NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG THỬ NGHIỆM MÔ HÌNH EFDC MÔ PHỎNG DÒNG CHẢY LŨ HẠ LƯU SÔNG CẢ

Phạm Văn Tuấn[1], Nguyễn Tiến Quang[1]

Tóm tắt: *Nghiên cứu ứng dụng mô hình hóa trong việc mô phỏng dòng chảy phía hạ lưu và khu vực cửa sông ven biển là hết sức quan trọng. Nghiên cứu đã ứng dụng mô hình EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code) để mô phỏng thủy lực cho dòng chảy lũ 2 chiều ở hạ lưu sông Cả từ trạm thủy văn bến Thủy đến trạm thủy văn Cửa Hội cho các năm 1978, 1988 và 2002. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định và mô phỏng dòng chảy lũ 2 chiều hạ lưu sông Cả đoạn từ trạm thủy văn Bến Thủy đến trạm thủy văn Cửa Hội cho thấy mô hình EFDC hoàn toàn phù hợp để mô phỏng dày chảy 2 chiều trong sông ở hạ lưu sông Cả.*

Từ khóa: *EFDC, dòng chảy lũ, sông Cả.*

Ban Biên tập nhận bài: 12/08/2018 Ngày phản biện xong: 15/09/2018 Ngày đăng bài: 25/11/2018

1. Đặt vấn đề

Hiện nay các mô hình toán Thủy văn nước mặt đối với dòng chảy 2 chiều trong sông được áp dụng rộng rãi trên thế giới như DHI MIKE 21, HEC-RAS, EFDC,… Trong đó mô hình EFDC được Cục môi trương Mỹ (EPA) phát triển từ năm 1980, được các nhà khoa học biển Virgina phát triển tiếp từ năm 1994, cho đến nay mô hình EFDC được phát triển và ứng dụng rộng rãi trên thế giới đối với dòng chảy trong sông, cửa sông ven biển, hồ, vùng đất ngập nước,… Ưu điểm nổi bật của EFDC được cung cấp miễn phí bởi EPA và có bộ mã nguồn (code) để phát triển và linh động tính toán, mô phỏng trong môi trường nước mặt [1-2].

EFDC đang được áp dụng bước đầu ở Việt Nam mô phỏng, đánh giá chế độ thủy động lực, chất lượng nước, môi trường, tràn dầu cho các khu vực sông, cửa sông ven biển bởi viện nghiêu cứu, trường đại học. Từ năm 2002 cho đến nay EFDC đang được công ty DSI (Dynamic Solution International), LLC của Mỹ tiếp cận phát triển phần mềm dưới dạng phần mềm EEMC ở Việt Nam.

Do chế độ dòng chảy trong sông, khu vực cửa sông ven biển và vùng nước ngập nước ở Việt Nam rất phức tạp cả về không gian và thời gian, nhất là khu vực hạ lưu sông, cửa sông ven biển bởi chế độ thủy động lực, hình thái, bùn cát, chất lượng nước. Do vậy việc mô phỏng thủy lực chính xác dòng chảy trong sông sẽ làm tiền đề để giải quyết các vấn đề vừa nêu trên.

Nghiên cứu tập trung vào ứng dụng thử nghiệm mô hình EFDC trong việc mô phỏng dòng chảy 2 chiều hạ lưu sông Cả, đoạn từ trạm thủy văn Bến Thủy đến trạm thủy văn Cửa Hội để đánh giá mức độ phù hợp của mô hình EFDC phục vụ cho việc đánh giá chế độ thủy động lực, hình thái, bùn cát và chất lượng nước khu vực cửa sông ven biển Cửa Hội về sau.

2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập tài liệu.

2.1 Giới thiệu mô hình EFDC

Mô hình EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code) là một phần mềm mô hình nước mặt tổng hợp, có khả năng dự báo tính toán và

[1]*Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội*
Email: tienquang.hunre@gmail.com

mô phỏng các quá trình dòng chảy, lan truyền có tính đến các quá trình sinh¬ địa¬ hóa trong sông, hồ tự nhiên, kho nước (hồ chứa), các vùng cửa sông, vùng đất ngập mặn hoặc đới bờ, ven biển cùng biển và đại dương.

Bên cạnh các khả năng tính toán, mô phỏng các quá trình lan truyền nhiệt, lan truyền mặn và thủy động lực học, mô hình EFDC còn có khả năng tính toán và mô phỏng các quá trình vận chuyển trầm tích (trầm tích kết dính và trầm tích rời rạc), quá trình pha loãng chất ô nhiễm phạm vi gần hoặc xa bờ từ các nguồn thải gây ô nhiễm, quá trình phú dưỡng, quá trình lan truyền và phân hủy các chất độc trong pha nước hoặc trầm tích... Mô hình được xây dựng dựa trên các phương trình động lực, nguyên tắc bảo toàn khối lượng và bảo toàn thể tích. Mô hình là mô hình đa chiều (1 chiều, 2 chiều, 3 chiều) có tính đến sức cản của thực vật, quá trình làm khô, làm ướt, các đặc trưng cấu trúc thủy học, sự tương tác lớp biên dòng chảy sóng và dòng sinh sóng...

Hiện nay mô hình EFDC đã qua nhiều phát triển, cập nhật và gồm 4 modul chính sau: Mô hình thủy động lực học; Mô hình chất lượng nước; Mô hình vận chuyển trầm tích; Mô hình lan truyền, phân hủy các chất độc trong môi trường nước mặt.

Trong đó mô-đun thủy động lực của mô hình EFDC dựa trên phương trình xấp xỉ thủy tĩnh 3 chiều cho hệ tọa độ theo phương thẳng đứng và tọa độ cong trực giao nằm ngang. Kết quả tính toán từ mô hình thủy động lực học được kết hợp và sử dụng trực tiếp trong các modul còn lại cho mô hình chất lượng nước, mô hình vận chuyển bùn cát và mô hình lan truyền, phân hủy độc chất.

Mô hình thủy động lực học của EFDC gồm 6 modul lan truyền vận chuyển, bao gồm: Động lực học; Chất tải; Nhiệt độ; Độ mặn; Lan truyền chất; Vận chuyển bùn cát.

Hệ phương trình xấp xỉ thủy tĩnh 3 chiều viết cho hệ tọa độ theo phương thẳng đứng và tọa độ cong trực giao nằm ngang được sử dụng trong mô hình EFDC như sau:

Phương trình động lượng là:

- *Theo phương X:*

$$\begin{aligned}
&\partial_t\left(m_x m_y H_u\right)+\partial_x\left(m_y H_{uu}\right)+\partial_y\left(m_x H_{vu}\right)+\partial_z\left(m_x m_y WU\right)-f_e m_x m_y H_v \\
&=-m_y H\partial_x\left(P+P_{atm}+\varnothing\right)+m_y\left(\partial_x Z_b^* + z\partial_x H\right)\partial_z P \\
&+\partial_z\left(m_x m_y \frac{A_v}{H}\partial_z u\right)+\partial_x\left(\frac{m_y}{m_x} HA_H \partial_x u\right)+\partial_y\left(\frac{m_x}{m_y} HA_H \partial_y u\right) \\
&-m_x m_y C_p D_p\left(u^2+v^2\right)^{1/2} u
\end{aligned} \tag{1}$$

- *Theo phương Y:*

$$\begin{aligned}
&\partial_t\left(m_x m_y H_v\right)+\partial_x\left(m_y H_{uv}\right)+\partial_y\left(m_x H_{vv}\right)+\partial_z\left(m_x m_y WV\right)-f_e m_x m_y H_u \\
&=-m_x H\partial_y\left(P+P_{atm}+\varnothing\right)+m_x\left(\partial_y Z_b^* + z\partial_y H\right)\partial_z P \\
&+\partial_z\left(m_x m_y \frac{A_v}{H}\partial_z v\right)+\partial_x\left(\frac{m_y}{m_x} HA_H \partial_x v\right)+\partial_y\left(\frac{m_x}{m_y} HA_H \partial_y v\right) \\
&-m_x m_y C_p D_p\left(u^2+v^2\right)^{1/2} v
\end{aligned} \tag{2}$$

$$m_x m_y f_e = m_x m_y f - u\partial_y m_x + v\partial_x m_y \qquad (3)$$

$$\left(\tau_{xz}, \tau_{yz}\right) = A_v H^{-1} \partial_z (u, v)$$

Phương trình liên tục 3 chiều trong hệ tọa độ nằm ngang cong trực giao theo phương thẳng đứng:

$$\begin{aligned} &\partial_t\left(m_x m_y H\right) + \partial_x\left(m_y H_u\right) + \partial_y\left(m_x H_v\right) + \partial_z\left(m_x m_y W\right) \\ &= Q_H + \delta(0)\left(Q_{SS} + Q_{SW}\right) \end{aligned} \qquad (5)$$

Phương trình cân bằng bùn cát đáy trong mô phỏng diễn biến đáy sông:

$$\partial_t\left(m_x m_y B\right) = Q_{GW} - Q_{SS} - Q_{SW} \qquad (6)$$

Trong đó x, y là tọa độ nằm ngang trực giao; u, v tương ứng là vận tốc ngang trong lưới tọa độ cong trực giao x, y; m_x, m_y là hệ số tỉ lệ theo trục x, y; H là độ sâu cột nước; Z là tọa độ cao thẳng đứng; w là vận tốc thẳng đứng; p là thành phần áp suất; f là thông số Coriolis; A_v là độ rối thẳng đứng hoặc tính nhớt xoáy; Q_{ss} là lưu lượng bùn cát đến; Q_{sw} là lưu lượng nước đến; Q_{GW} là lưu lượng nước ngầm chảy vào dưới đáy lớp bùn cát; B là tổng chiều dày lớp bùn cát đáy (lớp bùn cát có khả năng bị xói); Q_H gồm lượng trữ ban đầu, lượng nước do mưa rơi xuống, lượng dòng bên gia nhập và chảy ra khỏi đoạn kênh.

Hệ số nhớt rối liên quan đến ứng suất tiếp, áp suất khí động lực học liên quan đến mật độ nước.

Áp suất động lực nước được viết bởi phương trình sau:

$$\partial_z P = -gHb = -gH\left(\rho - \rho_0\right)\rho_0^{-1} \qquad (7)$$

Cao trình đáy sông được xác định bởi phương trình:

$$\eta = B + Z_{bb}^{*} \qquad (8)$$

Với Z_{bb}* là cao trình đáy tính toán vận chuyển bùn cát đáy

Cao trình mặt nước được xác định bởi phương trình:

$$\xi = Z_s^{*} = H + \eta \qquad (9)$$

Hệ phương trình Navier-Stokes được giải gần đúng bằng cách sử dụng kết hợp các phương pháp sai phân hữu hạn và phương pháp thể tích hữu hạn, đồng thời kết hợp với việc giải các phương trình truyền tải và phương trình liên tục cho các thành phần độ mặn, nhiệt, năng lượng rối động học và rối cỡ lớn. Các phương trình được giải trên hệ lưới cong tuyến tính phi trực giao theo phương ngang và trên hệ lưới co dãn theo phương thẳng đứng. Các thành phần khuếch tán theo phương thẳng đứng của động năng, vật chất và nhiệt độ được xác định sử dụng các sơ đồ đóng kín rối Mellor và Yamada và Galperin.

2.2 Phân tích số liệu.

Khu vực nghiên cứu để áp dụng mô hình EFDC là đoạn sông từ trạm thủy văn Bến Thủy đến trạm thủy văn Cửa Hội như hình 1 [6].

Hình 1. Đoạn sông hạ lưu sông Cả từ trạm thủy văn Bến Thủy đến trạm thủy văn Cửa Hội [6]

Số liệu được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm:

+ Số liệu địa hình: Tài liệu địa hình sông Cả thu thập được từ số liệu điều tra mặt cắt sông Cả hằng năm của Bộ nông nghiệp năm 2009;

+ Số liệu mặt cắt ngang, chiều dài đoạn sông;

+ Số liệu đo đạc bình đồ khu vực nghiên cứu năm 2005; Tọa độ địa hình khu vực nghiên cứu trên bản đồ số Aslas quốc gia năm 2000.

+ Số liệu thủy văn: Mực nước giờ tại trạm Cửa Hội và trạm Nghi Thọ trên sông Cả của trận lũ năm 1978 để hiệu chỉnh mô hình và năm 1988 để kiểm định mô hình. Lưu lượng nước tại trạm thủy văn Nam Đàn, mực nước tại Cửa Hội tương ứng với trận lũ các năm 1978 và 1988 dùng để làm biên trên, biên dưới cho mô hình.

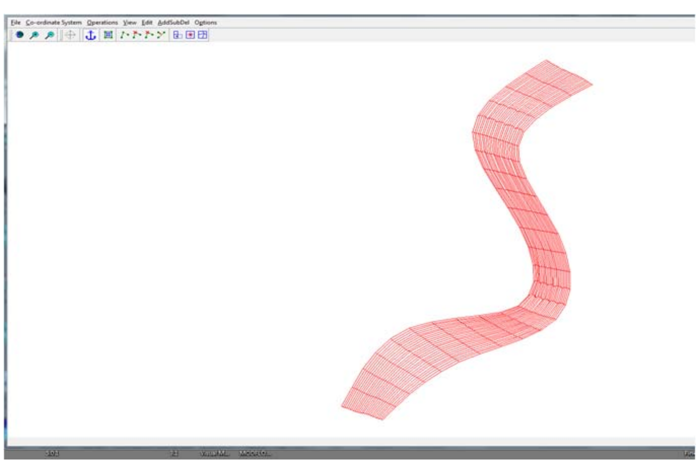
Miền tính toán của mô hình từ Cầu Bến Thủy đến Cửa Hội có tọa độ địa lý nằm trong khoảng từ 18°38' đến 18°46' vĩ độ Bắc và 105°42' đến 105°46' kinh độ Đông (Hình 1).

Biên trên là khu vực gần Cầu Bến Thủy (sử dụng lưu lượng nước tại trạm thủy văn Nam Đàn năm 1988, biên dưới được lấy tại Cửa Hội năm 1988). Miền mô hình trong đồ án được xây dựng thuộc dạng lưới cong phi trực giao (Hình 3).

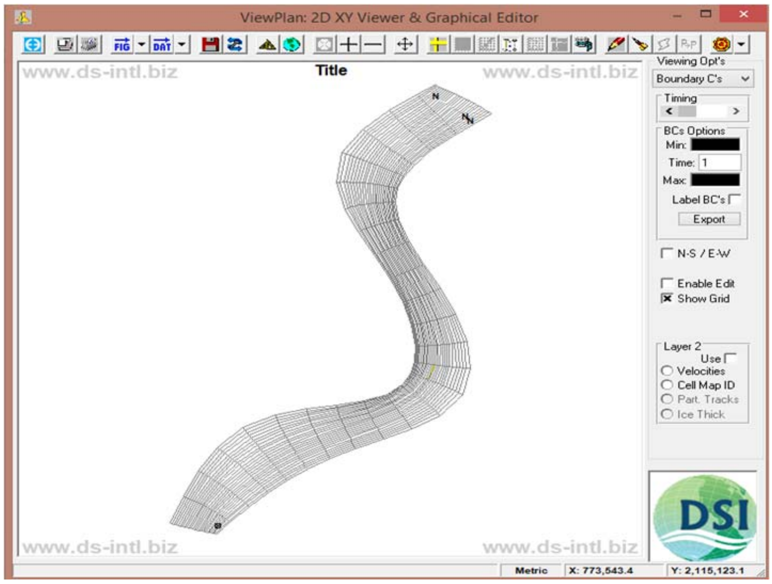
Nghiên cứu đã sử dụng phần mềm Delft3D RGFGrid [4] để xây dựng miền lưới tính toán mô phỏng cho vùng nghiên cứu từ bình đồ và mô hình số độ cao DEM độ phân giải 30m*30m, kết quả có được 625 ô lưới như Hình 2.

Vùng lưới tính toán trên mô hình EFDC được thể hiện như hình 3.

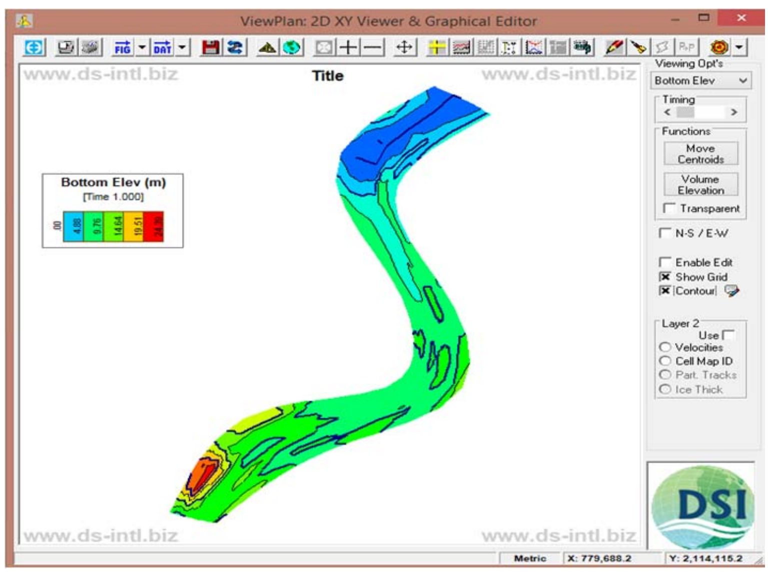
- Từ số liệu địa hình, tiến hành nội suy theo lưới tính toán được địa hình miền tính toán trong EFDC như hình 4.



Hình 2. Lưới tính toán trong phần mềm Delft3D



Hình 3. Lưới tính toán và biên trong mô hình EFDC

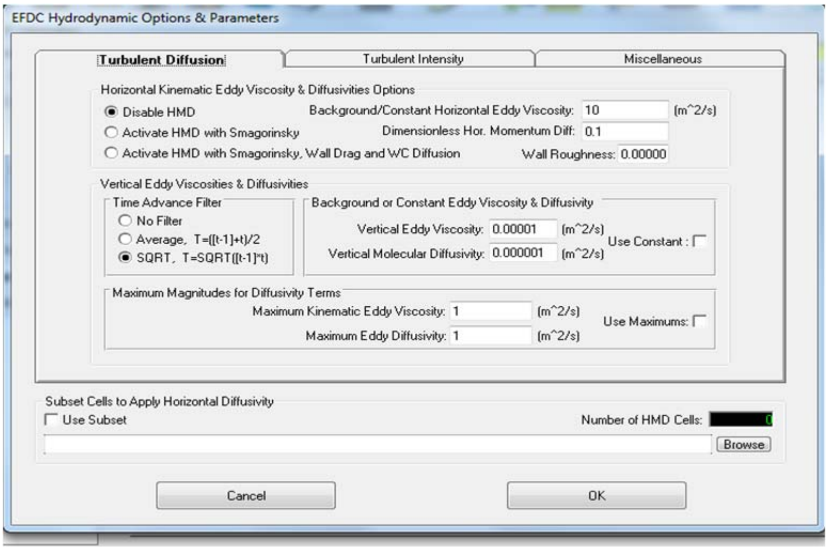


Hình 4. Địa hình miền tính toán trong EFDC

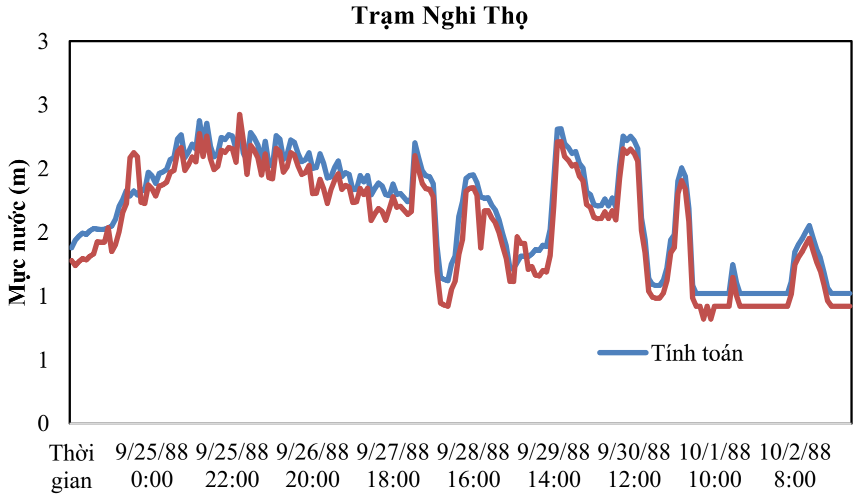
3. Kết quả và thảo luận

3.1 Hiệu chỉnh mô hình

Tiến hành hiệu chỉnh mô hình EFDC trận lũ từ ngày 24/IX/1988 đến 02/X/1988 với độ nhám thay đổi từ 0,03 đến 0,05 và các thông số khác (Hình 5). Bước thời gian tính toán của mô hình được chọn là 10s. Thời gian lưu kết quả tính toán mô hình là 60 phút/lần có được kết quả hiệu chỉnh tại tram thủy văn Nghi Thọ trong mô hình như hình 6.

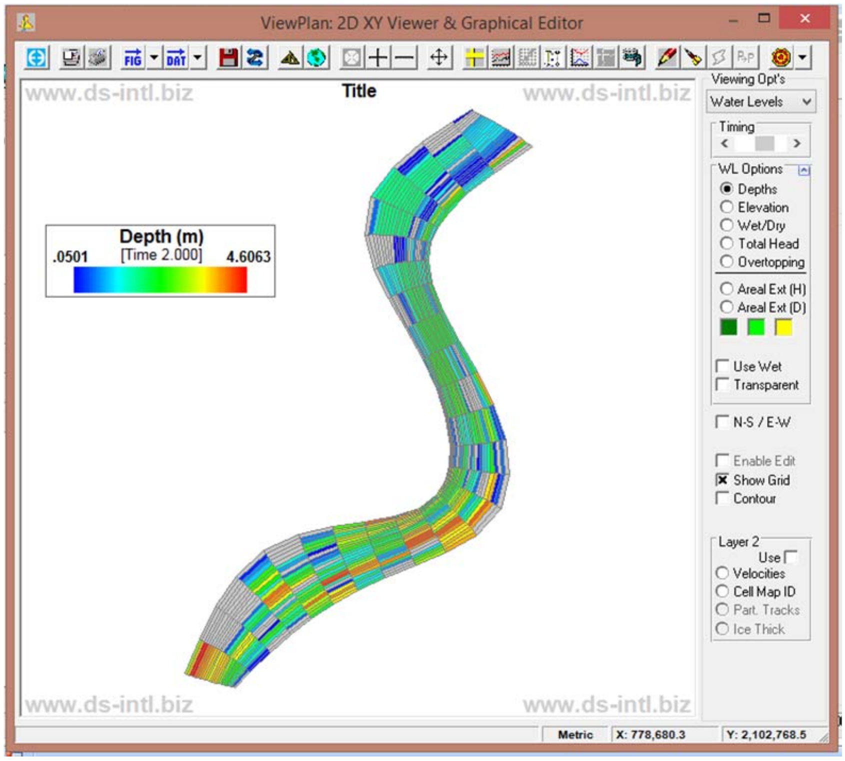


Hình 5. Các thông số thủy lực của mô hình EFDC

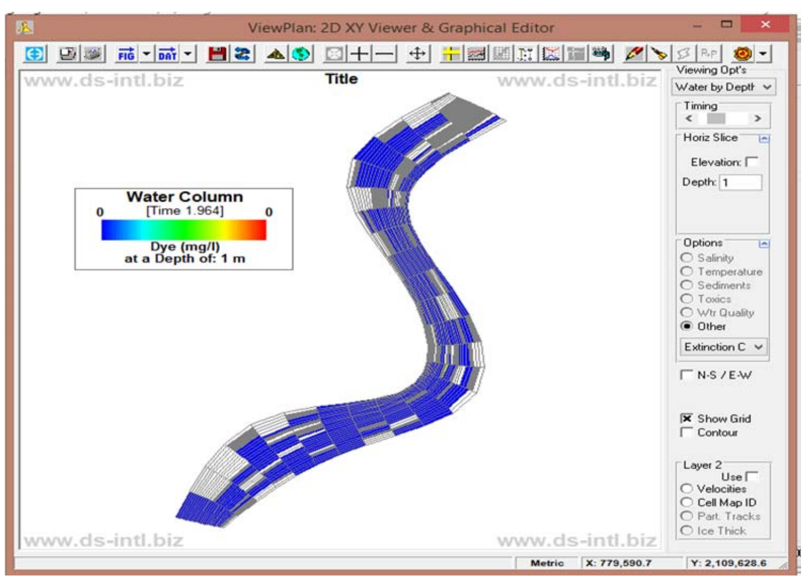


Hình 6. Kết quả hiệu chỉnh tại trạm thủy văn Nghi Thọ năm 1988

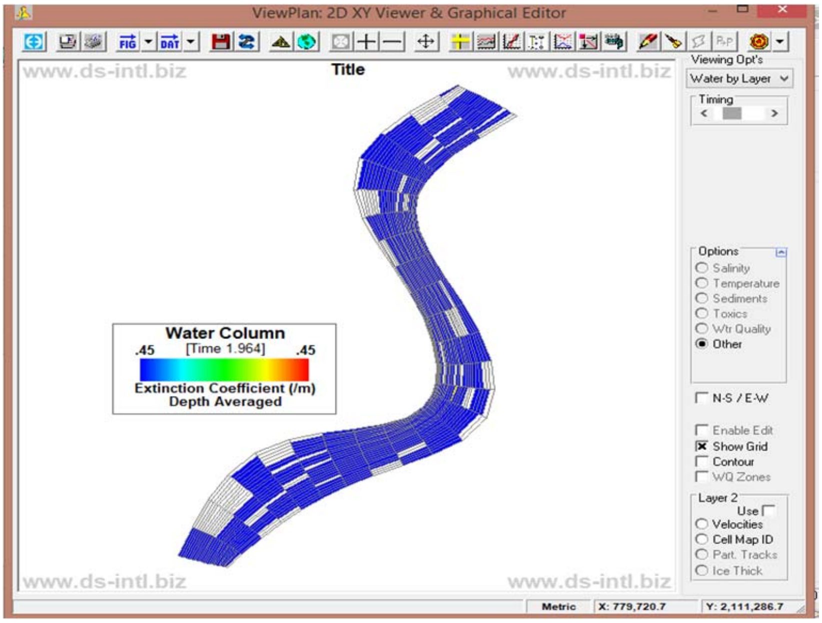
Kết quả hiệu chỉnh đường mực nước tại trạm Nghi Thọ là khá tốt, mực nước tính toán và thực đo khá phù hợp về hình dạng và không chênh lệch nhiều về độ lớn, hệ số NASH đạt 91%, RMSE đạt 0,13m. Kết quả mô phỏng sự phân bố dòng chảy đoạn sông nghiên cứu trong mô hình EFDC lần lượt được thể hiện trong hình 7 đến hình 10.



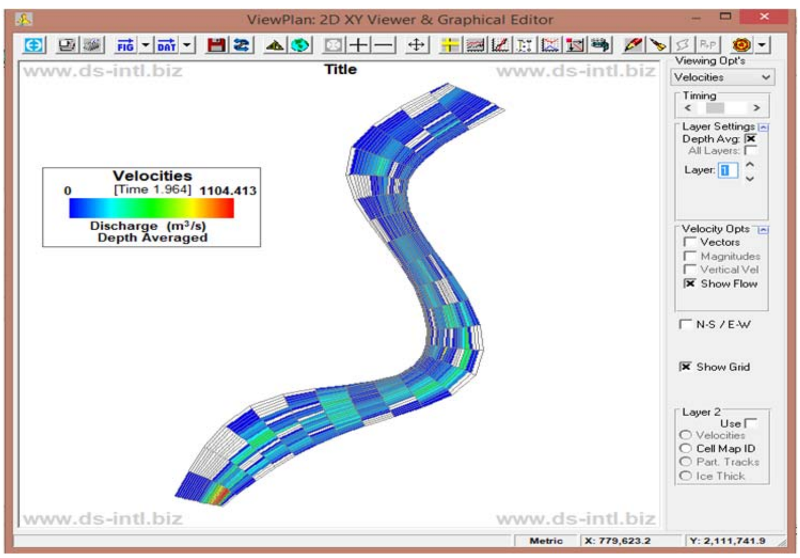
Hình 7. Phân bố độ sâu mực nước đoạn hạ du sông Cả từ Cầu Bến Thủy đến Cửa Hội ngày 25/IX/1988



Hình 8. Phân bố nước theo độ sâu đoạn hạ du sông Cả từ Cầu Bến Thủy đến Cửa Hội



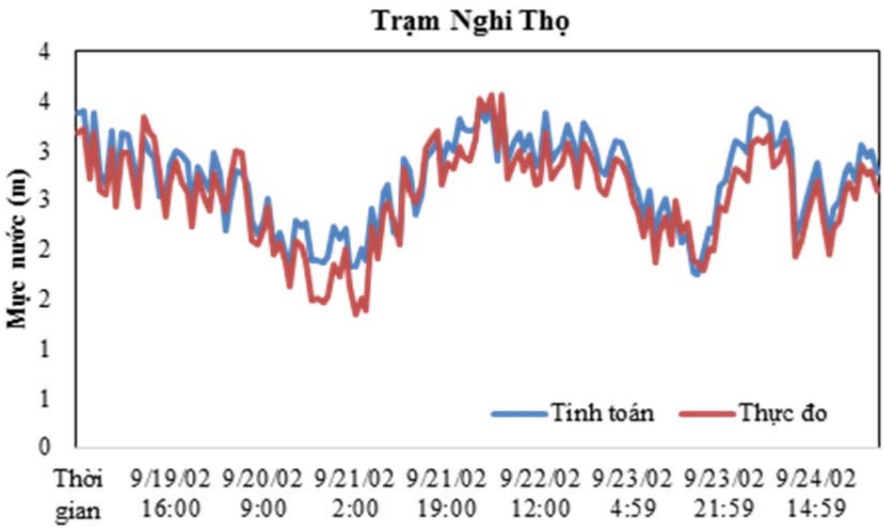
Hình 9. Phân bố độ nước theo lớp đoạn hạ du sông Cả từ Cầu Bến Thủy đến Cửa Hội



Hình 10. Phân bố vận tốc đoạn hạ du sông Cả từ Cầu Bến Thủy đến Cửa Hội ngày 24/X/1988

3.2 Kết quả hiệu chỉnh mô hình

Sau khi hiệu chỉnh, bộ thông số thủy lực đã được chọn sẽ được sử dụng để kiểm định mô hình. Tiến hành kiểm định cho trận lũ thời gian từ ngày 19/IX/1978 đến ngày 25/9/1978. Kết quả kiểm định so sánh mực nước thực đo và tính toán của trạm Nghi Thọ được thể hiện trong Hình 11.

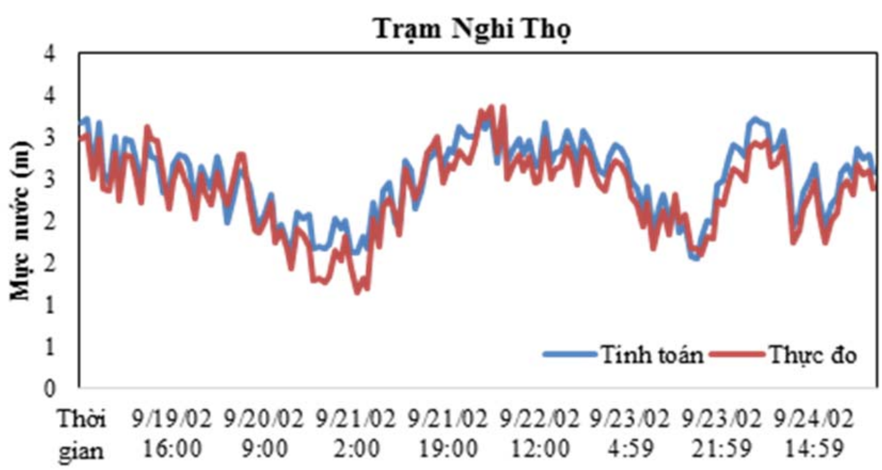


Hình 11. Kết quả kiểm định tại trạm thủy văn Nghi Thọ năm 1978

Kết quả kiểm định đường mực nước tại trạm Nghi Thọ là khá tốt, đường quá trình mực nước tính toán và thực đo khá phù hợp về hình dạng và không chênh lệch nhiều về độ lớn. Với bộ thông số trên cho kết quả đánh giá chỉ số NASH khá cao là 79%, RMSE đạt 0,22m.

3.3 Kết quả mô phỏng của mô hình.

Sử dụng bộ thông số đã sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình, tiến hành mô phỏng dòng chảy lũ 2 chiều hạ lưu sông Cả cho trận lũ từ ngày 19/IX đến 25/IX năm 2002. Kết quả mô phỏng giữa mực nước tính toán và thực đo tại trạm thủy văn Nghi Thọ được thể hiện trong hình 12.



Hình 12. Kết quả kiểm định tại trạm thủy văn Nghi Thọ năm 2002

Kết quả mô phỏng cho thấy đường mực nước tại trạm Nghi Thọ là khá tốt, đường quá trình mực nước tính toán và thực đo khá phù hợp về hình dạng và không chênh lệch nhiều về độ lớn. Kết quả đánh giá mô phỏng đối với chỉ số NASH khá cao là 80%, RMSE đạt 0,21m.

Qua việc hiệu chỉnh, kiểm định và mô phỏng dòng chảy lũ 2 chiều hạ lưu sông Cả đoạn từ trạm thủy văn Bến Thủy đến trạm thủy văn Cửa Hội cho thấy mô hình EFDC hoàn toàn phù hợp để mô phỏng dày chảy 2 chiều trong sông ở hạ lưu sông Cả.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã tiến hành nghiêu cứu về mô hình EFDC và áp dụng thử nghiệm thành công mô hình thủy lực 2 chiều lưới cong phi trực giao EFDC đối với đoạn sông từ trạm thủy văn Bến Thủy đến trạm thủy văn Cửa Hội ở hạ lưu sông Cả.

Kết quả tính toán ban đầu cho thấy mô hình EFDC có thể sử dụng để tính toán chế độ thủy động lực học cho khu vực hạ lưu sông Cả và làm tiền đề cho các ứng dụng để tính toán mô phỏng hình thái, vận chuyển bùn cát, chất lượng nước ở khu vực cửa sông ven biển hạ lưu sông Cả.

Bên cạnh đó, do chỉ là nghiên cứu bước và số liệu chưa có độ phân giải cao về địa hình nên kết quả tính toán còn chưa đạt mức độ cao và chưa có thêm tài liệu để tiến hành mô phỏng dòng chảy 2 chiều và 3 chiều ở khu vực cửa sông ven biển, tuy nhiên đã cho kết quả khá tốt.

Tài liệu tham khảo

1. Bản đồ địa hình lưu vực sông Cả (2009) - Tổng cục địa chính.

2. Andrew Mark Symonds, Thomas Vijverberg, Sander Post, Bart-Jan van der Spek, Johan Henrotte, Marius Sokolewicz (2016), *Comparison between Mike 21 FM, Deft3D, and Delft3D Folw Models of Western Port Bay*, Austraylia, Coastal Engineering Proceedings, https://icce-ojs-tamu.tdl.org/icce/index.php/icce/article/view/8133

3. Craig, P.M (2010), *Hydrodynamics of the Lower Nam Hinboun Floodplain Hydraulic Model, Dynamic Solutions*, LLC, Hanoi, Vietnam.

4. Delft3D-GRID User Manual Version 3.02, Delft.

5. Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC) Reference List, January 19, 2017, https://www.epa.gov/ceam/environmental-fluid-dynamics-code-efdc

6. Google Map (2017), Cửa Hội Nghệ An

REASEARCH ON THE APPLICATION OF EFDC MODEL TO SIMULATE THE WATERFLOW AT THE DOWNSTREAM OF CA RIVER

Phạm Van Tuan[1], Nguyen Tien Quang[1]
[1]Hanoi University of Natural Resources and Environment

Abstract: *The applicaton of simulation model in presenting the downstream flow and coastal estuarine areas of the research area is crucial. The research uses EFDC model (Environmental Fluid Dynamics Code) to simulate hydraulic power for the two-way flow in the lower section of Ca river from Ben Thuy station to Cua Hoi station in the years 1978, 1988 and 2002. The calibration, verification and simulation results in two-way downstream of Ca river; the section from Ben Thuy hydrological station to Cua Hoi hydrological station; shows that the EFDC model is perfectly suitable to simulate thetwo-way flow in the downstream of Ca river.*

Keywords: *EFDC, flood flow , Ca River*