

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH THỦY ĐỘNG LỰC 3 CHIỀU FVCOM TÍNH TOÁN CHẾ ĐỘ THỦY ĐỘNG LỰC VÀ CẤU TRÚC NHIỆT CỬA SÔNG NHẬT LỆ - QUẢNG BÌNH

Nguyễn Đức Tuấn, Nguyễn Thanh Hùng, Bùi Thị Ngân, Vũ Thái Long
Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển

Tóm tắt: Mô hình mã nguồn mở thủy động lực 3 chiều lưới tam giác FVCOM được áp dụng để tính toán chế độ thủy động lực cho vùng cửa sông Nhật Lệ, tỉnh Quảng Bình. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng mô hình khí tượng WRF để tính toán số liệu đầu vào cho 2 năm mô phỏng 2009 và 2018. Kết quả mô phỏng được kiểm định với số liệu đo từ thiết bị ADCP. Kết quả tính toán cho thấy có 2 hướng dòng chảy chính là Đông Nam và Tây bắc. Có hiện tượng xoáy theo chiều kim đồng hồ ở gần cửa sông và ngược chiều kim đồng hồ ở phía biển. Có sự thay đổi về nhiệt độ theo không gian với nhiệt độ chênh từ 1.0 đến 2.5 độ C giữa vùng cửa sông và biển.

Từ khóa: FVCOM, WRF, mô hình thủy động lực, cấu trúc nhiệt, trường dòng chảy

Summary: A open-source three-dimensional unstructured-grid numerical model FVCOM has been applied to examine circulation, wave, and thermal structure in the Nhat Le estuary, Quang Binh province. The model used meteorological data downscaling from WRF model for the simulation year of 2009 and 2018. The simulation results were tested against ADCP observations of currents and wave. The results show that mean currents direction was predominantly SE and NW. There were clockwise circulation in the adjacent of the estuary while a larger anti-cyclonic offshore. The spacial variation of water temperature was found with higher temperature onshore and lower temperture at offshore with the difference can be 1.0 to 2.5 degree C. Data including current and wave measured by ADCP instruments.

Key words: FVCOM, WRF, hydrodynamic model, thermal structure, circulation

1. MỞ ĐẦU

Chế độ thủy động lực tại các cửa sông luôn phức tạp do là nơi hội tụ của nhiều quá trình vật lý phức tạp ví dụ như sự tác động tương hỗ giữa sông và biển, ảnh hưởng của thủy triều, của sóng, của các yếu tố khí tượng và sự xâm nhập của muối. Sự hiểu biết về các quá trình động lực tại các cửa sông luôn là vấn đề cốt lõi để trên cơ sở đó có thể giải quyết các vấn đề như xói lở, bồi tụ cửa sông, vấn đề xâm nhập mặn, ô nhiễm nước tại khu vực cửa sông ven biển.

Ở nước ta trong những năm qua, cùng với sự phát triển kinh tế đặc biệt là kinh tế biển, một trong những mối quan tâm nhất hiện nay đó là môi trường nước biển và các quá trình vật lý đang diễn ra như thế nào trong bối cảnh ngày càng gia tăng sự tác động của con người và biến đổi khí hậu. Các vấn đề về xả thải từ sông cũng như việc xây dựng các cảng biển, các công trình ngăn sóng, công trình chỉnh trị v.v... đều có những tác động đến sự phân bố dòng chảy và môi trường biển.

Các nghiên cứu chế độ thủy động lực khu vực cửa sông - ven biển được thực hiện ở nhiều nơi trên Thế giới (Liu et al., 2001; Weisberg, R. H., & Zheng, L, 2006; Ralston et al., 2007). Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng trường dòng

Ngày nhận bài: 09/01/2019
Ngày thông qua phản biện: 11/3/2019
Ngày duyệt đăng: 26/3/2019

chảy khu vực cửa sông chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như lưu lượng sông, trường gió và chế độ triều (Weisberg, R. H., & Zheng, L, 2006; Ralston và nnk., 2007; Guo, X., & Valle-Levinson, A, 2007). Tại Việt Nam, đã có nhiều nghiên cứu về chế độ thủy động lực cửa sông với cách tiếp cận là dùng số liệu thực đo để đánh giá hoặc dùng mô hình toán (N.T. Hùng và nnk, 2014, 2016; Vũ duy Vĩnh và nnk, 2012, 2014). Chế độ thủy động lực tại vùng tương tác chịu ảnh hưởng lớn từ lưu lượng nước sông chảy ra (Do & nnk., 2004; Vinh, V. D & Thanh, T. D., 2014). Gần đây, nhóm tác giả Nguyễn Thanh Hùng & nnk (2018) đã thành công áp dụng mô hình Mike ST trong đó sử dụng số liệu đầu vào từ mô hình thủy lực 1 chiều Mike 11 để nghiên cứu biến động theo mùa chế độ động lực cửa sông Nhật Lệ.

Hiện nay ở Việt nam các mô hình số thủy động lực chủ yếu là mô hình thương mại, số lượng các nghiên cứu sử dụng mô hình có mã nguồn mở còn ít. Sử dụng các mô hình thương mại có nhiều ưu điểm như giao diện thuận tiện và dễ sử dụng, được sự hỗ trợ từ các công ty phát triển phần mềm trong quá trình sử dụng. Tuy nhiên, mô hình thương mại lại có các hạn chế trong việc chỉnh sửa các phương trình, các hệ số theo ý muốn của người sử dụng.

Mô hình thủy động lực 3 chiều FVCOM là mô hình có mã nguồn mở được xây dựng và phát triển bởi Changsheng Chen và cộng sự từ 2003 (Chen & nnk, 2003) và tiếp tục được phát triển và cải thiện (Chen & nnk, 2013, phiên bản 4). Mô hình FVCOM đã được áp dụng thành công trong rất nhiều nghiên cứu về sông, hồ, và đại dương cho các vấn đề nghiên cứu khác nhau, điển hình như (Shore 2009; Anderson and Phanikumar 2011; Anderson and Schwab 2013; Bai & nnk, 2013; Nguyen & nnk. 2014, 2017). Gần đây, mô hình FVCOM đã được sử dụng trong dự án “Mô hình chất lượng nước tại một số cửa sông ở Great Lakes” để mô phỏng, tính toán vùng tương tác sông và biển tại Washington Park,

Grant Creek ở Lake Michigan (Mỹ) và Cuyahoga River ở Lake Erie (Mỹ) (Tuan Nguyen and Mantha Phanikumar). Nghiên cứu này cho thấy vùng tương tác động lực sông biển phụ thuộc vào lưu lượng chảy ra từ các sông và vận tốc dọc bờ biển. Cho đến nay mô hình FVCOM gần như chưa được sử dụng ở Việt Nam.

Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm đánh giá khả năng mô phỏng chế độ thủy động lực cửa sông Nhật Lệ của mô hình FVCOM dựa trên số liệu từ mô hình khí tượng WRF. Kết quả tính toán của mô hình được kiểm định với số liệu quan trắc sóng và dòng chảy tại các trạm. Bố cục của bài báo được thiết kế như sau (i) giới thiệu và mô tả khu vực cửa sông Nhật Lệ (ii) Số liệu đầu vào và mô hình toán (iii) Kết quả và thảo luận và cuối cùng là (iv) kết luận và kiến nghị.

2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU

Cửa sông Nhật Lệ nằm ở phía Đông nam thành phố Đồng Hới, tỉnh Quảng Bình và là một trong 5 cửa sông ở tỉnh Quảng Bình (ngoài các cửa sông Gianh, sông Ròn, sông Dinh và sông Lý Hòa). Sông Nhật Lệ là hợp lưu của sông Kiến Giang và sông Long Đại và đổ ra Biển Đông tại tọa độ $106^{\circ} 37' 50''$ kinh độ Đông và $17^{\circ} 29' 25''$ vĩ độ Bắc. Địa hình khu vực cửa sông Nhật Lệ khá bằng phẳng với độ sâu trung bình từ 3.0 – 4.5m, có những khu vực chỉ sâu 1.5-2.0m. Độ sâu tăng dần về phía biển với giá trị khoảng 17-18m tại khu vực cách bờ biển 2km và khoảng 43m tại khu vực cách bờ biển 30km. Độ sâu lớn nhất trên toàn miền tính toán là 46.1m. Những năm gần đây cửa sông Nhật Lệ có quá trình bồi, xói phức tạp (N.L. Dân, 2008) do tác động của của các yếu tố sóng, dòng chảy và thủy triều (N.T. Hùng và nnk, 2016).

3. SỐ LIỆU QUAN TRẮC

Năm 2009 và 2018 được lựa chọn là năm nghiên cứu. Lý do của việc lựa chọn này là dựa vào nguồn số liệu quan trắc, đặc biệt là số

liệu về lưu lượng sông Nhật Lệ. Năm 2009 có 2 chuỗi số liệu lưu lượng đo tháng 6/2009 và tháng 11/2009 (Nguyễn Khắc Nghĩa và nnk, 2009). Số liệu năm 2018 sử dụng từ kết quả đo khảo sát của đề tài cấp nhà nước KC.08.16/16-20, trong

đó lưu lượng sông Nhật Lệ được đo đạc liên tục trong 15 ngày trong tháng 4/2018. Ngoài ra, số liệu quan trắc vận tốc dòng chảy và sóng bằng ADCP được liệt kê ở Bảng 1 và hình 2a.

Bảng 1. Danh sách các trạm đo tại cửa sông Nhật Lệ

Tên trạm	Yếu tố quan trắc	Kinh độ Đông	Vĩ độ Bắc	Thời gian quan trắc
NL-ADCP	Vận tốc	106.635629	17.498422	18/04/2018 – 25/04/2018
NLW	Sóng	106.635629	17.498422	16/04/2018 – 26/04/2018

4. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

Trong nghiên cứu này mô hình tính toán 3 chiều FVCOM được lựa chọn làm công cụ tính toán chế độ thủy động lực cho cửa sông Nhật Lệ với số liệu đầu vào từ mô hình khí tượng WRF (Weather Research Forecasting Model). Mô hình FVCOM (tên tiếng Anh là Finite

Volume for Community Ocean Model) được xây dựng và phát triển có lưới phi cấu trúc theo phương ngang và hệ tọa độ sigma theo phương thẳng đứng. Mô hình FVCOM được thiết lập dựa trên hệ phương trình sau:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Phương trình động lượng

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \mathbf{u} \frac{\partial u}{\partial x} + \mathbf{v} \frac{\partial u}{\partial y} + \mathbf{w} \frac{\partial u}{\partial z} - f v = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right) + F_u \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \mathbf{u} \frac{\partial v}{\partial x} + \mathbf{v} \frac{\partial v}{\partial y} + \mathbf{w} \frac{\partial v}{\partial z} + f u = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right) + F_v \quad (3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g \quad (4)$$

Phương trình lan truyền nhiệt:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{u} \frac{\partial T}{\partial x} + \mathbf{v} \frac{\partial T}{\partial y} + \mathbf{w} \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial T}{\partial z} \right) + F_T \quad (5)$$

Phương trình trạng thái

$$\rho = \rho(T, S, P) \quad (6)$$

Trong đó: x, y và z thể hiện trục tọa độ trong hệ tọa độ Đề Các. (u,v,w) là các thành phần vận tốc dòng chảy theo các phương ngang (x, y) và đứng (z). ρ là tỷ trọng của nước. T, S là nhiệt độ và độ mặn của nước. P là áp lực

nước. f là tham số Coriolis. g là gia tốc trọng trường.

Hệ số khuếch tán động lượng phương ngang (F_u, F_v) có dạng:

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left(2A_m \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_m \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad (7)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial y} \left(2A_m \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_m \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad (8)$$

Hệ số khuếch tán nhiệt theo phương ngang (F_T) có dạng:

$$F_T = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (9)$$

Hệ số khuếch tán rối và nhớt (K_M, K_H) được xác định qua phương trình tính toán rối của Mellor-Yamada 2.5 (Mellor and Yamada, 1982; Galperin et al., 1988). Hệ số lan truyền

phương ngang A_m được tính toán qua phương trình tính toán rối của Smagorinsky (Smagorinsky, 1963) như sau:

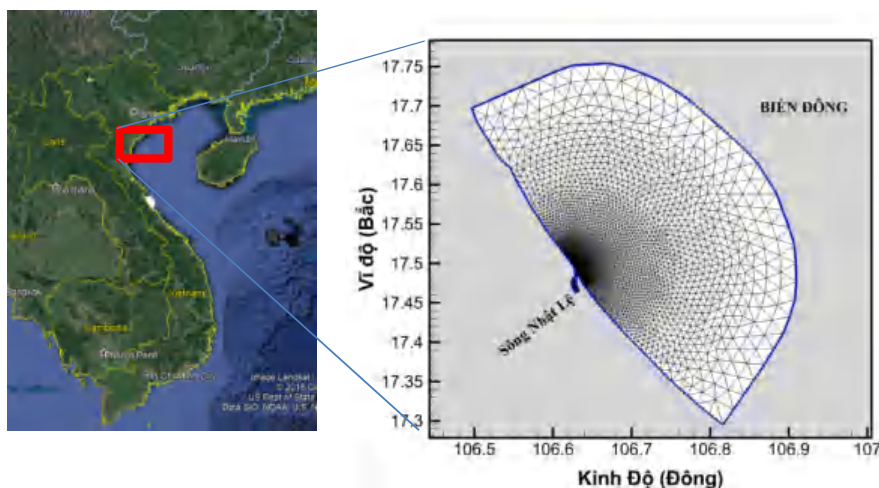
$$A_m = C\Delta x\Delta y \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (11)$$

Hệ số lan truyền phương đứng A_h được tính từ A_m qua số Prandtl number (P_r): $A_h = \frac{A_m}{P_r}$ (12) Số liệu đầu vào gồm: số liệu khí tượng (tốc độ gió, hướng gió, nhiệt độ không khí, độ ẩm không khí, độ mây che phủ, bức xạ mặt trời). Mô hình tính toán bao gồm 2 biên bờ bao gồm lưu lượng sông và mực nước triều và sóng ở phía biển.

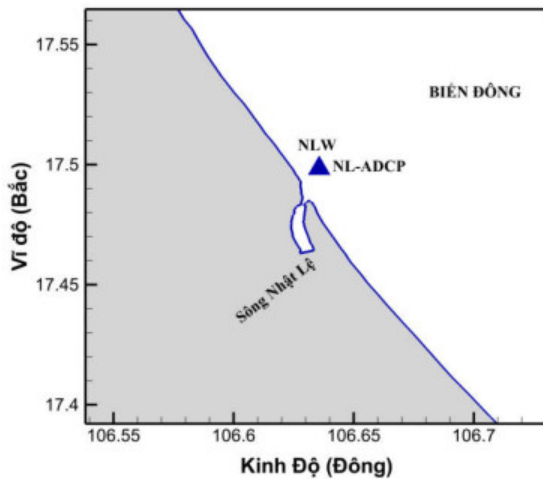
Lưới tính toán

Mô hình FVCOM được thiết kế và tính toán dạng không cấu trúc, hình tam giác. Cấu trúc lưới hình tam giác có ưu điểm là có thể mô tả được đầy đủ đặc điểm đường bờ đặc biệt là tại các khu vực cửa sông nơi thường có địa hình phức tạp cùng các công trình chỉnh trị. Lưới tính toán cửa sông Nhật Lệ được xây dựng

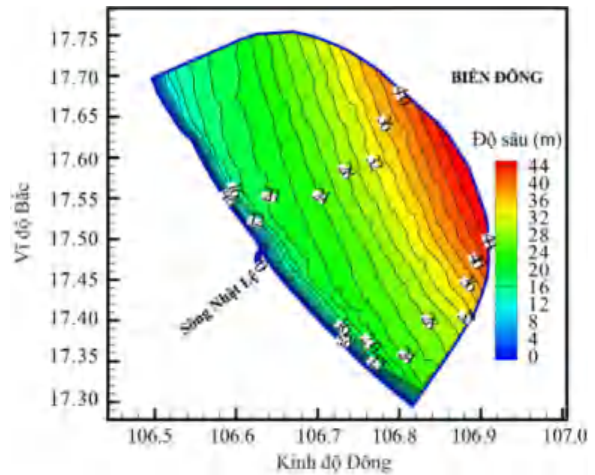
bằng phần mềm SMS (www.aquaveo.com). Lưới tính toán cửa sông Nhật Lệ bao gồm 9840 phần tử tam giác và 5124 nút với phạm vi từ cửa sông Nhật Lệ ra đến Biển Đông khoảng 28km (Hình 1). Hệ tọa độ là kinh độ và vĩ độ WGS-84. Lưới tính toán được thiết kế với kích thước cách cạnh của phần tử tăng dần từ cửa sông Nhật Lệ ra đến biên phía biển với kích thước lớn nhất là 3.7km tại biên phía biển và kích thước lưới nhỏ nhất là 20m ở khu vực cửa sông (hình 2b). Kích thước trung bình chiều dài cạnh của các phần tử trên toàn miền là 340m. Sự phân bố về kích thước được thể hiện ở hình vẽ 3. Hình vẽ 3 cho thấy sự phân bố về kích thước cạnh các phần tử khá trơn tru, điều đó cho phép tăng độ chính xác và ổn định của mô hình số FVCOM.



Hình 1. Vị trí và lưới tính toán cửa sông Nhật Lệ - Quảng Bình



(a)



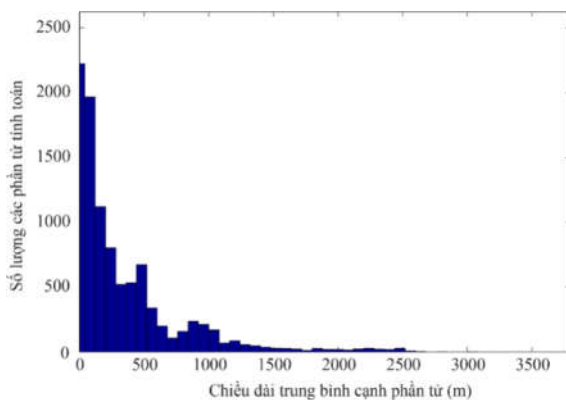
(b)

Hình 2. (a) Vị trí trạm đo ADCP (đo sóng và dòng chảy);
(b) Đường đồng mức độ sâu khu vực cửa sông Nhật Lệ - Tỉnh Quảng Bình

Các ngoại lực tác dụng

Mô hình cửa sông Nhật Lệ chạy dưới tác động của các ngoại lực sau: khí tượng, mực nước triều và sóng phía biển và lưu lượng sông. Do trong khu vực nghiên cứu không có trạm đo khí tượng nên các yếu tố khí tượng sẽ được tính toán thông qua chi tiết hóa động lực bằng mô hình WRF.

Mô hình khí tượng WRF



Hình 3. Phân bố chiều dài cạnh phần tử lưới tính toán trên toàn miền tính

Mô hình khí tượng WRF ((WRF3.9.1, <http://www.wrf-model.org>, Skamarock et al. (2008)) được sử dụng để chi tiết hóa yếu tố động lực cho khu vực nghiên cứu. Lưới tính toán cho mô hình WRF được thể hiện ở hình 4

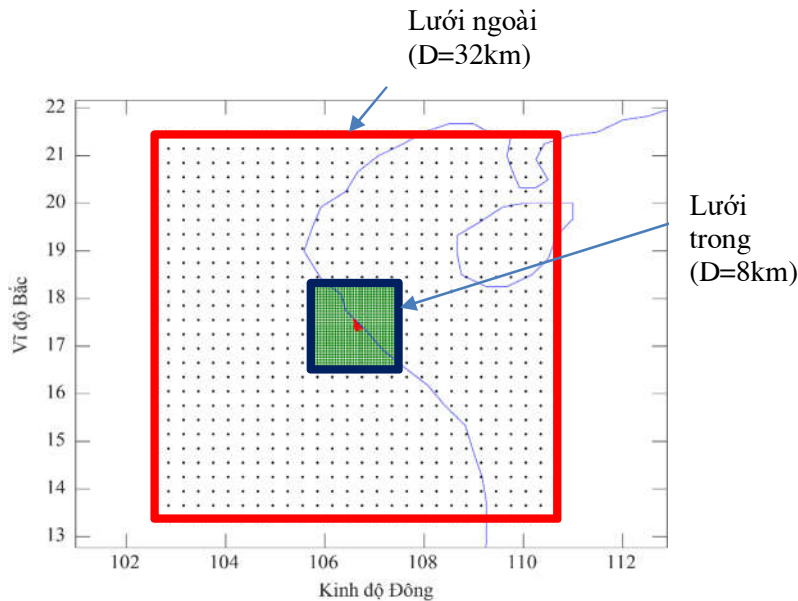
trong đó kỹ thuật lưới lồng được áp dụng nhằm tăng độ phân giải và tăng độ chính xác của việc chi tiết hóa. Độ phân giải của lưới thô phía ngoài và lưới phía trong lần lượt là 32km và 8.0km tương ứng với tỷ lệ độ phân giải giữa hai lưới là 1:4. Có nhiều nguồn số liệu đã được đánh giá lại có thể dùng làm số liệu đầu vào cho mô hình WRF.

Trong nghiên cứu này nguồn số liệu NCEP/GFS/FNL Reanalysis Reanalysis với độ phân giải 0.25° với bước tính 4 lần/ngày được sử dụng để làm số liệu đầu vào cho mô hình WRF. Các thông số sau khi được chi tiết hóa động lực được lưu dưới dạng file netcdf và được nội suy vào lưới tính toán của mô hình FVCOM bằng hàm nội suy trong chương trình phần mềm Matlab. Hình 5 thể hiện vận tốc gió trung bình trên toàn miền tính theo thời gian năm 2018. Vận tốc gió trung bình là 4.3 m/s. Trong khi đó vận tốc gió lớn nhất và nhỏ nhất lần lượt là 14.0 m/s và 0.06m/s. Tương ứng, các giá trị này đối với năm 2009 lần lượt là 4.0m/s, 20.3m/s và 0.04m/s. Tốc độ gió ở cách bề mặt 10m.

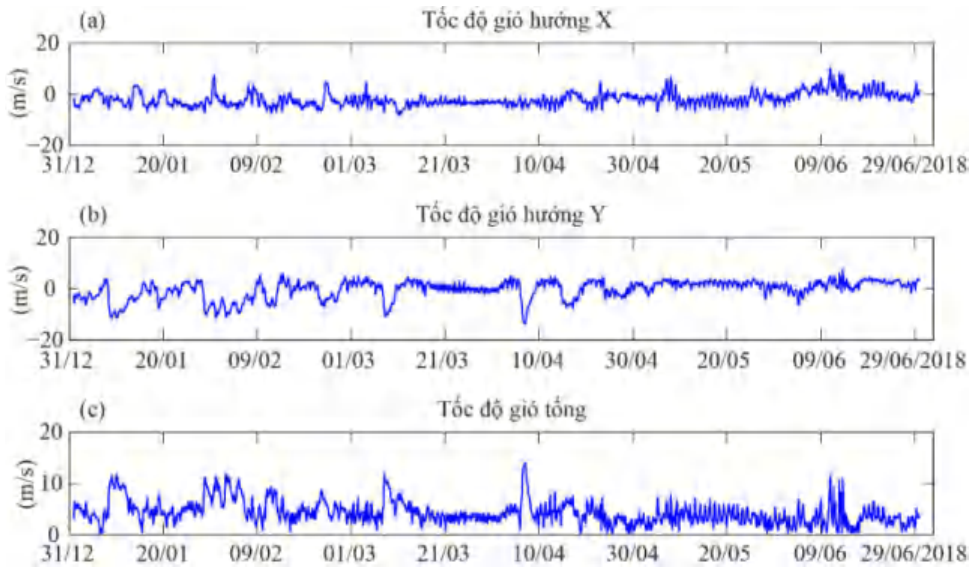
Nhiệt độ không khí được tính toán và chuyển đổi giá trị với khoảng cách 2m so với bề mặt. Nhiệt độ không khí trung bình của năm 2018

trên toàn miền tính toán năm 2018 là 23.1⁰C. Nhiệt độ cao nhất và thấp nhất trong năm 2018

lần lượt là 32.7⁰C và 15.6⁰C. Tương ứng của năm 2009 lần lượt là 24.5⁰C, 31.7⁰C và 15.5⁰C.



Hình 4. Lưới tính toán mô hình khí tượng WRF



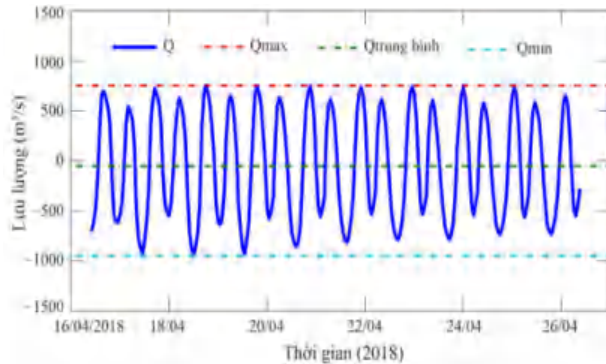
Hình 5. Vận tốc gió trung bình trên toàn miền tính toán từ mô hình khí tượng WRF (2018)

Điều kiện biên

Lưu lượng dòng chảy tại biên hồ sử dụng số liệu quan trắc tại sông Nhật Lệ trong 15 ngày với tần suất 1 giờ. Đường quá trình lưu lượng (hình 6,7) cho thấy cửa sông Nhật Lệ quá trình nước ra và vào khá đều với lưu lượng lớn nhất chảy vào và ra lần lượt là -947 m³/s và 753

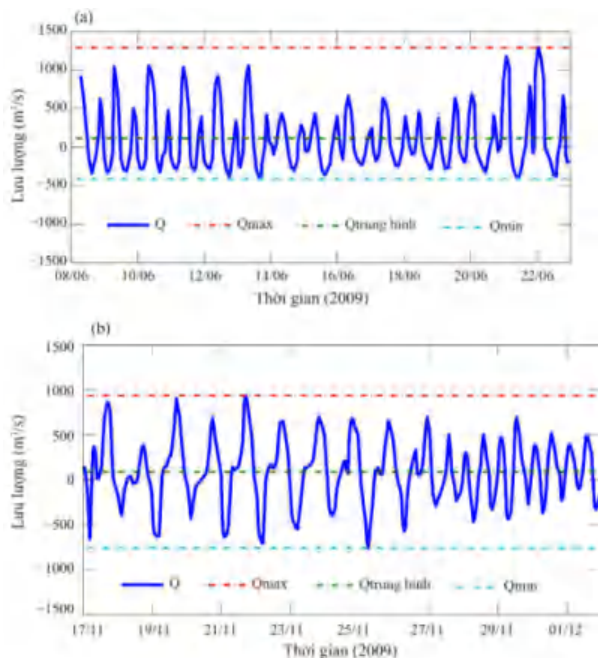
m³/s (năm 2018) và -758m³/s và 935m³/s (2009). Với đặc điểm thủy văn từ tháng 9 đến tháng 11 là mùa lũ, lưu lượng sông chiếm ưu thế, mùa kiệt từ tháng 1 đến tháng 8 và dòng triều chiếm ưu thế, giá trị lưu lượng trung bình lần lượt là 86.1 m³/s và -49.3 m³/s cho năm 2009 và 2018 (thời gian quan trắc là mùa kiệt). Thời đoạn tính toán nằm trong thời gian kiệt,

do đó sự ảnh hưởng của dòng triều tại cửa sông Nhật Lệ qua việc trao đổi nước giữa sông và biển như hình 5. Biên triều ở biên hồ được tính toán từ phần mềm tính toán triều TPXO7.1 với độ phân giải 0.25 độ bao gồm 8 thành phần triều ($M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1$).

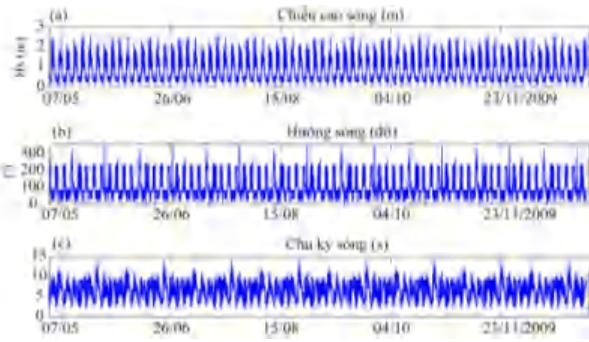


Hình 6. Đường quá trình lưu lượng sông Nhật Lệ (2018)

Biên sóng được trích xuất từ kết quả tính toán sóng toàn cầu WAVEWATCH III và được nội suy vào các nút tại biên hồ cho các thông số sóng bao gồm chiều cao sóng, chu kỳ sóng và hướng sóng với bước tính toán 1 giờ (hình 8).



Hình 7. Đường quá trình lưu lượng sông Nhật Lệ (2009)



Hình 8. Đường quá trình chiều cao sóng, hướng sóng và chu kỳ sóng tại biên được trích xuất từ WaveWatch III (2009)

5. KẾT QUẢ

Chế độ động lực cửa sông Nhật Lệ được mô phỏng với các thời đoạn khác nhau trong năm 2009 và 2018 tương ứng với thời gian quan trắc lưu lượng sông được liệt kê trong bảng 2. Kết quả mô phỏng của mô hình được kiểm định với số liệu quan trắc để đánh giá mức độ chính xác của mô hình.

Bảng 2. Các thời đoạn mô phỏng

Năm	Thời gian mô phỏng
2009	08/06/2009 – 23/06/2009
2009	17/11/2009 – 01/12/2009
2018	17/04/2018 – 25/04/2018

Sử dụng chỉ số đánh giá RMSE (Root mean square error) để đánh giá sai số theo công thức sau:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2}{N}} \quad (13)$$

Trong đó: O_i và M_i lần lượt là số liệu quan trắc thứ i và kết quả tính toán thứ i . N là tổng số số liệu.

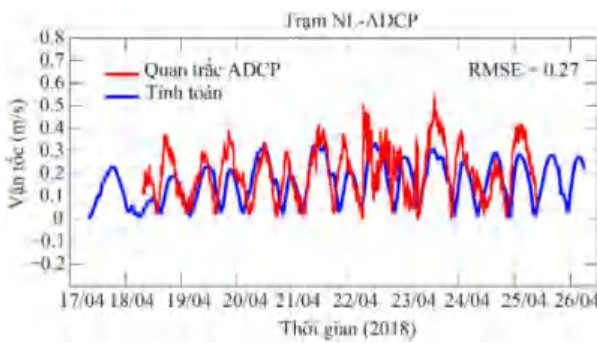
Kết quả so sánh giữa kết quả tính toán sóng và quan trắc được thể hiện ở hình 9b với giá trị RMSE cho chiều cao sóng, chu kỳ sóng và hướng sóng chủ đạo lần lượt là 0.18m, 2.5s và 41 độ. Từ đồ thị có thể thấy rõ mô hình cho kết quả không được tốt trong ngày đầu tiên mô phỏng. Lý do của việc này là do mô hình bắt đầu chạy với điều kiện ban đầu là nước tĩnh trên toàn miền tính. Đây là đặc điểm ở bất cứ mô hình số nào do cần 1 thời gian đủ dài để

giảm bớt ảnh hưởng của điều kiện ban đầu. Kết quả mô hình từ ngày 19/4/2018 cho kết quả khá tốt. Điều này cũng tương tự như kết quả tính toán vận tốc dòng chảy (hình 9a), so sánh giữa vận tốc quan trắc và mô phỏng tốt hơn nhiều sau ngày 19/4/2018. Một điểm quan trọng cần chú ý rằng, mô hình FVCOM tính toán 3 thành phần vận tốc theo phương x, y và z. Số liệu quan trắc từ ADCP là vận tốc tổng

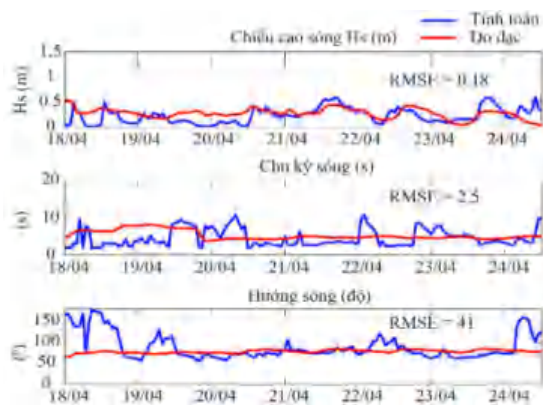
trên phương ngang, do đó vận tốc tổng từ mô hình được tính theo công thức:

$$V = \sqrt{(U_x^2 + U_y^2)} \quad (14)$$

Trong đó: V là vận tốc tổng theo phương ngang; U_x và U_y lần lượt là vận tốc thành phần theo phương x và y.



(a)



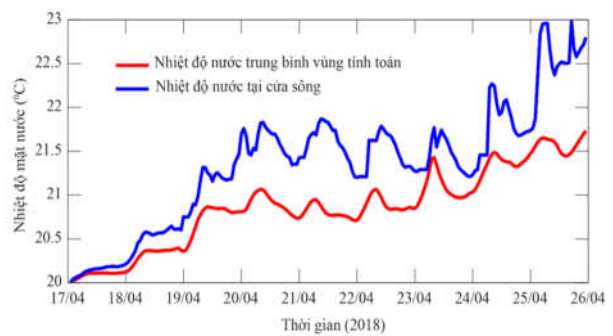
(b)

Hình 9. (a) So sánh vận tốc đo đạc và kết quả tính toán dòng chảy tại trạm NL-ADCP. (b) So sánh số liệu quan trắc và tính toán sóng tại trạm NLW (2018)

Các chỉ số đánh giá mức độ chính xác của mô hình trong việc mô phỏng sóng và dòng chảy cho thấy mô hình FVCOM cho kết quả khá tốt và đủ độ tin cậy để làm cơ sở đánh giá chế độ thủy động lực tại cửa sông và trên toàn miền tính toán.

Mặc dù không có số liệu quan trắc nhiệt độ nước tại khu vực nghiên cứu để có thể kiểm định kết quả tính toán nhiệt của mô hình FVCOM, tuy nhiên nghiên cứu này sẽ trình bày một số kết quả tính toán nhiệt để có thể cung cấp thêm một số kiến thức và thông tin về cấu trúc nhiệt tại khu vực nghiên cứu. Mô hình FVCOM đã cho kết quả tính toán nhiệt rất tốt tại các nghiên cứu trước đây (Nguyễn T.D và nnk, 2014; Safaie và nnk, 2017). Hình 10 biểu thị nhiệt độ mặt nước theo thời gian trong đó đường xanh là nhiệt độ tại cửa sông Nhật Lệ và đường đỏ là nhiệt độ mặt nước

trung bình trên toàn miền tính toán.



Hình 10. Nhiệt độ mặt nước khu vực cửa sông - ven biển Nhật Lệ (2018)

6. THẢO LUẬN

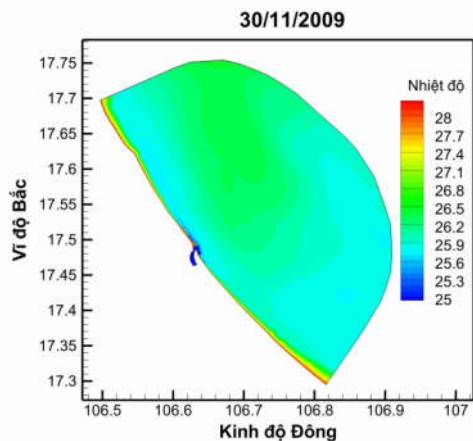
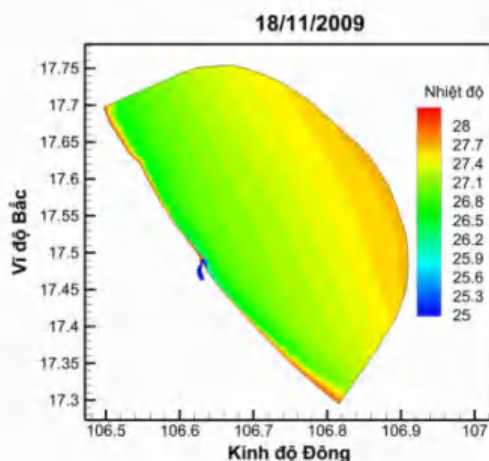
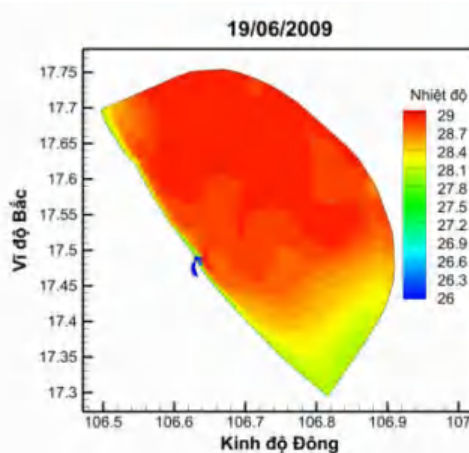
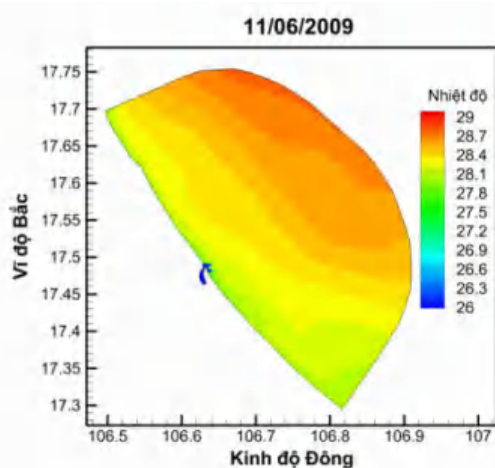
Vùng cửa sông ven biển Nhật Lệ có chế độ bán nhật triều không đều. N.T. Hùng và nnk (2018) đã phân tích số liệu mực nước tại trạm thủy văn Đồng Hới thời kỳ mùa kiệt (2007-2012) và kết luận rằng các hằng số điều hòa thủy triều tại khu vực khá ổn định, dẫn tới ảnh

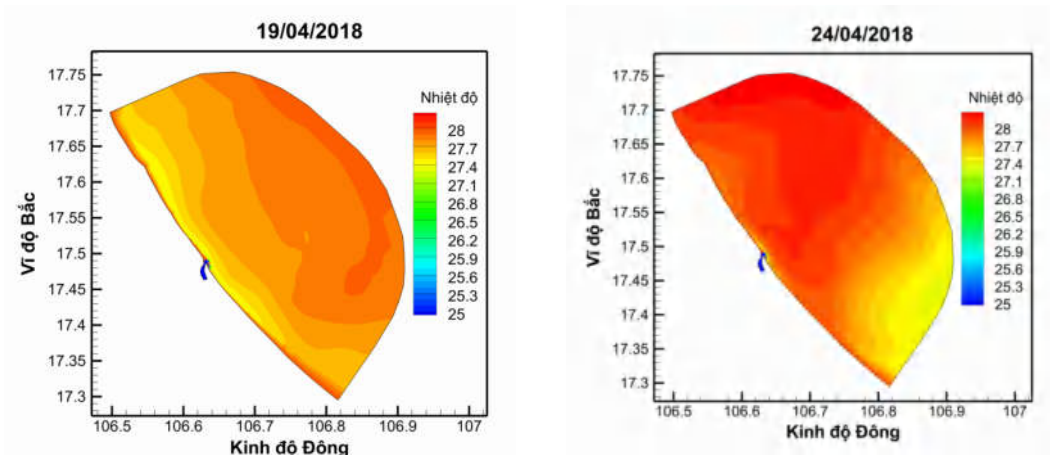
hường mạnh của dòng triều trong mùa kiệt tại cửa sông Nhật Lệ. Điều này thấy rõ từ số liệu quan trắc lưu lượng năm 2009 và 2018 (hình 6,7) dòng triều chiếm ưu thế rõ rệt trong mùa kiệt như đã phân tích ở trên.

Kết quả mô phỏng trường nhiệt độ cho thấy sự phân bố nhiệt theo không gian tại cửa sông khá rõ rệt. Sự khác nhau về nhiệt độ giữa khu vực cửa sông (nước nông) và phía biển (nước sâu) khoảng từ 1.0 đến 2.5 độ C. Sự khác nhau này rõ rệt hơn trong thời gian mùa hè, sự chênh lệch nhiệt độ giữa các vùng giảm đi vào mùa đông khi nhiệt độ không khí giảm (hình 11). So sánh nhiệt độ tại khu vực cửa sông và nhiệt độ trung bình toàn miền tính toán cho thấy nhiệt độ tại cửa sông thường cao hơn nhiệt độ ở các khu vực khác từ 1.0-1.5 độ C (hình 10). Điều này có thể giải thích do ở vùng nước nông quá trình khuếch tán nhiệt yếu hơn vùng nước sâu.

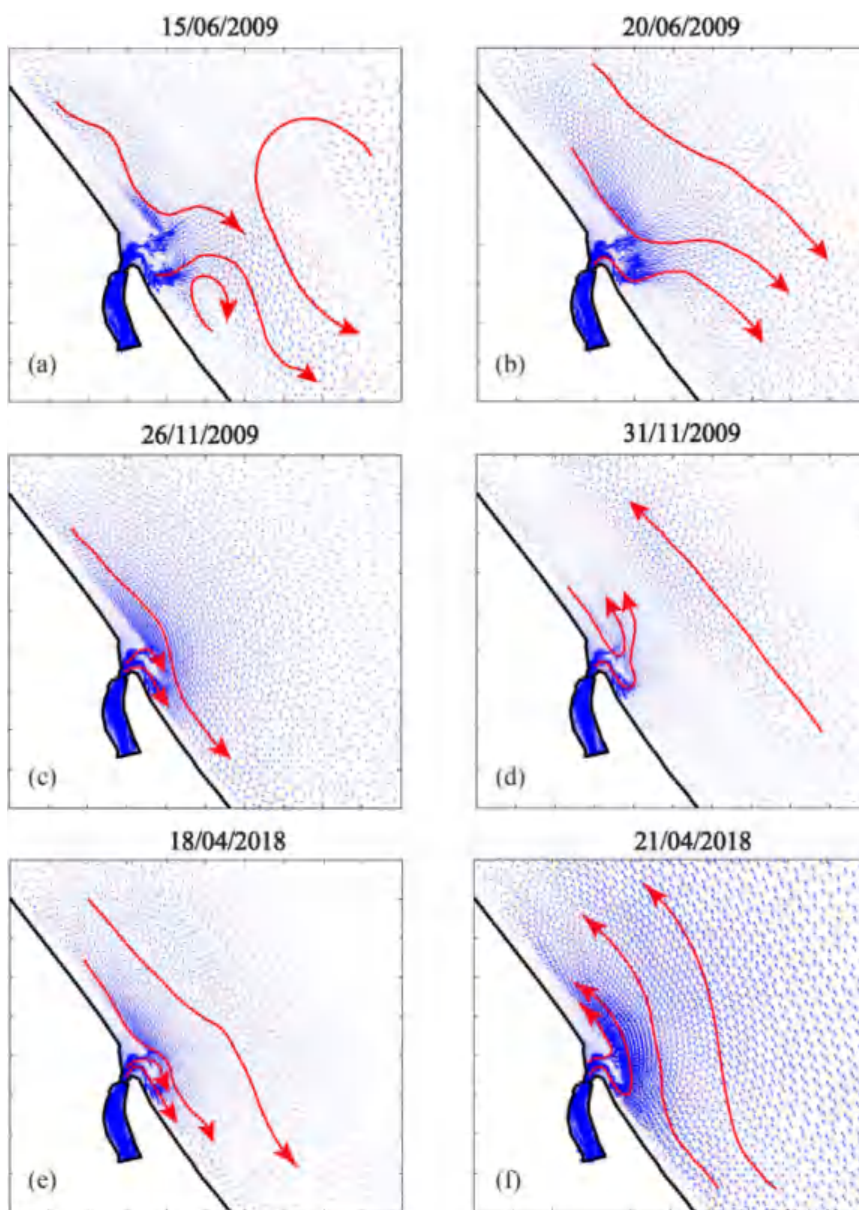
Trường dòng chảy

Vận tốc trung bình ngày và trung thủy trực trên toàn miền tính được tính toán được thể hiện ở hình 12. Kết quả cho thấy trường dòng chảy tại cửa sông Nhật Lệ có hai hướng chính là Tây Bắc và Đông Nam. Do ảnh hưởng của sự tương tác giữa sông và biển và ảnh hưởng của gió, hướng dòng chảy không ổn định. Điều này cũng phù hợp với nghiên cứu của *N.T.Hùng và nnk, 2018*. Tốc độ dòng ven biển đạt lớn nhất và trung bình lần lượt là 0.54m/s và 0.2m/s. Trong ngày 15/06/2009 có 2 xoáy dòng chảy hình thành khu vực cửa Nhật Lệ, một xoáy lớn ở phía ngoài theo chiều ngược chiều kim đồng hồ và 1 xoáy nhỏ hơn ở phía hạ lưu cửa sông và có chiều kim đồng hồ. Hai xoáy thuận nghịch này là một đặc điểm rất quan trọng có ảnh hưởng đến việc lan truyền chất cần được nghiên cứu sâu hơn.





Hình 11. Phân bố nhiệt độ nước khu vực cửa sông Nhật Lệ



Hình 12. Trường dòng chảy khu vực cửa sông Nhật Lệ

7. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã ứng dụng mô hình thủy động lực ba chiều FVCOM với số liệu đầu vào từ mô hình khí tượng WRF để mô phỏng chế độ thủy động lực tại cửa sông Nhật Lệ - Quảng Bình. Kết quả tính toán cho thấy mô hình FVCOM đã khôi phục dòng chảy khu vực cửa sông Nhật Lệ và cho kết quả khá tốt. Khu vực cửa sông trong thời gian tính toán chịu ảnh hưởng của dòng triều. Vận tốc lớn nhất khu vực ven biển đạt tới 0.5m/s. Phân tích trường dòng chảy cho thấy có hai hướng dòng chảy chủ đạo là Tây bắc và Đông nam. Có sự tạo thành xoáy khu vực cửa sông. Sự phân bố nhiệt độ nước theo không gian khá rõ rệt với nhiệt độ cao ở khu vực gần cửa và nhiệt độ

thấp hơn ở khu vực xa bờ với độ chênh nhiệt độ từ 1.0 đến 2.5 độ C. Trong các nghiên cứu tiếp theo cần có đánh giá độ chính xác của yếu tố gió được chi tiết hóa từ mô hình WRF nhằm tăng độ chính xác của kết quả tính toán từ mô hình FVCOM.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được thực hiện dựa trên kinh phí từ đề tài cấp Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn thông qua kênh hỗ trợ Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển. Các tác giả xin chân thành cảm ơn dữ liệu từ chương trình 47 về điều tra cơ bản các cửa sông và đề tài khoa học cấp nhà nước KC08.16/16-20.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Baptista, A. M., Zhang, Y., Chawla, A., Zulauf, M., Seaton, C., Myers Iii, E. P., ... & Turner, P. J. (2005). A cross-scale model for 3D baroclinic circulation in estuary-plume-shelf systems: II. Application to the Columbia River. *Continental Shelf Research*, 25(7-8), 935-972.
- [2] Do Minh, D. U. C., Yasuhara, K., Murakami, S., & Komine, H. Coastal Erosion in the tropical rapid accretion delta –A case study of the Red River Delta, Vietnam.
- [3] Guo, X., & Valle-Levinson, A. (2007). Tidal effects on estuarine circulation and outflow plume in the Chesapeake Bay. *Continental Shelf Research*, 27(1), 20-42.
- [4] Nguyen, T. D., Thupaki, P., Anderson, E. J., & Phanikumar, M. S. (2014). Summer circulation and exchange in the Saginaw Bay-Lake Huron system. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119(4), 2713-2734.
- [5] Nguyễn Khắc Nghĩa và nnk (2009). Báo cáo tổng hợp dự án điều tra hiện trạng cửa sông Nhật Lệ - Quảng Bình và kiến nghị các giải pháp bảo vệ, khai thác hoàn thiện.
- [6] Nguyễn Lập Dân, 2008. Nghiên cứu hiện trạng, xác định nguyên nhân và đề xuất các giải pháp phòng chống bồi lấp cửa sông nhằm khai thông luồng Nhật Lệ, Quảng Bình. Báo cáo đề tài cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà nội 2008.
- [8] Nguyễn Thanh Hùng, Nguyễn Quang Minh, Vũ Đình Cường, 2016. Nghiên cứu sự biến động theo mùa của chế độ thủy động lực khu vực cửa sông ven biển lưu vực sông Mã, Tạp chí Khoa học & Công nghệ Việt Nam, Tập 4, số 2, tháng 2/2016. Tr. 32-39;
- [9] Nguyễn Thanh Hùng, Vũ Đình Cường, Yoshimitsu Tajima, Tô Vĩnh Cường, 2014. Numerical modeling of Hydrodynamics and sediment transport processes in Ma rivier estuary, Vietnam, Proceedings of the 19th IAHR-APD Congress 2014, Hanoi, Vietnam.

- [10] Ralston, D. K., Geyer, W. R., & Lerczak, J. A. (2008). Subtidal salinity and velocity in the Hudson River estuary: Observations and modeling. *Journal of Physical Oceanography*, 38(4), 753-770.
- [11] Safaie, A., Litchman, E., & Phanikumar, M. S. (2017). Evaluating the role of groundwater in circulation and thermal structure within a deep inland lake. *Advances in Water Resources*, 108, 310-327.
- [12] Vinh, V. D., & Thanh, T. D. (2014). Characteristics of current variation in the coastal area of Red River Delta - Results of research using the 3D numerical model. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*, 14(2), 139-148.
- [13] Vũ Duy Vĩnh, Katrijn Baetens, Patrick Luyten, Trần Anh Tú, Nguyễn Thị Kim Anh (2012). Ảnh hưởng của gió bề mặt đến phân bố mặn và hoàn lưu vùng ven bờ châu thổ sông Hồng. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*, 13(1), 12-20.
- [14] Weisberg, R. H., & Zheng, L. (2006). Circulation of Tampa Bay driven by buoyancy, tides, and winds, as simulated using a finite volume coastal ocean model. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111(C1).