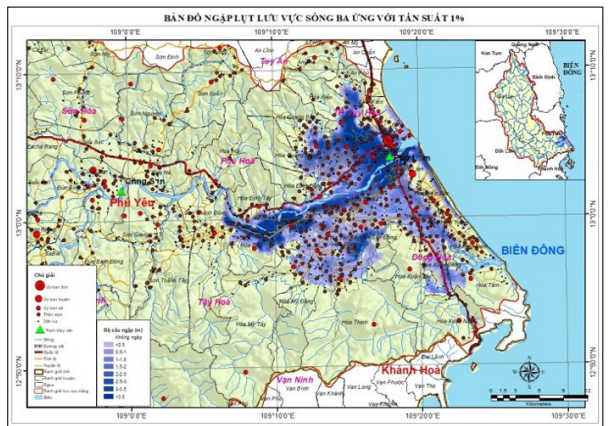
có tần suất khác nhau tại trạm thủy văn Củng Sơn, nghiên cứu đã xây dựng đường tần suất lưu lượng lớn nhất tại trạm Củng Sơn dựa trên chuỗi số liệu đo đạc từ năm 2010-2022 để từ đó xác định được các tần suất lũ. Sau đó sẽ tiến hành mô phỏng ngập lụt hạ lưu sông Ba tương ứng với tần suất lũ tại Củng Sơn theo các tần suất  $P = 1\%, 3\%, 5\%, 10\%$ . Dạng đường quá trình trận lũ tháng 11/2021 được sử dụng làm trận lũ điển hình để mô phỏng các tần suất lũ, số liệu nhập lưu lượng biên trên cho sông Bàn Thạch và nhập lưu khu giữa sông Ba sông Bàn Thạch được tính bằng mô hình Hec HMS từ mưa các trạm khí tượng theo trận lũ điển hình năm 2021 sau đó thu phóng theo hệ số tương ứng với tần suất lũ ở trạm Củng Sơn, số liệu mưa trạm sẽ được nội suy thành mưa lưới có kích thước mỗi ô lưới tính là 1 km. Kết quả mô phỏng cho các trận lũ điển hình được trình bày dưới Bảng 2, Hình 16.

Bảng 2. Diện tích và tỷ lệ ngập các huyện theo các tần suất lũ

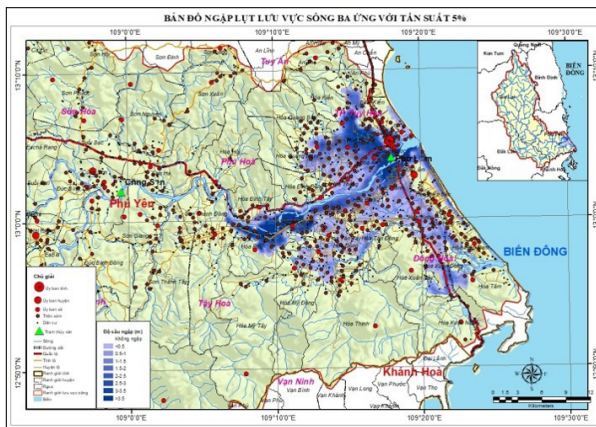
| Huyện       | Diện tích tự nhiên (km <sup>2</sup> ) | Tổng diện tích ngập (km <sup>2</sup> ) |      |      |       | % diện tích ngập |      |      |       |
|-------------|---------------------------------------|----------------------------------------|------|------|-------|------------------|------|------|-------|
|             |                                       | P=1%                                   | P=3% | P=5% | P=10% | P=1%             | P=3% | P=5% | P=10% |
| Đông Hòa    | 203,2                                 | 71,5                                   | 62,9 | 53,1 | 39,1  | 35,2             | 31,0 | 26,1 | 19,2  |
| Phú Hòa     | 204,8                                 | 85,4                                   | 75,8 | 64,1 | 47,2  | 41,7             | 37,0 | 31,3 | 23,1  |
| Tây Hòa     | 628,9                                 | 108,5                                  | 81,5 | 62,8 | 39,3  | 17,3             | 13,0 | 10,0 | 6,3   |
| TP. Tuy Hòa | 111,6                                 | 48,7                                   | 46,5 | 39,8 | 30,2  | 43,6             | 41,6 | 35,7 | 27,0  |



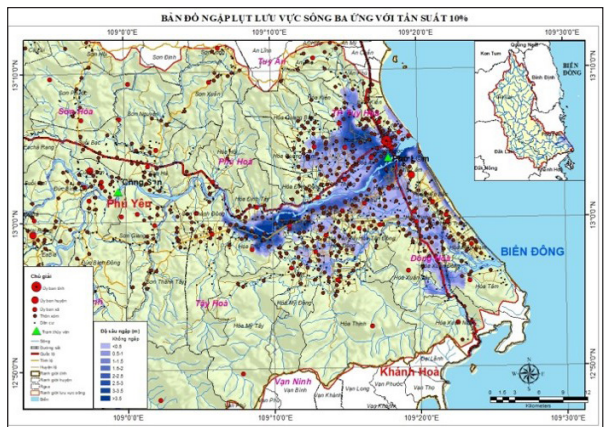
a) Bản đồ ngập tương ứng với tần suất lũ 1%



b) Bản đồ ngập tương ứng với tần suất lũ 3%



c) Bản đồ ngập tương ứng với tần suất lũ 5%



d) Bản đồ ngập tương ứng với tần suất lũ 10%

Hình 16. Bản đồ ngập hạ lưu sông Ba tương ứng với các tần suất lũ

Kết quả tính toán mô phỏng ngập lụt ở hạ lưu sông Ba - Bàn Thạch theo các trận lũ ứng với tần suất lũ 1%, 3%, 5%, 10% cho thấy ngập lụt đều xuất hiện ở các huyện Đông Hòa, Phú Hòa, Tây Hòa và TP. Tuy Hòa với các mức độ và cấp độ ngập khác nhau. Đối với tần suất lũ 1% cho thấy mức độ ngập lụt rất lớn, một số khu vực xã/phường bị ngập hoàn toàn trong lũ như xã Hòa Thành và Hòa Vĩnh (huyện Đông Hòa), xã Hòa An (huyện Phú Hòa), Hòa Bình 2, Hòa Đồng, Hòa Phong và Hòa Bình 1 (huyện Tây Hòa), xã Bình Ngọc và từ phường 1 đến phường 6 và phường 8 thuộc thành phố Tuy Hòa có diện tích ngập lớn hơn 95% diện tích toàn xã/phường. Mức độ ngập với tần suất lũ 10% đã giảm rõ rệt không còn khu vực xã/phường nào bị ngập hoàn toàn nữa, trong đó thì huyện Tây Hòa mức độ ngập còn rất nhỏ chỉ 6,3% diện tích bị ngập. Trong trận lũ tương ứng tần suất 10%, các công

trình các công trình như đê, đường giao thông thuộc các tuyến quốc lộ 1, quốc lộ 25 và quốc lộ 29 đã góp phần ngăn lũ tràn từ sông Ba vào các khu vực trũng thấp và khu dân cư. Khu vực TP. Tuy Hòa và huyện Đông Hòa là 2 khu vực ngập nhiều nhất nhưng chịu ảnh hưởng và tác động lớn nhất của ngập lụt vẫn là khu vực TP. Tuy Hòa bởi địa hình nơi đây khá bằng phẳng, dân cư tập trung đông đúc cũng là nơi tập trung các cơ sở kinh tế, chính trị lớn nhất của tỉnh Phú Yên. Phía bên sông Bàn Thạch mức độ ngập lụt cũng giảm và ít chịu tác động lớn như ở phía bên sông Ba do khu vực ngập nhiều nhất là huyện Đông Hòa lại có dân cư thưa thớt, các cơ sở phát triển kinh tế như khu công nghiệp, nhà máy ít, khu vực địa hình trũng chủ yếu phát triển nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản đã thích nghi được với tình trạng ngập lũ trong quá trình nhiều năm bị ảnh hưởng bởi ngập lũ.

## 5. Kết luận

Nghiên cứu đã áp dụng thành công mô hình HEC-RAS mô phỏng ngập lụt cho hạ lưu sông Ba sông Bàn Thạch trên cơ sở kết nối thủy động lực học 1-2 chiều. Kết quả tính toán hiệu chỉnh và kiểm định thủy lực tại trạm thủy văn Phú Lâm đều cho kết quả tốt chênh lệch sai số đỉnh lũ nhỏ dưới 0,17 m, hệ số Nash đều đạt giá trị tương đối cao trên từ 0,89 trở lên, hình dạng đường quá trình lũ tính toán và thực đo phù hợp nhau.

Nghiên cứu đã mô phỏng ngập lụt ở hạ lưu sông Ba - Bàn Thạch theo các trận lũ ứng với tần suất lũ 1%, 3%, 5%, 10%. Kết quả mô phỏng ngập lụt cho các tần suất lũ cho thấy trên sông Ba khu vực TP. Tuy Hòa chịu ảnh hưởng ngập lụt lớn nhất, còn trên sông Bàn Thạch là huyện Đông

Hòa đây là 2 vùng có địa hình khá thấp và nằm ngay cạnh 2 con sông lớn. Đối với các trận lũ lớn với tần suất từ 5% trở lên thì mức độ ngập lụt rất lớn gần như các tuyến đê và các tuyến đường như quốc lộ 1, quốc lộ 25 và quốc lộ 29 đã bị ngập hoàn toàn hoặc ngập một phần đã làm mất vai trò ngăn lũ từ sông Ba chảy tràn vào các khu vực có địa hình trũng và khu dân cư.

Bên cạnh những kết quả đạt được nghiên cứu vẫn còn tồn tại những mặt hạn chế về sai số mô hình. Trong đó, nghiên cứu mới chỉ hiệu chỉnh và kiểm định cho một số trận lũ lớn mà chưa mô phỏng cho những trận lũ trung bình, đồng thời số liệu mặt cắt khu vực hạ lưu sông Ba sông Bàn Thạch còn thưa có thể cũng ảnh hưởng đến chất lượng của kết quả tính toán mô phỏng ngập lụt.

**Lời cảm ơn:** Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của Đề tài: "Xây dựng mô hình nguồn mở HEC-RAS dự báo và cảnh báo ngập lụt cho lưu vực sông Ba theo công nghệ Hàn Quốc".

### Tài liệu tham khảo

1. Knebl, M.R. et al. (2005), "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", *Journal of Environmental Management*, Vol 75, Issue 4, 325-336.
2. Nielsen, C., (2006), "The application of MIKE SHE to floodplain inundation and urban drainage assessment in South East Asia", *DHI Water and Environment (Malaysia)*.
3. Tomkratoke, S., Sirisup, S., (2015), "Hydrodynamic simulation of overland flooding over lowlying flat lands: A case study of the severe 2011 flood in Sam-Khok and Klong Luang districts Thailand", *Hydrological Research Letters*, 9 (4), 47-53.
4. Hoàng Thanh Tùng (2011), *Nghiên cứu dự báo mưa, lũ trung hạn cho vận hành hệ thống hồ chứa phòng lũ - ứng dụng cho lưu vực sông Cả*, Luận án tiến sĩ chuyên ngành Thủy văn học, Trường Đại học Thủy Lợi.
5. Trần Duy Kiều (2012), *Nghiên cứu quản lý lũ lớn lưu vực sông Lam*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật chuyên ngành Phát triển nguồn nước, Trường Đại học Thủy Lợi.
6. Đoàn Văn Hải và cộng sự (2020), "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*, số 710, 70-77.
7. Phạm Thanh Long và cộng sự (2022), "Xây dựng hệ thống cảnh báo, dự báo lũ và ngập lụt hạ lưu sông Kôn - Hà Thanh và Lại Giang tỉnh Bình Định", *Tạp chí Khoa học Biển đổi khí hậu*, số 24 - tháng 12/2022.
8. Đặng Thanh Mai, Vũ Đức Long (2016), "Nghiên cứu xây dựng công nghệ cảnh báo, dự báo lũ lưu vực sông Kôn - Hà Thanh, tỉnh Bình Định", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 668, 1-11.
9. Nguyễn Tiền Giang (2019), *Nghiên cứu cơ sở khoa học để xác định cơ chế bồi lấp, sạt lở và đề xuất các giải pháp ổn định các cửa sông Đà Diễn và Đà Nông tỉnh Phú Yên phục vụ phát triển bền vững cơ sở hạ tầng và kinh tế xã hội*, Báo cáo tổng kết nhiệm vụ Khoa học và Công nghệ cấp quốc gia.
10. Nguyễn Thị Thu Huyền và cộng sự (2012), "Nghiên cứu ứng dụng mô hình Swat đánh giá biến động dòng chảy, bùn cát trên sông Nhật Lệ tỉnh Quảng Bình", *Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi*, số

12/2012.

11. Trung tâm viễn thám quốc gia (2012), "Ứng dụng công nghệ viễn thám thành lập bản đồ ngập lụt sông Ba tỉnh Phú Yên", *Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi*, số 29.
12. U.S.Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Centere (2016), *HEC-RAS 5.0 Reference Manual*.

## APPLICATION OF HEC-RAS MODEL TO SIMULATE FLOOD AND INUNDATION IN THE BA RIVER DOWNSTREAM

Luong Huu Dung, Le Quoc Huy, Phan Van Thanh,  
Van Thi Hang, Tran Thanh Thuy, Nguyen Van Dai

*The Viet Nam Institute of Meteorology, Hydrology and Climate Change*

*Received: 28/3/2024; Accepted: 6/5/2024*

**Abstract:** *The study provides the results of inundation modeling for the Ba river system using HEC model. The input data are simulated from rainfall using the HEC-HMS model. The coupled model parameters for HEC-RAS are calibrated and validated using observed extreme floods in 2009, 2016, 2021 at Phu Lam station in the Ba river together with flood stains in 2021. The results show the similar patterns between observed and calculated data with the peak correction less than 0.17 m. Hence, the model is suitable for inundation modeling and flood early warning at the Ba and the Ban Thach river downstream. Based on the good performance of the model for extreme events, the research simulates for floods corresponding to flood frequency of 1%, 3%, 5%, 10%, to evaluate the inundation level at the downstream of the Ba and the Ban Thach river corresponding according to different rainfall scenarios. The results show inundation level and area differs from different districts and communes with the most severe area in Dong Hoa district in case of flood frequency 1%.*

**Keywords:** *Hec model, Ba river, flood.*