

**TẠP CHÍ**

# **KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN**

**Vietnam Journal of Hydro - Meteorology**

**ISSN 2525 - 2208**



**TỔNG CỤC KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN**  
**Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration**

Số chuyên đề  
08-2022



## MỤC LỤC

### Bài báo khoa học



### Q. TỔNG BIÊN TẬP TS. Đoàn Quang Trí

- |                              |                             |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. GS. TS. Trần Hồng Thái    | 14. PGS. TS. Mai Văn Khiêm  |
| 2. GS. TS. Trần Thực         | 15. PGS. TS. Nguyễn Bá Thủy |
| 3. GS. TS. Mai Trọng Nhuận   | 16. TS. Tống Ngọc Thanh     |
| 4. GS. TS. Phan Văn Tân      | 17. TS. Đinh Thái Hưng      |
| 5. GS. TS. Nguyễn Kỳ Phùng   | 18. TS. Võ Văn Hòa          |
| 6. GS. TS. Phan Đình Tuấn    | 19. TS. Nguyễn Đắc Đồng     |
| 7. GS. TS. Nguyễn Kim Lợi    | 20. GS. TS. Kazuo Saito     |
| 8. PGS. TS. Nguyễn Văn Thắng | 21. GS. TS. Jun Matsumoto   |
| 9. PGS. TS. Dương Văn Khảm   | 22. GS. TS. Jaecheol Nam    |
| 10. PGS. TS. Dương Hồng Sơn  | 23. TS. Keunyoung Song      |
| 11. TS. Hoàng Đức Cường      | 24. TS. Lars Robert Hole    |
| 12. TS. Bạch Quang Dũng      | 25. TS. Sooyoul Kim         |
| 13. TS. Đoàn Quang Trí       |                             |

### Giấy phép xuất bản

Số: 225/GP-BTTTT - Bộ Thông tin Truyền  
thông cấp ngày 08/6/2015

### Tòa soạn

Số 8 Pháo Đài Láng, Đống Đa, Hà Nội  
Điện thoại: 024.39364963  
Email: Tapchikttv@gmail.com

### Chế bản và In tại:

Công ty TNHH Đầu Tư Nông Nghiệp  
Việt Nam  
ĐT: 0243.5624399

Ảnh bìa: Trạm Quan trắc Khí tượng bề mặt Phú  
Quốc

Giá bán: 25.000 đồng

1. Trương Văn Kịch, Trần Mạnh Cường, Trần Thùy Nhung, Trần Anh Phương, Dương Hồng Sơn: Xây dựng bản đồ bốc thoát hơi nước độ phân giải cao cho tỉnh Sóc Trăng từ ảnh viễn thám Sentinel
11. Phạm Hồ Quốc Tuấn, Nguyễn Bách Tùng, Đoàn Quang Trí, Trần Ngọc Anh, Nguyễn Văn Nhật: Nghiên cứu đánh giá tác động của ngập lụt tỉnh Tiền Giang
24. Nguyễn Ý Như, Trần Nhân Nghĩa, Phạm Văn Giang, Tạ Đăng Quốc Vũ, Nguyễn Thị Liên, Lê Hà My, Nguyễn Thu Lan: Đánh giá hệ thống giám sát lũ toàn cầu GFMS cho thành phố Hà Tĩnh
38. Đặng Hoàng Lam, Nguyễn Huy Phương, Nguyễn Đình Đạt, Nguyễn Tiền Giang: Xây dựng mô hình MIKE 11 phục vụ công tác dự báo thủy văn và xâm nhập mặn tỉnh Bến Tre
50. Nguyễn Kim Ngọc Anh, Trần Ngọc Anh, Ngô Quang Tài, Lê Minh Nhật: Ứng dụng mô hình MIKE 11 tính toán dòng chảy mặt phục vụ công tác cấp phép khai thác tài nguyên nước lưu vực sông Cả
62. Đặng Đình Khá, Trần Ngọc Anh, Nguyễn Ý Như, Phạm Thị Thúy Nga, Đặng Thị Hồng Nhung, Nguyễn Hoàng Minh: Giới thiệu một số phương pháp tính toán lưu lượng dòng chảy cho lưu vực thiếu hoặc không có số liệu quan trắc mặt đất
77. Nguyễn Anh Nam, Trần Ngọc Anh, Đỗ Đình Chiến, Ngô Quang Tài: Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tình hình ngập lụt hạ lưu sông Trà Khúc tỉnh Quảng Ngãi
87. Lê Xuân Hòa, Nguyễn Tiền Giang: Xây dựng các mô hình hồi quy hỗ trợ véc tơ dự báo mực nước trạm Cao Lãnh, tỉnh Đồng Tháp
98. Nguyễn Công Thành, Nguyễn Tiền Giang: Xây dựng mô hình máy học LSTM (Long Short-Term Memory) phục vụ công tác dự báo mặn tại trạm đo mặn Đại Ngãi

# LỜI MỞ ĐẦU

Cách đây 5 năm, vào ngày 02/11/2017 tại trụ sở chính của Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHQGHN) - 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội - đã diễn ra Lễ ký kết Biên bản ghi nhớ hợp tác giữa Trường ĐHKHTN với Trung tâm Khí tượng Thủy văn quốc gia (nay là Tổng cục Khí tượng Thủy văn). Tạp chí Khí tượng Thủy văn (KTTV) hân hạnh được ra mắt bạn đọc số Chuyên đề tháng 8 năm 2022, là kết quả bước đầu từ Biên bản ghi nhớ hợp tác này.



*Ảnh Lãnh đạo và các cán bộ của hai đơn vị chụp tại Phòng Truyền thống Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN nhân dịp lễ ký kết Biên bản ghi nhớ hợp tác ngày 02/11/2017*

Lời cảm ơn đầu tiên xin được gửi tới tập thể phản biện và Hội đồng ban biên tập Tạp chí KTTV đã dành thời gian quý giá của mình để đánh giá chất lượng các bài báo, thông qua một quy trình bình, kiểm duyệt chặt chẽ. Chính bài báo trong số Chuyên đề này bao gồm nhiều chủ đề liên quan đến công tác khí tượng thủy văn, quy hoạch và quản lý tài nguyên nước, áp dụng các phương pháp và công nghệ tiên tiến được nghiên cứu áp dụng trong thời điểm hiện nay.

Các bài báo là kết quả nghiên cứu của các học viên cao học các khóa 2019-2020 dưới sự hướng dẫn của tập thể giảng viên Bộ môn Thủy văn & Tài nguyên nước, Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường ĐHKHTN, các thầy cô hướng dẫn, đồng hướng dẫn là các chuyên gia tới từ các Viện nghiên cứu, Tổng cục KTTV. Đa số các học viên khoá 2020 đến từ Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ nên số lượng các nghiên cứu điển hình được thực hiện ở khu vực Đồng Bằng sông Cửu Long chiếm ưu thế (5 trên 9 bài liên quan đến các tỉnh khu vực đồng bằng Sông Cửu Long: các tỉnh Sóc Trăng, Tiền Giang, Bến Tre và Đồng Tháp).

Số Chuyên đề đặc biệt này một lần nữa khẳng định sự hợp tác lâu dài giữa Tổng cục KTTV và Trường Đại học Khoa học Tự nhiên sẽ thành công hơn nữa trong thời gian sắp tới.

Trân trọng cảm ơn sự nỗ lực của các tác giả cũng như sự quan tâm của tập thể lãnh đạo hai đơn vị đã tạo điều kiện để số Chuyên đề đặc biệt này được xuất bản kịp thời, chất lượng và hiệu quả.

**BAN BIÊN TẬP VÀ TẬP THỂ TÁC GIẢ**

Bài báo khoa học

## Xây dựng bản đồ bốc thoát hơi nước độ phân giải cao cho tỉnh Sóc Trăng từ ảnh viễn thám Sentinel

Trương Văn Kịch<sup>1</sup>, Trần Mạnh Cường<sup>2\*</sup>, Trần Thùy Nhung<sup>2</sup>, Trần Anh Phương<sup>2</sup>, Dương Hồng Sơn<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Phân viện Khoa học Khí tượng, Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Viện Khoa học Khí tượng, Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Bộ Tài nguyên và Môi trường; kichsihymete@gmail.com

<sup>2</sup> Viện Khoa học tài nguyên nước, Bộ Tài nguyên và Môi trường; manhuongkt11@gmail.com; tranthuyhung1990@gmail.com; phuongtran.monre@gmail.com; dhson.monre@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: manhuongkt11@gmail.com; Tel.: +84-987986233

Ban Biên tập nhận bài: 5/7/2022; Ngày phản biện xong: 3/8/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Nghiên cứu này xây dựng bản đồ bốc thoát hơi nước từ các loại thảm phủ trên địa bàn tỉnh Sóc Trăng bằng công nghệ viễn thám. Có bảy nhóm đối tượng thảm phủ khác nhau được phân loại dựa trên dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel 2 và công nghệ Google Earth Engine. Từ bản đồ lớp phủ này, lượng bốc thoát hơi nước toàn tỉnh được tính toán theo từng tháng cho mỗi nhóm đối tượng (lúa Đông Xuân, lúa Hè Thu, lúa Thu Đông, hoa màu, cây lâu năm-ăn quả, nuôi trồng thủy sản, mặt nước). Bản đồ cho thấy lượng bốc thoát hơi nước của vùng trồng lúa vụ Đông Xuân và Hè Thu cao hơn các vùng khác trong tỉnh, đặc biệt là trong thời kỳ cây lúa sinh trưởng. Vùng nuôi trồng thủy sản, vùng mặt nước (sông, kênh) có lượng nước bốc hơi khá cao. Tình trạng bốc thoát hơi nước này là cơ sở để điều chỉnh phân bổ nước tưới cho cây trồng, từ đó, người dân cũng như đơn vị quản lý có thể xây dựng kế hoạch trữ nước, chuyển đổi mục đích sử dụng đất khi có dự báo dài hạn về hạn hán, xâm nhập mặn xảy ra trong khu vực.

**Từ khóa:** Bốc thoát hơi nước; Công nghệ viễn thám; Bản đồ lớp phủ; Sóc Trăng.

### 1. Mở đầu

Nước là dạng tài nguyên đóng vai trò quan trọng, không chỉ đối với con người mà nó cũng là yếu tố thiết yếu với các sinh vật khác, trong đó có các loài thực vật. Trong quá trình con người khai thác và sử dụng, tài nguyên nước đang bị ảnh hưởng đáng kể bởi các hoạt động phát triển kinh tế, xã hội; không chỉ chất lượng suy giảm mà số lượng cũng hạn chế. Tại nhiều khu vực trên thế giới, nước ngọt dần khan hiếm, một số hồ nước đã biến mất, mực nước trong các túi nước ngầm hạ thấp khiến cho lượng nước cung cấp cho các nhu cầu sinh hoạt, sản xuất bị ảnh hưởng nghiêm trọng. Diện tích đất được che phủ bởi các loài thực vật đang co hẹp lại khi mà nhiều cây trồng thiếu nước cùng với nhiệt độ tăng cao làm mức độ bốc thoát hơi nước càng lớn.

Sóc Trăng là tỉnh ven biển, tiếp giáp với phần cuối sông Hậu trước khi con sông này đổ ra biển, đây là vùng đất màu mỡ phì nhiêu sản xuất ra nhiều loại lúa gạo đặc sản nổi tiếng trong và ngoài nước. Tuy nhiên, trong nhiều năm qua, Sóc Trăng đang chịu ảnh hưởng không nhỏ từ hiện tượng xâm nhập mặn, thiếu nước ngọt trên các sông, kênh. Lượng nước ngọt trên sông Hậu đoạn qua Sóc Trăng hạ thấp khiến cho nước mặn xâm nhập sâu vào đất liền, lượng nước ngọt suy giảm, các loại cây trồng bị thiếu nước, nhiễm mặn dẫn đến giảm năng suất.



Việc xác định chi tiết lượng bốc thoát hơi nước cũng như nhu cầu nước cho từng khu vực nhỏ theo thời gian còn nhiều hạn chế.

Bốc thoát hơi nước đóng một vai trò rất quan trọng trong hệ sinh thái, kết nối các chu trình nước, carbon và năng lượng toàn cầu [1–2]. Đối với nhiều khu vực, lượng bốc thoát hơi nước được xem là yếu tố quan trọng trong quản lý nước cho các khu vực dân cư, trồng trọt. Thông tin chính xác về sự biến đổi theo không gian và thời gian của lượng bốc thoát hơi nước đóng một vai trò quan trọng trong quy hoạch, phát triển và quản lý tổng hợp tài nguyên nước, đặc biệt là trong các khu vực nông nghiệp [3]. Tỷ lệ thoát hơi nước của cây trồng rất quan trọng trong các lĩnh vực khác nhau của ngành nông nghiệp như để xác định tình trạng cây trồng bị căng thẳng, thiếu nước, để ước tính chính xác nhu cầu tiềm năng của cây trồng để có năng suất tốt nhất [4]. Nghiên cứu ước tính mức độ bốc thoát hơi nước ở các vùng khô hạn có ý nghĩa thực tiễn rất lớn. Thông qua số liệu này có thể phân tích tình trạng thừa, thiếu và hiệu quả sử dụng nước; điều này cho phép đưa ra các kế hoạch trữ nước, hướng dẫn trồng trọt các vụ mùa [5]. Để có thể lập kế hoạch tích trữ nước cho khu vực theo từng thời đoạn trong năm, việc xác định lượng bốc thoát hơi nước theo tháng giúp phân bổ lượng nước một cách chi tiết cho từng vùng là cần thiết. Vì vậy, việc tính toán lượng bốc thoát hơi nước là nội dung được chú trọng để tạo cơ sở đề xuất chiến lược quản lý tài nguyên nước, quản lý mùa vụ.

Tại Việt Nam, lượng bốc thoát hơi nước cho đến nay thường được tính toán dựa trên kết quả đo trực tiếp tại các trạm quan trắc khí tượng. Số lượng trạm đo lượng bốc thoát hơi nước ở Việt Nam còn hạn chế, vị trí trạm phân bố không đồng đều, công tác thu thập dữ liệu từ các trạm đo chưa được tự động hóa hoàn toàn. Bên cạnh đó, việc xác định lượng bốc thoát hơi nước chỉ được nội suy từ số liệu trạm đo, dẫn đến quá trình xây dựng bản đồ bốc thoát hơi nước cho từng đối tượng thảm phủ không đạt kết quả cao, cần thiết có phương pháp hiệu quả hơn. Cho đến nay, công nghệ viễn thám đã tham gia vào rất nhiều lĩnh vực khoa học cũng như đời sống xã hội. Cách tiếp cận là ước tính lượng bốc thoát hơi nước trên quy mô địa phương, khu vực và toàn cầu bằng cách kết hợp các thông số bề mặt thu được từ dữ liệu viễn thám với các biến khí tượng bề mặt và đặc điểm thảm thực vật [6]. Các kỹ thuật sử dụng thông tin viễn thám là rất cần thiết khi xử lý các quá trình không thể chỉ biểu diễn bằng thông số tại các điểm đo [7]. Việc thành lập bản đồ bốc thoát hơi nước hoàn toàn có thể được tiến hành dựa vào ảnh vệ tinh bao phủ toàn bộ tỉnh Sóc Trăng. Nghiên cứu này sử dụng công nghệ viễn thám xác định đối tượng thảm phủ, kết hợp với tính toán bốc thoát hơi nước tiềm năng mặt đất nhằm xác định lượng bốc thoát hơi nước cho tỉnh Sóc Trăng với độ chi tiết cao.

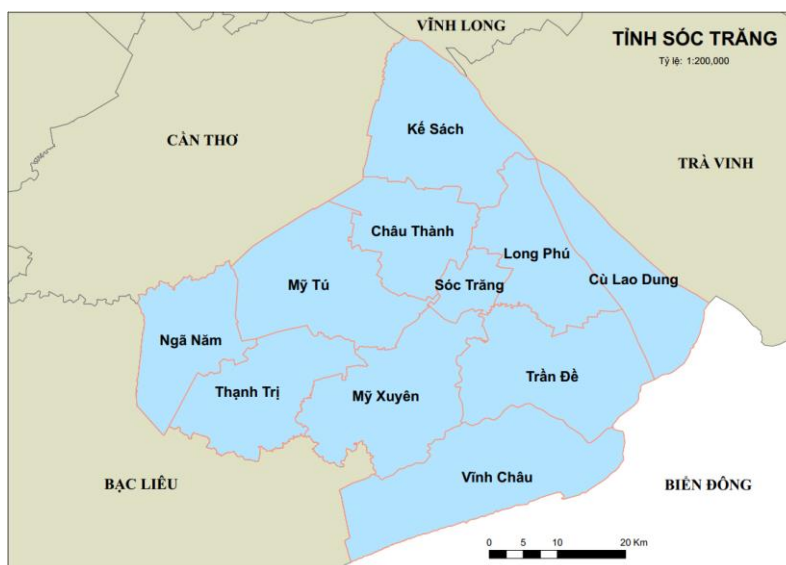
## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Sóc Trăng là tỉnh ven biển, tiếp giáp với phần cuối sông Hậu trước khi con sông này đổ ra biển. Đường bờ biển dài 72 km với 3 cửa sông lớn là Định An, Trần Đề, Mỹ Thanh đổ ra biển Đông. Với địa hình đồng bằng và tương đối bằng phẳng, có dạng lòng chảo đổ từ phía biển vào trong, thấp dần ở phía Tây Bắc và phía Bắc, Sóc Trăng chịu tác động rõ rệt của thủy triều qua hệ thống các con sông và kênh rạch. Đặc biệt vào mùa khô, khi mực nước sông Mê Công xuống thấp, nguy cơ xâm nhập mặn vào hệ thống đồng ruộng là rất lớn [8].

Sóc Trăng nằm trong đới khí hậu nhiệt đới gió mùa, chịu tác động của khí hậu ven biển. Mùa mưa kéo dài từ tháng 5 đến tháng 10, mùa khô kéo dài từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau. Nhiệt độ trung bình hàng năm ở mức cao 26,8°C, lượng mưa trung bình năm 1864 mm, độ ẩm trung bình 83%. Với đặc điểm khí hậu nóng ẩm, mưa nhiều, Sóc Trăng có nhiều lợi thế phát triển trồng lúa và các cây lương thực [8].

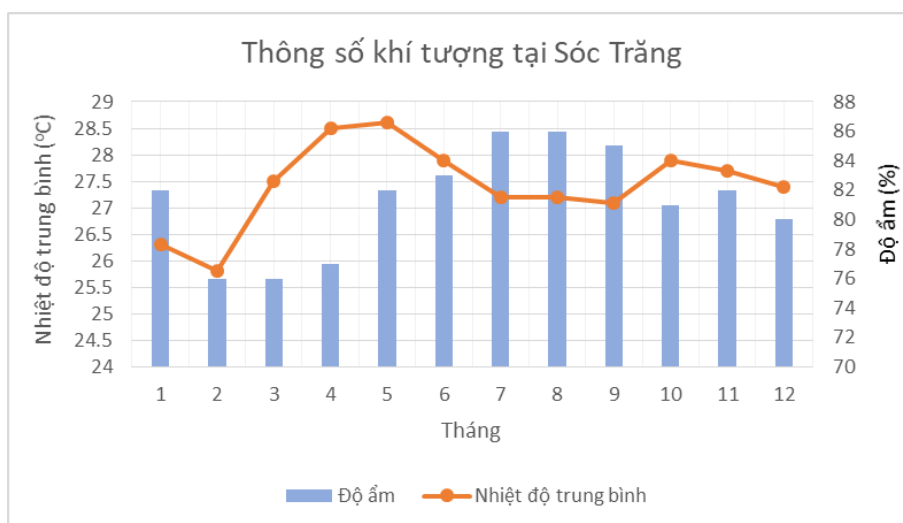
Diện tích trồng cây nông nghiệp chiếm khoảng 31% tổng diện tích tỉnh, lúa là cây trồng chủ đạo của tỉnh. Các loại hình cây ăn trái và hoa màu chiếm diện tích nhỏ, tập trung ở khu vực huyện Cù Lao Dung và huyện Kế Sách [8]. Với mũi nhọn phát triển ngành nông nghiệp, đặc biệt là cây lúa, việc phân bổ nước tưới và ngăn chặn xâm nhập mặn là hết sức cần thiết.



**Hình 1.** Vị trí tỉnh Sóc Trăng.

## 2.2. Dữ liệu nghiên cứu

Để xác định lượng bốc thoát hơi nước cho từng vùng khác nhau trên toàn tỉnh Sóc Trăng theo từng tháng trong năm 2018, nghiên cứu sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh, dữ liệu khí tượng để xác định bốc hơi nước mặt thoáng, bốc thoát nước cây trồng tham khảo ( $ET_o$ ) và hệ số cây trồng  $K_c$ .



**Hình 2.** Nhiệt độ và độ ẩm theo tháng tại khu vực nghiên cứu.

Dữ liệu ảnh vệ tinh sử dụng trong nghiên cứu là các cảnh ảnh vệ tinh Sentinel 2 của cơ quan vũ trụ châu Âu (ESA). Phạm vi của các dải quang phổ giúp dữ liệu Sentinel 2 phù hợp với nhiều ứng dụng bao gồm nông nghiệp, lâm nghiệp, sử dụng đất/ phân tích độ che phủ; lập bản đồ rủi ro và thiên tai; các ứng dụng ven biển; truy xuất các biến số quan trọng của thảm thực vật như chỉ số diện tích lá, chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa, bức xạ hoạt động quang hợp, hàm lượng diệp lục của lá và hàm lượng nước trong lá [9].

Các cảnh ảnh vệ tinh Sentinel được thu thập từ nguồn Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, level-2A. Nhóm nghiên cứu đã lựa chọn các cảnh ảnh trong các khoảng thời gian 1/1/2018–1/2/2018, 1/5/2018–1/6/2018 và 1/9/2018–1/10/2018 tương ứng là thời điểm tiến hành vụ Đông Xuân (tháng 11 – tháng 3), Hè Thu (tháng 4 – tháng 7) và Thu Đông (tháng 8 – tháng 10).

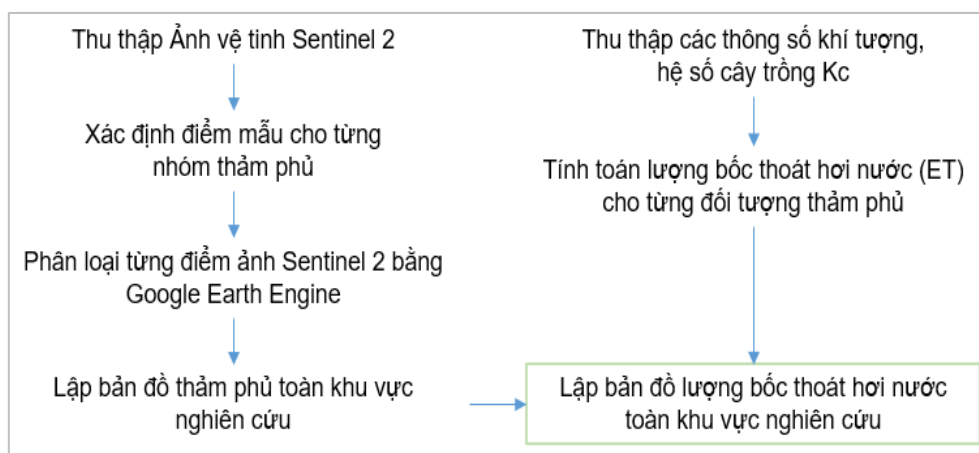


Dữ liệu thống kê khí tượng tại tỉnh Sóc Trăng theo niên giám thống kê (2018) nhằm xác định lượng bốc hơi mặt thoáng nước và bốc thoát hơi nước tiềm năng  $ET_0$ .

Dữ liệu hệ số cây trồng  $K_c$  cho cây lúa theo từng tháng cho 3 vụ lúa (Đông Xuân, Hè Thu, Thu Đông), hoa màu và cây ăn trái được xác định bằng phương pháp kế thừa từ số liệu FAO. Hệ số  $K_c$  được thu thập cho cây lúa trong 3 vụ: Đông Xuân ( $K_c$  từ 0,03–0,08), Hè Thu ( $K_c$  từ 0,91–1,21) và Thu Đông ( $K_c$  từ 0,9–1,1). Với diện tích trồng cây hoa màu nhỏ, nghiên cứu chọn đại diện  $K_c$  của cây khoai lang với giá trị là 0,65. Tương tự, chọn cây dừa là cây ăn quả đại diện với giá trị  $K_c$  là 0,75 [10–11].

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

Quy trình xây dựng bản đồ bốc thoát hơi nước gồm hai bước chính: (1) lập bản đồ thảm phủ khu vực nghiên cứu (bao gồm bảy loại thảm phủ) dựa trên ảnh vệ tinh Sentinel 2, (2) tính toán lượng bốc hơi nước cho từng đối tượng thảm phủ từ các thông số khí tượng địa phương.



Hình 3. Sơ đồ nghiên cứu.

#### 2.3.1. Phân loại thảm phủ

Để tính toán lượng bốc thoát hơi nước đối với tỉnh Sóc Trăng, nhóm nghiên cứu đã tiến hành phân loại thảm phủ cho toàn bộ khu vực nghiên cứu, nhằm xác định các đối tượng thảm phủ gồm: lúa, cây lâu năm–ăn quả, hoa màu, đô thị, nuôi trồng thủy sản, mặt nước, đất trống.

Hình ảnh Sentinel 2 đã được xử lý sau khi thu nhận và đưa vào bộ dữ liệu có sẵn trên đám mây dữ liệu của Google. Dữ liệu ảnh được truy cập và thực hiện tính toán, xử lý thông qua công nghệ Google Earth Engine (GEE). Trong GEE, hàm phân loại “ee.Clusterer.wekaKMeans().train()” được sử dụng để đánh giá việc thay đổi lớp phủ đất trong khu vực nghiên cứu. Phương pháp phân loại này tìm thấy các điểm ảnh tương đồng về dữ liệu qua nhiều phép đo khác nhau và nhóm dữ liệu lại với nhau thành các lớp có các phép đo tương tự [12].

GEE phân tích và nhóm các điểm ảnh dựa trên sự giống nhau về phổ của chúng thành các lớp tương ứng với kết quả là một bản đồ phân loại. Thuật toán phân loại được lặp đi lặp lại, với các nhóm ban đầu được chọn ngẫu nhiên và sau đó được sửa đổi dần dần cho đến khi xảy ra ít thay đổi trong liên kết nhóm [13]. Một lợi thế của việc sử dụng phương pháp phân loại này là có thể tìm thấy các mẫu phân loại mà người dùng có thể không nhận thấy [14].

Quy trình của việc phân loại các điểm ảnh gồm các bước:

- Tập hợp các tính năng với thuộc tính số để xác định các nhóm thảm phủ.
- Khởi tạo trình phân nhóm, đặt các thông số phân loại.
- Đào tạo các điểm ảnh bằng cách sử dụng dữ liệu đào tạo.
- Áp dụng các điểm ảnh đào tạo cho toàn bộ khu vực nghiên cứu.
- Phân nhóm từng loại thảm phủ.

### 2.3.2. Tính toán lượng bốc hơi nước

Lượng bốc hơi mặt thoáng nước được tính toán bằng công thức thực nghiệm Poliacov:

$$E = 18,6 (1 + 0,2.w) d^{2/3} \quad (1)$$

Trong đó E là lượng bốc hơi tháng (mm/tháng); d là độ thiếu hụt lượng ẩm bão hòa bình quân tháng ( $d = H-r$ ) (%); w là tốc độ gió trung bình tháng ở độ cao 8–10 m (m/s) [15].

Lượng bốc thoát hơi nước cây trồng ( $ET_c$ ) được xác định dựa trên lượng bốc thoát hơi nước cây trồng tham khảo ( $ET_o$ ), và hệ số cây trồng ( $K_c$ ). Trong nghiên cứu này,  $ET_o$  được tính cho từng tháng, với đầu vào gồm các yếu tố nhiệt độ không khí cực đại, nhiệt độ không khí cực tiểu, tốc độ gió ở độ cao 2 m, độ ẩm không khí, số giờ nắng trung bình ngày. Nghiên cứu sử dụng phương pháp FAO Penman – Monteith để tính toán bốc thoát hơi nước cây trồng tham khảo với phương trình:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

Trong đó  $ET_o$  là lượng bốc thoát hơi nước cây trồng tham khảo (mm/ngày);  $R_n$  là bức xạ thực trên bề mặt cây trồng ( $MJ/m^2/ngày$ ); G là mật độ thông lượng nhiệt của đất ( $MJ/m^2/ngày$ ); T là nhiệt độ không khí trung bình ngày ở độ cao 2 m ( $^{\circ}C$ );  $u_2$  là tốc độ gió ở độ cao 2 m (m/s);  $e_s$  là áp suất hơi nước bão hòa (kPa);  $e_a$  là áp suất hơi nước thực tế (kPa);  $\Delta$  là độ dốc của đường cong áp suất hơi nước ( $kPa/^{\circ}C$ );  $\gamma$  là hằng số ẩm ( $kPa/^{\circ}C$ ) [10–11].

Lượng bốc thoát hơi nước cây trồng ( $ET_c$ ) được xác định bởi công thức:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (3)$$

Trong đó  $K_c$  là hệ số cây trồng, có giá trị phụ thuộc vào từng loại cây trồng và có trị số thay đổi theo thời kỳ sinh trưởng [10–11].

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Bản đồ thảm phủ tỉnh Sóc Trăng

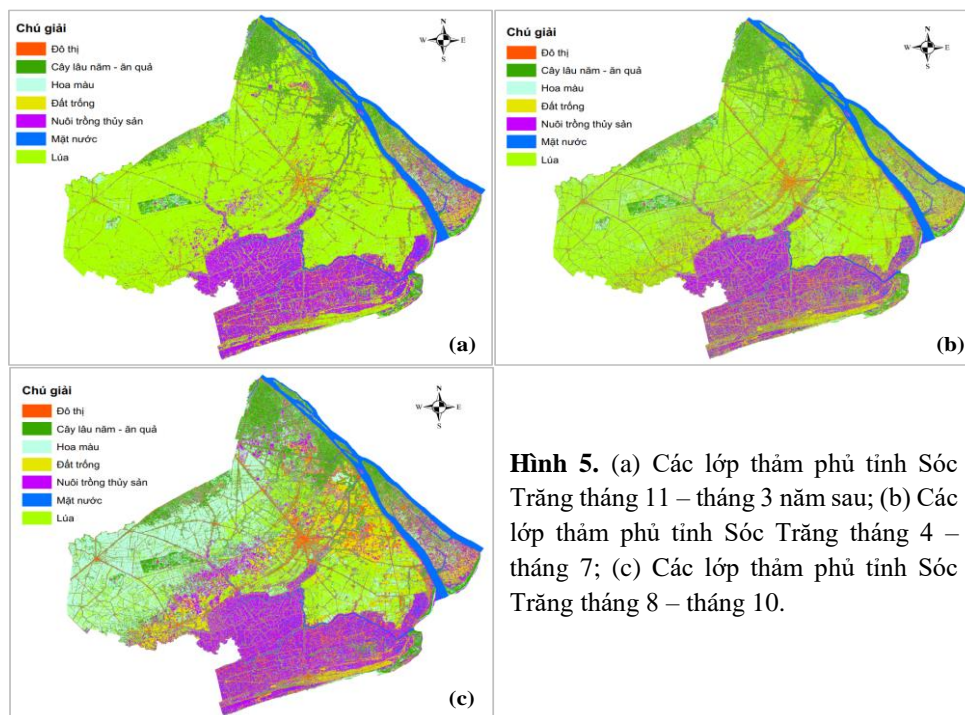
Để đảm bảo đồng nhất về dữ liệu trong quá trình phân loại thảm phủ tỉnh Sóc Trăng năm 2018, các cảnh ảnh vệ tinh được thu thập với phạm vi bao phủ toàn bộ tỉnh và thời điểm thu nhận các cảnh ảnh này gần nhau nhằm đảm bảo không có sai khác nhiều giữa chúng. Các cảnh ảnh có độ che phủ mây dưới 10% được lựa chọn kết hợp trở thành một cảnh ảnh duy nhất để thực hiện nghiên cứu phân loại.



Hình 4. Kết hợp các cảnh ảnh vệ tinh bao phủ tỉnh Sóc Trăng.

Sau quá trình phân loại, 7 nhóm loại hình thảm phủ gồm: lúa, cây lâu năm–ăn quả, hoa màu, đô thị, nuôi trồng thủy sản, mặt nước, đất trống được xác định. Các loại thảm phủ theo từng giai đoạn trong năm 2018 được thể hiện trong các hình 5a–5c.





**Hình 5.** (a) Các lớp thảm phủ tỉnh Sóc Trăng tháng 11 – tháng 3 năm sau; (b) Các lớp thảm phủ tỉnh Sóc Trăng tháng 4 – tháng 7; (c) Các lớp thảm phủ tỉnh Sóc Trăng tháng 8 – tháng 10.

Lúa vụ Đông Xuân và Hè Thu chiếm diện tích rất lớn so với các loại thảm phủ khác trong cùng giai đoạn và lớn hơn so với diện tích lúa vụ Thu Đông. Diện tích lúa Thu Đông trên địa bàn tỉnh giảm nhiều so với hai vụ còn lại, một số vùng không trồng lúa trở thành đất trống. Các hình 5a–5c đều cho thấy diện tích nuôi trồng thủy sản ở tỉnh Sóc Trăng là rất lớn, do đó đây sẽ là khu vực có tổng lượng bốc hơi nước cao. Sông, kênh trên địa bàn tỉnh Sóc Trăng chiếm diện tích không nhỏ, vì vậy đây cũng là đối tượng đóng góp nhiều vào lượng bốc hơi nước hàng tháng.

### 3.2. Lượng bốc thoát hơi nước trên địa bàn tỉnh Sóc Trăng

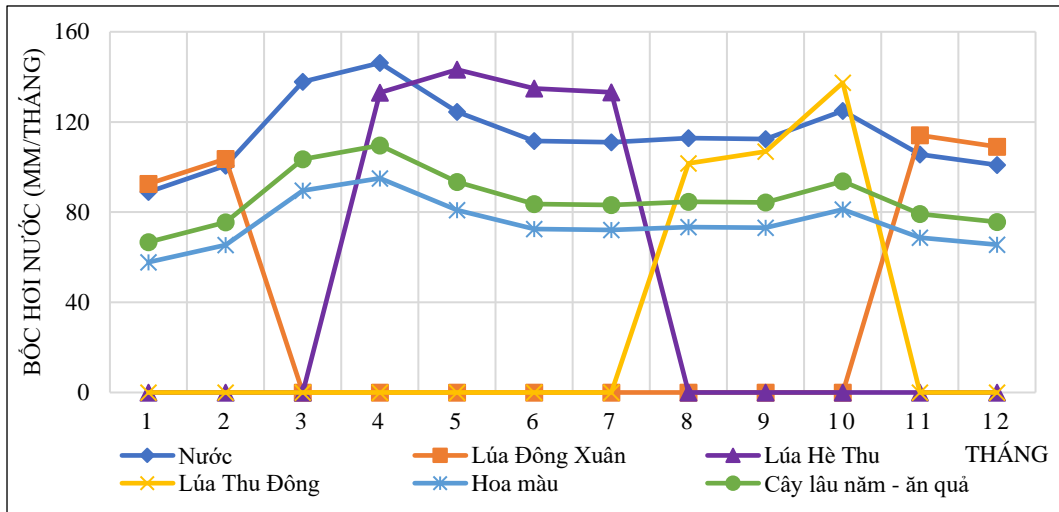
Hình 7 thể hiện kết quả tính toán lượng bốc thoát hơi nước cho các khu vực khác nhau, gồm: vùng mặt nước (nuôi trồng thủy sản, mặt nước), lúa Đông Xuân, lúa Hè Thu, lúa Thu Đông, cây lâu năm–ăn quả, hoa màu. Lượng bốc thoát hơi nước biến động trong khoảng từ 2,8 mm/ngày cho đến 4,8mm/ngày. Thời điểm lượng bốc thoát hơi nước ở mức cao (trên 4 mm/ngày) diễn ra vào thời điểm nhiệt độ trên địa bàn tỉnh Sóc Trăng đạt mức cao, trong khi đó độ ẩm ở mức rất thấp (tháng 3, tháng 4, tháng 5).

**Bảng 1.** Kết quả tính toán lượng bốc thoát hơi nước theo tháng trên địa bàn tỉnh Sóc Trăng.

Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ET nước	88.93	100.67	137.90	146.21	124.55	111.51	110.99	112.89	112.49	124.91	105.65	100.93
ET lúa Đông Xuân	92.49	103.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	114.10	109.01
ET lúa Hè Thu	0.00	0.00	0.00	133.05	143.24	134.93	133.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ET lúa Thu Đông	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	101.60	106.87	137.41	0.00	0.00
ET hoa màu	57.81	65.43	89.64	95.03	80.96	72.48	72.14	73.38	73.12	81.19	68.67	65.61
ET cây lâu năm – ăn quả	66.70	75.50	103.43	109.65	93.41	83.63	83.24	84.67	84.37	93.69	79.24	75.70

Lượng bốc thoát hơi nước cây trồng ( $ET_c$ ) được xác định dựa trên giá trị  $ET_o$ , theo đó, mối tương quan theo thời gian được thể hiện khá tương đồng. Với các nhóm cây trồng hoa màu và cây lâu năm–ăn quả,  $ET_c$  có giá trị lớn hơn vào các tháng 3, 4, 5.  $ET_c$  của nhóm lúa Hè Thu là cao nhất trong số các nhóm cây trồng, đạt trên 4 mm/ngày trong cả vụ.  $ET_c$  vụ Thu

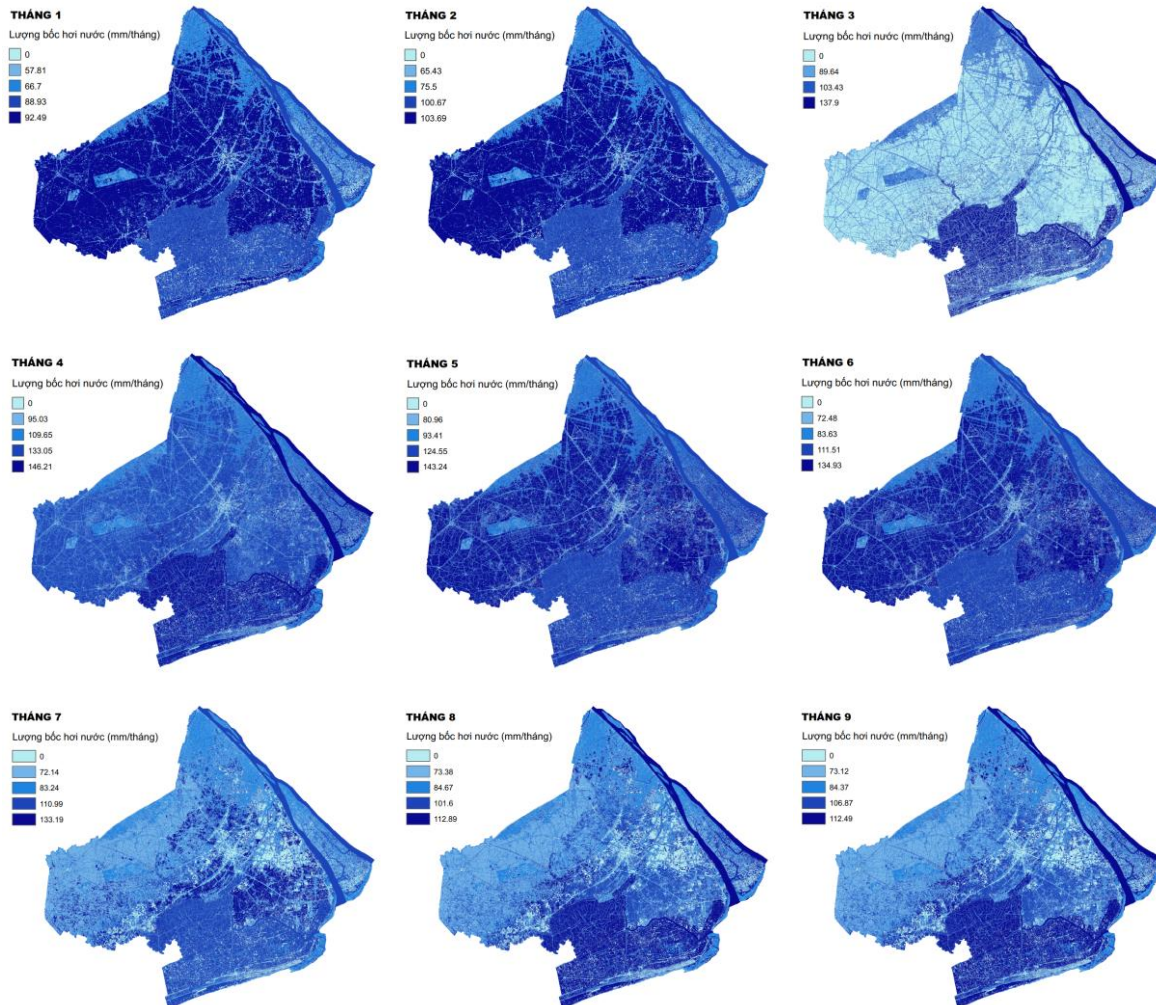
Đông đạt giá trị cao nhất vào tháng 10 đạt 4,5 mm/ngày. Vụ Đông Xuân có giá trị  $ET_c$  ở mức thấp hơn các vụ khác (ở mức dưới 4 mm/ngày).



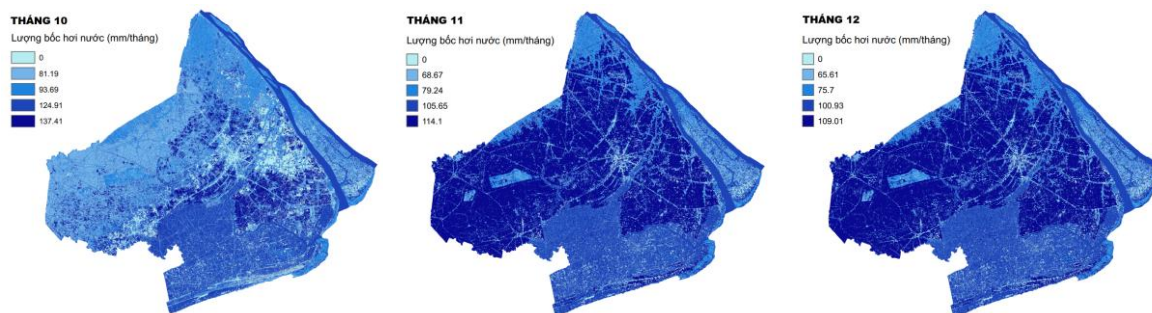
**Hình 7.** Biểu đồ lượng bốc thoát hơi nước đối với cây trồng theo tháng ở tỉnh Sóc Trăng.

### 3.3. Bản đồ bốc thoát hơi nước trên địa bàn tỉnh Sóc Trăng

Lượng bốc thoát hơi nước được gán vào các điểm ảnh tương ứng với từng đối tượng là lúa, cây lâu năm-ăn quả, hoa màu, đô thị, nuôi trồng thủy sản, mặt nước và đất trống trên bản đồ thảm phủ để thành lập bản đồ lượng bốc thoát hơi nước cho toàn tỉnh Sóc Trăng.







**Hình 8.** Bản đồ lượng bốc thoát hơi nước theo tháng ở tỉnh Sóc Trăng năm 2018.

Biểu đồ lượng bốc thoát hơi nước năm 2018 cho thấy vào các tháng 11, 12, 1, 2, 5, 6, lượng nước bốc hơi chủ yếu từ vùng trồng lúa (phía Bắc, Tây, Đông tỉnh Sóc Trăng, ngoại trừ vùng Cù Lao Dung), đây cũng là các tháng chính của vụ lúa Đông Xuân và Hè Thu (Hình 8). Trong các tháng 3, 4, 8, 9, lượng bốc hơi nước từ mặt nước (gồm vùng nuôi trồng thủy sản và sông, kênh) cao hơn khu vực trồng lúa cũng như các vùng còn lại. Từ tháng 7 đến tháng 10, xuất hiện nhiều vùng có lượng bốc thoát hơi nước rất nhỏ và gần bằng 0 trên bản đồ, đó là những vùng đất trống do không trồng lúa vụ Thu Đông.

#### 4. Kết luận

Lượng bốc thoát hơi nước trong nghiên cứu được tính toán dựa vào bản đồ thảm phủ trên toàn bộ tỉnh Sóc Trăng vào năm 2018. Các đối tượng thảm phủ xác định từ dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel 2 với độ phân giải 10 m, kích thước điểm ảnh nhỏ giúp bản đồ có độ chi tiết cao. Với công nghệ viễn thám và công cụ Google Earth Engine, bản đồ thảm phủ được thành lập nhanh chóng và đạt độ chính xác cao do sử dụng thuật toán lặp lại nhiều lần bước phân loại. Nghiên cứu xác định được phạm vi của các nhóm thực vật gồm: lúa, cây lâu năm—ăn quả, hoa màu cùng với các đối tượng đô thị, nuôi trồng thủy sản, mặt nước, đất trống cho từng giai đoạn trong năm 2018. Lượng bốc thoát hơi nước được tính toán theo từng đối tượng thảm phủ để thành lập nên bản đồ lượng bốc thoát hơi nước trên toàn tỉnh Sóc Trăng và theo từng tháng trong năm. Bản đồ cho thấy lượng bốc thoát hơi của cây lúa trong vụ Đông Xuân và Hè Thu lớn hơn các vùng khác, thời điểm bắt đầu hoặc kết thúc mùa vụ lượng nước bốc thoát hơi từ vùng trồng lúa giảm, thời điểm này lượng nước bốc hơi tập trung ở vùng nuôi trồng thủy sản, sông, kênh. Vụ lúa Thu Đông trên địa bàn Sóc Trăng không phải là vụ chính do đó tổng lượng nước bốc thoát hơi khu vực này không nhiều. Các thông tin từ bản đồ bốc thoát hơi nước là cơ sở để đưa ra các kế hoạch trữ nước cũng như thời vụ sản xuất cho từng nhóm cây trồng trong điều kiện thời tiết đang bị ảnh hưởng bởi biến đổi khí hậu. Từ tháng 11 đến tháng 2 năm sau và các tháng 4, 5, 6 cần tập trung nước khu vực phía Bắc, Tây, Nam của Sóc Trăng, ngoại trừ huyện Cù Lao Dung; trong điều kiện khí hậu khắc nghiệt do hạn hán, xâm nhập mặn, cần có kế hoạch trữ nước trước các tháng đó. Phương pháp nghiên cứu này có thể áp dụng cho nhiều năm khác bởi số liệu ảnh vệ tinh được thu thập trong một thời gian khá dài và có thể tiếp cận từ nhiều nguồn viễn thám khác nhau.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.A.P., T.V.K., T.M.C., T.T.N., D.H.S.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.V.K., T.M.C., T.T.N.; Xử lý số liệu: T.M.C., T.T.N.; Viết bản thảo bài báo: T.V.K., T.M.C., T.T.N.; Chỉnh sửa bài báo: T.V.K., T.A.P., T.M.C., T.T.N.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự hỗ trợ của đề tài “Nghiên cứu, đánh giá tác động tổ hợp của các hoạt động kinh tế – xã hội và hệ thống hồ chứa trên dòng chính sông Mê Công đến vùng bờ biển đồng bằng sông Cửu Long” mã số: ĐTĐL.CN–56/21.

**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. Chen, Y.; Xia, J.; Liang, S.; Feng, J.; Fisher, J.B.; Li, X.; ... Yuan, W. Comparison of satellite-based evapotranspiration models over terrestrial ecosystems in China. *Remote Sens. Environ.* **2014**, *140*, 279–293.
2. Jung, M.; Reichstein, M.; Ciais, P.; Seneviratne, S.I.; Sheffield, J.; Goulden, M.L.; ... Zhang, K. Recent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply. *Nature* **2010**, *467*(7318), 951–954.
3. Tan, L.; Zheng, K.; Zhao, Q.; Wu, Y. Evapotranspiration Estimation Using Remote Sensing Technology Based on a SEBAL Model in the Upper Reaches of the Huaihe River Basin. *Atmosphere* **2021**, *12*(12), 1599.
4. Hadjimitsis, D.G.; Papadavid, G. Remote sensing for determining evapotranspiration and irrigation demand for annual crops. *Remote Sens. Environ: Integr. Approaches* **2013**, 25.
5. Li, C.; Li, Z.; Gao, Z.; Sun, B. Estimation of evapotranspiration in sparse vegetation areas by applying an optimized two-source model. *Remote Sens.* **2021**, *13*(7), 1344.
6. Li, Z.L.; Tang, R.; Wan, Z.; Bi, Y.; Zhou, C.; Tang, B.; ... Zhang, X. A review of current methodologies for regional evapotranspiration estimation from remotely sensed data. *Sensors* **2009**, *9*(05), 3801–3853.
7. Saadi, S.; Boulet, G.; Bahir, M.; Brut, A.; Delogu, É.; Fanise, P.; Simonneaux, V.; Chabaane, Z.L. Assessment of actual evapotranspiration over a semiarid heterogeneous land surface by means of coupled low-resolution remote sensing data with an energy balance model: comparison to extra-large aperture scintillometer measurements. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2018**, *22*(4), 2187–2209.
8. Cổng thông tin điện tử tỉnh Sóc Trăng. <https://soctrang.gov.vn/>.
9. Inglada, J.; Arias, M.; Tardy, B.; Hagolle, O.; Valero, S.; Morin, D.; Dedieu, G.; Sepulcre, G.; Bontemps, S.; Defourny, P.; Koetz, B. Assessment of an operational system for crop type map production using high temporal and spatial resolution satellite optical imagery. *Remote Sens.* **2015**, *7*(9), 12356–12379.
10. JICA. Nghiên Cứu Phát Triển Và Quản Lý Tài Nguyên Nước Trên Toàn Quốc Tại nước Cộng hòa Xã hội chủ nghĩa Việt Nam, Báo cáo cuối cùng, 2013.
11. ICEM. Strategic Environmental Impact Assessment for Hydropower on the Mekong Mainstream. Final Report, prepared for the Mekong River Commission, Hanoi, 2010.  
Omran, M.G.H.; Engelbrecht, A.P.; Salman, A. Differential Evolution Methods for Unsupervised Image Classification. *IEEE Congr. Evol. Comput.* **2005**, *2*(2), 966–973. <https://doi.org/10.1109/CEC.2005.1554795>.
12. Unsupervised Classification. 2019.  
[http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP\\_216\\_Online/lesson6-1/unsupervised.html](http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson6-1/unsupervised.html).
13. Chang, Z.; Du, Z.; Zhang, F.; Huang, F.; Chen, J.; Li, W.; Guo, Z. Landslide susceptibility prediction based on remote sensing images and GIS: Comparisons of supervised and unsupervised machine learning models. *Remote Sens.* **2020**, *12*(3), 502.
14. Tuấn, L.A. Giáo trình Hệ thống tưới – tiêu. Viện Nghiên cứu Biến Đổi Khí Hậu – Đại học Cần Thơ, 2009.



## **Building a high-resolution evaporation map for Soc Trang province from Sentinel remote sensing images**

**Truong Van Kich<sup>1</sup>, Tran Manh Cuong<sup>2\*</sup>, Tran Thuy Nhung<sup>2</sup>, Tran Anh Phuong<sup>2</sup>, Duong Hong Son<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Sub-institute of Hydrometeorology and Climate Change, Institute of Hydrometeorology and Climate Change, Ministry of Natural Resources and Environment; kichsihymete@gmail.com

<sup>2</sup> Water Resources Institute, Ministry of Natural Resources and Environment; manhcuongkt11@gmail.com; tranthuynhung1990@gmail.com; phuongtran.monre@gmail.com; dhson.monre@gmail.com

**Abstract:** This study builds a map of evapotranspiration from land cover types in Soc Trang province using remote sensing technology. There are seven different groups of land cover classified based on Sentinel 2 satellite image data and Google Earth Engine technology. From this overlay map, evapotranspiration of the whole province is calculated on a monthly basis for each group (Winter-Spring rice, Summer-Autumn rice, Autumn-Winter rice, cash crops, perennial-fruit trees, aquaculture, water surface). The map shows that evapotranspiration in the winter-spring and summer-autumn rice areas is higher than other areas of the province, especially during the growing period of rice. Aquaculture, water surface areas (rivers, canals) has high amount of evaporation. This evapotranspiration is the basis for adjusting the amount of water for plants, people as well as management units can develop plans to store water and change land use purposes when there is a long-term forecast of drought and saltwater intrusion, that occurs in the area.

**Keywords:** Evapotranspiration; Remote sensing technology; Map of land cover; Soc Trang.

Bài báo khoa học

## Nghiên cứu đánh giá tác động của ngập lụt tỉnh Tiền Giang

Phạm Hồ Quốc Tuấn<sup>1\*</sup>, Nguyễn Bách Tùng<sup>2\*</sup>, Đoàn Quang Trí<sup>3</sup>, Trần Ngọc Anh<sup>2,4</sup>, Nguyễn Văn Nhật<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Đai Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ; phamhoquoctuan@yahoo.com

<sup>2</sup> Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; bachtung\_cefd@hus.edu.vn

<sup>3</sup> Tạp chí Khí tượng Thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; doanquangtrikttv@gmail.com

<sup>4</sup> Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; tranngocanh@hus.edu.vn

<sup>5</sup> Trung tâm Ứng dụng công nghệ khí tượng thủy văn; vannhat.tv@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: phamhoquoctuan@yahoo.com; Tel.: +84-913716491

bachtung\_cefd@hus.edu.vn; Tel: +84-979557265

Ban Biên tập nhận bài: 15/6/2022; Ngày phản biện xong: 16/8/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Nghiên cứu đã thiết lập bộ công cụ mô hình MIKE FLOOD kết nối MIKE 11 và MIKE 21 với bộ số liệu mặt cắt, công trình cập nhật và hiệu chỉnh, kiểm định cho mùa lũ các năm 2000, 2011 và 2018. Kết quả tính toán mô phỏng cho thấy kết quả tương quan tốt giữa số liệu tính toán và thực đo, từ đó bộ mô hình được sử dụng để mô phỏng và đánh giá ngập lụt trên địa bàn tỉnh Tiền Giang theo các kịch bản do ảnh hưởng của lũ thượng nguồn, của triều cường và tổ hợp lũ-triều cường. Bản đồ ngập lụt và đánh giá ngập lụt được tính toán chi tiết cho từng kịch bản và có thể đưa vào ứng dụng trong thực tiễn, cung cấp thông tin tin cậy cho cơ quan quản lý địa phương phục vụ xây dựng quy hoạch phát triển kinh tế xã hội cũng như xây dựng các phương án ứng phó và khắc phục nhằm giảm thiệt hại về người và tài sản nếu có các tình huống ngập lụt xảy ra.

**Từ khóa:** MIKE FLOOD; Ngập lụt; Tiền Giang.

### 1. Mở đầu

Tiền Giang là một trong những tỉnh thuộc khu vực đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), nằm trong vùng kinh tế trọng điểm phía Nam với nền kinh tế chủ đạo là sản xuất nông nghiệp, do vậy những biến động của thời tiết và thủy văn có ảnh hưởng lớn đến phát triển kinh tế-xã hội của tỉnh. Là một tỉnh giáp biển, chịu ảnh hưởng mạnh chế độ bán nhật triều biển Đông và nằm trong vùng ảnh hưởng lũ lụt của Đồng Tháp Mười tràn về nên hàng năm tỉnh Tiền Giang phải chịu ảnh hưởng của các loại hình thiên tai: lũ, bão, áp thấp nhiệt đới, lốc xoáy, xâm nhập mặn, triều cường, ngập lụt... với các diễn biến của thiên tai ngày càng phức tạp, dị thường và có xu hướng cực đoan hơn [1]. Gần đây nhất, năm 2011 xảy ra lũ lớn ở ĐBSCL với đỉnh lũ ở Tân Châu đạt mức 4,86 m, khu vực nội đồng Tây Bắc tỉnh Tiền Giang chịu ảnh hưởng của lũ từ thượng nguồn đổ về kết hợp với triều cường đã làm mực nước khu vực nội đồng của tỉnh đặc biệt là các huyện phía Tây dâng lên rất nhanh, kéo dài và ở mức cao: tại Hậu Mỹ Bắc mực nước đạt đỉnh 2,43 m, tại Mỹ Phước Tây đạt 2,11 m; đã gây thiệt hại lớn về người và cơ sở vật chất cho 04 huyện phía Tây [1]. Ngoài ra hàng năm có nhiều đợt triều

cường dâng nước làm ngập úng nhiều vùng, gây thiệt hại không nhỏ về hoa màu, cây ăn trái... cho các cộng đồng dân cư trong tỉnh. Để đáp ứng nhu cầu phát triển kinh tế-xã hội của tỉnh, đặc biệt là để ứng phó một cách chủ động và hiệu quả với thiên tai từ các hiện tượng thủy văn nguy hiểm như lũ, lụt, triều cường thì việc nghiên cứu đánh giá tác động của ngập lụt đối với các địa phương trong tỉnh có vai trò hết sức quan trọng. Mục đích nghiên cứu nhằm đánh giá ảnh hưởng của lũ sông Cửu Long, triều cường và tổ hợp lũ-triều cường gây ngập lụt đến địa bàn để hỗ trợ công tác phòng chống thiên tai phục vụ phát triển kinh tế-xã hội của tỉnh.

Trên thế giới và trong nước việc nghiên cứu, áp dụng các mô hình thủy văn, thủy lực cho việc mô phỏng, đánh giá ảnh hưởng của lũ, ngập lụt đã được sử dụng rất phổ biến, nhiều mô hình và bộ công cụ đã được xây dựng và áp dụng cho các hệ thống sông [2-11]. Trong những năm gần đây, một trong những mô hình được ứng dụng nhiều trong công tác mô phỏng lũ và ngập lụt ở Việt Nam là bộ mô hình MIKE [12-18] do tính thân thiện với người sử dụng, có độ tin cậy cao, tương thích với nhiều dạng số liệu đầu vào và đầu ra, dễ dàng tích hợp với các công cụ GIS. Vì vậy, trong nghiên cứu này lựa chọn ứng dụng mô hình MIKE với các mô đun MIKE11, MIKE21 và công cụ kết nối MIKE FLOOD để mô phỏng ngập lụt cho khu vực tỉnh Tiền Giang và sử dụng các kết quả đó để đánh giá tác động của ngập lụt.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

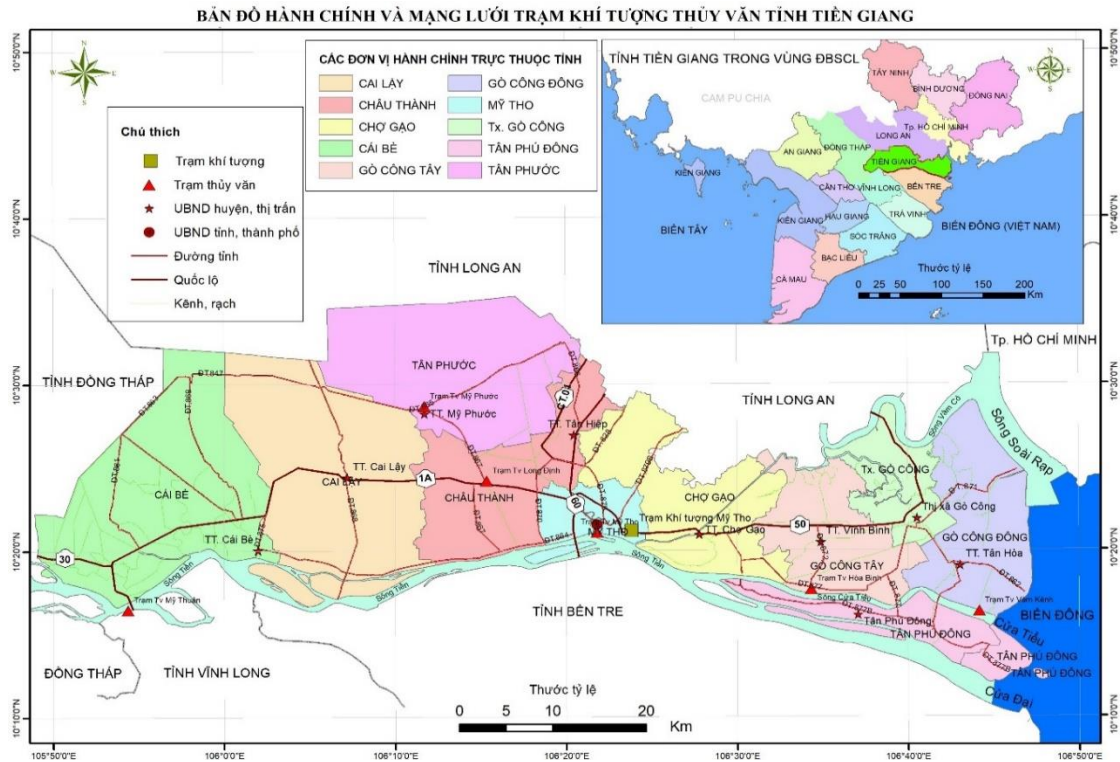
### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Tiền Giang là tỉnh nằm trải dài trên bờ Bắc sông Tiền với chiều dài trên 120 km (Hình 1), có địa hình bằng phẳng, với độ dốc nhỏ hơn 1% và cao trình biến thiên từ 0m đến 1,6m so với mặt nước biển, phổ biến từ 0,8m đến 1,1m. Tỉnh Tiền Giang tiếp giáp với các tỉnh Long An, tỉnh Đồng Tháp, Vĩnh Long, Bến Tre và phía Đông giáp biển Đông. Tiền Giang có diện tích tự nhiên là 2.556 km<sup>2</sup>, chiếm 0,76% diện tích cả nước và chiếm 6,2% diện tích Đồng bằng sông Cửu Long [19]. Tiền Giang thuộc khu vực nhiệt đới Bắc bán cầu, mang tính chất nhiệt đới, gió mùa cận xích đạo với lượng mưa năm trung bình nhiều năm vào khoảng 1.100 mm đến 1.400 mm và khá ổn định qua các năm. Trong năm, lượng mưa phân bố không đồng đều, hình thành hai mùa rõ rệt: mùa mưa từ tháng 05 đến tháng 11 và mùa khô từ tháng 12 đến tháng 04 năm sau và dòng chảy sông ngòi cũng có mùa lũ từ tháng 08 đến tháng 11 và mùa kiệt từ tháng 12 đến 07 tháng năm sau.

Tiền Giang có mạng lưới sông, rạch chằng chịt, bờ biển dài, các con sông chảy qua tỉnh Tiền Giang gồm có: Sông Tiền là nguồn cung cấp nước ngọt chính, chảy 115 km qua lãnh thổ Tiền Giang, sông Vàm Cỏ Tây nhận nước tiêu lũ từ Đồng Tháp Mười thoát ra và là 1 tuyến xâm nhập mặn chính. Ngoài ra, trên địa bàn tỉnh còn có một số sông, rạch nhỏ thuộc lưu vực sông Tiền và sông Vàm Cỏ Tây góp phần rất quan trọng trong việc lưu thông, vận chuyển hàng hoá và phục vụ sản xuất như : Cái Cối, Cái Bè, Ba Rài, Trà Tân, Phú Phong, Rạch Râm, Bảo Định, Kỳ Hôn, Vàm Giồng, Long Ung, Gò Công, sông Trà v.v...

Trên vùng Đồng bằng sông Cửu Long có tất cả 38 trạm thủy văn đo mực nước và có 5 trạm đo lưu lượng nước là trạm Tân Châu, Mỹ Thuận trên sông Tiền, trạm Châu Đốc, Cần Thơ trên sông Hậu và trạm Vàm Nao trên sông Vàm Nao thuộc mạng lưới quan trắc khí tượng thủy văn quốc gia.



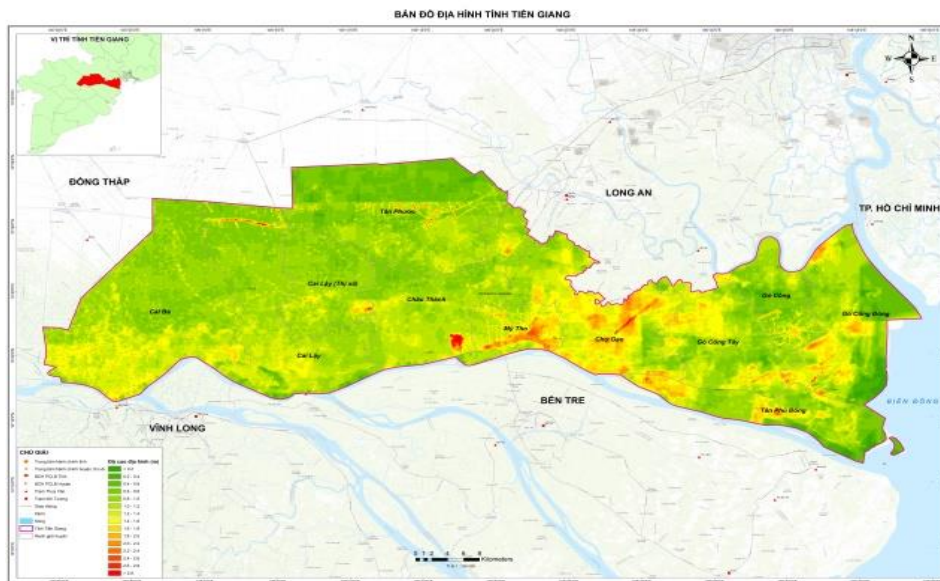


**Hình 1.** Bản đồ hành chính và mạng lưới trạm Khí tượng Thủy văn tỉnh Tiền Giang.

**2.2. Thu thập và xử lý dữ liệu**

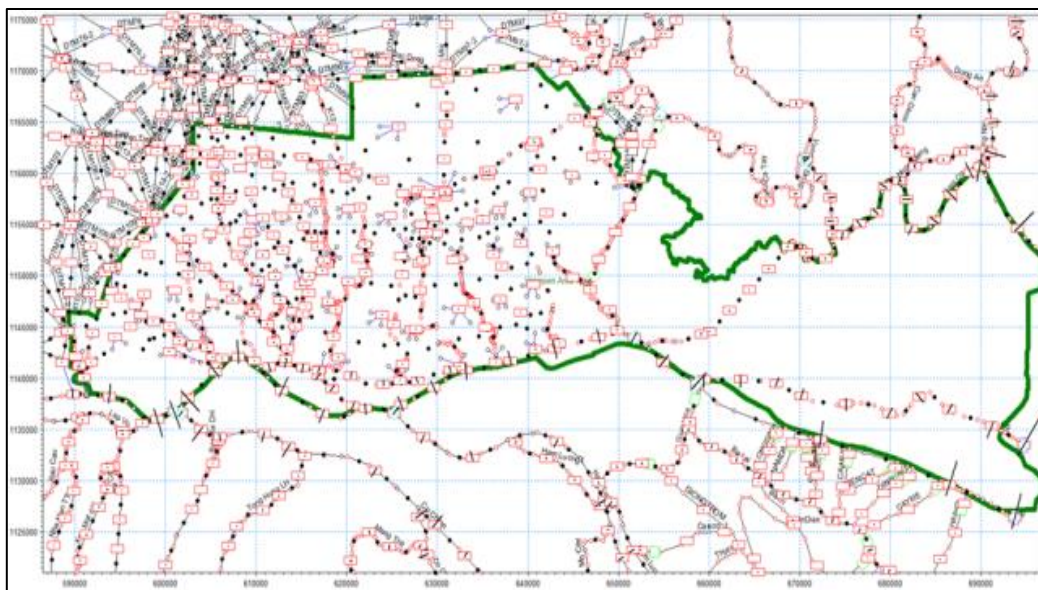
Số liệu khí tượng thủy văn: Các trận mưa lớn trong giai đoạn 2000–2021 tại các trạm Ba Tri, Cái Bè, Chợ Gạo, Gò Công, Mỹ Tho, Phú Mỹ, Vĩnh Long; số liệu quan trắc mực nước lũ tại các trạm thủy văn trong tỉnh Tiền Giang và lân cận gồm Cây Lậy, Long Định, Hòa Bình, Mộc Hóa, Mỹ Thuận, Tân Châu, Trường Xuân, Mỹ Tho, Vàm Kênh, Vũng Tàu giai đoạn 2000–2021; số liệu quan trắc lưu lượng tại các trạm Tân Châu, Châu Đốc, Cần Thơ, Mỹ Thuận giai đoạn 2000–2020.

Dữ liệu địa hình: Bản đồ địa hình tỷ lệ 1:10.000, 1:5.000, 1:2.000 tại khu vực nghiên cứu được cung cấp bởi Cục đo đạc và Bản đồ Việt Nam, Bộ Tài nguyên và Môi trường. Bản đồ số độ cao (DEM) với độ phân giải 30m × 30m bằng công cụ GIS, hệ tọa độ của VN2000, kinh tuyến trung tâm 105° và cao độ quốc gia Việt Nam.



**Hình 1.** Bản đồ DEM khu vực nghiên cứu.

Tài liệu mặt cắt sông: Tài liệu mặt cắt sông bao gồm 926 mặt cắt, được kế thừa từ mô hình toàn ĐBSCL và được cập nhật bổ sung theo các dự án đề tài nghiên cứu khoa học từ 2010 đến 2016 của Viện Quy hoạch Thủy lợi Miền Nam, Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, số liệu đo đạc của Đài KTTV Tiền Giang.



**Hình 2.** Minh họa một số mặt cắt trong mô hình.

Tài liệu về công trình: đã thu thập khoảng 19 tuyến đê bao ven biển và ven sông lớn, với tổng chiều dài 177.373,50m, bề rộng mặt đê trung bình 4,5 m.

Bên cạnh nghiên cứu đã thu thập các dữ liệu khác gồm: Bản đồ hiện trạng sử dụng đất vùng Đồng bằng sông Cửu Long và tỉnh Tiền Giang (Sở Tài nguyên môi trường tỉnh Tiền Giang); tài liệu bản đồ địa hình tỷ lệ 1:50.000 toàn bộ khu vực ven biển từ Trà Vinh đến Vũng Tàu bao gồm tỉnh Tiền Giang (Tổng cục Biển và Hải đảo thực hiện năm 2018); bản đồ địa hình trên cạn tỷ lệ 1:50.000 tỉnh Tiền Giang (Bộ Tài nguyên Môi trường); dữ liệu địa hình biển toàn cầu của GEBCO [20] với độ phân giải 0,5’.

Toàn bộ các số liệu, dữ liệu kể trên được phân tích, rà soát, đánh giá và xử lý để đồng bộ hóa, đưa về cao độ chuẩn Quốc gia, nắn chỉnh phù hợp với thực tế và đảm bảo đồng nhất trước khi sử dụng trong tính toán và mô phỏng.

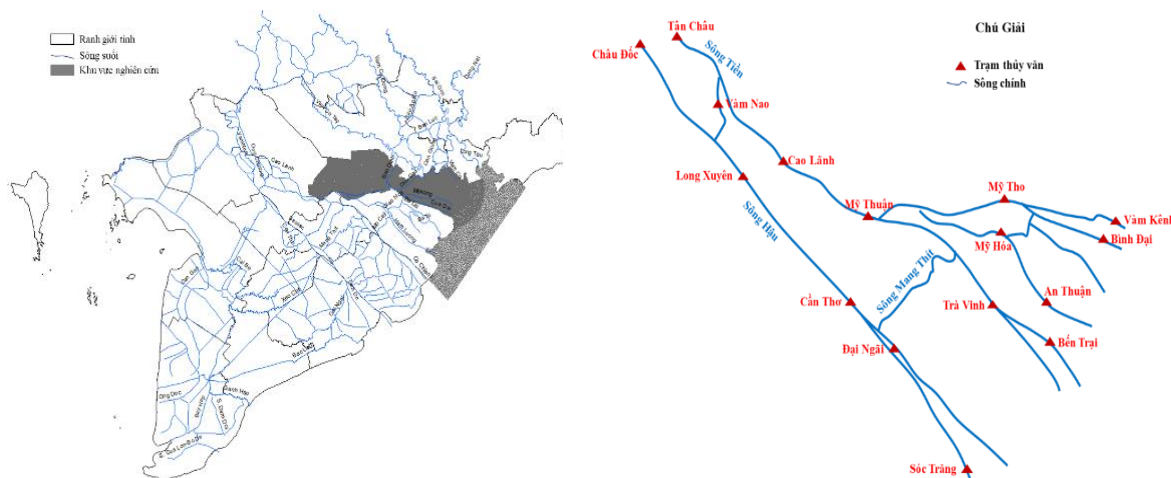
### 2.3. Thiết lập mô hình

MIKE 11 là mô hình thủy lực, một chiều nhằm phân tích chi tiết, thiết kế, quản lý và vận hành cho sông và hệ thống kênh dẫn đơn giản và phức tạp. Trong nghiên cứu này mô-đun thủy động lực (HD) là một phần trọng tâm của hệ thống thiết lập mô hình MIKE 11 và hình thành cơ sở cho mô-đun phục vụ dự báo lũ và mô phỏng ngập lụt cho khu vực hạ lưu [21]; Mô hình MIKE 21FM (*MIKE 21 Flow Model FM*) là mô hình thủy lực hai chiều, được ứng dụng để mô phỏng các biến động 2 chiều của mực nước và dòng chảy trong hồ, cửa sông, vịnh, khu vực ven và ngoài biển [22]; MIKE FLOOD là một hệ thống mô hình thủy lực kết nối giữa mô hình một chiều MIKE 11 và mô hình MIKE 21 lưới chữ nhật hoặc MIKE 21FM lưới phi cấu trúc [23]. Việc mô phỏng các công trình và vận hành công trình chưa được mô phỏng rõ ràng trong mô hình thủy lực 2 chiều thì trong mô hình 1 chiều thì mô phỏng tốt ở đây [23].

#### 2.3.1. Thiết lập mô hình thủy lực 1 chiều

Tỉnh Tiền Giang nằm ở khu vực hạ lưu sông Mê Kong đổ ra Biển Đông, chế độ thủy văn phụ thuộc vào lượng nước từ thượng nguồn đổ về, sự phân bố dòng chảy giữa các nhánh

sông, kênh, sự tác động của chế độ thủy hải văn khu vực biển Đông,... Do vậy, để có thể mô phỏng được mức độ ngập lụt cần thiết phải mở rộng hệ thống thủy lực một chiều cho toàn bộ khu vực Đồng bằng sông Cửu Long (Hình 4).



**Hình 4.** (a) Sơ đồ mạng lưới thủy lực; (b) Sơ đồ thủy lực các nhánh sông chính dự kiến.

Các biên của mô hình bao gồm:

- Biên trên của mô hình là tại trạm thủy văn Tân Châu, trạm thủy văn Châu Đốc (thuộc phần sông chính sông Tiền, sông Hậu);
- Biên trên còn lại của mô hình là sông Vàm Cỏ Đông, Vàm Cỏ Tây và các nhập lưu khu giữa được tính toán bằng mô hình NAM và kết nối trực tiếp với mạng lưới thủy lực 1 chiều;
- Biên dưới của mô hình là tại cửa Tiểu, cửa Đại, cửa Ba Lai, cửa Hàm Luông, cửa Cỏ Chiên và các biên cửa sông phía Đông và phía Tây của hệ thống sông Cửu Long.
- Biên trên dùng các số liệu mực nước của trạm Tân Châu và Châu Đốc được thu thập từ đo đạc thực tế và các số liệu thu thập, biên dưới sử dụng kết quả mô hình dự tính toàn cầu về mực nước.

### 2.3.2. Thiết lập mô hình 2 chiều

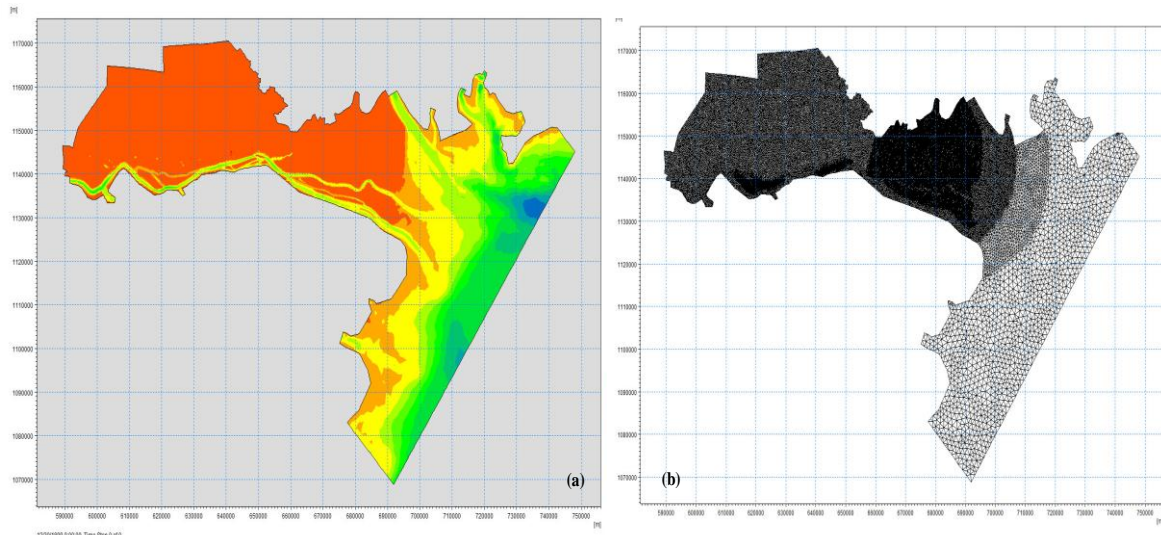
Để mô phỏng chi tiết mức độ và diện ngập lụt tỉnh Tiền Giang, mô hình 2 chiều được sử dụng bao phủ toàn bộ tỉnh Tiền Giang (Hình 5a), với lưới tính phi cấu trúc gồm ... ô lưới, có kích thước thay đổi từ khoảng 500–3000 m ở khu vực biển ven bờ, 100–200 ở các khu vực bằng phẳng, ít có biến động về địa hình, và chi tiết đến 10–30 m ở các khu vực dân cư, công trình hạ tầng, khu vực có địa hình biến động (Hình 5b).

Biên trên dùng các số liệu mực nước của trạm Tân Châu và Châu Đốc được thu thập từ đo đạc thực tế và các số liệu thu thập, tính toán dự báo theo mô hình dự tính toàn cầu về mực nước. Đối với biên dưới, phía biển sử dụng dữ liệu mực nước của mô hình dòng chảy và mực nước Mike 21 FM được trích xuất từ kết quả dự báo triều trên quy mô toàn cầu với độ phân giải 0,25° kinh vĩ cho toàn hệ thống. Việc mô phỏng lại với miền tính lớn để trích ra các biên của bài toán nhằm đảm bảo độ phân giải cao theo không gian. Ngoài ra, các kịch bản tính toán mực nước thiết kế, các thông số mực nước đầu vào được thống kê và tính toán trên cơ sở số liệu mực nước thực đo tại trạm Vũng Tàu và trạm Vàm Kênh.

### 2.3.3. Kết nối MIKE FLOOD

Mô đun MIKE FLOOD được sử dụng để kết nối mô đun MIKE 11 với MIKE 21, trong đó, loại bỏ phần gia nhập khu giữa tính bằng MIKE NAM ở các phần trùng với miền tính của mô hình MIKE 21.





**Hình 5.** (a) Miền tính và địa hình khu vực nghiên cứu; (b) Lưới tính toán.

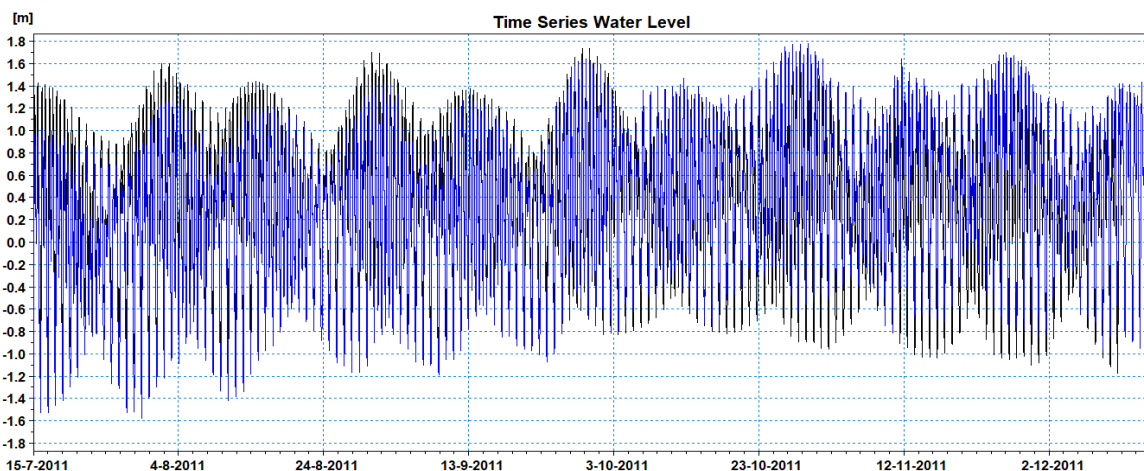
**2.4. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình**

+ Hiệu chỉnh mô hình kết nối 1–2D: Từ các tài liệu địa hình hiện trạng của hệ thống, các tài liệu về mực nước, lượng mưa đo được trong trận lũ xảy ra từ ngày 15/07/2000 đến ngày 02/12/2000 và trận lũ từ ngày 17/07/2018 đến ngày 13/12/2018 tại trạm Mỹ Tho, Hòa Bình, Vàm Kênh để hiệu chỉnh và cho ra hệ số Nash cụ thể tại Bảng 1.

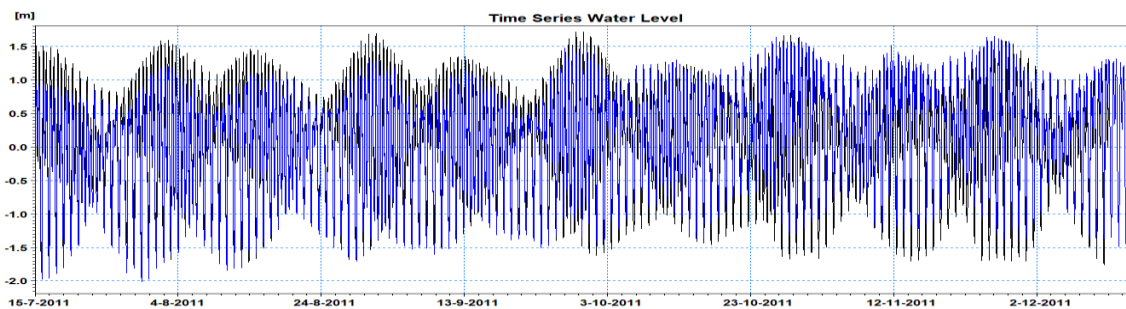
**Bảng 1.** Kết quả đánh giá hiệu chỉnh mô hình tại một số trạm.

Trạm	Trận lũ hiệu chỉnh	Hệ số Nash
Mỹ Tho	15/7–12/12/2000	0,76
Hòa Bình	15/7–12/12/2000	0,77
Vàm Kênh	15/7–12/12/2000	0,79
Mỹ Tho	16/7–13/12/2018	0,95
Hòa Bình	16/7–13/12/2018	0,94
Vàm Kênh	16/7–13/12/2018	0,95

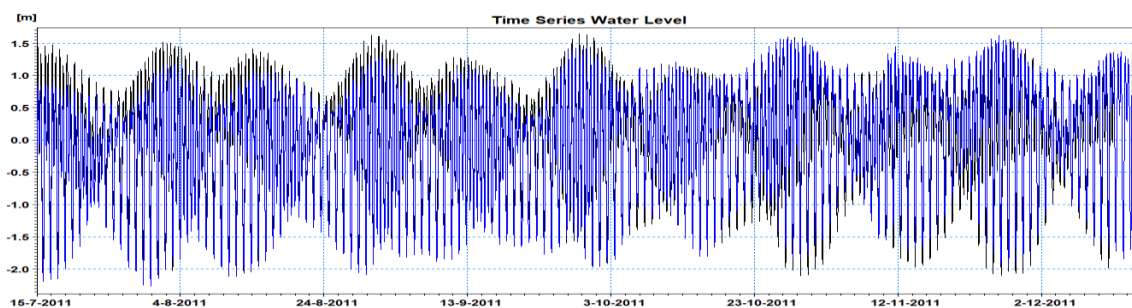
+ Kiểm định mô hình kết nối 1–2D: Sau khi hiệu chỉnh mô hình và dò tìm bộ thông số tối ưu nhất. Tiến hành kiểm định mô hình với trận lũ giai đoạn từ 15/7/2011 đến ngày 12/12/2011 tại 03 trạm Mỹ Tho, Hòa Bình và Vàm Kênh với kết quả đánh giá chỉ số Nash đạt từ 0,83–0,89 (Bảng 2).



**Hình 6.** Kiểm định trận lũ 15/7/2011–12/12/2011 trạm Mỹ Tho.



Hình 7. Kiểm định trận lũ 15/7/2011–12/12/2011 trạm Hòa Bình.



Hình 8. Kiểm định trận lũ 15/7/2011–12/12/2011 trạm Vàm Kênh.

Bảng 2. Kết quả đánh giá kiểm định mô hình tại một số trạm.

Trạm	Trận lũ kiểm định	Hệ số Nash
Mỹ Tho	15/7–12/12/2011	0,83
Hòa Bình	15/7–12/12/2011	0,84
Vàm Kênh	15/7–12/12/2011	0,89

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Kích bản tính toán

Trên cơ sở phân tích nguyên nhân gây ngập lụt, nhằm phân tích đầy đủ các tác động của ngập lụt đến tỉnh Tiền Giang, cần nghiên cứu các nhóm kịch bản liên quan đến lũ do thượng nguồn đổ về, ngập lụt do triều cường và nước biển dâng và tổ hợp của cả hai trường hợp này (Bảng 3).

Bảng 3. Xây dựng các kịch bản mô phỏng.

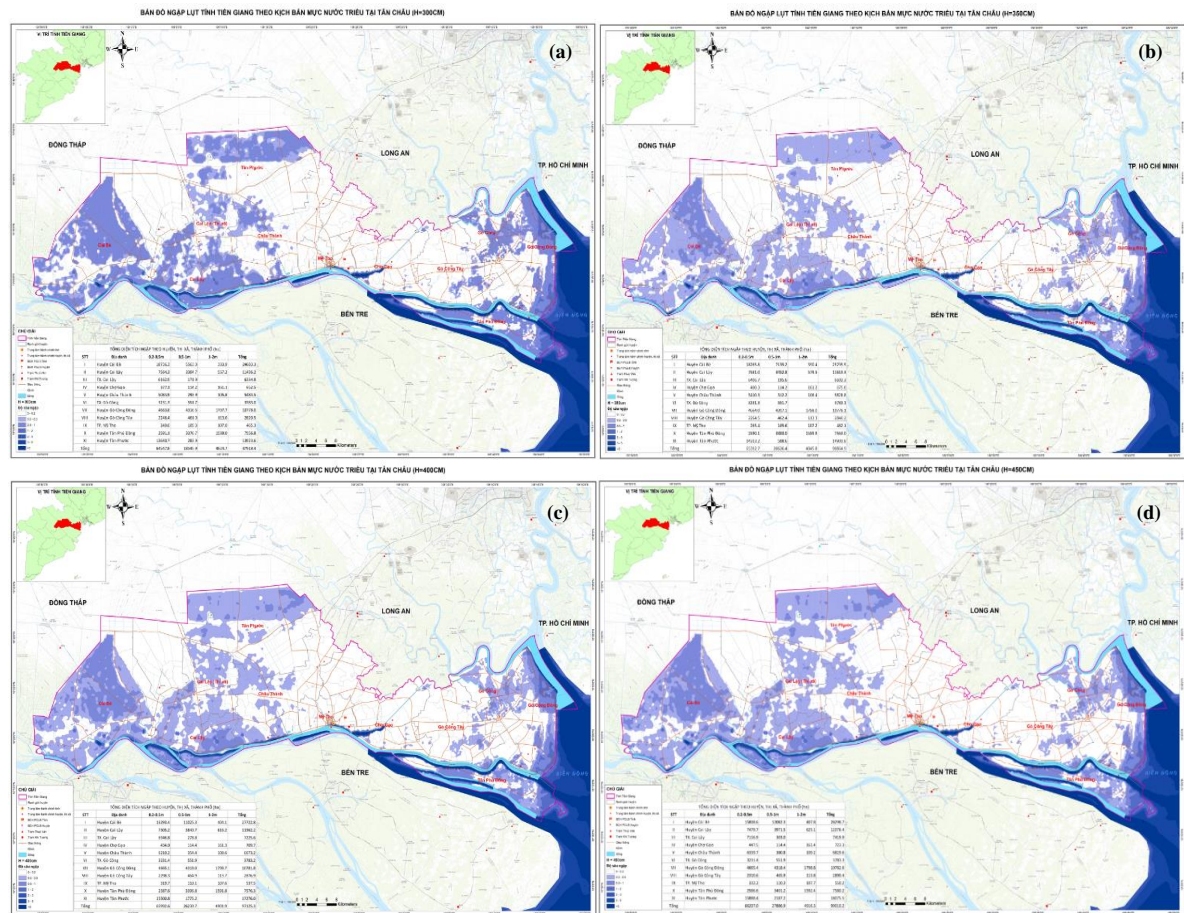
STT	Nhóm kịch bản	Kịch bản mô phỏng
1		Kịch bản ứng với mực nước tại Tân Châu H = 300cm
2	Nhóm kịch bản đánh giá tác động của lũ	Kịch bản ứng với mực nước tại Tân Châu H = 350cm
3		Kịch bản ứng với mực nước tại Tân Châu H = 400cm
4		Kịch bản ứng với mực nước tại Tân Châu H = 450cm
5		Kịch bản mực nước triều tần suất 1%
6	Nhóm kịch bản đánh giá tác động của thủy triều theo tần suất	Kịch bản mực nước triều tần suất 2%
7		Kịch bản mực nước triều tần suất 5%
8		Kịch bản mực nước triều tần suất 10%
9		Kịch bản đánh giá tác động ngập lụt của tổ hợp Lũ - Triều với mực nước tại Tân Châu H = 300cm - Mực nước triều ứng với báo động cấp 2
10	giá thủy triều và lũ	Kịch bản đánh giá tác động ngập lụt của tổ hợp Lũ - Triều với mực nước tại Tân Châu H = 300cm - Mực nước triều ứng với báo động cấp 3

STT	Nhóm kịch bản	Kịch bản mô phỏng
11		Kịch bản đánh giá tác động ngập lụt của tổ hợp Lũ - Triều với mực nước tại Tân Châu H = 350cm - Mực nước triều ứng với bão động cấp 2
12		Kịch bản đánh giá tác động ngập lụt của tổ hợp Lũ - Triều với mực nước tại Tân Châu H = 350cm - Mực nước triều ứng với bão động cấp 3
13		Kịch bản đánh giá tác động ngập lụt của tổ hợp Lũ - Triều với mực nước tại Tân Châu H = 400cm - Mực nước triều ứng với bão động cấp 2
14		Kịch bản đánh giá tác động ngập lụt của tổ hợp Lũ - Triều với mực nước tại Tân Châu H = 400cm - Mực nước triều ứng với bão động cấp 3
15		Kịch bản đánh giá tác động ngập lụt của tổ hợp Lũ - Triều với mực nước tại Tân Châu H = 450cm - Mực nước triều ứng với bão động cấp 2
16		Kịch bản đánh giá tác động ngập lụt của tổ hợp Lũ - Triều với mực nước tại Tân Châu H = 450cm - Mực nước triều ứng với bão động cấp 3

3.2. Kết quả mô phỏng và đánh giá tác động ngập lụt theo các kịch bản

3.2.1. Kết quả đánh giá ngập lụt do ảnh hưởng lũ thượng nguồn sông Mê Kông

Kết quả tính toán cho thấy, với các kịch bản ngập do lũ, diện tích ngập lụt trên địa bàn tỉnh Tiền Giang khoảng 87948,4 ha với kịch bản KB1 (Hình 9a), diện tích ngập khoảng 90864,9 ha với kịch bản KB2 (Hình 9b), diện tích ngập khoảng 97125,3 ha với kịch bản KB3 (Hình 9c), diện tích ngập khoảng 99010,2 ha với kịch bản KB4 (Hình 9d) (Bảng 4).



Hình 9. Minh họa bản đồ ngập lụt tỉnh Tiền Giang kịch bản mực nước tại Tân Châu: (a) H = 300 cm; (b) H = 350cm; (c) H = 400 cm; (d) H = 450 cm.



**Bảng 4.** Bảng thống kê diện tích ngập ứng với các kịch bản lũ (Đơn vị: ha).

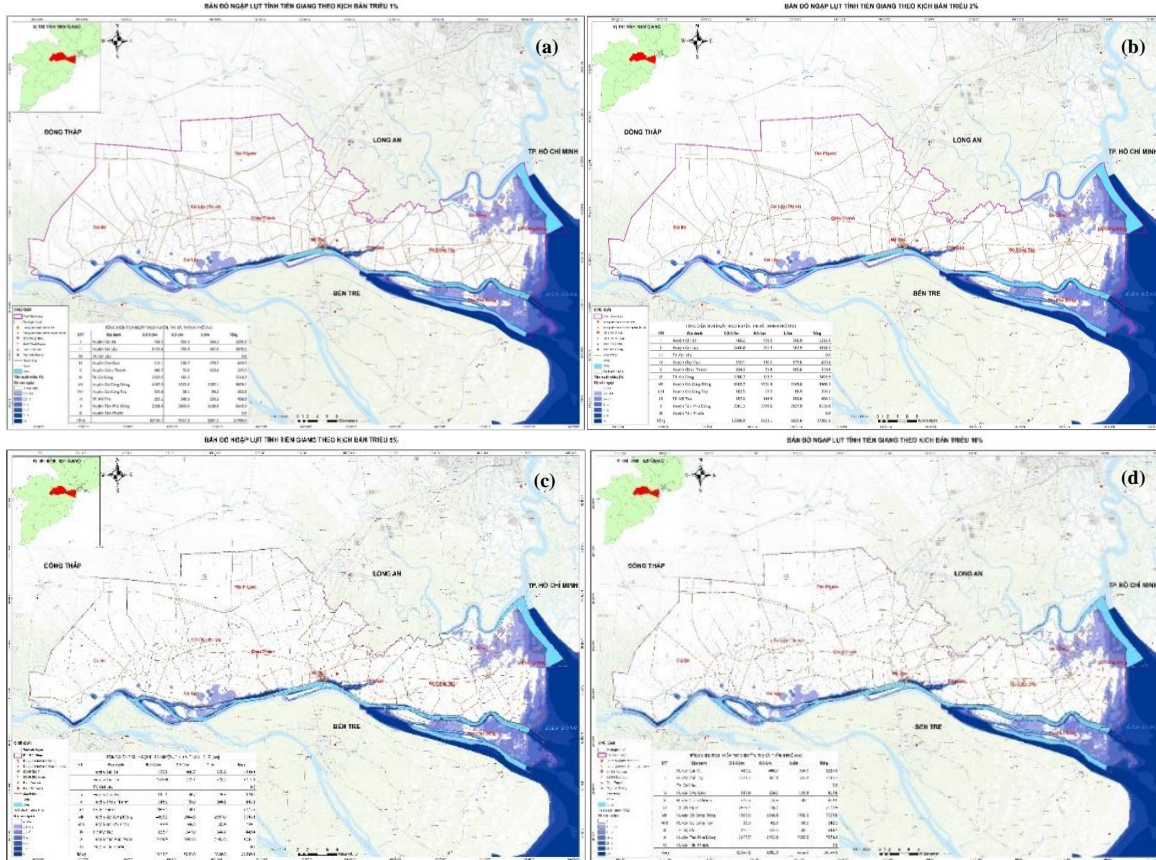
Kịch bản	0,2 - 0,5m	0,5 - 1m	1 - 2m	Tổng
H = 300cm	64547	18546	4825	87918
H = 350cm	65391	20627	4844	90862
H = 400cm	65992	26230	4903	97125
H = 450cm	66207	27886	4916	99009

3.2.2. Kết quả đánh giá ngập lụt do ảnh hưởng triều cường

Các kết quả mô phỏng về tần suất mực nước cho thấy: phần lớn các huyện khu vực ven biển đều chịu ảnh hưởng ngập lụt dưới tác động mạnh bởi mực nước triều. Các khu vực ven biển, cửa sông nơi vẫn chịu ảnh hưởng thủy triều bị ngập lụt tương đối rõ ràng. Trong khi đó, khu vực nội đất liền thì mức độ ảnh hưởng giảm dần và không còn tác động mạnh. Tổng diện tích ngập theo kịch bản về tần suất 1% (Hình 10a), 2% (Hình 10b), 5% (Hình 10c), 10% (Hình 10d) lần lượt là: 27407 ha; 27202 ha; 26509ha, 26057 ha (Bảng 5).

**Bảng 5.** Bảng thống kê diện tích ngập ứng với các kịch bản tần suất triều (Đơn vị: ha)

KB tần suất triều	0,2 - 0,5m	0,5 - 1m	1 - 2m	Tổng
TS 1%	12406	9117	5884	27407
TS 2%	12348	9024	5831	27203
TS 5%	12143	8716	5651	26510
TS 10%	12046	8494	5518	26058



**Hình 10.** Minh họa bản đồ ngập lụt tỉnh Tiền Giang ứng với tần suất triều: (a) 1%; (b) 2%; (c) 5%; (d) 10%.

### 3.2.3. Kết quả đánh giá tác động của tổ hợp lũ–triều cường

Kết quả mô phỏng diện ngập với kịch bản KB11 cho thấy các ảnh hưởng lớn nhất của ngập lụt đến địa phương. Với độ sâu từ 0,2–0,5 m ngập nhiều nhất tại hai huyện Cái Bè (15293,7 ha), huyện Tân Phước (14243,4 ha). Độ sâu từ 0,5–1 m ngập nhiều nhất tại huyện Cái Bè (14134,0 ha). Độ sâu từ 1–2 m ngập nhiều nhất tại hai huyện Tân Phú Đông (2126,9 ha) và huyện Gò Công Đông (1344,6 ha) (Hình 11a).

Tại kịch bản KB12, với độ sâu từ 0,2–0,5 m ngập nhiều nhất tại huyện Tân Phước (15260,3 ha) huyện Cái Bè (14809,9 ha). Độ sâu từ 0,5–1 m ngập nhiều nhất tại huyện Gò Công Đông (6993,7 ha) và huyện Tân Phước (15086,2 ha). Độ sâu từ 1–2 m ngập nhiều nhất tại hai huyện Gò Công Đông (4428,2 ha) và huyện Tân Phú Đông (4027,6 ha) (Hình 11b).

Tại nhóm kịch bản KB13 cho diện tích ngập 98283,6 ha. Với độ sâu từ 0,2–0,5 m ngập nhiều nhất tại hai huyện Cái Bè (14062,8 ha), huyện Tân Phước (15467,3 ha). Độ sâu từ 0,5–1 m ngập nhiều nhất tại huyện Cái Bè (16053,0 ha). Độ sâu từ 1–2 m ngập nhiều nhất tại hai huyện Tân Phú Đông 2133,5 ha) và huyện Gò Công Đông (1346,0 ha) (Hình 11c).

Tại nhóm kịch bản KB14 cho diện tích ngập 123349,8 ha. Với độ sâu từ 0,2–0,5 m ngập nhiều nhất tại hai huyện Cái Bè (13542 ha), huyện Tân Phước (15876 ha). Độ sâu từ 0,5–1 m ngập nhiều nhất tại huyện Cái Bè (16955,1 ha). Độ sâu từ 1–2 m ngập nhiều nhất tại hai huyện Tân Phú Đông (2133,5 ha) và huyện Gò Công Đông (1346 ha) (Hình 11d).

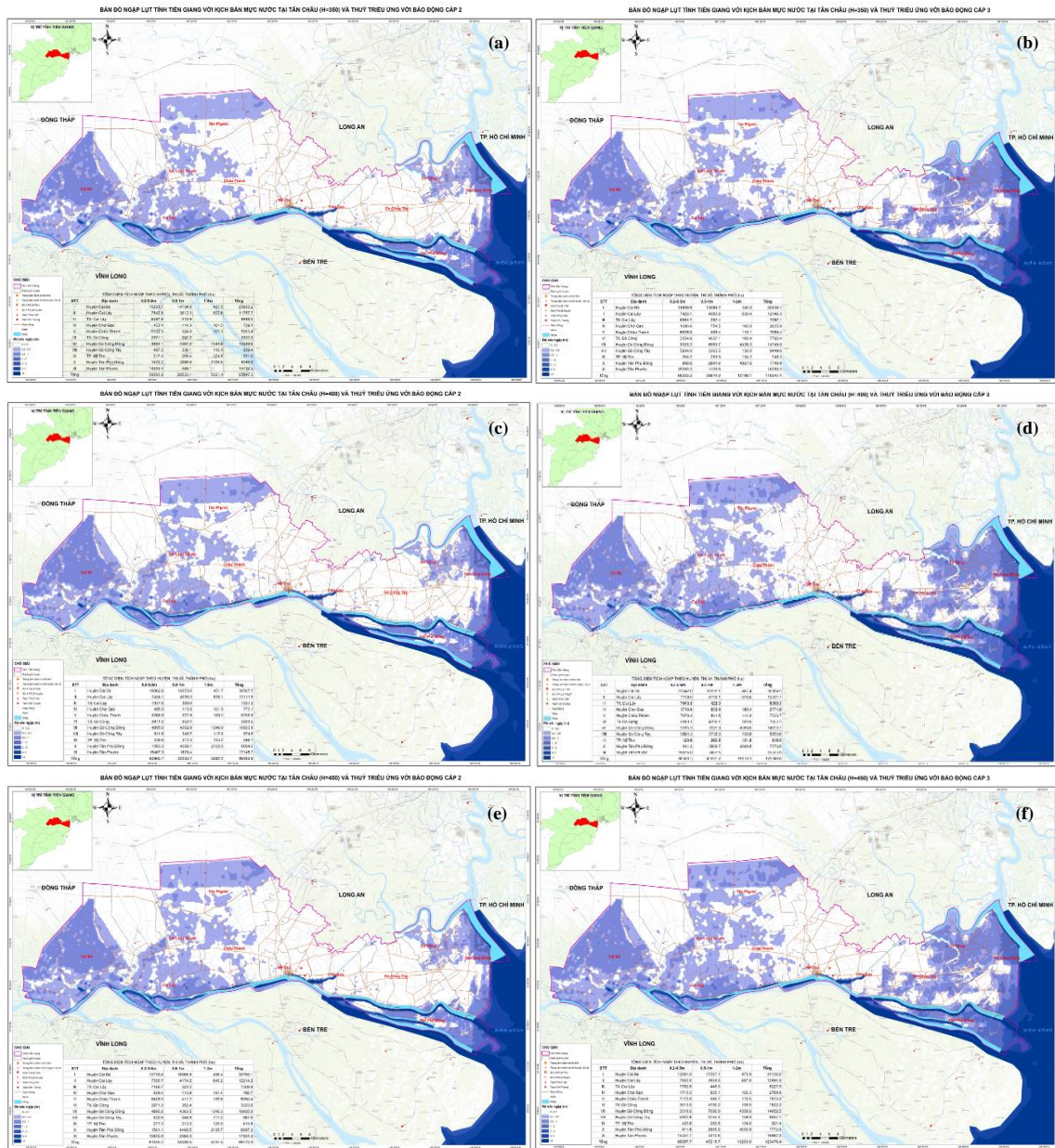
Tại nhóm kịch bản KB15 cho diện tích ngập 99773,3 ha. Với độ sâu từ 0,2–0,5m ngập nhiều nhất tại hai huyện Cái Bè (13735,8 ha), huyện Tân Phước (15855,9 ha). Độ sâu từ 0,5–1 m ngập nhiều nhất tại huyện Cái Bè (16566,9 ha). Độ sâu từ 1–2 m ngập nhiều nhất tại hai huyện Tân Phú Đông (2135,7 ha) và huyện Gò Công Đông (1346,3 ha) (Hình 11e).

Tại nhóm kịch bản KB16 cho diện tích ngập 123476,4 ha. Với độ sâu từ 0,2–0,5 m ngập nhiều nhất tại hai huyện Cái Bè (13291 ha), huyện Tân Phước (15415,7 ha). Độ sâu từ 0,5–1 m ngập nhiều nhất tại huyện Cái Bè (17367,1 ha). Độ sâu từ 1–2 m ngập nhiều nhất tại hai huyện Tân Phú Đông (4055,9 ha) và huyện Gò Công Đông (4309,8 ha) (Hình 11f).

**Bảng 6.** Bảng thống kê diện tích ngập ứng với các kịch bản lũ triều cường (Đơn vị: ha).

KB lũ – triều	0,2 – 0,5m	0,5 – 1m	1 – 2m	Tổng
H = 300cm, BĐ2	62296	26896	2092	91283
H = 300cm, BĐ3	62010	37533	10145	109687
H = 350cm, BĐ2	59693	28533	5021	93247
H = 350cm, BĐ3	62010	37533	10145	109687
H = 400cm, BĐ2	60966	32236	5082	98284
H = 400cm, BĐ3	66567	45605	10178	122350
H = 450cm, BĐ2	61335	33336	5102	99773
H = 450cm, BĐ3	66058	47216	10203	123476





**Hình 11.** Minh họa bản đồ ngập lụt tỉnh Tiền Giang theo kịch bản đánh giá tác động ngập lụt của tổ hợp lũ: (a) KB11; (b) KB12; (c) KB13; (d) KB14; (e) KB15; (f) KB16.

#### 4. Kết luận

Tình hình ngập lụt trên địa bàn tỉnh Tiền Giang với các kịch bản do lũ thượng nguồn, do triều cường/nước biển dâng và tổ hợp lũ–triều cường với bản đồ ngập lụt và số liệu chi tiết cho thấy các khu vực có rủi ro cao là khu vực phía Tây (Huyện Cái Bè, Huyện Tân Phước) và khu vực ven biển (Huyện Tân Phú Đông, Huyện Gò Công Đông) với mức độ ngập có thể lên đến 2 m trong điều kiện tổ hợp bất lợi, trong khi khu vực có nguy cơ thấp chủ yếu tập trung ở khu vực giữa của tỉnh Tiền Giang (Thành phố Mỹ Tho, Huyện Châu Thành, Huyện Chợ Gạo). Tuy nghiên cứu này chưa xét đến các trận mưa gây ngập úng cục bộ nhưng bộ bản đồ ngập lụt và các kết quả đánh giá chi tiết cho từng kịch bản có thể được tham khảo và đưa vào ứng dụng trong thực tiễn, phục vụ xây dựng quy hoạch phát triển kinh tế xã hội cũng như xây dựng các phương án ứng phó và khắc phục nhằm giảm thiệt hại về người và tài sản nếu có các tình huống ngập lụt xảy ra.



**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: P.H.Q.T., Đ.Q.T., T.N.A.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: P.H.Q.T., T.N.A.; Xử lý số liệu: P.H.Q.T., N.B.T., N.V.N.; Hiệu chỉnh, kiểm định mô hình: P.H.Q.T., N.B.T.; Viết bản thảo bài báo: P.H.Q.T., Đ.Q.T., T.N.A., N.V.N.; Chỉnh sửa bài báo: P.H.Q.T., Đ.Q.T., T.N.A.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của dự án nghiên cứu khoa học cấp tỉnh “Xây dựng mô hình dự báo xuất hiện lũ trên địa bàn tỉnh Tiền Giang” do Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ thực hiện; cơ quan chủ trì: Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh Tiền Giang; cơ quan quản lý: Ủy ban nhân dân tỉnh Tiền Giang.

**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. Kế hoạch Phòng chống thiên tai giai đoạn 2021–2025 tỉnh Tiền Giang.
2. Yu, W.; Kim, Y.; Lee, D.E.; Lee, G. Hydrological assessment of basin development scenarios: Impacts on the Tonle Sap Lake in Cambodia. *Quat. Int.* **2018**, 503(A), 115–127.
3. Kanda, E.K.; Kosgei, J.R.; Kipkorir, E.C. Simulation of organic carbon loading using MIKE 11 model: A case of River Nzoia, Kenya. *Water Pract. Technol.* **2015**, 10(2), 298–304.
4. Pagano, T.C. Evaluation of Mekong River commission operational flood forecasts, 2000–2012. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2013**, 10(11), 14433–14461.
5. Rahman, M.; Arya, D.S.; Goel, N.K.; Dhamy, A.P. Design Flow and Stage Computations in the Teesta River, Bangladesh, Using Frequency Analysis and MIKE 11 Modeling. *J. Hydrol. Eng.* **2010**, 16(2), 176–186.
6. Kozel, T.; Starý, M. Stochastic Forecast of Flow Reservoir Behaviour. *Procedia Earth Planet. Sci.* **2015**, 15, 940–944.
7. Thục, T. Báo cáo đề tài “Xây dựng công nghệ tính toán dự báo lũ lớn hệ thống sông Hồng – Thái Bình”, 2011.
8. Nguyễn, T.C. Nghiên cứu, ứng dụng mô hình kết nối MARINE và IMECH1D dự báo lưu lượng vào hồ Hòa Bình. Luận văn thạc sỹ, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam, 2010, tr. 91.
9. Chanh, B.V.; Anh, T.N. Thử nghiệm tích hợp mô hình MARINE và mô hình sóng động học một chiều trên lưu vực sông Cái Nha Trang. *Tap chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2020**, 14, 45–55.
10. Thuật, N.Đ.; Lập, B.Đ.; Xuyên, N.T.; Thúy, N.T. Công nghệ dự báo quá trình lũ và cảnh báo ngập lụt thành phố Cao Bằng. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 686, 30–36.
11. Thái, T.H.; Anh, N.N. Tính toán trường sóng trong bão bằng mô hình MIKE 21. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2011**, 604, 49–56.
12. Linh, N.T.M.; Tri, D.Q.; Thai, T.H.; Don, N.C. Application of a two-dimensional model for flooding and floodplain simulation: Case study in Tra Khuc–Song Ve river in Viet Nam. *Lowland Technol. Int.* **2018**, 20(03), 367–378.
13. Bình, H.T.; Anh, T.N.; Khá, Đ.Đ. Ứng dụng mô hình MIKE FLOOD tính toán ngập lụt hệ thống sông Nhật Lệ tỉnh Quảng Bình. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2010**, 26(3S), 285–294.
14. Chanh, B.V.; Anh, T.N.; Đức, Đ.Đ. Ứng dụng mô hình MIKE FLOOD xác định cốt cao độ quy hoạch và xây dựng trung tâm hành chính mới tỉnh Khánh Hòa. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2015**, 31(3S), 20–27.
15. Đức, Đ.Đ.; Anh, T.N.; Như, N.Y.; Sơn, N.T. Ứng dụng mô hình MIKE FLOOD tính toán ngập lụt hệ thống sông Nhuệ - Đáy trên địa bàn thành phố Hà Nội. *Tap chí khoa*

- học Đại học Quốc gia Hà Nội. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2011**, 29(1S), 56–63.
16. Dat, T.T.; Tri, D.Q.; Truong, D.D.; Hoa, 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. Sci. Eng.* **2019**, 12(01), 60–70.
  17. Trí, Đ.Q.; Nga, P.T. 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. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 736, 93–110.
  18. 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.
  19. Tỉnh Tiền Giang. Cổng thông tin điện tử tỉnh Tiền Giang. 2019. Available: <http://tiengiang.gov.vn/chi-tiet-tin/?gioi-thieu-ve-tien-giang/11243313>.
  20. [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/)
  21. DHI. MIKE 11 User Manual, Danish Hydraulic Institute, Copenhagen, 2017.
  22. DHI. MIKE 21 User Manual, Danish Hydraulic Institute, Copenhagen, 2017.
  23. DHI. MIKE Flood User Manual, Danish Hydraulic Institute, Copenhagen, 2017.
  24. Thương, T.V.; Ngọt, P.V.; Hùng, Đ.N. Biểu hiện Biến đổi Khí hậu và Nước biển dâng tại tỉnh Tiền Giang giai đoạn 1978–2015. *Tap chí Khoa học ĐHSPTPHCM* **2016**, 9(87), 188–200.

## Assessment of inundation impacts in Tien Giang Province

Pham Ho Quoc Tuan<sup>1\*</sup>, Nguyen Bach Tung<sup>2\*</sup>, Doan Quang Tri<sup>3</sup>, Tran Ngoc Anh<sup>2,4</sup>, Nguyen Van Nhat<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Hydrometeorological Station of the Southern Region; phamhoquoctuan@yahoo.com

<sup>2</sup> Center for environmental fluid dynamics, VNU University of Sciences, Vietnam National University, Hanoi; bachtung\_cefd@hus.edu.vn

<sup>3</sup> Vietnam Journal of Hydrometeorology, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration, Hanoi; doanquangtrikttv@gmail.com

<sup>4</sup> Faculty of Hydrology, Meteorology and Oceanography, VNU University of Sciences, Vietnam National University, Hanoi; tranngocanh@hus.edu.vn

<sup>5</sup> Center for Hydro-Meteorological Technology Application; vannhat.tv@gmail.com

**Abstract:** The study established the MIKE FLOOD modeling toolkit that connected MIKE 11 and MIKE 21 with the set of cross-sectional data, the works were updated, corrected, and verified for the flood season of the years 2000, 2011, and 2018. The simulation results show a good correlation between the calculated and observed data, from which the model was used to simulate and evaluate flooding in Tien Giang province according to the scenarios due to the effects of upstream flooding, high tides and combination of high-tide flooding. The inundation map and inundation assessment are calculated in detail for each scenario and can be put into practice, providing reliable information for local management agencies provided to local authorities and residents to provide warning options, and solutions to rescue and mitigate damage caused by floods.

**Keywords:** MIKE FLOOD; Inundation; Tien Giang.

Bài báo khoa học

## Đánh giá hệ thống giám sát lũ toàn cầu GFMS cho thành phố Hà Tĩnh

Nguyễn Ý Như<sup>1\*</sup>, Trần Nhân Nghĩa<sup>2</sup>, Phạm Văn Giang<sup>2</sup>, Tạ Đăng Quốc Vũ<sup>2</sup>, Nguyễn Thị Liên<sup>1</sup>, Lê Hà My<sup>3</sup>, Nguyễn Thu Lan<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; nguyennhu@hus.edu.vn; liennt1@hus.edu.vn

<sup>2</sup> Chi cục Thủy lợi TPHCM; nhanngiahatinh@gmail.com; phamgiang.pclb@gmail.com; tadangquocvu@gmail.com

<sup>3</sup> Trung tâm Nghiên cứu Thủy văn Hải văn, Viện Khoa học KTTV và BDKH; lehamy0703@gmail.com

<sup>4</sup> Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Đồng bằng Bắc Bộ, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; nguyennlandbbb@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: nguyennhu@hus.edu.vn; Tel.: +84-869110757

Ban Biên tập nhận bài: 15/7/2022; Ngày phản biện xong: 20/8/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Nghiên cứu cung cấp đánh giá ban đầu về khả năng ước tính mưa và tính toán lũ, ngập lụt cho thành phố Hà Tĩnh của hệ thống giám sát lũ toàn cầu (GFMS). Hệ thống GFMS được tích hợp với mô hình thủy văn VIC tính toán dòng chảy sử dụng mưa vệ tinh TRMM (TMPA). Kết quả cho thấy ở quy mô khu vực, TMPA và mưa quan trắc có tương quan cao và chỉ số NASH cho kết quả tốt (trên 0,8), mặc dù TMPA xác định sai một số trận mưa có cường độ nhỏ. Lưu lượng tính toán bởi hệ thống GFMS được so sánh với lưu lượng tính toán từ mô hình MIKE-NAM cho thành phố Hà Tĩnh. Phân tích đường quá trình lưu lượng tính toán cho thành phố Hà Tĩnh cho thấy GFMS cho kết quả tính toán tốt yếu tố dòng chảy sinh ra bởi các đợt mưa lớn với giá trị tương quan, và chỉ số NASH cao (đều trên 0,9) và PBIAS thấp (khoảng 10%); tuy nhiên, khả năng mô phỏng độ sâu ngập lụt thấp hơn đáng kể khi so sánh với số liệu vết lũ thu thập được. Hiệu quả hoạt động của hệ thống GFMS thay đổi theo từng khu vực khí hậu thủy văn, do đó, kết quả của nghiên cứu sẽ cung cấp thông tin hữu ích cho các nghiên cứu sâu hơn nhằm cải thiện hệ thống GFMS phục vụ cho công tác giám sát, dự báo lũ lụt trên toàn cầu.

**Từ khóa:** GFMS; Vệ tinh; Lũ lụt; Hà Tĩnh.

### 1. Mở đầu

Lũ lụt thường xuyên xảy ra, gây tác động lớn đến con người và các hoạt động kinh tế xã hội. Con số này đang ngày càng gia tăng dưới ảnh hưởng của biến đổi khí hậu [1]. Các hệ thống cảnh báo lũ sớm được thiết lập nhằm giảm thiểu nguy cơ do lũ lụt gây ra. Khả năng và độ tin cậy của những hệ thống cảnh báo sớm này phụ thuộc vào các nguồn dữ liệu đầu vào sẵn có (ví dụ dữ liệu mưa có độ chính xác cao). Tuy nhiên, thu thập số liệu mưa có độ chính xác cao đang là một thách thức, đặc biệt ở những khu vực địa hình phức tạp, ở các nước đang phát triển, nơi mạng lưới quan trắc thưa thớt hoặc không có.

Với sự phát triển của công nghệ, mưa vệ tinh gần thời gian thực với độ bao phủ bán toàn cầu [2-3] được cung cấp với độ phân giải cao đem lại tiềm năng trong giám sát, cảnh báo lũ



sớm. Nhiều nghiên cứu đã thực hiện đánh giá, xem xét khả năng sử dụng của nhiều sản phẩm mưa vệ tinh trong ứng dụng thủy văn trên nhiều quy mô khác nhau, ví dụ như quy mô toàn cầu [4–5], quy mô châu lục [6–7], quy mô khu vực [8–9], quy mô quốc gia [10–12], và quy mô lưu vực sông [13–24]. Ở quy mô toàn cầu, [5] đã đánh giá phiên bản trước của GFMS, kết hợp mô hình thủy văn lưới [25] với sản phẩm mưa TMPA 3B42V6. [5] kết luận GFMS có khả năng xác định tốt hơn với các trận lũ diễn ra trong thời gian dài và gây ngập lụt trên diện rộng, đồng thời sự xuất hiện của hệ thống hồ chứa tác động lớn đến độ chính xác của hệ thống GFMS. Ở quy mô lưu vực, [22] sử dụng hệ thống mô hình thủy văn GeoSFM sử dụng mưa vệ tinh để dự báo dòng chảy cho lưu vực sông Bagmati, Nepal và cũng cho kết quả phù hợp tốt giữa lưu lượng quan trắc và tính toán. [20] mô phỏng dòng chảy lũ trên lưu vực sông Mã sử dụng mưa thực đo và GSMaP\_NRT làm đầu vào cho mô hình thủy văn IFAS đã kết luận sử dụng dữ liệu GSMaP\_NRT cho kết quả tốt hơn so với sử dụng mưa thực đo ở những vùng thiếu hoặc không có số liệu. Nhìn chung, các nghiên cứu đều đưa ra kết luận rằng mặc dù các ước tính sử dụng mưa vệ tinh có sai số đáng kể, nhưng mưa vệ tinh vẫn là sản phẩm rất hữu ích làm đầu vào cho các mô hình thủy văn cho các lưu vực không có hoặc thiếu số liệu quan trắc. Do giới hạn ở một hoặc một số lưu vực, các nghiên cứu trên đa phần cung cấp những đánh giá sâu về thủy văn ở quy mô địa phương hoặc khu vực. Sự phát triển của sản phẩm mưa vệ tinh cũng như bộ dữ liệu không gian địa lý trên toàn cầu cho các ứng dụng thủy văn làm tăng khả năng thiết lập các hệ thống giám sát lũ lụt toàn cầu. Trên cơ sở đó, một vài hệ thống giám sát lũ toàn cầu đã được vận hành như hệ thống GFMS [26], GFM [27] tuy nhiên, mức độ phù hợp của hệ thống giám sát lũ toàn cầu vẫn chưa được hiểu rõ.

GFMS là hệ thống giám sát lũ lụt toàn cầu gần thời gian thực dựa trên vệ tinh (<http://flood.umd.edu>). Trong hệ thống này, mô hình thủy văn VIC được tích hợp để tính toán dòng chảy. Đầu vào quan trọng cho hệ thống là mưa đa vệ tinh TRMM của NASA (TMPA; [3, 28]). Mô hình VIC đã được áp dụng thành công trong nhiều nghiên cứu về thủy văn và quản lý tài nguyên nước, bao gồm cả lũ lụt, đặc biệt ở các khu vực miền núi [5, 29–31]. Vì thế mục tiêu của nghiên cứu này là đưa ra những đánh giá ban đầu về hoạt động của hệ thống GFMS trong ước tính mưa và dự báo lũ lụt đối với khu vực có địa hình phức tạp như Hà Tĩnh, miền Trung Việt Nam. Do hiệu quả của hệ thống GFMS khác nhau theo từng khu vực và đặc điểm khí hậu thủy văn, do đó nghiên cứu này sẽ góp phần cung cấp thông tin hữu ích về các điểm mạnh và hạn chế của hệ thống GFMS hiện tại cho khu vực thường xuyên chịu ảnh hưởng của lũ lụt, hướng đến cải thiện độ chính xác cho hệ thống GFMS trong tương lai.

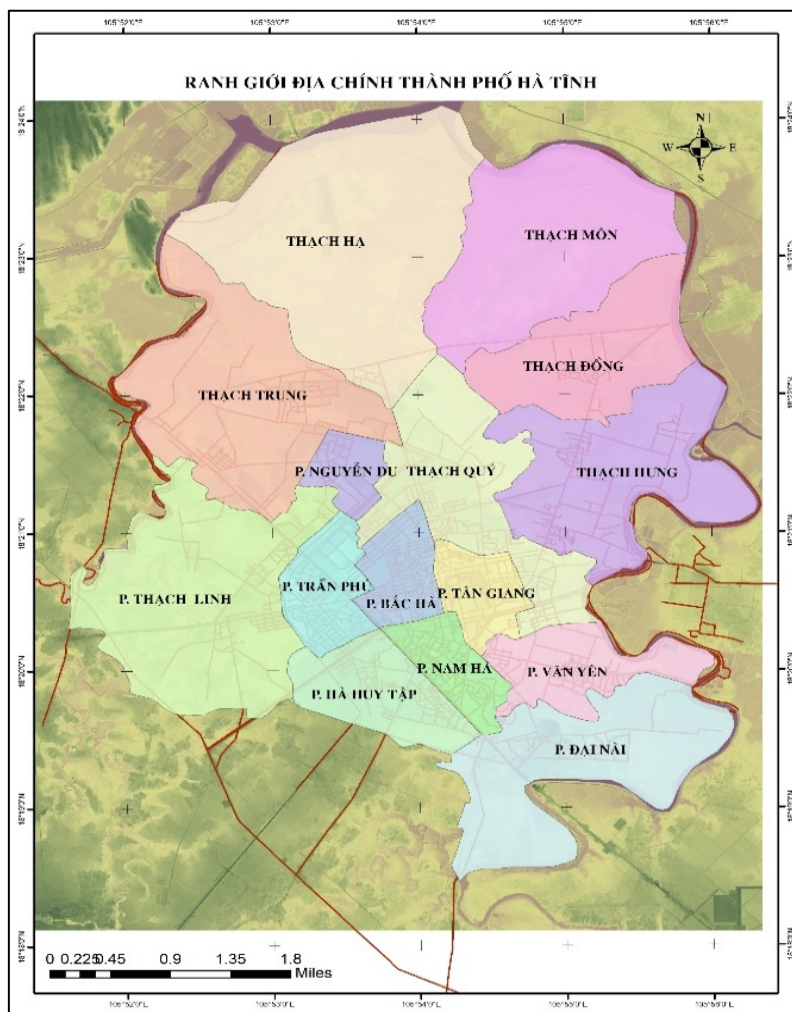
## 2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu thu thập

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Hà Tĩnh thuộc vùng đồng bằng ven biển miền Trung, nơi có mạng lưới sông ngắn và dốc. Nằm trong vùng có lượng mưa khá phong phú, trung bình năm đạt từ 2.300–3.200 mm (Hình 1). Lưu vực không có trạm quan trắc lưu lượng nhưng có hệ thống trạm quan trắc mưa do đó phù hợp để thực hiện đánh giá ban đầu về hoạt động của hệ thống giám sát lũ lụt toàn cầu.

Với những đặc điểm về vị trí địa lý, Hà Tĩnh là nơi thường xuyên chịu ảnh hưởng của bão và áp thấp nhiệt đới. Lượng mưa ngày, 3 ngày, và 5 ngày lớn nhất tại Hà Tĩnh có xu thế tăng đáng kể. Lượng mưa ngày lớn nhất đạt 455,6mm (năm 2010), lượng mưa 3 ngày lớn nhất vượt 870 mm (năm 2016), và lượng mưa 5 ngày lớn nhất đạt trên 930 mm (năm 2016).

Đợt mưa lớn ngày 13–16/10/2016 đã khiến toàn Hà Tĩnh ngập sâu. Mức ngập đã lên đến 0,4 m chỉ sau 1 giờ mưa lớn, có những nơi ngập gần 1m. Năm 2020, đợt mưa lượn từ 22h ngày 18/10 tới 4h ngày 19/10, lượng mưa trong 6h đã lên đến 110–170 mm. Độ sâu ngập từ 0,3 – 0,7 m trên toàn thành phố [32].



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

### 2.2. Dữ liệu mưa

Mưa quan trắc: Số liệu mưa ngày tại trạm Hà Tĩnh được thu thập từ Trung tâm dữ liệu, Viện Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu. Dữ liệu quan trắc tại trạm Hà Tĩnh được sử dụng để đánh giá khả năng ước tính mưa từ hệ thống GFMS.

Mưa hệ thống GFMS: Dữ liệu phân tích mưa đa vệ tinh (TMPA) TRMM [3, 28] cung cấp ước tính mưa thông qua tổng hợp và hiệu chỉnh thông tin từ nhiều vệ tinh cũng như các trạm đo mưa thu thập 3 giờ một lần, độ phân giải  $0,25 \times 0,25$  trong dải vĩ độ  $50^\circ N - 50^\circ S$ .

### 2.3. Dữ liệu lũ

Thành phố Hà Tĩnh không có trạm đo lưu lượng, chỉ có trạm đo mực nước vì vậy không có số liệu lưu lượng quan trắc. Vì thế, để đánh giá dòng chảy dự báo từ hệ thống GFMS, lưu lượng tính toán từ mô hình NAM được sử dụng. Nghiên cứu đã kế thừa bộ mô hình NAM đã được hiệu chỉnh, kiểm định và đồng hiệu chỉnh, kiểm định kết hợp với mô hình MIKE 11 từ dự án Tư vấn kỹ thuật về mô hình thủy văn/thủy lực lưu vực sông Rào Cái do Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam thực hiện [33].

Hai trận lũ lớn 9/2019, và 9/2020 thu thập được từ Urenco Hà Tĩnh thể hiện độ sâu ngập thực đo tại một số vị trí điển hình (Bảng 1, 2). Tất nhiên, dữ liệu Urenco [34] có những hạn chế nhất định. Thời điểm và vị trí chính xác của lũ lụt có thể không được biết chính xác. Nghiên cứu kỳ vọng hai sự kiện lũ lụt cực đoan này được thể hiện khá tốt trong dữ liệu thu thập được và việc so sánh hai tập dữ liệu là có độ tin cậy nhất định.

**Bảng 1.** Độ sâu ngập thực đo theo vết lũ trận ngập 5/9/2019 [34].

TT	Vị trí	Giờ kiểm tra	Độ sâu ngập (m)
1	Khu Sông Đà		
	Đường Hà Tông Trình giao Lê Duẩn (phía bắc)	6h00	0,27
	Đường Dương Trí Trạch giao Lê Quảng Chí	6h00	0,07
2	Đường Lê Duẩn		
	Giao Lê Quảng Chí	6h00	0,10
	Giáp Hà Tông Trình	6h00	0,38
	Giao Vũ Quang	6h00	0,20
	Đổi diện Hà Tông Trình	6h00	0,45
3	Đường Lê Ninh		
	Giao Hải Thượng Lãn Ông	6h00	0,58
4	Đường Xô Viết Nghệ Tĩnh		
	Giáp đường Lê Ninh		0,11
5	Đường Nguyễn Du		
	Giao với Nguyễn Công Trứ (Phía nam)	6h00	0,22
	Giao với Nguyễn Công Trứ (Phía bắc)	6h00	0,24
	Giao đường Trần Phú	6h00	0,29
	Giao đường Lê Ninh	6h00	0,43

**Bảng 2.** Độ sâu ngập thực đo theo vết lũ trận ngập 18/9/2020 [34].

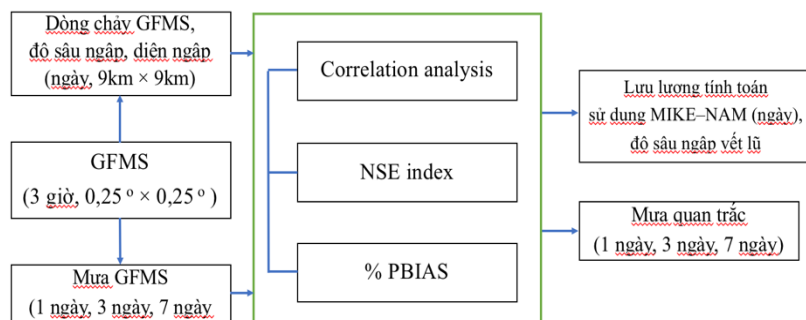
TT	Vị trí	Độ sâu ngập thực đo (m)
	Đường Nguyễn Công Trứ	
1	Giao Nguyễn Du 1	0,48
2	Giao Nguyễn Du 2	0,48
3	Giao đường Trung Tiết	0,12
4	Giao HTLO	0,24
5	Điểm kiểm tra mực nước: Trường Lê Bình	0,35
6	Điểm kiểm tra mực nước: Số nhà 83	0,25
	Đường Nguyễn Du	
7	Mương giáp 1A	0,44
8	Giao 1 Lê Ninh	0,53
9	Giao 2 Lê Ninh	0,53
10	Giao NCT 1	0,48
11	Giao NCT 2	0,48
	Đường Hải Thượng Lãn Ông	
12	Mương giáp 1A	0,24
13	Giao 1 Lê Ninh	0,26
14	Giao 2 Lê Ninh	0,26
15	Giáp Nguyễn Công Trứ phía đông	0,24
	Đường Lê Ninh	
16	Giao HTLO	0,39
17	Giao Nguyễn Du	0,41
18	Giao Huy Cận	0,07
19	Giao XVNT (Nam)	0,28



TT	Vị trí	Độ sâu ngập thực đo (m)
20	Giao XVNT (Bắc) Đường Xô Viết Nghệ Tĩnh	0,29
21	Giao Nguyễn Huy Tự 1	0,46
22	Giao Nguyễn Huy Tự 2	0,46
23	Giao Nguyễn Công Trứ Đường Lê Duẩn	0,44
24	giao Nguyễn hằng chi 1	0,20
25	giao Nguyễn hằng chi 2	0,20
26	Giao Lê Quảng Chí 1	0,34
27	Giao Lê Quảng Chí 2	0,34
28	Đầu ngõ 03	0,44
29	Đầu ngõ 03	0,44
30	Giao Hà Tông Trình 1	0,42
31	Giao Hà Tông Trình 2	0,42
32	Giao Vũ Quang Khu Sông Đà	0,31
33	Cuối đường Lê Quảng Chí	0,39
34	Cột đèn 15C Hà Tông Trình Đường Nguyễn Thị Minh Khai	0,3
35	Giáp Trần Phú	0,28
36	Giao mương ADB Đường Phan Đình Phùng	0,46
37	Giao Nguyễn Công Trứ	0,30
38	Giao Phan Đình Giót Đường Nguyễn Chí Thanh	0,30
39	Giao Phan Đình Phùng	0,20

2.4. Phương pháp nghiên cứu

Để đánh giá hoạt động của hệ thống GFMS trong khả năng phát hiện các sự kiện mưa lũ và tính toán dòng chảy, nghiên cứu đã thực hiện: (1) đánh giá khả năng ước tính mưa từ hai đợt mưa 9/2019 và 9/2020 của hệ thống GFMS so với mưa quan trắc; (2) đánh giá khả năng mô phỏng dòng chảy của mô hình hệ thống thông qua số liệu đợt lũ tháng 9/2020 từ mô hình MIKE-NAM cho khu vực Hà Tĩnh và số liệu vết lũ thu thập được từ URESO Hà Tĩnh theo các chỉ số thống kê (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ đánh giá hệ thống GFMS.

Việc đánh giá mức độ chính xác lượng mưa TMPA so với mưa quan trắc là cần thiết vì sai số mưa TMPA sẽ chuyển trực tiếp vào đầu ra của mô hình thủy văn. Hai đợt mưa lớn tháng 9 năm 2019 và tháng 9 năm 2020 được lựa chọn dựa trên tính sẵn có của dữ liệu. Các dữ liệu được tổng hợp theo bước thời gian ngày, 3 ngày và 7 ngày. Các chỉ số thống kê định lượng bao gồm hệ số tương quan ( $R^2$ ), độ chệch phần trăm (% PBias) và chỉ tiêu Nash (NSE) được sử dụng.

Hệ số tương quan bao giờ cũng dương và nằm trong phạm vi từ 0 đến 1. Giá trị  $R^2$  lớn hay nhỏ thể hiện quan hệ giữa dự báo và thực đo. Các tính chất của hệ số tương quan  $R^2$ :

- + Nếu  $R^2 = 0$  thì không có tương quan tuyến tính.
- + Nếu  $R^2$  càng gần đến 1 tương quan càng chặt
- + Nếu  $R^2 = 1$  tương quan hoàn hảo.

Chỉ tiêu NSE:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y'_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \tag{1}$$

Trong đó  $Y_i$  là giá trị thực đo;  $\bar{Y}_i$  là giá trị trung bình của số liệu thực đo;  $Y'_i$  là giá trị tính toán.

Chỉ tiêu PBIAS: cho biết số liệu dự báo là lớn hơn hay nhỏ hơn so với số liệu quan trắc. Chỉ tiêu này chỉ sử dụng trong đánh giá dòng chảy.

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y'_i) \times 100}{\sum_{i=1}^n Y_i} \tag{2}$$

Trong đó  $Y_i$  là giá trị thực đo;  $Y'_i$  là giá trị dự báo, tính toán; Khoảng giá trị:  $-\infty \rightarrow +\infty$ .

**Bảng 3.** Chỉ tiêu thống kê đánh giá mức độ tin cậy [21].

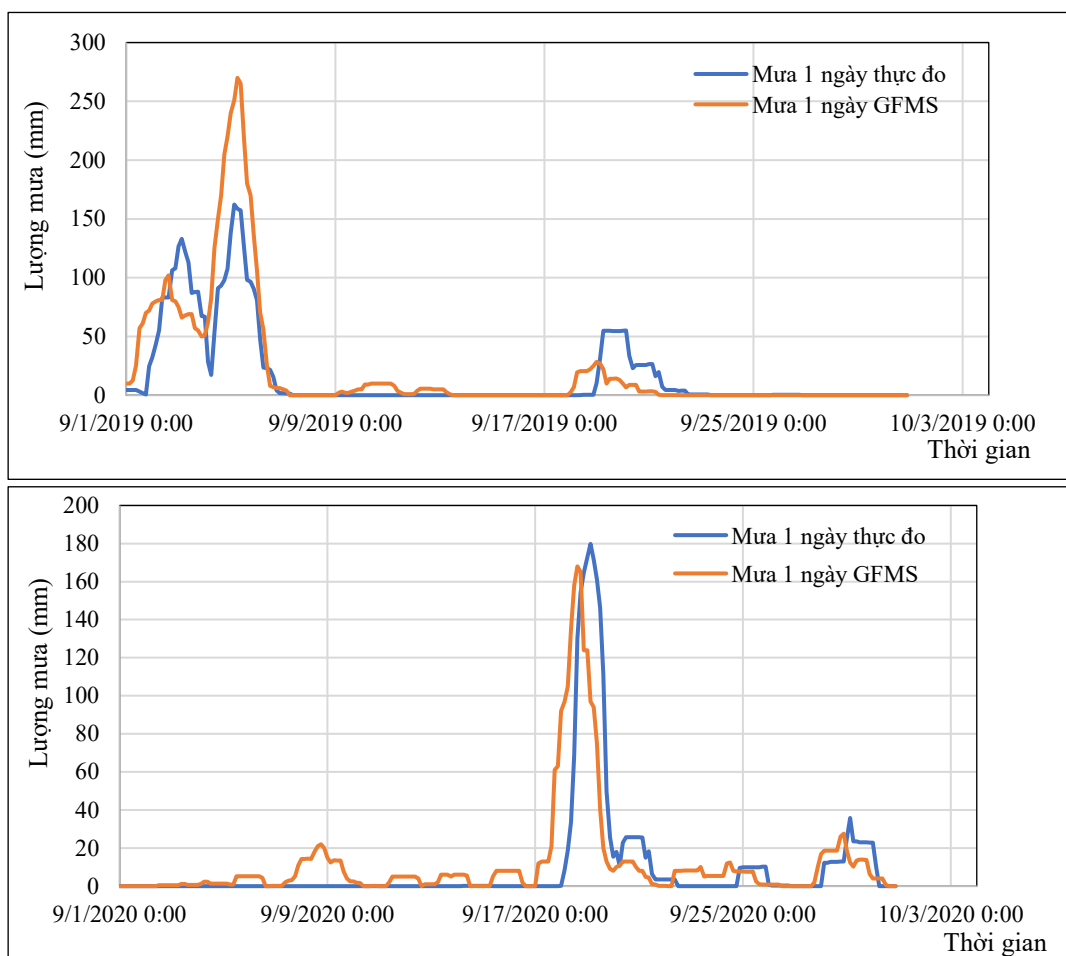
Mức độ	NSE và $R^2$	PBIAS (%)
Rất tốt	$0,75 < NSE \ \& \ R^2 \leq 1$	$PBIAS < \pm 10$
Tốt	$0,65 < NSE \ \& \ R^2 \leq 0,75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$
Đạt	$0,5 < NSE \ \& \ R^2 \leq 0,65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$
Không đạt	$NSE \ \& \ R^2 \leq 0,5$	$PBIAS \geq \pm 25$

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Đánh giá khả năng ước tính mưa

Sự xuất hiện và cường độ mưa theo ngày ở khu vực Hà Tĩnh từ hệ thống GFMS được đánh giá so với mưa quan trắc. Mưa ngày được xác định theo mưa trung bình khu vực nghiên cứu.

Biểu đồ mưa ngày GFMS và mưa quan trắc ở khu vực Hà Tĩnh tương ứng với 2 trận mưa 9/2019 và 9/2020 được thể hiện trên Hình 3a–3b. Hình 3a cho thấy rằng TMPA ước tính thiên cao lượng mưa từ 30% đến 60%, tương đương khoảng 107,2 mm so với mưa quan trắc với trận mưa có cường độ vừa (khoảng 150 mm/ngày), chỉ số Nash chỉ đạt 43% nhưng hệ số tương quan tương đối tốt, đạt 0,74. Tương quan tương đối cao cho thấy sự phù hợp tốt về thời gian của TMPA và các trận mưa quan trắc.



**Hình 3.** Biểu đồ so sánh quá trình mưa ngày thực đo và mưa ngày từ GFMS (a) trận mưa tháng 9/2019 (b) trận mưa tháng 9/2020.

Với trận mưa cường độ lớn (khoảng 200 mm/ngày), TMPA cho thấy độ chênh lệch chỉ khoảng 10%, ước tính lượng mưa TMPA thiên thấp so với quan trắc. Mưa thực đo cao hơn đỉnh mưa từ GFMS khoảng 11.8 mm với hệ số Nash đạt 51%, hệ số tương quan  $R^2$  là 0,53 (Bảng 4). Trận mưa 2020 cho thấy tương quan thời gian không tốt giữa các sự kiện mưa TMPA so với quan trắc.

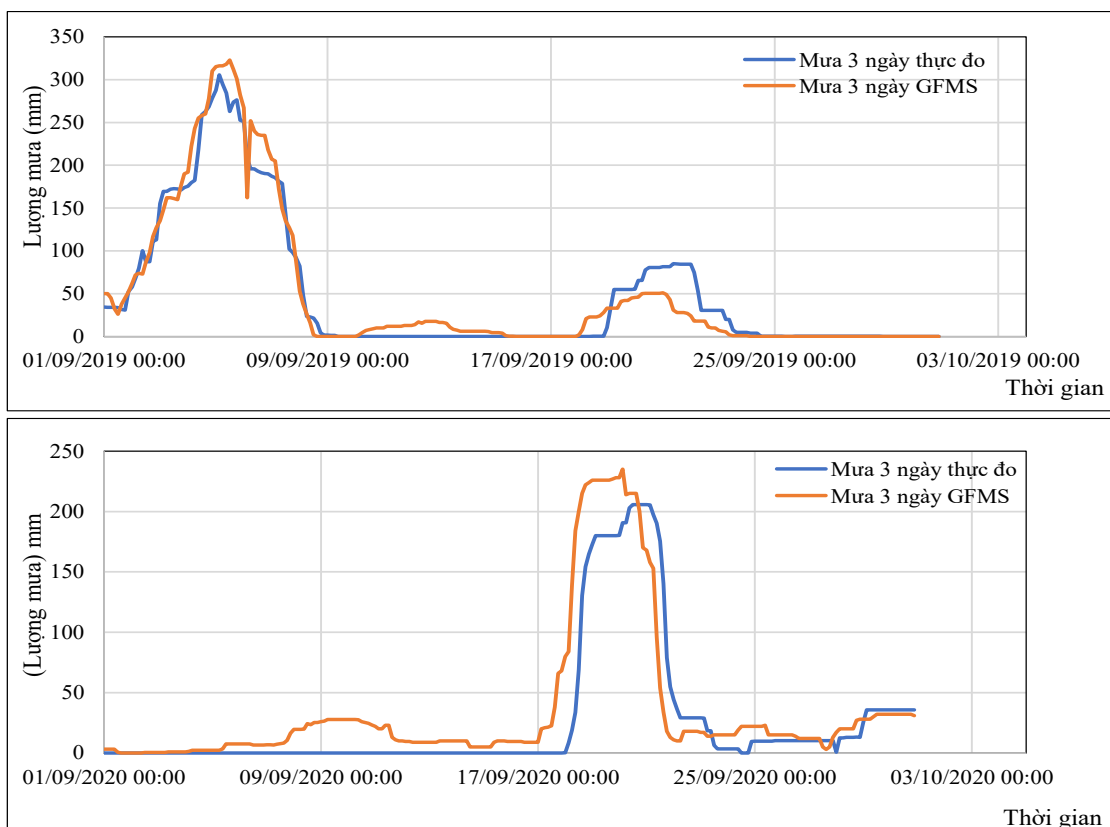
Trong hình 3a–3b, cho thấy sự chênh lệch, tính theo giờ, giữa thời gian đỉnh mưa từ hệ thống GFMS và thực đo. Đỉnh mưa hệ thống GFMS xuất hiện sớm hơn đỉnh mưa thực đo 3 tiếng.

Có thể thấy, đối với trận mưa có cường độ nhỏ, TMPA có xu thế thiên cao (lên đến 60% chênh lệch), do đó sẽ có khả năng dẫn đến ước tính lượng dòng chảy mô phỏng theo GFMS cao hơn. Kết quả này cho thấy ước tính mưa TMPA vừa thiên thấp, nhưng cũng thiên cao so với mưa quan trắc tùy theo cường độ mưa. Hơn nữa, sản phẩm TMPA có xu thế ghi lại dấu vết các sự kiện mưa cục bộ, lượng mưa nhỏ mà không được ghi lại trong chuỗi dữ liệu quan trắc. Xu thế này cũng tương đồng với kết quả của nghiên cứu trước [35]. [35] kết luận rằng TMPA đánh giá quá cao lượng mưa trên lưu vực Flint.

**Bảng 4.** Kết quả chỉ tiêu thống kê với mưa 1 ngày.

Chỉ tiêu	Năm 2019	Năm 2020
Nash (NSE)	0,43	0,51
$R^2$	0,74	0,53





**Hình 4.** Quá trình mưa 3 ngày thực đo và mưa 3 ngày từ GFMS (a) trận mưa tháng 9/2019 (b) tháng 9/2020.

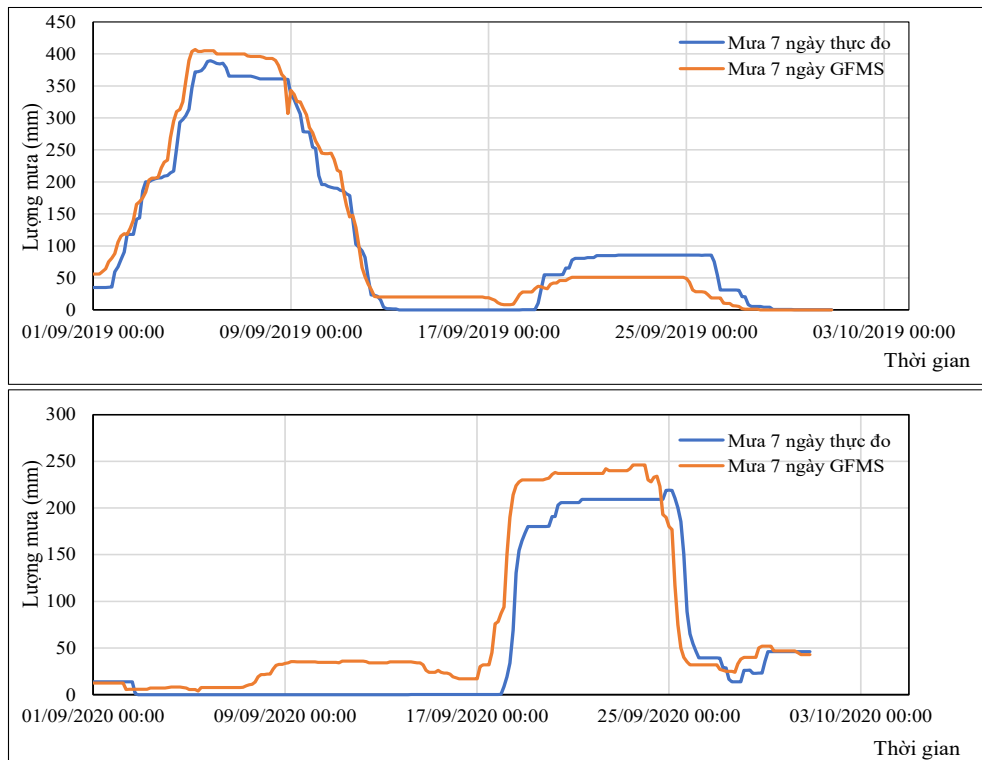
Biểu đồ hình 4 cho thấy tính phù hợp tốt giữa TMPA và mưa quan trắc tăng lên khi bước thời gian tăng từ mưa ngày lên mưa 3 ngày. Đường quá trình mưa TMPA và thực đo khá tương đồng về hình dạng, giá trị đỉnh mưa chênh lệch không đáng kể, mặc dù ước tính thiên thấp với lượng mưa dưới 100 mm (Hình 3a). Tương quan giữa TMPA và mưa quan trắc đạt 0,95 và 0,81 tương ứng với trận 2019 và 2020. Giá trị tương quan tăng lên đáng kể; đồng thời chỉ số Nash cũng tăng lên đạt 0,94 và 0,74 tương ứng (Bảng 5).

Những kết quả này có thể do ước tính lượng mưa từ vệ tinh dựa trên một ảnh chụp nhanh duy nhất trong khoảng 3 giờ, và do đó có khả năng ảnh vệ tinh đã bỏ sót đỉnh mưa; trong khi mưa quan trắc là tổng lượng mưa liên tục trong khoảng thời gian 3 giờ. Đối với các sự kiện mưa lớn, quan trắc và TMPA cho kết quả tương đồng tốt về sự xuất hiện của các sự kiện với sai số tương đối nhỏ. Kết quả này cũng đã được khẳng định trong nghiên cứu [36]. Phân tích trên chỉ ra rằng cường độ mưa là yếu tố quan trọng, ảnh hưởng đến độ chính xác của hệ thống GFMS trong ước tính mưa phục vụ dự báo lũ lụt.

**Bảng 5.** Kết quả các chỉ tiêu thống kê với mưa 3 ngày.

Chỉ tiêu	Năm 2019	Năm 2020
Nash (NSE)	0,94	0,74
R <sup>2</sup>	0,95	0,81

Hình 5 thể hiện biểu đồ lượng mưa 7 ngày của hệ thống GFMS và mưa quan trắc. Giá trị tương quan và chỉ số Nash đều cao hơn cho thấy khả năng xác định lượng mưa của hệ thống GFMS càng tốt với mưa có bước thời gian càng dài (Bảng 6). Kết quả cho thấy khả năng xác định của hệ thống cũng tốt hơn đối với mưa cường độ nhỏ (khoảng 50 mm). Kết quả này cũng phù hợp với các nghiên cứu về hệ thống GFMS trên thế giới [36–37].



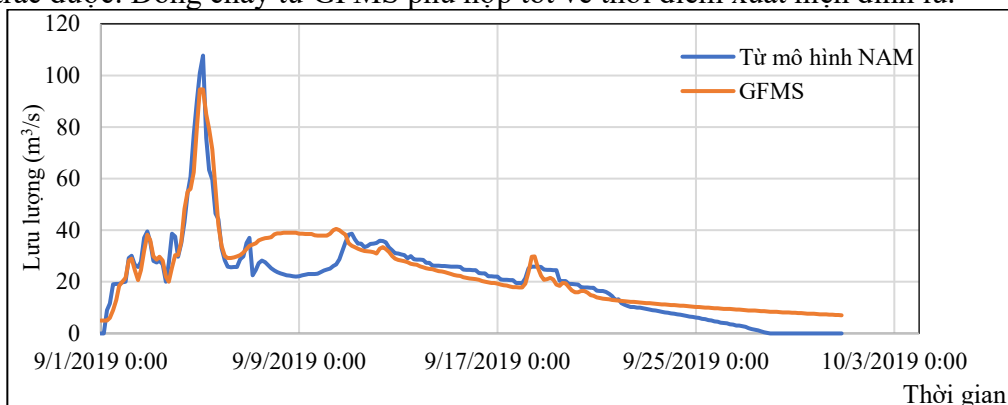
Hình 5. Quá trình mưa 7 ngày thực đo và mưa 7 ngày từ GFMS (a) trận mưa tháng 9/2019 (b) tháng 9/2020.

Bảng 6. Kết quả các chỉ tiêu thống kê đối với mưa 7 ngày.

Chỉ tiêu	Năm 2019	Năm 2020
Nash (NSE)	0.96	0.81
R <sup>2</sup>	0.96	0.88

### 3.2. Đánh giá khả năng tính toán dòng chảy

Khả năng dự báo lũ lụt của GFMS được đánh giá so với lưu lượng tính toán từ mô hình MIKE-NAM và số liệu điều tra vết lũ sử dụng các chỉ số thống kê. Hình 6 cho thấy đường quá trình dòng chảy từ hệ thống GFMS phù hợp tốt với kết quả mô hình NAM. Các chỉ số thống kê đều cho kết quả khá tốt (Bảng 7). Chỉ số thống kê PBias cho thấy rằng GFMS đánh giá thấp dòng chảy khoảng 11% so với mô hình NAM. Giá trị tương quan và hệ số Nash đều cao, trên 0.8 cho thấy dòng chảy từ hệ thống GFMS rất phù hợp với dòng chảy tính toán từ mô hình NAM. Có thể thấy rằng dòng chảy được mô phỏng tương đối tốt theo các đợt mưa quan trắc được. Dòng chảy từ GFMS phù hợp tốt về thời điểm xuất hiện đỉnh lũ.



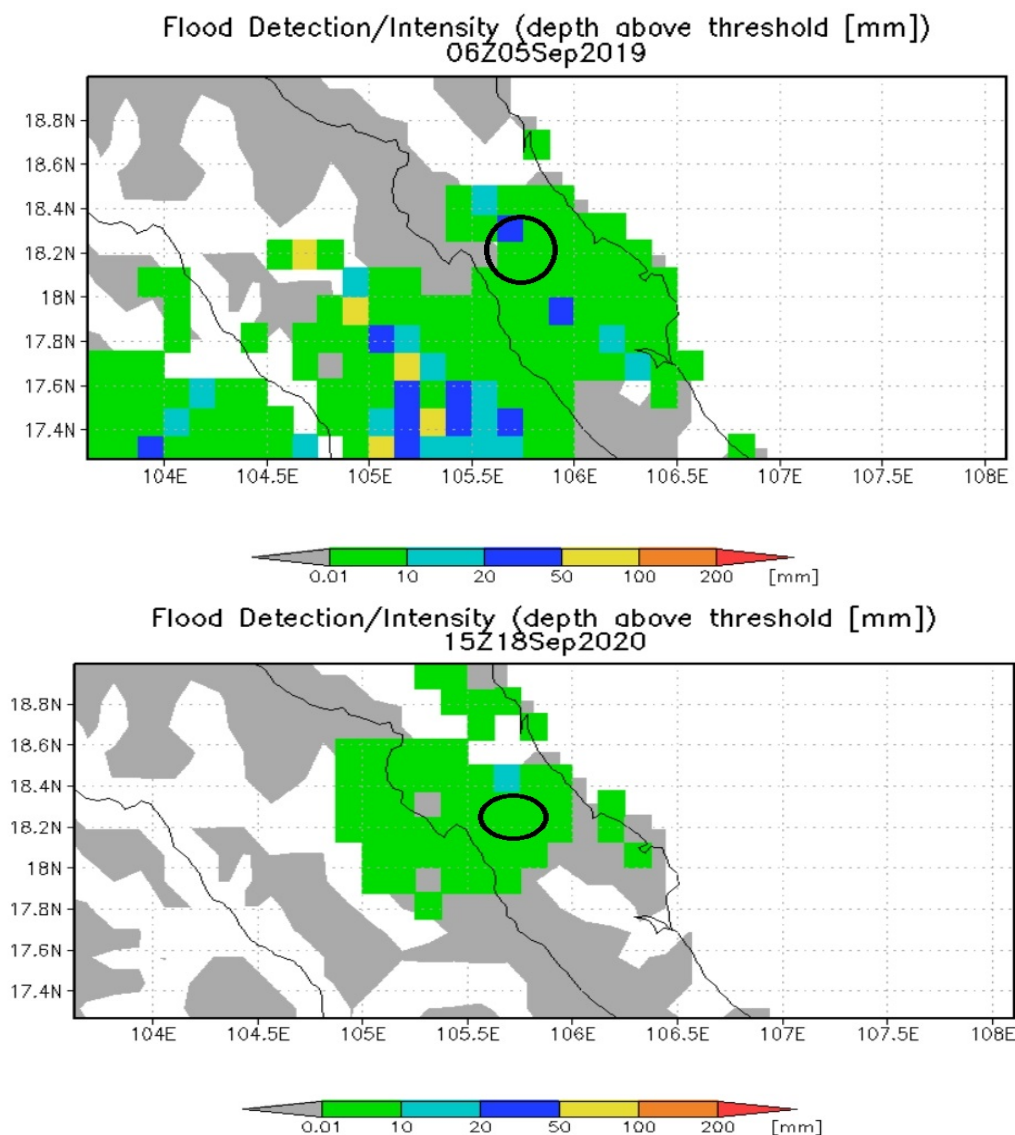
Hình 6. Lưu lượng tính toán sử dụng mô hình NAM và GFMS đợt lũ tháng 9/2019.

**Bảng 7.** Kết quả các chỉ tiêu thống kê so sánh dòng chảy từ mô hình NAM và từ hệ thống GFMS.

Chỉ tiêu	Nash	R <sup>2</sup>	PBIAS	Chênh lệch đỉnh lũ (m <sup>3</sup> /s)
Năm 2019	0,83	0,85	-11.1	13.1

Tuy nhiên, lưu lượng đỉnh quan sát được xuất hiện vài giờ sau khi xuất hiện đỉnh mưa. Trong khi đỉnh dòng chảy theo GFMS xảy ra vào cùng thời điểm xuất hiện đỉnh mưa. Kết quả này có khả năng do ảnh hưởng của mạng lưới sông khi tính toán cho lưu vực nhỏ, thời gian chảy truyền ngắn, thành phần dòng chảy cơ sở nhỏ.

Hình 7 thể hiện phân bố độ sâu ngập theo không gian của đợt ngập lụt 5/9/2019. Điểm đánh dấu tròn trong hình 7 thể hiện vùng ngập theo mô hình GFMS.



**Hình 7.** Kết quả dự báo ngập lụt từ hệ thống GFMS vào lúc (a) 6h ngày 5/9/2019 (b) 15h ngày 18/9/2020.

Độ sâu ngập tính toán theo GFMS cho khu vực thành phố Hà Tĩnh biến đổi trong khoảng 0,01–50 mm, giá trị này khá thấp so với thực đo, mức độ chênh lệch lớn. Theo bảng số liệu độ sâu ngập thực đo vào lúc 6h ngày 5/9/2019 (Bảng 1) thì có thể thấy thành phố Hà Tĩnh ngập tại nhiều vị trí, độ sâu ngập từ 0,07–0,58 m. Đợt ngập lụt 18/9/2020 cũng cho kết quả tương tự, theo GFMS đợt mưa lũ này gây ngập toàn thành phố, tuy nhiên độ sâu ngập dao động trong khoảng 0,01–20 mm, độ sâu ngập thấp hơn đáng kể so với thực đo, mức độ chênh lệch



lớn. Theo bảng số liệu độ sâu ngập thực đo vào 18/9/2020 thì có thể thấy thành phố Hà Tĩnh ngập tại nhiều vị trí, độ sâu ngập từ 0,07–0,53 m (Bảng 2). Như vậy GFMS có khả năng xác định được ngập lụt xuất hiện ở thành phố Hà Tĩnh, mặc dù có xu thế thiên thấp.

Những hạn chế trong mô phỏng lũ lụt được mô tả ở trên có thể là do mô hình thủy văn được sử dụng cũng như ước tính lượng mưa dựa trên TMPA. Thứ nhất, độ phân giải thô của nó không đủ để thể hiện yếu tố địa hình phức tạp và cơ chế hình thành dòng chảy của khu vực nhỏ. Thứ hai, vì hiệu chỉnh sản phẩm mưa TMPA được thực hiện theo bước thời gian tháng, nên có khả năng với những trận mưa lớn, thường xuyên theo bước thời gian 3 giờ bị giảm xuống. Do đó, sản phẩm TMPA có khả năng cung cấp mưa thiên thấp cho mô hình thủy văn.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu này đưa ra đánh giá ban đầu về hệ thống giám sát lũ lụt toàn cầu gần thời gian thực dựa trên sản phẩm mưa vệ tinh (GFMS) được phát triển bởi [26] và hoạt động tại <http://flood.umd.edu>. Mục tiêu đầu tiên của nghiên cứu là đánh giá khả năng ước tính lượng mưa vệ tinh dựa trên TMPA (đầu vào quan trọng của hệ thống) so với số liệu quan trắc. Đánh giá định lượng sản phẩm TMPA cho khu vực Hà Tĩnh cho thấy lượng mưa TMPA có tương quan tốt (nói chung là hệ số tương quan khoảng 0,8) so với mưa quan trắc, chỉ số Nash cũng tương đối tốt (khoảng 0,8), mặc dù ước tính lượng mưa dựa trên TMPA có thể dẫn đến một số sự kiện mưa bị sai, đặc biệt là mưa cường độ nhỏ. Việc tăng quy mô về thời gian cho thấy tăng hiệu quả tính toán của hệ thống GFMS, cho thấy rằng sản phẩm TMPA có triển vọng trong dự báo mưa quy mô dài cho các lưu vực nhỏ.

Mục tiêu thứ hai là xem xét khả năng dự báo dòng chảy của GFMS so với lưu lượng tính toán từ mô hình thủy văn MIKE–NAM và dữ liệu vết lũ thu thập được tại thành phố Hà Tĩnh. Phân tích ở quy mô lưu vực nhỏ cho thấy GFMS có khả năng tính toán lưu lượng do các đợt mưa lớn tạo ra với giá trị tương quan cao (trên 0,9), độ chênh lệch cũng tương đối nhỏ (giá trị PBIAS chỉ khoảng 10%); tuy nhiên, hiệu suất mô phỏng độ sâu ngập lụt bị thiên thấp so với thực tế. Có thể thấy rằng hệ thống giám sát lũ lụt toàn cầu được điều khiển bởi lượng mưa vệ tinh đã đi kèm với sai số cộng thêm mô hình thủy văn là tổng hợp sai số do cấu trúc mô hình và các sai số trong ước tính lượng mưa.

Nghiên cứu này chỉ mới dừng lại ở đánh giá với vài trận mưa và ngập lụt thu thập được. Việc thực hiện thêm đánh giá hoạt động của hệ thống GFMS dựa trên số lượng lớn các đợt mưa lũ với các cường độ khác nhau là cần thiết để tăng độ tin cậy cho các đánh giá về hoạt động của hệ thống GFMS. Mặc dù nghiên cứu này còn nhiều hạn chế, đặc biệt là hạn chế về dữ liệu quan trắc theo không gian và thời gian sử dụng trong đánh giá mô hình, nhưng kết quả nghiên cứu này đã cung cấp thông tin ban đầu về tiềm năng của hệ thống GFMS, tạo tiền đề cho các nghiên cứu sâu hơn. Hơn nữa, khả năng của hệ thống GFMS thay đổi theo đặc điểm khí tượng thủy văn, vì thế việc mở rộng cho các lưu vực khác nằm trong các vùng khí hậu thủy văn khác nhau sẽ cung cấp thêm thông tin cho các nghiên cứu sâu hơn, góp phần cải thiện hệ thống GFMS trong tương lai.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng, lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.Y.N.; Tất cả các thành viên đều tham gia vào quá trình tính toán, viết và chỉnh sửa bản thảo.

**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. World Disasters Report. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, 2012, pp. 260–281.
2. Joyce, R.J.; Janowiak, J.E.; Arkin, P.A.; Xie, P. CMORPH: a method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydrometeorol.* 2004, 5, 487–503.

3. Huffman, G.J.; Adler, R.F.; Bolvin, D.T.; Gu, G.J.; Nelkin, E.J.; Bowman, K.P.; Hong, Y.; Stocker, E.F.; Wolff, D.B. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined sensor precipitation estimates at fine scales. *J. Hydrometeorol.* **2007**, *8*, 38–55.
4. Yong B.; Liu, D.; Gourley, J.J.; Tian, Y.; Huffman, G.J.; Ren, L.; Hong, Y. Global View Of Real-Time Trmm Multisatellite Precipitation Analysis: Implications For Its Successor Global Precipitation Measurement Mission. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2015**, *96(2)*, 283–296.
5. Wu, H.; Adler R.F.; Hong, Y.; Tian, Y.; Policelli, F. Evaluation of global flood detection using satellite-based rainfall and a hydrologic model. *J. Hydrometeorol.* **2012**, *13*, 1268–1284. doi:10.1175/JHM-D-11-087.1.
6. Awange, J.L.; Ferreira, V.G.; Forootan, E.; Andam-Akorful, S.A.; Agutu, N.O.; He, X.F. Uncertainties in remotely sensed precipitation data over Africa. *Int. J. Climatol.* **2016**, *36(1)*, 303–323.
7. Negrón Juárez, R.I.; Li, W.; Fu, R.; Fernandes, K.; de Oliveira Cardoso, A. Comparison of Precipitation Datasets over the Tropical South American and African Continents. *J. Hydrometeorol.* **2009**, *10(1)* 289–299.
8. Prakash, S.; Mitra, A.K.; Rajagopal, E.N.; Pai, D. S. Assessment of TRMM-based TMPA-3B42 and GSMaP precipitation products over India for the peak southwest monsoon season. *Int. J. Climatol.* **2016**, *36(4)*, 1614–1631.
9. Guo, H.; Chen, S.; Bao, A.; Hu, J.; Gebregiorgis, A.S.; Xue, X.; Zhang, X. Inter-comparison of high-resolution satellite precipitation products over Central Asia. *Remote Sens.* **2015**, *7(6)*, 7181–7211.
10. Duan, Z.; Bastiaanssen, W.G.M. First results from Version 7 TRMM 3B43 precipitation product in combination with a new downscaling–calibration procedure. *Remote Sens. Environ.* **2013**, *131*, 1–13.
11. Tuo, Y.; Duan, Z.; Disse, M.; Chiogna G. Evaluation of precipitation input for SWAT modeling in Alpine catchment: A case study in the Adige river basin (Italy). *Sci. Total Environ.* **2016**, *573*, 66–82.
12. Krakauer, N.Y.; Pradhanang, S.M.; Lakhankar, T.; Jha, A.K. Evaluating satellite products for precipitation estimation in mountain regions: A case study for Nepal. *Remote Sens.* **2013**, *5(8)*, 4107–4123.
13. Wang, W.; Lu, H.; Yang, D.; Sothea, K.; Jiao, B.; Peng, X.; Pang, Z. Modelling hydrologic processes in the Mekong River basin using a distributed model driven by satellite precipitation and rain gauge observations. *PLoS ONE.* **2016**, *11(3)*, 1–19.
14. Ren, P.; Li, J.; Feng, P.; Guo, Y.; Ma, Q. Evaluation of Multiple Satellite Precipitation Products and Their Use in Hydrological Modelling over the Luanhe River Basin, China. *Water* **2018**, *10(6)*, 677.
15. Sơn, N.T.; Anh, N.Q. Khai thác sử dụng số liệu mưa vệ tinh trong dự báo lũ lưu vực sông Mê Kông (từ Chiang Saen đến Strung Streng). *Tap chí Khoa học: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2015**, *31(3S)*, 222–230.
16. Kiên, N.T.; Thành, L.Đ.; Sơn, L.H. Nghiên cứu ứng dụng tính toán dự báo lũ sông Mê Công từ mưa vệ tinh SRE và TRMM. Tuyển tập Hội nghị Khoa học thường niên năm 2014. **2014**, 471–474.
17. Phương, N.A.; Hải, C.H.; Cường, T.M.; Như, T.Q.; Anh, P.N.; Linh, B.H. Nghiên cứu ứng dụng một số công nghệ viễn thám trong giám sát, dự báo tài nguyên nước. Tài liệu hội thảo khoa học chào mừng 75 năm ngày truyền thống ngành khí tượng thủy văn Việt Nam. **2020**, 107–117.
18. Kiên, N.T. Nghiên cứu ứng dụng số liệu mưa vệ tinh mô phỏng lũ khu vực trung lưu sông Mã. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, *709*, 51–62.

19. Yilmaz, K.K.; Hogue, T.S.; Hsu, K.L.; Sorooshian, S.; Gupta, H.V.; Wagener, T. Intercomparison of rain gauge, radar, and satellite-based precipitation estimates with emphasis on hydrologic forecasting. *J. Hydrometeorol.* **2005**, *6*, 497–517.
20. Harris, A.; Hossain, F. Investigating the optimal configuration of conceptual hydrologic models for satellite-rainfall-based flood prediction. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* **2008**, *5*, 532–536.
21. Kha, D.D.; Anh, T.N.; Nguyen, N.Y.; Bui, D.D.; Srinivasan, R. Evaluation of Grid-Based Rainfall Products and Water Balances over the Mekong River Basin. *Remote Sens.* **2020**, *12(11)*. <https://doi.org/10.3390/rs12111858>.
22. Shrestha, M.S.; Artan, G.A.; Bajracharya, S.R.; Sharma, R.R. Using satellite-based rainfall estimates for streamflow modelling: Bagmati Basin. *J. Flood Risk Manage.* **2020**, *1(2)*, 89–99. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2008.00011.x>.
23. Pan, M.; Li, H.; Wood E. Assessing the skill of satellite-based precipitation estimates in hydrologic applications. *Water Resour. Res.* **2010**, *46*, W09535, <https://doi.org/10.1029/2009WR008290>.
24. Su, F.G.; Gao, H.; Huffman, G.J.; Lettenmaier D.P. Potential utility of the real-time TMPA-RT precipitation estimates in streamflow prediction. *J. Hydrometeorol.* **2011**, *12(3)*, 444–455. <https://doi.org/10.1175/2010JHM1353.1>.
25. Wang, J.; Hong, Y.; Jonathan, L.L.; Gourley, J.J.; Khan, S.I.; Yilmaz, K.K.; Adler, R.F.; Policelli, F.S.; Habib, S.; Irwn, D.; Limaye, A.S.; Korme, T.; Okello, L. The coupled routing and excess storage (CREST) distributed hydrological model. *Hydrol. Sci. J.* **2011**, *56(1)*, 84–98.
26. Hong, Y.; Adler, R.F.; Hossain, F.; Curtis, S.; Huffman, G.J. A first approach to global runoff simulation using satellite rainfall estimation. *Water Resour. Res.* **2007**, *43*, W08502. <https://doi.org/10.1029/2006WR005739>.
27. de Bruijn, J.A.; de Moel, H.; Jongman, B.; de Ruiter, M.C.; Wagemaker, J.; Aerts, J.C.J.H. A global database of historic and real-time flood events based on social media. *Sci Data.* **2019**, *6*, 311. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0326-9>.
28. Huffman, G.J.; Adler, R.F.; Bolvin, D.T.; Nelkin, E.J. The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA). *Satellite Applications for Surface Hydrology*, F. Hossain and M. Gebremichael (Eds), (Berlin: Springer Verlag). **2010**, 3–22. ISBN: 978-90-481-2914-0.
29. Elsner, M.M.; Cuo, L.; Voisin, N.; Deems, J.; Hamlet, A.F.; Vano, J.A.; Mickelson, K.E.B.; Lee, S.Y.; Lettenmaier D.P. Implications of 21st century climate change for the hydrology of Washington State. *Clim. Change.* **2010**, *102(1–2)*, 225–260, <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9855-0>.
30. Voisin, N.; Pappenberger, F.; Lettenmaier, D.P.; Buizza, R.; Schaake J.C. Application of a medium-range global hydrologic probabilistic forecast scheme to the Ohio River basin. *Weather Forecasting.* **2011**, *26*, 425–446.
31. Christensen, N.; Lettenmaier D.P. A multimodel ensemble approach to assessment of climate change impacts on the hydrology and water resources of the Colorado River basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2007**, *11*, 1417–1434.
32. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu. Báo cáo kết quả dự án Tư vấn kỹ thuật và phân tích khí hậu hiện tại và tương lai phục vụ công tác quản lý tài nguyên nước tại Hà Tĩnh. **2016**.
33. Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam. Tư vấn kỹ thuật về mô hình thủy văn/thủy lực lưu vực sông Rào Cái và mô hình thoát nước tại thành phố Hà Tĩnh (**2015–2016**).
34. Urenco Ha Tinh. Công ty TNHH môi trường Đô thị Hà Nội (URENCO). <https://urengo.com.vn/vi/cac-don-vi-thanh-vien/>.



35. Tian, Y.; Peters–Lidard, C.D.; Choudhury, B.J.; Garcia, M. Multitemporal analysis of TRMM–based satellite precipitation products for land data assimilation applications. *J. Hydrometeorol.* **2007**, *8*, 1165–1183.
36. Yilmaz, K.K.; Adler, R.F.; Tian, Y.; Hong Y.; Pierce H.F. Evaluation of a satellite–based global flood monitoring system. *Int. J. Remote Sens.* **2010**, *31(14)*, 3763–3782.
37. Wu, H.; Adler, R.F.; Tian, Y. The Global Flood Monitoring System (GFMS). Using Satellite (and NWP Model) Rainfall and a Hydrological Model. **2014**.

## **Evaluation of the global flood monitoring system GFMS for Ha Tinh city**

**Nguyen Y Nhu<sup>1\*</sup>, Tran Nhan Nghia<sup>2</sup>, Pham Van Giang<sup>2</sup>, Ta Đàng Quốc Vu<sup>2</sup>, Nguyen Thi Lien<sup>1</sup>, Le Ha My<sup>3</sup>, Nguyen Thu Lan<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Hydrology, Meteorology and Oceanography, Hanoi University of Science, Viet Nam National University, Hanoi; nguyennhu@hus.edu.vn; liennt1@hus.edu.vn

<sup>2</sup> HCM city Water Resources Sub–department; nhanngphiahatinh@gmail.com; phamgiang.pclb@gmail.com; tadangquocvu@gmail.com

<sup>3</sup> Centre for Hydrographic and Oceanographic Research; Viet Nam Institute of Meteorology, Hydrology and Climate Change; lehamy0703@gmail.com

<sup>4</sup> Hydrometeorological Station of the Northern Delta, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; nguyelandbbb@gmail.com

**Abstract:** This study provides an initial assessment of the ability of the global flood monitoring system (GFMS) to estimate precipitation and streamflow for Ha Tinh city. The GFMS system is integrated with a VIC hydrologic model to transform TRMM Multi–satellite Precipitation Analysis (TMPA) precipitation into run–off. The results indicated that at the regional scale, TMPA and observed precipitation highly match with high correlation and Nash index (above 0.8), although it has a number of false precipitation events with low magnitude. GFMS–based run–off simulations were evaluated using simulated streamflow data from MIKE–NAM model at the outlet of Ha Tinh city. The simulated streamflow for Ha Tinh showed that the GFMS gives good results in simulating the streamflow generated by heavy precipitation with high correlation, high NSE index (both above 0.9) and low PBIAS (around 10%); however, the inundation simulation performance significantly underestimated compared with flood trace. GFMS performance suffers from region–dependent, therefore, these results provide initial information for further research to improve the GFMS system.

**Keywords:** GFMS; Satellite; Floods; Ha Tinh.

Bài báo khoa học

## Xây dựng mô hình MIKE 11 phục vụ công tác dự báo thủy văn và xâm nhập mặn tỉnh Bến Tre

Đặng Hoàng Lam<sup>1</sup>, Nguyễn Huy Phương<sup>2\*</sup>, Nguyễn Đình Đạt<sup>2</sup>, Nguyễn Tiên Giang<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Đai Khí tượng Thủy văn tỉnh Bến Tre, Đai Khí tượng Thủy văn Khu vực Nam Bộ, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Bộ Tài Nguyên và Môi trường; danghoanglam91@gmail.com

<sup>2</sup> Văn phòng Thường trực Ủy ban sông Mê Công Việt Nam, Bộ Tài nguyên và Môi trường; huyphuongmk@gmail.com

<sup>3</sup> Khoa Khí tượng, Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN; giangnt@vnu.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: huyphuongmk@gmail.com; Tel.: +84–913293995

Ban Biên tập nhận bài: 12/6/2022; Ngày phản biện xong: 23/8/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Hiện nay, phương pháp dự báo thủy văn và xâm nhập mặn tại Đai Khí tượng Thủy văn (KTTV) tỉnh Bến Tre đang sử dụng chủ yếu là thống kê kết hợp với kinh nghiệm của dự báo viên, chưa áp dụng công nghệ mới vào công tác dự báo. Trong khi đó, đã có khá nhiều các bộ mô hình thủy văn, thủy lực được thiết lập để mô phỏng, dự báo được sử dụng trong nghiệp vụ của các tổ chức chuyên ngành và trong các nghiên cứu khoa học. Một trong số đó là bộ mô hình Mike 11 thiết lập cho toàn vùng ĐBSCL do Ủy ban Sông Mê Công (UBSMC) Việt Nam xây dựng và đang chạy nghiệp vụ. Kết quả đánh giá hiệu chỉnh, kiểm định số liệu mực nước giờ (từ tháng 01 đến tháng 06 hàng năm) cho các trạm thủy văn trên các sông Hàm Luông, Cổ Chiên, sông Tiên của khu vực tỉnh Bến Tre năm 2016, kiểm định năm 2020 và 2022 bằng các chỉ số  $R^2$ , RMSE, NSE đã cho thấy mô hình này mô phỏng mực nước giờ ở mức tốt đến rất tốt cho tỉnh Bến Tre. Kết quả thu được là tài liệu tham khảo tốt cho công tác xây dựng mô hình Mike 11 dự báo chi tiết về mực nước và độ mặn của Đai Khí tượng Thủy văn (KTTV) tỉnh Bến Tre trong thời gian tới.

**Từ khóa:** Mô hình Mike 11; Chỉ số đánh giá; Mực nước; Tỉnh Bến Tre.

### 1. Đặt vấn đề

Đai KTTV tỉnh Bến Tre là đơn vị cung cấp thông tin dự báo, cảnh báo thiên tai cho Ban Chỉ huy Phòng chống Thiên tai và Tìm kiếm Cứu nạn tỉnh Bến Tre. Chất lượng dự báo, cảnh báo phục vụ phòng chống thiên tai, nhất là triều cường và xâm nhập mặn những năm gần đây của Đai KTTV tỉnh Bến Tre đã ngày càng được nâng cao. Hiện nay, phương pháp dự báo mực nước, xâm nhập mặn ở Đai KTTV tỉnh Bến Tre chủ yếu sử dụng phương pháp thống kê, tham khảo kết quả dự báo của Đai Khí tượng Thủy văn Khu vực Nam Bộ kết hợp với kinh nghiệm của dự báo viên (phương pháp tương quan và phương pháp phân tích xu thế [1]) là chính để đưa ra dự báo mực nước và xâm nhập mặn cho tỉnh. Tuy nhiên, phương pháp dự báo kinh nghiệm của dự báo viên sẽ không có tính kế thừa cho người kế cận và chưa áp dụng công nghệ mới, tiên tiến vào công tác dự báo cho phù hợp với xu thế nền công nghiệp 4.0 hiện nay.

Đề mô phỏng và dự báo dòng chảy (gồm lưu lượng, mực nước, lưu tốc), chất lượng (độ mặn, độ đục, chất ô nhiễm...) ở các sông, kênh trên các khu vực cả nước đã có nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước xây dựng bằng mô hình Mike (1D hoặc 2D hoặc kết hợp cả 1D và 2D) hoặc Mike 11 kết hợp với các công cụ và phần mềm khác (SIMCLIM, MIKE SHE, ARIMA, MIKE NAM, GIS,...) [2–22] và ngay cả kết hợp với công nghệ AI [12].

Các nghiên cứu xây dựng mô hình Mike 11 để tính toán mực nước và xâm nhập mặn cho ĐBSCL [2–12] tùy theo quy mô, đặc trưng của khu vực nghiên cứu mà các tác giả chọn quy mô mạng lưới sông, các dữ liệu cần phải đưa vào mô hình, quan trọng nhất vẫn là quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Từ đó, các tác giả xây dựng các kịch bản dự báo cho mực nước và xâm nhập mặn trong tương lai theo các kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng đã được công bố. Trong các nghiên cứu đó, một nghiên cứu đã tiến tới bước khai thác mô hình Mike 11 để dự báo xâm nhập mặn của Khu vực Nam Bộ [3]. Tác giả sử dụng bộ công cụ MIKE SDK và công cụ Readld extraction tools kết hợp với công cụ GIS để biên tập kết quả tính toán của mô hình MIKE 1 AD. Nghiên cứu đã xây dựng sơ đồ thủy lực của mô hình bao gồm toàn bộ hệ thống sông, kênh chính cả phía Việt Nam và khu vực sau hồ Tonlesap (Campuchia), hệ thống kênh cấp II quan trọng và các ô ruộng cũng như hệ thống đường giao thông bộ. Kết quả của nghiên cứu đã hỗ trợ hỗ trợ nghiệp vụ dự báo, cảnh báo xâm nhập mặn cho các Đài KTTV tỉnh thuộc ĐBSCL.

Riêng ở tỉnh Bến Tre cũng đã có nghiên cứu sử dụng Mô hình Mike 11 để dự tính xâm nhập mặn trên địa bàn tỉnh Bến Tre theo kịch bản Biến đổi Khí hậu đến 2050 [13]; sử dụng mô hình ARIMA kết hợp với GIS để dự báo xâm nhập mặn vào các cửa sông của Bến Tre năm 2021 [14].

Qua tham khảo các nghiên cứu trên, chúng tôi thấy được chưa có một nghiên cứu nào sử dụng bộ mô hình thủy văn, thủy lực đầy đủ cho toàn vùng ĐBSCL được hiệu chỉnh kiểm định cho cả 5 trạm thủy văn (Chợ Lách, Mỹ Hóa, Bình Đại, An Thuận, Bến Trại) thuộc tỉnh Bến Tre cùng với 02 trạm Trà Vinh và Mỹ Tho trên cả 3 sông chính Cổ Chiên, Hàm Luông và Sông Tiền để đánh giá khả năng áp dụng của chúng cho tỉnh Bến Tre.

Từ tổng quan nêu trên, nghiên cứu này được thực hiện với mục tiêu là đánh giá khả năng mô phỏng tiến tới dự báo chi tiết mực nước cho tỉnh Bến Tre của bộ mô hình Mike 11 và bộ dữ liệu đã thiết lập cho toàn vùng ĐBSCL của Ủy ban Sông Mê Công (UBSMC) Việt Nam. Bộ mô hình được nhóm tác giả hiệu chỉnh, kiểm định đánh giá chất lượng mô phỏng tại các trạm thủy văn trên các sông Hàm Luông, Cổ Chiên, sông Tiền của khu vực tỉnh Bến Tre năm 2016, 2020 và 2022 (từ tháng 01 đến tháng 06). Kết quả thu được sẽ là tài liệu cơ sở cho công tác xây dựng các mô hình dự báo mực nước và độ mặn (cả mô hình dựa vật lý và mô hình dựa số liệu) của Đài Khí tượng Thủy văn (KTTV) tỉnh Bến Tre chi tiết cho tỉnh Bến Tre ở các bước tiếp theo.

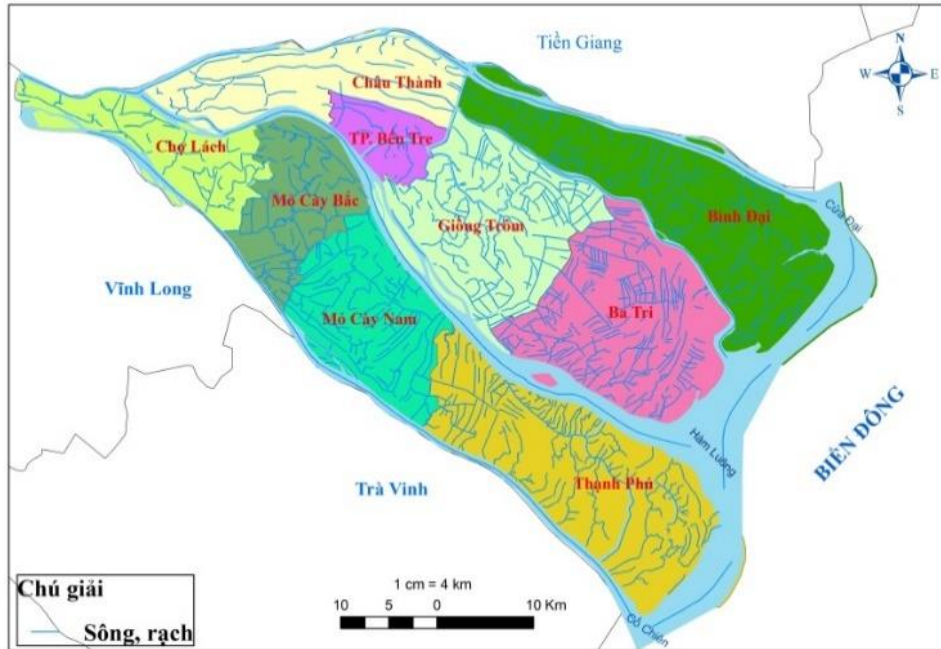
## 2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

### 2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Bến Tre là một tỉnh ven biển, nằm ở phía Đông Nam Đồng bằng sông Cửu Long, với chiều dài bờ biển 65 km. Bốn con sông chính đổ ra các bốn cửa: Cửa Đại, Ba Lai (có cống đập Ba lai năm 2002), Hàm Luông, Cổ Chiên bao bọc và chia Bến Tre thành ba phần: cù lao An Hóa, cù lao Bảo và cù lao Minh.

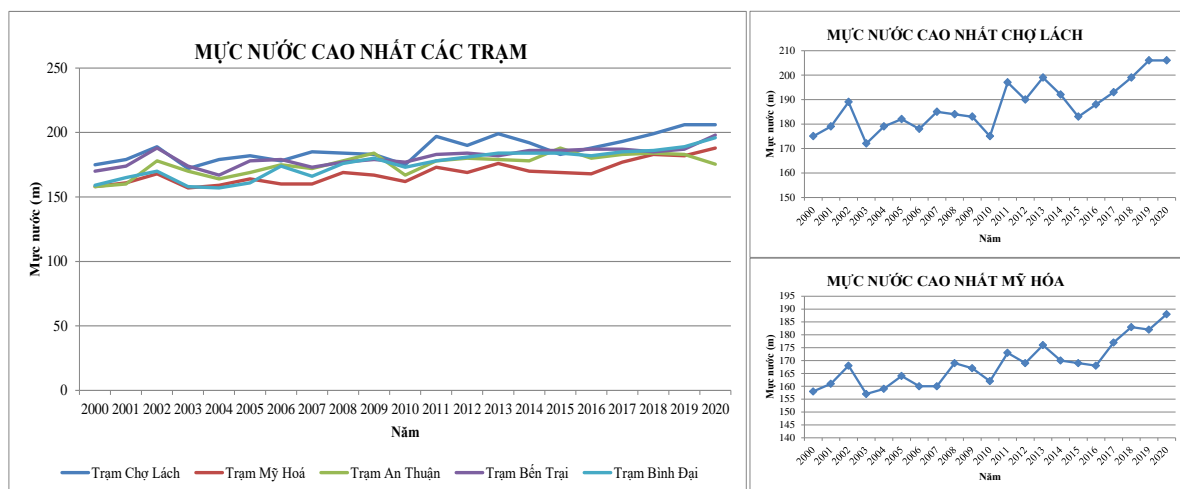
Bốn con sông này cùng với hệ thống kênh rạch chằng chịt là nguồn cung cấp nước trực tiếp cho toàn bộ hoạt động sản xuất và sinh hoạt của tỉnh, tạo điều kiện thuận lợi cho Bến Tre trong phát triển kinh tế vườn, nông nghiệp, đồng thời cũng tạo cho Bến Tre nhiều khó khăn do chịu ảnh hưởng nặng nề của thiên tai, nhất là triều cường, xâm nhập mặn, sạt lở bờ sông, bờ biển... Bến Tre nằm trong vùng nhiệt đới gió mùa nóng ẩm, hàng năm có 2 mùa rõ rệt: mùa mưa trung bình từ tháng 5 đến tháng 11 và mùa khô từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau. Tổng lượng mưa trung bình hàng năm khoảng 1.476,4 mm, biến động trong khoảng

1.253,9–1.784,8 mm. Mùa mưa chiếm 93–94% lượng mưa năm, trong đó hai tháng 9 và tháng 10 chiếm tới 33–34% lượng mưa; mùa khô chiếm 6–7% lượng mưa năm, lượng mưa này tập trung vào 2 tháng chuyển tiếp là tháng 12 và tháng 4. Các tháng 1, 2, 3 hầu như ít mưa hoặc không mưa. Trong mùa mưa có xuất hiện các đợt ít mưa nắng hạn (hạn “bà chằn”), thường xảy ra khoảng từ tháng 6 đến tháng 8, và tập trung nhiều nhất vào tháng 7–8, số ngày hạn thường kéo dài từ 6–7 ngày, có năm kéo dài đến 16–18 ngày.



**Hình 1.** Bản đồ kênh rạch tỉnh Bến Tre.

Tỉnh Bến Tre chịu ảnh hưởng chủ yếu của chế độ bán nhật triều không đều (hầu hết các ngày trong năm đều có 2 lần nước lên và 2 lần nước xuống, hàng tháng có 2 chu kỳ triều cường và hai chu kỳ triều kém). Ngoài 4 nhánh sông lớn, còn hệ thống kênh rạch nối các sông lớn với nhau thành mạng lưới chằng chịt với tổng chiều dài hơn 2.367 km. Tổng lưu lượng nước các sông thuộc hệ thống sông Tiền lên đến 30 tỷ m<sup>3</sup>/năm; vào mùa lũ chiếm 80%, tức gấp 4 lần lưu lượng mùa khô.

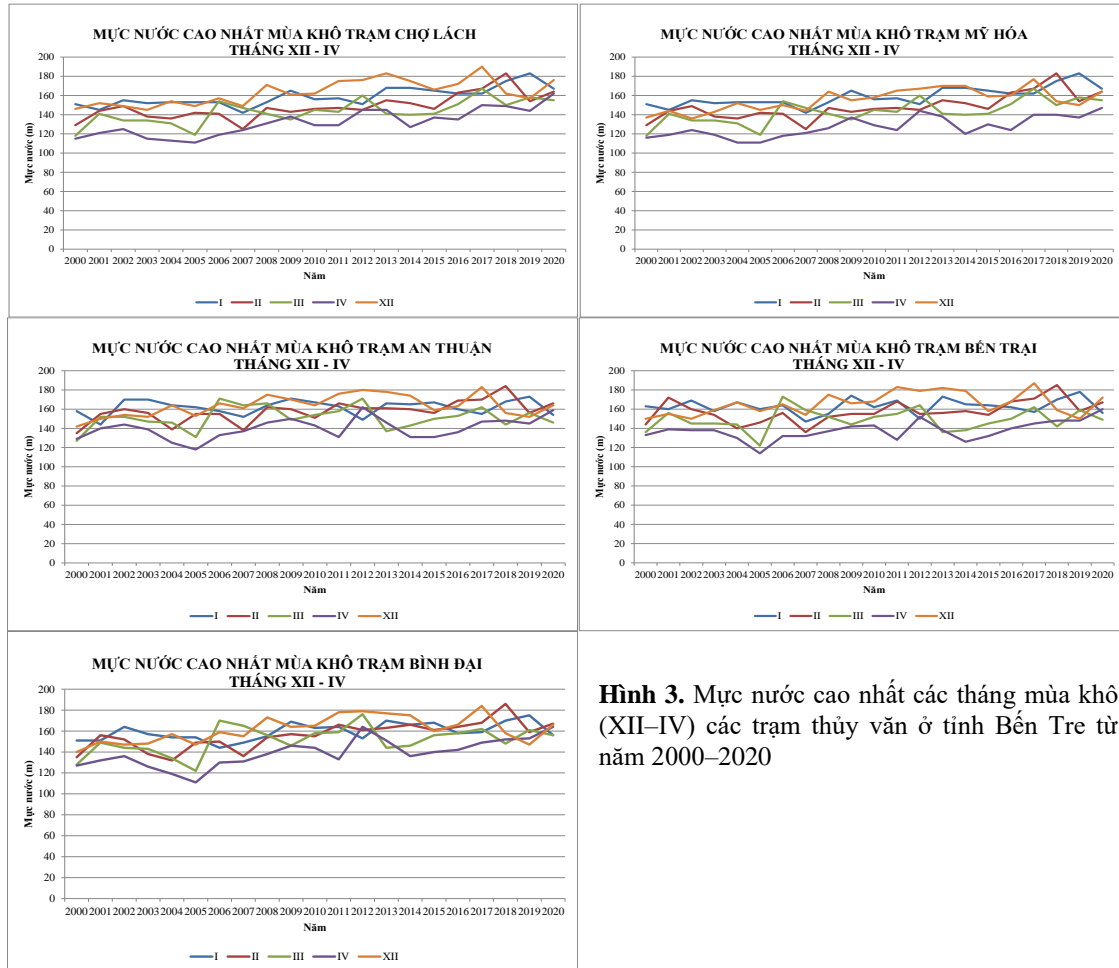


**Hình 2.** Mức nước cao nhất các trạm thủy văn ở tỉnh Bến Tre từ năm 2000–2020.

Vào mùa mưa lũ, hiện tượng nước dâng do lũ từ thượng nguồn đổ về kết hợp với triều cường hoặc kết hợp do mưa bão, ATNĐ, làm cho việc tiêu thoát nước chậm gây ngập úng



nhều nơi trong Tỉnh gây khó khăn cho sinh hoạt, sản xuất và đời sống người dân. Những năm gần đây, mực nước cao nhất hàng năm quan trắc được tại các trạm thủy văn của tỉnh Bến Tre ngày càng cao và liên tục lập mốc lịch sử mới, ngay cả trong các tháng mùa khô từ tháng 12 đến tháng 04 hàng năm (Hình 2 và Hình 3). Vào mùa khô, mặn theo dòng triều xâm nhập sâu vào các sông trên địa bàn tỉnh gây thiệt hại nặng nề về kinh tế-xã hội, nhất là mùa khô năm 2015–2016, 2019–2020. Vì vậy, hiện tượng nước dâng và xâm nhập mặn hàng năm là yếu tố thủy văn nguy hại mà nhân dân và các cơ quan chức năng trong Tỉnh quan tâm.



**Hình 3.** Mực nước cao nhất các tháng mùa khô (XII–IV) các trạm thủy văn ở tỉnh Bến Tre từ năm 2000–2020

## 2.2. Thiết lập mô hình

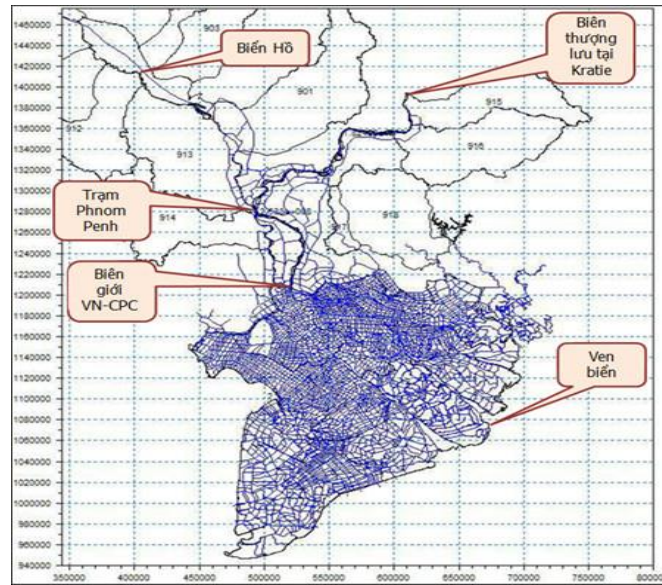
Phạm vi của mô hình Mike11 trong nghiên cứu này là từ Kratie trên dòng chính sông Mê Công đến các cửa biển của Việt Nam bao gồm hệ thống kênh rộng lớn của vùng Châu thổ sông Mê Công (gồm đồng bằng sông Cửu Long ở Việt Nam và đồng bằng phía Campuchia) và khu vực Tông Lê Sáp của Campuchia.

Sơ đồ tính được tham khảo từ các nghiên cứu trước đây và gần đây như: nghiên cứu của Hàn Quốc (được thực hiện bởi SIWRP sử dụng mô hình VRSAP1) với phần mở rộng phía tây đến bán đảo Cà Mau, mô hình thủy lực ISIS xây dựng cho vùng Châu thổ sông Mê Công, trong bộ công cụ Hỗ trợ ra quyết định DFS của Ủy hội sông Mê Công quốc tế.

Mạng tính toán thủy lực MIKE11 vùng Đồng bằng sông Mê Công bao gồm khoảng hơn 10.000 nút tính toán mô tả chi tiết hệ thống sông/kênh, gần 500 vùng ngập (ô ruộng), các công trình cống... trên sông của Campuchia và Việt nam.

Mô hình cho phép tính toán diễn biến dòng chảy (mực nước, lưu lượng) và diễn biến xâm nhập mặn cho vùng Đồng bằng sông Cửu Long. Kết quả tính toán từ mô hình có thể

thể hiện ở dạng tọa độ (x, y, z), nhờ đó có thể sử dụng trong GIS nhằm xây dựng các bản đồ như: ngập lũ, xâm nhập mặn...



Hình 4. Sơ đồ hóa mô hình MIKE 11.

Mô hình được xây dựng gồm các biên dưới là mực nước triều tại các cửa sông như: Long Xuyên, Đại Ngãi, Mỹ Thanh, Gành Hào, Ông Đốc, Xẻo Rô, Rạch Giá. Các biên phía trên là giá trị về lưu lượng tại Kratie, khu vực Biển Hồ (*Campuchia*). Ngoài ra lượng dòng chảy gia nhập từ các khu giữa sinh ra do mưa cũng được đưa vào mô hình.

Điều kiện ban đầu cho các phương án hiệu chỉnh, kiểm định được xác định từ việc chạy mô hình ở điều kiện ổn định (*Steady State*) với mỗi chuỗi số liệu (năm 2016, 2020 và 2022) sau đó chọn các giá trị mực nước, lưu lượng tại các nút gần đúng so với thời điểm bắt đầu tính toán để làm điều kiện ban đầu (*Initial Condition*).

Mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định mô hình theo phương pháp thử sai, sử dụng các chỉ số: R (Hệ số tương quan), hệ số Nash–Sutcliffe và RMSE (sai số quân phương) làm tiêu chuẩn để hiệu chỉnh, kiểm định. Chuỗi số liệu năm 2016 được sử dụng để hiệu chỉnh và chuỗi số liệu năm 2020 và 2022 được sử dụng để kiểm định mô hình.

### 2.3. Dữ liệu sử dụng

Số liệu khí tượng, thủy văn các năm 2016, 2020 và 2022:

Mực nước của các trạm cửa biển (Long Xuyên, Đại Ngãi, Mỹ Thanh, Gành Hào, Ông Đốc, Xẻo Rô, Rạch Giá...) và trên ĐBSCL như An Thuận, Bình Đại, Bến Trại, Mỹ Tho, Mỹ Hóa, Chợ Lách, Trà Vinh (Hình 5).

Số liệu mưa của 22 trạm chính (Long Xuyên, Tân Hiệp, Cần Thơ, Rạch Giá, Vị Thanh, Phụng Hiệp, Đại Ngãi, Sóc Trăng, Bạc Liêu, Cà Mau...).

- Số liệu địa hình về sông, kênh, cống, đường giao thông được cập nhật đến năm 2012.
- Chế độ vận hành cống theo lịch đóng mở hàng năm của các địa phương;
- Số liệu mô tả các ô ruộng: Liên kết với nút tương ứng; Diện tích, thể tích tương ứng với các cấp địa hình; Mưa gắn với ô ruộng; Khả năng tải nước tương ứng.

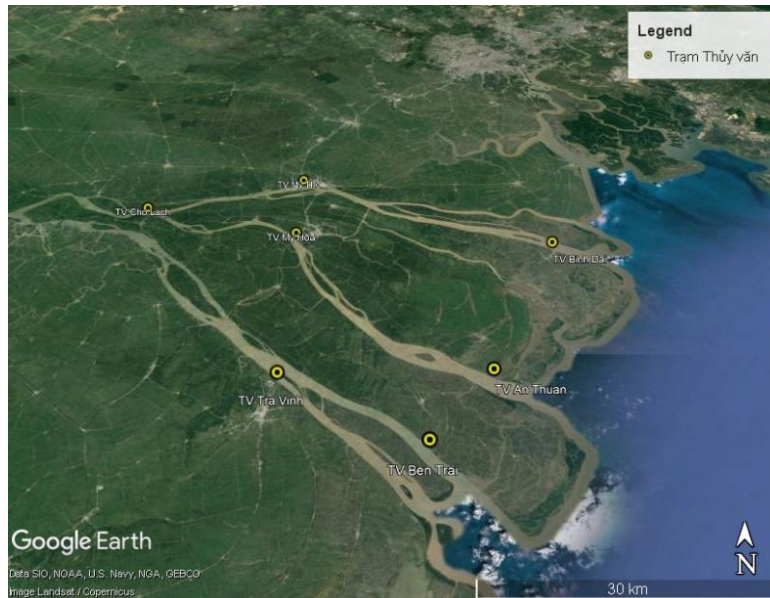
### 2.4. Các chỉ số đánh giá

Nghiên cứu sử dụng 03 chỉ số đánh giá: hệ số xác định  $R^2$  (*Coefficient of determination*), Sai số bình phương trung bình RMSE (*Root mean square error*), Hệ số Nash (*Nash–Sutcliffe efficiency*) (NSE) để đánh giá mức độ phù hợp giữa số liệu thực đo và

tính toán của mô hình [2, 15]. Các chỉ số đánh giá được xác định ở các công thức (1), (2) và (3):

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{tbi})(F_i - O_{tbi})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{tbi})(F_i - O_{tbi})}} \quad (1)$$

Trong đó F là giá trị mô phỏng; O là giá trị quan trắc; O<sub>tbi</sub> là giá trị quan trắc trung bình; N là tổng số trường hợp.



Hình 5. Bản đồ vị trí các trạm thủy văn đưa vào hiệu chỉnh và kiểm định.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2} \quad (2)$$

Trong đó F là giá trị mô phỏng; O là giá trị quan trắc; N là tổng số các cặp điểm.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - F_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{tbi})^2} \quad (3)$$

Trong đó F là giá trị mô phỏng; O là giá trị quan trắc; O<sub>tbi</sub> là giá trị quan trắc trung bình; N là tổng số trường hợp.

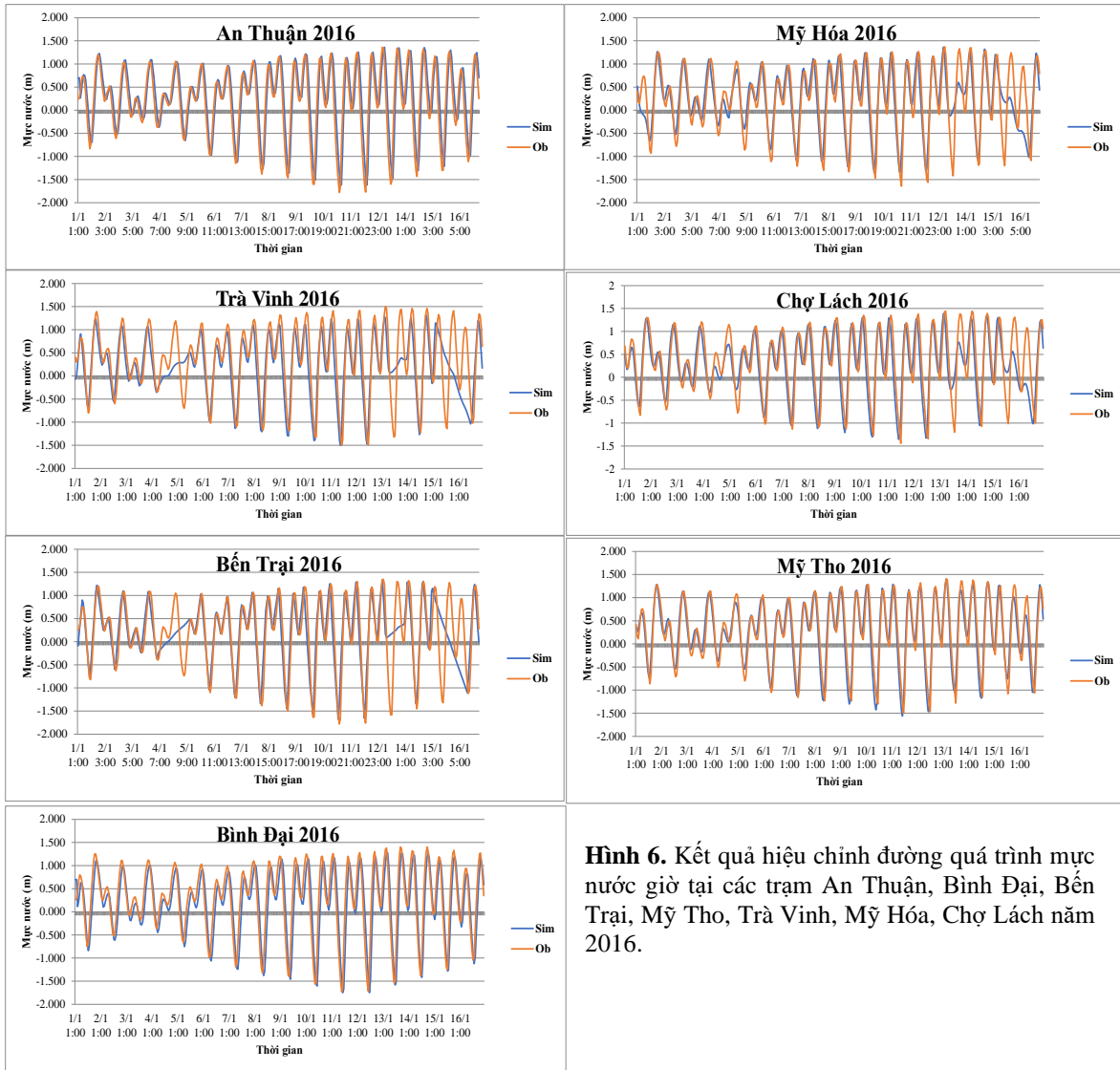
Tiêu chí đánh giá chất lượng cho chỉ số NSE có thể chia ra như sau:  $NSE \leq 0,5$  là xếp loại không đạt;  $0,5 \leq NSE \leq 0,65$  là xếp loại đạt yêu cầu;  $0,65 \leq NSE \leq 0,75$  là xếp loại tốt;  $0,75 \leq NSE \leq 1$  là xếp loại rất tốt [2].

### 3. Kết quả và thảo luận

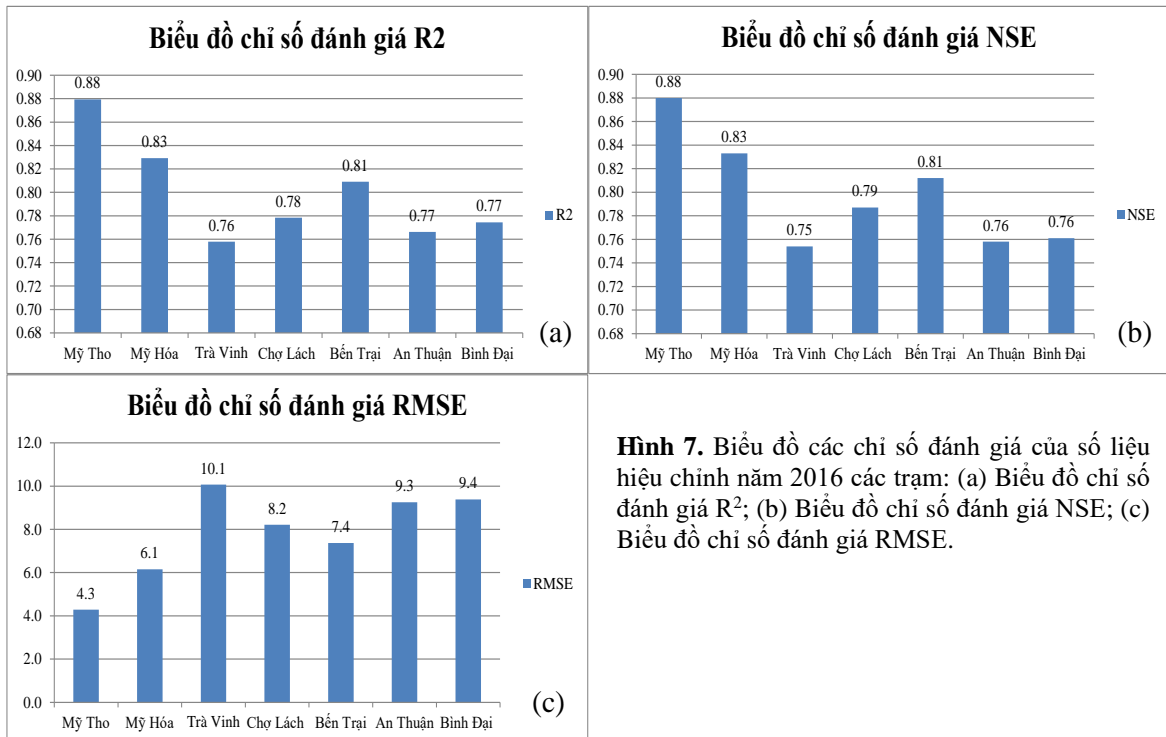
#### 3.1. Đánh giá chất lượng kết quả hiệu chỉnh của mô hình năm 2016

Nhìn vào đường quá trình mực nước giờ được vẽ khoảng 17 ngày tại các trạm thủy văn trên địa bàn tỉnh Bến Tre của số liệu hiệu chỉnh, có thể thấy được có sự tương đồng về pha và biên độ mực nước của số liệu mô phỏng và số liệu thực đo. Tuy nhiên, tại các trạm Mỹ Hóa, Trà Vinh, Chợ Lách, Bến Trại chưa có sự tương đồng về pha và số lượng chân, đỉnh triều ở một số thời điểm của đường quá trình (Hình 6).

Các chỉ số đánh giá kết quả hiệu chỉnh mực nước giờ của mô hình tại các trạm An Thuận, Bình Đại, Bến Trại, Mỹ Tho, Trà Vinh, Mỹ Hóa, Chợ Lách từ tháng 01 đến 06 năm 2016 của mô hình Mike 11 qua các chỉ số thống kê  $R^2$ , NSE, RMSE được trình bày trong Hình 7.



**Hình 6.** Kết quả hiệu chỉnh đường quá trình mực nước giờ tại các trạm An Thuận, Bình Đại, Bến Trại, Mỹ Tho, Trà Vinh, Mỹ Hóa, Chợ Lách năm 2016.



**Hình 7.** Biểu đồ các chỉ số đánh giá của số liệu hiệu chỉnh năm 2016 các trạm: (a) Biểu đồ chỉ số đánh giá R<sup>2</sup>; (b) Biểu đồ chỉ số đánh giá NSE; (c) Biểu đồ chỉ số đánh giá RMSE.



Nhìn vào biểu đồ đánh giá chỉ số  $R^2$  cho năm hiệu chỉnh 2016, ta thấy được chỉ số  $R^2$  đạt từ 0,76 đến 0,88 tại tất cả các trạm. Với kết quả đánh giá này, cho ta thấy được giữa số liệu thực đo và mô phỏng có sự tương qua ở mức tốt (Hình 7a).

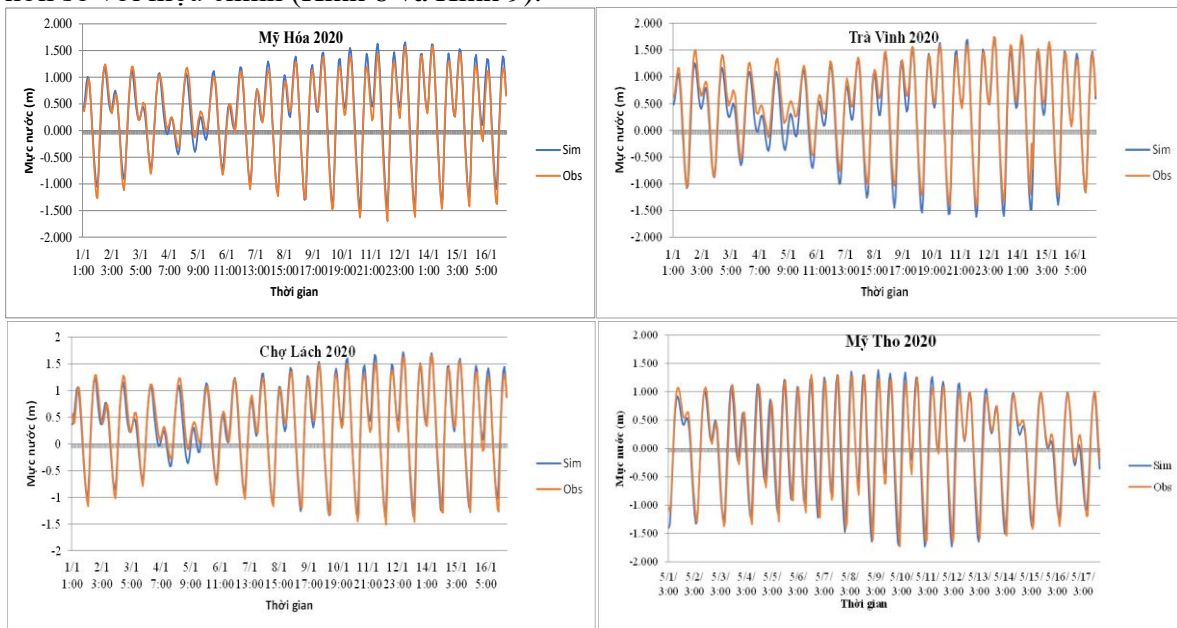
Mặc khác, nếu so sánh giữa đánh giá trực quan với hệ số  $R^2$ , thì cho kết quả khác, ví dụ với trạm Trà Vinh và Bến Trại, mặc dù sai số khá lớn ở các ngày 4–5/01 và 15–16/01 (Hình 6 và Hình 7a) nhưng vẫn cho kết quả hệ số  $R^2$  khá cao, đạt mức tốt.

Đối với chỉ số NSE kết quả đánh giá cho thấy chỉ số này đạt từ 0,75 đến 0,88 tại tất cả các trạm. Điều này cũng cho chúng ta thấy kết quả mô phỏng của mô hình ở mức tốt và tốt nhất ở các trạm Mỹ Hóa và Mỹ Tho (các trạm này nằm ở vùng giữa của tỉnh Bến Tre), các trạm hạ nguồn và ven biển của tỉnh có chất lượng mô phỏng kém hơn (Hình 7b).

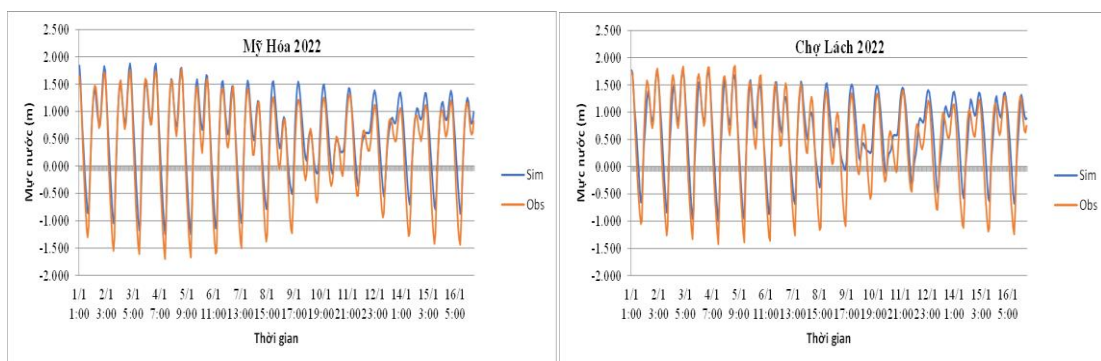
Còn với chỉ số RMSE, giá trị đánh giá đạt được từ các trạm dao động từ 4,3 đến 10,1 (Hình 7c), đây cũng là giá trị cho mức đánh giá mô phỏng của mô hình ở các trạm ở mức tốt. Mô phỏng tốt ở các trạm vùng giữa của tỉnh (Mỹ hóa, Mỹ Tho) kém hơn ở các trạm ven biển và thượng nguồn của tỉnh (Chợ Lách).

### 3.2. Đánh giá chất lượng kết quả kiểm định của mô hình năm 2020 và 2022

Nhìn vào đường quá trình mực nước giờ được vẽ tại các trạm thủy văn trên địa bàn tỉnh Bến Tre của số liệu kiểm định năm 2020 và năm 2022, có thể thấy được có sự tương đồng về pha và biên độ mực nước, số lượng chân, đỉnh của mực nước có sự tương đồng tốt hơn so với hiệu chỉnh (Hình 8 và Hình 9).

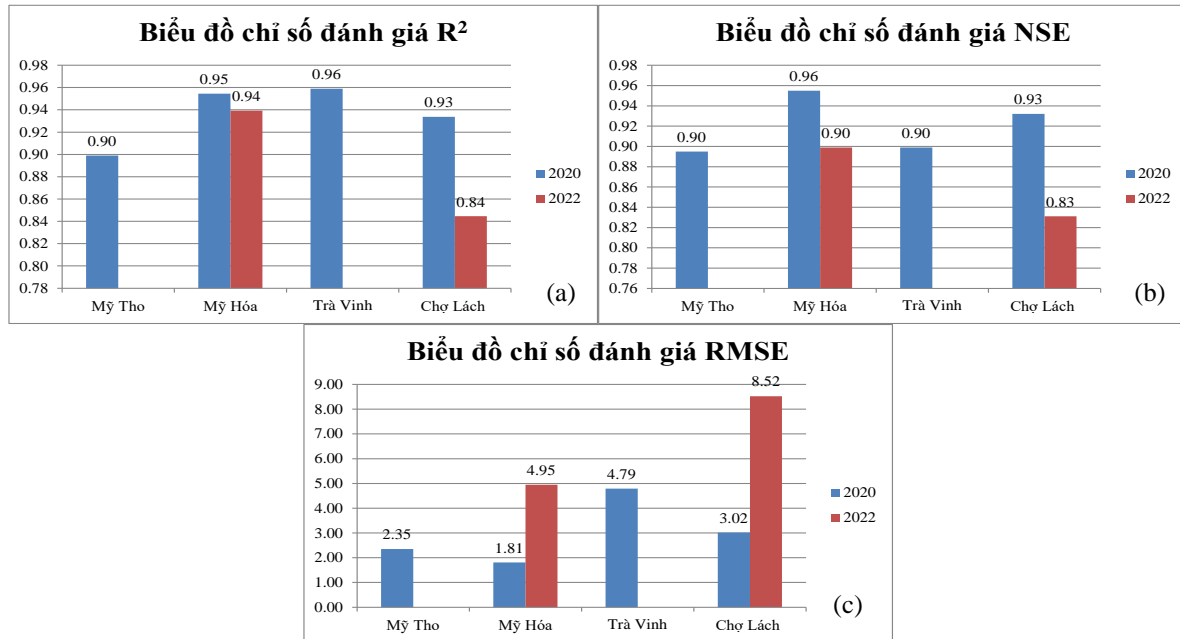


**Hình 8.** Kết quả kiểm định đường quá trình mực nước giờ tại các trạm Trà Vinh, Mỹ Hóa, Mỹ Tho, Chợ Lách năm 2020.

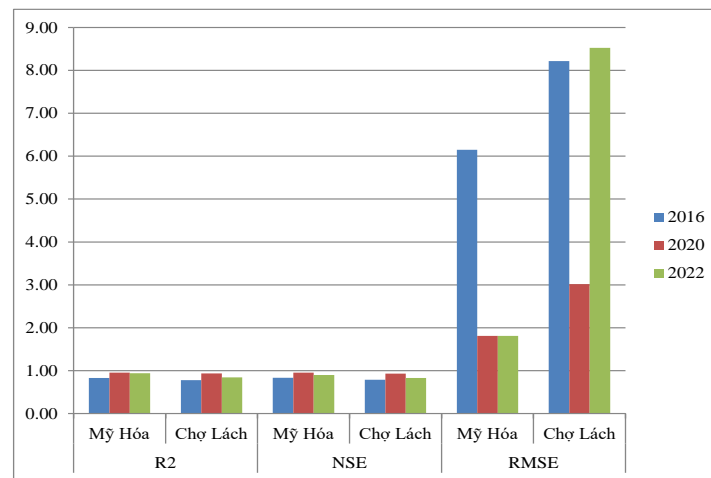


**Hình 9.** Kết quả kiểm định đường quá trình mực nước giờ tại các trạm Mỹ Hóa, Chợ Lách năm 2022.

Các chỉ số đánh giá kết quả kiểm định mực nước giờ của mô hình tại các trạm Mỹ Tho, Trà Vinh, Mỹ Hóa, Chợ Lách của năm 2020 và 2022 (từ tháng 01 đến 06) của mô hình Mike 11 qua các chỉ số thống kê  $R^2$ , NSE, RMSE được trình bày trong Hình 10.



**Hình 10.** Biểu đồ các chỉ số đánh giá của số liệu kiểm định năm 2020 và 2022 tại các trạm: (a) Biểu đồ chỉ số đánh giá  $R^2$ ; (b) Biểu đồ chỉ số đánh giá NSE; (c) Biểu đồ chỉ số đánh giá RMSE.



**Hình 11.** Biểu đồ so sánh các chỉ số đánh giá đối với năm hiệu chỉnh 2016 và năm kiểm định 2020, 2022 ở hai trạm Chợ Lách và Mỹ Hóa.

Ta thấy chỉ số  $R^2$  của 02 năm kiểm định (2020 và 2022) đạt dao động ở mức 0,84 đến 0,96. Kết quả này cho thấy mức độ tương quan rất tốt của số liệu mô phỏng so với số liệu thực đo (Hình 10a). Đối với chỉ số NSE của 02 năm kiểm định (2020 và 2022) thì chỉ số này dao động ở mức 0,83 đến 0,96 (Hình 10b). Kết quả này, cũng cho ta cho thấy mức độ tương đồng rất tốt ở các trạm của số liệu mô phỏng so với số liệu thực đo (Hình 11). Chỉ số đánh giá cho thấy được mô hình mô phỏng rất tốt ở các trạm ở khu vực giữa của tỉnh (Mỹ Hóa) và kém hơn ở các trạm gần biển (Trà Vinh) và trạm thượng nguồn (Chợ Lách).

Với chỉ số đánh giá RMSE cho ta kết quả đạt dao động từ 1,81 đến 8,52 cho các trạm của tỉnh Bến Tre (Hình 10c). Kết quả này cũng cho ta thấy được mô hình mô phỏng rất tốt cho các trạm thủy văn trên các sông chính của tỉnh, mô hình cho kết quả kiểm định rất tốt, tốt nhất là năm 2020.

Qua quá trình kiểm định và hiệu chỉnh mực nước cho các năm 2016, 2020 và năm 2022, ta thấy được các chỉ số  $R^2$  và NSE cho kết quả tương đồng là năm kiểm định cho kết quả tốt hơn năm hiệu chỉnh, nhưng khi xem xét chỉ số RMSE thì có sự sai khác về mức độ chất lượng ở trạm Chợ Lách, kết quả mô phỏng của năm kiểm định 2022 lại thấp hơn kết quả hiệu chỉnh năm 2016 (Hình 11).

#### 4. Kết luận

Bộ mô hình Mike 11 thiết lập cho toàn vùng ĐBSCL do Ủy ban Sông Mê Công (UBSMC) Việt Nam đang sử dụng chạy nghiệp vụ cho kết quả mô phỏng mực nước rất tốt. Mực nước tính toán theo giờ có sự tương đồng rất cao về pha, biên độ triều, cũng như số lượng chân, đỉnh triều tại các trạm thủy văn trên các sông chính của tỉnh Bến Tre được đưa vào hiệu chỉnh và kiểm định. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định cho thấy mô hình này mô phỏng tốt nhất cho các trạm vùng giữa của tỉnh Bến Tre (Mỹ Hóa, Mỹ Tho), kém hơn ở các trạm ven biển (Bình Đại, An Thuận, Bến Trại) và thượng nguồn của tỉnh (Chợ Lách). Từ đây có thể gợi mở ra hướng kết hợp giữa các đơn vị nghiệp vụ của UBSMC Việt Nam với các Đài KTTV tỉnh thuộc ĐBSCL trong công tác dự báo mực nước, độ mặn trên hệ thống sông, kênh của ĐBSCL.

Tuy nhiên, mô hình này cũng có hạn chế là nguồn số liệu và dữ liệu phục vụ cho mô hình rất nhiều, đòi hỏi phải có sự chia sẻ dữ liệu, số liệu giữa các tổ chức với nhau mới có đủ điều kiện để áp dụng mô hình này chạy nghiệp vụ.

Kết quả này sẽ là tài liệu tham khảo tốt cho công tác xây dựng các mô hình dự báo chi tiết (cả mô hình dựa vật lý và mô hình dựa số liệu), mà trước hết là xây dựng mô hình Mike 11 dự báo chi tiết về mực nước và độ mặn cho Đài KTTV tỉnh Bến Tre với mạng lưới sông đưa vào tính toán đơn giản nhất có thể, với các dữ liệu, số liệu mà Đài KTTV tỉnh Bến Tre có thể tự cung cấp nhiều nhất (quan trọng nhất là xây dựng công cụ dự báo biên mực nước hạ lưu và biên lưu lượng thượng lưu). Sau đó nghiên cứu kết hợp với kinh nghiệm của dự báo viên sử dụng làm phương án dự báo mực nước và xâm nhập mặn cho tỉnh Bến Tre trong nghiệp vụ dự báo của Đài KTTV tỉnh Bến Tre góp phần giảm thiểu tối đa thiệt hại do triều cường và xâm nhập mặn gây ra cho tỉnh.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.G., Đ.H.L., N.H.P.; Xử lý số liệu: Đ.H.L.; Chạy mô hình: N.Đ.Đ., Đ.H.L.; Viết bản thảo bài báo: Đ.H.L., N.H.P.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.G., N.H.P.

**Lời cảm ơn:** Bài báo hoàn thành có sự hỗ trợ về mặt dữ liệu về đề tài mã số NĐT.58.RU/19 do Bộ Khoa học Công nghệ tài trợ.

**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. Phương, T.Đ. Xâm nhập mặn mùa khô các năm 2011 – 2012 và nhận định tình hình xâm nhập mặn mùa khô năm 2014 ở Đồng bằng sông Cửu Long. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 638, 12–17.
2. Trí, Đ.Q. Ứng dụng mô hình Mike 11 mô phỏng và tính toán xâm nhập mặn cho khu vực Nam bộ. *Tap chí khí tượng thủy văn* **2016**, 671, 39–46.
3. Dũng, Đ.V.; Phương, T.Đ.; Oanh, L.T.; Công, T.T. Khai thác mô hình Mike 11 trong dự báo, cảnh báo xâm nhập mặn vùng đồng bằng sông Cửu Long. *Tap chí Khí tượng thủy văn* **2018**, 693, 48–58.

4. Đạt, T.Q.; Trung, N.H.; Likitdecharote, K. Mô phỏng xâm nhập mặn đồng bằng sông Cửu Long dưới tác động mực nước biển dâng và sự suy giảm lưu lượng từ thượng nguồn. *Tap chí Khoa học* **2012**, 21b, 141–150.
5. Ha, N.T.T.; Trang, H.T.; Vuong, N.V.; Khoi, D.N. Simulating impacts of sea level rise on salinity intrusion in the Mekong Delta, Vietnam in the period 2015 – 2100 using Mike 11. Proceedings of the IEEE 2014.
6. Hai, T.X.; Nghi, V.V.; Hung, V.H.; Tuan, D.N.; Lam, D.T.; Van, C.T. Assessing and Forecasting Saline Intrusion in the Vietnamese Mekong Delta Under the Impact of Upstream flow and Sea Level Rise. *J. Environ. Sci. Eng.* **2019**, B8, 174–185.
7. Hà, N.N.; Trình, N.M.; Minh, H.T.N. Ứng dụng mô hình MIKE NAM, MIKE 11 HD tính toán tài nguyên nước mặt lưu vực sông Cửu Long. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 731, 54–68.
8. Anh, D.T.; Long, H.P.; Minh, D.B.; Rutschmann. Simulating Future Flows and Salinity Intrusion Using Combined One- and Two Dimensional Hydrodynamic Modelling–The Case of Hau River, Vietnamese Mekong Delta. *Water* **2018**, 10, 897.
9. Doan, Q.T., Nguyen, C.D., Chen, Y.C.; Pawan, K.M. Modeling the Influence of River Flow and Salinity Intrusion Processing in the Mekong River Estuary, Vietnam. *Lowland Technol. Int.* **2014**, 16(1), 14–25.
10. DHI. Study on the Impacts of Mainstream Hydropower on the MeKong River is Preliminary Draft – Impact Assessment Report October 2015. Volume 1 – Models, Model Setup and Simulations.
11. Khang, D.N., Kotera, A.; Sakamoto, T.; Yokozawa, M. Sensitivity of Salinity Intrusion to Sea Level Rise and River Flow Change in Vietnamese Mekong Delta–Impacts on Availability of Irrigation Water for Rice Cropping. *J. Agric Meteorol.* **2008**, 64, 167–176.
12. Anh, H.T.; Dung, T.T.; Thủy, N.T.T.; Phương, T.A. Nghiên cứu kết hợp mô hình thủy lực và mô hình trí tuệ nhân tạo mô phỏng chất lượng nước sông Nhuệ – Đáy. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 739, 67–80.
13. Đào, N.V.; Bình, P.T.T. Đánh giá thực trạng và tác động của Biến đổi khí hậu đến xâm nhập mặn tỉnh Bến Tre. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 700, 12–22.
14. Thai, T.T.; Liem, N.D.; Luu, P.T.; Yen, N.T.M.; Yen, T.T.H.; Quang, N.X.; Tan, L.V.; Hoai, P.N. Performance evaluation of Auto – Regressive Integrated Moving Average Models for forecasting salwater intrusion into the Mekong river estuaries of Vietnam. *VN J. Earth. Sci.* **2021**, 44, 18–32.
15. 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 lưu lượng đến hồ lưu vực sông Trà Khúc – Sông Vệ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 697, 1–12.
16. Phụng, L.T.; Phùng, N.K.; Nam, B.C.; Hoàng, T.X.; Tuấn, L.N. Ảnh hưởng của Biến đổi Khí hậu đến Xâm nhập mặn ở tỉnh Vĩnh Long. *Tap chí Khoa học Biến đổi Khí hậu* **2017**, 2, 61–69.
17. Đào, N.V.; Tú, V.T.; Thái, T.H.; Dũng, N.M. Nghiên cứu xây dựng bản đồ hiểm họa xâm nhập mặn vùng đồng bằng ven biển Nam Định và Thái Bình. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 728, 94–108.
18. Hồng, N.V.; Đông, N.P. Mô phỏng xâm nhập mặn các sông chính trên địa bàn tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu trong bối cảnh biến đổi khí hậu. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 728, 67–79.
19. Phụng, L.M.; Trí, P.V.Đ.; Đạt, T.Q. Ứng dụng mô hình tính toán thủy lực một chiều đánh giá và dự báo tình hình xâm nhập mặn trên hệ thống sông chính trên địa bàn tỉnh Trà Vinh. *Tap chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2013**, 25, 68–75.



20. Tuấn, N.V.A.; Hung, N.Q.; Sơn, N.T.; Liên, N.T. Ứng dụng mô hình Mike 11 mô phỏng quá trình lan truyền chất ô nhiễm do nuôi trồng thủy sản trên một số sông lớn tỉnh Quảng Trị. *Tap Chí Khoa học ĐHQGHN* **2016**, 3S, 250–255.
21. Hiền, N.T. Đánh giá ảnh hưởng của Xâm nhập mặn đến hạ lưu sông Cà trong bối cảnh Biến đổi Khí hậu. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 709, 13–24.
22. Nhung, T.T.; Vo, P.L.; Nghi, V.V.; Bang, Q.H. Salt Intrusion Adaptation Measures for Sustainable Agricultural Development under Climate Change Effects: A Case of Ca Mau Peninsula, Vietnam. *Clim. Risk Manage.* **2019**, 23, 88–100.

## **A setup of MIKE 11 model for hydrological and saline intrusion forecast in Ben Tre province**

**Dang Hoang Lam<sup>1</sup>, Nguyen Huy Phuong<sup>2</sup>, Nguyen Dinh Dat<sup>2</sup>, Nguyen Tien Giang<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Ben Tre Hydro–meteorological Center, Southern Hydro–meteorological Regional Center, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; danghoanglam91@gmail.com

<sup>2</sup> Standing Office of Affiliation author Viet Nam National Mekong Committee, MONRE; huyphuongmk@gmail.com

<sup>3</sup> Faculty of Hydrology, Meteorology & Oceanography, VNU University of Science, VNU–HN; giangnt@vnu.edu.vn

**Abstract:** Currently, the hydrological and saltwater intrusion forecasting methods used by the Hydro–meteorological Center of Ben Tre province are mainly statistical techniques combined with the experience of forecasters, and not yet applying new technology. Meanwhile, there have been quite a number of hydrological and hydraulic models that have been set up for simulation and prediction in day–to–day operation as well as in research work. One of them is the Mike 11 model setup for the entire Mekong Delta region, which was built by the Vietnam National Mekong Committee and is producing water level and salinity forecasts for the main rivers and important points of the river system. This paper presents the application results of this model setup to simulate hourly water levels for hydrological stations on Ham Luong, Co Chien and Tien rivers of Ben Tre province in 2016, 2020 and 2022 (from January to June every year). The results of calibration in 2016, validations in 2020 and 2022 using  $R^2$ , RMSE, NSE indices have shown that the simulation capability of the model is at a good to very good level for Ben Tre province. The obtained results are a good reference for the construction of Mike 11 model to forecast detailed water level and salinity of the Hydro–meteorological Center of Ben Tre province in the coming time.

**Keywords:** Mike 11 model; Performance metrics; Water level; Ben Tre province.

Bài báo khoa học

## Ứng dụng mô hình MIKE 11 tính toán dòng chảy mặt phục vụ công tác cấp phép khai thác tài nguyên nước lưu vực sông Cả

Nguyễn Kim Ngọc Anh<sup>1\*</sup>, Trần Ngọc Anh<sup>1,2</sup>, Ngô Quang Tài<sup>3</sup>, Lê Minh Nhật<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; ngocanhk@hus.edu.vn; tranngocanh@hus.edu.vn

<sup>2</sup> Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; tranngocanh@hus.edu.vn

<sup>3</sup> Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước miền Bắc, Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước Quốc Gia, ngotai87@gmail.com

<sup>4</sup> Tổng cục Phòng chống thiên tai, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn; nhatkyoto@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: ngocanhk@hus.edu.vn; Tel.: +84-973556201

Ban biên tập nhận bài: 5/7/2022; Ngày phản biện xong: 18/8/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Bài báo giới thiệu phương pháp và các kết quả ứng dụng mô hình MIKE 11 tính toán dòng chảy mặt phục vụ công tác cấp phép khai thác tài nguyên nước lưu vực sông Cả. Nhóm tác giả đã tổng hợp, phân tích số liệu về mưa, bốc hơi, lưu lượng, mực nước tại các trạm thủy văn, trạm khí tượng trên lưu vực sông Cả từ năm 1997 đến năm 2016, ngoài ra còn thu thập bản đồ số độ cao (DEM), 688 mặt cắt trên các hệ thống sông chính. Từ các số liệu đo đạc, quan trắc trên, thiết lập công cụ mô hình thủy văn MIKE NAM, thủy lực MIKE 11 để tính toán. Thời gian hiệu chỉnh mô hình từ giai đoạn 1997–2006, thời gian kiểm định mô hình từ năm 2007–2016. Quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình ở các trạm thủy văn cho thấy chỉ số NASH tương đối tốt, sai số tương quan đạt dưới 12%. Từ bộ thông số mô hình thu được, tiến hành tính toán, đánh giá thử nghiệm các yếu tố dòng chảy năm, dòng chảy lũ, dòng chảy kiệt, dòng chảy trung bình tháng, dòng chảy trung bình ngày nhiều năm tại trạm thủy văn Yên Thượng và 1 vị trí là công trình khai thác nước mặt của doanh nghiệp cho thấy kết quả phù hợp với thực tế.

**Từ khóa:** MIKE 11; Tính toán dòng chảy mặt; Cấp phép khai thác tài nguyên nước; Sông Cả.

### 1. Mở đầu

Tính đến tháng 4 năm 2022 cả nước có khoảng 24.000 công trình khai thác, sử dụng nước và xả nước thải vào nguồn nước đã được cấp phép hoạt động, trong đó có 2.733 là giấy phép khai thác, sử dụng nước mặt, nước biển [1]. Nội dung đề án, báo cáo khai thác, sử dụng nước mặt, nước biển được lập theo mẫu 29 đến 34 của Thông tư 27/2014/TT-BTNMT ngày 30/5/2014 của Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường [2]. Tuy nhiên, chuỗi số liệu khí tượng, thủy văn sử dụng để tính toán đặc trưng dòng chảy phải đảm bảo tính đại biểu, tính đồng nhất, tính độc lập và liên tục trên 20 năm. Thực tế này rất khó đáp ứng vì hiện nay số lượng trạm thủy văn, trạm khí tượng còn ít, chưa kể có nhiều trạm đã bị hư hỏng, xuống cấp, không còn hoạt động. Để tính toán đặc trưng dòng chảy tại một vị trí của những lưu vực có ít số liệu hoặc không có số liệu đo đạc, thường kéo dài số liệu hoặc sử dụng phương pháp lưu vực tương tự; phương pháp bản đồ đẳng trị; phương pháp công thức kinh nghiệm. Tuy nhiên,

kết quả tính toán khi sử dụng những phương pháp trên có sai số lớn do các điều kiện để sử dụng khó đáp ứng, số lần tính toán nhiều, mỗi lần tính toán chỉ cho ra được kết quả tại một vị trí nhất định trên lưu vực. Nếu để tính toán đặc trưng dòng chảy cho các đoạn sông hay một hệ thống sông với nhiều sông lớn sẽ mất rất nhiều thời gian và độ tin cậy không cao.

Sông Cả bắt nguồn từ nước Lào, tại Việt Nam, sông nằm trên địa phận 2 tỉnh Nghệ An và Hà Tĩnh. Tính cho đến nay, trên lưu vực có 12 trạm khí tượng và 16 trạm thủy văn, khoảng 40 trạm đo mưa cơ bản thuộc mạng lưới trạm đo đang hoạt động thuộc Tổng cục Khí tượng Thủy văn quản lý. Tuy nhiên, để cấp phép cho các doanh nghiệp có nhu cầu khai thác nước mặt trên lưu vực sông Cả cũng vấp phải các khó khăn chung như trên đã nêu.

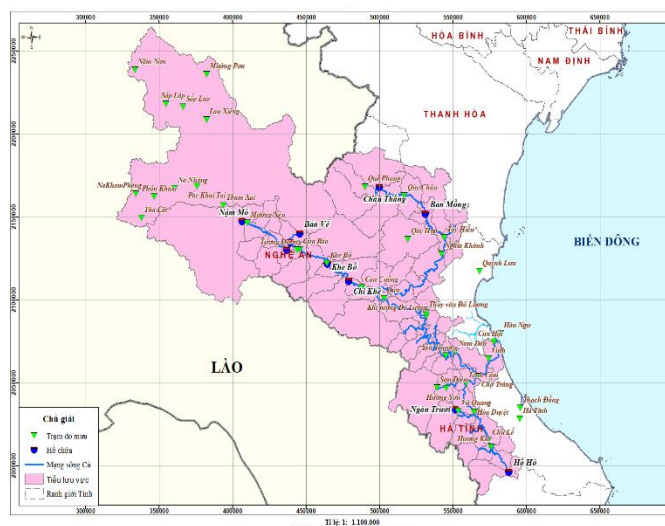
Hiện nay, để đánh giá tài nguyên nước mặt đối với các lưu vực sông đã có nhiều các nghiên cứu trong và ngoài nước. Trong đó, với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, công nghệ thông tin, phương pháp mô hình toán mô phỏng được ứng dụng rất rộng rãi và cho kết quả tin cậy [3] như [4–6]... Các nghiên cứu trong nước có liên quan đến tính toán, đánh giá tài nguyên nước mặt như: [7] đã nghiên cứu đánh giá lượng dòng chảy sông Đà từ Trung Quốc vào Việt Nam phục vụ cho bài toán quy hoạch và quản lý tài nguyên nước lưu vực sông Đà, [3] đã ứng dụng mô hình MIKE NAM, MIKE 11 HD tính toán tài nguyên nước mặt lưu vực sông Cửu Long đưa ra bức tranh về hiện trạng tài nguyên nước mưa, nước mặt lưu vực sông Cửu Long... Tuy nhiên, các nghiên cứu này chủ yếu sử dụng công cụ mô hình để mô phỏng lại chuỗi số liệu dòng chảy ở các trạm thủy văn, trong khi yêu cầu của công tác cấp phép khai thác sử dụng nước mặt cần sử dụng số liệu tại các vị trí bất kỳ trên dòng chính hoặc sông nhánh, và theo hướng tiếp cận đó, hầu như chưa có các nghiên cứu ứng dụng tính toán dòng chảy mặt phục vụ công tác cấp phép khai thác tài nguyên nước.

Để góp phần giúp cho công tác cấp phép tài nguyên được nhanh chóng, thuận tiện và đảm bảo độ tin cậy cao hơn, nghiên cứu này ứng dụng mô hình MIKE 11 tính toán dòng chảy mặt lưu vực sông Cả tại tất cả các vị trí trên hệ thống sông và xây dựng bộ dữ liệu cho chuỗi dòng chảy từ 1997–2016.

## 2. Phương pháp, dữ liệu sử dụng

### 2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Sông Cả là một hệ thống sông lớn, bắt nguồn từ tỉnh Xiêng Khoảng, Lào chạy theo hướng Tây Bắc- Đông Nam cho tới vị trí cách biển 40 km thì chuyển theo hướng Tây- Đông rồi đổ ra biển tại Cửa Hội [8]. Các sông nhánh lớn như sông Hiếu, sông Giăng, sông La đều đổ vào đoạn trung hạ lưu sông Cả. Những sông này đều bắt nguồn từ vùng có lượng mưa năm lớn đạt từ 2.000 m bên sông Hiếu, 2.100 ÷ 2.400 mm bên sông Giăng, sông La đã bổ sung nguồn nước đáng kể cho hạ du sông Cả [9].



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

## 2.2. Giới thiệu phương pháp

Bộ công cụ mô hình MIKE [10] xây dựng bởi Viện thủy lực Đan Mạch (DHI) được sử dụng rộng rãi trên Thế giới [11–13]... cũng như Việt Nam [14–16]... Nhóm tác giả áp dụng các công cụ mô hình MIKE NAM, MIKE11 [17–18] thiết lập và tính toán đặc trưng dòng chảy năm cho các tiểu vùng và toàn bộ lưu vực sông Cả.

Kết quả của mô hình MIKE11 có thể trích xuất tại một hay nhiều vị trí về yếu tố mực nước, lưu lượng dòng chảy trên lưu vực sông Cả từ năm 1997 đến năm 2016. Dựa vào chuỗi dòng chảy bình quân tháng tính toán phân phối dòng chảy năm, tính toán đặc trưng dòng chảy mùa lũ, dòng chảy mùa kiệt, dòng chảy 3 tháng kiệt nhất và dòng chảy tháng kiệt nhất ứng với các tần suất thiết kế tại vị trí công trình khai thác. Ngoài ra, từ kết quả mô hình có thể đánh giá diễn biến dòng chảy ở thượng lưu và hạ lưu công trình theo hai thời kỳ trước và sau khi có công trình. Với vị trí dự kiến đặt trạm bơm khai thác, nhà quản lý có thể dễ dàng trích xuất số liệu mực nước, lưu lượng trung bình ngày của chuỗi nhiều năm, từ đó xác định lưu lượng dòng chảy nhỏ nhất theo ngày, tháng và tần suất xuất hiện. Đây là cơ sở để đánh giá khả năng cấp nước của nguồn nước và Sở Tài nguyên và Môi trường có thể sử dụng kết quả của mô hình làm căn cứ trong việc ra quyết định cấp phép cho các doanh nghiệp có nhu cầu khai thác nước mặt trên lưu vực sông Cả.

## 2.3. Dữ liệu sử dụng

a) Dữ liệu địa hình: Bản đồ DEM 30 m × 30 m của toàn bộ lưu vực sông Cả; Mặt cắt lưu vực sông Cả gồm có 865 mặt cắt.

b) Dữ liệu Khí tượng thủy văn:

Số liệu đầu vào của mô hình MIKE NAM bao gồm số liệu mưa, số liệu bốc hơi tiềm năng, số liệu lưu lượng dòng chảy thực đo để kiểm chứng mô hình trên phạm vi tính toán.

Số liệu mưa ngày từ năm 1997–2016 của các trạm: Quỳnh Lưu, Quỳnh Hợp, Quỳnh Châu, Nghĩa Khánh, Mường Xén, Cửa Rào, Tương Dương, Con Cuông, Dừa, Đô Lương, Nam Đàn, Hòa Duyệt, Sơn Diệm, Linh Cảm, Tây Hiếu, Hương Khê, Vinh.

Số liệu bốc hơi ngày từ năm 1997–2016 của các trạm Vinh, Hương Khê, Đô Lương, Quỳnh Châu, Tương Dương, Tây Hiếu, Quỳnh Lưu, Quỳnh Hợp.

Số liệu đầu vào cho mô hình MIKE 11 bao gồm số liệu về lưu lượng dòng chảy ngày tại biên chính (TĐ Nậm Mô, TĐ Bản Vẽ, TĐ Châu Thắng, hồ Sông Sào, hồ Thác Muối, trạm thủy văn Sơn Diệm, hồ Ngàn Trươi, Đập Đá Hàn, Đập Tiêm, TĐ Hồ Hồ), lưu lượng dòng chảy nhập lưu nhánh sông từ MIKE NAM (28 tiểu lưu vực) và số liệu mực nước theo ngày tại Cửa Hội.

Số liệu lưu lượng ngày thực đo từ năm 1997–2016 tại các trạm Mường Xén, Dừa, Nghĩa Khánh, Hòa Duyệt, Sơn Diệm, Yên Thượng, Quỳnh Châu.

Quá trình dòng chảy nhập lưu khu giữa được tính toán bằng mô hình MIKE NAM.

Số liệu mực nước ngày thực đo từ năm 1997–2016 tại các trạm: Chợ Tràng, Linh Cảm, Cửa Hội, Đô Lương, Yên Thượng, Nam Đàn, Mường Xén, Con Cuông, Dừa, Thạch Giám, Hoà Duyệt, Nghĩa Khánh, Quỳnh Châu, Sơn Diệm.

## 3. Kết quả và thảo luận

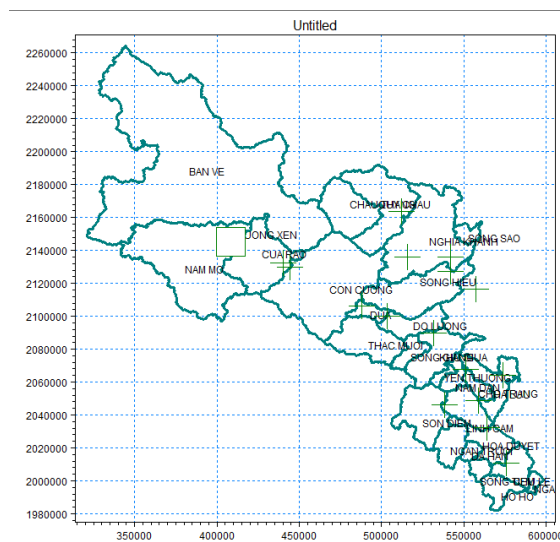
### 3.1. Thiết lập mô hình thủy văn (MIKE NAM)

Dựa vào điều kiện địa lý tự nhiên, điều kiện số liệu, phân bố mạng lưới sông và mạng lưới trạm KTTV sẵn có, lưu vực hệ thống sông Cả được phân tách ra thành 28 lưu vực bộ phận chính (Bảng 1, Hình 2).



**Bảng 1.** Danh sách các lưu vực bộ phận hệ thống sông Cà.

TT	Lưu vực	Diện tích (km <sup>2</sup> )	TT	Lưu vực	Diện tích (km <sup>2</sup> )
1	BAN VE	8532,44	15	HO HO	293,245
2	CHAU THANG	845,715	16	SONG TIEM	134,57
3	QUY CHAU	1227,23	17	DA HAN	105,743
4	NGHIA KHANH	1981,82	18	NGAN TRUOI	370,686
5	SONG SAO	142,61	19	SON DIEM	830,801
6	SONG HIEU	1226,03	20	SONG GIANG	231,635
7	DO LUONG	471,354	21	THAC MUOI	848,078
8	KHU GIUA	723,356	22	CON CUONG	2639,58
9	NAM DAN	196,026	23	CUA RAO	1181,22
10	HA LUU	574,637	24	NAM MO	2617,78
11	LINH CAM	477,083	25	MUONG XEN	154,287
12	HOA DUYET	485,325	26	DUA	174,818
13	CHU LE	380,024	27	YEN THUONG	85,6184
14	NGAN SAU	78,9251	28	CHO TRANG	173,796



**Hình 2.** Sơ đồ tính toán MIKE NAM lưu vực sông Cà.

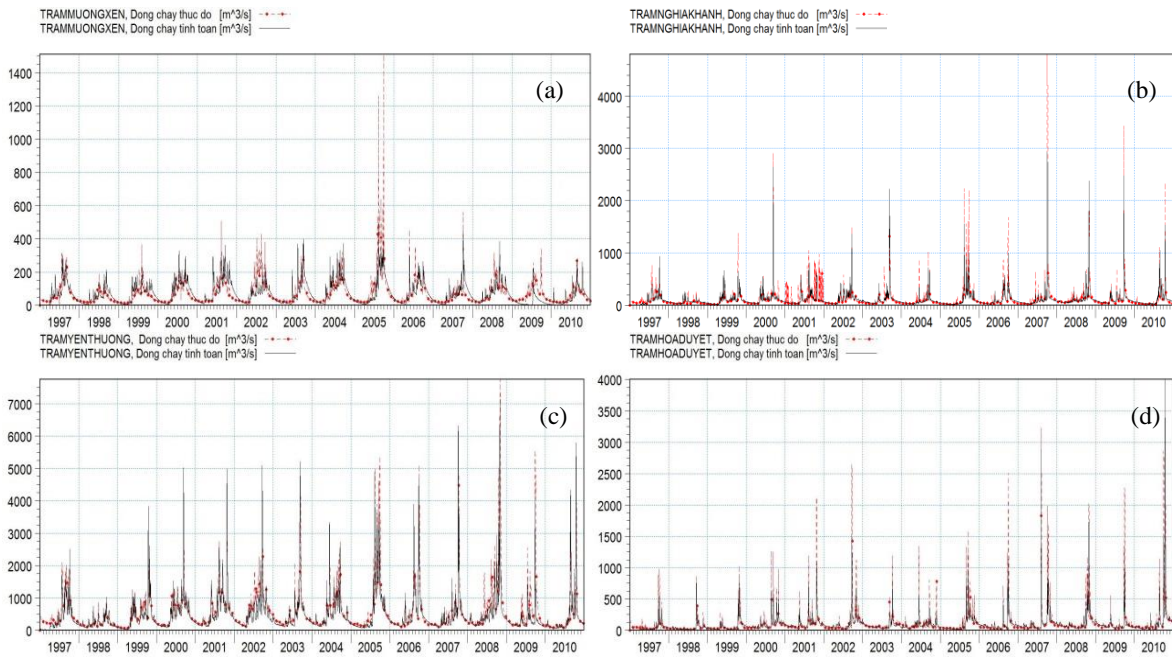
3.1.1. Hiệu chỉnh mô hình MIKE NAM

Số liệu lưu lượng thực đo tại các trạm Mường Xén, Quỳnh Châu, Nghĩa Khánh, Dừa, Yên Thượng, Sơn Diêm, Hoà Duyệt giai đoạn từ năm 1997–2010 được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình. Kết quả so sánh giữa quá trình tính toán và thực đo được thể hiện trên (Bảng 2 và Hình 3).

**Bảng 2.** Đánh giá kết quả hiệu chỉnh theo chi tiêu.

Trạm	Mường Xén	Quỳnh Châu	Nghĩa Khánh	Dừa	Yên Thượng	Sơn Diêm	Hoà Duyệt
Hệ số tương quan đơn R (%)	50,4	69,1	72,9	72,1	71,3	78,6	72,7
Sai số tổng lượng WBL (%)	0,2	4,8	7,8	7,1	18,5	0,3	12

Kết quả cho thấy, hệ số tương quan R tại các trạm đạt từ 50,4% đến 78,6% , đạt mức khá, tốt; sai số tổng lượng tại trạm Mường Xén (0,2%), trạm Quỳnh Châu (4,8%), tại trạm Nghĩa Khánh (7,8%), tại trạm Dừa (7,1%), Sơn Diêm (0,3%) đạt mức sai khác khá nhỏ, sai số tổng lượng tại Yên Thượng (18,5%), Hoà Duyệt (12%) đạt mức sai số lớn hơn tuy nhiên đều đạt mức chấp nhận được.



**Hình 3.** Kết quả hiệu chỉnh mô hình MIKE NAM: (a) Trạm Mùng Xén; (b) Trạm Nghĩa Khánh; (c) Trạm Yên Thượng; (d) Trạm Hòa Duyệt.  
(Ghi chú: đường màu đen: dòng chảy mô phỏng, đường màu đỏ: dòng chảy thực đo, đơn vị: m³/s)

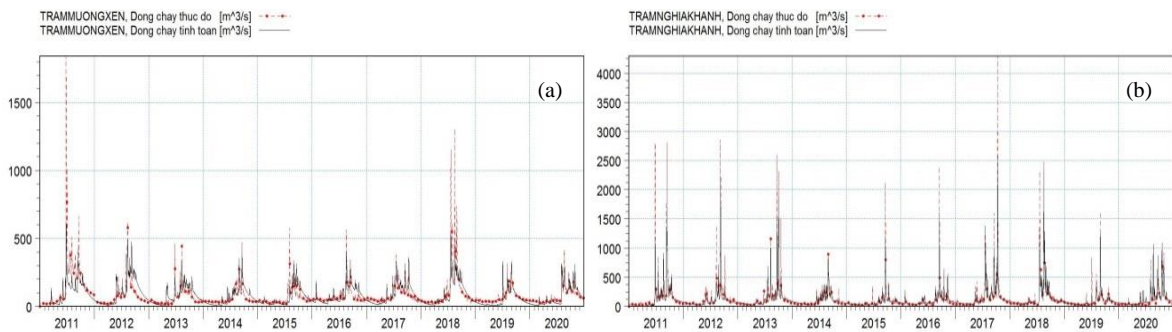
### 3.1.2. Kiểm mô hình MIKE NAM

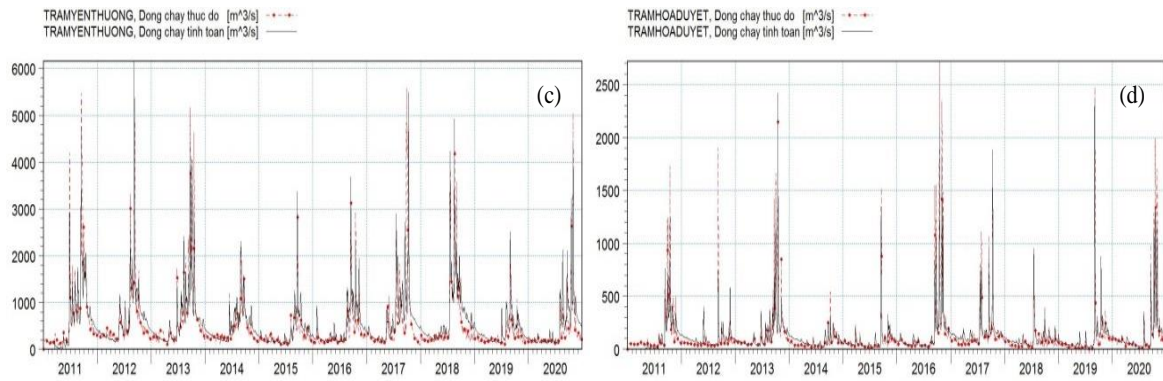
Số liệu lưu lượng thực đo tại các trạm Mùng Xén, Quỳnh Châu, Nghĩa Khánh, Dừa, Yên Thượng, Sơn Diệm, Hòa Duyệt giai đoạn từ năm 2011–2020 được sử dụng để kiểm định mô hình. Kết quả so sánh giữa quá trình tính toán và thực đo được thể hiện trên Bảng 3 và Hình 4.

**Bảng 3.** Đánh giá kết quả kiểm định theo chỉ tiêu.

Trạm	Mùng Xén	Quỳnh Châu	Nghĩa Khánh	Dừa	Yên Thượng	Sơn Diệm	Hòa Duyệt
Hệ số tương quan đơn R (%)	57	53,5	79	79,4	65,6	70	81,1
Sai số tổng lượng WBL (%)	3,3	1,3	3,6	9,7	15,7	4,8	8,8

Kết quả cho thấy, hệ số tương quan R tại các trạm đạt từ 53% đến 81,1%, đạt mức khá, tốt; sai số tổng lượng tại trạm Mùng Xén (3,3%), trạm Quỳnh Châu (1,3%), trạm Nghĩa Khánh (3,6%), trạm Sơn Diệm (4,8%) đạt mức sai khác khá nhỏ, sai số tổng lượng tại trạm Dừa (9,7%), Yên Thượng (15,7%), Hòa Duyệt (8,8%) đạt mức sai số lớn hơn tuy nhiên vẫn nằm trong giới hạn cho phép có thể chấp nhận.





**Hình 4.** Kết quả kiểm định mô hình MIKE NAM: (a) Trạm Mùng Xén; (b) Trạm Nghĩa Khánh; (c) Trạm Yên Thượng; (d) Trạm Hòa Duyệt.

(Ghi chú: đường màu đen: dòng chảy mô phỏng, đường màu đỏ: dòng chảy thực đo, đơn vị: m<sup>3</sup>/s)

Từ kết quả hiệu chỉnh, kiểm định, bộ thông số (Bảng 4) của mô hình có thể sử dụng để phục vụ cho quá trình tính toán đánh giá tài nguyên nước.

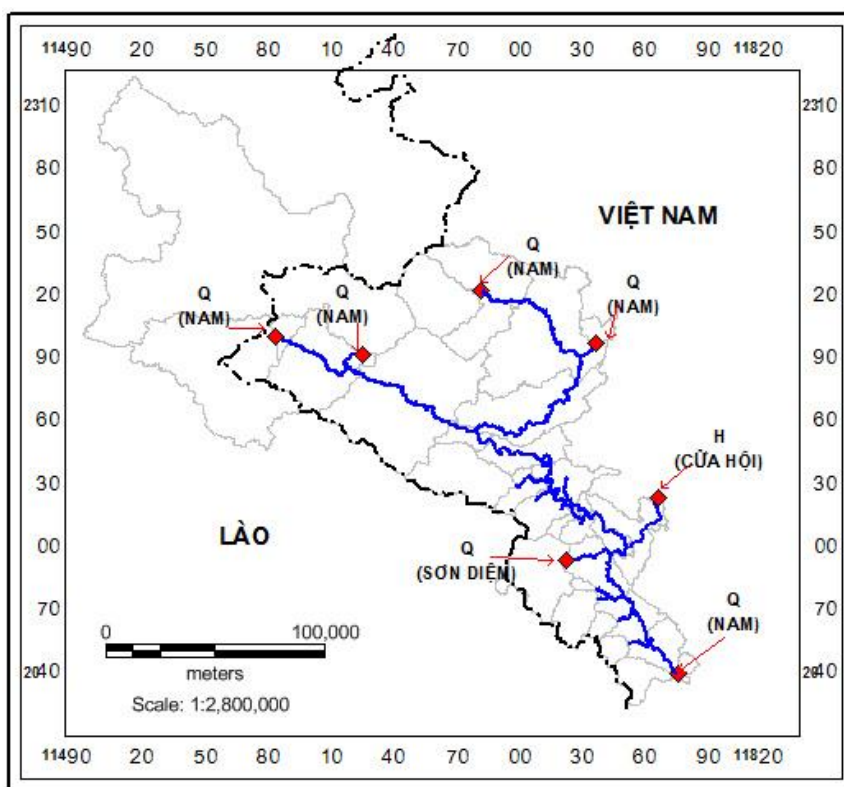
**Bảng 4.** Bộ thông số của mô hình NAM.

Các lưu vực	Umax	Lmax	CQOF	CKIF	CK1,2	TOF	TIF	TG	CKBF
BAN VE	19,70	288,00	0,035	130,0	32,5	0,391	0,453	0,430	2,183
CHAU THANG	7,00	101,00	0,607	128,6	24,0	0,694	0,062	0,057	2,351
QUY CHAU	7,00	101,00	0,607	128,6	24,0	0,694	0,062	0,057	2,351
NGHIA KHANH	15,90	150,00	0,625	310,5	30,8	0,965	0,987	0,389	3,813
SONG SAO	14,50	150,00	0,531	208,0	40,7	0,988	0,684	0,467	3,767
SONG HIEU	10,80	101,00	0,991	216,6	49,7	0,073	0,247	0,965	3,770
DO LUONG	19,40	300,00	0,132	205,1	50,0	0,007	0,004	0,934	3,944
KHU GIUA	8,00	30,00	0,164	215,8	49,3	0,108	0,026	0,988	3,900
NAM DAN	19,60	299,00	0,153	670,7	49,0	0,052	0,104	0,975	3,067
HA LUU	19,90	297,00	0,991	495,7	40,9	0,006	0,116	0,950	2,952
LINH CAM	19,40	300,00	0,163	232,9	49,4	0,156	0,013	0,976	3,093
HOA DUYET	15,00	100,00	0,602	640,6	55,0	0,377	0,175	0,976	3,143
CHU LE	19,70	299,00	0,604	800,2	55,0	0,377	0,175	0,975	2,739
NGAN SAU	19,70	299,00	0,106	702,3	55,0	0,513	0,456	0,977	2,782
HO HO	18,30	299,00	0,600	450,5	55,0	0,086	0,500	0,956	2,860
SONG TIEM	19,50	299,00	0,101	603,0	51,0	0,152	0,303	0,946	2,798
DA HAN	19,80	298,00	0,106	996,8	55,0	0,265	0,088	0,980	3,468
NGAN TRUOI	19,90	299,00	0,102	859,6	55,0	0,085	0,584	0,983	3,296
SON DIEM	15,00	100,00	0,707	500,0	28,8	0,158	0,115	0,026	1,096
SONG GIANG	19,00	30,00	0,146	208,6	48,5	0,031	0,179	0,952	3,977
THAC MUOI	19,00	30,00	0,146	202,5	49,4	0,008	0,176	0,984	3,972
CON CUONG	19,10	300,00	0,121	659,7	40,9	0,987	0,930	0,540	3,922
CUA RAO	19,70	292,00	0,139	967,3	32,3	0,989	0,217	0,549	3,944
NAM MO	1,30	8,00	0,199	342,0	29,9	0,910	0,353	0,153	1,335
MUONG XEN	1,30	8,00	0,199	342,0	29,9	0,910	0,353	0,153	1,335
DUA	10,80	101,00	0,991	216,6	49,7	0,073	0,247	0,965	3,770
YEN THUONG	8,00	30,00	0,170	202,7	49,6	0,085	0,077	0,947	3,977
CHO TRANG	19,90	297,00	0,991	495,7	40,9	0,006	0,116	0,950	2,952

### 3.2. Thiết lập mô hình thủy lực (MIKE 11)

Mô hình được thiết lập gồm 865 mặt cắt trên hệ thống sông chính (Hình 5), cụ thể như sau:

- + Sông Tiêm: chiều dài đoạn sông mô phỏng 16,8km, 27 mặt cắt ngang
- + Sông Ngàn Trươi: chiều dài đoạn sông mô phỏng 19,3km, 58 mặt cắt ngang
- + Sông Ngàn Sâu: chiều dài đoạn sông mô phỏng 94,3km, 122 mặt cắt ngang
- + Sông Ngàn Phố: chiều dài đoạn sông mô phỏng 28,0km, 18 mặt cắt ngang
- + Sông Nậm Nơn: chiều dài đoạn sông mô phỏng 50,6km, 11 mặt cắt ngang
- + Sông Lam: chiều dài đoạn sông mô phỏng 34,0km, 29 mặt cắt ngang
- + Sông La: chiều dài đoạn sông mô phỏng 12,4km, 22 mặt cắt ngang
- + Khe Trí: chiều dài đoạn sông mô phỏng 8,9km, 41 mặt cắt ngang
- + Kênh Đô Lương: chiều dài đoạn sông mô phỏng 2,2km, 4 mặt cắt ngang
- + Sông Hiếu: chiều dài đoạn sông mô phỏng 202km, 133 mặt cắt ngang
- + Sông Giăng: chiều dài đoạn sông mô phỏng 24,0km, 23 mặt cắt ngang
- + Sông Đá Hàn: chiều dài đoạn sông mô phỏng 11,3km, 20 mặt cắt ngang
- + Sông Cả: chiều dài đoạn sông mô phỏng 226,1km, 238 mặt cắt ngang
- + Sông Sào: chiều dài đoạn sông mô phỏng 14,2km, 34 mặt cắt ngang
- + Sông Trai: chiều dài đoạn sông mô phỏng 14,7km, 19 mặt cắt ngang
- + Sông Rô: chiều dài đoạn sông mô phỏng 7,2km, 11 mặt cắt ngang
- + Sông Riêu: chiều dài đoạn sông mô phỏng 5,4km, 10 mặt cắt ngang
- + Sông Giang: chiều dài đoạn sông mô phỏng 38,7km, 30 mặt cắt ngang.



**Hình 5.** Mạng lưới thủy lực khu vực nghiên cứu.

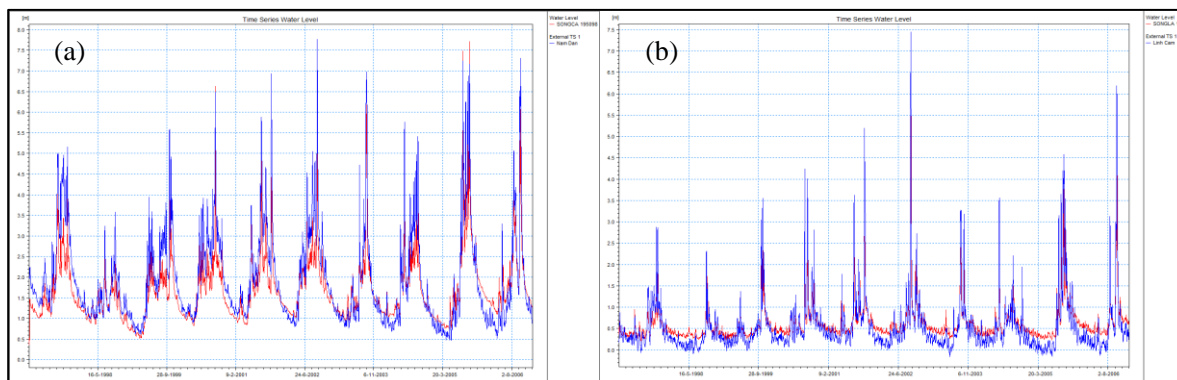
#### 3.2.1. Hiệu chỉnh mô hình MIKE 11

Số liệu mực nước thực đo tại các Nam Đàn, Linh Cảm và Chợ Tràng giai đoạn từ năm 1997–2006 được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình. Kết quả so sánh giữa quá trình tính toán và thực đo được thể hiện trên Bảng 5 và Hình 6. Chỉ số Nash–Sutcliffe [19] NSE tại các trạm đạt mức khá tốt; Hệ số tương quan tại các trạm đều đạt trên 0,8.



**Bảng 5.** Kết quả tính toán các chỉ tiêu tại các vị trí hiệu chỉnh.

Trạm hiệu chỉnh	NSE (%)	Hệ số tương quan ( $R^2$ )
Nam Đàn	77,8	0,88
Chợ Tràng	73,9	0,85
Linh Cảm	77,1	0,89



**Hình 6.** Kết quả hiệu chỉnh mô hình MIKE 11: (a) Trạm Nam Đàn; (b) Trạm Linh Cảm.

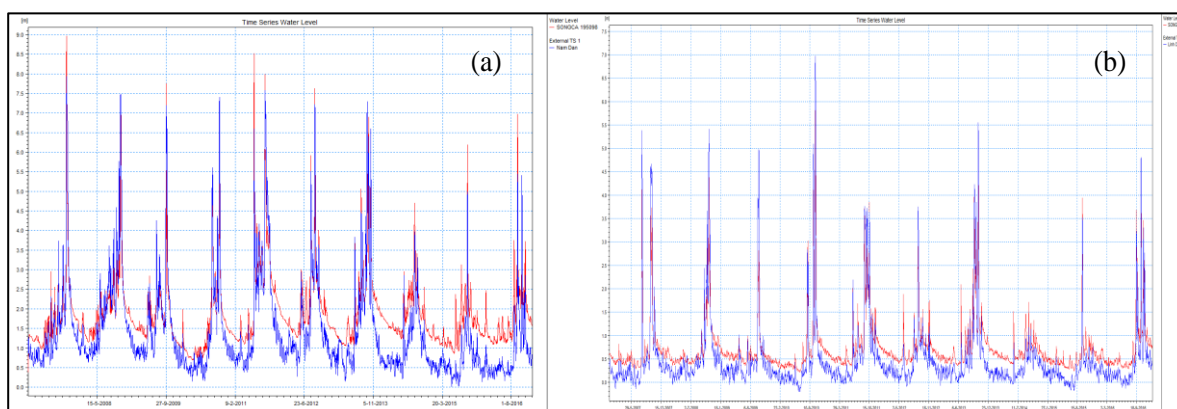
(Ghi chú: đường màu xanh: dòng chảy mô phỏng, đường màu đỏ: dòng chảy thực đo, đơn vị: m)

### 3.2.2. Kiểm định mô hình MIKE 11

Số liệu mực nước thực đo tại các Nam Đàn, Linh Cảm và Chợ Tràng giai đoạn từ năm 2007–2016 được sử dụng để kiểm định mô hình. Kết quả so sánh giữa quá trình tính toán và thực đo được thể hiện trên Bảng 6 và Hình 7. Chỉ số Nash–Sutcliffe [19] NSE tại các trạm đạt mức khá tốt; Hệ số tương quan tại các trạm đều đạt trên 0,8.

**Bảng 6.** Kết quả tính toán các chỉ tiêu tại các vị trí kiểm định.

Trạm kiểm định	NSE (%)	Hệ số tương quan ( $R^2$ )
Nam Đàn	73,5	0,85
Chợ Tràng	75,4	0,85
Linh Cảm	73,1	0,88



**Hình 7.** Kết quả kiểm định mô hình MIKE 11: (a) Trạm Nam Đàn; (b) Trạm Linh Cảm.

(Ghi chú: đường màu xanh: dòng chảy mô phỏng, đường màu đỏ: dòng chảy thực đo, đơn vị: m)

Từ kết quả hiệu chỉnh, kiểm định, bộ thông số với độ nhám lòng sông từ 0,02 đến 0,035 tùy từng đoạn sông của mô hình có thể sử dụng để phục vụ cho quá trình tính toán đánh giá tài nguyên nước.

### 3.3. Tính toán và đánh giá tài nguyên nước mặt lưu vực sông Cả

Bộ thông số mô hình vừa tìm được thông qua quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình NAM và MIKE 11 được sử dụng để tiến hành tính toán đánh giá tài nguyên nước lưu vực sông Cả. Để đánh giá tài nguyên nước mặt trên lưu vực sông Cả phục vụ cấp giấy phép khai thác tài nguyên nước, tác giả lựa chọn để minh họa ở 2 vị trí, trong đó 1 vị trí là trạm thủy văn, 1 vị trí là công trình khai thác nước mặt của doanh nghiệp, cụ thể trong bảng 7.

**Bảng 7.** Vị trí lựa chọn phân tích, đánh giá.

TT	Tên công trình	Sông	Vị trí địa lý
1	Yên Thượng	Sông Cả	Thanh Yên Thanh Chương, Nghệ An
2	Công ty TNHH MTV Cấp nước Sông Lam	Sông Cả	Thị trấn Nam Đàn, Nam Đàn, Nghệ An

Công ty TNHH MTV Cấp nước Sông Lam đã được UBND tỉnh Nghệ An cấp giấy phép khai thác tài nguyên nước mặt trên sông Cả với lưu lượng 200.000m<sup>3</sup>/ngày đêm, tương đương 1 tháng khai thác 6 triệu m<sup>3</sup>, mỗi năm khai thác 73 triệu m<sup>3</sup>. Vị trí khai thác cách trạm Nam Đàn 4km, trạm Yên Thượng 18km về phía thượng lưu, cách trạm Chợ Trảng 25km về phía hạ lưu. Các tính toán, đánh giá gồm yếu tố dòng chảy năm, dòng chảy lũ, dòng chảy kiệt, dòng chảy trung bình tháng, dòng chảy trung bình ngày nhiều năm.

#### 3.3.1. Dòng chảy năm

Trên dòng chính sông Cả, tính đến Dừa, tổng lượng dòng chảy năm đạt 11,87.109 m<sup>3</sup>; tính đến Yên Thượng tổng lượng dòng chảy năm đạt 16,87.109 m<sup>3</sup>; tính đến vị trí công trình khai thác tổng lượng dòng chảy năm đạt 24,96.109 m<sup>3</sup>.

Nếu xét tổng lượng dòng chảy năm, sông Cả đủ cấp nước cho công ty khai thác với công suất 73 triệu m<sup>3</sup> trong năm.

Nhánh sông Hiếu: Lưu lượng trung bình nhiều năm đo được tại trạm Quỳnh Châu và Nghĩa Khánh lần lượt là 69,7 m<sup>3</sup>/s, 110,5 m<sup>3</sup>/s, trong đó tổng lượng dòng chảy tính đến trạm Quỳnh Châu là 2,20.109 m<sup>3</sup>; tính đến trạm Nghĩa Khánh tổng lượng dòng chảy đạt 3,48.109 m<sup>3</sup>.

Trên lưu vực sông Ngàn Phố, dòng chảy trung bình nhiều năm đo tại trạm Sơn Diệm là 41,9 m<sup>3</sup>/s, tổng lượng dòng chảy là 1,32.109 m<sup>3</sup>.

Biến đổi dòng chảy năm lưu vực sông Cả thể hiện tại các vị trí đo đạc như sau:

**Bảng 8.** Đặc trưng dòng chảy năm trung bình nhiều năm.

TT	Trạm	Sông	Thời kỳ	Dòng chảy năm Q <sub>o</sub> (m <sup>3</sup> /s)	W <sub>o</sub> (10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )
1	Yên Thượng	Cả	1997–2016	534,9	16,87
2	Vị trí khai thác (VTKT)	Cả	1997–2016	791,4	24,96

#### 3.3.2. Dòng chảy mùa lũ

Trên dòng chính sông Cả, lưu lượng dòng chảy lũ trung bình nhiều năm tại trạm Dừa, trạm Yên Thượng và công trình khai thác lần lượt là 511,743 m<sup>3</sup>/s, 765,916 m<sup>3</sup>/s, 1056,23 m<sup>3</sup>/s. Tổng lượng dòng chảy tại trạm Dừa là 6,72.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>, tại trạm Yên Thượng là 10,06.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>, tại công ty khai thác là 13,87.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>. Tỷ lệ phân phối dòng chảy mùa lũ bằng 55%÷60% dòng chảy cả năm.

Tổng lưu lượng khai thác của công trình trong mùa lũ từ tháng V đến tháng VI và từ tháng IX đến tháng XI là 30,4.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Trong mùa lũ, tổng lượng nước tính toán tại vị trí công trình là 13,87.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>. Vì vậy, tổng lượng nước trong mùa lũ đảm bảo đủ nước cho công ty khai thác. Lưu lượng lũ thực đo và tính toán tại trạm Yên Thượng và vị trí dự kiến

khai thác được thể hiện trong Bảng 9. Nhận thấy các giá trị tính toán và thực đo các yếu tố tại trạm Yên Thượng sai khác rất nhỏ.

**Bảng 9.** Tỷ lệ phân phối dòng chảy mùa tại một số trạm thủy văn.

Trạm	Thời kỳ	Yên Thượng	Yên Thượng	Vị trí khai thác (VTKT)
		thực đo	tính toán	
		1997–2016	1997–2016	1997–2016
Mùa lũ	$Q_{lũ}$ (m <sup>3</sup> /s)	766,22	765,92	1056,23
	$W_{lũ}$ (109m <sup>3</sup> )	10,06	10,06	13,87
	% cả năm	59,56	59,62	55,57
Mùa kiệt	$Q_{kiệt}$ (m <sup>3</sup> /s)	370,57	369,82	602,19
	$W_{kiệt}$ (109m <sup>3</sup> )	6,82	6,81	11,08
	% cả năm	40,37	40,34	44,4
Năm	$W_{năm}$ (109m <sup>3</sup> )	16,89	16,87	24,96

### 3.3.3. Dòng chảy mùa kiệt

Mùa kiệt trên lưu vực sông Cả bắt đầu từ tháng I và kết thúc vào cuối tháng VIII hàng năm, giữa mùa kiệt vào tháng V, tháng VI có xuất hiện lũ tiểu mãn và chính vì có thời gian lũ chen giữa mùa kiệt này mà dòng chảy trên sông Cả có 2 thời kỳ kiệt khác biệt nhau: Kiệt vào tháng III÷IV và kiệt vào tháng VII÷VIII. Trong những năm qua kiệt vào tháng III÷IV ảnh hưởng tới sản xuất nhiều hơn kiệt vào tháng VII÷VIII. Thời gian bắt đầu và kết thúc mùa kiệt trên toàn lưu vực sông Cả không giống nhau [20].

Tại vị trí công trình dòng chảy trung bình mùa kiệt là 602,189 m<sup>3</sup>/s, tổng lượng dòng chảy là 11,08.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>, chiếm 44,40% dòng chảy cả năm. Tổng lưu lượng khai thác của công ty trong mùa kiệt (từ tháng 12 năm nay đến hết tháng 4 năm sau) là 42,6.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Như vậy, tổng lượng nước trong mùa kiệt vẫn đảm bảo đủ nước cho công ty khai thác.

Lưu lượng kiệt thực đo và tính toán tại trạm Yên Thượng và vị trí dự kiến khai được thể hiện trong Bảng 9.

### 3.3.4. Dòng chảy theo tháng

Theo kết quả tính toán dòng chảy trung bình trong tháng nhiều năm tại vị trí công trình là dao động từ 381,4 m<sup>3</sup>/s đến 1596,6 m<sup>3</sup>/s. Tháng IV có giá trị dòng chảy nhỏ nhất là 381,4m<sup>3</sup>/s, tổng lượng nước đạt 0,9886.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>.

Dòng chảy nhỏ nhất trong tháng nhiều năm tại vị trí công trình dao động từ 2 m<sup>3</sup>/s đến 227 m<sup>3</sup>/s, tháng I có giá trị dòng chảy nhỏ nhất là 2 m<sup>3</sup>/s, tổng lượng nước đạt 0,0054.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>. Tiếp đến là tháng III có lưu lượng dòng chảy là 54,2 m<sup>3</sup>/s, tổng lượng nước đạt 0,1452.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>.

Công trình khai thác nước mặt có công suất là 200.000 m<sup>3</sup>/ngày đêm, tương đương 2,31 m<sup>3</sup>/s. Tổng lượng nước khai thác của công ty trong một tháng dao động từ 0,005610<sup>9</sup> m<sup>3</sup> đến 0,0062.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> (do chênh lệch số ngày trong tháng).

### 3.3.5. Dòng chảy ngày

Trong chuỗi số liệu tính toán từ năm 1997 đến năm 2016, tại vị trí công trình khai thác, dòng chảy nhỏ nhất bằng 2 m<sup>3</sup>/s xuất hiện tại ngày 1/1/1997, đây là thời điểm đầu của mô hình. Do thời điểm đầu mô hình còn chưa ổn định, nên tác giả không sử dụng số liệu tính toán tại vị trí công trình trong tháng 1/1997.

Ngày 19/3/1999 dòng chảy nhỏ nhất tiếp theo tại vị trí công trình là 54,2 m<sup>3</sup>/s, đây là thời kỳ mùa kiệt. Tuy nhiên với lưu lượng dòng chảy như trên vẫn đảm bảo đủ nước để công trình có thể khai thác.

Trong chuỗi thời gian tính toán hầu hết ngày có dòng chảy nhỏ nhất xuất hiện trong năm 1999, thời gian xuất hiện tùy thuộc vào địa hình khu vực. Thời gian có dòng chảy nhỏ nhất ghi nhận tại trạm Dừa vào ngày 8/5/1999, tuy nhiên phía hạ lưu dòng chính sông Cả tại trạm Yên Thượng xuất hiện sớm hơn vào tháng 3 năm 1999, thời gian dòng chảy kiệt lâu hơn.

#### 4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo đã trình bày phương pháp và kết quả ứng dụng mô hình MIKE 11 tính toán dòng chảy mặt phục vụ công tác cấp phép khai thác tài nguyên nước lưu vực sông Cả. Bộ thông số mô hình tìm được thông qua quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình NAM (hệ số tương quan R tại các trạm đạt từ từ trên 50% đến 81%) và MIKE 11 (chỉ số Nash–Sutcliffe tại các trạm đạt từ từ trên 73% đến 78%) được sử dụng để tiến hành tính toán đánh giá tài nguyên nước lưu vực sông Cả. Tiêm hành tính toán, tác giả lựa chọn 2 vị trí, trong đó 1 vị trí là trạm thủy văn Yên Thượng nhận thấy các giá trị tính toán và thực đo sai khác rất nhỏ, 1 vị trí là công trình khai thác nước mặt của doanh nghiệp. Từ đó cho thấy khả năng ứng dụng mô hình để cải thiện tính toán trong công tác cấp phép khai thác tài nguyên nước nói chung và cấp phép khai thác tài nguyên nước lưu vực sông Cả nói riêng.

Trong các nghiên cứu tiếp theo cần tiếp tục cập nhật và hiệu chỉnh bộ mô hình với các trận lũ để bộ thông số mô hình ngày càng hoàn thiện và ổn định hơn.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu và phân công nhiệm vụ triển khai: T.N. A.; N.K.N.A., N.Q.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.N. A., N.K.N.A.; Tính toán kết quả: N.Q.T.; Viết bản thảo bài báo: N.K.N.A., T.N.A., N.Q.T.; Chỉnh sửa bài báo: T.N.A.

**Lời cảm ơn:** Cảm ơn sự hỗ trợ về số liệu, hệ thống tính toán hiệu năng cao của Trung tâm Động lực học thủy khí môi trường –ĐH KHTN – ĐHQGHN để hoàn thành 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. <http://dwrn.gov.vn/index.php?language=vi&nv=news&op=Cap-phap-ve-Tai-nguyen-nuoc/Ca-nuoc-da-cap-hon-24000-giay-phap-trong-linh-vuc-tai-nguyen-nuoc-11284>.
2. Thông tư 27/2014/TT-BTNMT ngày 30/5/2014 của Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường.
3. Hà, N.N.; Trình, N.M.; Minh, H.T.N. Ứng dụng mô hình MIKE NAM, MIKE 11 HD tính toán tài nguyên nước mặt lưu vực sông Cửu Long. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 731, 54–68.
4. García, A.; Sainz, A.; Revilla, J.A.; Álvarez, C.; José A. Juanes, Puente, A. Surface water resources assessment in scarcely gauged basins in the north of Spain. *J. Hydrol.* **2008**, 356(3–4), 312–326.
5. Sun, C.; Ren, L. Assessment of surface water resources and evapotranspiration in the Haihe River basin of China using SWAT model. *Hydrol. Processes* **2013**, 27(8), 1200–1222.
6. Ait–Aoudia, M.N.; Berezowska–Azzag, E. Water resources carrying capacity assessment: The case of Algeria's capital city. *Habitat Int.* **2016**, 58, 51–58.
7. Anh, T.V.; Hiền, N.T.; Khánh, Đ.Q. Đánh giá lượng dòng chảy sông Đà từ Trung Quốc vào Việt Nam phục vụ cho bài toán quy hoạch và quản lý tài nguyên nước lưu vực sông Đà. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 678, 54–62.
8. Anh, N.K.N.; Anh, T.N. Ứng dụng mô hình MIKE BASIN tính toán cân bằng nước lưu vực sông Lam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, 2, 40–47.
9. Viện quy hoạch thủy lợi. Báo cáo quy hoạch thủy lợi lưu vực sông Cả, 2013.
10. Denmark Hydraulic Institute (DHI). MIKE ZERO The Common DHI User Interface for Project Oriented Water Modelling User Guide, DHI, 2014.
11. Crofton, J.B. An evaluation of the gravel transport capabilities of MIKE II case study—the Fraser river Gravel Reach. Diss. University of British Columbia, 2003.



12. Doulgeris, C. et al. Ecosystem approach to water resources management using the MIKE 11 modeling system in the Strymonas River and Lake Kerkini. *J. Environ. Manage.* **2012**, 94(1), 132–143.
13. Keokhumcheng, Y.; Tingsanchali, T. Flood Hazard Assessment of The Eastern Region of Bangkok Floodplain, Thailand, 2<sup>nd</sup> International Conference on Biotechnology and Environment Management IPCBEE 2012, vol. 42 IACSIT Press, 2012, pp. 201–217.
14. Long, V.Đ. và cs. Giới thiệu công nghệ dự báo lũ hệ thống sông Bến Hải và Thạch Hãn sử dụng mô hình MIKE 11. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự Nhiên và Công nghệ* **2010**, 25(3S), 492–498.
15. Anh, T.N. và cs. Đánh giá nguy cơ ngập lụt các khu vực trũng tỉnh Hưng Yên. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2012**, 28(3S), 1–8.
16. Anh, N.K.N. và cs. Đánh giá hiểm họa lũ lụt tại huyện Phú Lộc, tỉnh Thừa Thiên Huế trong bối cảnh biến đổi khí hậu. *VNU J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2021**, 37(3), 27–38.
17. Denmark Hydraulic Institute (DHI). MIKE 11 A Modelling System for Rivers and Channels Reference Manual, DHI, 2014.
18. Denmark Hydraulic Institute (DHI). MIKE 11 A Modelling System for Rivers and Channels User Guide, DHI, 2014.
19. Waseem, M.; Mani, N.; Andiego, G.; Usman, M. A Review of Criteria of Fit for Hydrological Models. *International. IRJET* **2017**, 04(11), 1765–1772.
20. Phương, C.T. Ảnh hưởng của Biến đổi khí hậu đến dòng chảy mặt lưu vực sông Cả. *Tap chí Kỹ thuật Khoa học Thủy lợi và Môi trường* **2012**, 36, 79–84.

## Applying the MIKE 11 model to estimate surface runoff for the licensing of water resource exploitation in the Ca river basin

Nguyen Kim Ngoc Anh<sup>1\*</sup>, Tran Ngoc Anh<sup>1,2</sup>, Ngo Quang Tai<sup>3</sup>, Le Minh Nhat<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Center for Environmental Fluid Dynamics, VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi; ngocanhk@hus.edu.vn; tranngocanh@hus.edu.vn; binh.gis.cefd@hus.edu.vn

<sup>2</sup> Faculty of Hydrology, Meteorology and Oceanography, VNU University of Sciences, Vietnam National University, Hanoi; tranngocanh@hus.edu.vn

<sup>3</sup> Northern division for water resources planning and investigation; ngotai87@gmail.com.

<sup>4</sup> Vietnam Disaster Management Administration, Ministry of Agriculture and Rural Development; nhatkyoto@gmail.com

**Abstract:** This paper briefly describe method and results of applying MIKE 11 model to calculate surface runoff for licensing water exploitation in the Ca river basin. The authors have synthesized and analyzed data on precipitation, evaporation, discharge, water level at hydrological and meteorological stations in the Ca river basin from 1997 to 2016. In addition to DEM data, 688 cross-sections on major river systems were collected. MIKE – NAM and MIKE 11 tools were setup and calibrated in period from 1997 to 2006, verified with observed data from 2007 to 2016. The results of model calibration and verification at hydrological stations show that the Nash–Sutcliffe index is relatively good, the correlation error is less than 12%. From the set of model parameters obtained, the time series of runoff at every grid point were simulated and then used to calculate the required factors for licensing such as annual flow, flood flow, low flow, averaged monthly flow, averaged daily flow at Yen Thuong hydrological station and at 1 selected location.

**Keywords:** MIKE 11; Simulation of surface runoff; Licensing; Ca river basin.

Bài báo khoa học

## Giới thiệu một số phương pháp tính toán lưu lượng dòng chảy cho lưu vực thiếu hoặc không có số liệu quan trắc mặt đất

Đặng Đình Khá<sup>1</sup>, Trần Ngọc Anh<sup>1,2\*</sup>, Nguyễn Ý Như<sup>1</sup>, Phạm Thị Thúy Nga<sup>2</sup>, Đặng Thị Hồng Nhung<sup>2</sup>, Nguyễn Hoàng Minh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; dangdinhkha@hus.edu.vn; tranngocanh@hus.edu.vn; nguyennhu@hus.edu.vn

<sup>2</sup> Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; phamnga3789@gmail.com; dangthihongnhung\_t61@hus.edu.vn

<sup>3</sup> Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; hoangminh281287@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: tranngocanh@hus.edu.vn; Tel.: +84-915051515

Ban Biên tập nhận bài: 23/7/2022; Ngày phản biện xong: 21/08/2022; Ngày đăng bài: 25/08/2022

**Tóm tắt:** Tính toán lưu lượng dòng chảy cho lưu vực thiếu/không có trạm quan trắc mặt đất đang là thách thức trong ngành thủy văn. Bài báo này sẽ giới thiệu và phân tích, đánh giá, tổng hợp một số phương pháp tính toán dòng chảy tại những lưu vực thiếu hoặc không có trạm quan trắc mặt đất nhằm giúp các nhà thủy văn có thể vận dụng phù hợp các phương pháp này cho vùng nghiên cứu nhằm cải thiện độ chính xác khi tính toán dòng chảy. Bài báo sẽ tập trung vào một số hướng tiếp cận được sử dụng nhiều trong những năm gần đây cho các lưu vực thiếu/không có trạm quan trắc mặt đất, bao gồm các phương pháp; (1) chuyển đổi thông số mô hình, (2) cải tiến cấu trúc mô hình toán thủy văn, (3) tích hợp các mô hình, (4) sử dụng phương pháp học máy, (5) sử dụng dữ liệu mưa lưới, (6) sử dụng dữ liệu thay thế.

**Từ khóa:** Lưu lượng dòng chảy; Lưu vực thiếu hoặc không có trạm quan trắc.

### 1. Giới thiệu

Việt Nam có một hệ thống mạng lưới sông ngòi dày đặc, có trên 2360 sông suối có chiều dài từ 10 km trở lên. Dòng chảy sản sinh trên lãnh thổ Việt Nam là 238,52 km<sup>3</sup> chiếm 46,3%, phần còn lại đến từ lãnh thổ các nước láng giềng [1]. Tuy nhiên mạng lưới quan trắc các số liệu khí tượng thủy văn (KTTV) hiện nay là khá thưa thớt và đang trong quá trình nâng cấp và hiện đại hóa để thu thập thông tin KTTV phục vụ phát triển kinh tế xã hội [2]. Theo báo cáo của WB5, tính đến tháng 9 năm 2019, Trung tâm Khí tượng Thủy văn Quốc gia (NHMS) vận hành tất cả 333 trạm khí tượng (bao gồm các trạm khí tượng bề mặt, khí tượng nông nghiệp và khí tượng tự động) và 781 trạm đo mưa bao gồm các trạm đo mưa nhân dân và đo mưa dịch vụ. Mạng lưới các trạm thủy văn sẽ có tất cả là 511 trạm bao gồm các trạm thủy văn truyền thống và trạm đo mực nước tự động [3]. Tuy nhiên, phân bố mạng lưới trạm lại không đồng đều, các trạm khí tượng thủy văn tập trung chủ yếu ở vùng đồng bằng và hạ lưu của các hệ thống sông. Có đến 75% các trạm khí tượng nằm trong phạm vi độ cao từ 0–200 m (48% diện tích cả nước) [4]. Do đó, số lượng trạm mặt đất đặt ở độ cao lớn hơn 200 m là chưa đại diện cho đặc điểm khí tượng thủy văn ở thượng nguồn các lưu vực sông. Ngoài ra, Việt Nam còn có 10 trạm radar quan trắc mưa, dông (chưa bao gồm các trạm radar dùng riêng tại các sân bay, khu vực quân sự, ...), tuy nhiên, các trạm radar này gặp khó khăn khi

quan trắc mưa ở những vùng đồi núi. Như vậy, có thể nói, trên lãnh thổ Việt Nam, có rất nhiều lưu vực đang nằm trong tình trạng thiếu số liệu hoặc không có các trạm quan trắc mặt đất chưa kể phần lớn diện tích của hai hệ thống sông lớn nhất là sông Hồng và sông Mê Công nằm trên lãnh thổ nước ngoài—vốn không có khả năng thu thập được dữ liệu một cách hệ thống và kịp thời. Do vậy, lựa chọn phương pháp tính dòng chảy cho kết quả tốt tại các lưu vực thiếu/không có số liệu quan trắc mặt đất có ý nghĩa quan trọng trong dự báo, vận hành các công trình thủy lợi và quản lý tài nguyên nước một cách hiệu quả.

Mức độ chính xác của giá trị lưu lượng dòng chảy có ý nghĩa then chốt để đảm độ tin cậy của kết quả dự báo, tính hợp lý khi xây dựng, vận hành các công trình thủy lợi và quản lý tài nguyên nước một cách hiệu quả. Việc lắp đặt các trạm quan trắc dòng chảy trên lưu vực sông sẽ cho kết quả chính xác tại vị trí đo đạc nhưng tại những vị trí không có trạm quan trắc thì phải tính toán, ước lượng theo các phương pháp khác nhau do lưu lượng dòng chảy luôn biến đổi theo không gian và thời gian. Các số liệu lưu lượng dòng chảy tại những nơi không có trạm quan trắc thường được tính gián tiếp thông qua các giá trị quan trắc ở khu vực lân cận, của trạm thượng lưu và/hoặc hạ lưu, hoặc từ các số liệu khí tượng và số liệu mặt đệm trên lưu vực như; mưa, bốc hơi, độ ẩm của đất, thảm phủ thực vật, địa hình,... bằng các công thức kinh nghiệm, các phương trình toán lý hay thống kê. Bài báo này sẽ trình bày và tổng hợp một số phương pháp tính toán nhằm nâng cao độ chính xác kết quả tính toán dòng chảy lưu lượng cho những lưu vực thiếu/không có trạm quan trắc thường được sử dụng trong những năm gần đây.

## 2. Giới thiệu một số phương pháp tính toán dòng chảy cho lưu vực thiếu hoặc không có trạm quan trắc

Để có thể thu thập được thông tin hay ước lượng thủy văn trên các lưu vực thiếu hay không có quan trắc KTTV trên bề mặt, hướng nghiên cứu sử dụng các tài liệu trên lưu vực tương tự được bắt đầu từ rất lâu. Các nguồn thông tin hay ước lượng thủy văn này có ý nghĩa quan trọng trong việc đánh giá tài nguyên nước, thiết kế các công trình (hồ chứa, đập dâng, cầu cống,...), xây dựng các công cụ dự báo/cảnh báo về lũ lụt và hạn hán. Các phương pháp theo hướng nghiên cứu này đã được đưa vào quy phạm, quy chuẩn trong tính toán thủy văn, thủy lực (QP.TL.C-6-77 [5] hay TCVN 9845:2013 [6]) để phục vụ tính toán thiết kế các công trình thủy lợi thủy điện và tài nguyên nước trên lưu vực. Có thể thấy rằng, điều kiện tiên quyết của các nghiên cứu theo hướng này là tính chất tương tự của các lưu vực [7]. Do vậy, độ tin cậy của kết quả nghiên cứu phụ thuộc nhiều vào tiêu chí đánh giá độ tương đồng (về quy mô lưu vực, điều kiện địa hình, thổ nhưỡng, thảm phủ, khí tượng khí hậu,...), trong khi bản thân các đặc tính đó của lưu vực lại có tính phân bố theo không/thời gian mạnh mẽ. Vì thế, các giả thiết về tính tương tự giữa các lưu vực và điều kiện ứng dụng rất khó được đáp ứng một cách chặt chẽ, nhất là trong điều kiện các hoạt động KTXH trên bề mặt lưu vực (sử dụng đất, hồ chứa, công trình thủy lợi, giao thông...) đã làm thay đổi cơ bản các tính chất vật lý của quá trình hình thành dòng chảy. Bên cạnh đó, các nghiên cứu sử dụng phương pháp lưu vực tương tự trong những năm gần đây nhìn chung ít được sử dụng hơn trước, do có nhiều thay đổi về mặt thu thập số liệu cũng như xuất hiện nhiều phương pháp mới để bổ khuyết số liệu cho các lưu vực thiếu hoặc không có số liệu quan trắc.

Trong thời gian gần đây cùng với sự phát triển của công nghệ, đặc biệt là công nghệ viễn thám, nhiều nguồn số liệu cũng như phương pháp tính toán dòng chảy đã được nghiên cứu và phát triển nhằm bổ khuyết số liệu cho các lưu vực không có số liệu hoặc khó truy cập (vùng sâu vùng xa, địa hình hiểm trở, chính trị bất ổn ...). Một số hướng nghiên cứu nhằm nâng cao kết quả tính toán cho lưu vực thiếu hoặc không có trạm quan trắc có thể được kể đến như sau:

- Chuyển đổi thông số mô hình
- Cải tiến cấu trúc mô hình toán thủy văn
- Tích hợp các mô hình

- Sử dụng phương pháp học máy
- Sử dụng dữ liệu mưa lưới (bao gồm mưa vệ tinh/radar, mưa tái phân tích, mưa từ mô hình số, mưa nội suy)
- Sử dụng dữ liệu thay thế

Các hướng nghiên cứu này có thể được kết hợp với nhau theo các sơ đồ, thuật toán cụ thể tùy theo từng nghiên cứu để cải thiện tính toán dòng chảy cho lưu vực thiếu hoặc không có số liệu.

### 2.1. Chuyển đổi thông số mô hình

Phương pháp chuyển đổi thông số mô hình từ lưu vực tương tự là phương pháp được sử dụng phổ biến [8–10] trong tính toán dòng chảy cho lưu vực thiếu hoặc không có số liệu. Những tiêu chí về lưu vực tương tự của phương pháp này chủ yếu dựa trên giả thuyết về (i) tương tự không gian (*spatial proximity*) – lưu vực gần nhau hoặc tiếp giáp sẽ có quá trình thủy văn tương tự nhau, (ii) thuộc tính lưu vực tương tự (*similar catchment attributes*) – sử dụng các thuộc tính lưu vực đo đạc được làm chỉ số (thổ nhưỡng, thực vật, địa hình), (iii) tương tự quá trình hình thành dòng chảy (*similarity indices*). Một khi tính tương tự giữa hai lưu vực được xác định, dòng chảy lưu vực thiếu hoặc không có số liệu (sau đây gọi là lưu vực đích) sẽ được tính toán theo lưu vực có số liệu (sau đây gọi là lưu vực mẫu). Các thông số của mô hình có thể được các định theo các cách sau đây;

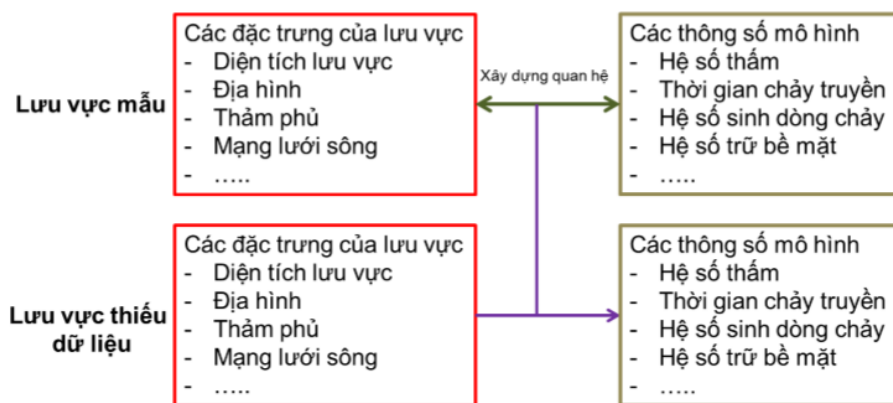
(1) Xác định thông số mô hình theo đặc trưng của lưu vực dựa vào công thức thực nghiệm [11–12], ví dụ như hệ số tổn thất được tính toán theo thảm phủ, thổ nhưỡng và độ ẩm đất (như phương pháp Curve Number (CN) [13]), độ trễ xác định theo các đặc trưng địa mạo của lưu vực như độ dốc, chiều dài sông [14], đường đặc tính của hồ từ dữ liệu địa hình (DEM), mặc dù những phương pháp này đôi khi cũng yêu cầu được hiệu chỉnh.

(2) Sử dụng trực tiếp bộ thông số mô hình đã hiệu chỉnh cho lưu vực mẫu để tính toán dòng chảy cho lưu vực [15–18]. Một số các nghiên cứu tại trường ĐHKHTN [19–21] đã ứng dụng mô hình MIKE NAM, MIKE 11, MIKE 21 trên các lưu vực sông Thạch Hãn, lưu vực sông Lam, sông Nhuệ Đáy.... Nghiên cứu [22] sử dụng bộ thông số mô hình MIKE NAM đã hiệu chỉnh cho trạm thủy văn Nông Sơn và Thành Mỹ để tính toán cho các lưu vực lân cận hay các nghiên cứu gần đây [23] đã dùng phương pháp tương tự khi sử dụng kết quả của bộ mô hình MIKE NAM, MIKE 11, MIKE 21 để đánh giá rủi ro thiên tai do lũ lụt khu vực Trung Trung Bộ.

(3) Từ bộ thông số mô hình đã được hiệu chỉnh cho lưu vực mẫu (Hình 1), tính toán thông số cho lưu vực đích theo các phương pháp thống kê hay hội quy tuyến tính đa biến [10, 24, 25]. Trong nghiên cứu [11], tác giả xây dựng quan hệ giữa thông số mô hình đã hiệu chỉnh với đặc trưng của 60 lưu vực ở Anh và Wales, (hệ số tương quan tốt nhất là  $R^2 = 0,69$  giữa thông số bốc hơi và mưa năm). Các nghiên cứu cho thấy phương pháp này cho kết quả tốt hơn phương pháp sử dụng trực tiếp bộ thông số của lưu vực mẫu. Nhưng đồng thời các nghiên cứu cũng cho thấy tương quan thấp giữa thông số mô hình và các đặc trưng lưu vực. Điều này có thể do quá trình mưa dòng chảy chủ yếu diễn ra ở lớp sát mặt trong khi các thông tin lưu vực được cung cấp (địa hình, lớp phủ thực vật) lại nằm trên mặt đất (ít thông tin về lớp sát mặt) [26].

Có thể thấy rằng, phương pháp chuyển đổi thông số mô hình từ lưu vực tương tự đã được sử dụng từ khá lâu và đã phát huy được hiệu quả trong mô phỏng dòng chảy trên các lưu vực sông. Tuy nhiên, cách tiếp cận này có nhiều yếu tố bất định [27] do độ tin cậy của kết quả nghiên cứu phụ thuộc nhiều vào các tiêu chí đánh giá tính tương tự (về quy mô lưu vực, điều kiện địa hình, thổ nhưỡng, thảm phủ, khí tượng khí hậu, hình thành dòng chảy ...), trong khi bản thân các đặc tính đó của lưu vực biến đổi mạnh theo không/thời gian.





**Hình 1.** Sơ đồ phương pháp lưu vực tương tự.

## 2.2. Cải thiện cấu trúc mô hình thủy văn

Trước đây, các mô hình mưa–dòng chảy thường sử dụng các công thức thực nghiệm đơn giản như công thức cường độ giới hạn, công thức triết giảm [7] hay mô hình thông kê đơn giản (mức nước tương ứng, quan hệ mưa–dòng chảy) để tính toán giá trị mức nước, lưu lượng tại những khu vực bị thiếu hay không có trạm quan trắc. Tuy nhiên, cùng với sự phát triển khoa học tính toán và máy tính thì các mô hình thủy văn được phát triển theo hai hướng chính (1) chi tiết hóa hoặc (2) đơn giản hóa cấu trúc hoặc thông số mô hình. Chi tiết hoá mô hình thông qua bổ sung các quá trình dòng chảy trên lưu vực, hay đưa thêm các biến đầu vào cho mô hình nhằm phản ánh đầy đủ hơn các quá trình dòng chảy trên lưu vực. Ví dụ [28] nghiên cứu xây dựng mô hình mưa dòng chảy sóng động học 1 chiều dựa trên phương pháp phân tử hữu hạn với mô hình SCS [29], thay đổi thuật toán giải mô hình MIKE–NAM FORTRAN [8], cải tiến mô hình SWAT [30–31],...

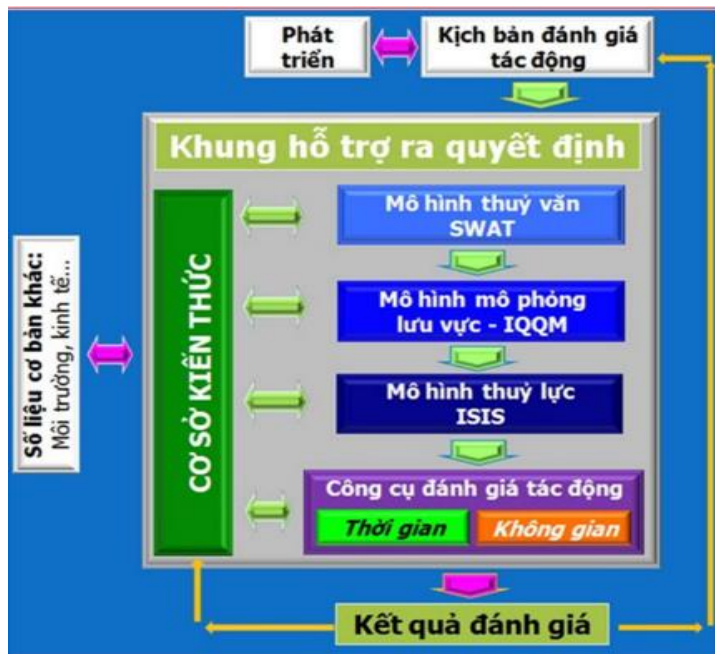
Theo hướng đơn giản hoá mô hình, nghiên cứu [32] đã giới thiệu công nghệ tự động cảnh báo lũ dựa trên mô hình quan niệm đa lớp MLCM (*Multi–Layer Conceptual Model*). Dữ liệu đầu vào của mô hình chỉ yêu cầu mưa và bốc hơi từ mô hình dự báo thời tiết bằng phương pháp số (NWP) hay dữ liệu vệ tinh. Mô hình này có ưu điểm sử dụng ít dữ liệu đầu vào, phù hợp cho lưu vực thiếu số liệu và cho phép tối ưu bộ thông số mô hình theo thuật toán “tìm kiếm từng bước” (*Stepwise line search*) [33]. Mô hình MLCM đã thể hiện sự ưu việt hơn các mô hình thông dụng khác như mô hình HBV (*Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning*), SAC–SMA (*Sacramento Soil Moisture Accounting Model*) [34] trong dự báo thủy văn trên lưu vực thiếu hoặc không có trạm quan trắc. Mô hình cũng đã ứng dụng thành công ở nhiều lưu vực sông của Liên bang Nga [32] và lưu vực sông Sê San ở Việt Nam [34], tuy nhiên, mô hình này phù hợp với các lưu vực có diện tích lưu vực trong khoảng 1000–10000 km<sup>2</sup>.

Có thể thấy rằng nghiên cứu theo hướng tiếp cận cải tiến cấu trúc mô hình toán thủy văn đang được các nhà khoa học phát triển nhằm dần hoàn thiện bộ mô hình để đáp ứng được nhu cầu thực tế và thích hợp với khả năng đáp ứng về nguồn số liệu trên lưu vực nhằm nâng cao kết quả tính toán trong thủy văn. Tuy nhiên, cách tiếp cận này thường đòi hỏi người xây dựng mô hình phải có kiến thức rất sâu về toán–lý để có thể giải quyết các bài toán về mô phỏng các quá trình hình thành dòng chảy trên lưu vực.

## 2.3. Tích hợp các mô hình

Nhằm phát huy thế mạnh của từng mô hình, hướng nghiên cứu tích hợp các mô hình cũng được nhiều tác giả nghiên cứu trong những năm gần đây. Nghiên cứu [35–36] đã xây dựng hệ thống mô phỏng kết hợp giữa khí tượng (mô hình động lực *RegCM – Dynamical downscaling*) và thủy văn (*WEHY (CHRL, Davis)*). Mô hình kết hợp được gọi là WEHY–HCM đã tính toán khôi phục dữ liệu khí tượng thủy văn trên lưu vực sông Thao tận dụng

nguồn dữ liệu tái phân tích ERA-20C và dữ liệu viễn thám làm đầu vào cho mô hình. Tuy nhiên, việc sử dụng mô hình WEHY-HCM khá phức tạp bao gồm cả khí tượng động lực, xử lý ảnh viễn thám, và thủy văn. Nghiên cứu [37] đã thử nghiệm sử dụng bộ mô hình liên kết khí tượng thủy văn (*WRF-Hydro*) để dự báo thử nghiệm cho lưu vực sông Lũy, Bình Định. Kết quả nghiên cứu cho thấy hướng nghiên cứu tích hợp mô hình có nhiều tiềm năng trong dự báo khí tượng thủy văn.



Hình 2. Khung hỗ trợ ra quyết định (DSF) [42].

Nghiên cứu [38] đã tích hợp mô hình mưa dòng chảy thông số phân bố Marine với mô hình thủy lực MIKE 11 và công cụ dự tính triều trong MIKE 21 để dự báo mực nước tại trạm thủy văn Sơn Giang và Trà Khúc. Hay nghiên cứu khôi phục số liệu dòng chảy trên lưu vực sông Cái Phan Rang [39] và sông Cái Nha Trang [40] bằng mô hình tích hợp mô hình Marine với mô hình sóng động học một chiều phi tuyến. Kết quả nghiên cứu cho thấy bộ mô hình tích hợp cho kết quả mô phỏng dòng chảy khá tốt những những khu vực hạn chế về nguồn số liệu đầu vào cho mô hình thủy văn, đây là cơ sở để nâng cao chất lượng trong dự báo thủy văn. Ngoài ra còn nhiều nghiên cứu khác đã tích hợp các mô hình thủy văn, thủy lực trong tính toán dòng chảy của DHI [41], đã sử dụng bộ các mô hình khác nhau bao gồm SWAT, MIKE Basin, MIKE 21C, MIKE 11, MIKE 21 để tính toán dòng chảy và các đặc trưng khác cho toàn lưu vực sông Mê Công. Nghiên cứu [42] sử dụng mô hình Khung hỗ trợ ra quyết định DSF tích hợp mô hình thủy văn SWAT, IQQM và ISIS (Hình 2) của MRC đánh giá ảnh hưởng của các điều kiện phát triển đến phân bố dòng chảy trên lưu vực.

Có thể thấy rằng nghiên cứu theo hướng tiếp cận này vẫn đang được các nhà khoa học phát triển nhằm dần hoàn thiện bộ mô hình để đáp ứng được thực tế. Tuy nhiên, cách tiếp cận này thường phức tạp, đòi hỏi người sử dụng phải hiểu biết nhiều mô hình, khả năng kết hợp giữa các mô hình.

#### 2.4. Sử dụng phương pháp học máy

Bên cạnh các mô hình vật lý đang được phát triển trong những năm gần đây thì các mô hình dữ liệu, điển hình như mô hình học máy, mạng thần kinh nhân tạo (*machine learning (ML), ANN và deep learning (DL)*) cũng được phát triển mạnh. Do sự phổ biến của mô hình dữ liệu là quan hệ phi tuyến có thể dễ dàng được xây dựng về mặt số học chỉ dựa trên dữ liệu lịch sử mà không yêu cầu nhiều kiến thức về các quá trình vật lý cơ bản [43]. Có thể thấy các mô hình dự báo/ dự tính theo hướng dữ liệu sử dụng ML đang phát triển rất mạnh mẽ vì sự

phát triển nhanh của các mô hình dữ liệu đầu vào. Tính phù hợp của các mô hình học máy đối với dự báo lũ đã được khẳng định qua sự tiến bộ liên tục và độ chính xác của các phương pháp ML trong hai thập kỷ qua [43].

Trong học máy có nhiều thuật toán khác nhau được áp dụng trong dự báo/dự tính lũ và tính toán dòng chảy như mạng thần kinh nhân tạo (ANN) [44], neuro-fuzzy [45], support vector machine (SVM) [46], wavelet neural networks (WNN) [47], multilayer perceptron (MLP) [48], recurrent neural network (RNN) [49–50] và LSTM và gated recurrent unit (GRU), feed-forward neural network và convolutional neural network (CNN) [51–52].

Thuật toán ANN được sử dụng phổ biến nhất trong dự báo lũ và tính toán dòng chảy và được sử dụng từ những năm 1990 [53]. Thay vì sử dụng các thông tin về đặc trưng vật lý của lưu vực, ANN chỉ dựa vào chuỗi dữ liệu quá khứ. Vì thế ANN được xem là một công cụ dữ liệu hiệu quả trong thiết lập/xây dựng mô hình hộp đen với độ tin cậy cao cho các quan hệ phi tuyến phức tạp giữa mưa và dòng chảy. Thuật toán MLP [54] sử dụng học máy giám sát để thiết lập mạng kết nối đa lớp có khả năng khái quát hoá tốt hơn [55–56]. Một số nghiên cứu đã sử dụng các mô hình LSTM và GRU trong các nghiên cứu dự báo thủy văn đã thể hiện tính ưu việt trong việc giải quyết các bài toán phức tạp [52, 57].

Ngoài các phương pháp ML, DL phổ biến, các phương pháp kết hợp cũng được thực hiện có xu hướng tăng trong các nghiên cứu gần đây và được đánh giá cho kết quả mô phỏng chính xác hơn so với sử dụng phương pháp/ thuật toán đơn lẻ tuy nhiên đi kèm với nó là mức độ phức tạp và yêu cầu lớn về dữ liệu.

Đối với lưu vực thiếu hoặc không có trạm quan trắc mặt đất thì phương pháp học máy cũng được phát triển trong những năm gần đây do có nhiều nguồn dữ liệu có thể bổ khuyết thay thế cho nguồn dữ liệu mặt đất như nguồn dữ liệu từ viễn thám hay radar. Hay như nghiên cứu [57] đã dự báo khá chính xác dòng chảy xả ra khỏi hồ Hòa Bình trên lưu vực sông Đà khi chỉ sử dụng số liệu lưu lượng đến hồ trong khi có rất ít thông tin về quy trình vận hành của hồ. Điều này có thể khẳng định, phương pháp học máy có thể sử dụng được cả cho những lưu vực có ít số liệu. Mặc dù vậy, việc ứng dụng ML hay ANN vào giải quyết một vấn đề tổng thể hay cho một lưu vực lớn và phức tạp như lưu vực sông Mê Công vẫn còn gặp nhiều khó khăn. Phương pháp này dựa trên những dữ liệu viễn thám có thể cung cấp thông tin về diện ngập và biến đổi độ rộng sông theo mực nước. Trên cơ sở đó có thể xác định được mặt cắt ngang sông, từ đó xác định được lưu lượng dựa vào đường quan hệ lưu lượng tại trạm với độ rộng sông hoặc diện tích mặt nước trích xuất từ ảnh vệ tinh với vận tốc dòng chảy và diện tích mặt cắt ngang [58]. [59] đã sử dụng chuỗi ảnh Landsat để xác định diễn biến diện tích mặt nước hồ chứa, xác định quá trình hoạt động hồ chứa theo thời gian.

Các nghiên cứu đã khẳng định tiềm năng tính toán dòng chảy của các phương pháp sử dụng dữ liệu vệ tinh cho khu vực không có hoặc thiếu số liệu quan trắc, đồng thời cũng kiến nghị việc sử dụng dữ liệu đo cao kết hợp với lưu lượng quan trắc tại trạm lân cận có khả năng cải thiện đáng kể kết quả tính toán. Ngoài ra để khắc phục nhược điểm của từng loại sản phẩm vệ tinh, đã có nhiều nghiên cứu theo hướng kết hợp như sử dụng thuật toán đồng bộ hoá. Tuy nhiên, những cách tiếp cận này yêu cầu khối lượng tính toán lớn, cũng như khối lượng dữ liệu lớn [60–61].

Từ các tài liệu nghiên cứu trên thế giới có thể nhận thấy, sử dụng nguồn dữ liệu thay thế sẽ nâng cao độ chính xác cho kết quả tính toán dòng chảy ở lưu vực thiếu hoặc không có số liệu quan trắc. Và đây là hướng nghiên cứu có nhiều tiềm năng, đặc biệt là dữ liệu đo cao từ vệ tinh, có thể tính toán gián tiếp được lưu lượng dòng chảy trong sông trong tính toán thủy văn.

### 2.5. Sử dụng dữ liệu mưa lưới

Mưa là một biến đóng vai trò quan trọng trong tính toán dòng chảy và các thành phần trong vòng tuần hoàn nước [62–63]. Nhược điểm của các trạm đo đặt tại mặt đất là hạn chế về độ phủ và phân bố không đều theo không gian. Đặc biệt là những khu vực có địa hình

phức tạp, mưa do đối lưu hoặc vùng có tuyết [64–65]. Những nhược điểm này dẫn đến sự ra đời của các phương pháp đo mưa gián tiếp qua ảnh viễn thám hoặc radar [66] nhằm bổ khuyết cho những vùng có mạng lưới trạm thưa thớt hay không có trạm quan trắc. Sự ra đời và phát triển của sản phẩm mưa lưới (GPPs) đã mở ra một kỷ nguyên mới trong giám sát và tính toán tài nguyên nước, đặc biệt là vùng thiếu số liệu [67–69]. Thuật ngữ sản phẩm mưa lưới ở đây chỉ dữ liệu mưa phân bố không gian theo các ô lưới, lượng mưa trong mỗi ô lưới là lớp nước trải đều trên mỗi ô. Các điểm (vùng) nằm trong phạm vi của ô lưới mưa có cùng một giá trị mưa. Nhìn chung sản phẩm mưa lưới dựa trên 3 loại đầu vào (1) dữ liệu quan trắc tại trạm [70–71], (2) mưa tái phân tích từ các mô hình số [72], (3) mưa quan trắc từ vệ tinh/radar [73–74]:

Các sản phẩm mưa này đã góp phần nâng cao hiệu quả trong tính toán các thông tin khí tượng thủy văn nói chung và tính toán dòng chảy thủy văn nói riêng [75–76]. Tuy nhiên, giữa các sản phẩm có độ chính xác và có độ phân giải khác nhau cả về không gian và thời gian trên quy mô toàn cầu do thiết bị sử dụng, thuật toán xử lý khác nhau hoặc do thuộc tính vật lý của đám mây ở vùng nghiên cứu [77–78]. Do đó, các sản phẩm mưa lưới cần được đánh giá trước khi sử dụng [79] hoặc kết hợp với dữ liệu mưa quan trắc tại trạm, như trong nghiên cứu [80] đã kết hợp dữ liệu mưa lưới GSMaP và mưa quan trắc tại trạm để nâng cao kết quả tính toán dòng chảy trên lưu vực sông Lam. Các hướng nghiên cứu sử dụng dữ liệu mưa lưới đã cho thấy hiệu quả trong tính toán thủy văn và nguồn dữ liệu mưa lưới có thể bổ khuyết cho nguồn dữ liệu mặt đất khi không có mạng lưới quan trắc mặt đất hay thiếu trạm quan trắc.

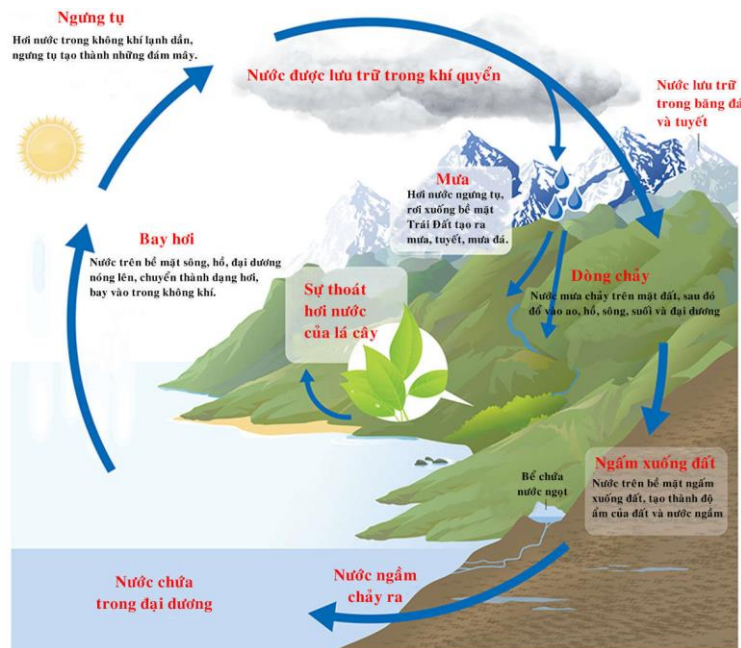
## 2.6. Sử dụng dữ liệu thay thế

Nguồn dữ liệu thay thế cho số liệu lưu lượng có thể là thông tin/dữ liệu quan trắc một số yếu tố trong vòng tuần hoàn nước (Hình 3). Dữ liệu đó có thể là dữ liệu khảo sát rời rạc như dữ liệu nước ngầm sử dụng trong nghiên cứu [81]; hoặc thông tin trích xuất từ ảnh vệ tinh bao gồm đặc trưng vật lý của lưu vực như dữ liệu bốc thoát hơi [82], thông tin độ ẩm đất [83–84], dữ liệu thảm phủ [85], dữ liệu đo cao từ vệ tinh [86–87]; hoặc dữ liệu đặc trưng dòng chảy như diện tích mặt nước, độ rộng sông, độ dốc, mực nước [88].

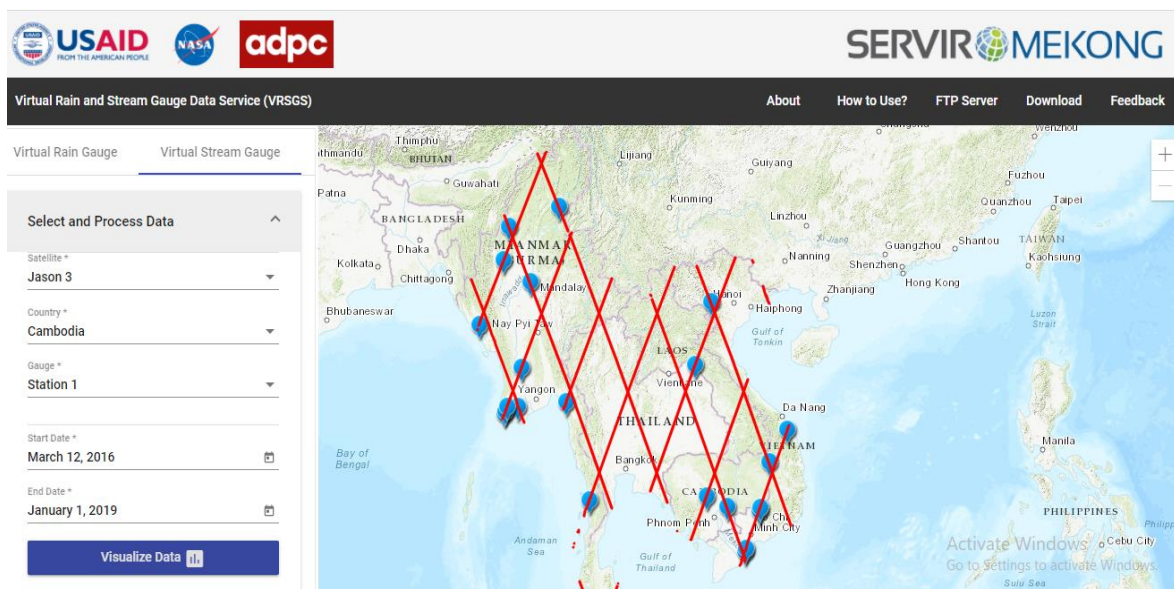
Một số nghiên cứu theo cách tiếp cận này có thể kể đến như nghiên cứu của Seibert và McDonnell (2002) đã chỉ ra rằng việc tích hợp số liệu nước ngầm vào mô hình thủy văn nước mặt cải thiện đáng kể kết quả tính toán dòng chảy. [82] đã sử dụng lượng bốc thoát hơi từ viễn thám và số liệu dòng chảy để hiệu chỉnh mô hình thủy văn. [85] đã sử dụng ảnh ENVISAT kết hợp với mô hình thủy văn MIKE NAM để tăng mức độ chính xác của mô hình thủy văn trên lưu vực sông Vê. Nhìn chung, sau khi thực hiện nghiên cứu các giả đưa kết luận rằng, việc đưa yếu tố bốc thoát hơi, nước ngầm, ảnh vệ tinh, ... vào hiệu chỉnh mô hình có khả năng tăng độ chính xác trong tính toán dòng chảy ngày và tháng cho lưu vực thiếu trạm quan trắc.

Bên cạnh đó, phương pháp tính toán dòng chảy dựa vào dữ liệu đo cao từ vệ tinh cho lưu vực thiếu hoặc không có số liệu đã được rất nhiều công trình nghiên cứu thực hiện. Dữ liệu đo cao có thể (i) kết hợp với mô hình thủy văn để tính toán dòng chảy [86, 90] hoặc (ii) xây dựng đường quan hệ giữa mực nước đo cao với lưu lượng hoặc quan trắc [60, 91], hoặc tính toán sử dụng phương pháp Muskingum–Cunge [92]. Điển hình như nghiên cứu thuộc dự án Servir Mekong trích xuất mực nước từ vệ tinh đo cao Jason–2/3 cho 4 trạm ảo trên lưu vực sông Mê Công, cung cấp dữ liệu từ 2016 đến tháng 3/2019 (<https://vrsg-servir.adpc.net/>) (Hình 4). Tuy nhiên, số lượng trạm trích xuất khá hạn chế và độ tin cậy của những dữ liệu trích xuất này chưa được đánh giá. Một số nghiên cứu khác lại sử dụng dữ liệu viễn thám để xác định diện tích mặt nước, độ rộng sông hoặc độ dốc để tính toán lưu lượng.





Hình 3. Các thành phần trong vòng tuần hoàn thủy văn [89].



Hình 4. Các điểm quan trắc đo cao vệ tinh từ Jason2/3 cung cấp bởi Servir MeKong.

### 3. Kết luận

Đối với những lưu vực thiếu hoặc không có số liệu quan trắc mặt đất, bao gồm cả dữ liệu dòng chảy và dữ liệu khí tượng luôn có những phương pháp phù hợp như phương pháp lưu vực tương tự để đáp ứng khả năng tính toán dòng chảy trên lưu vực với độ chính xác trong khoảng cho phép theo các quy định, quy chuẩn. Tuy nhiên, để đáp ứng nhu cầu ngày càng cao về kết quả dự báo dòng chảy, tính toán thủy lực công trình, ... và thích ứng với sự biến đổi mạnh mẽ của lớp phủ bề mặt hay ảnh hưởng của biến đổi khí hậu thì yêu cầu tính toán lưu lượng dòng chảy cần được cải thiện, nâng cao. Hiện nay, đã hình thành nhiều phương pháp tính toán dòng chảy trong điều kiện thiếu hoặc không có số liệu. Các phương pháp này chủ yếu dựa trên những phát triển của khoa học kỹ thuật như công nghệ tính toán, công nghệ viễn thám để nâng cao kết quả tính toán dòng chảy. Người sử dụng có thể lựa chọn các phương pháp phù hợp với từng vùng nghiên cứu để đáp ứng nhu cầu tính toán của nghiên cứu.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.N.A.; Thu thập tài liệu: P.T.T.N., Đ.T.H.N.; Viết bản thảo bài báo: Đ.Đ.K.; Chỉnh sửa bài báo: T.N.A., N.Y.N., N.H.M.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ Đề tài Nghị định thư mã số NĐT.58.RU/19 được Bộ KH&CN Việt Nam và Bộ Khoa học và Giáo dục CHLB Nga tài trợ, nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ quý báu 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. Xuân T.T. Đặc điểm thủy văn và nguồn nước sông Việt Nam. Nhà xuất bản Nông Nghiệp, 2007.
2. Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 90/QĐ–TTg của Thủ tướng Chính phủ: Về việc phê duyệt Quy hoạch mạng lưới quan trắc tài nguyên và môi trường quốc gia giai đoạn 2016–2025, tầm nhìn đến năm 2030.
3. Vụ quản lý mạng lưới khí tượng thủy văn. Báo cáo: Hiện trạng mạng lưới quan trắc khí tượng thủy văn và danh mục hiện trạng chủng loại máy, thiết bị đang sử dụng trên mạng lưới trạm khí tượng thủy văn tính đến ngày 01/9/2019. Tổng cục Khí tượng thủy văn.
4. Heggli, M.; Thanh, N.D.; Duc, T.Q.; Hung, N.Q.; Huong, P.T. System Integration and Technical Assistance for Strengthening of Weather Forecasting and Early Warning Systems in Vietnam ( C2–DV1 ) D–3 : status of hydro–met observation and communication networks and recommendations for improvement, 2015.
5. Bộ Nông Nghiệp và Phát Triển Nông Thôn. Qui phạm tính toán đặc trưng thủy văn thiết kế QP.TL.C–6–77, 1977.
6. Bộ Khoa Học và Công Nghệ. Tính toán các đặc trưng dòng chảy lũ – TCVN 9845:2013, 2013.
7. Sơn, N.T. Tính toán thủy văn. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 2003.
8. Giang, N.T.; Hoan, N.T. Xây dựng mô hình mưa – dòng chảy để khôi phục số liệu dòng chảy tại An Khê trên lưu vực sông Ba. *Tap Chí Khoa Học ĐHQGHN, Khoa Học Tự Nhiên và Công Nghệ* **2012**, 28(3S), 30–38.
9. Long, V.Đ., Anh, T.N., Bình, H.T.; Khá, Đ.Đ. Giới thiệu công nghệ dự báo lũ hệ thống sông Bến Hải và Thạch Hãn sử dụng mô hình MIKE 11. *Tap Chí Khoa Học ĐHQG, Khoa Học Tự Nhiên và Công Nghệ* **2010**, 26, 397–404.
10. Merz, R.; Blöschl, G. Regionalisation of catchment model parameters. *J. Hydrol.* **2004**, 287, 95–123. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.09.028>
11. Sefton, C.E.; Howarth, S. Relationships between dynamic response characteristics and physical descriptors of catchments in England and Wales. *J. Hydrol.* **1998**, 211, 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00163-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00163-2).
12. Seibert, J. Regionalisation of parameters for a conceptual rainfall–runoff model. *Agric. For. Meteorol.* **1999**, 98–99, 279–93. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(99\)00105-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00105-7).
13. Kent, K.M. A method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds. *Scs Tp–149*, 1973, pp. 64.
14. USACE. Flood Runoff Analysis. Em 1110–2–1417, 1994, pp. 214.

15. Châu, N.L.; Mai, Đ.T.; Phuong, T.T. Các bài toán trong ứng dụng mô hình thủy văn MARINE để mô phỏng và dự báo lũ sông Đà. *Tap Chí Khí Tượng Thủy Văn* **2005**, 539, 1–12.
16. Thục, T. Xây dựng công nghệ tính toán dự báo lũ lớn hệ thống sông Hồng– Thái Bình, Báo cáo tổng kết đề tài, Hà Nội, 2011.
17. Phung, N.K.; An, L.T.T. Apply swat model to assess the impact of climate change on the flow of the Dong Nai river basin. *J. Water Resour. Sci.Technol.* **2012**, 12, 96–101.
18. Dũng, N.K. Ứng dụng mô hình swat tính toán dòng chảy và bùn cát lưu vực sông Sê San. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2015**, 470, 47–50.
19. Sơn, N.T.; Anh, T.N.; Khá, Đ.Đ.; Tiến, N.X.; Thìn, L.V. Thử nghiệm đánh giá tác động của Biến đổi khí hậu đến ngập lụt khu vực hạ lưu sông Lam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 645, 13–20.
20. Anh, L.T.; Anh, T.N.; Đạt, T.V.; Giang, N.T.; Hưng, N.Q.; Khá, Đ.Đ. et al. Bản đồ ngập lụt và bản đồ đánh giá mức độ tổn thương do lũ các lưu vực sông: Lam, Bến Hải – Thạch Hãn và Thu Bồn. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ Thuật, Hà Nội, 2015.
21. Anh, T.N. Xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu các sông Bến Hải và Thạch Hãn, tỉnh Quảng Trị. *Tap Chí Khoa Học Đại Học Quốc Gia Hà Nội, Khoa Học Tự Nhiên và Công Nghệ* **2011**, 27, 1–8.
22. An, N.L.; Bích, T. Nghiên cứu dự báo dòng chảy lũ đến hồ chứa trên lưu vực sông Ba. *Tap chí Khoa Học Kỹ Thuật Thủy Lợi và Môi Trường* **2012**, 8, 9–16.
23. Hương, H.T.L.; Hiền, N.X.; Thủy, N.T.; Hằng, V.T.; Công, N.T. Đánh giá rủi ro thiên tai do lũ lụt khu vực Trung Trung Bộ. *Tap Chí Khí Tượng Thủy Văn* **2020**, 717, 13–26. [https://doi.org/10.36335/vnjhm.2020\(717\).1-10](https://doi.org/10.36335/vnjhm.2020(717).1-10)
24. Vandewiele, G.L.; Elias, A. Monthly water balance of ungauged catchments obtained by geographical regionalization. *J. Hydrol.* **1995**, 170, 277–91. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02681-E](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02681-E).
25. Parajka, J.; Merz, R.; Blöschl, G. A comparison of regionalisation methods for catchment model parameters. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2005**, 9, 157–171. <https://doi.org/10.5194/hess-9-157-2005>.
26. Merz, R.; Blöschl, G.; Parajka, J. Regionalization methods in rainfall–runoff modelling using large catchment samples. *IAHS–AISH Pub.* **2006**, 117–125.
27. Blöschl, G.; Sivapalan, M. Runoff Prediction in Ungauged Basins. *J. Chem. Inf. Model.* **2013**. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
28. Lai, N.V.; Hưng, N.V. Mô hình bể chứa tuyến tính (Ltank–Linear Tank) và khả năng ứng dụng ở Việt Nam. *Khoa Học Kỹ Thuật Thủy Lợi và Môi Trường*, 2006.
29. Nguyen, T.S.; Luong, T.A.; Luong H.D.; Tran, H.T. A finite element one–dimensional kinematic wave rainfall–runoff model. *Pac. Sci. Rev. A: Nat. Sci. Eng.* **2016**, 18, 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.psra.2016.11.001>
30. Yu, D.; Xie, P., Dong, X., Hu, X.; Liu, J., Li, Y. et al. Improvement of the SWAT model for event–based flood simulation on a sub–daily timescale. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2018**, 22, 5001–5019. <https://doi.org/10.5194/hess-22-5001-2018>.
31. Dang, K.; Nhu, N.; Anh, T. An Approach for Flow Forecasting in Ungauged Catchments – A Case Study for Ho Ho reservoir catchment, Ngan Sau River, Central Vietnam. *J. Ecol. Eng.* **2018**, 19, 74–79. <https://doi.org/10.12911/22998993/85759>.

32. Sokolova, D.; Kuzmin, V.; Batyrov, A.; Pivovarova, I.; Tran, N.A.; Dang, D.K. et al. Use of MLCM3 software for flash flood modeling and forecasting. *J. Ecol. Eng.* **2018**, *19*, 177–185. <https://doi.org/10.12911/22998993/79419>.
33. Kuzmin, V.; Seo, D.J.; Koren, V. Fast and efficient optimization of hydrologic model parameters using a priori estimates and stepwise line search. *J. Hydrol.* **2008**, *353*, 109–128. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.02.001>.
34. Kuzmin, V.; Pivovarova, I.; Shemanaev, K.; Sokolova, D.; Batyrov, A.; Tran, N.A. et al. Method of prediction of the stream flows in poorly gauged and ungauged basins, *J. Ecol. Eng.* **2019**, *20*, 180–187. <https://doi.org/10.12911/22998993/94915>.
35. Cường, H.V. Tiếp thu công nghệ tính toán mưa, lũ lớn cho các lưu vực sông liên Quốc gia trong điều kiện hạn chế hoặc không có dữ liệu đo đạc – Áp dụng thử nghiệm cho lưu vực sông Đà – Thao (Bao gồm cả phần lưu vực thuộc lãnh thổ Trung Quốc, Phòng thí nghiệm trọng điểm quốc gia về động lực học sông biển, Hà Nội, 2019.
36. Cường H.V. Nghiên cứu ứng dụng phương pháp tính toán khôi phục số liệu dòng chảy cho lưu vực sông, Phòng thí nghiệm trọng điểm quốc gia về động lực học sông biển, Hà Nội, 2021.
37. Hung, N.Q.; Hương, H.T.L. Nghiên cứu đánh giá khả năng ứng dụng mô hình liên kết khí tượng thủy văn trong dự báo thủy văn. *Tap Chí Khoa Học Biến Đổi Khí Hậu* **2021**, *17*, 1–11. <https://doi.org/10.15625/vap.2019000287>.
38. Chanh, B.V.; Anh, T.N. Tích hợp bộ mô hình dự báo thủy văn lưu vực sông Trà Khúc, *Tap Chí Khoa Học ĐHQG, Khoa Học Trái Đất và Môi Trường* **2016**, *32*, 20–25.
39. Chanh, B.V.; Anh, T.N.; Trường, N.H. Khôi phục số liệu lưu vực sông Cái Phan Rang bằng phương pháp tích hợp các mô hình. *Tap Chí Khí Tượng Thủy Văn* **2016**, *668*, 39–44.
40. Chanh, B.V.; Anh, T.N. Thử nghiệm tích hợp mô hình MARINE và mô hình sóng động học một chiều trên lưu vực sông Cái Nha Trang. *Tap Chí Khoa Học Biến Đổi Khí Hậu* **2020**, *14*, 45–55.
41. DHI and HDR. Nghiên cứu tác động của các công trình thủy điện trên dòng chính sông Mê Công, Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2015.
42. Đức, N.A. Nghiên cứu phân bố dòng chảy tại lưu vực sông Mê Công trong điều kiện phát triển sử dụng nước tưới của các quốc gia lưu vực sông Mê Công phục vụ cho công tác đàm phán của Việt Nam về chia sẻ nguồn nước trong thực hiện hiệp định Mê Công 1995 và công ước 1997 của Liên hiệp quốc, Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội, 2019.
43. Mosavi, A.; Rabczuk, T.; Varkonyi–Koczy, A.R. Reviewing the novel machine learning tools for materials design. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, **2018**, *660*, 50–8. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67459-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67459-9_7).
44. Prakash, O.; Sudheer, K.P.; Srinivasan, K. Improved higher lead time river flow forecasts using sequential neural network with error updating. *J. Hydrol. Hydromech.* **2014**, *62*, 60–74. <https://doi.org/10.2478/johh-2014-0010>.
45. Desai, S.; Ouarda, T.B.M.J. Regional hydrological frequency analysis at ungauged sites with random forest regression. *J. Hydrol.* **2021**, *594*, 125861. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125861>.
46. Yu, P.S.; Yang, T.C.; Chen, S.Y.; Kuo, C.M.; Tseng, H.W. Comparison of random forests and support vector machine for real–time radar–derived rainfall forecasting, *J. Hydrol.* **2017**, *552*, 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.020>.



47. Nourani, V.; Hosseini Baghanam, A.; Adamowski, J.; Kisi, O. Applications of hybrid wavelet–Artificial Intelligence models in hydrology: A review. *J. Hydrol.* **2014**, *514*, 358–377. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.057>.
48. Zadeh, M.R.; Amin, S.; Khalili, D.; Singh, V.P. Daily Outflow Prediction by Multi Layer Perceptron with Logistic Sigmoid and Tangent Sigmoid Activation Functions. *Water Resour. Manage.* **2010**, *24*, 2673–2688. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9573-4>.
49. Hochreiter, S.; Schmidhuber, J. Long Short–Term Memory. *Neural Comput.* **1997**, *9*, 1735–1780.
50. Cho, K.; Van Merriënboer, B.; Gulcehre, C.; Bahdanau, D.; Bougares, F.; Schwenk H. et al. Learning phrase representations using RNN encoder–decoder for statistical machine translation, EMNLP 2014–2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Proceedings of the Conference, **2014**, 1724–1734. <https://doi.org/10.3115/v1/d14-1179>.
51. Le, X.; Nguyen, D.; Jung, S.; Yeon, M.; Lee, G. Comparison of Deep Learning Techniques for River Streamflow Forecasting. *IEEE Access* **2021**, *9*, 71805–71820. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3077703>.
52. Kratzert, F.; Klotz, D.; Herrnegger, M.; Sampson, A.K.; Hochreiter, S.; Nearing, G.S. Toward Improved Predictions in Ungauged Basins: Exploiting the Power of Machine Learning. *Water Resour. Res.* **2019**, *55*, 11344–11354. <https://doi.org/10.1029/2019WR026065>.
53. Wu, C.L.; Chau, K.W. Data–driven models for monthly streamflow time series prediction. *Eng. Appl. Artif. Intell.* **2010**, *23*, 1350–1367. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2010.04.003>.
54. Rumelhart, D.E.; Hintont, G.E. Learning Representations by Back–Propagating Errors. *Cognit. Model.* **2019**, 3–6. <https://doi.org/10.7551/mitpress/1888.003.0013>.
55. Riad, S.; Mania, J.; Bouchaou, L.; Najjar, Y. Rainfall–runoff model using an artificial neural network approach. *Math. Comput. Modell.* **2004**, *40*, 839–846. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2004.10.012>.
56. Senthil Kumar, A.R.; Sudheer, K.P.; Jain, S.K.; Agarwal, P.K. Rainfall–runoff modelling using artificial neural networks: Comparison of network types. *Hydrol. Processes* **2005**, *19*, 1277–1291. <https://doi.org/10.1002/hyp.5581>.
57. Le, X.H.; Ho, H.V.; Lee, G.; Jung, S. Application of Long Short–Term Memory (LSTM) neural network for flood forecasting. *Water* **2019**, *11*(7), 1387.
58. Tarpanelli, A.; Barbetta, S.; Brocca, L.; Moramarco, T. River discharge estimation by using altimetry data and simplified flood routing modeling. *Remote Sen.* **2013**, *5*, 4145–4162. <https://doi.org/10.3390/rs5094145>.
59. Phuong, N.A.; Hải, C.H.; Cường, T.M.; Như, T.Q.; Anh, P.N.; Linh, B.H. Nghiên cứu ứng dụng một số công nghệ viễn thám trong giám sát, dự báo tài nguyên nước, In: Tổng cục Khí tượng thủy văn, editor. Tài Liệu Hội Thảo Khoa Học Chào Mừng 75 Năm Ngày Truyền Thống Ngành Khí Tượng Thủy Văn Việt Nam, 2020, pp. 107–117.
60. Yoon, Y.; Durand, M.; Merry, C.J.; Clark, E.A.; Andreadis, K.M.; Alsdorf, D.E. Estimating river bathymetry from data assimilation of synthetic SWOT measurements. *J. Hydrol.* **2012**, *464–465*, 363–375.
61. Durand, M.; Andreadis, K.M.; Alsdorf, D.E.; Lettenmaier, D.P.; Moller, D.; Wilson M. Estimation of bathymetric depth and slope from data assimilation of swath

- altimetry into a hydrodynamic model. *Geophys. Res. Lett.* **2008**, *35*, 1–5. <https://doi.org/10.1029/2008GL034150>.
62. Thiemig, V.; Rojas, R.; Zambrano–Bigiarini, M.; De Roo, A. Hydrological evaluation of satellite–based rainfall estimates over the Volta and Baro–Akobo Basin. *J. Hydrol.* **2013**, *499*, 324–38. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.012>.
63. Bárdossy, A.; Das, T. Influence of rainfall observation network on model calibration and application. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2008**, *12*, 77–89. <https://doi.org/10.5194/hess-12-77-2008>.
64. Kidd, C.; Becker, A.; Huffman, G.J.; Muller, C.L.; Joe, P.; Skofronick–Jackson, G. et al. So, how much of the Earth’s surface is covered by rain gauges?. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2017**, *98*, 69–78. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00283.1>.
65. Harrison, L.; Funk, C.; Peterson, P. Identifying changing precipitation extremes in Sub–Saharan Africa with gauge and satellite products. *Environ. Res. Lett. IOP Publishing* **2019**, *14*. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2cae>.
66. Barrett, E.C. Rainfall evaluation by remote sensing: problems and prospects. Hydrological Applications of Remote Sensing and Remote Data Transmission. *IAHS Publ.* **1985**, 247–258.
67. Serrat–Capdevila, A.; Valdes, J.B.; Stakhiv, E.Z. Water management applications for satellite precipitation products: Synthesis and recommendations. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* **2014**, *50*, 509–525. <https://doi.org/10.1111/jawr.12140>.
68. Sheffield, J.; Wood, E.F.; Pan, M.; Beck, H.; Coccia, G.; Serrat–Capdevila A. et al. , Satellite Remote Sensing for Water Resources Management: Potential for Supporting Sustainable Development in Data–Poor Regions. *Water Resour. Res.* **2018**, *54*, 9724–9758. <https://doi.org/10.1029/2017WR022437>.
69. Hrachowitz, M.; Savenije, H.H.G.; Blöschl, G.; McDonnell, J.J.; Sivapalan, M.; Pomeroy, J.W. et al. A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB)—a review. *Hydrol. Sci. J. Taylor & Francis* **2013**, *58*, 1198–1255. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.803183>.
70. Schneider, U.; Becker, A.; Finger, P.; Meyer–Christoffer, A.; Ziese, M.; Rudolf, B. GPCP’s new land surface precipitation climatology based on quality–controlled in situ data and its role in quantifying the global water cycle. *Theor. Appl. Climatol.* **2014**, *115*, 15–40. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0860-x>.
71. Yatagai, A.; Kamiguchi, K.; Arakawa, O.; Hamada, A.; Yasutomi, N.; Kitoh, A. APHRODITE: Constructing a Long–Term Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia Based on a Dense Network of Rain Gauges. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2012**, *93*, 1401–1415. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00122.1>.
72. Ebert, E.E.; Janowiak, J.E.; Kidd, C. Comparison of Near–Real–Time Precipitation Estimates from Satellite Observations and Numerical Models. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2007**, *88*, 47–64. <https://doi.org/10.1175/BAMS-88-1-47>.
73. Ushio, T.; Sasashige, K.; Kubota, T.; Shige, S.; Okamoto, K.; Aonashi, K. et al. A kalman filter approach to the global satellite mapping of precipitation (GSMaP) from combined passive microwave and infrared radiometric data. *J. Meteorolog. Soc. Jpn.* **2009**, *87(A)*, 137–151. <https://doi.org/10.2151/jmsj.87A.137>.
74. Mega, T.; Ushio, T.; Kubota, T., Kachi, M.; Aonashi K.; Shige, S. Gage adjusted global satellite mapping of precipitation (gsmap\_gauge), 2008, pp. 1–4.
75. Sorooshian, S.; AghaKouchak, A.; Arkin, P.; Eylander, J.; Foufoula–Georgiou, E.; Harmon, R. et al. Advanced Concepts on Remote Sensing of Precipitation at Multiple

- Scales. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2011**, *92*, 1353–1370. <https://doi.org/10.1175/2011BAMS3158.1>.
76. Tang, T.; Shindell, D.; Faluvegi, G.; Myhre, G.; Olivié, D.; Voulgarakis, A. et al. , Comparison of Effective Radiative Forcing Calculations Using Multiple Methods, Drivers, and Models. *J. Geophys. Res.: Atmos.* **2019**, *124*, 4382–4394. <https://doi.org/10.1029/2018JD030188>.
77. Tapiador, F.J.; Turk, F.J.; Petersen, W.; Hou, A.Y.; García-Ortega, E.; Machado L.A.T. et al. Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications, *Atmos. Res.* **2012**, *104–105*, 70–97. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.10.021>.
78. Sun, Q.; Miao, C.; Duan, Q.; Ashouri, H.; Sorooshian, S.; Hsu, K.L. A Review of Global Precipitation Data Sets: Data Sources, Estimation, and Intercomparisons. *Rev. Geophys.* **2018**, *56*, 79–107. <https://doi.org/10.1002/2017RG000574>.
79. Dinh, K.D.; Anh, T.N.; Nguyen, N.Y.; Bui, D.D.; Srinivasan, R. Evaluation of Grid-Based Rainfall Products and Water Balances over the Mekong River Basin. *Remote Sens.* **2020**, *12*, 1858. <https://doi.org/10.3390/rs12111858>.
80. Kha, D.D.; Nhu, N.Y.; Long, V.V.; Van, D.T.H. Utility of GSD precipitation and point scale in gauge measurements for stream flow modelling – A case study in lam river basin. *VN J. Ecol. Eng.* **2020**, *21*, 39–45. <https://doi.org/10.12911/22998993/116350>.
81. Seibert, J.; McDonnell, J.J. On the dialog between experimentalist and modeler in catchment hydrology: Use of soft data for multicriteria model calibration. *Water Resour. Res.* **2002**, *38*, 23-1-23-14. <https://doi.org/10.1029/2001WR000978>.
82. Zhang, Y.; Chiew, F.H.S.; Zhang, L.; Li, H. Use of Remotely Sensed Actual Evapotranspiration to Improve Rainfall–Runoff Modeling in Southeast Australia. *J. Hydrometeorol.* **2009**, *10*, 969–980. <https://doi.org/10.1175/2009JHM1061.1>.
83. Parajka, J.; Blöschl, G. Validation of MODIS snow cover images over Austria. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2006**, *10*, 679–689. <https://doi.org/10.5194/hess-10-679-2006>.
84. Mohamed, Y.A.; Savenije, H.H.G.; Bastiaanssen, W.G.M.; van den Hurk, B.J.J.M. New lessons on the Sudd hydrology learned from remote sensing and climate modeling. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2006**, *10*, 507–518. <https://doi.org/10.5194/hess-10-507-2006>.
85. Thị, N.; Huyền, T. Ứng dụng ảnh viễn thám kết hợp mô hình thủy văn trong nghiên cứu dòng chảy lũ lưu vực sông Vệ tỉnh Quảng Ngãi. *Bản B của Tạp Chí Khoa học Và Công nghệ Việt Nam* **2018**, *60*, 44–49.
86. Milzow, C.; Krogh, P.E.; Bauer–Gottwein, P. Combining satellite radar altimetry, SAR surface soil moisture and GRACE total storage changes for hydrological model calibration in a large poorly gauged catchment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2011**, *15*, 1729–1743. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1729-2011>.
87. Pereira–Cardenal, S.J.; Riegels, N.D.; Berry, P.A.M.; Smith, R.G.; Yakovlev, A.; Siegfried, T.U. et al. Real–time remote sensing driven river basin modeling using radar altimetry. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2011**, *15*, 241–254. <https://doi.org/10.5194/hess-15-241-2011>.
88. Domeneghetti, A.; Tarpanelli, A.; Brocca, L.; Barbetta, S.; Moramarco, T.; Castellarin, A. et al. The use of remote sensing–derived water surface data for hydraulic model calibration. *Remote Sens. Environ.* **2014**, *149*, 130–141. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.007>.

89. Phung. Bầu khí quyển của trái đất chứa bao nhiêu nước. 12 - 2017. <https://quantrimang.com/>
90. Getirana, A.C.V. Integrating spatial altimetry data into the automatic calibration of hydrological models, *J. Hydrol.* 2010, 244–255. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.013>.
91. Zakharova, E.A.; Kouraev, A.V.; Cazenave, A.; Seyler, F. Estimation du débit de l'Amazone à partir de données altimétriques du satellite Topex/Poséidon. *Comptes Rendus Geosci.* 2006, 338, 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2005.10.003>.
92. Leon, J.G.; Calmant, S.; Seyler, F.; Bonnet, M.P.; Cauhopé, M.; Frappart, F. et al. Rating curves and estimation of average water depth at the upper Negro River based on satellite altimeter data and modeled discharges. *J. Hydrol.* 2006, 328, 481–496. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.12.006>.

## Simulating river discharge for data–scarce or ungauged river basins: An introduction

Dang Dinh Kha<sup>1</sup>, Tran Ngoc Anh<sup>1,2\*</sup>, Nguyen Y Nhu<sup>1</sup>, Pham Thi Thuy Nga<sup>2</sup>, Dang Thi Hong Nhung<sup>2</sup>, Nguyen Hoang Minh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Hydrology, Meteorology and Oceanography, Hanoi University of Science, VietNam National University, Hanoi; dangdinhkha@hus.edu.vn; tranngocanh@hus.edu.vn; nguyennynhu@hus.edu.vn

<sup>2</sup> Center for Environmental Fluid Dynamics, Hanoi University of Science, VietNam National University, Hanoi; phamnga3789@gmail.com; dangthihongnhung\_t61@hus.edu.vn

<sup>3</sup> National Centre for Hydro–Meteorological Forecasting, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; hoangminh281287@gmail.com

**Abstract:** Simulating river discharge for data–scarce or ungauged river basins is the major challenge in hydrology and water resources management. This paper reviews and analyzes existing methods developed or used for simulating flow for data–scarce or ungauged river basins. The recommendations from this review are provided for better simulating the river discharge. This paper will focus on studies in which their approaches commonly used in recent years for data–scarce or ungauged river basins, including (1) transferring hydrological model parameters to ungauged basins, (2) improving the mathematical structure of a hydrological model, (3) integrating hydrological and hydrodynamic models, (4) using machine learning methods, (5) using gridded rainfall data set, (6) using replacing data.

**Keywords:** River discharge; Data–scarce; Ungauged river basins.



Bài báo khoa học

## Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tình hình ngập lụt hạ lưu sông Trà Khúc tỉnh Quảng Ngãi

Nguyễn Anh Nam<sup>1</sup>, Trần Ngọc Anh<sup>2,3\*</sup>, Đỗ Đình Chiến<sup>4</sup>, Ngô Quang Tài<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Trung tâm Dự báo Khí tượng thủy văn Quốc gia; anhnam95@gmail.com

<sup>2</sup> Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN; tranngocanh@hus.edu.vn

<sup>3</sup> Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN;

<sup>4</sup> Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; chiendd@gmail.com

<sup>5</sup> Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước miền Bắc; ngotai87@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: tranngocanh@hus.edu.vn; Tel.: +84-915051515

Ban Biên tập nhận bài: 10/7/2022; Ngày phản biện xong: 21/8/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Ngập lụt là một trong các loại hình thiên tai nguy hiểm, thường xuyên xảy ra tại Việt Nam, đã gây ra nhiều thiệt hại về người và tài sản. Đặc biệt, dưới sự tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH), mức độ ngập lụt có thể xảy ra ngày càng nghiêm trọng hơn. Do đó, việc đánh giá tác động của BĐKH đến tình hình ngập lụt là nhiệm vụ quan trọng, từ đó đề xuất biện pháp thích ứng với tác động của biến đổi khí hậu. Nghiên cứu lựa chọn bộ công cụ MIKE11, MIKE21 và MIKE FLOOD thực hiện mô phỏng, tính toán và đánh giá tác động của BĐKH đến tình hình ngập lụt khu vực hạ lưu sông Trà Khúc tỉnh Quảng Ngãi. Nghiên cứu thực hiện mô phỏng, tính toán diện tích và độ sâu ngập lụt cho trận lũ ứng với tần suất 1% của giai đoạn cơ sở 1986–2005 và các giai đoạn 2046–2065 và 2080–2099 theo 2 kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 có thể thấy diện tích và độ sâu ngập các giai đoạn của kịch bản tương lai đều lớn hơn giai đoạn cơ sở, nhất là giai đoạn cuối thế kỷ.

**Từ khóa:** Ngập lụt; Biến đổi khí hậu; Kịch bản biến đổi khí hậu Bộ.

### 1. Mở đầu

Tình hình biến đổi khí hậu (BĐKH) đang diễn ra hết sức phức tạp và trong số các nước chịu tác động mạnh của BĐKH có Việt Nam [1]. Đặc biệt, dưới sự tác động, ảnh hưởng của thiên tai và BĐKH, mức độ ngập lụt có xu hướng xảy ra nguy hiểm hơn. Do đó, việc đánh giá tác động của BĐKH đến tình hình ngập lụt ở hạ lưu một hệ thống sông là nhiệm vụ cấp thiết cho sự phát triển toàn diện là hết sức cần thiết, là cơ sở giúp những người quản trị, quy hoạch đề xuất giải pháp thích hợp nhằm thích ứng, ứng phó, giảm thiểu thiệt hại của BĐKH [2].

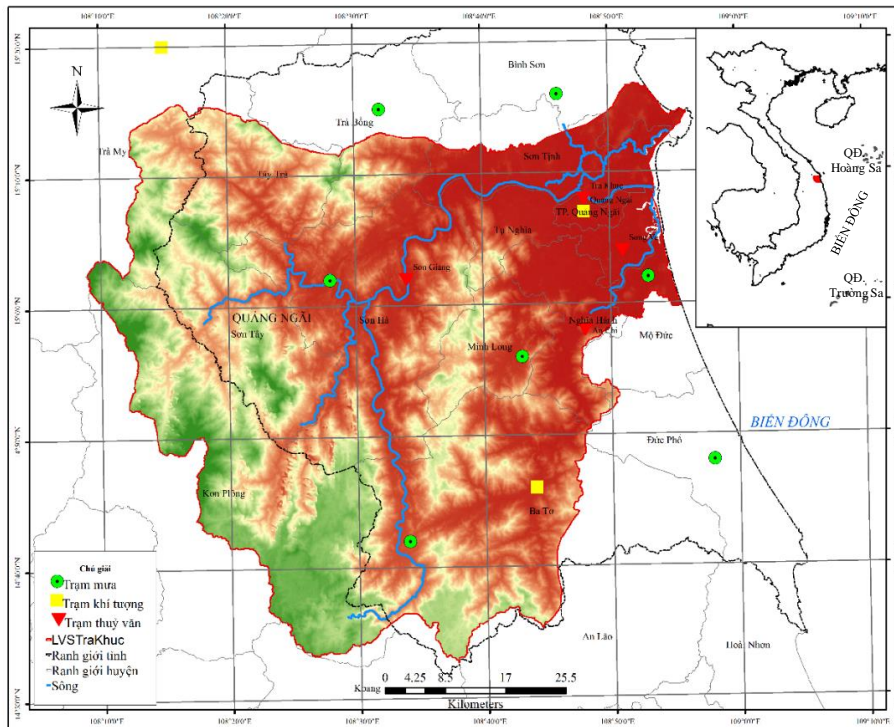
Những đề tài đã thực hiện tính toán ngập lụt tại lưu vực sông Trà Khúc tỉnh Quảng Ngãi, trong đó tập trung thiết lập mô hình mô phỏng và dự báo lũ, ngập lụt với các số liệu cập nhật. Các tác động BĐKH đến tài nguyên nước nói chung và tình hình lũ, ngập lụt cũng đã được đề cập đến [3]. Tuy nhiên chưa có sự kiểm định tại những đề tài đã thực hiện trước đó với các trận lũ lớn xảy ra gần đây cũng như chưa cập nhật kịch bản mới công bố năm 2020 của Bộ Tài nguyên và Môi trường. Dù đã có nhiều công cụ mô hình khác nhau được sử dụng để mô phỏng và dự báo lũ, ngập lụt như MARINE, HEC-RAS, Delft3D, Telemac, SWAT,...

[4] nhưng MIKE FLOOD là mô hình khá phổ biến hiện nay và cho thấy nhiều ưu việt về độ tin cậy, tốc độ tính toán, phù hợp với kỹ thuật viên và vì thế được lựa chọn trong nghiên cứu này để mô phỏng và đánh giá tác động của BĐKH theo các kịch bản mới nhất của Bộ TNMT đến tình hình ngập lụt lưu vực sông Trà Khúc [5].

## 2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập tài liệu

### 2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Khu vực tỉnh Quảng Ngãi bao trùm phần lớn diện tích lưu vực sông Trà Khúc, chỉ có một số nhánh nhỏ nằm trên khu vực tỉnh Kon Tum với tổng diện tích là 3240 km<sup>2</sup>, chiều dài lòng dẫn chính khoảng 135 km, thượng nguồn là núi Đắc Tơ Rôn thuộc huyện KonPlong và kết thúc tại Biển Đông ở Cửa Đại thuộc thành phố Hội An [6].



**Hình 1.** Vị trí địa lý lưu vực sông Trà Khúc.

Địa bàn lưu vực sông có nhiều đồi núi, thuộc sườn đông của dãy Trường Sơn Nam. Hơn 75% lưu vực là vùng đồi núi, những nơi có bề mặt dốc 25° chiếm 2/3 diện tích lưu vực nên các dòng sông có độ dốc lớn với khả năng chia cắt, xâm thực rất lớn. Hướng dốc lưu vực về phía Tây Nam–Đông Bắc [7].

Khí hậu lưu vực sông Trà Khúc thuộc vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa nội chí tuyến và có 2 mùa rõ rệt: mùa mưa từ tháng 9 đến tháng 12, mùa khô từ tháng 1 đến tháng 8. Nền nhiệt độ cao, trung bình năm khoảng 24–26°C, tổng lượng mưa năm vào loại trung bình: 2000–3500 mm với lượng bốc hơi trung bình năm vào khoảng 800–900 mm [1].

Lưu vực sông Trà Khúc có mật độ lưới sông 0,39 km/km<sup>2</sup>. Sông Trà Khúc có dạng cành cây với 9 phụ lưu cấp I, 5 phụ lưu cấp II, 5 phụ lưu cấp III và 2 phụ lưu cấp IV. Lưu vực sông Trà Khúc có mạng lưới các trạm đo đạc được tổ chức rất sớm. Trên lưu vực sông Trà Khúc gồm 1 trạm khí tượng: Quảng Ngãi; 2 trạm thủy văn: Sơn Giang và Trà Khúc; 10 trạm đo mưa: Giá Vực, Sơn Giang, Trà Khúc, Sơn Hà, Ba Tư, An Chi, Minh Long, Mộ Đức, Đức Phổ. Phân bố lưới trạm quan trắc KTTV không đều, chủ yếu ở những sông nhỏ [8].

Ngập lụt ở hạ lưu sông Trà Khúc thuộc tỉnh Quảng Ngãi có thể xảy ra một trong các hình thái ngập lụt: ngập lụt cho mưa lớn nội đồng, nước không tiêu thoát tự chảy ra sông; ngập lụt

do lũ lớn từ thượng nguồn, lòng sông không tiêu thoát được lũ lớn từ thượng nguồn dồn về, nước lũ dâng cao tràn đê chảy vào vùng trũng ở hai bên sông; ngập lụt do triều cường và nước biển dâng trong các điều kiện trực quan; và kết hợp giữa các hình thái nêu trên [9].

Lưu vực sông Trà Khúc trong quá khứ đã xảy ra tình trạng ngập lụt do một số trận lũ lịch sử như trận lũ năm 1999 và trận lũ năm 2020 [10]. Trong đó, trận lũ năm 1999 xảy ra từ ngày 2/12/1999 đến ngày 7/12/1999 đã gây ngập 18.498 ha, gây thiệt hại nghiêm trọng về người và tài sản. Trận lũ năm 2020 xảy ra từ ngày 28/12/2020 đến ngày 2/11/2020 gây tổng thiệt hại nặng về tài sản, ước tính tổng thiệt hại khoảng 4.850 tỷ đồng.

### 2.2. Thu thập và xử lý dữ liệu

Nghiên cứu lựa chọn sử dụng các nguồn số liệu đầu vào như sau:

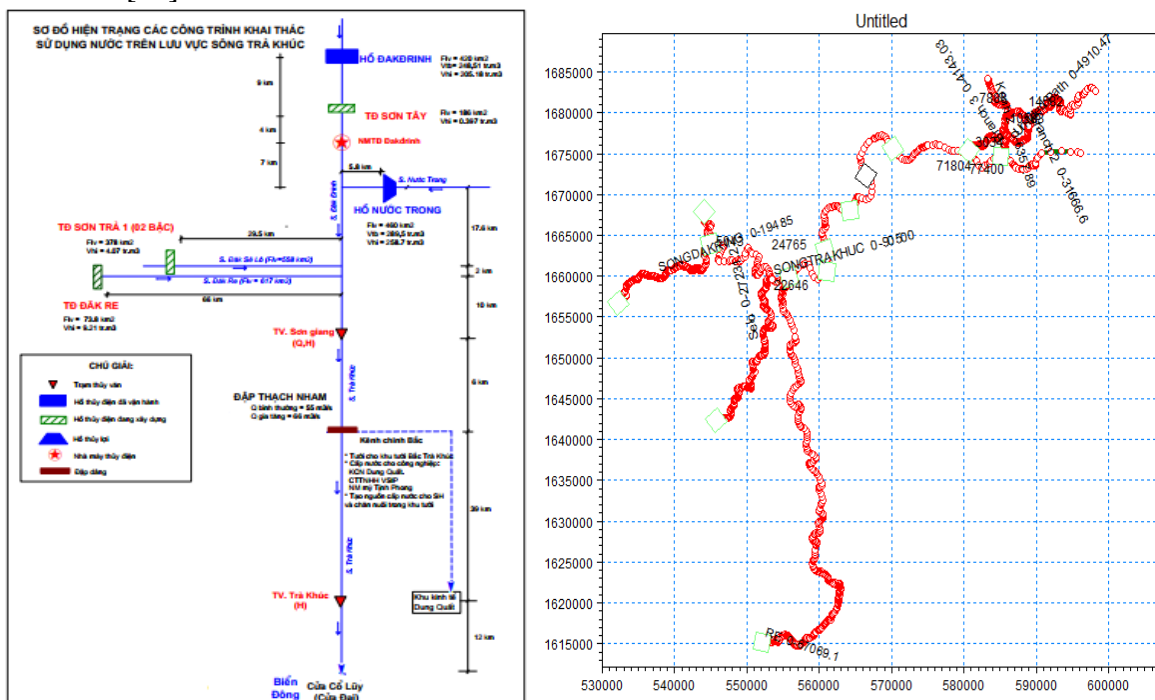
- Bản đồ DEM 90m để phân chia lưu vực bộ phận được thu thập từ được thu thập từ trang web của Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) [11].
- Số liệu mạng lưới sông và địa hình lòng sông được thu thập từ Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN [3].
- Số liệu khí tượng thủy văn (mưa, bốc hơi, lưu lượng, mực nước) được thu thập từ năm 1986 đến 2020 của 3 trạm khí tượng, 4 trạm thủy văn và 7 trạm đo mưa của Trung tâm Dự báo Khí tượng thủy văn Quốc gia [12].
- Các số liệu, tài liệu về các yếu tố khí hậu của khu vực hạ lưu sông Trà Khúc được lấy từ “Kịch bản BĐKH và nước biển dâng Việt Nam” do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2020 [4].

### 2.3. Thiết lập mô hình

Để tính toán ngập lụt cho hạ lưu sông Trà Khúc, nghiên cứu sử dụng bộ mô hình gồm: các mô đun MIKE NAM [13], MIKE11 [14], MIKE21FM [15] và kết nối MIKE FLOOD [16].

#### 2.3.1. Sơ đồ mạng lưới thủy lực và miền tính

Sơ đồ mạng lưới thủy lực sông Trà Khúc được thiết lập trong mô hình thủy lực 1 chiều MIKE11 [17] như Hình 2.



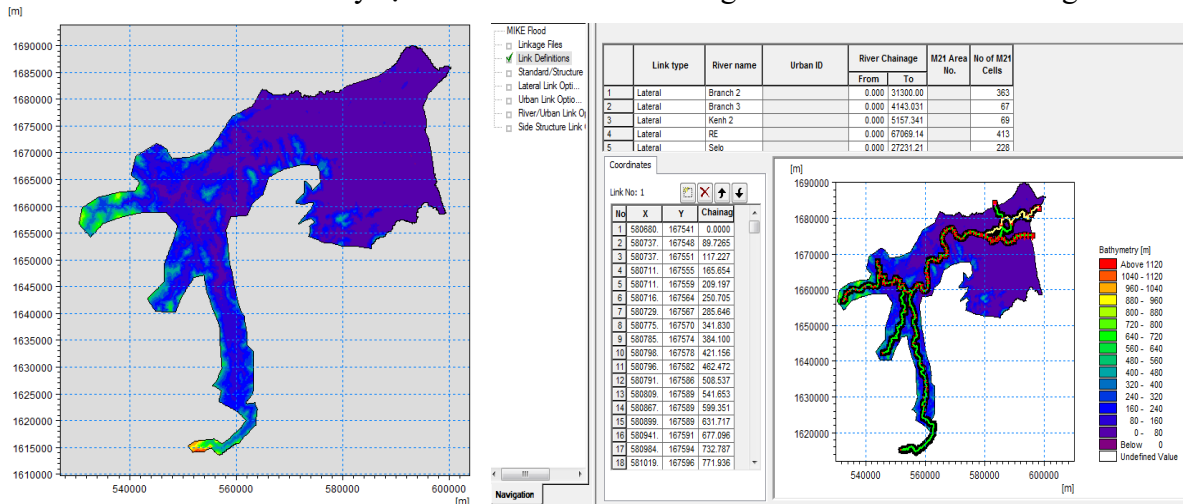
Hình 2. Sơ đồ thủy lực lưu vực sông Trà Khúc.

Miền tính cho mô hình thủy lực 1 chiều lưu vực sông Trà Khúc được giới hạn bởi biên trên gồm 4 biên:

- Hồ Nước Trong: sử dụng số liệu vận hành hồ chứa tại hồ Nước Trong.
- Hồ ĐăkRing: sử dụng số liệu vận hành hồ chứa tại hồ ĐăkRing.
- Đăk Rê: sử dụng số liệu lưu lượng tính toán từ MIKE NAM.
- Đăk Selo: sử dụng số liệu lưu lượng tính toán từ MIKE NAM.

Biên dưới: sử dụng mực nước triều tại của sông Trà Khúc.

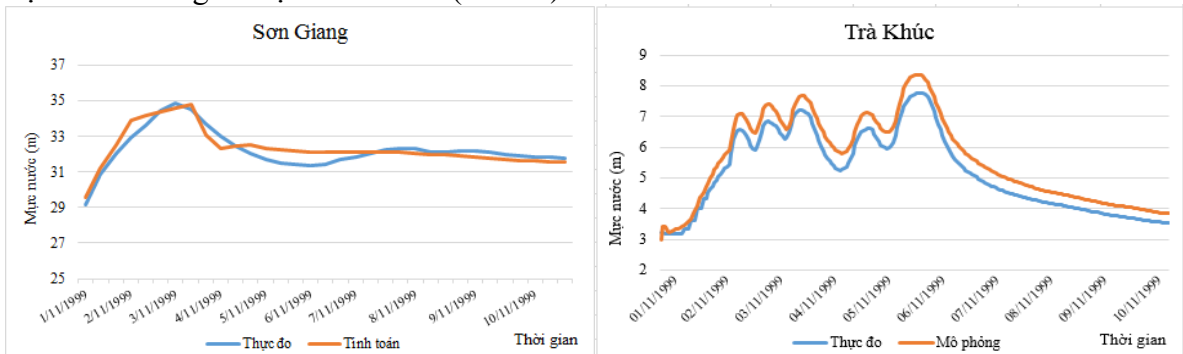
Miền tính mô hình thủy lực 2 chiều và kết nối trong MIKE FLOOD như trong Hình 3.



Hình 3. Miền tính mô hình thủy lực 2 chiều và kết nối trong MIKE FLOOD.

2.3.2. Hiệu chỉnh mô hình thủy lực

Trận lũ năm 1999 là trận lũ được coi là lịch sử trên khu vực nghiên cứu. Vì thế nghiên cứu lựa chọn trận lũ này để hiệu chỉnh mô hình thủy lực cho lưu vực sông Trà Khúc, thuộc tỉnh Quảng Ngãi [18]. Sử dụng số liệu lưu lượng 2 trạm Sơn Giang và Trà Khúc để hiệu chỉnh mô hình với các kết quả đánh giá hệ số Nash đạt giá trị là 0,84 và 0,89 tương ứng với trạm Sơn Giang và trạm Trà Khúc (Hình 4).



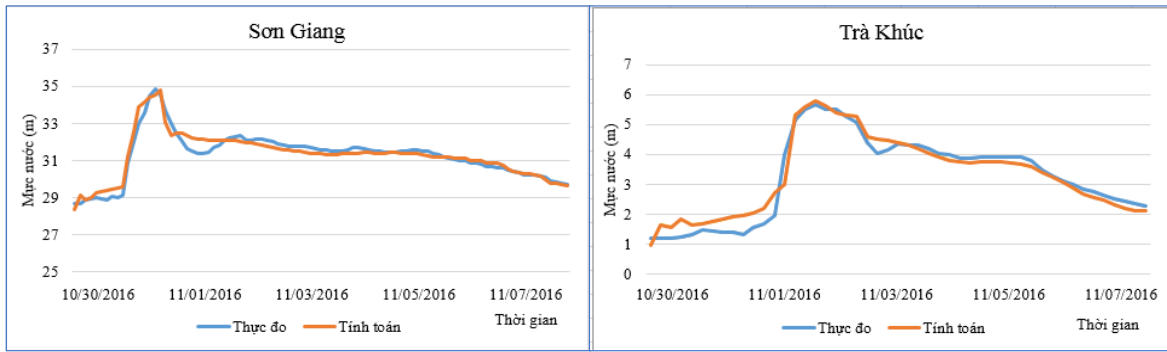
Hình 4. Đường quá trình mực nước trận lũ năm 1999 tại trạm Sơn Giang, Trà Khúc.

2.3.3. Kiểm định mô hình thủy lực

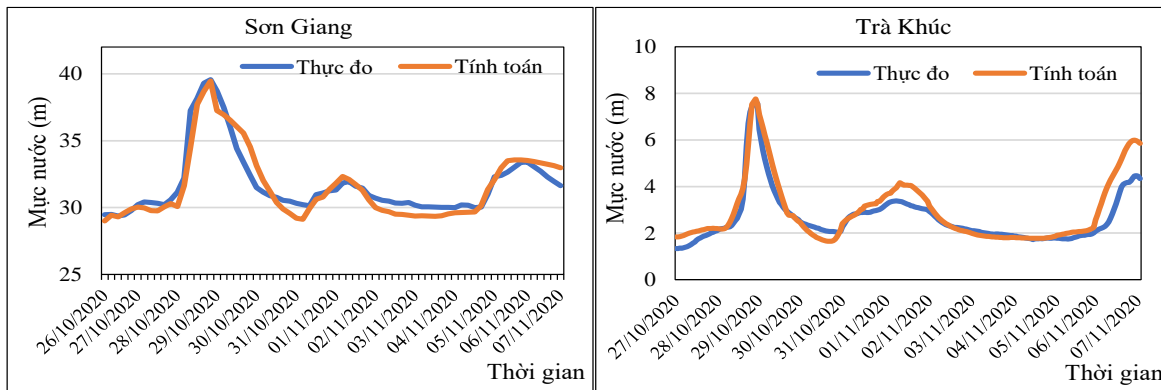
Để kiểm định cho mô hình nghiên cứu sử dụng hai trận lũ năm 2016 và năm 2020. Kết quả kiểm định mô hình cho 2 trận lũ như Bảng 1, Hình 5 và Hình 6.

Bảng 1. Kết quả kiểm định mô hình thủy lực lưu vực sông Trà Khúc.

Trận lũ	Nash		ΔH (m)	
	Sơn Giang	Trà Khúc	Sơn Giang	Trà Khúc
2016	0,83	0,85	0,29	0,16
2020	0,89	0,89	0,09	0,18



**Hình 5.** Đường quá trình mực nước trận lũ năm 2016 tại trạm Sơn Giang, Trà Khúc.



**Hình 6.** Đường quá trình mực nước trận lũ năm 2020 tại trạm Sơn Giang, Trà Khúc.

Kết quả tính toán sai số cả hai quá trình hiệu chỉnh và kiểm định đạt mức khá với chỉ số Nash biến đổi từ 0,83–0,89 và sai số đỉnh biến đổi từ 0,089–0,589. Từ đó có thể thấy chất lượng mô phỏng của mô hình cho các trận lũ 1999, 2016 và 2020 là khá tốt, bộ mô hình với các thông số thu được sau quá trình hiệu chỉnh, kiểm định được lựa chọn để tiến hành mô phỏng ngập lụt cho các kịch bản BĐKH của lưu vực sông Trà Khúc [19].

### 3. Kết quả vào thảo luận

#### 3.1. Kết quả tính toán ngập lụt theo các kịch bản biến đổi khí hậu

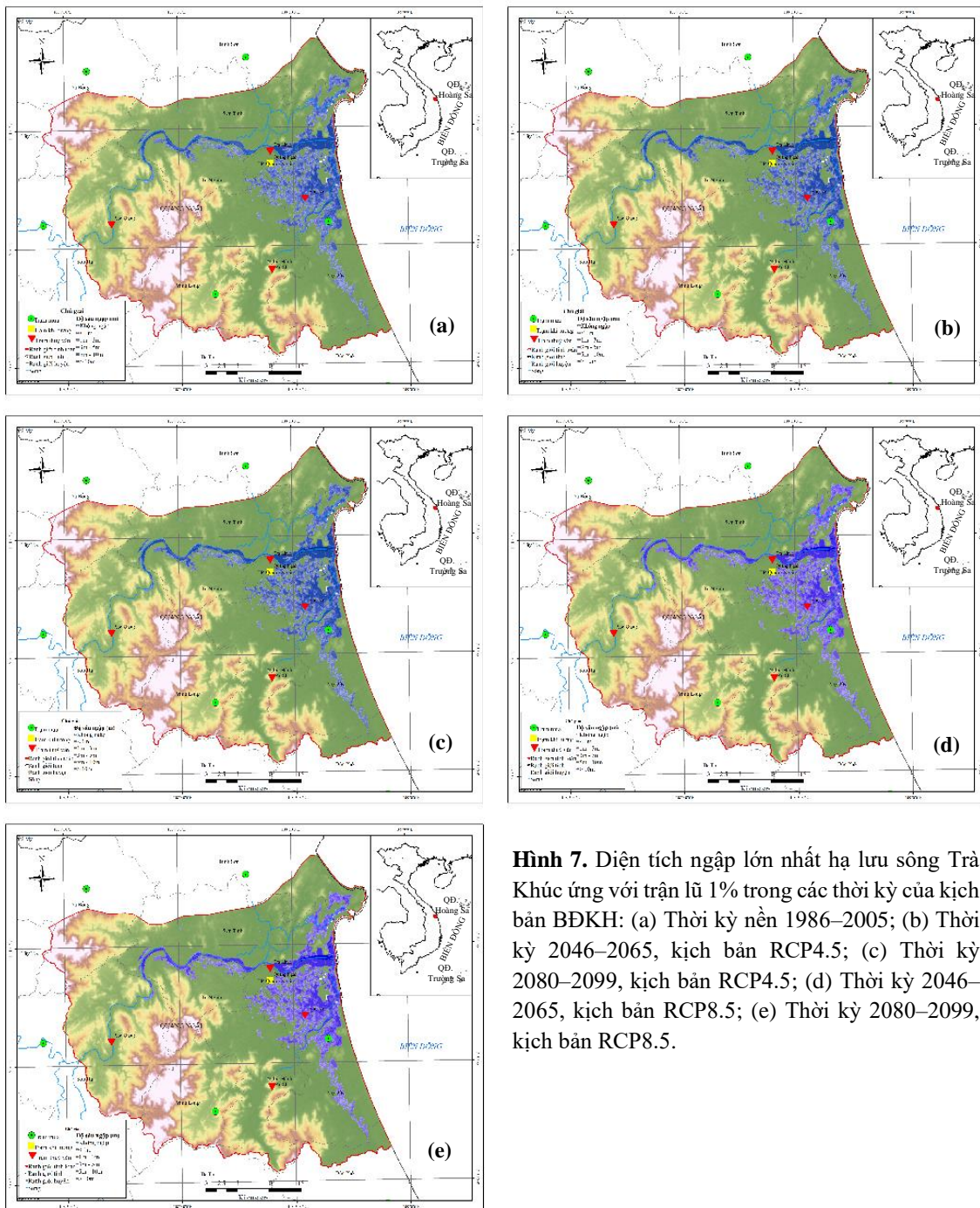
Tính toán ngập lụt cho khu vực hạ lưu sông Trà Khúc theo các kịch bản BĐKH cho các trận lũ với tần suất 1%. Theo đó, 5 thời kỳ của kịch bản sẽ được tính toán theo lưu lượng các trận lũ tần suất 1% của thời kỳ nền, 2 thời kỳ 2046–2064, 2080–2099 cả 2 kịch bản RCP4.5 và RCP8.5. Kết quả tính toán diện tích ngập hạ lưu sông Trà Khúc cho thời kỳ cơ sở và các thời kỳ của 2 kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 được trình bày trong Bảng 2.

**Bảng 2.** Diện tích ngập theo các cấp độ sâu ngập thời kỳ cơ sở và các thời kỳ của kịch bản BĐKH.

Thời kỳ		TKN	2046–2065	2080–2099
Tổng diện tích ngập (ha)	Kịch bản RCP4.5	18057,69	18604,85	19832,29
	Kịch bản RCP8.5	18057,69	18642,16	19919,61
Diện tích ngập < 1m (ha)	Kịch bản RCP4.5	3744,2	3360,41	3500,07
	Kịch bản RCP8.5	3744,2	3366,45	3517,28
Diện tích ngập 1–3m (ha)	Kịch bản RCP4.5	7440,47	6889,63	7192,02
	Kịch bản RCP8.5	7440,47	6885,67	7184,08
Diện tích ngập 3–5m (ha)	Kịch bản RCP4.5	4304,02	4629,36	4920,92
	Kịch bản RCP8.5	4304,02	4638,28	4946,48
Diện tích ngập 5–10m (ha)	Kịch bản RCP4.5	2548,69	3494,28	3929,1
	Kịch bản RCP8.5	2548,69	3516,14	3968,28



Bản đồ nguy cơ ngập lớn nhất của các trận lũ trong các thời kỳ của các kịch bản BĐKH ứng với trận lũ tần suất 1% của hạ lưu sông Trà Khúc được trình bày như sau:



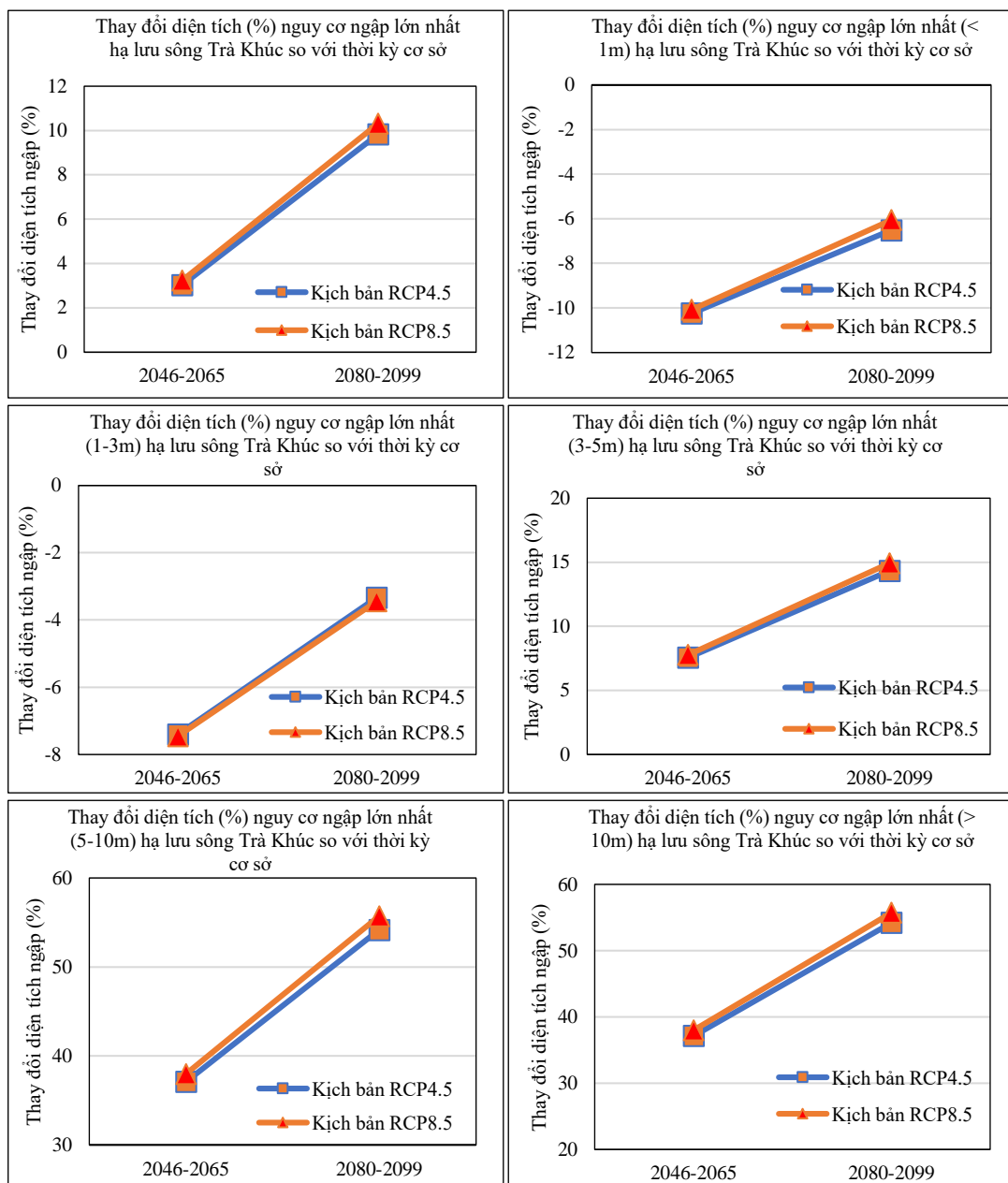
**Hình 7.** Diện tích ngập lớn nhất hạ lưu sông Trà Khúc ứng với trận lũ 1% trong các thời kỳ của kịch bản BĐKH: (a) Thời kỳ nền 1986–2005; (b) Thời kỳ 2046–2065, kịch bản RCP4.5; (c) Thời kỳ 2080–2099, kịch bản RCP4.5; (d) Thời kỳ 2046–2065, kịch bản RCP8.5; (e) Thời kỳ 2080–2099, kịch bản RCP8.5.

Kết quả tính toán cho thấy, diện tích ngập trong các thời kỳ tương lai của các kịch bản BĐKH tăng khá mạnh so với thời kỳ cơ sở. Trong đó, diện tích ngập trong kịch bản RCP8.5 tăng nhiều hơn so với kịch bản RCP4.5, đặc biệt trong thời kỳ 2080–2099 tăng rất mạnh so với thời kỳ cơ sở. Kết quả tính toán sự thay đổi của mức độ ngập của các kịch bản BĐKH được trình bày trong phần tiếp theo.

Diện tích ngập và phân cấp độ sâu ngập thay đổi với các cấp độ sâu ngập ở hạ lưu sông Trà Khúc trong các thời kỳ của các kịch bản BĐKH so với thời kỳ cơ sở được thể hiện trong Bảng 3, Bảng 4 và Hình 8.

**Bảng 3.** Thay đổi diện tích (ha) nguy cơ ngập lớn nhất hạ lưu sông Trà Khúc ứng với trận lũ 1% trong các thời kỳ của các kịch bản BĐKH so với thời kỳ cơ sở.

Thời kỳ		2046–2065	2080–2099
Tổng diện tích ngập (ha)	Kịch bản RCP4.5	547,16	1774,6
	Kịch bản RCP8.5	584,46	1861,92
Diện tích ngập < 1m (ha)	Kịch bản RCP4.5	-383,78	-244,13
	Kịch bản RCP8.5	-377,75	-226,91
Diện tích ngập 1–3m (ha)	Kịch bản RCP4.5	-550,84	-248,45
	Kịch bản RCP8.5	-554,8	-256,39
Diện tích ngập 3–5m (ha)	Kịch bản RCP4.5	325,33	616,9
	Kịch bản RCP8.5	334,26	642,45
Diện tích ngập 5–10m (ha)	Kịch bản RCP4.5	945,59	1380,41
	Kịch bản RCP8.5	967,46	1419,59
Diện tích ngập > 10m (ha)	Kịch bản RCP4.5	210,85	269,87
	Kịch bản RCP8.5	215,3	283,18



**Hình 8.** Thay đổi diện tích nguy cơ ngập lớn nhất hạ lưu sông Trà Khúc ứng với trận lũ 1% trong các thời kỳ của các kịch bản BĐKH so với thời kỳ cơ sở.

**Bảng 4.** Thay đổi diện tích (%) nguy cơ ngập lớn nhất hạ lưu sông Trà Khúc ứng với trận lũ 1% trong các thời kỳ của các kịch bản BĐKH so với thời kỳ cơ sở.

Thời kỳ		2046–2065	2080–2099
Tổng diện tích ngập (%)	Kịch bản RCP4.5	3,03	9,83
	Kịch bản RCP8.5	3,24	10,31
Diện tích ngập < 1m (%)	Kịch bản RCP4.5	-10,25	-6,52
	Kịch bản RCP8.5	-10,09	-6,06
Diện tích ngập 1–3m (%)	Kịch bản RCP4.5	-7,40	-3,34
	Kịch bản RCP8.5	-7,46	-3,45
Diện tích ngập 3–5m (%)	Kịch bản RCP4.5	7,56	14,33
	Kịch bản RCP8.5	7,76	14,93
Diện tích ngập 5–10m (%)	Kịch bản RCP4.5	37,10	54,16
	Kịch bản RCP8.5	37,96	55,70
Diện tích ngập > 10m (%)	Kịch bản RCP4.5	1037,67	1328,08
	Kịch bản RCP8.5	1059,55	1393,60

Theo kết quả tính toán, mức độ thay đổi diện tích ngập trong thời kỳ tương lai khá tương đồng giữa 2 kịch bản RCP4.5 và RCP8.5. Trong đó, diện tích nguy cơ ngập < 1 m và 1–3 m có xu hướng giảm so với thời kỳ cơ sở, còn loại đều tăng nhất là thời kỳ 2080–2099. Mức độ ngập ở kịch bản RCP8.5 có sự tăng nhẹ so với kịch bản RCP4.5. Ở thời kỳ cuối, tổng diện tích ngập tăng so với thời kỳ cơ sở là 1774,6 ha tương ứng với 9,83% của kịch bản RCP4.5 và 1861,92 ha tương ứng với 10,31% của kịch bản RCP8.5.

#### 4. Kết luận

Biến đổi khí hậu có tác động tương đối nhiều đến tình hình ngập lụt tại khu vực hạ lưu sông Trà Khúc thuộc tỉnh Quảng Ngãi, diện tích ngập lụt có nguy cơ tăng mạnh, đặc biệt là tại thời kỳ cuối của thế kỷ 21. Tổng diện tích ngập lụt tại các thời kỳ của các kịch bản BĐKH đều tăng so với thời kỳ cơ sở. Trong đó, diện tích ngập của cấp độ sâu ngập < 1 m và 1–3 m có xu hướng giảm so với thời kỳ cơ sở. Diện tích ngập của cấp độ sâu ngập trên 10m tăng rất mạnh so với thời kỳ cơ sở ở cả 2 kịch bản RCP4.5 và RCP8.5.

Các kết quả đánh giá tác động của BĐKH đến tình hình ngập lụt tại hạ lưu sông Trà Khúc là cơ sở quan trọng cho các nhà quản lý cũng như các nhà quy hoạch nắm rõ được tác động của BĐKH để có thể đưa ra được những giải pháp quản lý phù hợp nhằm giảm thiểu được những thiệt hại cho BĐKH gây ra.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.N.A., Đ.Đ.C.; Thu thập tài liệu: N.A.N., N.Q.T.; Viết bản thảo báo cáo: N.A.N; Chỉnh sửa báo cáo: T.N.A., Đ.Đ.C., N.A.N., N.Q.T.

**Lời cảm ơn:** Tác giả cung cấp thông tin cảm ơn cá nhân/ tổ chức, đề tài, dự án, nhiệm vụ chuyên môn.

**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 sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

#### Tài liệu tham khảo

- Hiếu, B.Đ.; Hương, H.T.L.; Liễu, N.T.; Thịnh, Đ.Q. Nghiên cứu đánh giá rủi ro đến tài nguyên nước mặt do biến đổi khí hậu; áp dụng cho tỉnh Quảng Ngãi. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* 2020, 711, 1–13.
- Son, N.T.; Anh, T.N.; Khá, Đ.Đ.; Tiến, N.X.; Thìn, L.V. Thử nghiệm đánh giá tác động của Biến đổi khí hậu đến ngập lụt khu vực hạ lưu sông Lam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* 2014, 645, 13–20.

3. Chanh, B.V.; Anh, T.N. Tích hợp bộ mô hình dự báo thủy văn lưu vực sông Trà Khúc. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN* **2016**, 32(3S), 20–25.
4. Cương, V.Đ. Ứng dụng ảnh viễn thám trong việc nâng cao độ chính xác của mô phỏng ngập lụt lưu vực sông Trà Khúc tỉnh Quảng Ngãi. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2017**, 41, 19–30.
5. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam, Nhà xuất bản Tài nguyên – Môi trường và Bản đồ Việt Nam, Hà Nội, 2020.
6. Quang, N.T.; Đạt, L.Đ. Ứng dụng mô hình SWAT đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông Trà Khúc. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, 667, 15–20.
7. Chiến, P.V.; Linh, Đ.T.P.; Long, N.T.; Tuấn, N.M.; Khánh, N.V. Nghiên cứu xây dựng phương án dự báo lũ Tiểu mãn dựa vào hình thể thời tiết gây mưa lũ khu vực Trung Trung Bộ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 721, 46–53.
8. 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.
9. Dũng, P.T. Nghiên cứu chế độ dòng chảy lũ và dự báo lũ cho trạm thủy văn Trà Khúc tỉnh Quảng Ngãi. Luận văn Thạc sỹ Trường Đại học Thủy lợi, 2010.
10. 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 – Vệ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 697, 1–12.
11. Trí, Đ.Q.; Nga, P.T. 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 – Vệ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 736, 93–110.
12. Hương, H.T.L.; Hiền, N.X.; Thủy, N.T.; Hằng, V.T.; Công, N.T. Đánh giá rủi ro thiên tai do lũ lụt khu vực Trung Trung Bộ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 717, 13–26. [https://doi.org/10.36335/vnjhm.2020\(717\).1-10](https://doi.org/10.36335/vnjhm.2020(717).1-10).
13. Thục, T. Xây dựng công nghệ tính toán dự báo lũ lớn hệ thống sông Hồng – Thái Bình. Báo cáo tổng kết đề tài, Hà Nội, 2011.
14. DHI. MIKE 11 Reference Manual, DHI Software, 2011.
15. DHI. MIKE 21 Toolbox Reference Manual, DHI Software, 2011.
16. Anh, T.N. Xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu các sông Bến Hải và Thạch Hãn, tỉnh Quảng Trị. *Tap Chí Khoa Học Đại Học Quốc Gia Hà Nội, Khoa Học Tự Nhiên và Công Nghệ* **2011**, 27, 1–8.
17. Hưng, N.Q.; Hương, H.T.L. Nghiên cứu đánh giá khả năng ứng dụng mô hình liên kết khí tượng thủy văn trong dự báo thủy văn. *Tap chí Khoa học biến đổi khí hậu* **2021**, 17, 1–11. <https://doi.org/10.15625/vap.2019000287>.
18. Thị, N.; Huyền, T. Ứng dụng ảnh viễn thám kết hợp mô hình thủy văn trong nghiên cứu dòng chảy lũ lưu vực sông Vệ tỉnh Quảng Ngãi. *Bản B của Tap chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam* **2018**, 60, 44–49.
19. Anh, T.N. và cs. Đánh giá nguy cơ ngập lụt các khu vực trũng tỉnh Hưng Yên. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2012**, 28(3S), 1–8.

## Assessing the impact of climate change on flooding in Tra Khuc river basin, Quang Ngai province

Nguyen Anh Nam<sup>1</sup>, Tran Ngoc Anh<sup>2,3\*</sup>, Do Dinh Chien<sup>4</sup>, Ngo Quang Tai<sup>5</sup>

<sup>1</sup> National Centre for Hydrometeorological Forecasting; anhnam95@gmail.com

<sup>2</sup> Faculty of Hydro–Meteorology & Oceanography, VNU University of Science; tranngocanh@hus.edu.vn

<sup>3</sup> Center for Hydrodynamics and Environment; tranngocanh@hus.edu.vn

<sup>4</sup> Institute of Meteorology, Hydrology and Climate Change; chiendd@gmail.com

<sup>5</sup> Northern division for water resources planning and investigation; ngotai87@gmail.com

**Abstract:** Flooding is one of the most dangerous types of natural disasters, frequently occurring in Vietnam, causing a lot of damage to people and properties. Especially, under the impact of climate change, the level of flooding may occur more and more seriously. Therefore, assessing the impact of climate change on the inundation situation is essential, as a basis to help managers and planners come up with appropriate solutions to adapt and minimize the damage of climate change. This paper uses the MIKE11, MIKE21 and MIKE FLOOD models to simulate, calculate and evaluate the impact of climate change on the flood situation in the downstream area of Tra Khuc river, Quang Ngai province. The research simulates, calculates the inundation area and depth for the flood corresponding to 1% frequency of the background period 1986–2005 and the periods 2016–2035, 2046–2065 and 2080–2099 according to two scenarios. versions RCP4.5 and RCP8.5. The results show that the level of flooding in future periods under climate change scenarios increases remarkably. In which, the inundation level under the RCP8.5 scenario increases more strongly than the RCP4.5 scenario of all periods, and increases the most in the period 2080–2099.

**Keyword:** Flood; Climate change; Climate change scenario.



Bài báo khoa học

## Xây dựng các mô hình hồi quy hỗ trợ véc tơ dự báo mực nước trạm Cao Lãnh, tỉnh Đồng Tháp

Lê Xuân Hòa<sup>1</sup>, Nguyễn Tiên Giang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Đồng Tháp, Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Bộ Tài Nguyên và Môi trường; lexuanhoaktv@gmail.com

<sup>2</sup> Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN; giangnt@vnu.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: giangnt@vnu.edu.vn; Tel.: +84–912800896

Ban Biên tập nhận bài: 15/7/2022; Ngày phản biện xong: 23/8/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Trong nghiên cứu này, ba dạng hàm kernel: Radial basis function (RBF), tuyến tính (Linear) và Sigmoid được sử dụng trong các mô hình máy học Support Vector Regression (SVR) với ba chuỗi dữ liệu đầu vào là: mực nước cao nhất ngày ( $H_{\max CL}$ ); mực nước thấp nhất ngày ( $H_{\min CL}$ ); mực nước trung bình ngày ( $H_{tb CL}$ ) trong quá khứ để dự báo mực nước tương lai trạm Cao Lãnh, tỉnh Đồng Tháp. Kết quả cho thấy, các hàm nhân trong mô hình đều đưa ra kết quả dự báo với độ chính xác cao thể hiện qua chỉ số NSE > 0,95 đối với tất cả các dữ liệu đầu vào khác nhau cũng như hàm nhân khác nhau trong mô hình SVR. Trong ba chuỗi dữ liệu đầu vào và các hàm nhân được thử nghiệm thì chuỗi dữ liệu  $H_{\max CL}$  cho sai số là tối ưu nhất. Kết quả nghiên cứu này là tài liệu tham khảo tốt cho việc xây dựng mô hình máy học phục vụ dự báo mực nước tương lai cho trạm thủy văn Cao Lãnh, tỉnh Đồng Tháp.

**Từ khóa:** SVR; RBF; Tuyến tính; Sigmoid; ML; Cao Lãnh.

### 1. Mở đầu

Ngày nay, các nghiên cứu về dữ liệu chuỗi thời gian đem lại những ứng dụng khá quan trọng, đảm bảo tính thực tế cao trong các lĩnh vực: tài chính, thống kê, xử lý dữ liệu, dự báo các hiện tượng thiên tai, ... Một số trong đó là bài toán về dự báo chuỗi thời gian kết hợp xây dựng các dự báo thích hợp. Trong các nghiên cứu về dự báo lưu lượng, dự báo dòng chảy đều sử dụng các mô hình thủy văn phân bố hay bán phân bố khác nhau. Các mô hình này được xây dựng để mô phỏng quá trình của dòng chảy do khả năng mô phỏng có độ chính xác cao các quá trình vật lý và phân tích độ nhạy cảm một cách toàn diện [1]. Ngoài ra các mô hình này rất tốt cho các nhà khoa học trong việc giải thích được toàn bộ quá trình ẩn đằng sau [2]. Chính vì vậy các mô hình này được áp dụng nhiều và rộng rãi ở nhiều khu vực trên thế giới. Tuy nhiên, việc sử dụng các mô hình này cần một số dữ liệu lớn về thông tin địa lý, mưa, dòng chảy ... Bên cạnh đó việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình còn khá phức tạp đòi hỏi phải có nhiều thời gian, kinh nghiệm và kiến thức của người xây dựng, chạy mô hình cho từng lưu vực. Chính vì vậy việc sử dụng loại mô hình này ở nhiều khu vực và trong các bài toán dự báo thời đoạn ngắn vẫn còn bị hạn chế [3]. Từ những hạn chế của các mô hình truyền thống đã khuyến khích sự phát triển của các mô hình dựa vào chuỗi số liệu mà phát triển nhất

đó là phương pháp máy học (Machine Learning – ML). Các mô hình ML là một trong những công cụ rất tiềm năng trong việc dự báo dòng chảy do các mô hình ML này có thể xây dựng một cách nhanh chóng, dễ dàng mà không cần đòi hỏi có sự hiểu biết về các quá trình vật lý ẩn đằng sau. Ngoài ra, lượng dữ liệu yêu cầu tối thiểu, cùng với khả năng tính toán, hiệu chỉnh và kiểm định nhanh hơn so với các mô hình vật lý truyền thống, và cách sử dụng ít phức tạp hơn là những ưu điểm lớn mà các mô hình dựa vào số liệu mang lại [4].

Trong các bài toán về mô phỏng, dự báo dòng chảy, các mô hình trí tuệ nhân tạo như Artificial Neural Network (ANN) đã được ứng dụng từ những năm 90 [5–6]. Nhưng những năm trở lại đây, với tiến bộ vượt bậc của các ngành khoa học máy tính cùng với sự quan tâm của cộng đồng khoa học tới các vấn đề liên quan đến dữ liệu lớn (big data), các mô hình trí tuệ nhân tạo, máy học ngày càng được sử dụng rộng rãi hơn và đa dạng hơn. Các thuật toán ANN, Random Forest (RF) và Support Vector Machine (SVM) là ba thuật toán ML được sử dụng khá rộng rãi trong các nghiên cứu về dự báo dòng chảy [7].

SVM, một thuật toán học máy có giám sát được đề xuất bởi Vapnik (1963), là một mô hình được sử dụng phổ biến trong dự báo dòng chảy. Mô hình này cho thấy tiềm năng cao trong dự báo dòng chảy ngắn hạn và dài hạn [8–9]. Khi so sánh với các phương pháp khác, mô hình SVM với các biến thể LS–SVR hay SVR cho kết quả tốt hơn và cho thấy khả năng dự báo dòng chảy chính xác với nhiều loại dữ liệu khác nhau [10–12]. Việc áp dụng mô hình SVM/SVR cho dự báo dòng chảy, dòng xả lũ của hồ cũng được nghiên cứu ở trên nhiều lưu vực ở Trung Quốc ví dụ như nghiên cứu [13] về dự báo dòng xả thời đoạn dài của hồ thủy điện Manwan, hay nghiên cứu của Guo và nnk [14] về dự báo dòng chảy tới khu vực đập Tam Hiệp trên sông Dương Tử. Những nghiên cứu này đều đưa ra kết quả khẳng định rằng mô hình SVR cho khả năng dự báo dòng chảy chính xác.

Đồng Tháp là một tỉnh có nhiều hệ thống sông ngòi dày đặc, nằm ở đầu nguồn sông Tiền thượng lưu ảnh hưởng bởi dòng chảy từ bên Campuchia còn hạ lưu thì ảnh hưởng bởi thủy triều, vì vậy việc dự báo mực nước cho tỉnh Đồng Tháp nói chung, Tp Cao Lãnh nói riêng gặp rất nhiều khó khăn, mất rất nhiều thời gian và độ chính xác chưa cao. Từ những khó khăn đó việc xây dựng một mô hình máy học để phục vụ dự báo mực nước là rất cần thiết đối với các dự báo viên. Chính vì vậy các tác giả đã nghiên cứu xây dựng các mô hình hồi quy hỗ trợ véc tơ dự báo mực nước trạm Cao Lãnh, tỉnh Đồng Tháp.

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

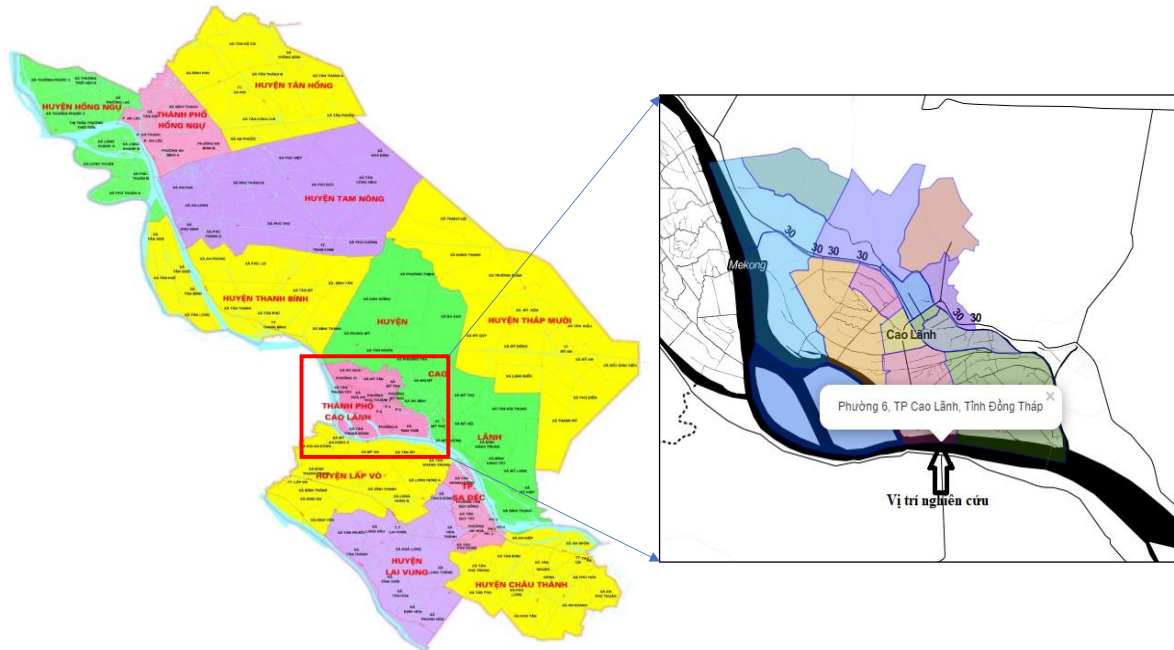
### *2.1. Khu vực nghiên cứu*

Đồng Tháp là một trong 13 tỉnh của vùng đồng bằng sông Cửu Long, nằm ở đầu nguồn sông Tiền, lãnh thổ của tỉnh Đồng Tháp nằm trong giới hạn tọa độ 10°07'–10°58' vĩ độ Bắc và 105°12'–105°56' kinh độ Đông. Phía bắc giáp với tỉnh Long An, phía tây bắc giáp tỉnh Preyveang thuộc Campuchia, phía nam giáp An Giang và Cần Thơ. Tỉnh Đồng Tháp có đường biên giới quốc gia giáp với Campuchia với chiều dài khoảng 50 km từ Hồng Ngự đến Tân Hồng, với 4 cửa khẩu là Thông Bình, Dinh Bà, Mỹ Tân và Thường Phước. Hệ thống đường quốc lộ 30, 80, 54 cùng với quốc lộ N1, N2 gắn kết Đồng Tháp với thành phố Hồ Chí Minh và các tỉnh trong khu vực (Hình 1). Trạm thủy văn Cao Lãnh được đặt tại phường 6, thành phố Cao Lãnh, tỉnh Đồng Tháp, có tọa độ 10°25'0.41" vĩ độ Bắc và 105°38'38.79" kinh độ Đông, phía bắc giáp với khu dân cư, phía nam hướng ra sông Tiền, phía Đông là bến phà đang hoạt động cách trạm gần 100 m, phía tây là bãi đất trống (Hình 1).

### *2.2. Thuật toán SVR*

Thuật toán Support Vector Regression (SVR) là thuật toán học với cơ chế hồi quy của mô hình Support Vector Machine (SVM) – một thuật toán học máy có giám sát được đề xuất lần đầu tiên bởi [15] và được sử dụng rộng rãi trong việc giải quyết các bài toán phi tuyến tính. Thuật toán SVM bao gồm hai bước chính. Đầu tiên, dữ liệu đầu vào sẽ được ánh xạ lên

không gian nhiều chiều hơn sử dụng các hàm kernel. Sau đó, thuật toán sẽ tìm kiếm một siêu phẳng (*hyperplane*) để phân tách dữ liệu thông qua việc đánh giá khoảng cách từ các điểm dữ liệu ánh xạ đến siêu phẳng này.



**Hình 1.** Bản đồ hành chính tỉnh Đồng Tháp và khu vực nghiên cứu.

Ví dụ với tập dữ liệu huấn luyện là  $\{X_i, Y_i\}_{i=1}^I$  trong đó  $I$  là số lượng điểm dữ liệu.

Hàm ước lượng SVR có dạng

$$f(x) = (w \times \varphi(x)) + b \quad (1)$$

Trong đó  $\varphi(x)$  là hàm ánh xạ dữ liệu đầu vào lên không gian đa chiều;  $w$  là vectơ trọng số, và  $b$  là hệ số thiên lệch [16]. Như vậy, để tìm ra siêu phẳng, cần phải tối đa hóa được khoảng cách giữa vector gần nhất với mặt siêu phẳng theo  $w$  và  $b$ , như ở phương trình dưới đây:

$$\min \left( \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^I \xi_i + \xi_i^* \right) \quad (2)$$

Với điều kiện ràng buộc:

$$\begin{aligned} y_i - (w \times \varphi(x) + b) &\leq \varepsilon + \xi_i \\ (w \times \varphi(x) + b) - y_i &\leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i \xi_i^* &\geq 0, i = 1, \dots, I \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó  $C > 0$ , là hằng số điều chỉnh sự thay đổi giữa giá trị của hàm mục tiêu và sai số đào tạo;  $\xi_i$  và  $\xi_i^*$  là các biến bù, xác định khoảng cách giới hạn cho phép từ biến dung sai  $\varepsilon$ . Áp dụng nhân tử Lagrange vào phương trình số (1), ta có:

$$f(x) = \sum_{i=1}^I (a_i - a_i^*) K(x, x_i) + b \quad (4)$$

Với  $a_i$  và  $a_i^*$  là các nhân tử Lagrange,  $K$  là hàm kernel. Khai triển dạng toàn phương của phương trình (3) như sau:

$$w(a_i, a_i^*) = \sum_{i=1}^I y_i (a_i - a_i^*) - \varepsilon \sum_{i=1}^I (a_i + a_i^*) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^I (a_i - a_i^*) (a_i + a_j^*) K(x, x_j) \quad (5)$$

Với điều kiện:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^I (a_i - a_i^*) &= 0 \\ 0 \leq a_i &\leq C, i = 1, \dots, I \end{aligned} \quad (6)$$

$$0 \leq a_i^* \leq C, i = 1, \dots, I$$

Các hàm kernel phổ biến là RBF, tuyến tính, và Sigmoid đã được thử nghiệm trong nghiên cứu này có phương trình lần lượt như sau [17]:

$$\text{Hàm RBF } K(x, x_i) = \exp(-\beta|x, x_i|^2) \tag{7}$$

$$\text{Hàm tuyến tính } K(x, x_i) = x \cdot x_i$$

$$\text{Hàm Sigmoid } K(x, x_i) = \tanh((\gamma(x \cdot x_i) + r))$$

### 2.3. Lựa chọn số liệu đầu vào

Lựa chọn số liệu đầu vào là một phần rất quan trọng trong việc xây dựng mô hình ML. Mục tiêu chính của việc lựa chọn các biến đầu vào cho mô hình gồm: Cải thiện kết quả dự báo của mô hình, tăng tốc độ tính toán, và để hiểu rõ hơn các quá trình ẩn đằng sau [18].

Với mục tiêu xây dựng và đánh giá khả năng dự báo của mô hình SVR, các hàm kernel được thử nghiệm lần lượt để dự báo mực nước tương lai trước 1 ngày cho trạm thủy văn Cao Lãnh.

Các số liệu mực nước lớn nhất ngày, nhỏ nhất ngày, trung bình ngày của trạm thủy văn Cao Lãnh từ tháng 1/2000 tới tháng 12/2020 đã được tổng hợp.

### 2.4. Phương pháp đánh giá mô hình

Để đánh giá được hiệu quả dự báo của của các mô hình, nghiên cứu này đã sử dụng các chỉ số đánh giá mô hình bao gồm *Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE)* [19] và chỉ số sai số căn quân phương (*RMSE–Root Mean Square Error*) [20].

NSE là chỉ số thống kê thường được sử dụng để đánh giá chất lượng của các mô hình thủy văn. Chỉ số này được tính toán theo công thức sau:

$$NSE = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \bar{Y})^2} \right] \tag{8}$$

Trong đó  $Y_i^{obs}$  là giá trị mực nước thực đo tại thời điểm  $i$ ;  $Y_i^{sim}$  là giá trị mực nước tính toán/ mô phỏng tại thời điểm  $i$ ;  $\bar{Y}$  là giá trị trung bình của mực nước thực đo;  $n$  là độ dài chuỗi giá trị thực đo.

NSE có giá trị trong khoảng  $-\infty$  đến 1, với  $NSE = 1$  là giá trị tối ưu nhất, chỉ ra sự tương đồng tuyệt đối giữa giá trị thực đo và tính toán. Tiêu chí để đánh giá chất lượng cho chỉ số NSE có thể chia ra như sau:  $NSE \leq 0,5$  là xếp loại không đạt;  $0,5 \leq NSE \leq 0,65$  là xếp loại đạt yêu cầu;  $0,65 \leq NSE \leq 0,75$  là xếp loại tốt;  $0,75 \leq NSE \leq 1$  là xếp loại rất tốt [21].

Chỉ số NSE, RMSE được nhiều nghiên cứu về áp dụng mô hình dự báo áp dụng. RMSE cũng là được sử dụng như là một hàm mục tiêu để tối ưu hóa các mô hình. Công thức tính toán chỉ số RMSE như sau:

$$RMSE = \sqrt{\left( \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{n} \right)} \tag{9}$$

Trong đó đó  $Y_i^{obs}$  là giá trị mực nước thực đo tại thời điểm  $i$ ;  $Y_i^{sim}$  là giá trị mực nước tính toán/ mô phỏng tại thời điểm  $i$ .

Các chỉ số này được sử dụng để đánh giá giữa các hàm kernel trong mô hình SVR.

### 2.5. Thiết lập mô hình SVR

Để áp dụng mô hình SVR trong dự báo mực nước trạm thủy văn Cao Lãnh tỉnh Đồng Tháp, nghiên cứu đã sử dụng thư viện Scikit-learn chạy trên nền Python. Bộ số liệu đầu vào của mô hình được chia làm 3 phần: huấn luyện (*training*), thẩm định (*validation*) và kiểm tra (*testing*). Số liệu từ 01/01/2000 tới 12/9/2014 được dùng để huấn luyện mô hình, số liệu từ 13/9/2014 tới ngày 5/11/2017 dùng để thẩm định và phần còn lại từ 06/11/2017 tới 31/12/2020 dùng để kiểm tra.

Do số liệu huấn luyện còn hạn chế và để tránh tình trạng khớp quá nhiều (*overfitting*) với dữ liệu đào tạo của mô hình, nghiên cứu đã sử dụng phương pháp kiểm định chéo nhiều lớp (*k-fold cross validation*) [22]. Đầu tiên, số liệu huấn luyện sẽ được chia làm *k* phần nhỏ. Sau đó, một phần của bộ số liệu được giữ lại để kiểm tra, (*k-1*) phần còn lại sẽ được sử dụng để huấn luyện. Quá trình này diễn ra liên tục và tuần tự cho đến khi tất cả các phần được sử dụng làm số liệu kiểm tra. Nếu kết quả dự báo ở mỗi phần là tốt và tương đồng nhau thì mô hình sẽ phù hợp để áp dụng cho dữ liệu kiểm tra nêu trên. Thực tế triển khai cho thấy, việc thay đổi giá trị *k* không mang lại kết quả khác biệt đáng kể vì vậy tác giả đã lựa chọn *k* = 10 thường được dùng phổ biến để áp dụng cho nghiên cứu này.

Để đánh giá hiệu quả của mô hình, các thông số chính của mô hình được tối ưu bằng công cụ GridSearchCV sẵn có trong thư viện scikit-learn. GridSearchCV sẽ áp dụng các bộ thông số khác nhau của các mô hình được thiết lập, qua đó tìm được bộ thông số tối ưu nhất của các hàm kernel trong mô hình. Từ các thiết lập đó, chúng ta chạy các hàm kernel của mô hình để tìm ra hàm kernel tối ưu nhất.

### 3. Kết quả và thảo luận

Sau khi chạy hiệu chỉnh GridSearchCV, các thông số tối ưu và các chỉ số đánh giá trong qua trình huấn luyện và thẩm định của các mô hình được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1 cho thấy chuỗi số liệu cho máy học (training) có chỉ số tương quan rất lớn, ở mọi hàm kernel đều cho hệ số tương quan lớn hơn 0,97; thấp nhất là 0,974 ở chuỗi dữ liệu mực nước thấp nhất và cao nhất là 0,976 ở chuỗi mực nước cao nhất. Điều này cho thấy việc máy học đạt kết quả cao. Còn ở chuỗi thẩm định thì hệ số tương quan cho kết quả cũng khá tốt ( $R^2 > 0,95$ ). Tương quan thấp nhất là 0,952 của hàm rbf của chuỗi dữ liệu mực nước thấp nhất và tương quan cao nhất là chuỗi dữ liệu mực nước lớn nhất với hàm rbf.

**Bảng 1.** Giá trị các thông số tối ưu của các hàm kernel trong mô hình SVR.

	HmaxCL			HminCL			HtbCL		
	RBF	Linear	Sigmoid	RBF	Linear	Sigmoid	RBF	Linear	Sigmoid
C	1000,0	501,18	1000,0	1000,0	3,98107	501,187	501,187	3,98107	251,188
Gamma	0,002	0,004	0,004	0,002	0,001	0,008	0,004	0,001	0,0158
Epsilon	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
R <sup>2</sup> (máy học)	0,976	0,976	0,976	0,974	0,975	0,976	0,975	0,975	0,975
R <sup>2</sup> (thẩm định)	0,962	0,958	0,960	0,952	0,954	0,955	0,958	0,958	0,958

Sau khi có được bộ thông số tối ưu này, ta sử dụng để chạy kiểm tra các hàm kernel của mô hình trong chuỗi dữ liệu từ 06/11/2017 tới 31/12/2020. Dữ liệu dùng để kiểm tra này mô hình chưa sử dụng nên ta dùng chuỗi này để đánh giá các hàm kernel trong mô hình của các chuỗi dữ liệu khác nhau. Kết quả được thể hiện trong bảng 2.

**Bảng 2.** Sai số của các hàm kernel trong mô hình SVR.

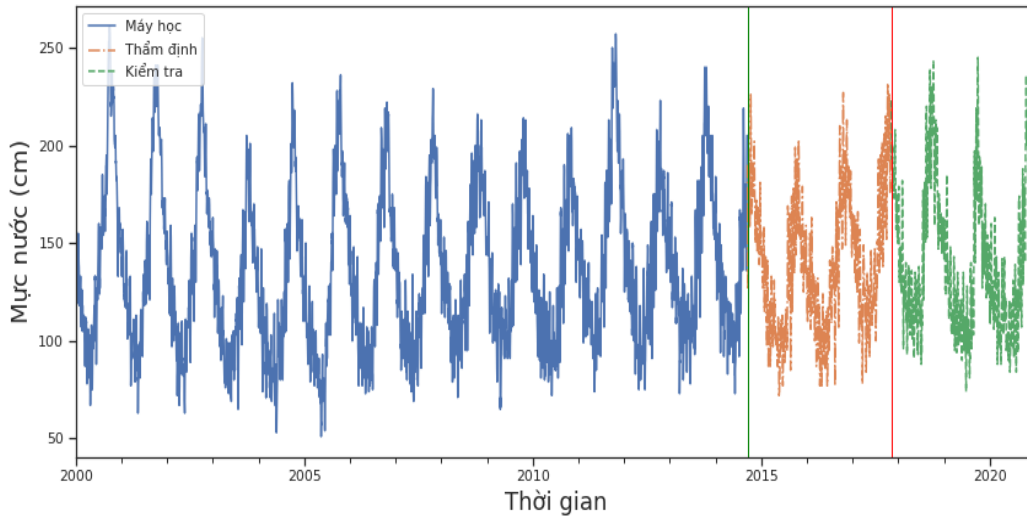
	HmaxCL			HminCL			HtbCL		
	RBF	Linear	Sigmoid	RBF	Linear	Sigmoid	RBF	Linear	Sigmoid
NSE	0,959	0,957	0,958	0,950	0,952	0,953	0,958	0,959	0,959
RMSE	7,37	7,71	7,45	12,43	12,16	12,03	8,17	8,16	8,15

#### 3.1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình SVR với chuỗi dữ liệu mực nước cao nhất ngày trạm thủy văn Cao Lãnh

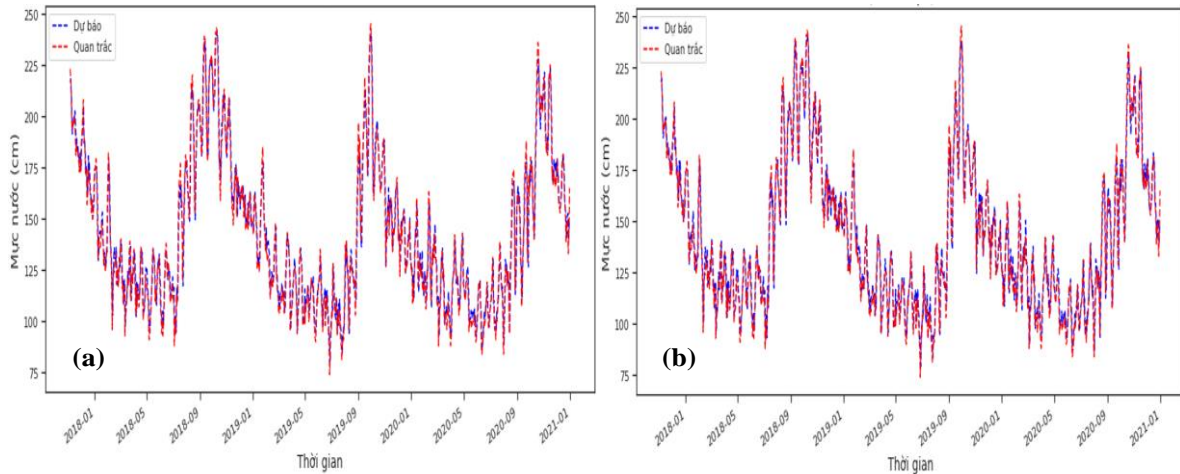
Kết quả bảng 2 cho thấy chỉ số NSE của các hàm kernel trong mô hình đều lớn hơn 0,95, kết quả này là rất tốt, và thấy được sự tương đồng cao giữa giá trị mực nước lớn nhất ngày thực đo và tính toán. Từ kết quả tính toán chỉ số NSE và RMSE cho ta thấy được hàm kernel RBF cho sai số thấp nhất, tối ưu nhất và cho tương quan cao nhất giữa các hàm kernel trong



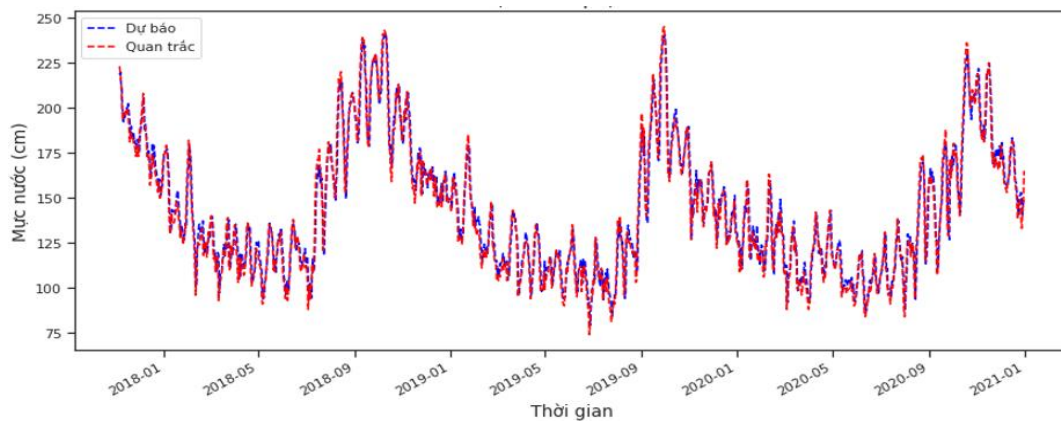
mô hình cho chuỗi dữ liệu mực nước lớn nhất ngày. Một số hình ảnh so sánh giữa chuỗi thực đo và tính toán giữa các hàm kernel trong mô hình được trình bày trong các Hình 2–4.



**Hình 2.** Chuỗi dữ liệu mực nước cao nhất ngày tại trạm Cao Lãnh từ năm 2000–2020.



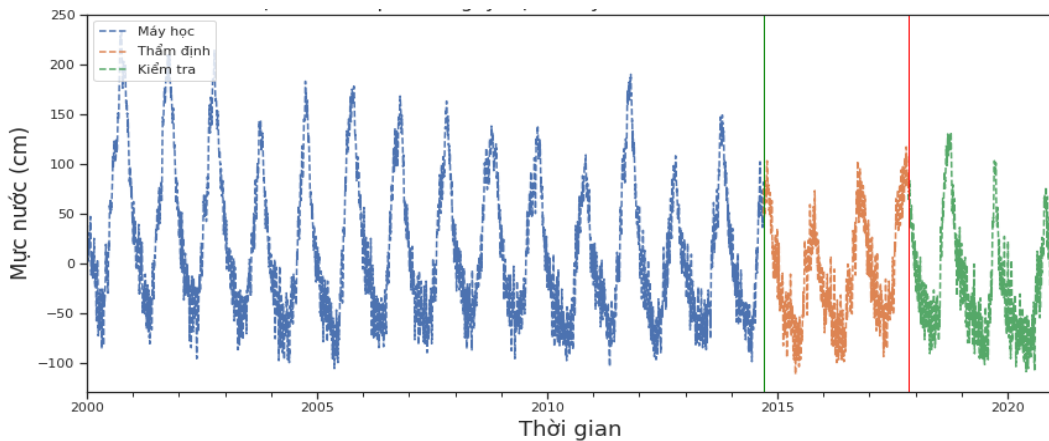
**Hình 3.** Kết quả dự báo của hàm kernel RBF trong mô hình với số liệu mực nước cao nhất ngày thực đo trong giai đoạn kiểm tra từ 06/11/2017 tới 31/12/2020 sử dụng (a) hàm kernel RBF và (b) hàm kernel tuyến tính.



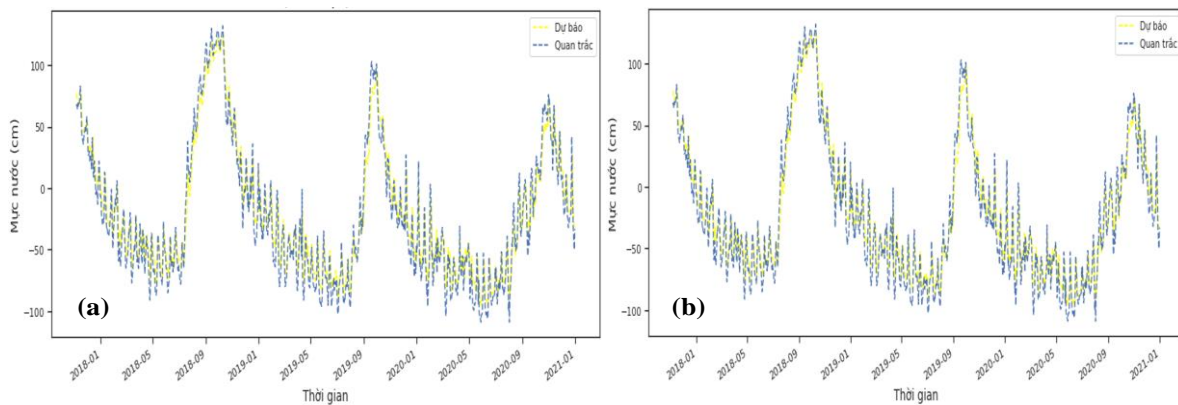
**Hình 4.** Kết quả dự báo của hàm kernel Sigmoid trong mô hình với số liệu mực nước cao nhất ngày thực đo trong giai đoạn kiểm tra từ 06/11/2017 tới 31/12/2020.

### 3.2. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình SVR với chuỗi dữ liệu mực nước thấp nhất ngày trạm thủy văn Cao Lãnh

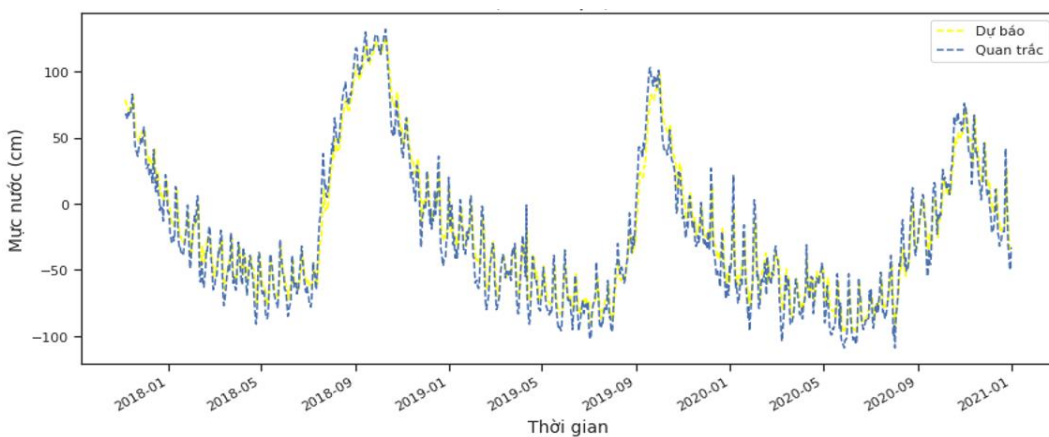
Kết quả về chuỗi dữ liệu mực nước thấp nhất ngày cho thấy chỉ số NSE của các hàm kernel lớn hơn 0,95; thấp nhất là 0,95 đối với hàm rbf và cao nhất là 0,953 ở hàm sigmoid (Bảng 2). Cho thấy sự tương đồng rất cao giữa giá trị HminCL thực đo và tính toán. Ở chuỗi dữ liệu này thì cho ta thấy hàm sigmoid cho sai số thấp hơn hàm rbf và hàm tuyến tính. Kết quả so sánh giữa mực nước dự báo và thực đo quan trắc trong giai đoạn kiểm tra từ 06/11/2017 tới 31/12/2020 được trình bày trong Hình 5–7.



**Hình 5.** Chuỗi dữ liệu mực nước thấp nhất ngày tại trạm Cao Lãnh từ năm 2000–2020.



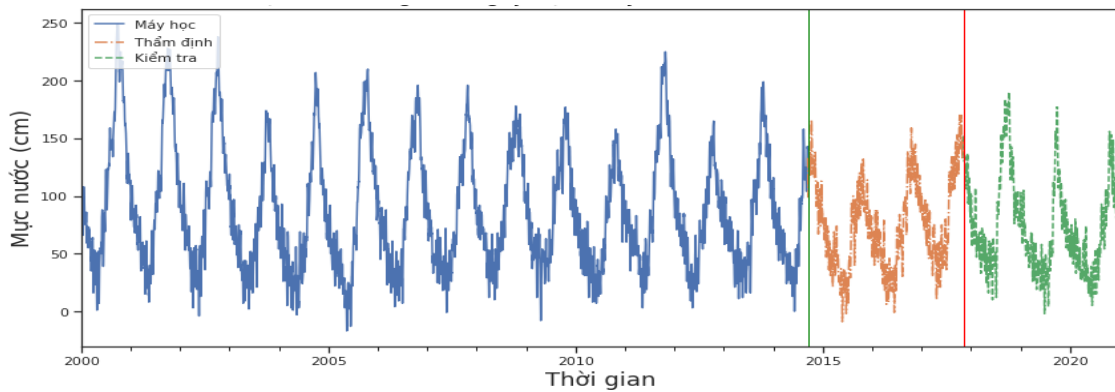
**Hình 6.** Kết quả dự báo của hàm kernel RBF trong mô hình với số liệu mực nước thấp nhất ngày thực đo trong giai đoạn kiểm tra từ 06/11/2017 tới 31/12/2020 sử dụng (a) hàm kernel RBF và (b) hàm kernel tuyến tính.



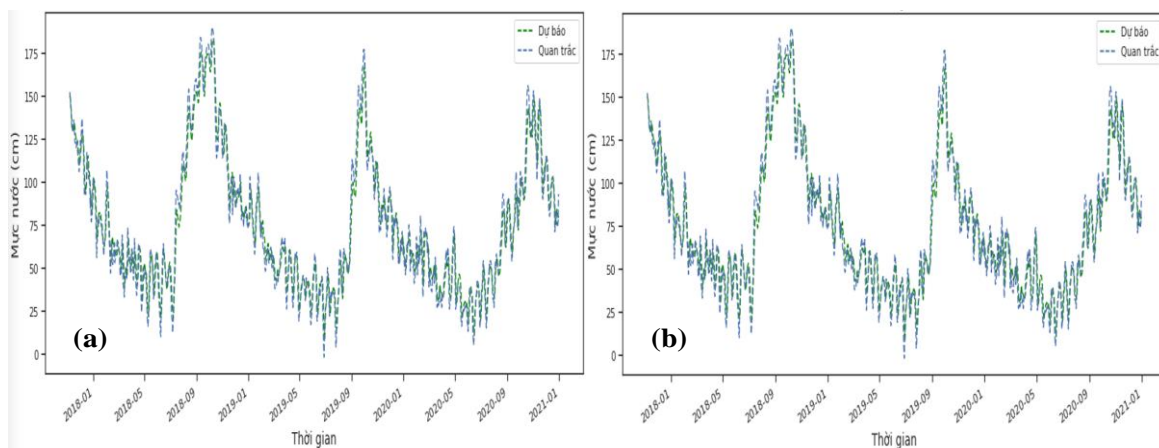
**Hình 7.** Kết quả dự báo của hàm kernel Sigmoid trong mô hình với số liệu mực nước thấp nhất ngày thực đo trong giai đoạn kiểm tra từ 06/11/2017 tới 31/12/2020.

### 3.3. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình SVR với chuỗi dữ liệu mực nước trung bình ngày trạm thủy văn Cao Lãnh

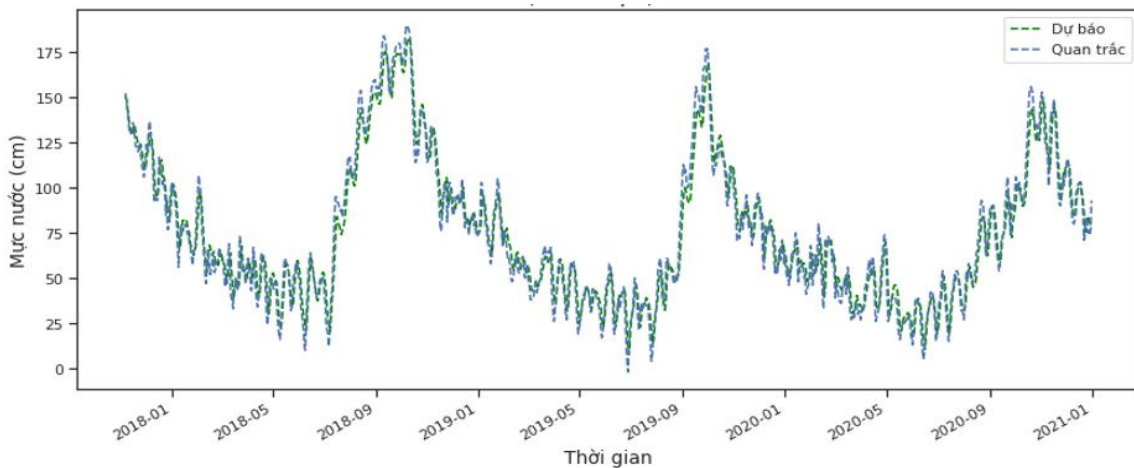
Kết quả ở Bảng 2 cho thấy chỉ số NSE có sự tương đồng rất cao giữa giá trị thực đo và tính toán, ở chuỗi dữ liệu Htb này thì chỉ số NSE của hàm rbf cho kết quả 0,958 thấp hơn hàm tuyến tính và sigmoid đều có chỉ số NSE = 0,959. Như vậy ở chuỗi dữ liệu mực nước trung bình ngày thì hàm sigmoid cho sai số thấp hơn và có sự tương đồng lớn hơn hàm rbf và tuyến tính. Kết quả so sánh giữa mực nước dự báo và quan trắc trong giai đoạn kiểm tra 06/11/2017 tới 31/12/2020 được trình bày trong Hình 8–10.



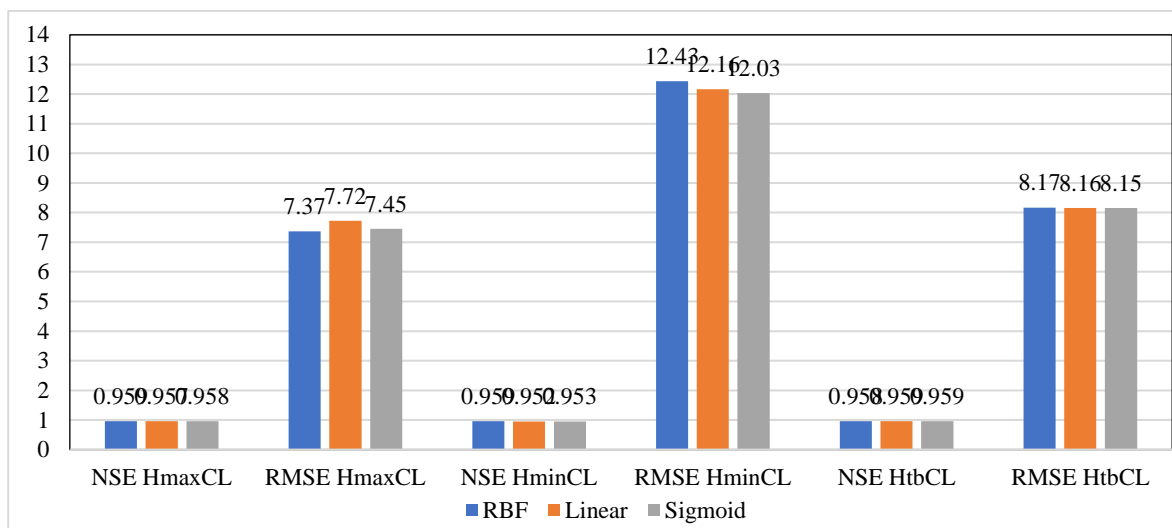
**Hình 8.** Chuỗi dữ liệu mực nước trung bình ngày tại trạm Cao Lãnh từ năm 2000–2020.



**Hình 9.** Kết quả dự báo với số liệu mực nước trung bình ngày thực đo trong giai đoạn kiểm tra từ 06/11/2017 tới 31/12/2020 sử dụng: (a) hàm kernel RBF và (b) hàm tuyến tính.



**Hình 10.** Kết quả dự báo của hàm kernel Sigmoid trong mô hình với số liệu mực nước trung bình ngày thực đo trong giai đoạn kiểm tra từ 06/11/2017 tới 31/12/2020.



**Hình 11.** Sai số các hàm kernel trong mô hình SVR giữa các chuỗi dữ liệu đầu vào.

Chỉ số sai số NSE cho ta thấy dữ liệu đầu vào bất kể nào cũng như ba hàm kernel RBF, Linear, Sigmoid đều cho sai số NSE đều lớn hơn 0,95, khẳng định sự tương đồng cao giữa dữ liệu thực đo với tính toán của mô hình SVR.

Với chuỗi dữ liệu đầu vào là mực nước cao nhất ngày: sai số RMSE khá tốt ở cả ba hàm kernel trong mô hình SVR và có độ chênh lệch không đáng kể. Nhưng với hàm kernel RBF thì cho sai số thấp nhất với RMSE = 7,37.

Còn đối với chuỗi dữ liệu đầu vào là mực nước trung bình và thấp nhất ngày thì hàm kernel Sigmoid lại cho sai số tốt hơn hàm kernel Rbf và Linear.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã bước đầu thử nghiệm thành công giữa các hàm kernel Rbf, Linear, Sigmoid trong mô hình SVR dự báo mực nước trạm thủy văn Cao Lãnh tỉnh Đồng Tháp. Ba trường hợp tính toán là dự báo mực nước cao nhất, trung bình và thấp nhất ngày với các hàm kernel khác nhau. Kết quả cho thấy, với dữ liệu đầu vào là HmaxCL thì hàm kernel Rbf cho kết quả có độ chính xác khá cao, với dữ liệu đầu vào là HtbCL và HminCL thì hàm kernel Rbf lại cho sai số không tốt bằng hàm kernel Sigmoid. Như vậy việc lựa chọn dữ liệu đầu vào và hàm kernel trong mô hình là rất quan trọng quyết định hiệu quả của việc dự báo của mô hình SVR. Dựa trên những phân tích và kết quả tính toán, chúng tôi đề xuất sử dụng dữ liệu mực nước ngày lớn nhất để làm dữ liệu đầu vào cho mô hình SVR với hàm kernel Rbf. Ngoài ra còn một số hạn chế của nghiên cứu này là các tác giả chưa đưa hết được các hàm kernel vào sử dụng để so sánh và đánh giá các hàm kernel này trong mô hình SVR. Việc chạy các hàm kernel còn rất mất thời gian do năng lực tính toán của hệ thống máy tính của các tác giả có bộ vi xử lý chưa cao.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.G., L.X.H.; xử lý số liệu L.X.H.; thiết lập các mô hình: L.X.H.; N.T.G.; Viết bản thảo bài báo: L.X.H.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.G.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này có sự hỗ trợ về mặt dữ liệu và phương pháp luận từ đề tài mã số NĐT.58.RU/19 do Bộ Khoa học và Công nghệ tài trợ. Bài báo được sự góp ý, chỉnh sửa bởi TS. Lê Vũ Việt Phong.

**Lời cam đoan:** Các tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của các tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây.

#### Tài liệu tham khảo

1. Elsafi, S.H. Artificial Neural Networks (ANNs) for flood forecasting at Dongola Station in the River Nile, Sudan. *Alexandria Eng. J.* 2014, 53(3), 655–662.

2. VanderKwaak, J.E.; Loague, K. Hydrologic–Response simulations for the R–5 catchment with a comprehensive physics–based model. *Water Resour. Res.* **2001**, *37(4)*, 999–1013.
3. Nayak, P.C.; Sudheer, K.P.; Rangan, D.M.; Ramasastri, K.S. Short–term flood forecasting with a neurofuzzy model. *Water Resour. Res.* **2005**, *41(4)*, W04004.
4. Mosavi, A.; Ozturk, P. Flood Prediction Using Machine Learning, Literature Review. *Water* **2018**, 1–40.
5. Jain, S.K.; Das, A.; Srivastava, D.K. Application of ANN for Reservoir Inflow Prediction and Operation. *J. Water Resour. Plan. Manag.* **1999**, *125(5)*, 263–271.
6. Maier, H.R.; Dandy, G.C. The Use of Artificial Neural Networks for the Prediction of Water Quality Parameters. *Water Resour. Res.* **1996**, *32(4)*, 1013–1022.
7. Mosavi, A.; Rabczuk, T.; Varkonyi–Koczy, A.R. Reviewing the Novel Machine Learning Tools for Materials Design. International Conference on Global Research and Education: Recent Advances in Technology Research and Education, **2018**, 50–58.
8. Asefa, T.; Kemblowski, M.; McKee, M.; Khalil, A. Multi–time scale stream flow predictions: The support vector machines approach. *J. Hydrol.* **2006**, *318(1–4)*, 7–16.
9. Londhe, S.; Gavaskar, S. Stream Flow Forecasting using Least Square Support Vector Regression, *Soft Comput. Civ. Eng.* **2018**, *2(2)*, 56–88.
10. Adnan, R.M.; Yuan, X.; Kisi, O.; Adnan, M.; Mehmood, A. Stream Flow Forecasting of Poorly Gauged Mountainous Watershed by Least Square Support Vector Machine, Fuzzy Genetic Algorithm and M5 Model Tree Using Climatic Data from Nearby Station. *Water Resour. Manag.* **2018**, *32(14)*, 4469–4486.
11. Maity, R.; Bhagwat, R.; Bhatnagar, A. Potential of support vector regression for prediction of monthly streamflow using endogenous property. *Hydrol. Process.* **2010**, *24(7)*, 917–923.
12. Rafidah, A.; Suhaila, Y. Modeling River Stream Flow Using Support Vector Machine. *Appl. Mech. Mater.* **2013**, *315*, 602–605.
13. Lin, J.; Cheng, C.; Chau, K. Using support vector machines for long–term discharge prediction Using support vector machines for long–term discharge prediction. *Hydrol. Sci. J.* **2006**, *51(4)*, 599–612.
14. Guo, J.; Zhou, J.; Qin, H.; Zou, Q.; Li, Q. Monthly streamflow forecasting based on improved support vector machine model. *Expert Syst. Appl.* **2011**, *38(10)*, 13073–13081.
15. Vapnik, V.N. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer, New York, 1995.
16. Vapnik, V.N. An overview of statistical learning theory. *IEEE Trans. Neural Networks* **1999**, *10(5)*, 988–999.
17. Londhe, S.N.; Gavaskar, S. Stream Flow Forecasting Using Least Square Support Vector Regression. *J. Soft Comput. Civ. Eng.* **2018**, *2-2*, 56–88.
18. Guyon, I.; Elisseeff, A. An Introduction to Variable and Feature Selection. *J. Mach. Learn. Res.* **2003**, *3(3)*, 1157–1182.
19. Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V. River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part Ia Discussion of Principles. *J. Hydrol.* **1970**, *10*, 282–290.
20. [https://en.wikipedia.org/wiki/Root-mean-square\\_deviation](https://en.wikipedia.org/wiki/Root-mean-square_deviation).
21. Lam, Đ.H.; Phương, N.H.; Đạt, N.Đ.; Giang, N.T. Xây dựng mô hình MIKE 11 phục vụ công tác dự báo thủy văn và xâm nhập mặn tỉnh Bến Tre. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *740(1)*, 38–49.
22. Hải, C.H.; Phương, T.A.; Như, T.Q.; Cường, T.M. Áp dụng mô hình trí tuệ nhân tạo vào dự báo lưu lượng đến hồ lưu vực sông Ba. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *705*, 22–33.



## **Building support vector regression models for water level forecasting at Cao Lanh station, Dong Thap province**

**Le Xuan Hoa<sup>1</sup>, Nguyen Tien Giang<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> Dong Thap Province Hydrometeorological Station; lexuanhoakttv@gmail.com

<sup>2</sup> Faculty of Hydrology, Meteorology & Oceanography, VNU University of Science, VNU–HN; giangnt@vnu.edu.vn

**Abstract:** In this study, 3 kernel functions Rbf, Linear (Linear) and Sigmoid are used in the Support Vector Regression (SVR) model and 3 input data series are: daily highest water level (HmaxCL); lowest water level of the day (HminCL); average daily water level (HtbCL) in the past to forecast the future water level at Cao Lanh station, Dong Thap province. The results show that all kernel functions in the SVR models give forecast results with high accuracy as shown by the NSE index  $> 0.95$  for all different input data. Among the 3 input data series and tested kernel functions, the predicted HmaxCL data series has smallest error. This result is a good reference for building a machine learning model for forecasting future water levels for Cao Lanh Hydrological Station, Dong Thap province.

**Keywords:** SVR; RBF; Linear; Sigmoid; Machine Learning; Cao Lanh.

Bài báo khoa học

## Xây dựng mô hình máy học LSTM (Long Short-Term Memory) phục vụ công tác dự báo mặn tại trạm đo mặn Đại Ngãi

Nguyễn Công Thành<sup>1</sup>, Nguyễn Tiền Giang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Đai Khí tượng Thủy văn khu vực Nam bộ, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Bộ Tài nguyên và Môi trường; jackynguyen.kttv@gmail.com

<sup>2</sup> Khoa Khí tượng, Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, ĐHQGHN; giangnt@vnu.edu.vn.

\*Tác giả liên hệ: giangnt@vnu.edu.vn; Tel.: +84–912800896

Ban Biên tập nhận bài: 8/8/2022; Ngày phản biện xong: 23/8/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Hiện nay, máy học hay học máy ML (*Machine Learning*) có lẽ đã không còn quá xa lạ và đã được ứng dụng vào rất nhiều lĩnh vực trong đời sống. Dự báo khí tượng thủy văn cũng không nằm ngoài sự đổi mới với việc xây dựng và ứng dụng các mô hình máy học này. Bài báo trình bày kết quả của nghiên cứu xây dựng một mô hình mạng bộ nhớ dài-ngắn LSTM (*Long Short-Term Memory*), là một dạng đặc biệt của mạng nơ-ron hồi quy (*RNN-Recurrent Neural Network*) để dự báo độ mặn tại trạm đo mặn Đại Ngãi, tỉnh Sóc Trăng. Số liệu sử dụng cho mô hình là số liệu quan trắc độ mặn cao nhất trong ngày tại trạm từ năm 2002–2021. Kết quả thiết lập mô hình cho các chỉ số đánh giá RMSE và NSE tốt ( $NSE > 0,9$  với hầu hết các trường hợp), làm tiền đề cho việc ứng dụng mô hình máy học vào công tác dự báo xâm nhập mặn tại các trạm trên khu vực đồng bằng Sông Cửu Long.

**Từ khóa:** Dự báo xâm nhập mặn; Mô hình LSTM; Đại Ngãi; Sóc Trăng; Machine Learning.

### 1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, dưới tác động của việc xây dựng các đập thủy điện ở thượng nguồn sông Mekong, chế độ dòng chảy trong hệ thống sông suối, kênh rạch tại Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đã có những thay đổi. Đồng thời, nước biển dâng do biến đổi khí hậu (BĐKH) tại các cửa sông Cửu Long, sự hạ thấp đáy sông do khai thác cát, sụt giảm bùn cát đến do hồ chứa thượng nguồn trữ lại, gia tăng sử dụng nước nội vùng đã và đang làm xâm nhập mặn ngày càng lấn sâu vào trong nội đồng ảnh hưởng lớn đến đời sống sinh hoạt và sản xuất của người dân [1–3]. Các nghiên cứu dự báo xâm nhập mặn gần đây thường sử dụng bộ mô hình Mike [4–6] và đã thu được kết quả tương đối tốt. Tuy nhiên cần yêu cầu dữ liệu đầu vào nhiều (đặc biệt là việc cập nhật dữ liệu địa hình, mặt cắt, công trình thủy lợi), cần kiểm định hiệu chỉnh và năng lực tính toán lớn.

Với sự phát triển của các thuật toán máy học trong thời gian gần đây đã cung cấp thêm hướng tiếp cận mới với việc xử lý và dự báo chuỗi thời gian đạt được độ chính xác cao. Có thể kể đến mô hình máy học truyền thống như ARIMA cho kết quả tương đối tốt với việc dự báo độ mặn [7]. Một phương pháp tiếp cận mới hơn nhằm khắc phục những nhược điểm của các mô hình máy học truyền thống là các mạng học sâu (*Deep Learning*). Điển hình là mạng nơ-ron hồi quy (*RNN-Recurrent Neural Network*) và phiên bản mở rộng của nó là

mạng bộ nhớ dài-ngắn LSTM (*Long Short-Term Memory*) được sử dụng nhiều trong các bài toán dự báo chuỗi thời gian [8] với kết quả khả quan nhờ có khả năng ghi nhớ các bước và không bị ảnh hưởng nhiều khi số liệu đầu vào bị thiếu.

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu xây dựng mạng bộ nhớ dài-ngắn LSTM để dự báo độ mặn tại trạm đo mặn Đại Ngãi, tỉnh Sóc Trăng dựa trên chuỗi số liệu quan trắc quá khứ tại trạm, từ đó đánh giá khả năng ứng dụng mô hình vào trong thực tế.

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

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Tỉnh Sóc Trăng nằm ở cửa Nam sông Hậu, chịu ảnh hưởng của khí hậu nhiệt đới gió mùa, có mùa khô và mùa mưa rõ rệt hằng năm. Địa hình tỉnh Sóc Trăng thấp trũng với hệ thống kênh rạch chằng chịt, nhiều vùng đất nhiễm mặn, phèn. Đây là địa phương cuối nguồn sông Hậu cũng là vùng cửa sông Mekong, do đó tác động của BĐKH và nước biển dâng có nguy cơ cao hơn so với các tỉnh bên trong nội đồng. Nếu mực nước biển dâng cao thêm 1 m thì có khoảng 43,7% diện tích tỉnh Sóc Trăng sẽ bị ngập mặn và tác động đến hơn 450.000 người, tương đương 35% tổng dân số của tỉnh Sóc Trăng. Trong các ngành kinh tế, nông nghiệp sẽ là đối tượng bị ảnh hưởng nhiều nhất, trong đó dịch bệnh trên cây trồng do tác động của quá trình xâm nhập mặn thời gian qua là biểu hiện rõ nhất và nghiêm trọng đến ngành sản xuất nông nghiệp tỉnh Sóc Trăng. Ngành sản xuất nông nghiệp chiếm vị trí quan trọng hàng đầu trong nền kinh tế tỉnh Sóc Trăng. Hiện nay tỷ lệ dân số nông nghiệp và lao động nông nghiệp của tỉnh khá lớn (chiếm khoảng 72% dân số và 63% lao động) là nguồn thu nhập chính của trên 70% dân số của tỉnh [9]. Trạm đo mặn Đại Ngãi nằm ở cửa Nam sông Hậu thuộc thị trấn Đại Ngãi, huyện Long Phú, tỉnh Sóc Trăng (Hình 1).



**Hình 1.** Bản đồ hành chính tỉnh Sóc Trăng và vị trí nghiên cứu.

## 2.2. Số liệu sử dụng

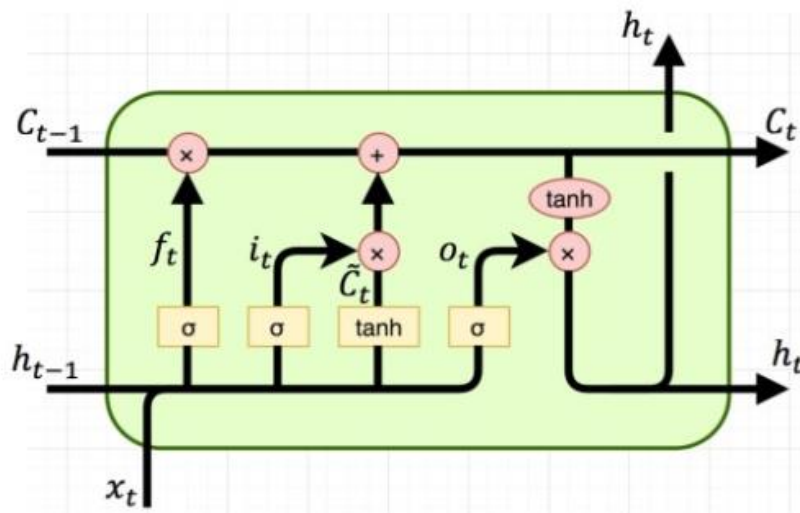
Trong bài báo này, số liệu được sử dụng là số liệu quan trắc độ mặn cao nhất (g/l) trong ngày tại trạm đo Đại Ngãi qua 20 năm (2002–2021) trong các tháng mùa kiệt. Các giá trị quan trắc không liên tục nên đã được tách mẫu theo mùa (tháng 1 – tháng 6) hàng năm. Số liệu được loại bỏ các giá trị NaN, sau đó được chuẩn hóa dạng Logarit. Toàn bộ dữ liệu được chia làm 3 phần: 70% cho tập huấn luyện (*training*), 15% cho tập kiểm chứng (*validation*) và 15% cho tập kiểm tra (*testing*).

## 2.3. Mạng LSTM

Mạng LSTM được cải tiến từ mạng thần kinh hồi quy (*RNN–Recurrent Neural Network*) nhằm khắc phục những nhược điểm về phụ thuộc xa (*Long-term Dependency*) của mạng RNN truyền thống. LSTM được giới thiệu bởi [10] và càng ngày càng được cải tiến [11].

Về mặt lý thuyết, RNN có khả năng xử lý các phụ thuộc theo thời gian (*temporal dependencies*) bằng việc sử dụng bộ nhớ ngắn hạn và dựa trên việc xác định (luyện) các tham số một cách hiệu quả [12]. Tuy nhiên, đáng tiếc trong thực tế RNN không thể giải quyết các phụ thuộc theo thời gian khi chuỗi số liệu có các phụ thuộc xa (*long-term dependencies*). Vấn đề này đã được nghiên cứu khá sâu bởi [13–14]. Trong các công bố của mình, họ đã tìm được những lý do để giải thích tại sao RNN không thể học được một cách hiệu quả.

LSTM có cấu trúc dạng chuỗi các nút mạng như RNN, nhưng cấu trúc bên trong thì lại phức tạp hơn, bao gồm 4 tầng tương tác với nhau (Hình 2). Điểm đặc biệt của mạng LSTM nằm ở trạng thái ô C (*cell state*), nơi lưu trữ các trọng số dài hạn của mô hình. Các thông số trạng thái ô C, trạng thái ẩn h (*hidden state*), đầu vào tại thời điểm t  $x_t$  được đưa vào nút mạng. Sau khi được xử lý qua các hàm kích hoạt sigmoid  $\sigma$ , tanh và các phép toán véc-tơ, kết quả đầu ra là trạng thái ô C và trạng thái ẩn h tại thời điểm t sẽ được sử dụng cho nút mạng t+1 tiếp theo [15].



Hình 2. Cấu trúc một nút mạng trong mạng LSTM.

## 2.4. Các chỉ số đánh giá chất lượng mô hình

Để đánh giá hiệu quả dự báo độ mặn của mô hình tại trạm Đại Ngãi, nghiên cứu này sử dụng các chỉ số đánh giá: NSE (*Nash–Sutcliffe efficiency coefficient*) [16] và lỗi trung bình bình phương gốc (*RMSE–Root Mean Squared Error*) [17]. Chỉ số NSE biểu thị mức độ liên kết giữa các giá trị thực đo và mô phỏng, dao động từ  $-\infty$  đến 1, giá trị càng gần 1 thì độ chính xác của mô hình càng cao [18]. Chỉ số RMSE thể hiện sự chênh lệch giữa các giá trị

dự đoán và giá trị quan trắc được, giá trị này càng thấp thì mô hình càng tốt (dao động từ 0 đến  $\infty$ ).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (F_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{O} - O_i)^2} \tag{1}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - O_i)^2} \tag{2}$$

Trong đó  $F_i$  là giá trị dự báo;  $O_i$  là giá trị quan trắc;  $\bar{O}$  là trung bình giá trị quan trắc;  $n$  là số mẫu.

### 2.5. Thiết lập mô hình

Trong nghiên cứu này, mô hình LSTM sử dụng tập dữ liệu đơn biến là độ mặn cao nhất quan trắc được trong ngày tại trạm Đại Ngãi được chia thành các tập đầu vào 4 ngày, 8 ngày và 15 ngày và đánh giá cho 1 ngày tiếp theo. Sau đây sẽ gọi là W4, W8 và W15.

Các siêu tham số đóng một vai trò quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả của mô hình. Vì vậy trong nghiên cứu này, các siêu tham số được tối ưu hóa bằng phương pháp tìm kiếm ngẫu nhiên (*Random Search*). Vì các mẫu dữ liệu quan trắc còn hạn chế nên để tránh tình trạng *overfitting* (dữ liệu dự báo quá khớp với dữ liệu quan trắc), trong nghiên cứu này đã đưa thêm bước kiểm định chéo *k-fold* (*k-fold cross validation*) [19] nhằm chia tập *training* thành *k* phần, ở mỗi lần *train*, mô hình sẽ chọn 1 phần làm dữ liệu đánh giá (*validation*) và *k-1* phần còn lại làm dữ liệu huấn luyện (*training*). Kết quả cuối cùng sẽ là trung bình cộng kết quả đánh giá của *k* lần *train*, giúp cho việc đánh giá mô hình khách quan hơn. Phương pháp này có sẵn trong thư viện *scikit-learn* là *RandomSearchCV*. Các siêu tham số sau khi được tối ưu được trình bày như Bảng 1.

**Bảng 1.** Các siêu tham số tối ưu cho các mô hình.

Siêu tham số	Phạm vi	Mô hình W4	Mô hình W8	Mô hình W15
Số đơn vị ẩn LSTM	[16, 32, 64, 128, 256]	32	256	64
Dropout	[0.1, 0.2, 0.25, 0.5]	0,2	0,5	0,2
Learning_rate	[0.01, 0.005, 0.001]	0,005	0,005	0,005
Batch_size	[16, 32, 64, 128, 256]	16	128	16
Epochs	[100, 200]	200	200	200

### 3. Kết quả và thảo luận

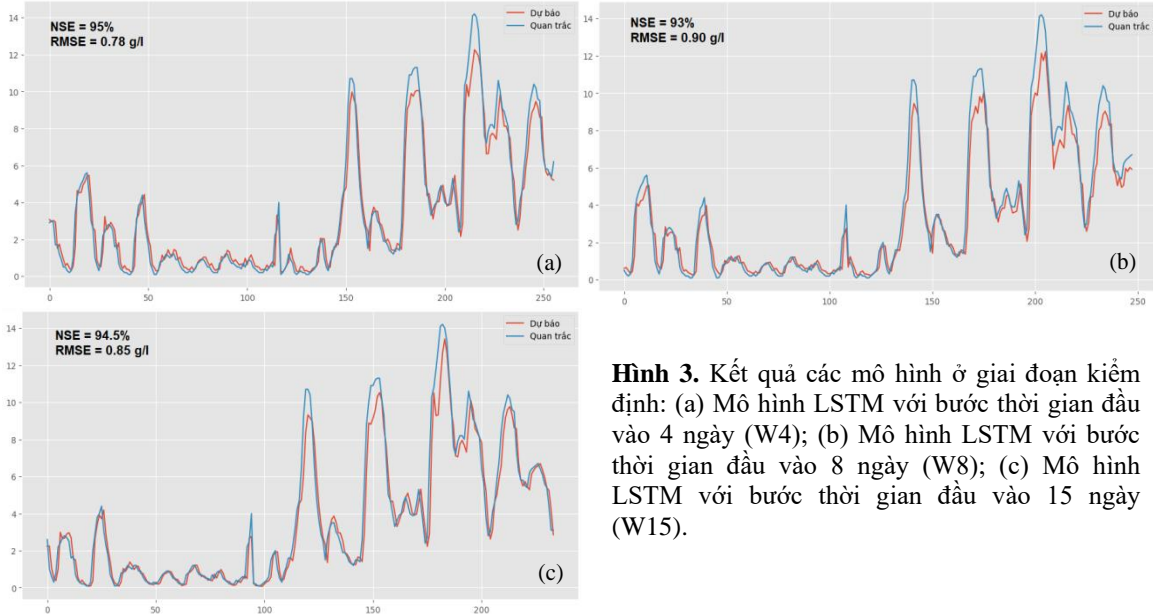
Các mô hình LSTM với các bước thời gian đầu vào khác nhau được huấn luyện với bộ siêu tham số đã được lựa chọn, ta sẽ tiến hành kiểm định các mô hình với chuỗi số liệu trong tập kiểm định và kiểm tra. Các chỉ số đánh giá mô hình được liệt kê như Bảng 2.

**Bảng 2.** Các chỉ số đánh giá các mô hình LSTM.

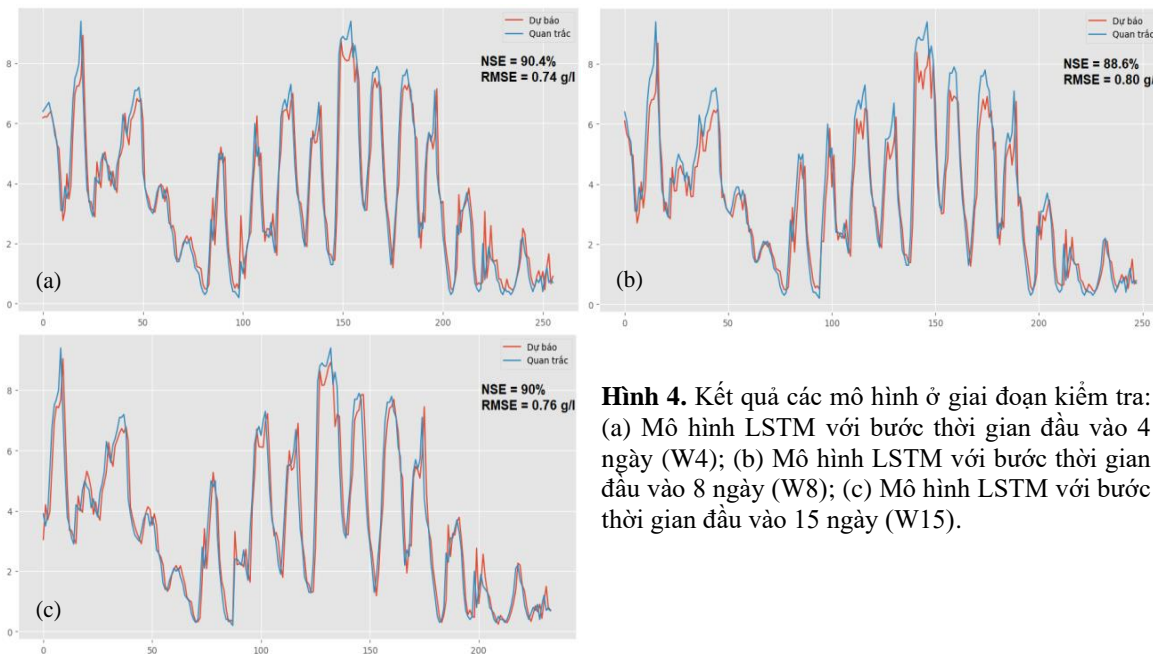
	Mô hình W4		Mô hình W8		Mô hình W15	
	Kiểm định	Kiểm tra	Kiểm định	Kiểm tra	Kiểm định	Kiểm tra
NSE	95%	90,4%	93%	88,6%	94,5%	90%
RMSE	0,78g/l	0,74g/l	0,90g/l	0,80g/l	0,85g/l	0,76g/l

Từ các chỉ số đánh giá NSE và RMSE cho thấy các mô hình cho kết quả tương đồng rất cao giữa giá trị quan trắc và giá trị dự báo. Trong đó với bước thời gian đầu vào là 4 ngày cho kết quả tốt nhất (NSE lần lượt là 0,95 đối với tập số liệu kiểm định và 0,90 đối với tập kiểm tra; sai số bình phương RMSE cũng nhỏ nhất). Tuy nhiên mô hình đã không dự đoán đúng các giá trị cực trị (Hình 5). Với chuỗi số liệu đầu vào có sự biến đổi phức tạp như độ mặn, việc chuẩn hóa bằng phương pháp logarit hóa có lẽ là không đủ và cần thêm bước xử lý hoặc các phương pháp chuẩn hóa khác.

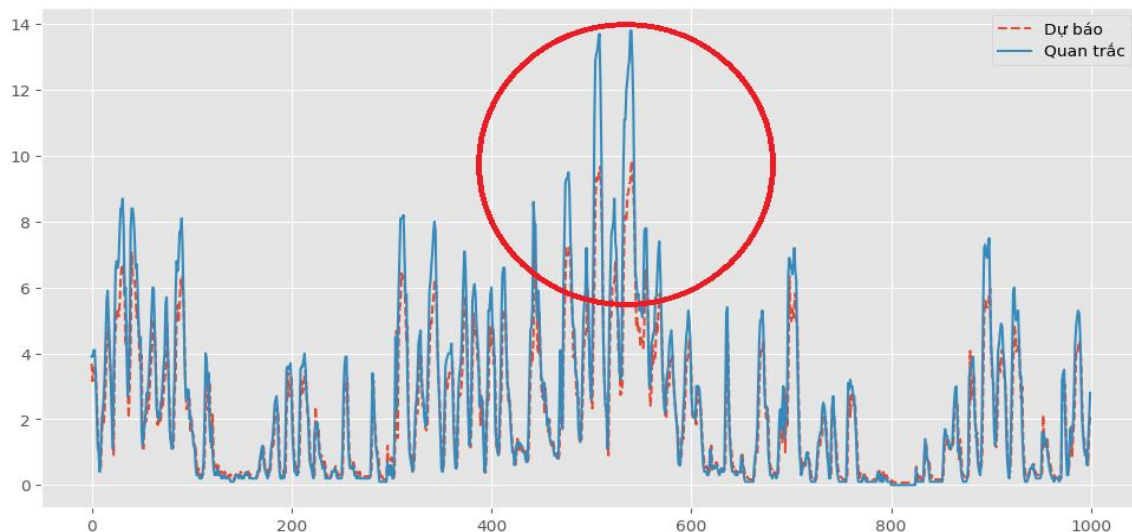




**Hình 3.** Kết quả các mô hình ở giai đoạn kiểm định: (a) Mô hình LSTM với bước thời gian đầu vào 4 ngày (W4); (b) Mô hình LSTM với bước thời gian đầu vào 8 ngày (W8); (c) Mô hình LSTM với bước thời gian đầu vào 15 ngày (W15).



**Hình 4.** Kết quả các mô hình ở giai đoạn kiểm tra: (a) Mô hình LSTM với bước thời gian đầu vào 4 ngày (W4); (b) Mô hình LSTM với bước thời gian đầu vào 8 ngày (W8); (c) Mô hình LSTM với bước thời gian đầu vào 15 ngày (W15).



**Hình 5.** Mô hình không bắt được các giá trị cực trị trong quá trình huấn luyện.

#### 4. Kết luận

Qua các kết quả thu được từ nghiên cứu, bước đầu cho thấy mô hình LSTM có thể xử lý và dự báo chuỗi số liệu khá tốt. Bên cạnh đó, việc dự báo các giá trị cực trị của mô hình còn hạn chế và kết quả khi thay đổi bước thời gian đầu vào cũng có thay đổi. Như vậy, việc chuẩn hóa số liệu ban đầu và lựa chọn bước thời gian làm đầu vào có thể cải thiện hiệu suất của mô hình. Bên cạnh đó, độ mặn cũng bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố khác như gió, nhiệt độ, chế độ triều, dòng chảy... nhưng nghiên cứu mới chỉ sử dụng một biến đầu vào là độ mặn cao nhất theo ngày. Trong tương lai, nghiên cứu này cần bổ sung thêm các phương pháp xử lý số liệu đầu vào và thử nghiệm mô hình với chuỗi số liệu đa biến để đạt được hiệu quả dự báo tốt hơn.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.G., N.C.T.; Xử lý số liệu: N.C.T.; Thiết lập mô hình: N.C.T.; N.T.G.; Viết bản thảo bài báo: N.C.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.G.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này có sự hỗ trợ về mặt dữ liệu và phương pháp luận từ đề tài mã số ĐTĐL.CN-50/18 do Bộ Khoa học và Công nghệ tài trợ. Bài báo được sự góp ý, vi chỉnh bởi TS. Nguyễn Hữu Duy.

**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. Nguyen, H.T.; Gupta, A.D. Assessment of water resources and salinity intrusion in the Mekong Delta. *Water Int.* **2001**, *26(1)*, 86–95. <https://doi.org/10.1080/02508060108686889>.
2. Tran, A.D.; Hoang, L.P.; Bui, M.D.; Rutschmann, P. Simulating future flows and salinity intrusion using combined one-and two-dimensional hydrodynamic modelling—the case of Hau River, Vietnamese Mekong Delta. *Water* **2018**, *10(7)*, 897. <https://doi.org/10.3390/w10070897>.
3. Doan, V.B.; Kantoush, S.A.; Saber, M.; Mai, N.P.; Maskey, S.; Phong, D.T.; Sumi, T. Long-term alterations of flow regimes of the Mekong River and adaptation strategies for the Vietnamese Mekong Delta. *J. Hydrol. Reg. Stud.* **2020**, *32*, 100742. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100742>.
4. Lam, Đ.H.; Phương, N.H.; Đạt, N.Đ.; Giang, N.T. Xây dựng mô hình MIKE 11 phục vụ công tác dự báo thủy văn và xâm nhập mặn tỉnh Bến Tre. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *740(1)*, 38–49.
5. Trí, Đ.Q. Ứng dụng mô hình MIKE 11 mô phỏng và tính toán xâm nhập mặn cho khu vực Nam Bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, *671*, 39–46.
6. Dũng, Đ.V.; Phương, T.Đ.; Oanh, L.T.; Công, T.T. Khai thác mô hình MIKE 11 trong dự báo, cảnh báo xâm nhập mặn vùng Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *693*, 48–58.
7. Thái, T.T.; Liem, N.D.; Luu, P.T.; Yen, N.T.M.; Yen, T.T.H.; Quang, N.X.; Tan, L.V.; Hoai, P.N. Performance evaluation of Auto-Regressive Integrated Moving Average models for forecasting saltwater intrusion into Mekong river estuaries of Vietnam. *VN J. Earth Sci.* **2021**, 1–15. <https://doi.org/10.15625/2615-9783/16440>.
8. Thái, T.H.; Khiêm, M.V.; Thủy, N.B.; Hà, B.M.; Ngọc, P.K. Xây dựng mô hình mạng nơ-ron hồi quy dự báo độ cao sóng có nghĩa tại trạm Cồn Cỏ, Quảng Trị, Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *EME4*, 73–84.
9. Điệp, N.T.H.; Huội, D.; Cần, N.T. Đánh giá tác động của xâm nhập mặn do biến đổi khí hậu trên hiện trạng canh tác lúa tại tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2017**, 137–143. Doi:10.22144/ctu.jsci.2017.062.

10. Hochreiter, S.; Schmidhuber, J. Long Short–Term Memory. *Neural Comput.* **1997**, *9*(8), 1735–1780.
11. Yao, K.; Cohn, T.; Vylomova, K.; Duh, K.; Dyer, C. Depth–Gated Recurrent Neural Networks, 2015, pp.1–5. <https://arxiv.org/pdf/1508.03790v2.pdf>.
12. Koutnik, J.; Greff, K.; Gomez, F.; Schmidhuber, J. A Clockwork RNN, 2014. <https://arxiv.org/pdf/1402.3511v1.pdf>.
13. Hochreiter. Untersuchungen zu dynamischen neuronalen Netzen, 1991. <https://people.idsia.ch/~juergen/SeppHochreiter1991ThesisAdvisorSchmidhuber.pdf>.
14. Bengio, S.; Bengio, Y. Taking on the curse of dimensionality in joint distributions using neural networks. *IEEE Trans. Neural Networks*, Special issue on Data Mining and Knowledge Discovery, **2000**, *11*(3), 550–557.
15. <https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>
16. Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V. River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part Ia Discussion of Principles. *J. Hydrol.* **1970**, *10*, 282–290.
17. [https://en.wikipedia.org/wiki/Root-mean-square\\_deviation](https://en.wikipedia.org/wiki/Root-mean-square_deviation).
18. Kato, T.; Goda, H. Formation and maintenance processes of a stationary band-shaped heavy rainfall observed in Niigata on 4 August 1998. *J. Meteor. Soc. Japan* **2001**, *79*, 899–294.
19. Cross-validation (statistics). [https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-validation\\_\(statistics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-validation_(statistics)).

## **Building LSTM (Long Short–Term Memory) machine learning model for water salinity forecasting in Dai Ngai**

**Nguyen Cong Thanh<sup>1</sup>, Nguyen Tien Giang<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> Southern Regional Hydrometeorological Center; jackynguyen.kttv@gmail.com

<sup>2</sup> Faculty of Hydrology, Meteorology & Oceanography, VNU University of Science, VNU–HN; giangnt@vnu.edu.vn

**Abstract:** Today, machine learning (ML) has been applied to many fields and hydrometeorological forecasting is one of them. This paper presents the results of building a LSTM (Long Short–Term Memory) model, which is a special form of recurrent neural network (RNN–Recurrent Neural Network) to predict salinity concentration at Dai Ngai gauging station, Soc Trang province. The input data series used is the observed highest daily salinity from 2002–2021. Results obtained during model validation and testing give very good values of RMSE and NSE (NSE > 0.9 in almost all setups), which shows the great potential of using LSTM models for water salinity forecasting in the Mekong Delta.

**Keywords:** Salinity forecasting; LSTM; Dai Ngai; Soc Trang; Machine Learning.

# Table of content

- 1 Kich, T.V.; Cuong, T.M.; Nhung, T.T.; Phuong, T.A.; Son, D.H. Building a high-resolution evaporation map for Soc Trang Province from Sentinel remote sensing images. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740(1)*, 1–10.
- 11 Tuan, P.H.Q.; Tung, N.B.; Tri, D.Q.; Anh, T.N.; Nhat, N.V. Assessment of inundation impacts in Tien Giang Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740(1)*, 11–23.
- 24 Nhu, N.N.; Nghia, T.N.; Giang, P.V.; Vu, T.D.Q.; Lien, N.T.; My, L.H.; Lan, N.T. Evaluation of the global flood monitoring system GFMS for Ha Tinh city. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740(1)* 24–37.
- 38 Lam, D.H.; Phuong, N.H.; Dat, N.D.; Giang, N.T. A setup of MIKE 11 model for hydrological and saline intrusion forecast in Ben Tre Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740(1)*, 38–49.
- 50 Anh, N.K.N.; Anh, T.N.; Tai, N.Q.; Nhat, L.M. Applying the MIKE 11 model to estimate surface runoff for the licensing of water resource exploitation in the Ca River basin. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740(1)*, 50–61.
- 62 Kha, D.D.; Anh, T.N.; Nhu, N.Y.; Nga, P.T.T.; Nhung, D.T.H.; Minh, N.H. Simulating river discharge for data-scarce or ungauged River basins: An introduction. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740(1)*, 62–76.
- 77 Nam, N.A.; Anh, T.N.; Chien, D.D.; Tai, N.Q. Assessing the impact of climate change on flooding in Tra Khuc river basin, Quang Ngai Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740(1)*, 77–86.
- 87 Hoa, L.X.; Giang, N.T. Building support vector regression models for water level forecasting at Cao Lanh station, Dong Thap Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740(1)*, 87–97.
- 98 Thanh, N.C.; Giang, N.T. Building LSTM (Long Short-Term Memory) machine learning model for water salinity forecasting in Dai Ngai. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740(1)*, 98–104.