

MÔ PHỎNG DIỄN BIẾN MẶN TRONG HỆ THỐNG THỦY LỢI BẮC HUNG HẢI CHO KỊCH BẢN LẤY NƯỚC NGƯỢC TỪ SÔNG THÁI BÌNH

Trần Tuấn Thạch

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Nghiên cứu tập trung vào mô phỏng diễn biến độ mặn trong hệ thống thủy lợi Bắc Hưng Hải ứng với trong trường hợp lấy nước ngược từ sông Thái Bình. Chuỗi số liệu mực nước và độ mặn thực đo tại cống Cầu Xe và An Thổ trong thời kỳ từ 18-12-2020 đến 15-1-2021 được sử dụng để đánh giá chi tiết mối tương quan giữa độ mặn và mực nước sử dụng phân tích sóng con (wavelet analysis). Độ mặn tại An Thổ có mối tương quan chặt chẽ với mực nước trong khoảng thời gian 1 giờ đối với triều kém và 0,5 giờ đối với triều cường, trong khi đó giá trị trên là khoảng 2 giờ tại vị trí cống Cầu Xe. Module lan truyền chất của mô hình MIKE 11 đã được áp dụng để mô phỏng diễn biến mặn trong hệ thống ứng với kịch bản lấy nước ngược từ sông Thái Bình qua cống Cầu Xe và An Thổ với độ mặn tương ứng trong thời kỳ nêu trên. Kết quả mô phỏng thể hiện rằng xâm nhập mặn trong hệ thống truyền sâu vào trong nội địa trên sông chính Cửu An khoảng 24,92km, trong khi đó xâm nhập mặn tính toán trên sông Đình Đào là khoảng 18,90 km. Tại vị trí ngã ba nhập lưu giữa kênh Cầu Xe và kênh An Thổ, ngã ba nhập lưu giữa sông Đình Đào và sông Cửu An, giá trị độ mặn tính toán lần lượt bằng 0,5 và 0,35 PSU. Bên cạnh đó, ảnh hưởng của hệ số khuếch tán đến quá trình lan truyền mặn trong hệ thống cũng được đề cập đến trong nghiên cứu này.

Từ khoá: Hệ thống thủy lợi Bắc Hưng Hải, Độ mặn, Diễn biến mặn, Module lan truyền chất.

Summary: This paper presents simulation results of salinity in the Bac Hung Hai irrigation system in response to the scenario of taking water from the Thai Binh river. The time series of water level and salinity measured at Cau Xe and An Tho from 18-12-2020 to 15-01-2021 have been used to evaluate the correlation between salinity and water level using wavelet analysis. Salinity at An Tho has a strong correlation with water level in the duration of 1 hour for low tide and 0,5 hour for high tide, while the above value is about 2 hours at Cau Xe. The advection-dispersion module of the MIKE 11 model has been applied to simulate the salinity in the system for the scenario of taking water from the Thai Binh River through Cau Xe and An Tho with salinity in the above period. The simulation results show that saline in the system can intrude for a distance of up to 24,92 km in the Cuu An River, while the salinity intrusion length is about 18,90 km in the Dinh River. At the confluence between Cau Xe and An Tho and between Dinh Dao and Cuu An, the calculated salinity values are 0,5 and 0,35 PSU, respectively. The influence of the diffusion coefficient on the salt variation in the system was also investigated and discussed.

Keywords: Bac Hung Hai irrigation and drainage system, Salinity, Salinity variation, Advection-dispersion module.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Độ mặn là một thông số chất lượng nước quan trọng trong mô phỏng các quá trình thủy động lực, sinh thái, lan truyền chất [1, 2]. Trong các hệ thống thủy lợi, tính toán định lượng độ mặn

thường được xem xét một cách cẩn thận, bởi vì độ mặn trong nước sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến việc đảm bảo cấp nước tưới cho nông nghiệp. Ngoài ra, các thông tin về sự thay đổi độ mặn theo không gian và thời gian sẽ cung cấp những chỉ dẫn sinh thái quan trọng để nghiên cứu và đánh giá sự ảnh hưởng của các yếu tố thủy động lực, chu trình thủy văn, lan truyền chất [3]. Mặc dù, độ mặn đóng vai trò rất quan

Ngày nhận bài: 26/6/2023

Ngày thông qua phản biện: 17/7/2023

Ngày duyệt đăng: 11/8/2023

trọng trong việc cấp nước, nhưng hầu hết các hệ thống thủy lợi lại không có các số liệu đo đạc về độ mặn (có rất ít các trạm ở cửa sông, biển). Quá trình lan truyền mặn diễn biến phức tạp do chịu tác động của cả các yếu tố thủy động lực trong sông, thủy triều, quá trình hòa trộn giữa nước ngọt và nước biển, pha loãng do mưa, hoàn lưu, công trình thủy lực, hình thái lòng sông, kênh... Ngoài ra, đo đạc độ mặn cũng được thực hiện trong nhiều điều kiện dòng chảy khác nhau, chủ yếu là dòng chảy rôi và không ổn định, đôi khi đòi hỏi các bước thực hiện phức tạp.

Có nhiều phương pháp khác nhau có thể sử dụng để đo đạc và mô phỏng diễn biến độ mặn. Độ mặn có thể được xác định sử dụng phương pháp thu thập mẫu nước hiện trường, sau đó phân tích xác định độ mặn trong mẫu nước trong phòng thí nghiệm. Phương pháp xác định độ mặn này thường cho độ chính xác cao, nhưng thường đòi hỏi nhiều thời gian, chi phí và công sức. Độ mặn cũng có thể được xác định dựa trên phương pháp đo độ dẫn điện - nhiệt độ - độ sâu (CTD) trực tiếp tại vị trí quan trắc. Các cảm biến CTD được sử dụng thường xuyên trong quá trình khảo sát và giám sát tại hiện trường, đặc biệt đối với trường hợp cần xác định độ mặn theo chuỗi thời gian. Ngoài ra, các mô hình toán cũng thường được sử dụng để mô phỏng diễn biến mặn theo không gian và thời gian, bởi vì các mô hình này cho phép thay đổi các kịch bản mô phỏng một cách dễ dàng.

Mục tiêu chính của nghiên cứu này là mô phỏng diễn biến mặn trong hệ thống thủy lợi BHH ứng với kịch bản lấy nước ngược từ sông Thái Bình và sông Luộc sử dụng module lan truyền chất của mô hình MIKE 11. Số liệu quan trắc độ mặn chi tiết tại cống Cầu Xe và An Thổ trong khoảng thời gian từ ngày 18-12-2020 đến 15-01-2021 đã được sử dụng cho mục đích mô phỏng nêu trên. Hệ số lan truyền từ mô hình sau đó được sử dụng để mô phỏng và xác định sâu xâm nhập mặn trong hệ

thống trục sông, kênh nội địa với kịch bản lấy nước ngược.

2. HỆ THỐNG THỦY LỢI BẮC HUNG HẢI VÀ DỮ LIỆU THU THẬP

2.1. Hệ thống thủy lợi Bắc Hưng Hải



Hình 1: Sơ đồ hệ thống thủy lợi Bắc Hưng Hải

Bắc Hưng Hải (BHH) được biết đến là hệ thống thủy lợi lớn nhất vùng Đồng bằng châu thổ sông Hồng, với tổng diện tích tự nhiên là 214.932 ha, trong đó diện tích trong đê là 192.045 ha và diện tích ngoài đê là 22.887 ha [1]. Hệ thống được bao bọc bởi bốn con sông lớn (Hình 1): sông Đuống dài 67km từ Xuân Canh đến Phả Lại (ở phía Bắc), sông Luộc dài 72 km từ Hà Lão đến Quý Cao (ở phía Nam), sông Hồng dài 57 km từ Xuân Quan đến Hà Lão (ở phía Tây) và sông Thái Bình dài 73 km từ Phả Lại đến Quý Cao (ở phía Đông). Theo thiết kế, hệ thống thủy lợi BHH lấy nước từ sông Hồng qua cống Xuân Quan và tiêu tự chảy ra ngoài sông Luộc và sông Thái Bình bằng cống Cầu Xe và An Thổ, còn lại tiêu bằng động lực. Hệ thống thủy lợi BHH có mạng lưới sông, kênh nội địa khá dày đặc, nối thông với nhau tạo thành mạng lưới sông, kênh dẫn và tiêu nước khá thuận lợi. Một số sông trục chính trên hệ thống có thể kể đến như sông Kim Sơn, Điện Biên, Cửu An, Tây Kè Sắt, Nam Kè Sắt, Đĩnh Đào, Tràng Kỷ, Cầu Xe, An Thổ, Lương Tài, Thạch Khôi,

Quang Lăng, An Tảo, Hòa Bình và Bác Hồ. Trên các sông và kênh trục chính nêu trên, có 11 công chính (Xuân Quan, Báo Đáp, Kênh Cầu, Lực Điền, Bằng Ngang, Cống Tranh, Bá Thủy, Neo, Cầu Cát, Cầu Xe và An Thổ) làm nhiệm vụ điều tiết nước phục vụ tưới, tiêu trên hệ thống. Hệ thống còn có trên 800 công và 400 trạm bơm lớn nhỏ khác nhau để hỗ trợ lấy nước vào mùa khô cũng như tiêu nước vào mùa mưa được thuận lợi. Mùa khô kéo dài từ tháng XI đến tháng IV năm sau, mùa mưa duy trì từ tháng V đến tháng X [4, 5].

Hệ thống thủy lợi BHH được xây dựng từ năm 1959 với nhiệm vụ chính là tưới tiêu phục vụ sản xuất nông nghiệp. Kể từ sau khi có hồ Hòa Bình, mực nước sông Hồng hạ thấp, vào nhiều thời điểm cống Xuân Quang bị treo không lấy được nước. Để đảm bảo cấp nước tưới và hạn chế ảnh hưởng của việc thiếu nước, hệ thống đã tăng cường lấy nước ngược qua cống Cầu Xe, An Thổ để tưới cho vùng Nam hệ thống. Theo quy trình vận hành, việc lấy nước ngược chỉ thực hiện từ tháng XI đến tháng I năm sau để phục vụ công tác đả ải cho vụ Đông xuân. Hiện nay, việc lấy nước ngược còn phải thực hiện cả trong thời kỳ tưới dưỡng cho lúa (tháng III-IV). Một số nghiên cứu tính toán mực nước trên hệ thống đã được thực hiện sử dụng mô hình toán thủy lực [4, 5]. Tuy nhiên, các nghiên cứu nêu trên chưa đề cập đến mô phỏng diễn biến độ mặn trong hệ thống trong trường hợp lấy nước ngược từ sông Thái Bình qua cống Cầu Xe và An Thổ.

2.2 Dữ liệu thu thập

Để mô phỏng diễn biến độ mặn trong hệ thống thủy lợi BHH ứng với kịch bản lấy nước ngược từ sông Thái Bình qua cống Cầu Xe và An Thổ, chuỗi dữ liệu mực nước và độ mặn trong khoảng thời gian từ ngày 18-12-2020 đến 15-01-2021 đã được thu thập. Cụ thể, chuỗi số liệu mực nước tại Xuân Quan, Cầu Cát, Cầu Xe, An Thổ và tại các vị trí khác trong hệ thống đã được thu thập, trong khi đó chuỗi số liệu độ mặn trong khoảng thời gian

nêu trên được thu thập tại các vị trí Cầu Xe và An Thổ. Chi tiết về các số liệu độ mặn tại các vị trí nêu trên được trình bày chi tiết trong Mục 4.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Giới thiệu về module lan truyền mặn của mô hình MIKE 11

Module lan truyền chất của mô hình MIKE 11 đã được sử dụng để tính toán mô phỏng diễn biến mặn trong hệ thống thủy lợi BHH ứng với kịch bản lấy nước ngược từ sông Thái Bình và Luộc. Phương trình lan truyền khuếch tán module (AD) của MIKE 11 có dạng như sau [6]:

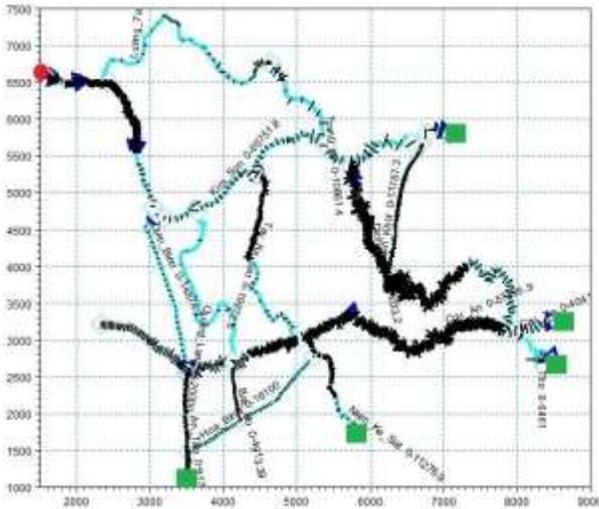
$$\frac{\partial(AS)}{\partial t} + \frac{\partial(QS)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial S}{\partial x} \right) = 0 \quad (1)$$

Trong đó: S là kí hiệu độ mặn (PSU), D là hệ số khuếch tán (m^2/s), Q là lưu lượng dòng chảy (m^3/s). Hệ số khuếch tán có thể được mô hình hóa là hàm của vận tốc dòng chảy hoặc là hằng số. Đối với mô tả lan truyền chất trên các kênh, sông của hệ thống thủy lợi, giá trị đặc trưng của hệ số khuếch tán thường thay đổi từ 1 đến $20 m^2/s$ [6].

3.3. Thiết lập mô hình MIKE 11 cho hệ thống nghiên cứu

Hình 2 thể hiện sơ đồ thiết lập mô hình MIKE 11 cho hệ thống thủy lợi BHH, bao gồm vị trí các mặt cắt trên 15 trục sông, kênh chính của hệ thống, vị trí biên thượng lưu và các biên hạ lưu. Chi tiết về các sông chính, số lượng các mặt cắt trên các sông chính thiết lập trong mô hình tham khảo trong các nghiên cứu trước đây [4, 5]. Lưu ý rằng, quy trình vận hành của các cống trong hệ thống cũng đã được thiết lập trong mô hình nhằm thể hiện một cách chính xác hiện trạng thực tế của hệ thống. Trong tính toán thủy lực, mực nước tại cống đầu mỗi Xuân Quan đã được sử dụng là dữ liệu tại vị trí biên thượng lưu, trong khi mực nước tại các cống Cầu Cát, Cầu Xe và An Thổ được sử dụng làm dữ liệu đầu vào tại các vị trí biên hạ lưu. Mặt khác, trong mô phỏng diễn biến mặn,

độ mặn tại biên thượng lưu bằng không. Độ mặn tại Cầu Xe và An Thổ sử dụng độ mặn đo đạc trong khoảng thời gian từ ngày 18-12-2020 đến 15-01-2021. Để đảm bảo ổn định, bước thời gian $\Delta t = 30$ giây đã được lựa chọn cho cả mô phỏng thủy lực và diễn biến lan truyền mặn trong hệ thống.



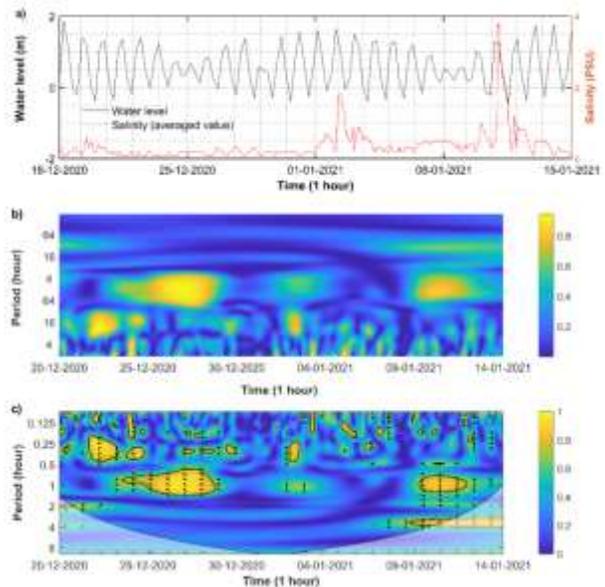
Hình 2: Sơ đồ thiết lập mô hình cho hệ thống thủy lợi BHH, vị trí mặt cắt, biên thượng và hạ lưu

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

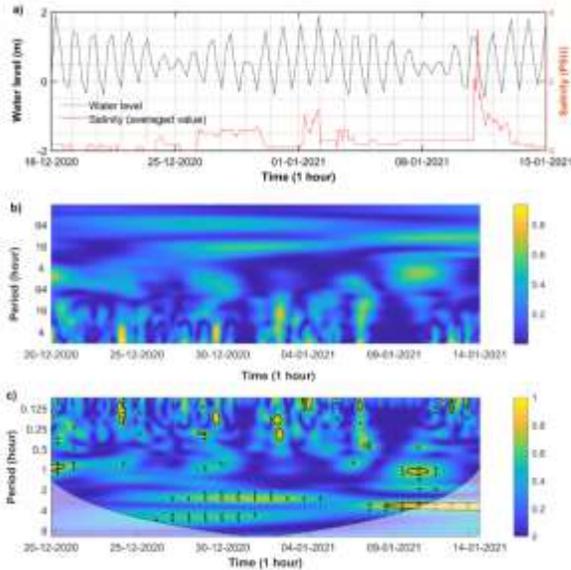
4.1. Quan hệ giữa độ mặn và mực nước

Hình 3 thể hiện phân tích sóng con (wavelet analysis) của chuỗi số liệu độ mặn và mực nước trong khoảng thời gian từ ngày 18-12-2020 đến 15-01-2021 tại vị trí cống An Thổ. Độ mặn có xu hướng lớn trong thời kỳ triều cường và nhỏ trong thời kỳ triều kém (Hình 3a). Giá trị độ mặn lớn nhất ghi nhận tại vị trí cống An Thổ trong khoảng thời gian đo đạc lên đến gần 4 PSU. Phổ phân bố độ mặn thể hiện chu kỳ biến đổi của độ mặn thay đổi trong khoảng thời gian từ 4 giờ đến 2,6 ngày (Hình 3b). Kết quả phân tích sóng con của chuỗi số liệu độ mặn và mực nước trong khoảng thời gian đo đạc thể hiện rằng độ mặn tại vị trí cống An Thổ có xu hướng tương quan với mực nước trong khoảng thời gian với biên độ là giờ (Hình 3c). Cụ thể, trong thời kỳ triều kém, sự lệch pha của độ mặn và mực nước khoảng 1 giờ, trong khi đó khoảng thời gian lệch pha giữa độ mặn và mực

nước triều là 0,5 giờ trong thời kỳ triều cường. Điều đó thể hiện ảnh hưởng của thủy triều đối với quá trình khuếch tán và pha trộn giữa nước ngọt và nước mặn trong các thời kỳ triều cường và triều kém. Lưu ý rằng, các mũi tên trong Hình 3c thể hiện mối quan hệ về pha giữa độ mặn và mực nước triều, với mũi tên hướng xuống hoặc hướng lên biểu thị mực nước ảnh hưởng chính lên độ mặn và mũi tên chỉ sang trái (hoặc phải) cho biết độ mặn ngược pha (hoặc cùng pha) với mực nước triều. Tương tự, tại vị trí Cầu Xe, phân tích sóng con của chuỗi số liệu độ mặn và mực nước trong khoảng thời gian đo đạc được thể hiện trên Hình 4. Giá trị độ mặn lớn nhất tại cống Cầu Xe trong thời gian đo đạc là 3,5 PSU. Phổ phân bố độ mặn tại Cầu Xe thể hiện chu kỳ biến đổi của độ mặn chủ yếu từ trong khoảng thời gian nhỏ hơn 16 giờ (Hình 4b). Quan hệ giữa độ mặn và mực nước trong khoảng thời gian đo đạc (Hình 4c) thể hiện rằng độ mặn tại vị trí cống Cầu Xe có tương quan với mực nước trong khoảng thời gian với biên độ khoảng 2 giờ. Điều đó có nghĩa rằng thời gian cho quá trình khuếch tán lan truyền nước biển cũng như quá trình pha trộn giữa nước ngọt và nước biển tại vị trí cống Cầu Xe sẽ dài hơn so với vị trí cống An Thổ.



Hình 3: Diễn biến: a) độ mặn và mực nước theo thời gian, b) phổ phân bố mặn và c) phổ quan hệ giữa độ mặn và mực nước tại An Thổ

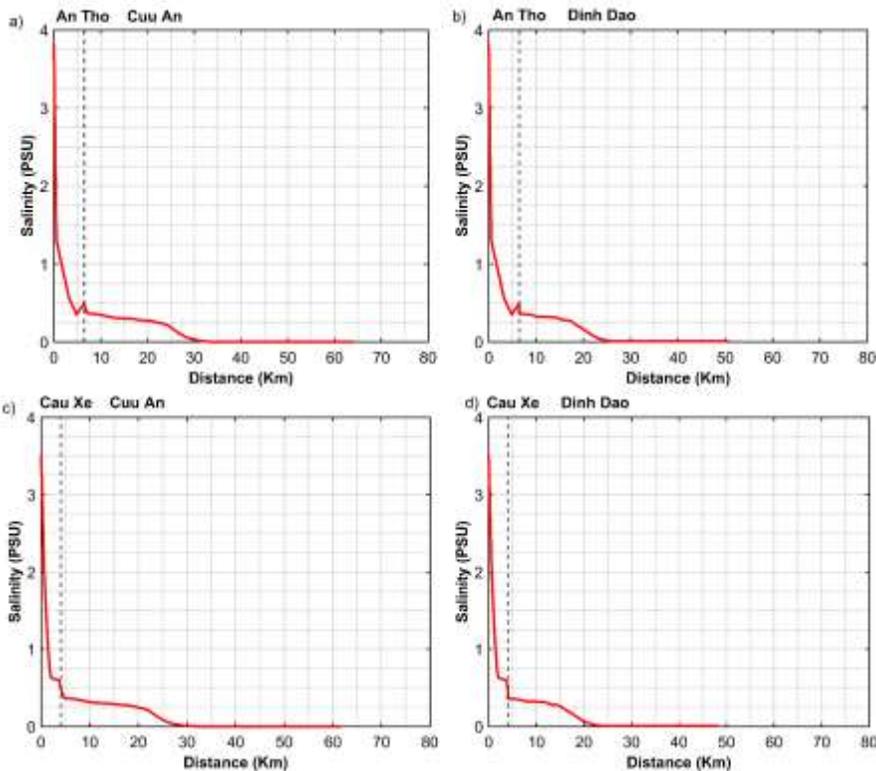


Hình 4: Diễn biến: a) độ mặn theo thời gian, b) phổ phân bố mặn và c) phổ quan hệ giữa độ mặn và mực nước tại Cầu Xe

4.2. Kết quả mô phỏng diễn biến mặn trong hệ thống ứng với kịch bản lấy nước ngược

Để mô phỏng diễn biến mặn trong hệ thống thủy

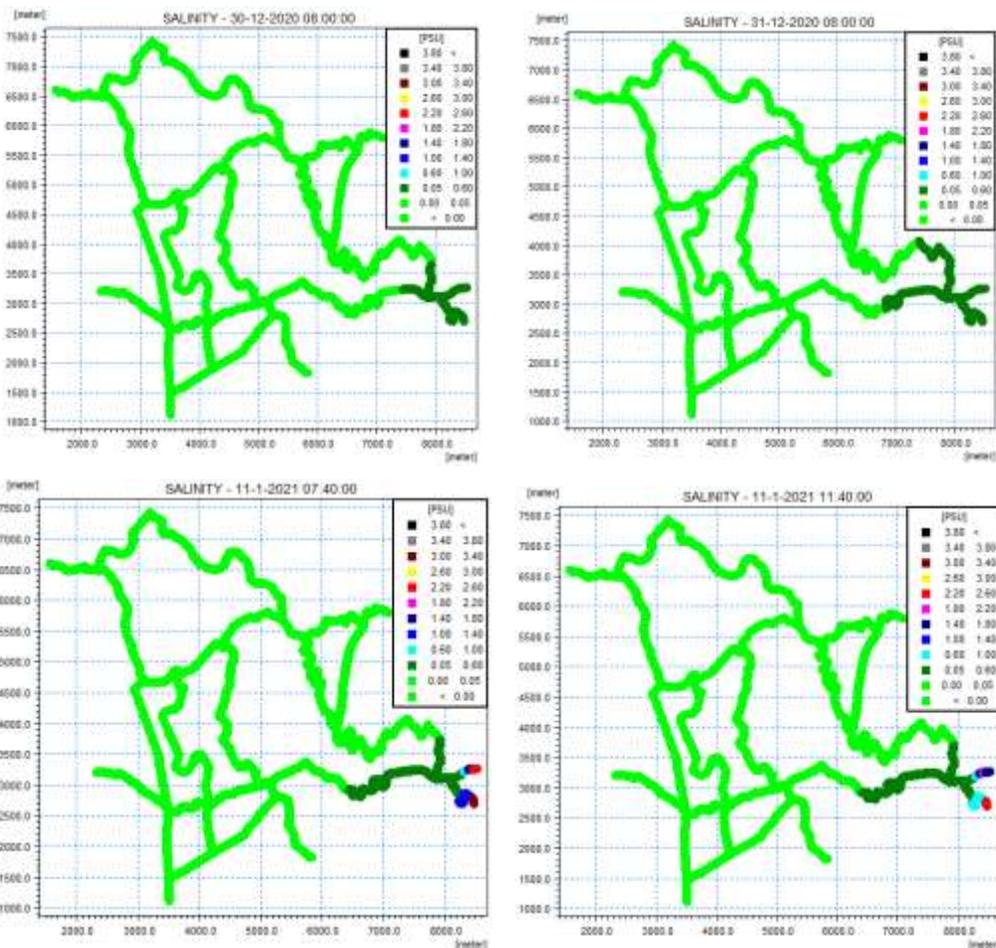
lợi BHH ứng với kịch bản lấy nước ngược (lấy nước ngược từ sông Thái Bình và Luộc vào hệ thống qua cống Cầu Xe và An Thổ), module lan truyền chất và thủy động lực của mô hình MIKE 11 đã được áp dụng. Hệ số nhám trong module thủy động lực được kế thừa từ các nghiên cứu trước đây [1, 2]. Trong khi đó, hệ số lan truyền bằng $10 \text{ m}^2/\text{s}$, nằm trong khoảng giá trị từ 1 đến $20 \text{ m}^2/\text{s}$ khuyến cáo áp dụng trong hướng dẫn sử dụng mô hình [3], đã được sử dụng để mô phỏng diễn biến mặn trong khoảng thời gian từ 1-12-2020 đến 20-01-2021. Ngoài ra, trong module thủy động lực, giá trị mực nước thực đo tại trong khoảng thời gian nêu trên đã được sử dụng tại biên thượng (Xuân Quan) và các vị trí biên hạ lưu (cống Cầu Cát, Cầu Xe và An Thổ). Trong module lan truyền chất, giá trị của độ mặn tại biên thượng lưu giả thiết bằng không. Tại biên hạ lưu, độ mặn giả thiết bằng không tại Cầu Cát, trong khi đó giá trị độ mặn thực đo tại Cầu Xe và An Thổ đã được sử dụng tại biên hạ lưu ở vị trí 2 cống nêu trên.



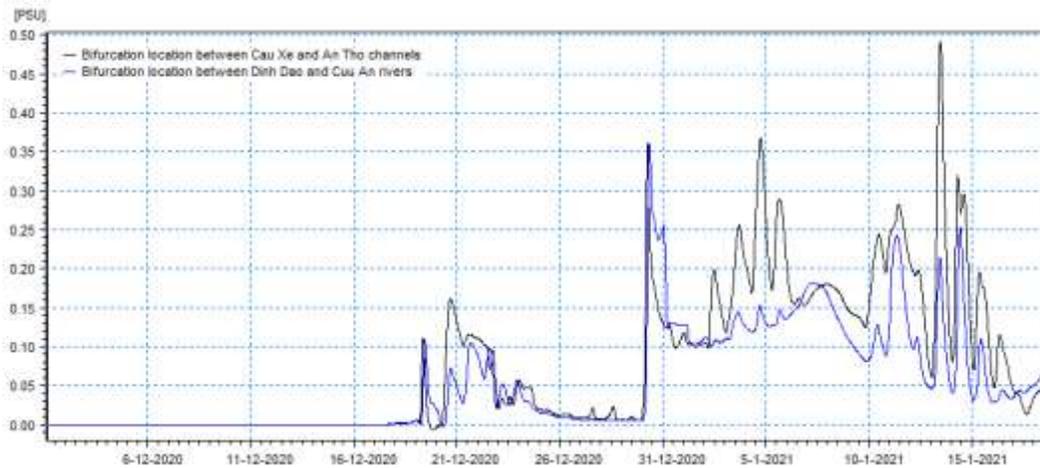
Hình 5: Phân bố độ mặn lớn nhất dọc theo các nhánh sông trong hệ thống

Hình 5 thể hiện phân bố độ mặn lớn nhất dọc theo các sông trong hệ thống thủy lợi BHH từ cống Cầu Xe và An Thổ. Kết quả mô phỏng thể hiện rằng xâm nhập mặn trong hệ thống có thể vào sâu khoảng 24,92 km trên sông chính Cừ An, trong khi đó chiều sâu xâm nhập mặn tính toán khoảng 18,90 km trên sông Đình Đào. Hình 6 thể hiện sự phân bố theo không gian của độ mặn trong toàn bộ hệ thống thủy lợi Bắc Hưng Hải tại các thời điểm khác nhau. Kết quả cho thấy, độ mặn giảm dần từ hạ lưu (kênh Cầu Xe, kênh An Thổ) đến thượng lưu. Ngoài ra, độ mặn ở các sông và kênh khác nhau của hệ thống thủy lợi Bắc Hưng Hải thay đổi đáng kể, tùy thuộc vào từng vị trí và thời gian mô phỏng cụ thể. Hơn nữa, độ mặn lớn ($>1,0$ PSU) chủ yếu xảy ra ở kênh An Thổ và Cầu Xe, trong khi độ mặn ở sông Cừ An và

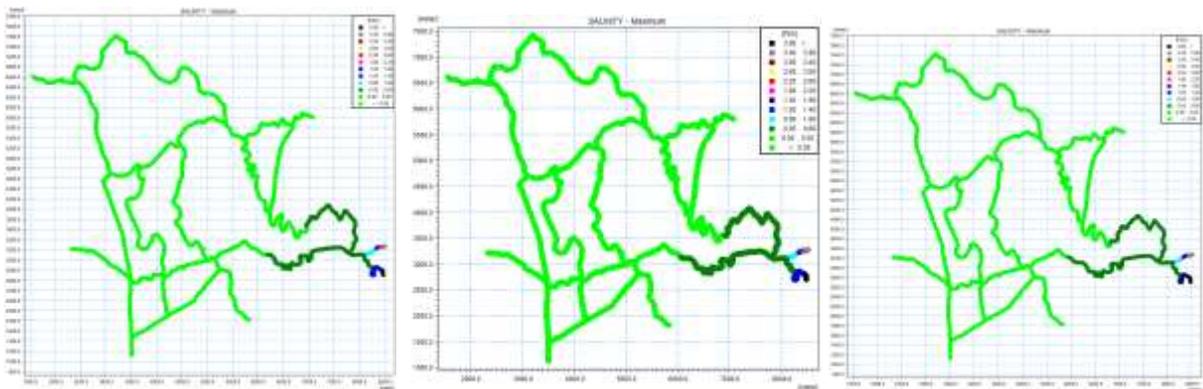
sông Đình Đào dao động từ 0 đến 0,6 PSU. Hình 7 thể hiện sự thay đổi độ mặn theo thời gian tại vị trí ngã ba sông Đình Đào và sông Cừ An, kênh Cầu Xe và kênh An Thổ. Kết quả mô phỏng từ mô hình thể hiện một cách logic sự lan truyền độ mặn trong hệ thống thủy lợi BHH, với các giá trị nhỏ xảy ra ở khu vực thượng nguồn của hệ thống. Tại vị trí ngã ba nhập lưu giữa kênh Cầu Xe và kênh An Thổ, giá trị độ mặn tính toán bằng 0,5 PSU. Trong khi đó, giá trị độ mặn bằng 0,35 PSU tại vị trí ngã ba nhập lưu giữa sông Đình Đào và sông Cừ An. Trong module lan truyền chất, hệ số khuếch tán là thông số chính cần phải được hiệu chỉnh. Tuy nhiên, do thiếu dữ liệu đo đạc độ mặn bên trong hệ thống thủy lợi BHH nên giá trị $10 \text{ m}^2/\text{s}$ đã được sử dụng cho hệ số khuếch tán.



Hình 6: Phân bố độ mặn trong hệ thống thủy lợi BHH tại các thời điểm khác nhau



Hình 7: Kết quả mô phỏng diễn biến mặn tại hai vị trí ngã ba nhập lưu giữa kênh Cầu Xe và kênh An Thổ (đường màu đen) và ngã ba nhập lưu giữa sông Cửu An và Đình Đào (đường màu xanh)



Hình 8: Phân bố độ mặn lớn nhất trong hệ thống ứng với các hệ số lan truyền
a) 5, b) 10, c) 15 m²/s

Để khảo sát ảnh hưởng của hệ số khuếch tán, các mô phỏng sử dụng giá trị hệ số khuếch tán bằng 5 và 15 m²/s đã được thực hiện bổ sung. Hình 8 thể hiện sự phân bố độ mặn lớn nhất trong hệ thống thủy lợi BHH khi sử dụng các giá trị khác nhau cho hệ số khuếch tán. Kết quả mô phỏng thể hiện rằng giá trị độ mặn lớn nhất tương tự trong các kênh Cầu Xe và kênh An Thổ khi sử dụng các hệ số phân tán khác nhau (tức là 5, 10 và 15 m²/s). Ngoài ra, giá trị độ mặn lớn nhất tại sông Cửu An và sông Đình Đào chỉ có sự chênh lệch nhỏ.

5. KẾT LUẬN

Diễn toán độ mặn trong hệ thống thủy lợi BHH trong trường hợp lấy nước ngược qua cống Cầu

Xe và An Thổ được phân tích và mô phỏng với một số điểm chính đã đạt được như sau:

(i) Sử dụng phân tích sóng con (Wavelet analysis), độ mặn tại An Thổ có mối tương quan chặt chẽ trong khoảng thời gian 1 giờ đối với triều kém và 0,5 giờ đối với triều cường, trong khi đó giá trị trên là khoảng 2 giờ tại vị trí cống Cầu Xe.

(ii) Áp dụng module lan truyền chất của mô hình MIKE 11, diễn biến lan truyền mặn theo không gian và thời gian trong hệ thống thủy lợi BHH đã được khảo sát. Kết quả mô phỏng thể hiện rằng xâm nhập mặn trong hệ thống có thể vào sâu trong khoảng cách lên đến 24,92 km trên sông chính Cửu An, trong khi đó

khoảng các xâm nhập mặn tính toán khoảng 18,90 km trên sông Đình Đào. Tại vị trí ngã ba nhập lưu giữa kênh Cầu Xe và kênh An Thổ,

ngã ba nhập lưu giữa sông Đình Đào và sông Cừ An, giá trị độ mặn tính toán lần lượt bằng 0,5 và 0,35 PSU.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Woody C., Shih E., Miller J., Royer T., Atkinson L.P., Moody R.S. 2000. Measurements of salinity in the coastal ocean: a review of requirements and technologies. *Marine Technology Society Journal*, 34(2): 26-33.
- [2] Kantrikronm R., Anousontpornperm S., Thanachit S., Wiriyaakitnateekul W. 2020. Water stable aggregate distribution of lowland, humid, tropical salt-affected soils. *Agriculture and Natural Resources*, 54: 255-264.
- [3] Lavery P., Pattiaratchi C., Wyllie A., Hick P. 1993. Water quality monitoring in estuarine – waters using the Landsat Thematic Mapper. *Remote sensing of Environment*, 46: 268-280.
- [4] Chien Pham Van, Giang Nguyen-Van, Nguyen Thi Van, Le Van Chin, Doanh Nguyen-Ngoc, Drogoul Alexis (2018). Modelling water flow in the Bac Hung Hai Irrigation System. *Proceedings of International Symposium on Lowland Technology 2018*, September 26-28, 2018, Hanoi, Vietnam, trang 1-8.
- [5] Trần Tuấn Thạch (2023). Diễn biến mực nước trong hệ thống thủy lợi Bắc Hưng Hải ứng với các kịch bản suy giảm nguồn nước từ công đầu mối Xuân Quan. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, Số 78 (tháng 6/2023), 102-110.
- [6] DHI (2014). *MIKE 11 – A modelling system for rivers and channels*. 544 Trang.