

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.

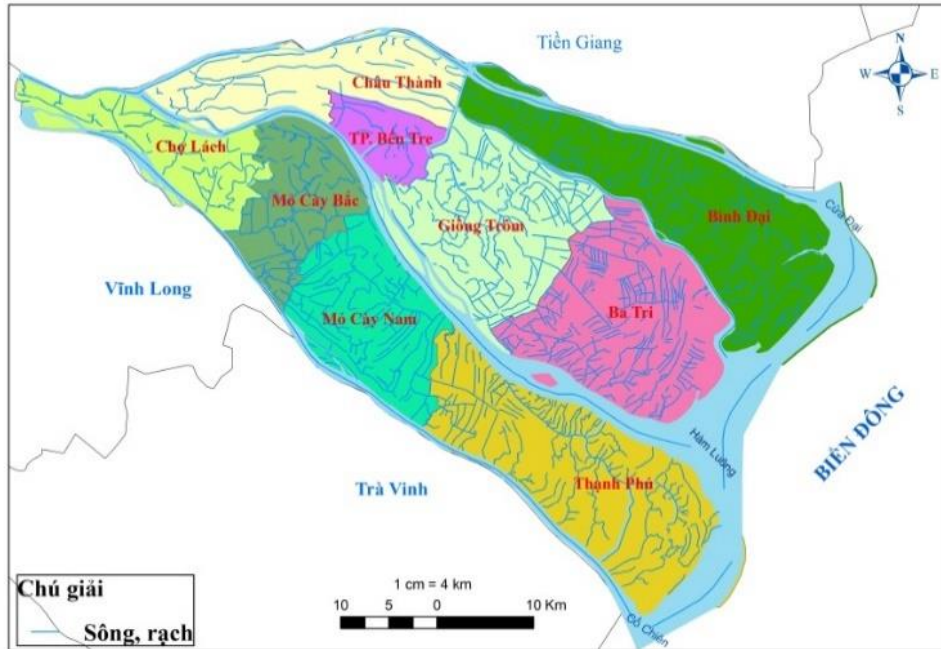
## 2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

### 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.

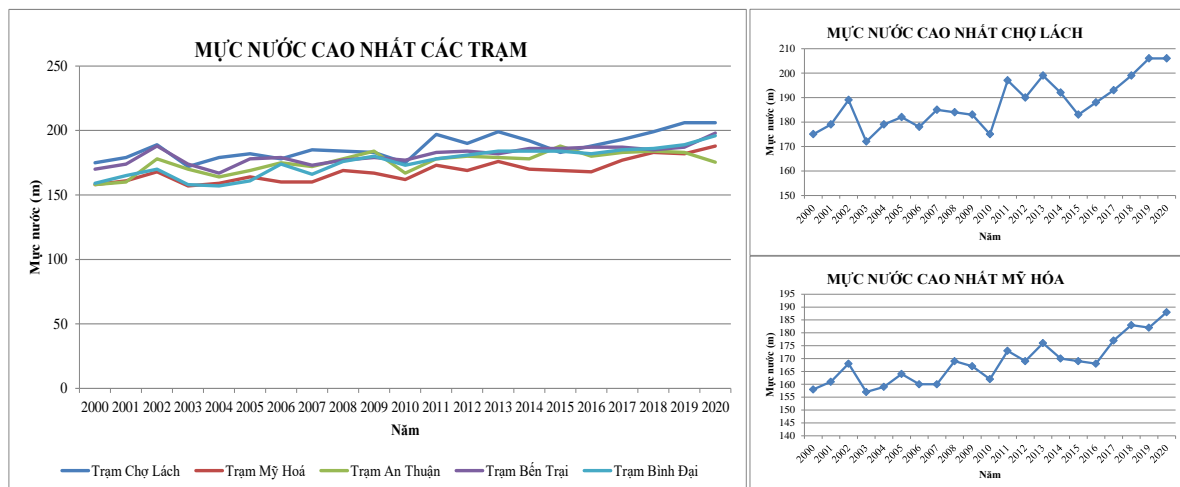
Bốn con sông này cùng với hệ thống kênh rạch chằng chịt là nguồn cung cấp nước trực tiếp cho toàn bộ hoạt động sản xuất và sinh hoạt của tỉnh, tạo điều kiện thuận lợi cho Bến Tre trong phát triển kinh tế vườn, nông nghiệp, đồng thời cũng tạo cho Bến Tre nhiều khó khăn do chịu ảnh hưởng nặng nề của thiên 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.

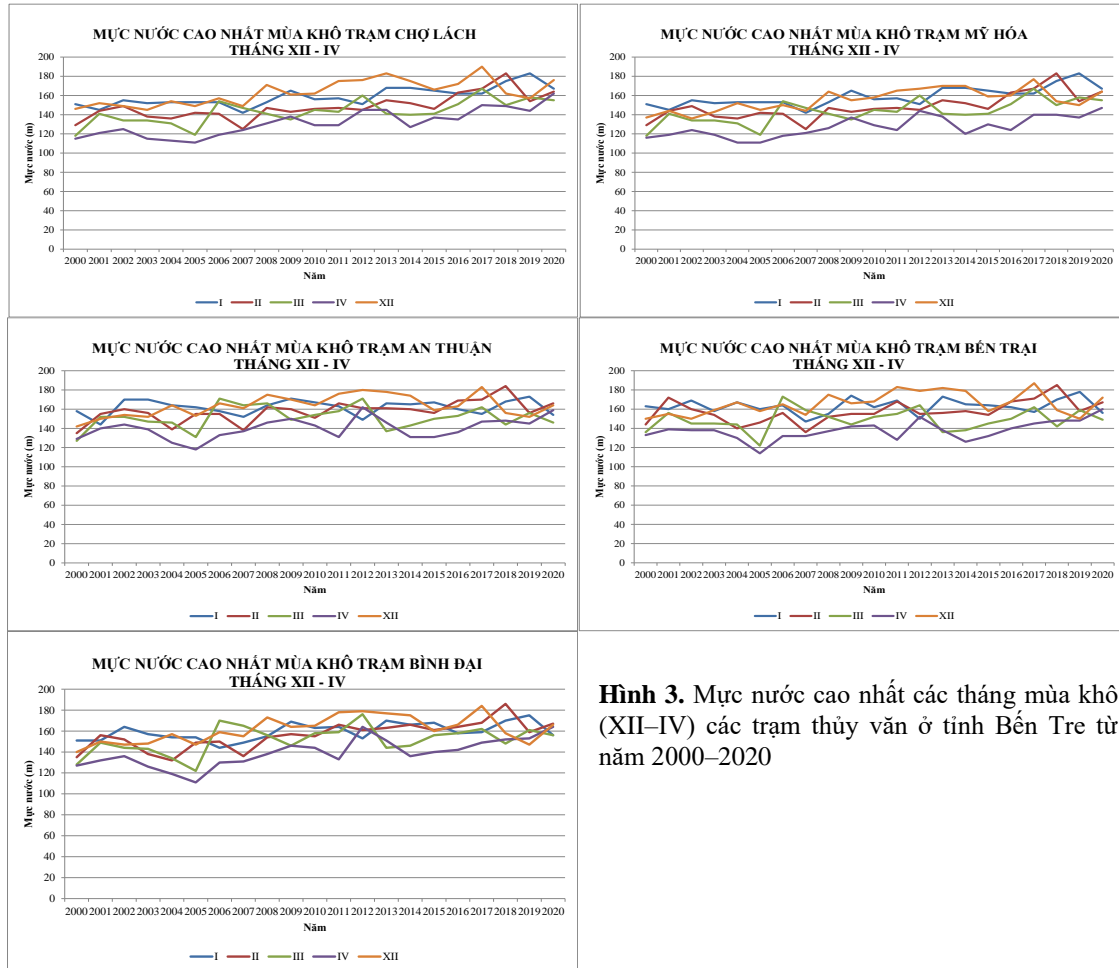
Tỉnh Bến Tre chịu ảnh hưởng chủ yếu của chế độ bán nhật triều không đều (hầu hết các ngày trong năm đều có 2 lần nước lên và 2 lần nước xuống, hàng tháng có 2 chu kỳ triều cường và hai chu kỳ triều kém). Ngoài 4 nhánh sông lớn, còn hệ thống kênh rạch nối các sông lớn với nhau thành mạng lưới chằng chịt 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.

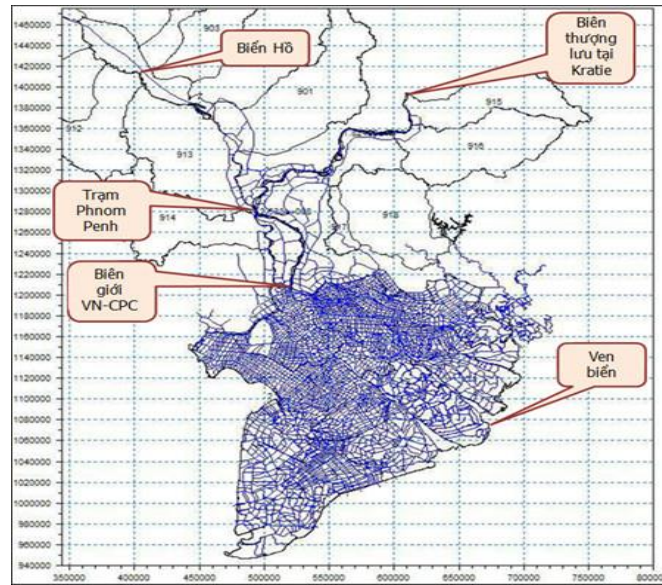
Sơ đồ tính được tham khảo từ các nghiên cứu trước đây và gần đây như: nghiên cứu của Hàn Quốc (được thực hiện bởi SIWRP sử dụng mô hình VRSAP1) với phần mở rộng phía tây đến bán đảo Cà Mau, mô hình thủy lực ISIS xây dựng cho vùng Châu thổ sông Mê Công, trong bộ công cụ Hỗ trợ ra quyết định DFS của Ủy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

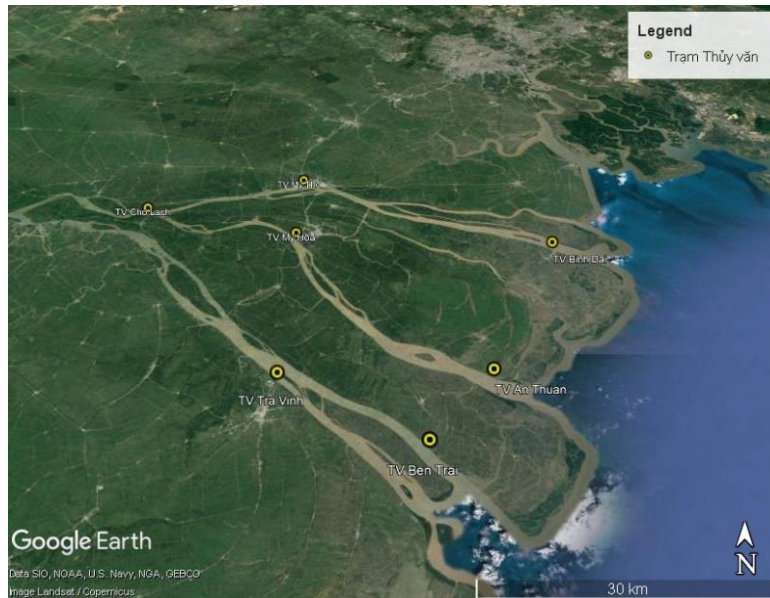
### 2.4. Các chỉ số đánh giá

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.

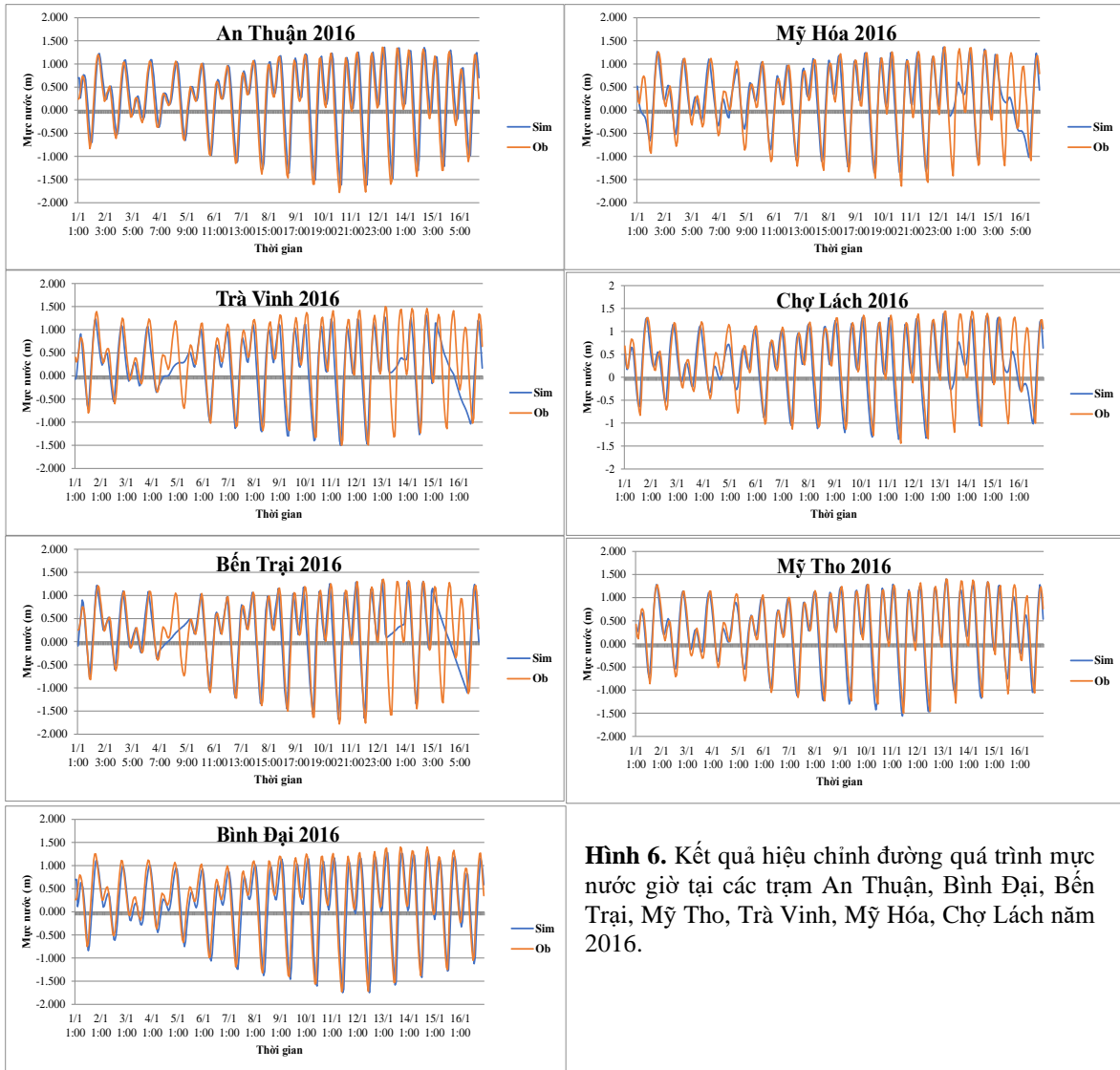
Tiêu chí đánh giá chất lượng cho chỉ số NSE có thể chia ra như sau:  $NSE \leq 0,5$  là xếp loại không đạt;  $0,5 \leq NSE \leq 0,65$  là xếp loại đạt yêu cầu;  $0,65 \leq NSE \leq 0,75$  là xếp loại tốt;  $0,75 \leq NSE \leq 1$  là xếp loại rất tốt [2].

### 3. Kết quả và thảo luận

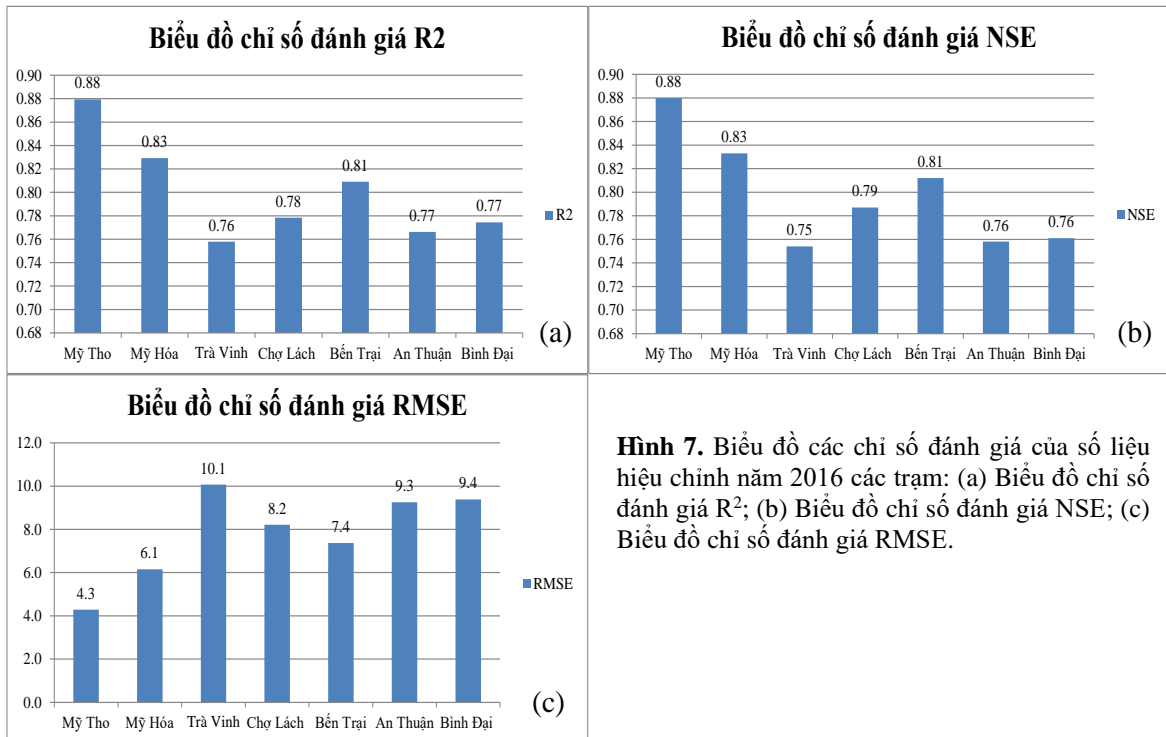
#### 3.1. Đánh giá chất lượng kết quả hiệu chỉnh của mô hình năm 2016

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).

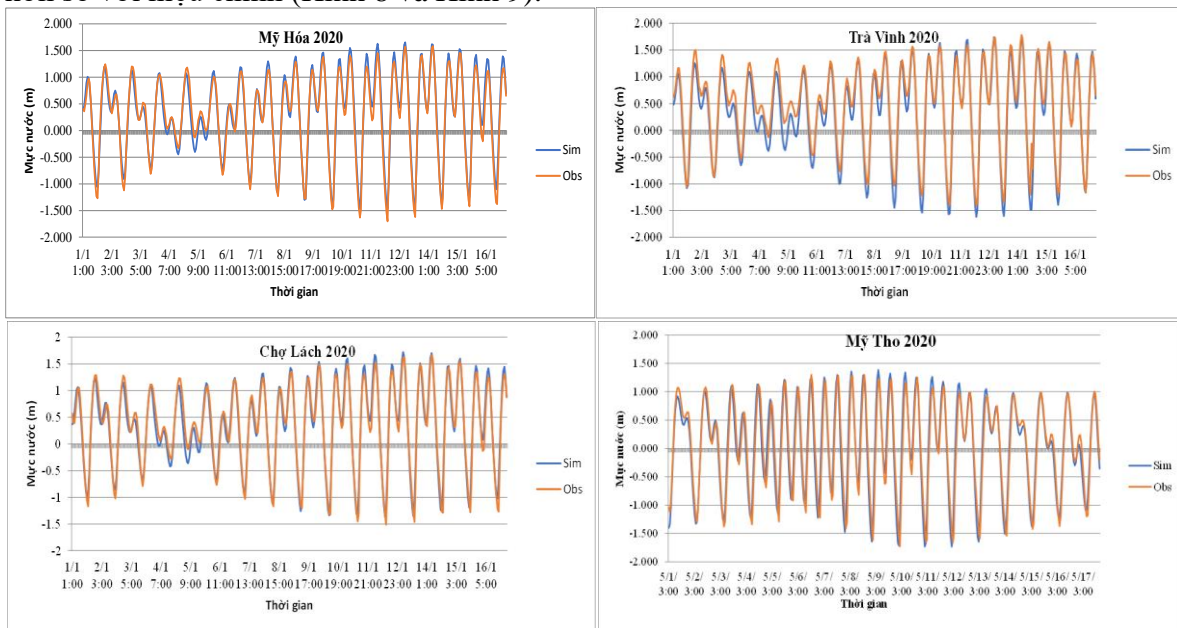
Mặc khác, nếu so sánh giữa đánh giá trực quan với hệ số  $R^2$ , thì cho kết quả khác, ví dụ với trạm Trà Vinh và Bến Trại, mặc dù sai số khá lớn ở các ngày 4–5/01 và 15–16/01 (Hình 6 và Hình 7a) nhưng vẫn cho kết quả hệ số  $R^2$  khá cao, đạt mức tốt.

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).

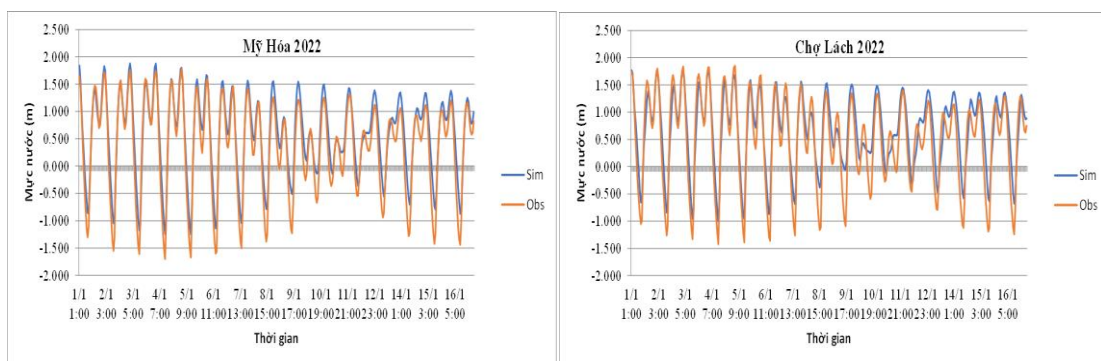
Còn với chỉ số RMSE, giá trị đánh giá đạt được từ các trạm dao động từ 4,3 đến 10,1 (Hình 7c), đây cũng là giá trị cho mức đánh giá mô phỏng của mô hình ở các trạm ở mức tốt. Mô phỏng tốt ở các trạm vùng giữa của tỉnh (Mỹ hóa, Mỹ Tho) kém hơn ở các trạm ven biển và thượng nguồn của tỉnh (Chợ Lách).

### 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).



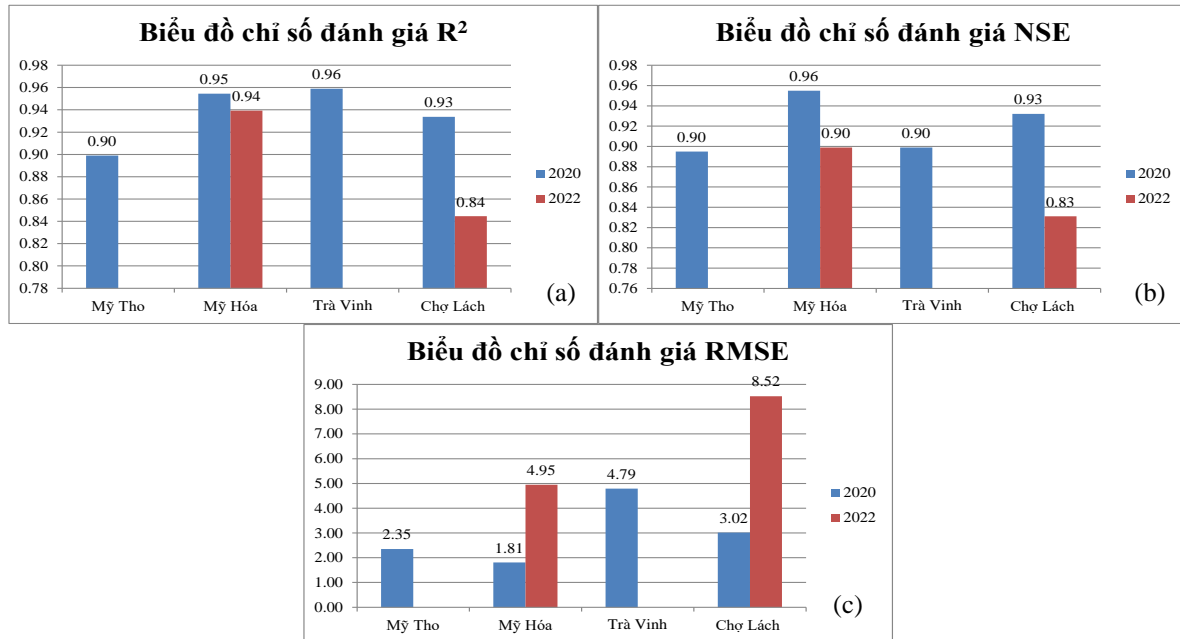
**Hình 8.** Kết quả kiểm định đường quá trình mực nước giờ tại các trạm Trà Vinh, Mỹ Hóa, Mỹ Tho, Chợ Lách năm 2020.



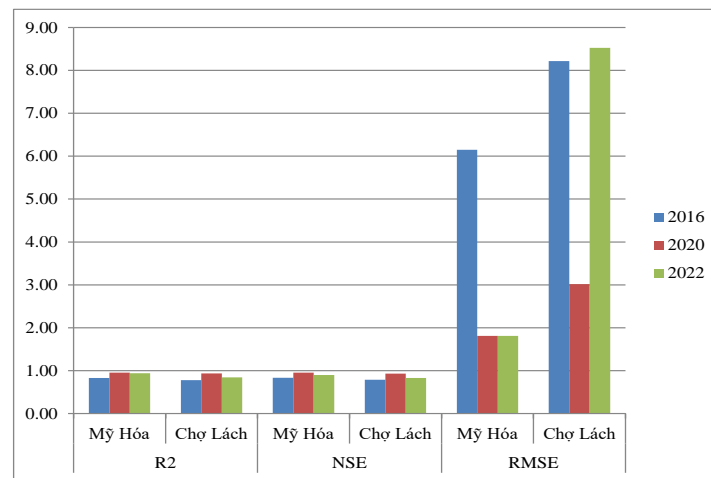
**Hình 9.** Kết quả kiểm định đường quá trình mực nước giờ tại các trạm Mỹ Hóa, Chợ Lách năm 2022.



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.