

Bài báo khoa học

Ứng dụng mô hình MIKE 11 mô phỏng quá trình xâm nhập mặn vùng ven biển tỉnh Nam Định

Dương Văn Hưng¹, Vũ Thị Hoà^{1*}, Trần Văn Giáp¹, Võ Văn Hoà², Đoàn Quang Trí³

¹ Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Nam Định; hungkttv@gmail.com; vuhoakhtn@gmail.com; trangiap2010@gmail.com

² Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; vovanhoa80@yahoo.com

³ Trung tâm Thông tin và Dữ liệu khí tượng thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; doanquangtrikttv@gmail.com

*Tác giả liên hệ: vuhoakhtn@gmail.com; Tel.: +84-973121678

Ban Biên tập nhận bài: 5/11/2022; Ngày phản biện xong: 13/12/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2024

Tóm tắt: Đồng bằng châu thổ sông Hồng là một trong những khu vực có ngành nông nghiệp chủ đạo, hiện nay các khu vực ven biển Nam Định đang ngày càng bị đe dọa bởi hiện tượng xâm nhập mặn ngày càng kéo dài và trầm trọng. Nghiên cứu đã ứng dụng mô hình MIKE 11 mô phỏng thủy lực, quá trình xâm nhập mặn vùng ven biển tỉnh Nam Định với kết quả hiệu chỉnh năm 2022 và kiểm định cho năm 2023 cho kết quả tương đối phù hợp với chỉ số NASH đạt 0,70-0,78, hệ số tương quan $R^2 = 0,8-0,92$. Kết quả mô phỏng theo 02 kịch bản ứng với tần suất kiệt 90% và tần suất triều 10%; tần suất kiệt 95% và tần suất triều 5% cho thấy hệ thống sông thuộc tỉnh Nam Định đang có hiện tượng nồng độ mặn cao, mặn xâm nhập càng ngày càng lấn sâu vào nội đồng.

Từ khóa: Mô hình MIKE 11; Xâm nhập mặn; Nam Định.

1. Giới thiệu

Trên thế giới đã có rất nhiều nghiên cứu về diễn biến xâm nhập mặn. Nghiên cứu về ảnh hưởng của nước biển dâng (NBD) đến xâm nhập mặn (XNM), tác giả [1] đã có nghiên cứu điển hình ở cửa sông Dương Tử, Trung Quốc. Nghiên cứu này đã sử dụng mô hình vận chuyển mặn và thủy động lực học ba chiều, với lưới không cấu trúc có độ phân giải cao và độ nhám của đáy thay đổi theo không gian, được áp dụng để định lượng ảnh hưởng của NBD. Nghiên cứu xác định các yếu tố chính của mô hình XNM tại lưu vực sông Dagou, Vịnh Giao Châu, nghiên cứu [2] nhận định rằng XNM là một quá trình tương tác phức tạp giữa nước ngầm - nước biển và nó chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố từ bề mặt đến lòng đất. Xâm nhập mặn là một trong những vấn đề lớn ở vùng cửa sông Indus, Pakistan. Trong nghiên cứu [3] mô hình số trị FVCOM được xây dựng để nghiên cứu sự biến thiên theo mùa của dòng chảy và độ mặn trong sông. Có thể nhận thấy hiện nay trên thế giới, các mô hình toán phục vụ tính toán mô phỏng quá trình XNM đã rất phát triển, cho phép các nhà nghiên cứu có thể tìm hiểu nguyên nhân, tính toán, dự báo các quá trình diễn biến XNM. Các mô hình mô phỏng quá trình tương tác thủy lực 1-2-3 chiều hoàn toàn có thể đưa vào áp dụng tính toán mô phỏng XNM nước mặt [3].

Tại Việt Nam, nhằm mục tiêu đánh giá nguy cơ XNM các sông chính tỉnh Đồng Nai trong bối cảnh biến đổi khí hậu (BĐKH). Tác giả [4] đã xây dựng các kịch bản đánh giá với mức phát thải khí nhà kính cao (A1FI) cho các thời kỳ 2013, 2020 và 2030. Nghiên cứu đánh giá

Tạp chí Khí tượng Thủy văn **2024**, 759, 75-86; doi:10.36335/VNJHM.2024(759).75-86 <http://tapchikttv.vn>

giá ảnh hưởng của BĐKH đến XNM trên địa bàn tỉnh Vĩnh Long. Tác giả [5] đã xây dựng các kịch bản tính toán bao gồm: XMN ở điều kiện hiện tại, theo kịch bản thải khí nhà kính trung bình (B2) và cao (A1FI) cho năm 2020 và 2030. Phương pháp mô hình toán (MIKE 11) kết hợp phương pháp GIS được sử dụng trong tính toán. Nghiên cứu [6] đánh giá tác động của các hồ đập thủy điện ở thượng nguồn sông Mê Công đến xâm nhập mặn ở đồng bằng sông Cửu Long. Trên hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn, tác giả [6–10] đã nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo dòng chảy cạn, XNM cho hệ thống sông. Phương pháp chính trong nghiên cứu là sử dụng các mô hình toán. Đánh giá ảnh hưởng của XNM đến hạ lưu lưu vực sông Cả trong bối cảnh BĐKH. Tác giả [11–12] đã ứng dụng mô hình thủy lực MIKE 11 kết hợp công cụ viễn thám GIS trong việc mô phỏng tính toán tình hình XNM khu vực hạ lưu sông Cả ứng với hai kịch bản RCP4.5 và RCP8.5...

Nam Định là một tỉnh nằm ở phía nam của Đồng Bằng Bắc Bộ, là một tỉnh có sản lượng lương thực, các sản phẩm nông, lâm nghiệp, thủy - hải sản đặc sản có giá trị xuất khẩu cao và lớn trong khu vực (khoảng hơn 200.000 ha); đặc biệt là các đặc sản về lúa, hoa, cây cảnh, thủy, hải sản,... và cũng là vùng chịu ảnh hưởng nặng nề của biến đổi khí hậu mà cụ thể là nước biển dâng và xâm nhập mặn; đặc biệt là các huyện ven biển của tỉnh như: Giao Thủy, Hải Hậu, Nghĩa Hưng và một số huyện khác như: Xuân Trường, Trực Ninh, Nam Trực...

Trong những năm gần đây quá trình sự thay đổi chế độ dòng chảy, xâm nhập mặn tại vùng cửa các sông trong khu vực như: sông Hồng, sông Đáy, sông Ninh Cơ có sự thay đổi lớn và diễn biến rất phức tạp, nhất là trong mùa cạn (vụ Đông Xuân): Độ mặn vùng cửa sông cao, mặn xâm nhập vào trong sông rất sâu, có nơi xâm nhập sâu vào trong sông tới gần 40 km (độ mặn 1‰), mặn xâm nhập ngược từ sông này sang sông khác, dòng chảy thay đổi gây ra tác động của xâm nhập mặn tới các khu vực cửa sông và sâu trong sông, ... gây khó khăn cho công tác dự tính, dự báo việc lấy nước phục vụ sản xuất, đặc biệt là sản xuất nông nghiệp.

Những năm gần đây, trên thế giới và một số tỉnh của Việt Nam đã sử dụng nhiều phương pháp dự báo, cảnh báo xâm nhập mặn dưới tác động của biến đổi khí hậu như sử dụng mô hình toán [13, 14], xây dựng công cụ dự báo dựa trên nền tảng GIS [15], các dạng bản đồ cảnh báo và phân vùng nguy cơ nhiễm mặn,... các công cụ này giúp ích rất lớn đối với các nhà quản lý có thể ra quyết định trong lúc diễn ra các hiện tượng ngập úng cực đoan. Hiện nay, tỉnh Nam Định dựa trên các bản tin dự báo khí tượng thủy văn của Đài tỉnh để đưa ra các nhận định, cảnh báo mặn mà chưa có cơ sở khoa học nên nhiều khu vực vẫn chịu tác động mạnh của xâm nhập mặn. Do vậy, để có thể giảm thiểu tác động của xâm nhập mặn đến tình hình kinh tế - xã hội của tỉnh cần có những công cụ hỗ trợ trong công tác cảnh báo xâm nhập mặn là việc cấp bách hiện nay.

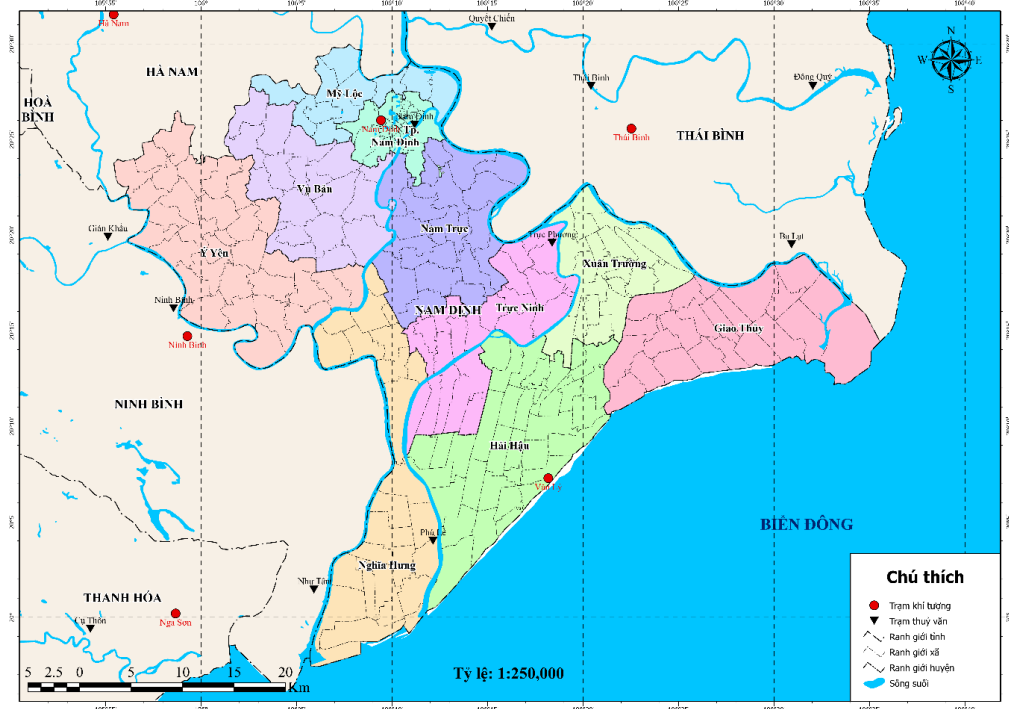
Trên thế giới và tại Việt Nam đã có nhiều phương pháp được sử dụng để mô phỏng quá trình xâm nhập mặn bằng các mô hình thủy lực như: Mô hình HEC- RAS của Mỹ, mô hình TELEMAC của Pháp mô hình SWMM của Cơ quan bảo vệ môi trường Mỹ, Mô hình Time-Lag của Thụy Điển. Tuy nhiên, nguyên nhân gây xâm nhập mặn cho địa bàn tỉnh hết sức đa dạng: do thiếu hụt nguồn nước ngầm trầm trọng; do triều cường, gió mùa Đông Bắc, ... vì vậy, nghiên cứu đã lựa chọn mô hình MIKE 11 để tính toán lan truyền chất, mô phỏng quá trình xâm nhập mặn; Bộ mô hình MIKE đã và đang ứng dụng thành công trên một số lưu vực sông ở Việt Nam như: sông Hồng, sông Mã, sông Bến Hải, sông Hương,... và một số nước trên thế giới. Hiện nay, Tổng cục Khí tượng Thủy văn đã có bản quyền bộ mô hình MIKE và đã trang bị cho Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ [16–18].

Mục đích nghiên cứu: (1) Ứng dụng được mô hình MIKE 11 mô phỏng quá trình thủy lực, quá trình xâm nhập mặn khu vực ven biển Nam Định; (2) Mô phỏng quá trình xâm nhập mặn theo 02 kịch bản ứng với tần suất kiệt 90% và tần suất triều 10%; tần suất kiệt 95% và tần suất triều 5% cho hệ thống sông thuộc tỉnh Nam Định.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Tỉnh Nam Định nằm ở toạ độ địa lý: 106°12' kinh độ Đông, 20°24' vĩ độ Bắc. Tỉnh Nam Định có hệ thống sông ngòi khá dày đặc với mật độ sông vào khoảng 0,5-0,7 km/km² (Hình 1). Chế độ mực nước: Mực nước trung bình năm: 1,52 m; Mực nước cao nhất: 5,77 m; Mực nước thấp nhất: -0,4 m; Lưu lượng: Trung bình: 896 m³/s; Lớn nhất: 6,650 m³/s; Nhỏ nhất: 0 m³/s (nước ngừng chảy); Độ dốc trung bình sông: 0,0012; Cao độ đáy sông: -0,6 m đến -0,8 m; Mực nước báo động theo các cấp trên sông Đào: Cấp I: +3,2 m; Cấp II: +3,9 m; Cấp III: +4,4 m; Mực nước báo động theo các cấp trên sông Hồng đoạn qua Nam Định: Cấp I: +3,8 m; Cấp II: +4,8 m; Cấp III: +5,8 m.



Hình 1. Bản đồ mạng trạm KTTV tỉnh Nam Định.

2.2. Số liệu thu thập

Căn cứ yêu cầu số liệu đầu vào của mô hình và điều kiện số liệu quan trắc trên lưu vực, nghiên cứu sử dụng các số liệu:

- Các lớp dữ liệu bản đồ: ranh giới, mạng lưới sông suối.
- Số liệu khí tượng, thủy văn, mặn các trạm (Bảng 1): Khí tượng Nam Định, thủy văn Nam Định, thủy văn Phú Lễ, thủy văn Như Tân, thủy văn Ba Lạt, hải văn Hòn Dấu.
- Số liệu mặt cắt sông Hồng, sông Đào, sông Ninh Cơ, sông Đáy.

Bảng 1. Thông tin các trạm khí tượng thủy văn.

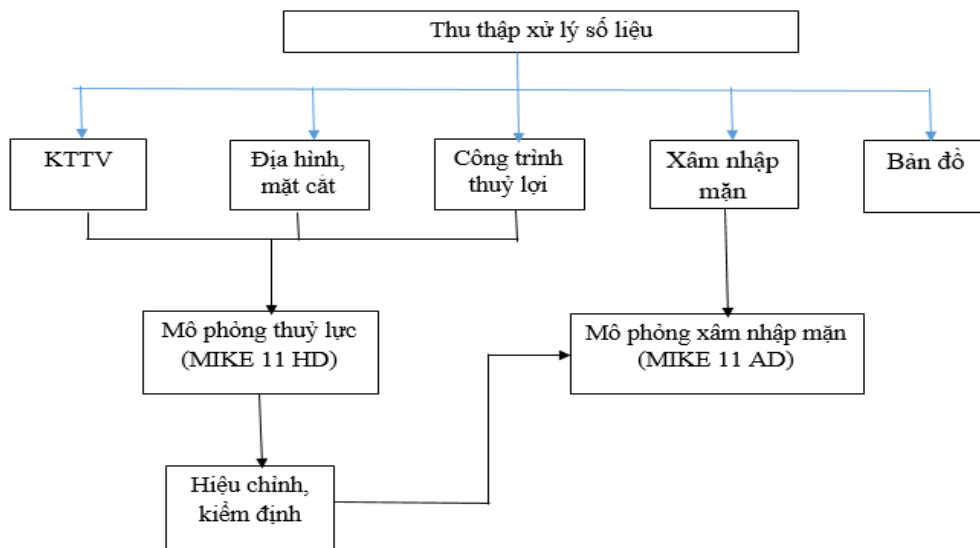
STT	Tên trạm	Yếu tố				Loại trạm
		H (m)	Q (m ³ /s)	X (mm)	S (‰)	
1	Nam Định			x		Trạm khí tượng
2	Nam Định	x	x			Trạm TV cấp 1
3	Phú Lễ	x			x	Trạm TV cấp 3
4	Như Tân	x			x	Trạm TV cấp 3
5	Ba Lạt	x			x	Trạm TV cấp 3
6	Hòn Dấu	x			x	Trạm hải văn
6	Hòn Dấu	x			x	Trạm hải văn

Trong đó H: Mực nước; Q: Lưu lượng; X: lượng mưa; S: Độ mặn.

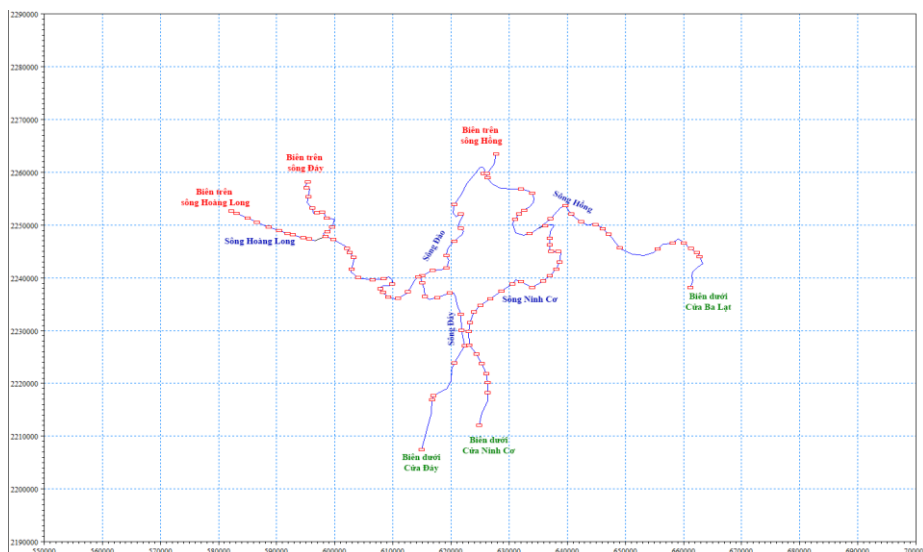
2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1 Giới thiệu mô hình

Nghiên cứu sử dụng mô hình MIKE 11 để mô phỏng tính toán xâm nhập mặn vùng ven biển tỉnh Nam Định. Ngoài ra, nghiên cứu cũng kết hợp với phương pháp phân tích, tích toán tần suất thiết kế để mô phỏng với quá trình xâm nhập mặn theo các tần suất. MIKE 11 là một phần mềm thương mại chuyên dụng mô phỏng lưu lượng, chất lượng nước và vận chuyển bùn cát ở cửa sông, sông, hệ thống tưới, kênh dẫn và các hệ thống dẫn nước khác. MIKE 11 là công cụ lập mô hình động lực một chiều, thân thiện với người sử dụng nhằm phân tích chi tiết, thiết kế, quản lý và vận hành cho sông và hệ thống kênh dẫn đơn giản và phức tạp. Mô đun mô hình thủy động lực (HD) là một phần trung tâm của hệ thống lập mô hình MIKE 11 và hình thành cơ sở cho hầu hết các mô đun bao gồm: dự báo lũ, tải khuếch tán, chất lượng nước và các mô đun vận chuyển bùn cát. Mô đun MIKE 11 HD giải các phương trình tổng hợp theo phương đứng để đảm bảo tính liên tục và bảo toàn động lượng (phương trình Saint Venant) [16–18]. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu để mô phỏng tính toán xâm nhập mặn được thể hiện trên hình 2.



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc mô phỏng xâm nhập mặn.

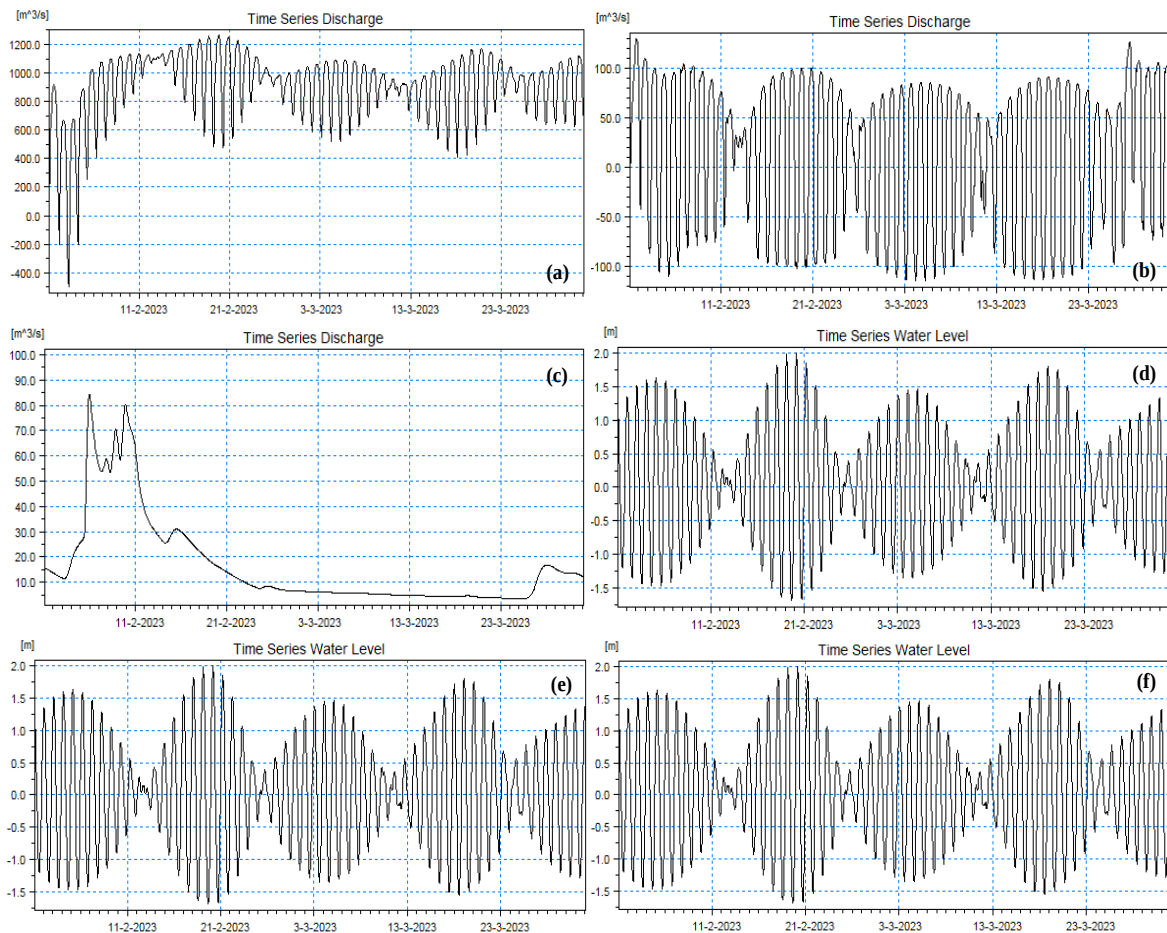


Hình 3. Mạng lưới sông tỉnh Nam Định mô phỏng trong MIKE 11.

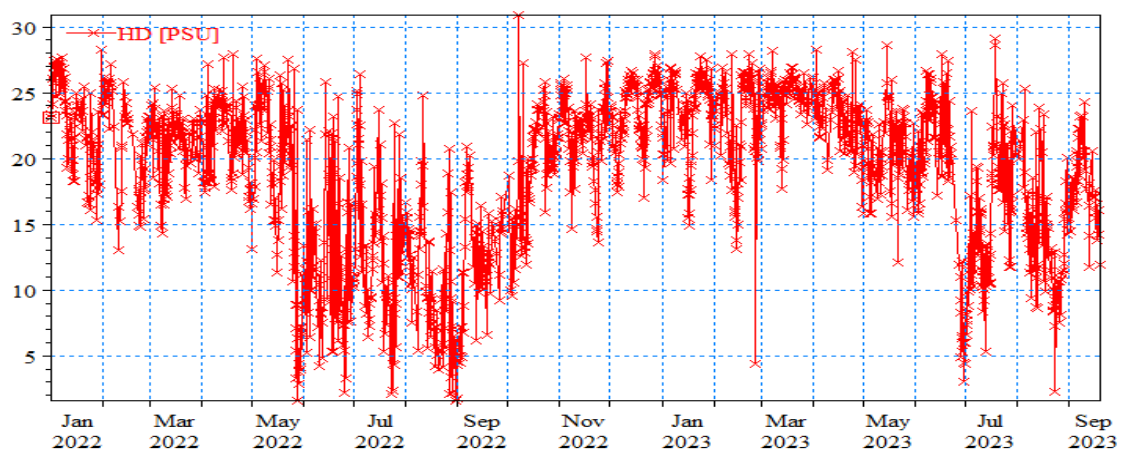
2.3.2. Thiết lập mô hình mô phỏng xâm nhập mặn

Thiết lập sơ đồ thủy lực mạng lưới sông khu vực nghiên cứu trong MIKE 11 được thể hiện trên hình 3. Trong đó có 03 biên lưu lượng phía trên được lấy trên 03 sông: Hồng, Đáy và Hoàng Long, 03 biên mực nước phía dưới tại các vị trí cửa sông: Cửa Ba Lạt, Cửa Ninh Cơ và Cửa Đáy.

Các biên trên được lấy từ kết quả mô phỏng thủy lực từ hệ thống sông Hồng - Thái Bình [19] đã được cập nhật mật cắt và hiệu chỉnh kiểm định lại với năm 2022 và năm 2023 (Hình 4). Số liệu đo mặn lấy theo số liệu mặn quan trắc lại trạm Hòn Dấu (Hình 5).



Hình 4. Lưu lượng biên trên tại: a) sông Hồng, b) sông Đáy, c) sông Hoàng Long; mực nước biên dưới tại: d) sông Hồng, e) sông Ninh Cơ, f) sông Đáy.



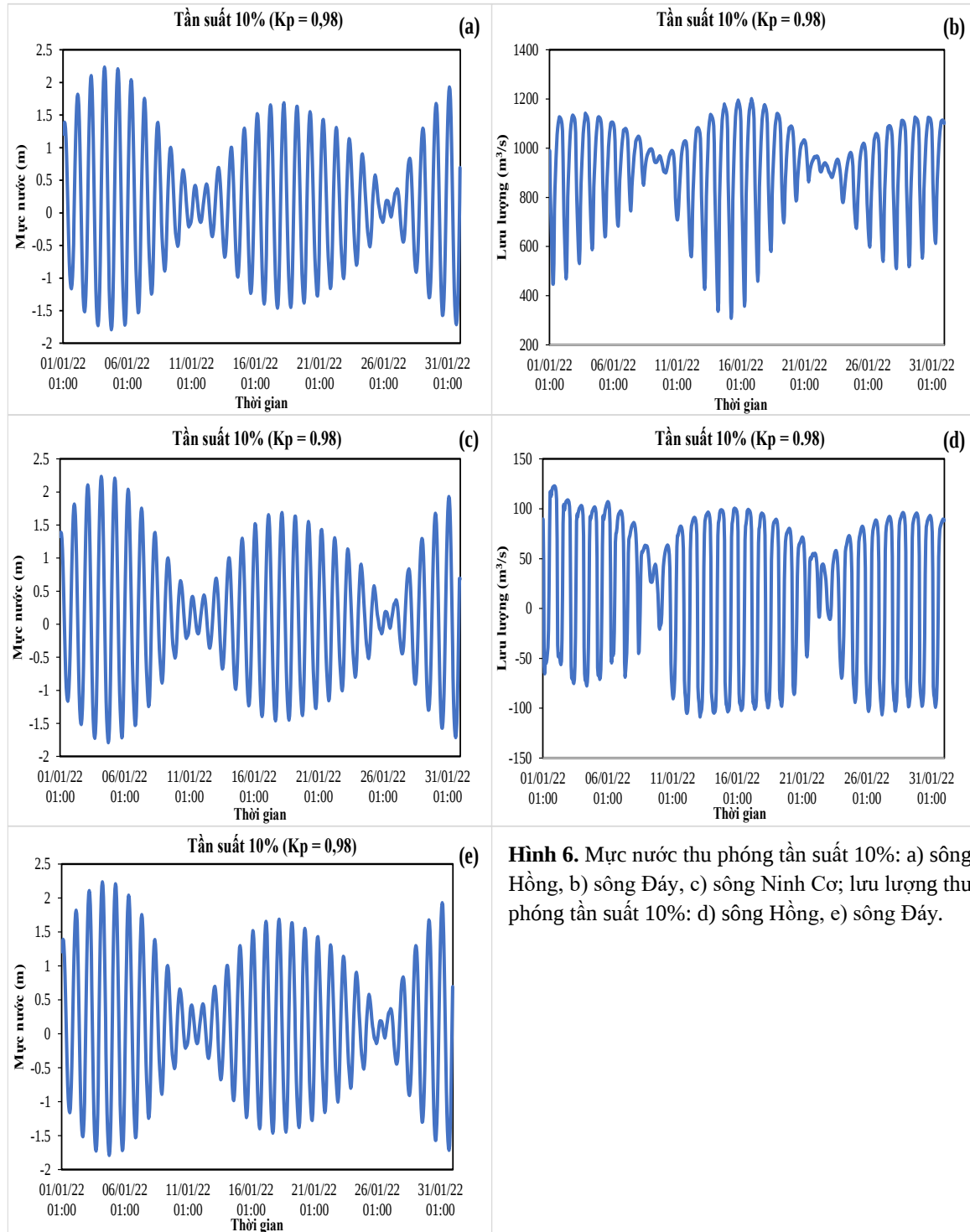
Hình 5. Số liệu đo mặn trạm Hòn Dấu.

2.2.3. Kịch bản tần suất tính toán

Hai kịch bản xây dựng để mô phỏng xâm nhập mặn tỉnh Nam Định như sau:

- Kịch bản 1: Tần suất kiệt 90% và tần suất triều 10%.
- Kịch bản 2: Tần suất kiệt 95% và tần suất triều 5%.

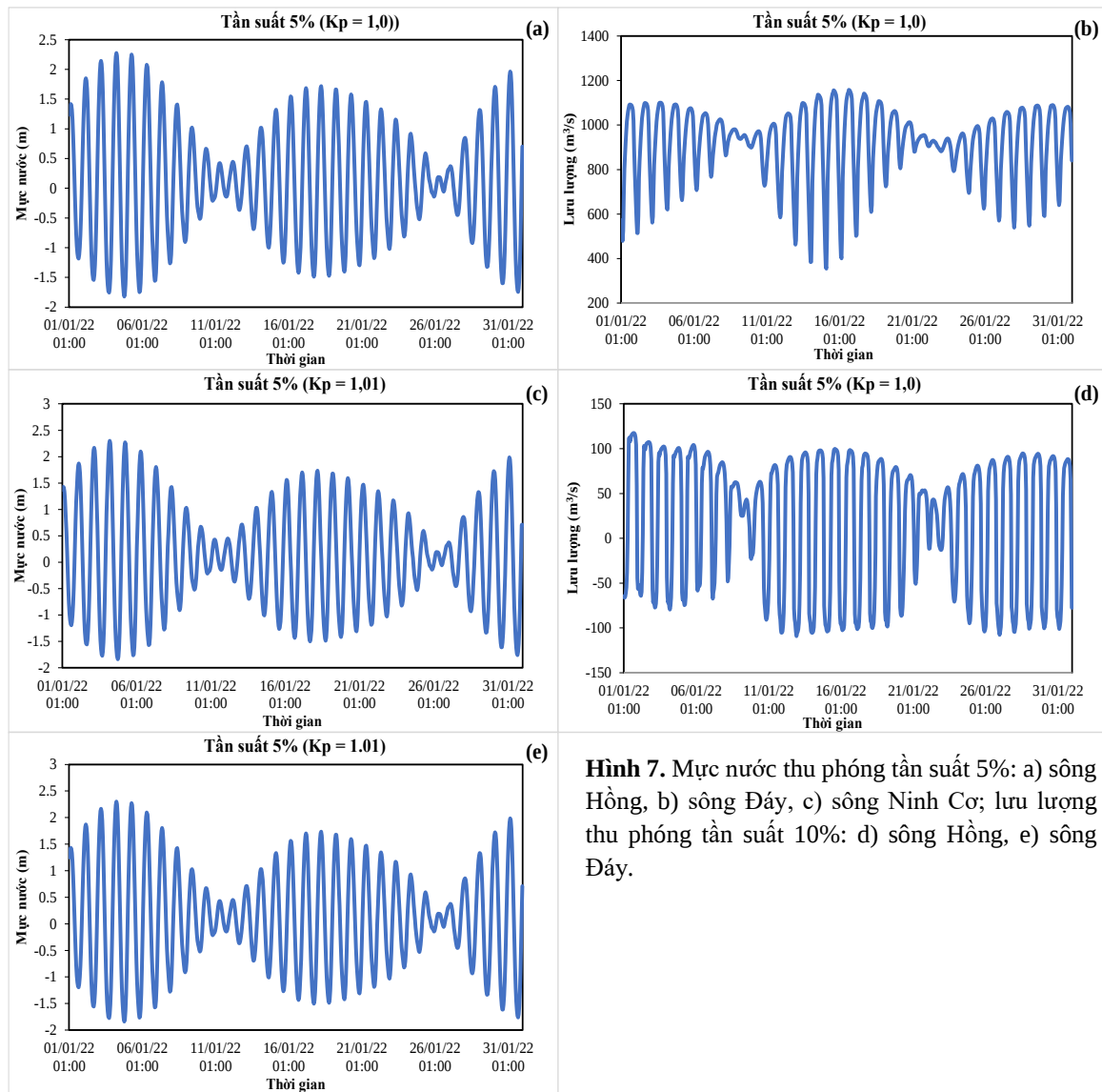
Số liệu biên dưới được thu phóng theo tần suất 10% tại các cửa sông được thể hiện trên hình 6.



Hình 6. Mực nước thu phóng tần suất 10%: a) sông Hồng, b) sông Đáy, c) sông Ninh Cơ; lưu lượng thu phóng tần suất 10%: d) sông Hồng, e) sông Đáy.

Trong các kịch bản, giá trị mặn tại các biên trên được giả thiết bằng 0‰ và biên mặt tại các vị trí ngoài biển được giả thiết đồng nhất là 30‰ - Căn cứ theo số liệu khảo sát đo mặn tại trạm hải văn Hòn Dấu nồng độ mặn lớn nhất là 30‰ (Hình 5).

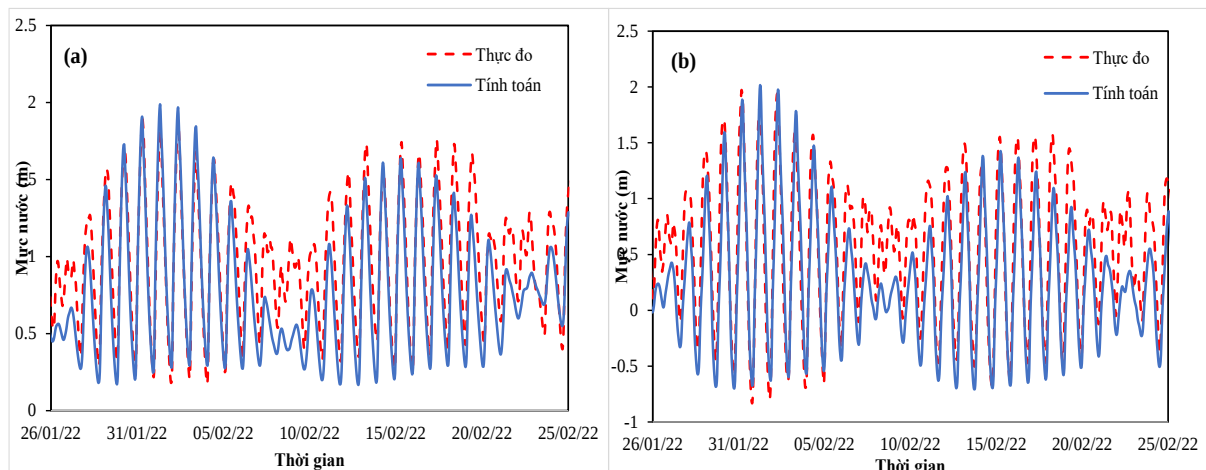
Số liệu biên dưới được thu phóng theo tần suất 5% tại các cửa sông được thể hiện trên hình 7.



Hình 7. Mực nước thu phóng tần suất 5%: a) sông Hồng, b) sông Đáy, c) sông Ninh Cơ; lưu lượng thu phóng tần suất 10%: d) sông Hồng, e) sông Đáy.

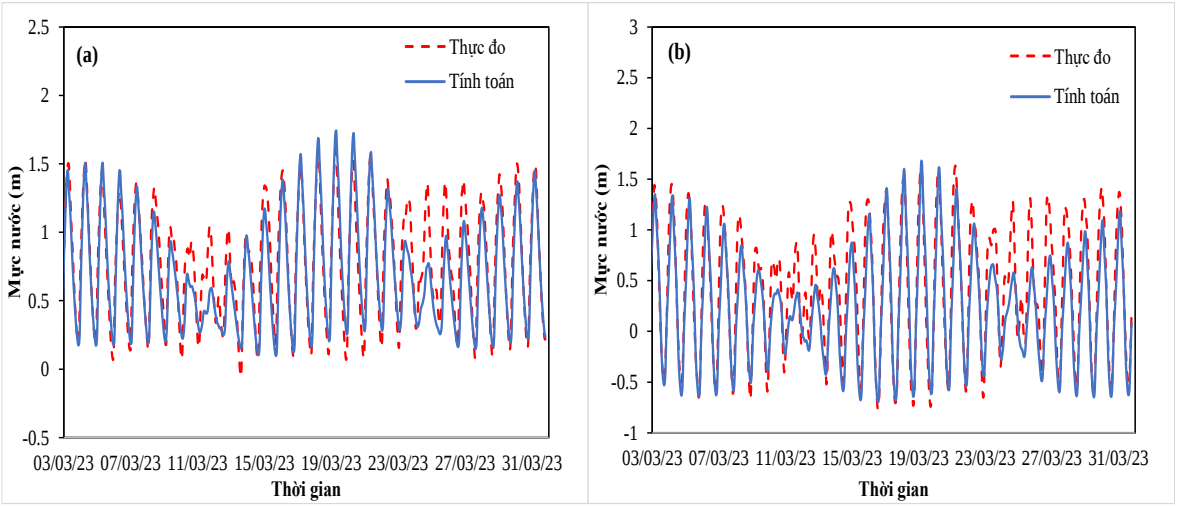
3. Kết quả và thảo luận

Mô hình thủy lực mùa cạn cho hệ thống sông tỉnh Nam Định được hiệu chỉnh với số liệu thực đo tại trạm thủy văn Nam Định và trạm thủy văn Phú Lễ năm 2022, kết quả hiệu chỉnh mô hình thể hiện trong hình 8.



Hình 8. Kết quả hiệu chỉnh tại trạm thủy văn: a) Nam Định, b) Phú Lễ.

Sau khi hiệu chỉnh tìm bộ thông số mô hình, báo cáo kiểm định lại bộ thông số với số liệu năm 2023, hình 9 là kết quả kiểm định mô hình MIKE 11 tại trạm thủy văn Nam Định và trạm thủy văn Phú Lễ.



Hình 9. Kết quả kiểm định tại trạm thủy văn: a) Nam Định, b) Phú Lễ.

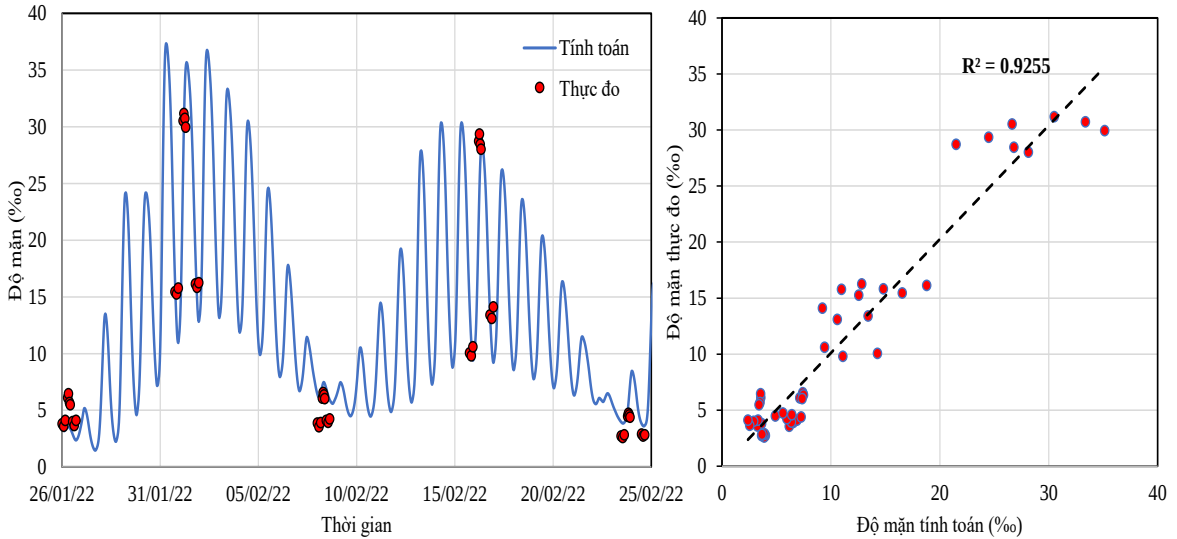
Bảng 2 thống kê chỉ tiêu đánh giá kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực.

Bảng 2. Hệ số Nash hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực.

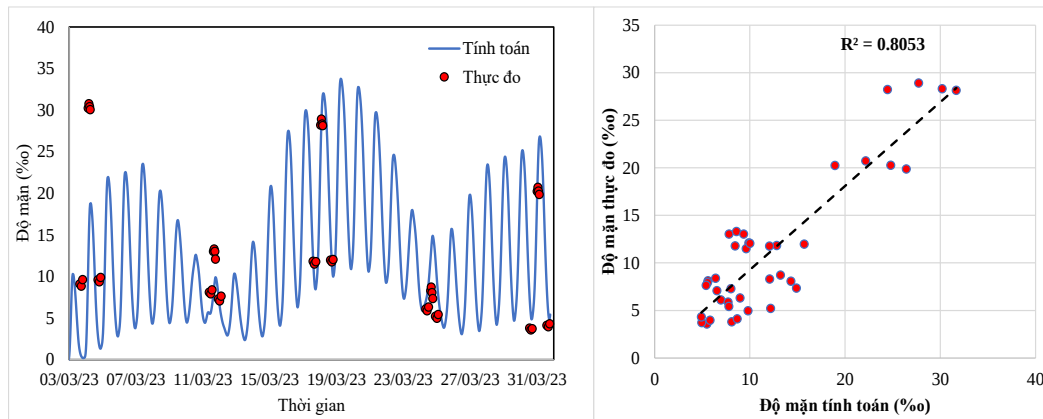
STT	Tên trạm	Hiệu chỉnh	Kiểm định
1	Nam Định	0,72	0,81
2	Phù Lễ	0,70	0,78

Kết quả hiệu chỉnh hệ số Nash đạt trên 0,70 và kết quả kiểm định hệ số Nash trên 0,78. Có thể nhận thấy bộ thông số mô hình thủy lực tương đối phù hợp cho khu vực nghiên cứu. Sau khi tìm được bộ thông số thủy lực, bài báo tiến hành thiết lập thông số AD mô phỏng lan truyền mặn cho khu vực nghiên cứu.

Mô hình lan truyền mặn cho hệ thống sông tỉnh Nam Định được hiệu chỉnh với số liệu thực đo mặn tại trạm Phú Lễ năm 2022 và kiểm định với số liệu năm 2023, kết quả thể hiện trong các hình 10-11.

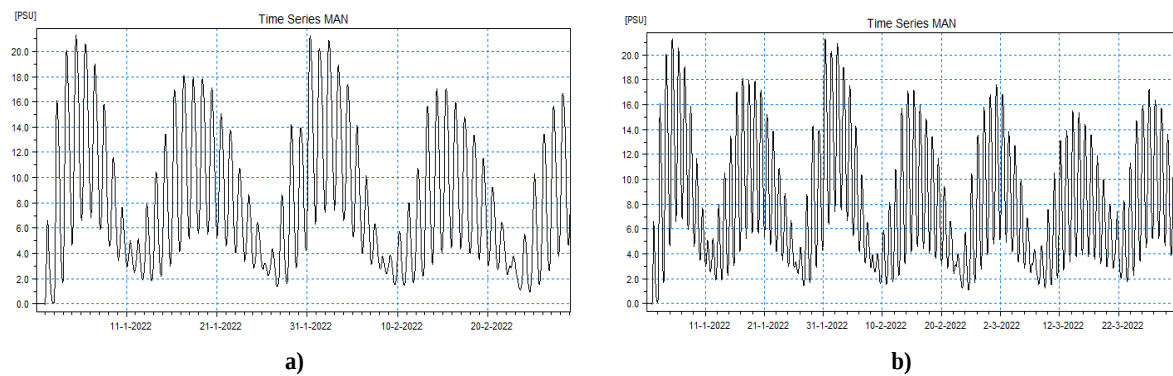


Hình 10. Kết quả hiệu chỉnh mặn tại trạm thủy văn Phú Lễ.

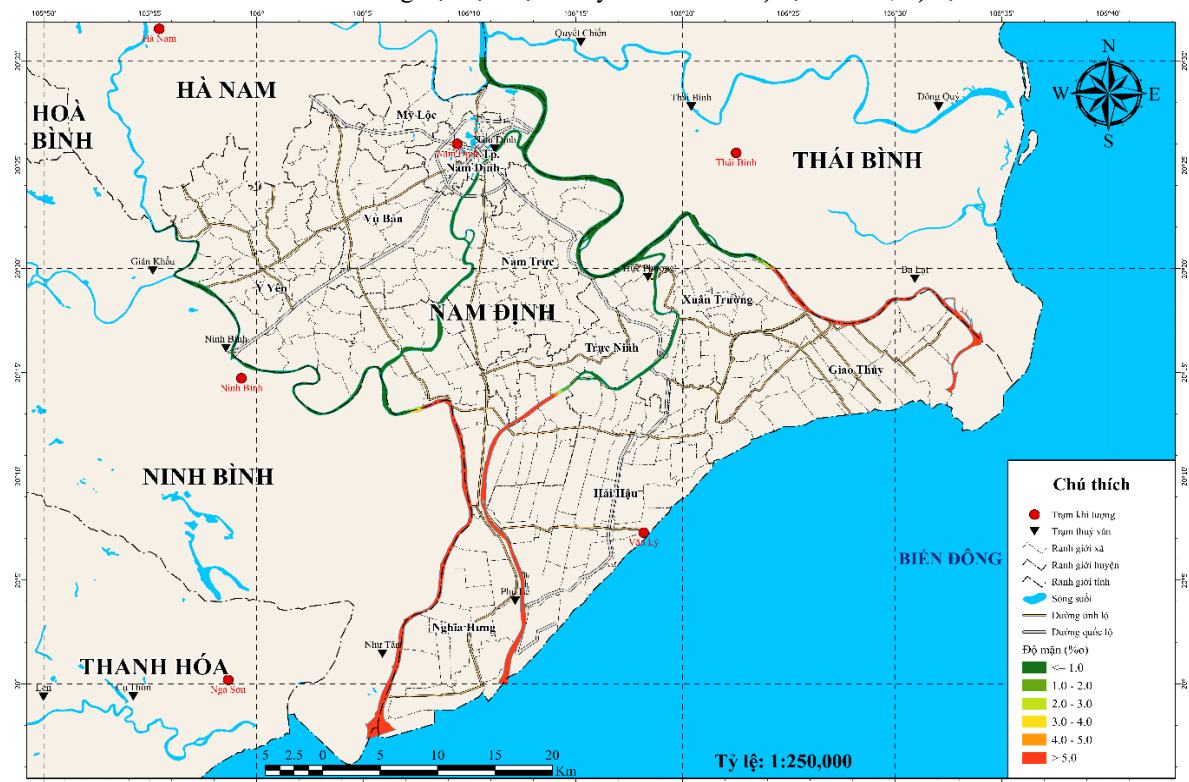


Hình 11. Kết quả kiểm định tại trạm thủy văn Phú Lễ.

Kết quả so sánh số liệu mặn thực đo và tính toán năm 2022 và 2023 tại trạm Phú Lễ cho thấy R^2 từ 0,8 đến 0,9. Có thể nhận thấy nghiên cứu đã tìm được bộ thông số mặn phù hợp cho khu vực tính toán. Sau khi tìm được bộ thông số mô hình XNM, nghiên cứu tiến hành mô phỏng theo 2 kịch bản đã thiết lập phía trên. Kết quả diễn biến nồng độ XNM theo 2 kịch bản được thể hiện trong các Hình 12-14.

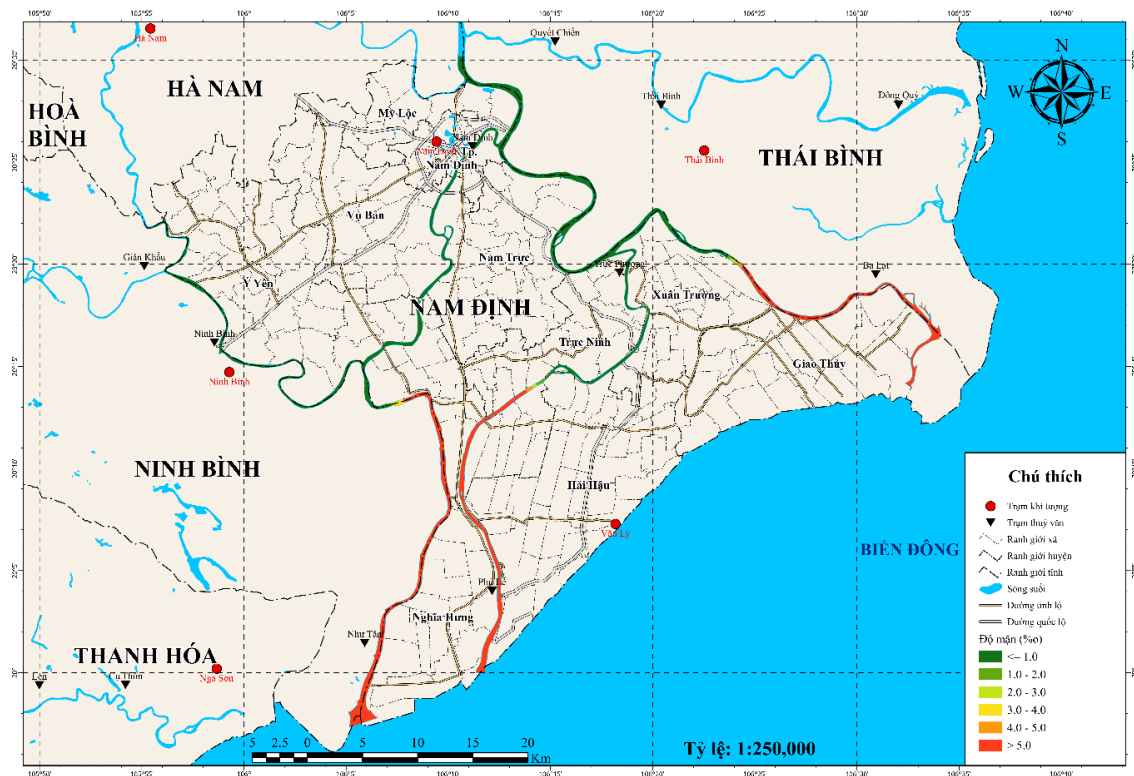


Hình 12. Diễn biến nồng độ mặn trạm thủy văn Phú Lễ: a) kịch bản 1; b) kịch bản 2.



Hình 13. Bản đồ ranh giới XNM kịch bản 1.

Sau khi mô phỏng ra nồng độ XMN theo 2 kịch bản tần suất, nghiên cứu ứng dụng công nghệ GIS biên tập bản đồ XNM theo 2 kịch bản, hình 13-14 là kết quả bản đồ XNM khu vực nghiên cứu.



Hình 14. Bản đồ ranh giới XNM kịch bản 2.

Có thể nhận thấy ranh giới XNM của kịch bản 2 tăng so với kịch bản 1. Trên sông Ninh Cơ ranh giới XNM kịch bản 1 là 23,7 km; kịch bản 2 là 25,4 km. Trên sông Đáy ranh giới XNM kịch bản 1 là 25,2 km; kịch bản 2 là 28,4 km. Trên sông Hồng ranh giới XNM kịch bản 1 là 22,3 km; kịch bản 2 là 23,7 km.

4. Kết luận

Nghiên cứu ứng dụng phương pháp mô hình toán thủy văn MIKE 11 để mô phỏng quá trình xâm nhập mặn vùng ven biển tỉnh Nam Định đã được hiệu chỉnh và kiểm định tốt với hệ số NASH đạt yêu cầu, dao động từ 0,80 - 0,83 đảm bảo độ tin cậy trong điều kiện hạn chế về số liệu thủy văn, mặn. Kết quả cho thấy, các kịch bản đã mô phỏng rất sát quá trình xâm nhập mặn vùng ven biển. Ở cả 2 kịch bản đều cho thấy xu thế xâm nhập mặn tăng mạnh so với thời kỳ trước, kết quả này cũng khá tương đồng với kết quả nghiên cứu [20]. Trong đó, xu thế mực nước biển dâng cao lên mà lưu lượng ở trên thượng nguồn tăng không nhiều. Vì vậy, lượng nước đổ về trên các nhánh sông của sông Hồng như sông Đáy, Ninh Cơ, sông Đào không nhiều nên tình hình xâm nhập mặn ngày càng lấn sâu vào trong sông. Kết quả cho thấy xu thế xâm nhập mặn trên hệ thống sông thuộc tỉnh Nam Định không những tăng đáng kể về độ mặn mà còn gia tăng khoảng cách lấn sâu vào nội đồng.

Việc mô phỏng quá trình xâm nhập vùng ven biển tỉnh Nam Định, là một trong những cơ sở hỗ trợ cho công tác quản lý, định hướng khai thác, sử dụng và phát triển bền vững nguồn tài nguyên nước cho tỉnh Nam Định.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: V.T.H., Đ.Q.T., V.V.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: D.V.H., V.T.H., Đ.Q.T., Xử lý và tính toán số liệu tần suất: T.V.G., V.V.H.; Thiết lập mô hình và tính toán: T.V.G., D.V.H., V.T.H.; Viết bản thảo bài báo: V.T.H., Đ.Q.T.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào một phần kết quả của nhiệm vụ khoa học: “Nghiên cứu đề xuất hệ thống cảnh báo, dự báo sớm rủi ro do xâm nhập mặn gây ra tại tỉnh Nam Định”.

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, W.; Chen, K.; Kuang, C.; Zhu, D.; He, L.; Mao, X.; Liang, H.; Song, H. Influence of sea level rise on saline water intrusion in the Yangtze River Estuary, China. *Appl. Ocean Res.* **2016**, 54, 12–25. doi: 10.1016/j.apor.2015.11.002.
2. Zeng, X.; Dong, J.; Wang, D.; Wu, J.; Zhu, X.; Xu, S.; Zheng, X.; Xin, J. Identifying key factors of the seawater intrusion model of Dagou river basin, Jiaozhou Bay. *Environ. Res.* **2018**, 165(9), 425–430. doi: 10.1016/j.envres.2017.10.039.
3. Wang, J.; Li, L.; He, Z.; Kalhor, N.A.; Xu, D. Numerical modelling study of seawater intrusion in Indus River Estuary, Pakistan. *Ocean Eng.* **2019**, 184(5), 74–84, doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.05.029.
4. Phùng, N.K.; Bảy, N.T.; Kim, T.T.; Tuấn, L. N. Nguy cơ xâm nhập mặn các sông chính tỉnh Đồng Nai trong bối cảnh biến đổi khí hậu và nước biển dâng. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 6, 18–28.
5. Phùng, 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. *Tạp chí khoa học biến đổi khí hậu* **2017**, 2(6), 61–69.
6. Vinh, G.V.; Dũng, Đ.V.; Hải, N. H.; Đức, N.N. Nghiên cứu đánh giá tác động của các hồ đập thủy điện ở thượng nguồn sông Mê công đến xâm nhập mặn ở đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 1, 29–35.
7. Bảo, Đ.P. Xây dựng công nghệ dự báo dòng chảy cạn, xâm nhập mặn cho hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 3, 48–55, 2017.
8. Sơn, H.T.; Lan, V.T.T.; Tuấn, H.N. Diễn biến xâm nhập mặn vùng hạ lưu hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 686, 37–45.
9. Tri, D.Q.; Thai, T.H. Adaptation to Climate Change on the Saltwater Intrusion in Estuaries. LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, BahnhofstraBe 28, 66111 Saarbrücken Germany, 2017, pp. 60. ISBN: 978-3-330-02908-8.
10. Thai, T.H.; Dai, H.V.; Tri, D.Q. Application Couple Model in Saltwater Intrusion Forecasting in Estuary. LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, BahnhofstraBe 28, 66111 Saarbrücken Germany, 2017, pp. 124. ISBN: 978-3-659-82088-5.
11. Hiền, N.T. Đánh giá ảnh hưởng của xâm nhập mặn đến hạ lưu sông Cà trong bối cảnh biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 709(1), 13–24. doi: 10.36335/vnjhm.2020(709).13-24.
12. Tri, D.Q.; Tuyet, Q.T.T. Effect of Climate change on the Salinity Intrusion: Case Study Ca River Basin, Vietnam. *J. Clim. Change* **2016**, 2(1), 91–101. <http://dx.doi.org/10.3233/JCC-160010>.

13. Tri, D.Q.; Don, N.C.; Ching, C.Y.; Mishra, P.K. Modeling the influence of river flow and salinity intrusion processing in the Mekong river estuary, Vietnam. *Lowland Technol. Int.* **2014**, 16(1), 14–25.
14. 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.
15. Hải, Đ.V.; Huệ, L.T.; Trí, Đ.Q. Nghiên cứu ứng dụng mô hình hóa xây dựng phần mềm dự báo lũ, xâm nhập mặn sông Cửu Long hiển thị kết quả dự báo mặn lên Google Earth. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 710, 33–42. doi: 10.36335/vnjhm.2020(710).33-42.
16. DHI Water & Environment. MIKE 11 A modelling system for Rivers and Channels, User Guide, 2014.
17. Denmark Hydraulic institute (DHI). MIKE 11 Reference Manual, 2014, pp. 90.
18. Denmark Hydraulic institute (DHI). MIKE 11 User Manual, 2014, pp. 90.
19. Trục tuyến: https://namdinh.gov.vn/portal/Pages/dieu_kien_tu_nhien.aspx
20. Đào, N.V. Nghiên cứu đánh giá rủi ro xâm nhập mặn khu vực ven biển Thái Bình - Nam Định ứng với các kịch bản mực nước triều và nước biển dâng. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Thủy lợi, 2023.

Applying the MIKE 11 model to simulate the process of saltwater intrusion in the coastal area of Nam Dinh province

Duong Van Hung¹, Vu Thi Hoa^{1*}, Tran Van Giap¹, Vo Van Hoa², Doan Quang Tri³

¹ Nam Dinh Province Center Hydro-meteorological Center; hungkttv@gmail.com; vuhoakhtn@gmail.com; trangiap2010@gmail.com

² Northern Delta and Midland regional Hydro-Meteorological Center, Vietnam Meteorological and Hydrological Administration; vovanhoa80@yahoo.com

³ Information and Data Center, Vietnam Meteorological and Hydrological Administration; doanquangtrikttv@gmail.com

Abstract: The Red River Delta is one of the areas with the main agricultural industry. Currently, the coastal areas of Nam Dinh province are increasingly threatened by the phenomenon of increasingly saltwater intrusion. The study applied the MIKE 11 model to simulate hydraulics and the saltwater intrusion process in the coastal area of Nam Dinh province with calibration results in 2022 and calibration results in 2023. The results show that are relatively consistent with the NASH criteria arrangement from 0.70-0.78, correlation coefficient $R^2 = 0.8-0.92$. Results according to two scenarios corresponding to low frequency of 90% and tidal frequency of 10%; The low frequency of 95% and the frequency of tides of 5% show that the river system in Nam Dinh province is experiencing high salinity levels, with salinity intrusion increasingly penetrating into the interior of the field.

Keywords: MIKE 11; Saltwater intrusion; Nam Dinh province.