TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Xây dựng Phương án dự báo xâm nhập mặn trên các sông chính của tỉnh Bến Tre

Đặng Hoàng Lam[1*], Nguyễn Phước Định[2], Nguyễn Văn Sỹ[3]

[1] Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Bến Tre, Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Nam Bộ, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Bộ Tài Nguyên và Môi trường; danghoanglam91@gmail.com
[2] Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Bến Tre, Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Nam Bộ, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Bộ Tài Nguyên và Môi trường; dinhnguyenphuoc1976@gmail.com
[3] Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Bến Tre, Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Nam Bộ, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Bộ Tài Nguyên và Môi trường; nguyenvansy.cl@gmail.com

*Tác giả liên hệ: danghoanglam91@gmail.com; Tel.: +84–988562602

Ban Biên tập nhận bài: 12/1/2023; Ngày phản biện xong: 22/2/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2023

Tóm tắt: Hằng năm vào mùa khô, các sông trên địa bàn tỉnh Bến Tre thường bị xâm nhập mặn, gây ảnh hưởng đến sản xuất, dân sinh từ tháng 02–04, độ mặn $4^0/_{00}$ xâm nhập cách các cửa sông trung bình 40–50 km. Do đó, cần có dự báo về tình hình xâm nhập mặn của tỉnh nhằm giúp địa phương có kế hoạch sản xuất phù hợp. Trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp kết hợp mô hình MIKE 11, MIKE 21 và hiển thị kết quả bản đồ trên nền ArcGis. Kết quả nghiên cứu cho thấy: đối với thời hạn dự báo 10 ngày, phương án dự báo có độ đủ tin cậy trên cả ba sông chính; đối với dự báo thời hạn tháng, phương án có độ tin cậy rất tốt trên sông Cổ Chiên, đủ độ tin cậy đối với sông Hàm Luông và không đủ độ tin cậy đối với sông Cửa Đại; đối với dự báo thời hạn mùa, phương án có độ tin cậy rất tốt đối với sông Cổ Chiên, đủ độ tin cậy đối với sông Hàm Luông và không đủ độ tin cậy đối với sông Cửa Đại. Phương án dự báo đã được Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Bến Tre áp dụng vào nghiệp vụ dự báo cho mùa khô năm 2022 và những năm tiếp theo, nhất là dự báo thời hạn 10 ngày và thời hạn tháng.

Từ khóa: Mô hình Mike 11; Mike 21; AcrgGis; Xâm nhập mặn; Bến Tre.

1. Đặt vấn đề

Xâm nhập mặn là vấn đề rất được quan tâm không chỉ trong nước mà còn ở ngoài nước, nhất là các năm gần đây. Để tính toán về mặn, các nhà nghiên cứu đã sử dụng nhiều phương pháp để tính toán và mô phỏng phỏng quá trình xâm nhập mặn. Phương pháp chủ yếu là phương pháp mô hình hóa hay các mô đun thủy lực kết hợp với mô đun tính toán lan truyền và vận chuyển chất. Trong vài năm gần đây, trên thế giới có một số nghiên cứu về tác động của Biến đổi khí hậu cũng đã được công bố sử dụng mô hình MIKE 21 để tiến hành đánh giá tác động của Biến đổi khí hậu đến độ mặn trên sông Mê Công. [1] đã công bố các nghiên cứu sử dụng mô hình trí tuệ nhân tạo để dự báo biến động độ mặn do Biến đổi khí hậu gây ra trên vùng cửa sông Savannah.

[2] sử dụng mô hình mô phỏng Spatio-thời gian độ mặn theo mô hình số MIKE 21 dưới các điều kiện thủy văn khác nhau. [3] nghiên cứu sự biến đổi độ mặn và báo cáo rằng mô hình có khả năng mô phỏng độ mặn bề mặt biển một cách thích hợp. [4] đã dự đoán sự thay đổi độ mặn theo mùa bằng một mô hình mô phỏng hồ chứa năng động (DYRESM) ở

Hồ Dexter Pit. Kết quả chỉ ra mối liên hệ phù hợp giữa giá trị mô phỏng muối và quan trắc. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng của xâm nhập mặn ở cửa sông Châu Giang và sử dụng bền vững tài nguyên nước tại sông Châu Giang [5] đã đánh giá tầm quan trọng của nước thượng nguồn, hồ chứa đến quá trình đẩy lùi mặn trong thời kỳ khô hạn năm 2006–2007 và 2007–2008.

Một số nhà khoa học Việt Nam điển hình là cố Giáo sư Nguyễn Như Khuê, Nguyễn Ân Niên, Nguyễn Tất Đắc, Nguyễn Văn Điệp, Nguyễn Minh Sơn, Trần Văn Phúc, Nguyễn Hữu Nhân [6–8]... đã xây dựng thành công các mô hình thuỷ lực mạng sông kết hợp tính toán xâm nhập triều mặn như VRSAP, EKSAL, FWQ87, SAL, SALMOD, HYDROGIS... Các báo cáo trên chủ yếu tập trung xây dựng thuật toán tính toán quá trình xâm nhập mặn thích hợp với điều kiện địa hình, KTTV ở đồng bằng sông Cửu Long Kết quả được nhìn nhận khả quan và bước đầu một số mô hình đã thử nghiệm ứng dụng dự báo xâm nhập mặn. Trong khuôn khổ Chương trình Bảo vệ Môi trường và Phòng tránh thiên tai, KC - 08, [9] đã sử dụng các mô hình: SAL, VRSAP, KOD và HydroGis để dự báo xâm nhập mặn cho một số sông chính theo các thời đoạn dài hạn (6 tháng), ngắn hạn (nửa tháng) và hàng ngày cho khu vực đồng bằng sông Cửu Long.

Ở ĐBSCL 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, các nghiên cứu [10–20] xây dựng mô hình Mike 11 để tính toán mực nước và xâm nhập mặn cho ĐBSCL. Từ đó, xây dựng các kịch bản dự báo cho 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, có một nghiên cứu [11] sử dụng mô hình Mike 11 để dự báo xâm nhập mặn của Khu vực Nam 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 khu vực Nam Bộ.

Và ở tỉnh Bến Tre cũng đã có nghiên cứu dự tính xâm nhập mặn trên địa bàn tỉnh theo kịch bản Biến đổi Khí hậu đến 2050 bằng Mô hình Mike 11 [21]; nghiên cứu dự báo xâm nhập mặn vào các cửa sông của Bến Tre năm 2021 bằng mô hình ARIMA kết hợp với GIS, nhưng chỉ dự báo đến 7 ngày và chỉ dự báo ở khu vực gần cửa sông [22].

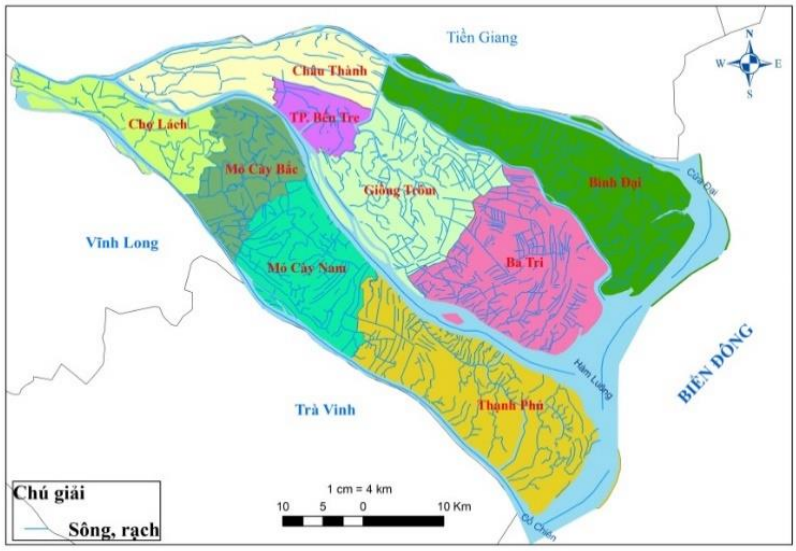
Đã có nhiều đề tài và nghiên cứu đã ứng dụng nhiều mô hình vào để tính toán mặn, nghiên cứu xâm nhập mặn trong và ngoài nước nói chung, cũng như ĐBSCL và tỉnh Bến Tre nói riêng mà Đài KTTV tỉnh Bến Tre thì chủ yếu sử dụng phương pháp thống kê, tham khảo kết quả dự báo của Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Nam Bộ kết hợp với kinh nghiệm của dự báo viên là chính để đưa ra dự báo xâm nhập mặn cho tỉnh. Do đó, cần thiết phải xây dựng phương án dự báo xâm nhập mặn ứng dụng mô hình vào dự báo nghiệp vụ của Đài KTTV tỉnh Bến Tre. Mục đích nghiên cứu xây dựng được phương án dự báo xâm nhập mặn trên các sông chính của tỉnh Bến Tre với độ tin cậy ổn định cho từng thời hạn dự báo 10 ngày, hạn tháng và hạn mùa, nhằm phục vụ cho công tác dự báo của các dự báo viên về xâm nhập mặn ở địa bàn tỉnh Bến Tre bằng mô hình Mike 11 kết hợp Mike 21 và ArcGis.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Bến Tre là một tỉnh có chiều dài bờ biển 65 km, nằm ở phía Đông Nam Đồng bằng sông Cửu Long. Bốn con sông chính đổ ra các bốn cửa: Hàm Luông, Cổ Chiên, Cửa Đại, Ba Lai (có cống đập Ba lai năm 2002) 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... Hằng năm vào mùa khô, các sông trên địa

bàn tỉnh thường xuyên bị nhiễm mặn, và thường ảnh hưởng đến dân sinh và sản xuất từ tháng 02, độ mặn $4^0/_{00}$ xâm nhập cách cửa sông trung bình 40–50 km.

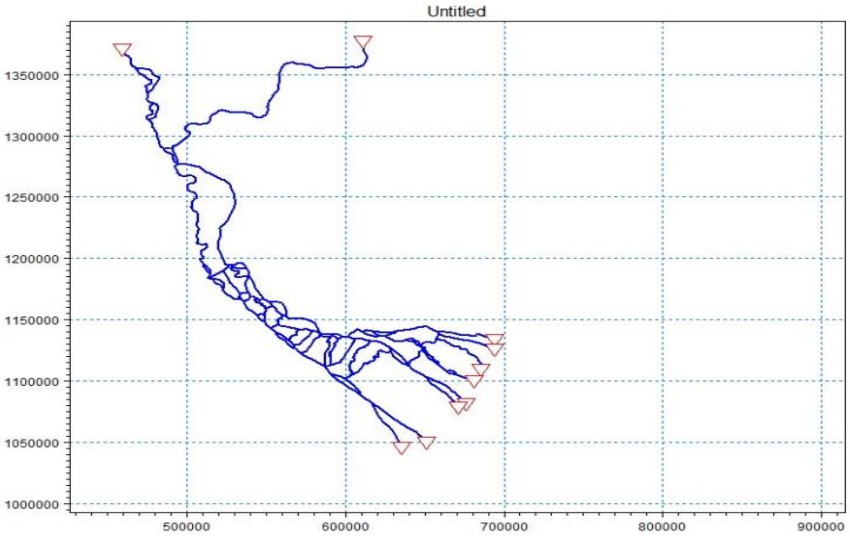


Hình 1. Bản đồ tỉnh Bến Tre.

Mùa khô 2019–2020, xâm nhập mặn diễn biến phức tạp, gay gắt, khóc liệt và vượt mức xâm nhập mặn lịch sử mùa khô 2015–2016. Do góp phần của công tác dự báo, cảnh báo sớm xâm nhập mặn chính xác, kết hợp với kinh nghiệm phòng chống xâm nhập mặn của địa phương nên mặc dù mùa khô 2019–2020 xâm nhập sớm hơn, sâu hơn, kéo dài hơn nhưng thiệt hại về nông nghiệp thấp hơn so với mùa khô 2015–2016.

2.2. Thiết lập mô hình

Nghiên cứu đã tiến hành xây dựng bộ mô hình cho khu vực tỉnh Bến Tre với mạng sông được giản lược chỉ còn 47 sông, kênh chính từ Kratie tới các cửa sông ven biển với 1946 điểm nút nhằm phù hợp với số liệu tự cung cấp được nhiều nhất có thể từ Đài KTTV tỉnh Bến Tre (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ hóa mô hình MIKE 11.

Phạm vi của mô hình MIKE 11 trong nghiên này bao gồm: (1) Trên khu vực của Capuchia gồm: dòng chính Sông Mê Kông từ Kratie và Sông Tolesap; (2) Trên khu vực của

Việt Nam gồm các nhánh dòng chính sông Cửu Long: Sông Tiền, sông Hậu, Cổ Chiên, Cung Hầu, Hàm Luông, Cửa Đại, Cửa Tiểu, và các kênh cấp 1, cấp 2.

Biên trên: Mực nước đo được lúc 7 giờ sáng tại trạm Kratie và Prekdam.

Biên dưới: Biên dưới là giá trị thực đo tại các trạm thủy văn tại các cửa sông (do mô hình đã cắt mạng sông đến vị trí các trạm thủy văn gần biển nhất): Cửa Tiểu, Cửa Đại, Hàm Luông, Cổ Chiên, Cung Hầu, Định An, Trần Đề.

Biên mặn: Đối với các biên trên thì độ mặn bằng không; Đối với các biên mặn phía biển: Giá trị biên mặn tại các trạm biên cửa sông là hằng số, được tính bằng trung bình giá trị độ mặn cao nhất quan trắc được qua các năm. Giá trị đô mặn tại các biên của các cửa sông như bảng 2. Biên tại cửa sông Ba Lai là biên đóng.

Bảng 1. Thống kê biên trên và số liệu các trạm thủy văn dùng để tính toán triều cho các biên dưới.

TT	Trạm	Sông/Cửa Sông	Tài liệu sử dụng	Loại biên
1	Kratie	Mê Công	H	Biên trên
2	Prekdam	Biển Hồ	H	Biên trên
3	Bình Đại	Cửa Tiểu	H,S	Biên dưới
4	Bình Đại	Cửa Đại	H,S	Biên dưới
5	An Thuận	Hàm Luông	H,S	Biên dưới
6	Bến Trại	Cổ Chiên	H,S	Biên dưới
7	Bến Trại	Hậu	H,S	Biên dưới

Bảng 2. Giá trị độ mặn tại các trạm dùng làm biên mặn.

STT	Tên trạm	Giá trị độ mặn (mg/l)
1	Vàm Kênh (Cửa Tiểu)	23
2	Bình Đại (Cửa Đại)	23
3	An Thuận (Hàm Luông)	24
4	Bến Trại (Sông Cổ Chiên)	18
5	Sông Hậu	18

2.3. Dữ liệu sử dụng

Tài liệu mặt cắt sông kế thừa từ buổi tập huấn chuyển gia công nghệ về mô hình Mike 11 được tổ chức và tháng 09 năm 2021 tại thành phố Hồ Chí Minh do sự phối hợp giữa tổ chức GIZ, Viện Quy hoạch Thủy lợi Miền Nam thực hiện.

Số liệu mực nước từ tháng 01 đến tháng 06 các năm 2016, 2018, 2020 tại các trạm: An Thuận, Bình Đại, Bến Trại, Chợ Lách, Mỹ Hóa (được cung cấp từ Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Bến Tre), Mỹ Tho (Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Tiền Giang), Trà Vinh (Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Trà Vinh), Kratie và Prekdam (Trung tâm Khí tượng Thủy văn Quốc Gia).

Số liệu lưu lượng tại Mỹ Thuận năm 2016, 2018, 2020.

Số liệu độ mặn tại tất cả các trạm quan trắc trên địa bàn tỉnh Bến Tre các năm 2016, 2018, 2020 (được cung cấp từ Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Bến Tre). Số liệu được đo vào giờ lẻ trong ngày.

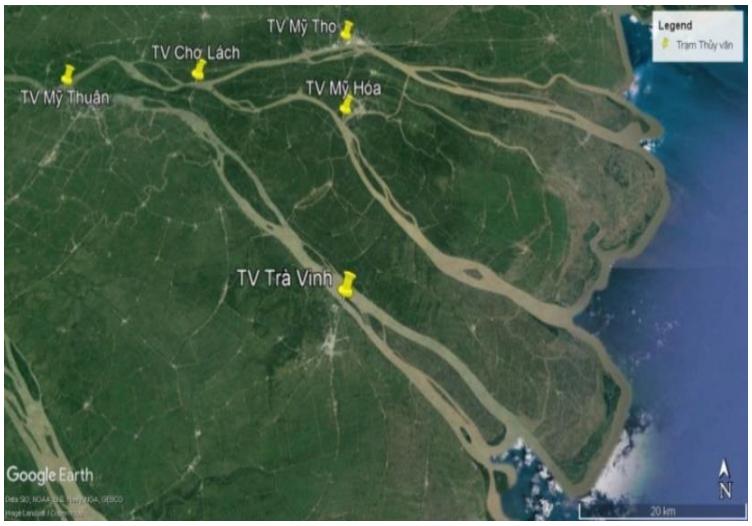
2.4. Hiệu chỉnh kiểm và kiểm định mô hình

2.4.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô đun MIKE 11 HD

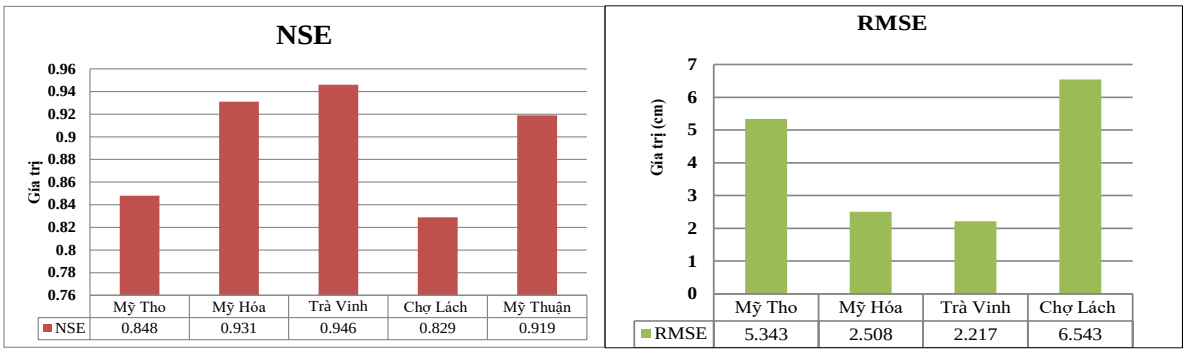
a) Hiệu chỉnh: Với trọng tâm chú ý vào khu vực tỉnh Bến Tre, mô hình được hiệu chỉnh từ tháng 1/2016–6/2016 tại trạm thủy văn ở khu vực tỉnh Bến Tre có số liệu đo đạc trong thời kỳ hiệu chỉnh như hình 3.

Mô hình đã hiệu chỉnh hệ số nhám Maning (n) tai 17 vị trí trên mạng thủy lực của mô hình. Với hệ số chung n = 0,018. Tại 17 vị trí hiệu chỉnh hệ số n dao động từ 0,003 đến 0,01.

Kết quả hiệu chỉnh mô đun MIKE 11 HD thể hiện ở hình 4 bởi 02 chỉ số số đánh giá: hệ số Nash (*Nash–Sutcliffe effciency*) (NSE), sai số bình phương trung bình RMSE (Root mean square error) để đánh giá mức độ phù hợp giữa số liệu tính toán của mô hình và số liệu thực đo [10, 23]. Phân tích, ta thấy được kết quả: 2,5 < RMSE < 6,5, 0,84 < NSE < 0,94. Với kết quả này cho ta thấy mức độ tính toán của mô hình ở mức rất tốt.

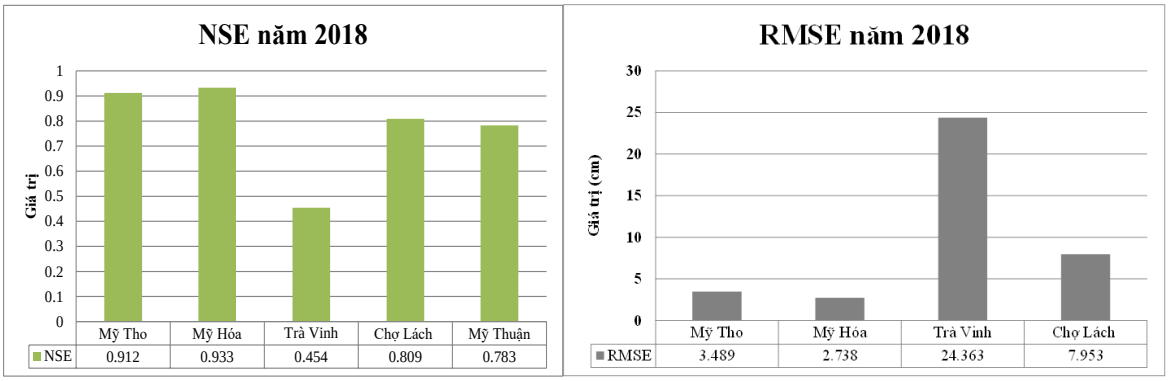


Hình 3. Bản đồ vị trí các trạm hiệu chỉnh và kiểm định mô đun HD.



Hình 4. Biểu đồ giá trị NSE, RMSE đối với năm hiệu chỉnh 2016 tại các trạm.

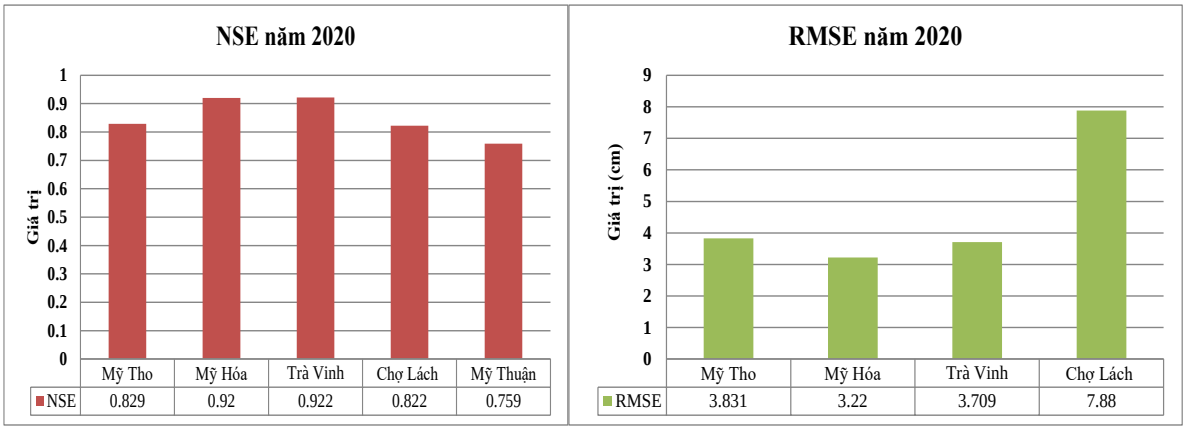
b) Kiểm định: Mô hình được hiệu chỉnh từ tháng 1/2018–6/2018 và từ tháng 1/2020–6/2020 tại trạm thủy văn ở khu vực tỉnh Bến Tre có số liệu đo đạc trong thời kỳ hiệu chỉnh như hình 3.



Hình 5. Biểu đồ giá trị NSE, RMSE đối với năm kiểm định 2018 tại các trạm.

Kết quả kiểm định mô đun MIKE 11 HD bằng số liệu năm 2018 thể hiện ở hình 5, bởi 02 chỉ số số đánh giá. Phân tích ta thấy được kết quả: 2,7 < RMSE < 7,9, 0,78 < NSE < 0,93. Riêng đối với trạm Trà vinh các chỉ số đánh giá chỉ ở mức đạt. Với kết quả này cho ta thấy mức độ tính toán mô phỏng của mô hình ở mức tốt đến rất tốt đối với các trạm còn lại. Tốt nhất là trạm Mỹ Hóa.

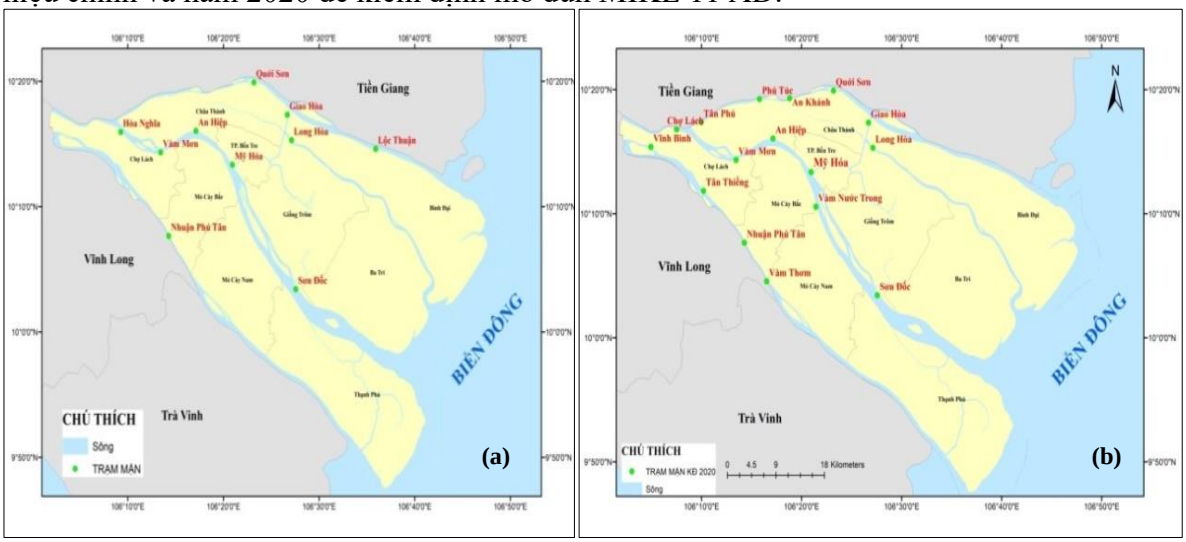
Kết quả kiểm định mô đun MIKE 11 HD bằng số liệu năm 2020 thể hiện ở hình 6, bởi 02 chỉ số số đánh giá. Phân tích ta thấy được kết quả: 3,2 < RMSE < 7,9; 0,83 < NSE < 0,92. Với kết quả này cho ta thấy mức độ tính toán mô phỏng của mô hình ở mức rất tốt đối với các trạm. Sử dụng bộ thông số được hiệu chỉnh bởi mô đun MIKE 11 HD nói trên, nghiên cứu tiến hành hiệu chỉnh và kiểm định mô đun MIKE 11 AD ở mục 2.4.2.



Hình 6. Biểu đồ giá trị NSE, RMSE đối với năm kiểm định 2020 tại các trạm.

2.4.2. Hiệu chỉnh và kiểm định mô đun MIKE 11 AD

Để đánh giá giá trị hiệu chỉnh và kiểm định, nghiên cứu đánh giá 02 tiêu chí sau: Chênh lệch giữa giá trị độ mặn tính toán và thực đo; Chênh lệch khoảng cách xâm nhập mặn $1^0/_{00}$ và $4^0/_{00}$ giữa tính toán và thực đo. Nghiên cứu dùng số liệu độ mặn năm 2016 để hiệu chỉnh và năm 2020 để kiểm định mô đun MIKE 11 AD.



Hình 7. Vị trí các trạm mặn để hiệu chỉnh 2016 (a) và các trạm mặn kiểm định 2020 (b).

a) Hiệu chỉnh: Để đánh giá kết quả giữa độ mặn tính toán so với đô mặn thực đo tại các trạm của mô hình, nghiên cứu chọn 10 trạm có vị trí thể hiện ở hình 7a. Trích xuất kết quả tính toán của mô hình mô phỏng xâm nhập mặn mùa khô năm 2016 cho ta được kết quả tính toán về độ mặn cao nhất tại các trạm và ranh mặn trên các sông để so sánh với số liệu thực đo như bảng 3 và bảng 4.

Bảng 3. So sánh độ mặn lớn nhất (Smax) tính toán và thực đo tại các trạm 2016.

STT	Tên trạm	Sông	Tính toán ($^0/_{00}$)	Thực đo ($^0/_{00}$)	ΔSmax ($^0/_{00}$)
1	Sơn Đốc	Hàm Luông	20,2	27,4	– 7,5
2	Mỹ Hóa	Hàm Luông	11,7	12,4	– 0,7
3	An Hiệp	Hàm Luông	8,8	9,9	–1,1
4	Vàm Mơn	Hàm Luông	6,8	6,7	+ 0,1
5	Hòa Nghĩa	Hàm Luông	3,1	3,0	+ 0,1
6	Nhuận Phú Tân	Cổ Chiên	5,1	5,9	– 0,8
7	Giao Hòa	Cửa Đại	8,0	9,4	– 1,4
8	Quới Sơn	Cửa Đại	5,2	5,1	+ 0,1
9	Long Hòa	Ba Lai	5,6	6,7	–1,1
10	Lộc Thuận	Cửa Đại	21,5	26,1	– 4,6

Bảng 4. So sánh kết khoảng cách xâm nhập mặn sâu nhất tính toán và thực đo tại các trạm mùa khô 2016.

STT	Sông	Ranh mặn	Tính toán (km)	Thực đo (km)	ΔX (km)
1	Hàm Luông	$4^0/_{00}$	70	70	Tương đương
		$1^0/_{00}$	85	79	+ 6
2	Cổ Chiên	$4^0/_{00}$	56	58	– 2
		$1^0/_{00}$	65	68	–3
3	Cửa Đại	$4^0/_{00}$	54	52	+ 2
		$1^0/_{00}$	76	68	+ 8

Độ mặn tính toán và thực đo cao nhất mùa khô chêch lệch rất ít (dao động trong khoảng –1,4 đến +0,1), riêng tại trạm Sơn Đốc độ chênh lệch cao hơn, lên đến $–7,5^0/_{00}$ (Bảng 3). Chiều sâu xâm nhập mặn giữa tính toán và thực đo ở mức tương đương nhau đối với ranh mặn $4^0/_{00}$, cho kết quả chêch lệch thấp nhất ở sông Hàm Luông và Cổ Chiên. Mô hình cho kết quả tính toán có chênh lệch nhiều hơn đối với ranh mặn $1^0/_{00}$ (từ –3 đến +8 km). Chênh lệch nhiều nhất đối với sông Cửa Đại (Bảng 3). Với kết quả hiệu chỉnh như trên, nghiên cứu cho rằng đã đáp ứng được yêu cầu của quá trình hiệu chỉnh mô đun MIKE 11 AD, tiến tới kiểm định mô đun MIKE 11 AD.

b) Kiểm định: Để đánh giá kết quả giữa độ mặn tính toán so với đô mặn thực đo tại các trạm của mô hình, nghiên cứu chọn 15 trạm có vị trí thể hiện ở hình 7b. Trích xuất kết quả tính toán của mô hình mô phỏng xâm nhập mặn mùa khô năm 2020 cho ta được kết quả tính toán về độ mặn cao nhất tại các trạm và ranh mặn trên các sông để so sánh với số liệu thực đo như bảng 5 và bảng 6.

Độ mặn tính toán và thực đo cao nhất mùa khô trên sông Hàm Luông chêch lệch ít (dao động trong khoảng –2,7 đến +0,6), riêng tại trạm Sơn Đốc độ chênh lệch cao hơn, lên đến $–6,3^0/_{00}$; trên sông Cổ Chiên chêch lệch ít hơn trong khoảng –0,2 đến +2,1; trên sông Cửa Đại chêch lệch nhiều hơn trong khoảng –0,4 đến + 8,3 (Bảng 5). Chiều sâu xâm nhập mặn giữa tính toán và thực đo ở mức tương đương với nhau ở cả 03 sông đối với ranh mặn $4^0/_{00}$ và ranh mặn $1^0/_{00}$ (từ –3 đến + 3 km) (Bảng 6).

Bảng 5. So sánh độ mặn lớn nhất (Smax) tính toán và thực đo tại các trạm 2020.

STT	Tên trạm	Sông	Tính toán	Thực đo	ΔSmax ($^0/_{00}$)
1	Sơn Đốc	Hàm Luông	21,9	28,2	– 6,3
2	Mỹ Hóa	Hàm Luông	14,5	17,2	– 2,7
3	An Hiệp	Hàm Luông	12,1	13,9	– 1,8
4	Vàm Mơn	Hàm Luông	10,6	11,0	– 0,4
5	Chợ Lách	Hàm Luông	7,3	6,7	+ 0,6
6	Vàm Thom	Cổ Chiên	9,4	8,6	+ 0,8

STT	Tên trạm	Sông	Tính toán	Thực đo	ΔSmax ($^0/_{00}$)
7	Nhuận Phú Tân	Cổ Chiên	8,3	6,2	+ 2,1
8	Tân Thiềng	Cổ Chiên	3,2	4,2	– 1,0
9	Vĩnh Bình	Cổ Chiên	1,7	1,9	– 0,2
10	Giao Hòa	Cửa Đại	18,2	12	+ 6,2
11	Quới Sơn	Cửa Đại	16,8	9,6	+ 7,2
12	An Khánh	Cửa Đại	16,1	7,3	+ 8,1
13	Phú Túc	Cửa Đại	13,1	5,6	+ 7,5
14	Tân Phú	Cửa Đại	6,6	7,0	– 0,4
15	Long Hòa	Ba Lai	17,2	9,5	+ 8,3

Bảng 6. So sánh khoảng cách xâm nhập mặn sâu nhất tính toán và thực đo tại các trạm 2020.

STT	Sông	Ranh mặn	Tính toán	Thực đo	ΔX (*km*)
1	Hàm Luông	$4^0/_{00}$	88	86	+ 2
		$1^0/_{00}$	100	100	Tương đương
2	Cổ Chiên	$4^0/_{00}$	64	67	– 3
		$1^0/_{00}$	80	83	– 3
3	Cửa Đại	$4^0/_{00}$	90	87	+ 3
		$1^0/_{00}$	102	101	Tương đương

Với kết quả hiệu chỉnh như trên, nghiên cứu cho rằng đã đáp ứng được yêu cầu của quá trình kiểm định mô đun MIKE 11 AD, tiến tới áp dụng mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm định cả 02 mô đun MIKE 11 HD và MIKE 11 AD để xây dựng phương án dự báo xâm nhập mặn trên các sông chính của tỉnh Bến Tre. Với bộ thông số của mô đun MIKE 11 AD có hệ số khuyếch tán chung là 200 và thông số này được hiệu chỉnh tại 30 điểm trên mạng thủy lực.

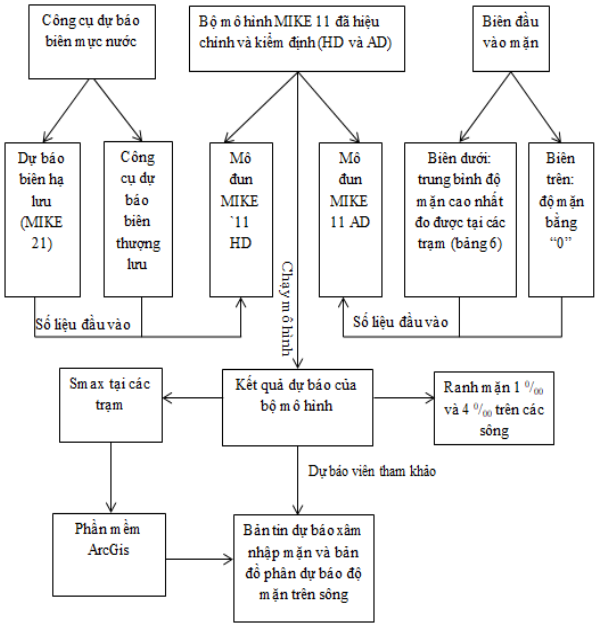
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Sơ đồ phương án dự báo xâm nhập mặn

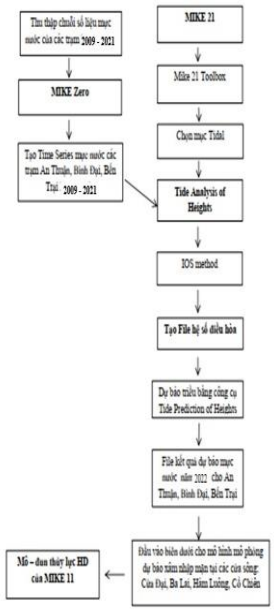
Phương án dự báo là cách thức cụ thể để phân tích, tính toán, dự báo, cảnh báo các yếu tố hoặc hiện tượng khí tượng thủy văn tại địa điểm hoặc khu vực. Phương án dự báo xâm nhập mặn được thực hiện theo sơ đồ hình 8. Công cụ dự báo biên được thực hiện như sau:

Đối với dự báo biên thương lưu: (1) Dự báo thời hạn 10 ngày: Trên website của Mekong River Commission http://ffw.mrcmekong.org/bulletin_wet.php có báo cáo mực nước tuần 7 ngày và dự báo mực nước 7 ngày tiếp theo. Nghiên cứu này sử dụng báo cáo theo tuần 7 ngày trong mùa khô để lấy số liệu mực nước tuần 7 ngày đã qua và dự báo mực nước 7 ngày tiếp theo, dự báo viên tiếp tục dự báo thêm mực nước 3 ngày kế tiếp theo xu thế để được mực nước dự báo 10 ngày. Tổng cộng ta có số liệu thực đo 7 ngày trước đó và mực nước 10 ngày dự báo tại trạm Prekdam và Kratie để làm biên mực nước đầu vào tại biên trên để dự báo xâm nhập mặn trên địa bàn tỉnh 10 ngày; (2) Dự báo thời hạn tháng, mùa sử dụng phương pháp năm tương tự qua 04 bước như hình 10. Trong nghiên cứu này, dự báo trên cơ sở số liệu quan trắc đã có của trạm Kratie và Krekdam trong quá khứ. Từ đó chọn số liệu của năm tương tự để làm số liệu dự báo cho các thời hạn dự báo khác nhau.

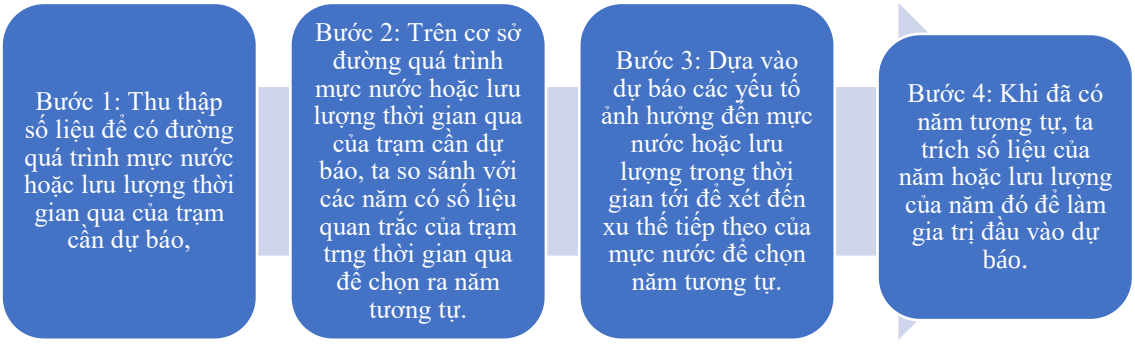
Dự báo biên hạ lưu: Nghiên cứu sử dụng bộ công cụ MIKE 21 để dự báo mực nước triều vùng cửa sông bằng phương pháp hằng số triều điều hòa. Các bước thực hiện như sơ đồ hình 9. Dữ liệu sử dụng là mực nước theo giờ của 03 trạm An Thuận, Bình Đại, Bến Trại từ năm 2009–2021.



Hình 8. Sơ đồ phương án dự báo xâm nhập mặn.



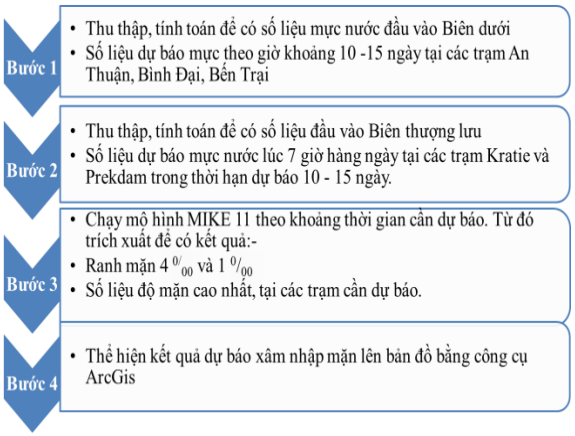
Hình 9. Sơ đồ thực hiện dự báo biên mực nước hạ lưu bằng MIKE 21.



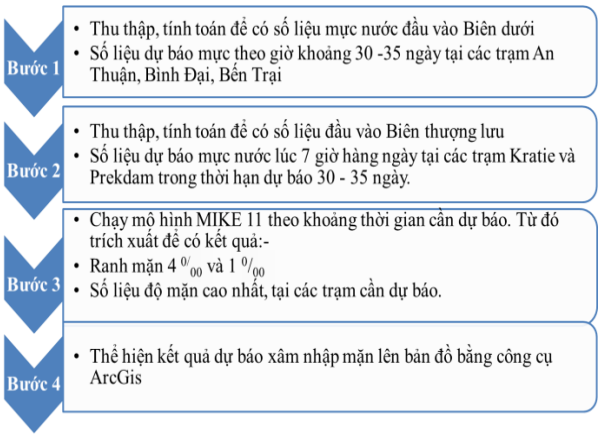
Hình 10. Sơ đồ các bước thực hiện dự báo biên thượng lưu thời hạn tháng, mùa.

3.2. Phương án dự báo xâm nhập mặn

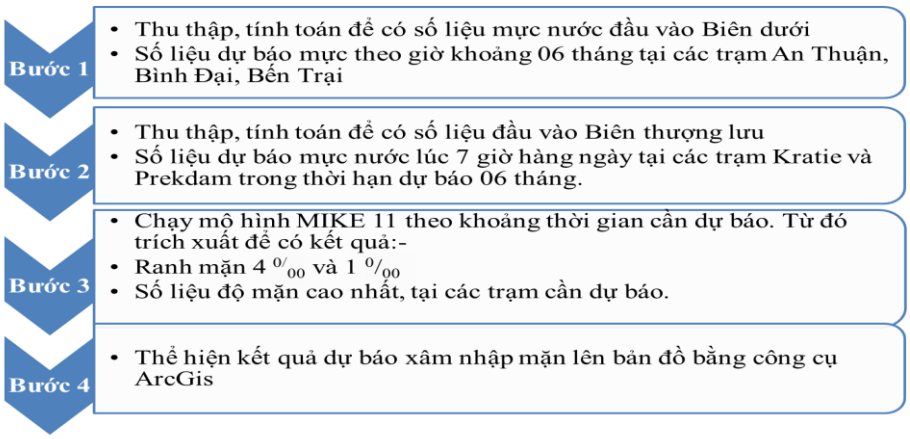
Phương án dự báo xâm nhập mặn trong nghiên cứu này được thực hiện theo các thời hạn: thời hạn 10 ngày (Hình 11a), thời hạn tháng (Hình 11b) và thời hạn mùa (Hình 11c). Các bước thực hiện cơ bản giống nhau, chỉ khác ở độ dài của chuỗi số liệu đưa vào tại hai biên để phù hợp với từng thời hạn dự báo.



(a) Thời hạn 10 ngày



(b) Thời hạn tháng



(c) Thời hạn mùa

Hình 11. Sơ đồ phương án dự báo xâm nhập mặn theo từng thời hạn dự báo.

3.3. Dự báo xâm nhập mặn cho năm 2022

Nghiên cứu xác định độ tin cậy cho một lần dự báo của độ mặn bằng cách xác định khoảng chênh lệch giữa trị số dự báo, cảnh báo với trị số thực đo độ mặn trong thời điểm dự báo theo 02 đánh giá: một là theo đánh giá của người dự báo viên khi tham khảo kết quả mô hình và hai là theo các chỉ tiêu đánh giá theo Thông tư số 42/2017/TT–BTNMT ngày 23 tháng 10 năm 2017 của Bộ Tài nguyên và Môi trường [24] về Quy định kỹ thuật đánh giá chất lượng dự báo, cảnh báo thủy văn:

Chất lượng dự báo, cảnh báo độ mặn lớn nhất được xác định là "đủ độ tin cậy" khi sai số dự báo, cảnh báo độ mặn lớn nhất nhỏ hơn hoặc bằng 30% độ mặn lớn nhất thực tế và được xác định là "không đủ độ tin cậy" khi sai số dự báo, cảnh báo độ mặn lớn nhất lớn hơn 30% độ mặn lớn nhất thực tế.

Trường hợp dự báo, cảnh báo phạm vi xuất hiện xâm nhập mặn theo chiều dài sông: Chất lượng dự báo, cảnh báo phạm vi xuất hiện xâm nhập mặn được xác định là "đủ độ tin cậy" khi xuất hiện độ mặn dự báo tại các vị trí cách không quá 25% so với khoảng cách dự báo và được xác định là "không đủ độ tin cậy" khi xuất hiện độ mặn dự báo tại các vị trí cách quá 25% so với khoảng cách dự báo.

Để đánh giá độ tin cậy của phương án dự báo, nhóm đã tiến hành dự báo xâm nhập mặn cho năm 2022 với các thời hạn từ mục 3.3.1 đến 3.3.3.

Số liệu biên hạ lưu theo từng thời hạn dự báo, nghiên cứu sử dụng mực nước dự báo năm 2022 từ công cụ dự báo biên hạ lưu đã đề cập ở mục 3.1.

3.3.1. Dự báo 10 ngày (01–10/03/2022)

Nghiên cứu này sử dụng báo cáo "Weekly Dry Season Situation Report in the Lower Mekong River Basin 22–28 February 2022" ngày 28/02/2022 để lấy số liệu mực nước tuần 7 ngày và dự báo mực nước 7 ngày tiếp theo, dự báo viên tiếp tục dự báo thêm mực nước 3 ngày kế tiếp để được mực nước dự báo 10 ngày. Tổng cộng ta có số liệu thực đo 7 ngày trước đó và mực nước 10 ngày dự báo tại trạm Prekdam và Kratie để làm biên mực nước đầu vào tại biên trên để dự báo xâm nhập mặn trên địa bàn tỉnh từ 01–10/03/2022.

Kết quả dự báo thể hiện từ hình 12 đến hình 14. Từ độ mặn cao nhất tại các trạm được trích xuất từ kết quả của mô hình dự báo xâm nhập mặn 10 ngày, ta thể hiện lên bản đồ dự báo bằng công cụ ArcGis ở hình 14. Bản đồ cho ta thấy được cho cái nhìn trực quan, dễ hiểu về độ mặn cao nhất tại các trạm quan tâm, khoảng cách xâm nhập mặn của từng độ mặn quan tâm theo các màu chú thích, quan trọng là ranh mặn 1‰ và 4‰ trên các sông.

Độ mặn lớn nhất giữa dự báo và thực đo thấp, dao động + 0.3 đến + 3.8 (hình 12). Với chênh lệch này đối với dự báo viên là rất tốt để tham khảo đưa ra chỉ số dự báo cho bản bản

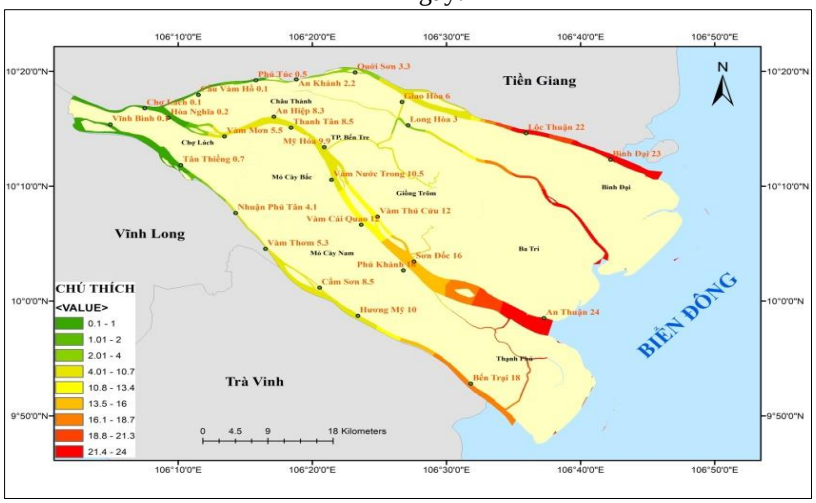
10 ngày. Nếu đánh giá theo quy định của Thông tư 42 bên trên và dự báo viên lấy luôn kết quả của mô hình để đưa ra chỉ số dự báo thì có các trạm đủ độ tin cậy gồm: Phú Khánh, Hòa Nghĩa, Cẩm Sơn, Vàm Thom; còn lại các trạm khác là không đủ độ tin cậy.

STT	Tên trạm	Sông	Dự báo	Thực đo	ΔSmax(‰)	Sai số cho phép TT 42
1	Phú Khánh	Hàm Luông	16.0	13.5	+2.5	4.05
2	Mỹ Hóa	Hàm Luông	9.9	7.2	+2.7	2.2
3	An Hiệp	Hàm Luông	8.3	4.2	+3.8	1.3
4	Vàm Mon	Hàm Luông	5.5	2.5	+3.0	0.8
5	Hòa Nghĩa	Hàm Luông	0.2	0.2	Tương đương	0.06
6	Cẩm Sơn	Cổ Chiên	8.5	7.2	+1.3	2.16
7	Vàm Thom	Cổ Chiên	5.3	5.0	+0.3	1.5
8	Nhuận Phú Tân	Cổ Chiên	4.1	1.6	+2.5	0.5
9	Tân Thiềng	Cổ Chiên	0.7	0.4	+0.3	0.1
10	Giao Hòa	Cửa Đại	6.0	3.6	+2.4	1.1
11	Quới Sơn	Cửa Đại	3.3	1.1	+2.2	0.33
12	An Khánh	Cửa Đại	2.2	0.1	+2.1	0.03
13	Phú Túc	Cửa Đại	0.5	0.1	+0.4	0.03
14	Long Hòa	Ba Lai	3.0	2.0	+1.0	0.6

Hình 12. Bảng sai số cho phép Smax thời hạn 10 ngày.

STT	Sông	Ranh mặn	Dự báo	Thực đo	ΔX (km)	Sai số cho phép TT42
1	Hàm Luông	4‰	65 (Phú Sơn)	60 (An Hiệp)	+5km	16.25
		1‰	70 (Long Thới)	69 (Long Thới)	+1km	17.5
2	Cổ Chiên	4‰	55 (Nhuận Phú Tân)	52 (Khánh Thạnh Tân)	+3km	13.75
		1‰	60 (Vĩnh Thành)	58 (Hưng Khánh Trung)	+2km	15.0
3	Cửa Đại	4‰	43 (Quới Sơn)	41 (Giao Long)	+2km	10.75
		1‰	62 (Phú Túc)	50 (Tân Thạch)	+12km	15.5

Hình 13. Bảng sai số ranh mặn sâu nhất thời hạn 10 ngày.



Hình 14. Bản đồ dự báo xâm nhập mặn tỉnh Bến Tre từ 1-10/3/2022.

Để đánh giá dự báo ranh mặn ta phân tích hình 13, ta thấy được chênh lệch giữa ranh mặn dự báo và ranh mặn thực tế trên cả 3 sông rất thấp (dao động trong khoảng +1 đến +5 km), riêng đối với ranh mặn $1^0/_{00}$ trên sông Cửa Đại ở mức cao (+12 km). Với chênh lệch này đối dự báo viên là rất tốt để tham khảo đưa ra chỉ số dự báo chiều sâu xâm nhập mặn cho bản bản 10 ngày.

Còn nếu đánh giá theo quy định của Thông tư 42 và dự báo viên lấy luôn kết quả của mô hình để đưa ra chỉ số dự báo chiều sâu xâm nhập mặn, thì tất cả chêch lệch giữa chiều sâu ranh mặn dự báo và thực đo điều nằm trong giới hạn sai số cho phép (Hình 13). Vì thế mô hình dự báo 10 ngày về ranh mặn được đánh giá là đủ độ tin cậy.

3.3.2. Dự báo thời hạn tháng (03/2022)

Theo dõi mực nước tại trạm Kratie đến ngày 28/02/2022 và các năm trong khoảng thời gian từ 15/10–28/05 và dung tích hồ TonleSap theo tháng từ tháng 01 đến tháng 02 năm 2022 và dung tích của hồ TonleSap qua các năm, ta thấy có sự tương tự về xu thế và độ cao

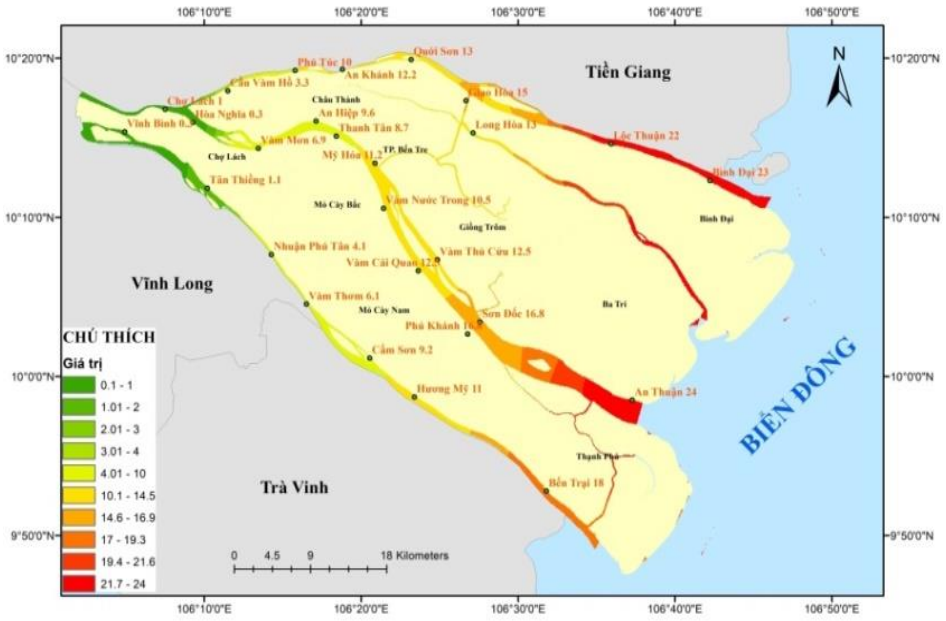
mực nước giữa năm 2022 và năm 2021 tại trạm Kratie; có sự tương tự về dung tích hồ của năm 2022 và năm 2021. Do đó, nghiên cứu chọn số liệu mực nước từ tháng 03/ 2021 của 02 trạm Kratie và Prekdam để làm số liệu biên đầu vào tại biên thượng lưu dự báo xâm nhập mặn tháng 03/2022.

STT	Tên trạm	Sông	Dự báo	Thực đo	ΔSmax (‰)	Sai số cho phép TT4
1	Phú Khánh	Hàm Luông	16.8	13.5	+3.3	4.1
2	Mỹ Hóa	Hàm Luông	11.2	7.2	+4.0	2.2
3	An Hiệp	Hàm Luông	9.6	4.2	+5.4	1.3
4	Vàm Mơn	Hàm Luông	6.9	2.5	+4.4	0.8
5	Hòa Nghĩa	Hàm Luông	3.3	0.2	+3.1	0.06
6	Cẩm Sơn	Cổ Chiên	9.2	7.7	+1.5	2.3
7	Vàm Thơm	Cổ Chiên	6.1	5.3	+0.8	1.6
8	Nhuận Phú Tân	Cổ Chiên	4.1	2.9	+1.2	0.9
9	Tân Thiềng	Cổ Chiên	1.1	1.8	-0.7	0.5
10	Giao Hòa	Cửa Đại	15.0	5.2	+10.8	1.6
11	Quới Sơn	Cửa Đại	13.0	1.9	+10.1	0.6
12	An Khánh	Cửa Đại	12.0	0.2	+11.8	0.06
13	Phú Túc	Cửa Đại	10.0	0.1	+9.9	0.03
14	Long Hòa	Ba Lai	13.0	4.7	+8.6	1.41

Hình 15. Bảng sai số cho phép Smax thời hạn tháng.

STT	Sông	Ranh mặn	Dự báo	Thực đo	ΔX	Sai số cho phép
1	Hàm Luông	4 ‰	68	54	+14	17
		1 ‰	75	68	+7	18.75
2	Cổ Chiên	4 ‰	55	51	+4	13.75
		1 ‰	66	72	-6	16.5
3	Cửa Đại	4 ‰	73	42	+31	**18.25**
		1 ‰	77	51	+36	**19.25**

Hình 16. Bảng sai số ranh mặn sâu nhất thơi hạn tháng.



Hình 17. Bản đồ dự báo xâm nhập mặn tỉnh Bến Tre tháng 3/2022.

Kết quả dự báo tháng 03/2022 thể hiện từ hình 15 đến hình 17. Từ độ mặn cao nhất tại các trạm được trích xuất từ kết quả của mô hình dự báo xâm nhập mặn 01 tháng, ta thể hiện lên bản tin đồ dự báo bằng công cụ ArcGis ở hình 17.

Phân tích kết quả ta thấy được: Độ mặn lớn nhất trong thời hạn dự báo giữa giá trị dự báo và thực đo thấp ở sông Hàm Luông và sông Cổ Chiên (dao động từ – 0,7 đến + 5,4) nhưng chênh lệch lớn hơn nhiều ở sông Cửa Đại và Ba Lai, dao động từ + 8,6 đến + 11,8 (Hình 15). Với chênh lệch này đối với dự báo viên là rất tốt để tham khảo đưa ra chỉ số dự báo độ mặn cao nhất tại các trạm trên các sông Hàm Luông và Cổ Chiên cho bản tin 01 tháng, nhưng ngược lại kết quả chỉ số dự báo độ mặn cao nhất tại các trạm trên sông Ba Lai và Cửa Đại là không tốt để dự báo viên tham khảo.

Nếu đánh giá độ tin cậy theo quy định của Thông tư 42 nói trên và dự báo viên lấy luôn kết quả của mô hình để đưa ra chỉ số dự báo thì có các trạm đủ độ tin cậy gồm: Phú Khánh, Cẩm Sơn, Vàm Thom; còn lại các trạm khác là không đủ độ tin cậy.

Để đánh giá dự báo ranh mặn tháng 03/2022 ta phân tích hình 16, ta thấy được chênh lệch giữa ranh mặn dự báo và ranh mặn thực tế trên 02 sông Hàm Luông và Cổ Chiên thấp (dao động trong khoảng –6 đến +7 km), riêng đối với ranh mặn $4^0/_{00}$ trên sông Hàm Luông ở mức cao (+14 km). Với chênh lệch này đối dự báo viên là rất tốt để tham khảo đưa ra chỉ số dự báo chiều sâu xâm nhập mặn trên sông Hàm Luông và Cổ Chiên cho bản tin thời hạn tháng, tuy nhiên cần lưu ý khi đưa ra giá trị khoảng cách ranh mặn $4^0/_{00}$ trên sông Hàm Luông. Mặc khác, trên sông Cửa Đại chênh lệch giữa ranh mặn dự báo và ranh mặn thực tế rất cao (từ +31 đến + 36 km), với chênh lệch này dự báo viên không thể áp dụng tham khảo kết quả dự báo theo thời hạn tháng đối với sông Cửa Đại.

Nếu đánh giá độ tin cậy theo quy định của Thông tư 42 và dự báo viên lấy luôn kết quả của mô hình để đưa ra chỉ số dự báo chiều sâu xâm nhập mặn, thì tất cả chêch lệch giữa chiều sâu ranh mặn dự báo và thực đo điều nằm trong giới hạn sai số cho phép, chỉ riêng kết quả dự báo ranh mặn trên sông Cửa Đại là không đủ độ tin cậy (Hình 16).

Với đánh giá độ tin cậy như thế thì mô hình dự báo tháng về ranh mặn được đánh giá là chỉ đủ độ tin cậy đối với sông Hàm Luông và Cổ Chiên.

3.3.3. Dự báo thời hạn mùa (01–06/2022)

Theo dõi mực nước tại trạm Kratie năm 2021 và các năm trong khoảng thời gian từ 18/05–30/10 và dung tích hồ TonleSap theo tháng năm 2021 và các năm của hồ TonleSap qua các năm, ta thấy có sự tương tự về xu thế và độ cao mực nước giữa năm 2021 và năm 2020 tại trạm Kratie; có sự tương tự về dung tích hồ của năm 2021 và năm 2020. Do đó, nghiên cứu chọn số liệu mực nước từ tháng 01–06/2021 của 02 trạm Kratie và Prekdam để làm số liệu biên đầu vào tại biên thượng lưu dự báo cho mùa khô 2022.

Kết quả dự báo thể hiện từ hình 18 đến hình 20. Từ độ mặn cao nhất tại các trạm được trích xuất từ kết quả của mô hình dự báo xâm nhập mặn 10 ngày, ta thể hiện lên bản đồ dự báo bằng công cụ ArcGis ở hình 20. Phân tích kết quả dự báo ta thấy được: Độ mặn lớn nhất giữa giá trị dự báo và thực đo trên sông Cổ Chiên có mức chênh lệch thấp, dao động từ –0,6 đến +1,9; trên sông Hàm Luông ở mức chênh lệch cao hơn, dao động từ +3,2 đến +6,5; trên sông Cửa Đại chênh lệch này rất cao, dao động từ +13,7 đến + 17,5 (Hình 18). Với chênh lệch này đối với dự báo viên là rất tốt để tham khảo đưa ra chỉ số dự báo độ mặn cao nhất cho bản tin thời hạn mùa đối với sông Cổ Chiên, chấp nhận được trên sông Hàm Luông và không tốt đối với sông Cửa Đại.

STT	Tên trạm	Sông	Dự báo	Thực đo	ΔSmax($^0/_{00}$)	Sai số cho phép TT 42
1	Phú Khánh	Hàm Luông	18.0	14.8	+3.2	4.4
2	Mỹ Hóa	Hàm Luông	13.5	8.0	+5.3	2.4
3	An Hiệp	Hàm Luông	12.0	5.5	+6.5	1.7
4	Vàm Mơn	Hàm Luông	9.0	3.0	+6.0	0.9
5	Hòa Nghĩa	Hàm Luông	6.4	0.5	+5.9	0.2
6	Cẩm Sơn	Cổ Chiên	**9.6**	**7.7**	+1.9	2.1
7	Vàm Thơm	Cổ Chiên	**6.4**	**5.3**	+1.1	1.6
8	Nhuận Phú Tân	Cổ Chiên	4.2	3.1	+1.1	0.9
9	Tân Thiềng	Cổ Chiên	1.2	1.8	-0.6	0.54
10	Giao Hòa	Cửa Đại	19.5	5.2	+14.3	1.56
11	Quới Sơn	Cửa Đại	18.3	1.9	+16.4	0.6
12	An Khánh	Cửa Đại	17.9	0.2	+17.5	0.06
13	Phú Túc	Cửa Đại	15.2	0.1	+15.1	0.03
14	Long Hòa	Ba Lai	18.4	4.7	+13.7	1.41

Hình 18. Bảng sai số cho phép Smax thời hạn mùa.

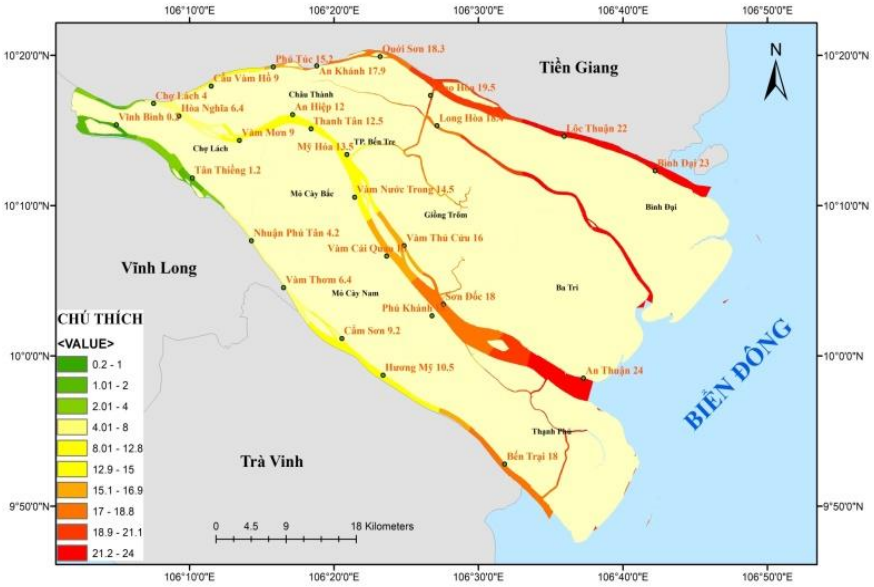
STT	Sông	Ranh mặn	Dự báo	Thực đo	ΔX (km)	Sai số cho phép TT42
1	Hàm Luông	$4^0/_{00}$	75	60	+15	17.5
		$1^0/_{00}$	90	70	+20	22.5
2	Cổ Chiên	$4^0/_{00}$	55	51	+4	13.75
		$1^0/_{00}$	66	72	-6	16.5
3	Cửa Đại	$4^0/_{00}$	77	42	**+33**	**19.25**
		$1^0/_{00}$	92	51	**+41**	**23**

Hình 19. Bảng sai số ranh mặn sâu nhất thơi hạn mùa.

Nếu đánh giá độ tin cậy theo quy định của Thông tư 42 bên trên và dự báo viên lấy luôn kết quả của mô hình để đưa ra chỉ số dự báo thì có các trạm đủ độ tin cậy gồm: Phú Khánh, Cẩm Sơn, Vàm Thom, Tân Thiềng; còn lại các trạm khác là không đủ độ tin cậy.

Ta thấy được chênh lệch giữa ranh mặn dự báo và ranh mặn thực tế trên sông Cổ Chiên ở mức thấp, dao động trong khoảng –6 đến +4 km; trên sông Hàm Luông ở mức cao, dao động từ +15 đến +20 km; trên sông Cửa Đại thì chênh lệch này quá cao, dao động từ +33 đến +41 km. Với chênh lệch này đối với dự báo viên là rất tốt để tham khảo đưa ra chỉ số dự báo ranh mặn cho bản tin thời hạn mùa đối với sông Cổ Chiên, không tốt trên sông Hàm Luông và không chấp nhận được đối với sông Cửa Đại (Hình 19).

Còn nếu đánh giá độ tin cậy theo quy định của Thông tư 42 và dự báo viên lấy luôn kết quả của mô hình để đưa ra chỉ số dự báo chiều sâu xâm nhập mặn, thì tất cả chêch lệch giữa chiều sâu ranh mặn dự báo và thực đo điều nằm trong giới hạn sai số cho phép, trừ sông Cửa Đại (Hình 19). Với đánh giá độ tin cậy như thế thì mô hình dự báo theo thời hạn mùa về ranh mặn được đánh giá là chỉ đủ độ tin cậy đối với sông Hàm Luông và Cổ Chiên.



Hình 20. Bản đồ dự báo xâm nhập mặn sâu nhất tỉnh Bến Tre tháng 01–06/2022.

4. Kết luận

- Xâm nhập mặn là một yếu tố dự báo rất phức tạp và khó dự báo. Với mạng lưới thủy lực đơn giản, số liệu tự cung cấp được nhiều nhất tại Đài KTTV tỉnh Bến Tre, nhóm đã xây dựng được một phương án dự báo xâm nhập mặn bằng mô hình MIKE 11, MIKE 21 và thể hiện bản đồ trên nền ArcGis cho độ tin cậy ổn định áp dụng vào nghiệp vụ dự báo của Đài tỉnh. Phương án này giúp cho các dự báo viên của Đài KTTV tỉnh Bến Tre tự chủ động trong phương án dự báo của mình, áp dụng công nghệ khoa học tiên tiến hơn so với dự báo truyền thống, mang tính kế thừa hơn cho phương pháp dự báo.

- Kết hợp với công cụ ArcGis, phương án dự báo đã cho kết quả dự báo với bản đồ trực quan và dễ hiểu hơn so với bảng biểu thông thường, đáp ứng với quy định các mẫu bản tin dự báo của ngành.

- Phương án này đủ độ tin cậy trong việc dự báo ranh mặn $1^0/_{00}$ và $4^0/_{00}$ trên các sông chính của tỉnh (ngoại trừ dự báo thời hạn tháng, mùa trên sông Cửa Đại).

- Đối với thời hạn dự báo 10 ngày, phương án dự báo có độ đủ tin cậy để áp dụng dự báo trên cả ba sông chính; đối với dự báo thời hạn tháng, phương án có độ tin cậy rất tốt trên sông Cổ Chiên, đủ độ tin cậy đối với sông Hàm Luông và không đủ độ tin cậy đối với

sông Cửa Đại; đối với hạn mùa, phương án có độ tin cậy rất tốt đối với sông Cổ Chiên, độ tin cậy thấp đối với sông Hàm Luông và không đủ độ tin cậy đối với sông Cửa Đại.

- Phương án dự báo này hạn chế sau:

• Sai số tuyệt đối giữa giá trị thực đo và tính toán khá lớn đối với sông Cửa Đại ở thời hạn dự báo tháng và mùa;

• Biên mặn đầu vào của mô hình thường được chọn là giá trị cao nhất trung bình nhiều năm nên khi dự báo dài hạn thường cho sai số lớn.

• Do dự báo biên thượng lưu sử dụng phương pháp năm tương tự nên còn mang tính chủ quan của dự báo viên, kết quả dự báo chưa sát với thực tế nhất là dư báo tháng và mùa.

• Mô hình chưa đưa vào các mạng lưới kênh rạch nhỏ của Bến Tre; các hệ thống cống, đập tạm; vận hành cống Ba Lai; lượng mưa tại các trạm trên lưu vực.

Kiến nghị: Đưa vào sử dụng dự báo nghiệp vụ tại Đài KTTV tỉnh Bến Tre những năm tiếp theo nhưng cần lưu ý và có thể bổ sung, phát triển các vấn đề sau:

• Phương án dự báo xâm nhập mặn chỉ tập trung đánh giá trị số dự báo của độ mặn cao nhất tại các trạm và ranh mặn nên dự báo viên với kinh nghiệm và hiểu biết của mình về bản chất của xâm nhập mặn tại tỉnh thì hoàn toàn có thể đưa vào bản tin dự báo thời gian xuất hiện độ mặn cao nhất tại các trạm.

• Mô hình sau hiệu chỉnh và kiểm định cho kết quả tính toán mực nước rất tốt thể hiện qua các hệ số đánh giá R^2, RMSE, NSE. Do đó có thể sử dụng để dự báo mực nước cho các trạm trạm sông chính của tỉnh Bến Tre.

• Đưa vào vị trí các cống, đập tạm trên các sông cùng với lịch vận hành cống lớn (Ba Lai).

• Số liệu đầu vào biên mặn nên lấy theo trung bình độ mặn cao nhất theo tháng sẽ cho kết quả tính tính toán, dự báo khả quan hơn.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành có sự hỗ trợ về mặt dữ liệu của Trung tâm dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia, Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Nam Bộ, Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Trà Vinh, Đài Khí tượng Thủy văn 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. Conrads, P.A.; Roehl, E.A.; Jr.Daamen, R.C.; Cook. Simulation of salinity intrusion along the Georgia and South Carolina coasts using climatechange scenarios. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2013, 5036, pp. 92, and pp. 5.
2. Chubarenko, I.; Tchepikova, I. Modeling of man–made contributiton to sanlinity increase into the Vistula Lagoon (Baltic Sea). *Ecol. Modell.* **2001**, *138(1–3)*, 87–100.
3. Vialard, J.; Deleclúe, P.; Menkes, C. A modeling study of salinity variability and its effects in the tropical Pacific Ocean during the 1993–1999 period. *J. Geophys. Res.* **2002**, *107(C12)*, 8005. Doi:10.1029/2000JC000758.
4. Balistrieri, L.S.; Tempel, R.N.; Stillings, L.; Shevenell, L.A. Modeling spatial and temporal variations in temperature and salinity during stratification and overturn in Dexter Pit Lake, Tuscarora, Nevada, USA. *Appl. Geochem.* **2006**, *21(7)*, 1184–1203.

5. Zhang, X.; Deng, J. Affecting Factors of Salinity Intrusion in Pearl River Estuary and Sustainable Utilization of Water Resources in Pearl River Delta, Hydraulic Institute of the Pearl River, Tianhe District, Guangzhou 510611, China.
6. Khuê, N.N. Modelling of tidal propagation and salility intrusion in the Mekong main estuarine system. Technical paper, Mekong Secretariat, 1986.
7. Đắc, N.T.; Điệp, N.V.; Sơn, N.M. Mô hình tính toán dòng chảy và chất lượng nước trên hệ thống kênh, sông (WFQ87) và kỹ thuật chương trình. Uỷ ban Quốc gia về Chương trình Thuỷ văn Quốc tế của Việt Nam, 1988.
8. Xuân, T.T. Đặc điểm thủy văn và nguồn nước sông Việt Nam. NXB Nông Nghiệp, 2007.
9. Sâm, L. Nghiên cứu xâm nhập mặn phục vụ phát triển kinh tế – xã hội vùng ven biển đồng bằng sông Cửu Long. Đề tài NCKH cấp Nhà nước, KC–08.18 thuộc Chương trình Bảo vệ Môi trường và Phòng tránh thiên tai, mã số KC 08, 2004.
10. 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.
11. 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.
12. 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. *Tạp chí Khoa học* **2012**, *21b*, 141–150.
13. 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.
14. 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.
15. 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. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, *731*, 54–68.
16. 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.
17. 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.
18. 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, 2015.
19. 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.
20. 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. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *739*, 67–80.
21. 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. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *700*, 12–22.

22. 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.
23. 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. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *697*, 1–12.
24. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Quy định kỹ thuật đánh giá chất lượng dự báo, cảnh báo thủy văn. Thông tư số 42/2017/TT–BTNMT ngày 23 tháng 10 năm 2017.

Developed a saline intrusion forecasting plan on the main river in Ben Tre

Dang Hoang Lam[1*], Nguyen Phuoc Dinh[2], Nguyen Van Sy[3]

[1] Ben Tre Hydro–meteorological Center, Southern Hydro–meteorological Regional Center, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; danghoanglam91@gmail.com
[2] Ben Tre Hydro–meteorological Center, Southern Hydro–meteorological Regional Center, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; dinhnguyenphuoc1976@gmail.com
[3] Ben Tre Hydro–meteorological Center, Southern Hydro–meteorological Regional Center, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; nguyenvansy.cl@gmail.com

Abstract: Every year during the dry season, the rivers in Ben Tre province often suffer from saline intrusion which affect production and people's lives from February to April, with a salinity level of $4^0/_{00}$ infiltrating an average of 40–50 km from the river estuaries. Therefore, it is necessary to forecast the saline intrusion situation to help the locality have appropriate production plans. In this study, the MIKE 11, MIKE 21 models were combined with ArcGIS to display the map results. The research results show that for 10–day forecast period, the forecast option is reliable for all three main rivers. For a monthly forecast, the forecast option is highly reliable for the Co Chien River, reliable enough for the Ham Luong River, and not reliable enough for the Cua Dai River. For a seasonal forecast, the forecast option is highly reliable for the Co Chien River, reliable enough for the Ham Luong River, and not reliable enough for the Cua Dai River. The forecast plan has been applied by the Ben Tre Province Hydro–Meteorological Station for the dry season in 2022 and subsequent years, especially for the 10–day and monthly forecast periods.

Keywords: Mike 11 model; Mike 21; AcrGis; Saltwater intrusion; Ben Tre.