

MỐI QUAN HỆ GIỮA XÂM NHẬP MẶN ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG VỚI DÒNG CHẢY THƯỜNG LƯU MÊ CÔNG VÀ TRIỀU VEN BIỂN

Phạm Văn Giáp, Tăng Đức Thắng, Trần Minh Tuấn,
Nguyễn Văn Hoạt, Phạm Ngọc Hải
Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam

Tóm tắt: Đánh giá quy luật xâm nhập mặn theo các yếu tố tác động của nó, làm cơ sở khoa học cho việc dự báo xâm nhập mặn trong mùa khô, có tầm quan trọng đặc biệt trong việc quản lý nguồn nước trên vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL).

Bài báo này giới thiệu một phương pháp nghiên cứu cơ sở khoa học của xâm nhập mặn (XNM) ở ĐBSCL, trong đó đã xây dựng mối quan hệ giữa chiều dài XNM với hai yếu tố chính tác động đến xâm nhập mặn, bao gồm dòng chảy mùa khô về châu thổ Mê Công (trạm Kratie) và thủy triều ven biển ĐBSCL. Hai loại phương trình xâm nhập mặn ứng với chiều dài xâm nhập mặn lớn nhất với ngưỡng 4g/l và 1g/l trong mùa khô trên mỗi cửa sông, theo hai yếu tố tác động đã được xây dựng. Với hệ số quan hệ tốt ($R^2 = 0,81-0,99$), cho thấy việc đánh giá chiều dài XNM theo hai loại yếu tố tác động (dòng chảy và thủy triều) là phù hợp.

Phương pháp và kết quả nghiên cứu cùng các phương trình quan hệ chiều dài XNM theo yếu tố tác động góp phần làm rõ thêm đặc điểm và quy luật của hiện tượng XNM trên Đồng bằng, có thể mở ra một số hướng nghiên cứu sau này khi khảo cứu mặn ở các khía cạnh khác nhau.

Từ khóa: Đồng bằng sông Cửu Long, Trạm Kratie; xâm nhập mặn; Dòng chảy mùa khô; thủy triều, phương trình quan hệ.

Summary: Evaluating the law of saltwater intrusion according to its impact factors, as a scientific basis for forecasting saltwater intrusion in the dry season, is of particular importance in water resource management in the Mekong Delta.

This article introduces a method to research the scientific basis of saltwater intrusion in the Mekong Delta, which builds a relationship between the length of the saltwater intrusion and two main factors affecting saltwater intrusion, including the dry season flow to the Mekong Delta (at Kratie station) and the coastal tides of the Mekong Delta. Two types of saltwater intrusion equations corresponding to the length of saltwater intrusion with the maximum threshold of 4g/l and 1g/l in the dry season on each estuary, according to two impact factors, have been built. With a fairly high correlation coefficient ($R^2 = 0,81-0,99$), it shows that evaluating the length according to two types of impact factors (fresh flow and tide) is appropriate.

The research method and the results, along with equations relating the length of cement mines according to impact factors, contribute to clarifying the characteristics and rules of the saltwater intrusion phenomenon on the Delta, and can suggest a number of future research directions when researching saltwater intrusion in different aspects.

Keywords: Mekong Delta, Kratie Station; saltwater intrusion; dry season flow; tides, relational equations.

1. GIỚI THIỆU

Các đồng bằng cửa sông thường chịu ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn (XNM), làm cho việc sử dụng nước ngọt thường gặp khó khăn

trong thời kỳ này và đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL/Đồng bằng) cũng nằm trong số đó. Đặc biệt, những năm dòng chảy thấp, mặn có thể xâm nhập sâu vào nội địa, gây khó khăn rất lớn cho việc cung cấp nước ngọt cho sản xuất và đời sống cư dân. Chính vì vậy, việc biết được quy luật và dự báo sớm xâm nhập mặn đóng vai trò rất quan trọng trong việc giảm rủi ro, tổn thất do mặn gây ra.

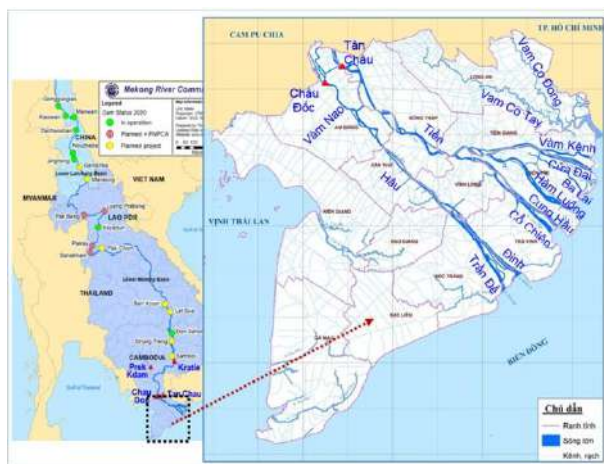
Ngày nhận bài: 14/5/2024

Ngày thông qua phản biện: 30/7/2024

Ngày duyệt đăng: 05/8/2024

Trong dự báo xâm nhập mặn, việc nghiên cứu quy luật thay đổi xâm nhập mặn theo các yếu tố tác động lên nó đóng vai trò quan trọng hàng đầu. Các quy luật, đặc điểm của mối quan hệ này đã được nghiên cứu từ rất lâu trên thế giới (Savenije, [2]) và vẫn tiếp tục cho đến ngày nay.

Đối với ĐBSCL, nghiên cứu xâm nhập mặn cũng đã được tiến hành khá sớm, và ngày càng phát triển sâu rộng hơn. Khởi đầu từ rất sớm, vào những năm 1980’s của thế kỷ trước với các nghiên cứu dự báo xâm nhập mặn của Ủy hội Mê Công quốc tế (MRC), tiếp theo là hàng loạt nghiên cứu với nhiều vấn đề khác nhau liên quan đến XNM... Một đặc điểm chung của hầu hết nghiên cứu về xâm nhập mặn trước đây là khảo cứu đặc tính thủy động lực của quá trình xâm nhập mặn, với công cụ là mô hình toán (một chiều (1D) và hai chiều ngang (2D)), xem [3], [7]. Gần đây, một số nghiên cứu dự báo mặn theo phương pháp học máy (Giang và nnk, [5]) đã được thực hiện, tuy kết quả còn hạn chế nhưng đã cho thấy một hướng đi mới có tiềm năng trong nghiên cứu xâm nhập mặn.



Hình 1: Sơ họa một phần lưu vực sông Mê Công, sông Cửu Long và các cửa sông chính

Khác với những nghiên cứu hiện nay, chúng tôi đã tiến hành nghiên cứu xâm nhập mặn ở ĐBSCL (Hình 1) theo hướng mới, trong đó đi

sâu xem xét tác động của các yếu tố ảnh hưởng đến mức độ xâm nhập, thông qua xây dựng các mối quan hệ giữa XNM với các yếu tố tác động, cụ thể là xem xét quan hệ giữa chiều dài xâm nhập mặn với hai yếu tố tác động chính là dòng chảy và thủy triều. Khung thời gian xem xét mối quan hệ này là mùa khô (thời kỳ xâm nhập mặn quan trọng nhất ở ĐBSCL). Chi tiết nghiên cứu được trình bày dưới đây.

2. VẤN ĐỀ, PHƯƠNG PHÁP VÀ NGUỒN SỐ LIỆU NGHIÊN CỨU

2.1. Vấn đề nghiên cứu

Xâm nhập mặn trên các sông thường phụ thuộc chủ yếu vào các yếu tố chính: địa hình lòng dẫn sông, hoạt động triều cửa sông, dòng nước ngọt đổ về cửa sông và sử dụng nước (lấy nước) trên vùng này. Trong trường hợp địa hình lòng dẫn ít biến đổi, sự thay đổi xâm nhập mặn hàng năm phụ thuộc chính vào dòng chảy nước ngọt về Đồng bằng, sử dụng nước ngọt trên Đồng bằng và triều. Nếu trong thời kỳ nghiên cứu việc sử dụng nước (lấy nước ngọt) ít thay đổi thì xâm nhập mặn có thể được khảo cứu qua hai yếu tố tác động là dòng chảy về cửa sông và thủy triều ven biển (tại vị trí cửa sông).

Về mặt lý thuyết, không gian xâm nhập mặn (chiều dài xâm nhập mặn) trên sông tỷ lệ với lưu lượng về cửa sông và triều trong thời gian tác động hiệu quả của hai yếu tố tác động đó. Ở đây, thời gian tác động hiệu quả là quãng thời gian mà yếu tố tác động phát huy tác dụng của nó, với các cửa sông thời gian này có thể từ vài ngày đến vài tháng. Việc xác định thời gian hiệu quả có thể sử dụng lý thuyết lan truyền các nguồn nước trong hệ thống sông kênh [4].

Khảo cứu thực tế xâm nhập mặn tại các cửa sông Cửu Long cho thấy có xu thế mang tính quy luật rất mạnh, rõ ràng giữa chiều dài xâm nhập mặn lớn nhất trên các cửa sông trong mùa khô với dòng chảy mùa khô tại trạm Kratie (đầu châu thổ Mê Công, thuộc

Campuchia) và triều ven biển trong thời gian này, [7]. Biểu hiện dễ thấy là năm có dòng chảy mùa khô càng lớn thì chiều dài xâm nhập mặn càng bé, triều càng cao thì xâm nhập mặn càng sâu (chiều dài xâm nhập mặn càng lớn). Điều này là quy luật thủy động lực, tuy vậy việc phân tích định lượng mối quan hệ này trên Đồng bằng vẫn còn chưa có nghiên cứu nào chỉ ra.

Đối với quản lý nước trên Đồng bằng, chiều dài xâm nhập mặn lớn nhất trên mỗi sông ứng với một độ mặn tham chiếu (ngưỡng mặn) nào đó là thông số rất quan trọng, nó phản ánh khả năng rủi ro theo không gian của mặn đối với cây trồng. Trên thực tế, về cơ bản mỗi năm sẽ có một trị số chiều dài XNM lớn nhất ứng với mỗi ngưỡng mặn. Ở ĐBSCL trị số này thường xảy ra từ tháng 2 - tháng 4 hàng năm. Theo mục đích sử dụng nguồn nước, chiều dài XNM 4 g/l cho ta biết không gian giới hạn an toàn với cây trồng có sức chịu mặn cao đến 4g/l và ranh mặn 1g/l cho ta biết không gian giới hạn an toàn với cây trồng có sức chịu mặn thấp cỡ 1g/l, trong khi đó chiều dài XNM 0,25g/l lại quan trọng đối với khả năng cung cấp nước uống. Nghiên cứu này cũng sẽ xem xét xâm nhập mặn với thông số đại diện là ngưỡng mặn 4g/l và 1g/l, là hai ngưỡng mặn được dùng phổ biến trong quản lý nước sản xuất hiện nay ở ĐBSCL. Theo đó, việc nghiên cứu xâm nhập mặn sẽ thông qua nghiên cứu mối quan hệ giữa chiều dài XNM lớn nhất ứng với ngưỡng 4g/l và 1g/l theo sự thay đổi tổng lượng dòng chảy mùa khô về Đồng bằng và triều ven biển.

2.2. Nguồn số liệu

Nguồn số liệu trong nghiên cứu này được sử dụng bao gồm: (1) số liệu quan trắc mực nước tại trạm Kratie của Ủy hội sông Mê Công quốc tế [1]; (2) số liệu mực nước triều ở các trạm ven biển, nguồn quốc gia; (3) số liệu quan trắc độ mặn ở các trạm trên Đồng bằng từ nguồn quốc gia và Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam [6].

Thời kỳ số liệu được sử dụng trong nghiên cứu kéo dài từ 2015 – 2023. Đây là thời kỳ nguồn số liệu có chất lượng khá tốt và cũng là thời kỳ thủy điện Trung Quốc đã đi vào hoạt động đầy đủ, theo đó đã tạo nên chế độ dòng chảy mùa khô về Đồng bằng thay đổi rất lớn, khác nhiều so với trước thời gian này.

2.3. Phương pháp và công cụ nghiên cứu

Như đã nêu ở mục 2.1, bài toán đặt ra là xác định chiều dài lớn nhất của các ngưỡng mặn 4g/l và 1g/l ứng với dòng chảy mùa khô đầu châu thổ Mê Công (tại trạm Kratie) và mực nước đỉnh triều ở ven biển ĐBSCL.

Phương trình chiều dài xâm nhập mặn lớn nhất cho từng nhánh sông Cửu Long và Vàm Cỏ theo các yếu tố ảnh hưởng cho mùa khô năm i có thể viết dưới dạng:

$$L_{4,\max}(i) = f_4(W_{T12-T4}(i), Z_{tr,T}(i), Z_{tr,H}(i)) \quad (1)$$

$$L_{1,\max}(i) = f_1(W_{T12-T4}(i), Z_{tr,T}(i), Z_{tr,H}(i)) \quad (2)$$

Trong đó: $L_4(i)$, $L_1(i)$ là chiều dài xâm nhập mặn lớn nhất ứng với ngưỡng mặn 4g/l và 1g/l của mùa khô thứ i ; $W_{T12-T4}(i)$ là tổng lượng dòng chảy mùa khô thứ i (tính từ tháng 12 đến tháng 4 (năm sau)) tại trạm Kratie; $Z_{tr,T}(i)$, $Z_{tr,H}(i)$ là mực nước thủy triều tính toán trong khoảng tháng 2 đến tháng 4 tại mỗi cửa sông trên Đồng bằng ở mùa khô thứ i trên các nhánh sông Tiền (ký hiệu là “T”) và trên các nhánh sông Hậu (ký hiệu là “H”).

Phương trình trên có 3 biến yếu tố ảnh hưởng là $W_{T12-T4}(i)$, $Z_{tr,T}(i)$, $Z_{tr,H}(i)$. Về lý thuyết, do hoạt động triều ở bất kỳ một cửa sông nào của sông Cửu Long (sông Tiền và sông Hậu) cũng ảnh hưởng đến chế độ thủy lực trên toàn hệ thống sông Cửu Long, do đó thủy triều trên tất cả các cửa sông Cửu Long đều ảnh hưởng đến xâm nhập mặn trên bất kỳ cửa sông nào của Đồng bằng. Tuy vậy, triều ở các cửa sông Tiền khá giống nhau và triều các cửa sông Hậu cũng vậy, nên trong khi xem xét số biến trong phương trình hồi quy XNM trên một nhánh sông nào đó của sông Tiền, gần đúng ta chỉ

cần lấy triều ở tại cửa của nhánh sông đó (gọi là biên triều trực tiếp) và triều đại diện ở sông còn lại (sông Hậu, gọi là biên triều gián tiếp). Thực hiện tương tự khi xây dựng phương trình hồi quy XNM cho các nhánh thuộc sông Hậu. Đối với các nhánh sông Vàm Cỏ (Vàm Cỏ Tây, Vàm Cỏ Đông) cũng làm tương tự, nhưng lấy triều tại Vàm Kênh để thay cho triều tại cửa Soài Rạp (do trạm Vàm Kênh gần trạm Soài Rạp). Nhờ cách gần đúng như vậy nên phương trình hồi quy có dạng đơn giản như (1) và (2).

Việc xác định mối quan hệ $L_{4,max}(i)$ và $L_{1,max}(i)$ theo phương trình (1) và (2) với các yếu tố tác động $W_{T12-T4}(i)$, $Z_{tr}(i)$ có thể sử dụng một số phương pháp. Phương pháp khá phổ biến là mô hình toán thủy động lực XNM. Phương pháp này có thể xem xét được chi tiết nhiều khía cạnh của vấn đề XNM, tuy vậy việc xây dựng được mô hình tin cậy cho toàn ĐBSCL là vấn đề không đơn giản, đòi hỏi số liệu lớn về địa hình và khí tượng thủy văn (KTTV), các hoạt động liên quan đến nước trên đồng bằng (sử dụng nước, hồi quy nước, hệ thống công trình thủy lợi...) và cả kinh nghiệm sử dụng mô hình lẫn sự hiểu biết về chế độ nước trên Đồng bằng và Châu thổ Mê Công. Trong khi đó, phương pháp thống kê (hồi quy) lại có thể thực hiện khá dễ dàng, không đòi hỏi nhiều số liệu như mô hình thủy động lực, nhưng hạn chế là khó đưa ra được nhiều loại thông tin một cách chi tiết, và lại cần nhiều số liệu quan trắc/đo đạc thực tế về mặn, dòng chảy (về Đồng bằng) và mực nước thủy triều. Đặc biệt, nếu chỉ quan tâm một số vấn đề, chẳng hạn quy mô XNM theo các yếu tố tác động thì phương pháp thống kê cũng có

thể đáp ứng và phản ánh tính quy luật rõ ràng, dễ phân tích và dễ sử dụng.

Trong thời gian qua, để phục vụ sản xuất và nghiên cứu, nhiều đề tài, dự án, công việc có liên quan đến việc quan trắc số liệu mặn và triều đã thực hiện trên Đồng bằng, đặc biệt là trong khoảng hơn 10 năm gần đây. Nguồn số liệu này có thể phục vụ tốt cho cả hai phương pháp nghiên cứu XNM nêu trên.

Với mục đích xây dựng mối quan hệ dạng (1) và (2), phương pháp thống kê (hồi quy) sẽ được lựa chọn trong nghiên cứu này.

Để xây dựng phương trình hồi quy dạng (1) và (2) cho mỗi cửa sông ở ĐBSCL, nghiên cứu đã tiến hành theo các bước nội dung: (1) Thống kê số liệu độ mặn mùa tại các trạm đo trên cửa sông, tính toán tìm ra chiều dài XNM lớn nhất cho từng ngưỡng mặn 4g/l và 1g/l; (2) Tính tổng lượng dòng chảy mùa khô từ tháng 12 đến tháng 4 tại trạm Kratie; và (3) Tìm mực nước triều tại vị trí cửa sông tương ứng với thời gian xuất hiện độ mặn lớn nhất; (4) Xây dựng phương trình hồi quy đa biến (2 biến) cho mỗi cửa sông Cửu Long. Trong đó, tổng lượng dòng chảy mùa khô tại trạm Kratie sẽ dùng chung cho xây dựng các phương trình XNM của tất cả các cửa sông.

Có thể có một số dạng phương trình hồi quy biểu thị mối quan hệ giữa chiều dài xâm nhập mặn theo các yếu tố ảnh hưởng, dạng phương trình phù hợp phụ thuộc cơ chế tác động của yếu tố ảnh hưởng đối với chiều dài XNM. Trong số các dạng phương trình phù hợp, để đơn giản, quan hệ tuyến tính thường được lựa chọn, có dạng:

$$L_{4,max} = k_{W,4} * W_{T12-T4}(i) + k_{Ztr,T,4} * Z_{tr,T}(i) + k_{Ztr,H,4} * Z_{tr,H}(i) + C_4 \quad (3)$$

$$L_{1,max} = k_{W,1} * W_{T12-T4}(i) + k_{Ztr,T,1} * Z_{tr,T}(i) + k_{Ztr,H,1} * Z_{tr,H}(i) + C_1 \quad (4)$$

Trong nghiên cứu này, qua khảo cứu, cho thấy quan hệ tuyến tính phù hợp khá tốt với hiện tượng nghiên cứu nên được lựa chọn để xây dựng các phương trình xâm nhập mặn trên các

sông Đồng bằng. Việc phân tích theo các bước nêu trên không có gì đặc biệt, còn việc xây dựng hàm hồi quy đa biến sẽ sử dụng chức năng phân tích dữ liệu trong phần mềm Excel.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả tính toán tổng lượng dòng chảy mùa khô về Đồng bằng, mực nước triều cửa sông, chiều dài xâm nhập mặn trên các sông

Kết quả tính toán tổng lượng dòng chảy mùa khô tại trạm Kratie trong thời gian từ tháng 12 đến tháng 4 cho liệt năm 2015-2023 được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1: Tổng lượng dòng chảy mùa khô thời kỳ 2015-2023

Năm	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
$W_{k_{T12-T4}}$ (i) tại trạm Kratie (tỷ m ³)	53,29	42,11	64,12	64,18	63,33	36,63	48,16	55,19	52,47

Kết quả tính toán mực nước triều mùa khô (trung ứng thời điểm đạt chiều sâu XNM lớn nhất theo các ngưỡng 4g/l và 1g/l), chiều sâu XNM lớn nhất theo các ngưỡng 4g/l và 1g/l của mỗi nhánh sông cho thời gian 2015-2023, được trình bày trong Bảng 2 ÷ Bảng 9.

Bảng 2: Kết quả tính toán mực nước triều, chiều dài xâm nhập mặn cửa sông Vàm Cỏ Đông

Năm	Z Vàm Kênh (T2-T4) max (cm)	Z tb đỉnh triều Trần Đề (3-5 ngày trước Smax), (cm)	L1 max (km)	L4 max (km)
2015	152,0	149,0	105,0	87,6
2016	148,0	172,7	113,6	106,7
2017	151,0	149,0	90,3	67,0
2018	169,0	162,0	86,3	67,0
2019	153,0	144,0	96,8	76,8
2020	154,0	162,3	112,7	98,8
2021	168,0	160,3	102,9	82,4
2022	161,0	188,3	82,9	63,5
2023	144,6	178,1	91,7	68,5

Bảng 3: Kết quả tính toán mực nước triều, chiều dài xâm nhập mặn cửa sông Vàm Cỏ Tây

Năm	Z Vàm Kênh (T2-T4) max (cm)	Z tb đỉnh triều Trần Đề (3-5 ngày trước Smax), (cm)	L1 max (km)	L4 max (km)
2015	152,0	149,0	116,6	88,1
2016	148,0	172,7	161,5	128,6
2018	169,0	162,0	72,0	54,6
2019	153,0	144,0	97,0	71,1
2020	154,0	162,3	236,5	215,5
2021	168,0	160,3	117,0	90,3
2022	161,0	188,3	83,0	62,1
2023	144,6	178,1	85,0	61,7

Bảng 4: Kết quả tính toán mực nước triều, chiều dài xâm nhập mặn cửa sông Cửa Tiểu

Năm	Z Vàm Kênh (T2-T4) max (cm)	Z tb đỉnh triều Trần Đề (3-5 ngày trước Smax), (cm)	L1 max (km)	L4 max (km)
2015	152,0	149,0	54,0	44,2
2016	148,0	167,3	76,0	48,0
2017	151,0	140,7	46,0	36,8
2018	169,0	161,3	50,3	39,5
2019	153,0	144,0	44,5	35,1
2020	154,0	145,3	100,7	90,7
2021	168,0	169,0	56,2	46,3
2022	161,0	176,7	48,2	36,0
2023	144,6	171,1	54,0	39,9

Bảng 5: Kết quả tính toán mực nước triều, chiều dài xâm nhập mặn cửa sông Cửa Đại

Năm	Z Bình Đại (T2-T4) max (cm)	Z tb đỉnh triều Trần Đề (3-5 ngày trước Smax), (cm)	L1 max (km)	L4 max (km)
2015	158,0	149,0	60,4	50,5
2016	162,0	145,3	64,0	52,8
2017	166,0	149,0	54,4	45,0
2018	184,0	161,3	53,3	41,3
2019	161,0	155,3	48,0	39,7
2020	167,0	162,3	73,0	67,1
2021	158,0	169,0	58,3	47,3
2022	167,0	188,3	52,2	41,4
2023	156,8	156,2	53,2	43,7

Bảng 6: Kết quả tính toán mực nước triều, chiều dài xâm nhập mặn cửa sông Hàm Luông

Năm	Z An Thuận (T2-T4) max (cm)	Z tb đỉnh triều Trần Đề (3-5 ngày trước Smax), (cm)	L1 max (km)	L4 max (km)
2015	152,0	149,0	65,8	52,0
2016	168,0	145,3	80,9	72,0
2017	168,0	156,3	56,0	43,6
2018	181,0	161,0	57,6	46,4
2019	155,0	175,0	58,7	45,7
2020	165,0	153,7	88,0	80,0
2021	149,0	169,0	72,4	61,7
2022	168,0	188,3	70,4	60,8
2023	154,9	122,2	66,7	54,5

Bảng 7: Kết quả tính toán mực nước triều, chiều dài xâm nhập mặn cửa sông Cổ Chiên

Năm	Z Bến Trại (T2-T4) max (cm)	Z tb đỉnh triều Trần Đề (3-5 ngày trước Smax), (cm)	L1 max (km)	L4 max (km)
2015				
2016	168,0	147,7	75,0	61,1
2017	171,0	145,0	65,0	48,8
2018	185,0	162,0	59,9	45,4
2019	159,0	175,0	63,2	45,5
2020	167,0	159,3	78,9	65,9
2021	157,0	160,3	70,8	50,3
2022	174,0	176,7	63,2	48,8
2023	162,9	156,0	68,8	52,1

Bảng 8: Kết quả tính toán mực nước triều, chiều dài xâm nhập mặn cửa sông Định An

Năm	Z Trần Đề (T2-T4) max (cm)	Z tb đỉnh triều Vàm Kênh (3-5 ngày trước Smax), (cm)	L1 max (km)	L4 max (km)
2015	203,0	69,7	56,5	46,3
2016	206,0	105,7	64,0	57,3
2017	208,0	99,7	58,0	47,7
2018	225,0	109,3	52,5	43,3
2019	206,0	101,3	53,8	46,5
2020	215,0	106,7	70,0	60,5
2021	206,0	89,3	62,0	50,8
2022	211,0	135,7	57,1	46,3
2023	205,6	85,2	60,5	50,1

Bảng 9: Kết quả tính toán mực nước triều, chiều dài xâm nhập mặn cửa sông Trần Đề

Năm	Z Trần Đề (T2-T4) max (cm)	Z tb đỉnh triều Vàm Kênh (3-5 ngày trước Smax), (cm)	L1 max (km)	L4 max (km)
2015	203,0	69,7	58,3	47,8
2016	206,0	105,7	72,5	65,0
2017	208,0	99,7	56,6	45,9
2018	225,0	109,3	54,7	43,6
2019	206,0	101,3	53,8	41,8
2020	215,0	106,7	72,5	65,0
2021	206,0	89,3	68,0	50,0
2022	211,0	135,7	58,7	46,9
2023	205,6	85,2	63,6	50,8

3.2. Kết quả xây dựng các phương trình hồi quy chiều dài xâm nhập mặn lớn nhất theo các ngưỡng mặn với các yếu tố tác động

Từ các số liệu được liệt kê trong các Bảng 1 đến Bảng 9, xây dựng các phương trình quan hệ giữa chiều dài xâm nhập mặn lớn nhất ứng với ngưỡng 1g/l và 4g/l theo tổng lượng dòng chảy

tháng 12 - tháng 4 tại trạm Kratie (W_{T12-T4}), mực nước triều lớn nhất (trong khoảng thời gian tháng 2 đến tháng 4, là thời gian xảy ra xâm nhập mặn lớn nhất) và mực nước triều trung bình đỉnh triều trước 3-5 ngày đạt độ mặn lớn nhất tại các cửa sông gián tiếp ảnh hưởng. Kết quả trình bày ở Bảng 10 và Bảng 11.

Bảng 10: Các phương trình quan hệ giữa chiều dài xâm nhập mặn lớn nhất (km) ứng với ngưỡng 1g/l theo tổng lượng dòng chảy tháng 12-tháng 4 tại trạm Kratie ($W_{k, T12-T4}$, tỷ m^3) và mực nước triều các trạm cửa sông Cửu Long (cm)

Cửa sông	Phương trình quan hệ	Lượng biến động lớn nhất (Delta)	Hệ số quan hệ
S. Vàm Cỏ Đông	$L1 = 248,53 - 1,0671 * W_{T12-T4} - 0,1675 * Zvk - 0,4165 * Ztd$	6,72	$R^2 = 0,92$
S. Vàm Cỏ Tây	$L1 = 592,97 - 5,4591 * W_{T12-T4} + 0,1023 * Zvk - 1,2421 * Ztd$	31,11	$R^2 = 0,87$
S. Cửa Tiểu	$L1 = 194,94 - 1,8117 * W_{T12-T4} + 0,2032 * Zvk - 0,4496 * Ztd$	9,78	$R^2 = 0,88$
S. Cửa Đại	$L1 = 73,74 - 0,7594 * W_{T12-T4} + 0,2935 * Zbd - 0,1512 * Ztd$	3,33	$R^2 = 0,89$
S. Hàm Luông	$L1 = 98,41 - 1,1503 * W_{T12-T4} + 0,1129 * Zat + 0,0826 * Ztd$	1,42	$R^2 = 0,99$
S. Cổ Chiên	$L1 = 139,02 - 0,5202 * W_{T12-T4} - 0,1257 * Zbt - 0,1379 * Ztd$	1,91	$R^2 = 0,97$
S. Định An	$L1 = 86,07 - 0,5122 * W_{T12-T4} - 0,0012 * Ztd + 0,0084 * Zvk$	4,18	$R^2 = 0,85$
S. Trần Đề	$L1 = 100,48 - 0,7168 * W_{T12-T4} - 0,0032 * Ztd + 0,0045 * Zvk$	3,67	$R^2 = 0,91$

Ghi chú: Zvk, Zbd, Zat, Zbt, Ztd : lần lượt là mực nước triều tại các trạm Vàm Kênh, Bình Đại, An Thuận, Bến Trại, Trần Đề.

Bảng 11: Các phương trình quan hệ chiều dài xâm nhập mặn lớn nhất (km) ứng với ngưỡng 4g/l theo các yếu tố dòng chảy ($W_{k, T12-T4}$, tỷ m^3) và mực nước triều các trạm cửa sông Cửu Long (cm)

Cửa sông	Phương trình quan hệ	Lượng biến động lớn nhất (Delta)	Hệ số quan hệ
S. Vàm Cỏ Đông	$L4 = 238,27 - 1,4771 * W_{T12-T4} - 0,0324 * Zvk - 0,4591 * Ztd$	14,66	$R^2 = 0,81$
S. Vàm Cỏ Tây	$L4 = 507,82 - 5,3097 * W_{T12-T4} + 0,3321 * Zvk - 1,1392 * Ztd$	35,98	$R^2 = 0,82$
S. Cửa Tiểu	$L4 = 159,34 - 1,6605 * W_{T12-T4} + 0,5228 * Zvk - 0,6695 * Ztd$	8,96	$R^2 = 0,86$
S. Cửa Đại	$L4 = 73,73 - 0,8177 * W_{T12-T4} + 0,2663 * Zbd - 0,1648 * Ztd$	5,69	$R^2 = 0,82$
S. Hàm Luông	$L4 = 74,74 - 1,333 * W_{T12-T4} + 0,2172 * Zat + 0,1168 * Ztd$	2,12	$R^2 = 0,99$

S. Cỏ Chiên	$L4 = 88,81 - 0,6511 * W_{T12-T4} + 0,1058 * Zbt - 0,1228 * Ztd$	4,11	$R^2 = 0,91$
S. Định An	$L4 = 78,41 - 0,5203 * W_{T12-T4} - 0,0142 * Ztd + 0,0212 * Zvk$	3,46	$R^2 = 0,83$
S. Trần Đề	$L4 = 73,89 - 0,8171 * W_{T12-T4} + 0,0842 * Ztd + 0,0275 * Zvk$	5,27	$R^2 = 0,87$

Kết quả tính toán cho thấy hệ số quan hệ R^2 của các phương trình hồi quy khá cao ($R^2 = 0,81 \div 0,99$), cho thấy chiều dài xâm nhập mặn ứng với các ngưỡng mặn trên các nhánh sông Cửu Long, Vàm Cỏ có quan hệ tốt với các yếu tố tác động chính là tổng lượng dòng chảy mùa khô về Đồng bằng và hoạt động triều ven biển, phù hợp với quy luật chung phổ quát của hiện tượng xâm nhập mặn ở các đồng bằng cửa sông.

Tuy vậy, do số liệu để xây dựng phương trình quan hệ chưa nhiều và số năm dòng chảy có lượng nước vừa phải trong liệt số liệu cũng còn ít, nên các phương trình hồi quy nêu trong các Bảng 10 và Bảng 11 cần được cập nhật thêm trong tương lai để tăng thêm độ tin cậy, lúc đó các phương trình quan hệ này sẽ thể hiện tốt hơn tính quy luật của xâm nhập mặn theo các yếu tố tác động.

Cũng xin lưu ý rằng, nghiên cứu này đã giả thiết việc sử dụng nước trên Đồng bằng được xem là ổn định, không thay đổi lớn giữa các năm và và trong mùa khô, do đó có thể coi là hằng số trong cả liệt thời gian (với bước thời gian xem xét là năm) và không coi là một biến yếu tố ảnh hưởng (1 biến số) khi xây dựng phương trình quan hệ. Tuy vậy, vấn đề này cũng cần được khảo cứu đầy đủ hơn sau này. Ngoài ra, yếu tố địa hình lòng dẫn trong chuỗi thời gian xem xét cũng được coi là ít biến đổi, nên chưa được xem xét tác động của nó trong quá trình xây dựng phương trình quan hệ.

Một khi tính quy luật đã được xây dựng (theo các phương trình trong Bảng 10 và Bảng 11),

việc dự báo ranh mặn cho Đồng bằng có thể thực hiện sớm, tạo ra thuận lợi đáng kể cho việc quản lý nước. Vấn đề này được trình bày trong một nghiên cứu khác.

4. KẾT LUẬN KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng được các phương trình quan hệ giữa chiều dài xâm nhập mặn lớn nhất với ngưỡng 1g/l và 4g/l theo tổng lượng dòng chảy tháng 12 đến tháng 4 tại trạm Kratie và mực nước triều tại các cửa sông Đồng bằng sông Cửu Long, được trình bày ở Bảng 10 và Bảng 11. Các phương trình đã thể hiện tốt quy luật xâm nhập mặn vùng cửa sông và phù hợp thực tế Đồng bằng, với hệ số quan hệ rất tốt ($R^2 = 0,81 \div 0,99$).

Các phương trình được ghi trong Bảng 10 và Bảng 11 có thể dùng để dự báo khả năng xâm nhập mặn cho ĐBSCL.

4.2. Kiến nghị

Chuỗi số liệu để khảo cứu xâm nhập mặn 2015-2023 có tính chọn lọc và cập nhật cao, tuy vậy vẫn còn khá ngắn, chưa phản ánh đầy đủ tính đại diện của liệt dòng chảy thượng lưu về Đồng bằng, do đó có thể dẫn đến các phương trình chưa đảm bảo phản ánh đầy đủ mối quan hệ giữa xâm nhập mặn và các yếu tố ảnh hưởng. Trong tương lai, khi số liệu này càng đầy đủ hơn, việc bổ sung tài liệu và cập nhật lại các phương trình quan hệ là cần thiết để nâng cao độ tin cậy, phục vụ tốt hơn cho thực tế. Ngoài ra, việc xem xét sử dụng nước vào phương trình quan hệ cũng cần bổ sung để có thể cải thiện thêm độ tin cậy của nó.

LỜI CẢM ƠN: Nội dung cơ bản của bài báo sử dụng kết quả của Đề tài nghiên cứu cấp Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn “Nghiên

cứ dự báo xâm nhập mặn và nguồn nước thời hạn dài phục vụ sản xuất và dân sinh vùng Đồng bằng sông Cửu Long”. Xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Mekong River Commission (MRC), Trang WEB của MRC: “<http://www.mrcmekong.org>”.
- [2] Savenjie (2005), *Salinity and tides in alluvial estuarines*, ELSEVIER.
- [3] Steven Chapra (2008), *Surface water quality modelling*, Mac.GrawHill, 848p.
- [4] Tăng Đức Thắng và Nguyễn Ân Niên (2003), “*Bài giảng về lý thuyết lan truyền nguồn nước trong hệ thống sông kênh*”.
- [5] Tien Giang Nguyen, Trung Duc Tran, Cong Thanh Nguyen, “*Optimizing the Long Short-Term Memory (LSTM) model by Bayesian method for salinity intrusion forecasting: a study at Dai Ngai station, Soc Trang province, Vietnam*”, Vietnam Journal of Marine Science and Technology 2023, 23(3) 223–232.
- [6] Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam (Báo cáo hàng năm), *Điều tra, giám sát xâm nhập mặn vùng đồng bằng sông Cửu Long phục vụ chỉ đạo điều hành sản xuất nông nghiệp*.
- [7] Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam (2021), Đề tài Nhà nước KC08.25/16-20: *Nghiên cứu diễn biến nguồn nước, chất lượng nước và đề xuất các giải pháp khai thác thích hợp nhằm nâng cao hiệu quả và hạn chế rủi ro thiên tai (hạn mặn) vùng nuôi thủy sản, trồng trọt ven biển đồng bằng sông Cửu Long*”, do Tăng Đức Thắng làm chủ nhiệm.