

DOI:10.22144/ctu.jvn.2022.107

# MÔ HÌNH TOÁN SỐ TÍCH HỢP 1D2D3D NGHIÊN CỨU DIỄN BIẾN LÒNG DẪN SÔNG HẬU, ĐOẠN CHẢY QUA HUYỆN CHÂU PHÚ, TỈNH AN GIANG

Lê Song Giang<sup>1</sup> và Nguyễn Thị Thanh Hoa<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>Khoa Địa chất và Khoáng sản, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh

\*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Nguyễn Thị Thanh Hoa (email: nthoa@hcmunre.edu.vn)

### Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 21/05/2022

Ngày nhận bài sửa: 19/06/2022

Ngày duyệt đăng: 16/07/2022

### Title:

A numerical 1D2D3D integrated model for studying the evolution of the Hau river bed, the section at Chau Phu district, An Giang province

### Từ khóa:

Biến hình lòng dẫn, đê bao, mô hình tích hợp 1D2D3D, sông Hậu

### Keywords:

1D2D3D integrated model, bed evolution, Hau river, levees

### ABSTRACT

The movement of a river creates changes in the channel, which is shown through the transport of sediment in the river. In this paper, a numerical method to simulate the transport of sediment, especially by a 3D model is introduced. The equations are solved by the finite volume method on the unstructured grid and the sigma transform vertical axis. The highlight of this 3D model is that it can be integrated with 1D 2D models and ancillary works in complex real-world conditions. In addition, the calculation and experimental application of the 3D model to evaluate the changes in the riverbed of Hau river running through Chau Phu district, An Giang province are also presented in this paper.

### TÓM TẮT

Quá trình vận động của sông tạo ra những biến đổi trong lòng dẫn, điều này thể hiện thông qua sự vận tải bùn cát trên sông. Trong bài báo này, một phương pháp toán số mô phỏng quá trình vận chuyển của bùn cát trong đó đặc biệt là bằng mô hình 3D được giới thiệu. Trong đó, các phương trình được giải theo phương pháp thể tích hữu hạn trên lưới phi cấu trúc và trục thẳng đứng biến đổi sigma. Điểm nổi bật của mô hình 3D này là có thể tích hợp với các mô hình con 1D2D và các công trình trong điều kiện bài toán phức tạp ngoài thực tế. Ngoài ra, tính toán áp dụng thử nghiệm mô hình 3D đánh giá diễn biến lòng dẫn sông Hậu đoạn chảy qua huyện Châu Phú, tỉnh An Giang cũng được trình bày trong bài báo này.

## 1. GIỚI THIỆU

Biến đổi lòng dẫn các con sông là một quá trình xảy ra liên tục theo thời gian dưới tác động của các yếu tố tự nhiên và nhân tạo. Quản lý diễn biến lòng dẫn đòi hỏi phải có hiểu biết sâu sắc về quá trình này. Một trong những giải pháp là sử dụng các mô hình toán để mô phỏng sự vận chuyển, bồi xói và sạt lở lòng dẫn. Với sự phát triển nhanh chóng của các phương pháp số cũng như phương tiện tính toán, mô hình toán đã trở thành một công cụ hữu hiệu để nghiên cứu sự vận chuyển bùn cát và các quá trình

liên quan Athanasios et al. (2008). Các mô hình một chiều như Kamal and Andre' (2009), hay Vieira and Wu (2002), DHI-MIKE (2009), Greimann and Huang (2018); mô hình hai chiều như Casulli and Walters (2000), Jia and Wang (2001), Hervouet (2007), (3D-FLOW, 2010) và Bever et al. (2013); mô hình ba chiều như Johnson et al. (1993), Roelvink et al. (1994), Lesser (2000), Hamrick (2002), HydroQual (2002), DHI (2011) đã được phát triển.

Các mô hình toán giải các phương trình liên tục và động lượng để xác định trường dòng chảy, giải phương trình vận tải bùn cát lơ lửng và phương trình diễn biến đáy để tính toán biến đổi lòng dẫn. Đối với mô hình một chiều (1D), vận tốc và nồng độ bùn cát lơ lửng trung bình mặt cắt được tính toán trong một hệ trục tọa độ trục tuyến. Diễn biến bồi xói lòng dẫn cũng được tính toán trung bình trên các mặt cắt ngang sông.

Trong mô hình hai chiều (2D), vận tốc và bùn cát trung bình thủy trực được tính toán. Diễn biến bồi xói đáy được tính toán chi tiết tới từng điểm. Trong các trường hợp có các dòng thứ cấp, giá trị trung bình thủy trực là không đủ để phản ánh thực tế dòng chảy và phân bố bùn cát lơ lửng thì mô hình ba chiều (3D) là cần thiết.

Mặc dù mô hình 1D không cho phép tính diễn biến lòng dẫn một cách chi tiết nhưng do tính đơn giản nên có thể làm mô hình cho cả một con sông dài. Ngược lại mô hình 2D cho phép tính toán diễn biến lòng dẫn một cách chi tiết nhưng khó có khả năng làm mô hình ở quy mô lớn. Tình hình càng khó khăn hơn đối với mô hình 3D.

Việc thiết lập mô hình 2D hoặc 3D cho từng đoạn sông ngắn sẽ gặp một số bất tiện. Bất tiện đầu tiên là xác định điều kiện biên cho mô hình. Do đoạn sông tương đối ngắn nên các mặt cắt đầu vào và đầu ra của mô hình khó có thể trùng với các trạm thủy văn. Bất tiện thứ 2 là việc lập mô hình cho từng đoạn sông ngắn sẽ khiến cho không có khả năng đánh giá sự tương tác 2 chiều giữa đoạn sông làm mô hình với phần còn lại. Tuy nhiên, nếu sử dụng mô hình tích hợp trong đó các mô hình con 1D, 2D và 3D được thiết lập một cách hợp lý thì ta có thể có được một mô hình vừa có tính tổng thể vừa có khả năng tính toán một cách chi tiết các khu vực quan tâm.

Mục tiêu nghiên cứu của bài báo là giới thiệu một mô hình tích hợp 1D2D3D cho phép tính toán diễn biến lòng dẫn. Mô hình được phát triển từ việc kế thừa phần mềm F28 (Giang, 2011) và các nghiên cứu nâng cấp sau đó như Giang và Bích (2012), Giang và Hồng (2019). Bài báo giới thiệu kết quả ứng dụng của mô hình trong tính toán mô phỏng diễn biến lòng dẫn sông Hậu đoạn chảy qua huyện Châu Phú, tỉnh An Giang.

**2. MÔ HÌNH TOÁN**

**2.1. Phương trình cơ bản**

**Mô hình 1D:**

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_l \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial \eta}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} - V_a q_l = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial (AC)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s} \left( QC - \varepsilon A \frac{\partial C}{\partial s} \right) = -B(D_b - E_b) \quad (3)$$

$$(1-p)\rho_c B \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial Q_b}{\partial s} = B(D_b - E_b) \quad (4)$$

Trong đó  $\eta$  – mực nước;  $Q$  – lưu lượng;  $A$  và  $B$  – diện tích mặt cắt ướt và bề rộng mặt thoáng;  $K$  – module lưu lượng;  $q_l$  và  $V_a$  – lưu lượng nhập lưu trên 1 đơn vị chiều dài và thành phần vận tốc dọc trục của  $q_l$ ;  $C$  – nồng độ bùn cát lơ lửng trung bình mặt cắt;  $Q_b$  – lưu lượng bùn cát đáy;  $\varepsilon$  – hệ số khuếch tán;  $z_b$  - cao độ đáy sông.

**Mô hình 2D:**

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{q} = q_v \quad (5)$$

$$\frac{\partial \mathbf{q}}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{F}(\mathbf{q}) = \mathbf{b}(\mathbf{q}) \quad (6)$$

$$\frac{\partial (DC)}{\partial t} + \nabla [\mathbf{q}C - DD_H \nabla C] = -(D_b - E_b) \quad (7)$$

$$(1-p)\rho_c \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial (b\bar{C}_b)}{\partial t} + \nabla q_b = (D_b - E_b) \quad (8)$$

Trong đó:  $\eta$  - cao độ mặt nước;  $\mathbf{q} = [q_x, q_y]^T = D\mathbf{U}$  – vector lưu lượng trên một đơn vị bề rộng dòng chảy;  $\mathbf{U} = [U_x, U_y]^T$  – vector vận tốc trung bình chiều sâu;  $C$  – nồng độ bùn cát lơ lửng trung bình chiều sâu trong cột nước;  $z_b$  – cao độ đáy;  $\mathbf{q}_b$  – lưu lượng bùn cát đáy trên một đơn vị bề rộng dòng chảy;  $D_H$  – hệ số khuếch tán;  $q_v$  – lưu lượng bổ sung trên 1 đơn vị diện tích bề mặt;  $D$  – độ sâu;  $\mathbf{F}(\mathbf{q})$  – vector thông lượng của  $\mathbf{q}$ ; và  $\mathbf{b}(\mathbf{q})$  – vector ngoại lực.

$$\mathbf{F}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} q_x \mathbf{U} - A_H D \partial \mathbf{U} / \partial x \\ q_y \mathbf{U} - A_H D \partial \mathbf{U} / \partial y \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\mathbf{b}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\tau_{wx}}{\rho} + f q_y + u_a q_v \\ -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + \frac{\tau_{wy}}{\rho} - f q_x + v_a q_v \end{bmatrix} \quad (10)$$

Với  $A_H$  - hệ số nhớt rối;  $f$  – hệ số Coriolis;  $u_a$  và  $v_a$  – hai thành phần của vector vận tốc của  $q_v$ ;  $\tau_{wx}$  và  $\tau_{wy}$  – hai thành phần của ứng suất tiếp trên mặt do gió;  $\tau_{bx}$  và  $\tau_{by}$  – hai thành phần của ứng suất ma sát đáy.

**Mô hình 3D:**

$$\frac{\partial D}{\partial t} + \nabla_{\sigma} \mathbf{q} + \frac{\partial q_{\sigma}}{\partial \sigma} = 0 \tag{11}$$

$$\frac{\partial \mathbf{q}}{\partial t} + \nabla_{\sigma} \mathbf{F}(\mathbf{q}) + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ q_{\sigma} \mathbf{u} - \frac{A_v}{D} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \sigma} \right] = -gD \nabla_{\sigma} (\eta + \eta_0) + D \mathbf{b} \tag{12}$$

$$\frac{\partial (D \cdot c)}{\partial t} + \nabla_{\sigma} F(q_c) + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ (q_{\sigma} - w_{s0}) c - \frac{D_v}{D} \frac{\partial c}{\partial \sigma} \right] = 0 \tag{13}$$

Trong đó:  $\eta$  - cao độ mặt nước;  $\eta_0$  - cột áp khí quyển;  $\mathbf{q} = [q_x, q_y]^T = D \mathbf{u}$  - vector lưu lượng của một đơn vị bề rộng dòng chảy;  $\mathbf{u} = [u_x, u_y]^T$  - vector vận tốc trên phương ngang;  $\omega$  - thành phần vận tốc trên phương thẳng đứng trong hệ tọa độ  $\sigma$ ;  $q_{\sigma} = D \omega$ ;  $c$  - nồng độ bùn cát lơ lửng;  $D$  - độ sâu;  $\mathbf{F}(\mathbf{q})$  và  $\mathbf{F}(q_c)$  - vector thông lượng của  $\mathbf{q}$  và  $c$  theo các phương x và y; và  $\mathbf{b}$  - vector ngoại lực.

$$\mathbf{F}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} q_x \mathbf{u} - A_H D \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x} \\ q_y \mathbf{u} - A_H D \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial y} \end{bmatrix} \tag{14}$$

$$\mathbf{b} = f \begin{bmatrix} u_y \\ -u_x \end{bmatrix} \tag{15}$$

$$\mathbf{F}(q_c) = \begin{bmatrix} q_x c - D_H D \frac{\partial c}{\partial x} \\ q_y c - D_H D \frac{\partial c}{\partial y} \end{bmatrix} \tag{16}$$

Với  $A_H$  và  $A_v$  - độ nhớt rối theo các phương ngang và phương thẳng đứng;  $D_H$  và  $D_v$  - hệ số khuếch tán theo các phương ngang và phương thẳng đứng

Phương trình diễn biến đáy của mô hình 3D vẫn là phương trình (8). Trong các phương trình (3), (4) và (7), (8),  $D_b$  và  $E_b$  là suất lắng và xói bùn cát. Đối với bùn cát rời,  $D_b$  và  $E_b$ , được tính (Van Rijn, 1993):

$$D_b - E_b = w_{s0} (c_b - c_{b,e}) \tag{17}$$

Trong đó  $c_b$  và  $c_{b,e}$  - nồng độ bùn cát và nồng độ bùn cát bão hoà ở mặt phân cách lớp đáy và tầng lơ lửng.

Đối với bùn cát kết dính, suất xói,  $E_b$ , và lắng,  $D_b$ , được tính theo Hayter and Mehta (1986) và Krone (1962):

$$E_b = \varepsilon \left( \frac{\tau_b}{\tau_{\varepsilon}} - 1 \right) \tag{18}$$

$$D_b = w_{s0} C \left( 1 - \frac{\tau_b}{\tau_d} \right) \tag{19}$$

Trong đó:  $\varepsilon$  - hệ số xói;  $\tau_b$  - ứng suất tiếp đáy;  $\tau_{\varepsilon}$  - ứng suất tiếp đáy ngưỡng xói;  $\tau_d$  - ứng suất tiếp đáy ngưỡng bồi.

**2.2. Tích hợp các mô hình**

Tích hợp các mô hình là kết nối các mô hình con để đảm bảo cho dòng chảy diễn ra liên tục từ mô hình con này qua mô hình con khác. Có 2 kiểu liên kết được sử dụng. Đó là liên kết bằng siêu nút và liên kết bằng dòng tràn.

Siêu nút là nút chung của các mô hình con tham gia trong mô hình tích hợp. Liên kết siêu nút thường được sử dụng khi mô hình 1D kết nối với mô hình 2D và 3D tại mặt cắt ngang sông. Mức nước được tính toán tại siêu nút từ phương trình bảo toàn:

$$\frac{dW_J}{dt} = \oint_L q_n dL \tag{20}$$

Trong đó  $W_J$  là thể tích của nút J và L là chi vi kiểm soát bao nút J.

Nước cũng có thể chảy từ mô hình con này qua mô hình con kia ngang qua một công trình tràn. Ta có kiểu liên kết tràn. Nước tràn từ dòng (2D) xuống sông (1D) là một trường hợp điển hình của liên kết tràn. Lưu lượng của dòng tràn sẽ được tính bằng công thức đập tràn đỉnh rộng (Hình 1):

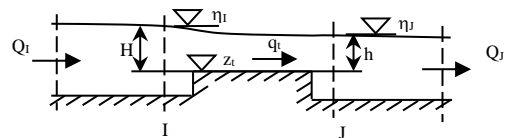
Trường hợp chảy tự do:

$$q_t = m \sqrt{2g} (\eta_j - z_t)^{3/2} \tag{21a}$$

Trường hợp chảy ngập:

$$q_t = \varphi (\eta_{j+1} - z_t) \sqrt{2g (\eta_j - \eta_{j+1})} \tag{21b}$$

Trong đó:  $q_t$  - lưu lượng tràn trên một đơn vị bề rộng dòng chảy;  $z_t$  - cao trình ngưỡng tràn;  $m$  và  $\varphi$  - hệ số lưu lượng và hệ số vận tốc;  $\eta_j$  và  $\eta_{j+1}$  - mực nước tại 2 mặt cắt thượng và hạ lưu.



**Hình 1. Sơ đồ đập tràn**

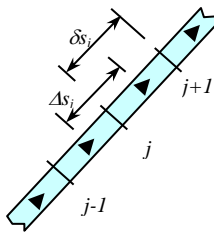
Kết nối các mô hình con bằng các phương trình (20) và (21a), (21b) mới chỉ đảm bảo bảo toàn về khối lượng. Để đảm bảo bảo toàn về động lượng khi thực hiện liên kết siêu nút, vận tốc/lưu lượng tại mặt

cắt giao tiếp được nội suy và sử dụng để tính số hạng đối lưu. Còn đối với liên kết tràn, việc truyền động lượng từ mô hình con này sang mô hình con kia được thực hiện thông qua số hạng nhập lưu trong các phương trình động lượng.

**2.3. Phương pháp giải**

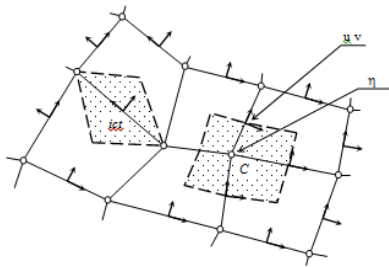
Các phương trình (1) – (8) và (11) – (13) được giải bằng phương pháp thể tích hữu hạn, sử dụng lưới không trùng.

Hình 2 giới thiệu lưới tính của mô hình 1D. Mục nước, nồng độ bùn cát và cao độ đáy được tính tại các mặt cắt. Trong khi đó thì lưu lượng được tính tại điểm giữa các đoạn tính.



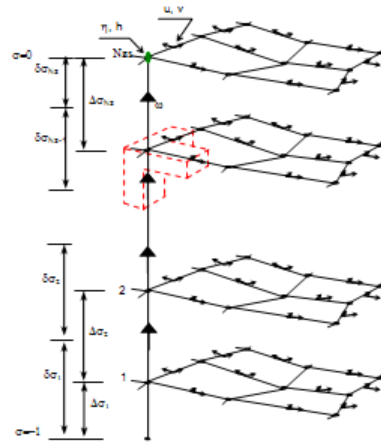
**Hình 2. Sơ đồ lưới tính tính mô hình 1D**

Lưới tính mô hình 2D được tạo thành từ các phần tử tứ giác và được giới thiệu trên Hình 3. Mục nước, nồng độ bùn cát và cao độ đáy được tính tại các nút lưới. Lưu lượng  $q$  được tính tại các cạnh của các phần tử.



**Hình 3. Sơ đồ tính tính mô hình 2D**

Trên mặt bằng, lưới tính 3D cùng vị trí các biến tính toán hoàn toàn giống lưới tính 2D. Hình 4 giới thiệu hình ảnh không gian của lưới tính 3D. Vector  $q$  được tính tại các cạnh của các phần tử trên từng lớp. Trong khi đó,  $q_0$  được tính trên các thủy trực tại các nút lưới, ở khoảng giữa các lớp. Còn nồng độ bùn cát lơ lửng được tính tại các nút lưới trên từng lớp. Khoảng cách giữa các lớp là không đều.



**Hình 4. Sơ đồ lưới tính mô hình 3D**

Thứ tự giải các phương trình trong mỗi bước tính như sau:

Bước 1: Giải các phương trình (2), (6) và (12) tính lưu lượng  $q$  ở thời điểm  $n+1/2$ .

Bước 2: Tính lưu lượng của các liên kết tràn.

Bước 3: Giải phương trình (1), (5) và (11) tính mực nước  $\eta$  ở thời điểm  $n+1$ .

Bước 4: Tính lưu lượng  $q_0$  ở thời điểm  $n+1/2$ .

Bước 5: Tính mực nước và nội suy lưu lượng tại các nút liên kết.

Bước 6: Giải phương trình (3), (7) và (13) tính nồng độ bùn cát lơ lửng ở thời điểm  $n+1$ .

Bước 7: Giải phương trình (4) và (8) tính cao độ đáy  $z_b$  ở thời điểm  $n+1$ .

**3. TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG DIỄN BIẾN LÒNG SÔNG HẬU ĐOẠN CHÂU PHÚ**

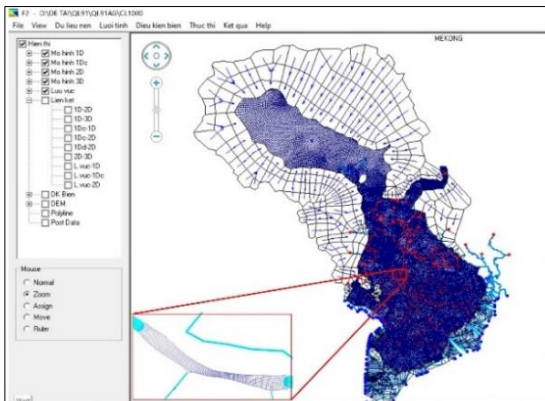
**3.1. Thiết lập mô hình**

Trong những năm qua, những thay đổi lòng dẫn vùng đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đã và đang diễn ra với xu thế gia tăng dần cả về phạm vi và quy mô. Vấn đề này đã thu hút nhiều nghiên cứu trong thời gian qua (Hoành, 2015), (Hoàng & Thanh, 2018), (Anh & Thuy, 2022). Hệ lụy kéo theo là thiệt hại về tài sản, kinh tế và cả tính mạng của người dân. Một trong những điểm nóng sạt lở bờ sông trong thời gian qua là Quốc lộ 91 (QL91), đoạn chày qua ấp Bình Tân, xã Bình Mỹ, huyện Châu Phú, tỉnh An Giang. Rạng sáng ngày 1/8/2019 và 27/5/2020 tại vị trí này đã xảy ra 2 vụ sạt lở nghiêm trọng (Hình 5). Đoạn sông tại vị trí này chỉ hơi cong với bờ lồi nằm phía xã Bình Mỹ nhưng lòng sông bị co hẹp.



**Hình 5. Vị trí sạt lở bờ sông Hậu**

Một trong những tác động chính làm thay đổi dòng chảy trên vùng ĐBSCL là hệ thống đê bao ngăn lũ. Theo kết quả nghiên cứu của Hồng và Giang (2015), hệ thống đê bao làm mực nước tại Tân Châu và Châu Đốc tăng khoảng 24-70 cm. Lưu lượng trên sông Tiền và sông Hậu cũng đều tăng. Riêng lưu lượng sông Hậu tại Châu Đốc có thể tăng tới 23% so với trường hợp không có đê bao khi xảy ra lũ lớn. Theo các tác giả khác nhau, suất xói lòng dẫn tỷ lệ với vận tốc ở bậc từ 2 cho tới 3 tùy tác giả nên việc lưu lượng tăng tới 23% sẽ có tác động rất lớn đến sự gia tăng bào mòn lòng sông.



**Hình 6. Mô hình 3D đoạn sông Hậu qua huyện Châu Phú, An Giang trong mô hình tích hợp 1D2D3D hạ lưu sông Mekong**

Nghiên cứu ảnh hưởng của đê bao tới lòng dẫn sông Hậu đoạn chảy qua Châu Phú, tỉnh An Giang, một mô hình tích hợp 1D2D3D cho vùng hạ lưu sông Mekong đã được thiết lập trong đó đoạn sông Hậu chảy qua huyện Châu Phú, tỉnh An Giang được mô hình hóa chi tiết bằng mô hình 3D (Hình 6). Để thiết lập mô hình, nghiên cứu đã kế thừa mô hình tích hợp 1D2D của vùng hạ lưu Mekong được thiết lập bởi bằng phần mềm F28 (Hồng & Giang, 2015). Trong đó, dòng chảy trong sông, kênh được làm mô hình 1D còn dòng chảy trên đồng được làm mô hình 2D. Đoạn sông Hậu chảy qua Châu Phú của mô hình 1D2D được loại bỏ và thay bằng mô hình 3D. Việc kế thừa không chỉ giúp đơn giản bớt việc xây dựng lưới tính của các mô hình con mà còn giúp bớt đi việc hiệu chỉnh mô hình (ở quy mô tổng thể).

Mô hình con 3D có 1104 phần tử, 1209 nút và 5 lớp. Để đánh giá ảnh hưởng của đê bao, địa hình đáy của mô hình đã được thiết lập theo số liệu từ trước khi xây dựng hệ thống đê bao. Điều kiện biên nồng độ bùn cát lơ lửng tại nút biên Kratie được tham khảo từ Manh et al. (2014). Các thông số bùn cát của mô hình cũng được tham khảo từ tài liệu nêu trên và từ số liệu khảo sát của công ty ADICO.

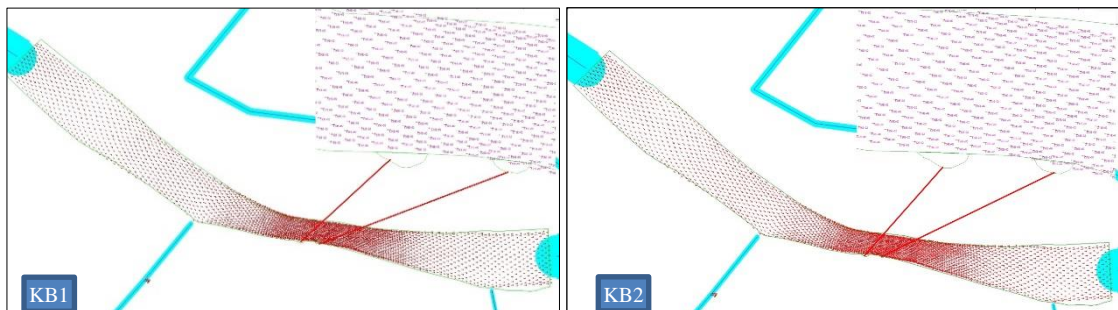
### 3.2. Kết quả tính toán và thảo luận

Hệ thống đê bao ở ĐBSCL cơ bản chỉ ảnh hưởng tới dòng chảy lũ. Vì vậy, các tính toán chỉ được thực hiện cho thời gian lũ. Trận lũ được chọn làm điều kiện để phân tích là trận lũ năm 2011. Thời gian tính toán là 45 ngày đỉnh lũ. Hai kịch được xem xét là có và không có hệ thống đê bao

- KB1: kịch bản hiện trạng (có đê bao).
- KB2: kịch bản giả định (không có đê bao)

#### 3.2.1. Chế độ thủy lực

Kết quả tính trường vận tốc trên mặt của KB1 và KB2 được trình bày trong Hình 7. Đối với trường hợp giả định không có đê bao (KB2), kết quả tính cho thấy vận tốc sát bờ khoảng 1,9 m/s. Trong khi đó, ở KB1 hiện trạng, vận tốc sát bờ lên đến 2,5 m/s.



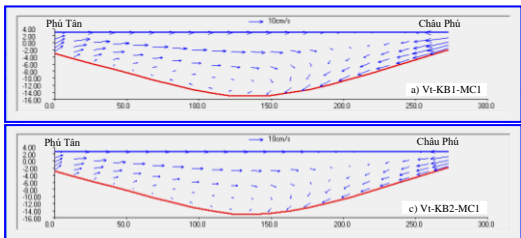
**Hình 7. Trường phân bố vận tốc của KB1 và KB2**

Để thấy rõ hơn cấu trúc dòng chảy tại khu vực ta có thể xem phân bố các thành phần vận tốc tiếp tuyến ( $V_t$ ) và pháp tuyến ( $V_n$ ) trên 2 mặt cắt ngang sông tại 2 vị trí sạt lở trong thời gian đỉnh lũ tại Châu Đốc (ngày 30/9/2011). Mặt cắt ngang vị trí sạt lở ngày 1/8/2019 được ký hiệu là MC1 còn mặt cắt ngang vị trí sạt lở ngày 27/5/2020 được ký hiệu là MC2. MC3 cắt dọc theo hố xói.

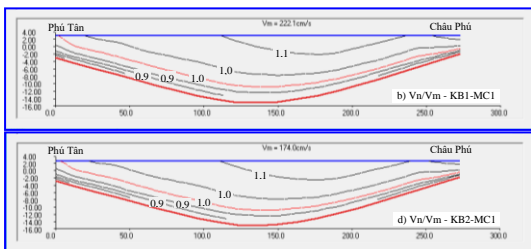


Hình 8. Vị trí các mặt cắt (MC)

Thành phần vận tốc tiếp tuyến  $V_t$  trên mặt cắt MC1 ở hai KB1 và KB2 được thể hiện trong Hình 9, còn thành phần vận tốc pháp tuyến  $V_n$  (được chuẩn hóa với vận tốc trung bình mặt cắt  $V_m$ ) được thể hiện trong Hình 10. Kết quả cho thấy có 1 xoáy thứ cấp thuận chiều hội tụ về đáy sông. Xoáy này sẽ làm gia tăng khả năng đào sâu lòng dẫn sông Hậu ở phía bờ Châu Phú. Trục động lực của dòng chảy lệch về phía bờ Châu Phú làm cho gradient vận tốc sát đáy tại bờ này lớn hơn đáng kể so với bờ đối diện. Điều này là lý do khiến bờ Châu Phú bị xói mạnh.



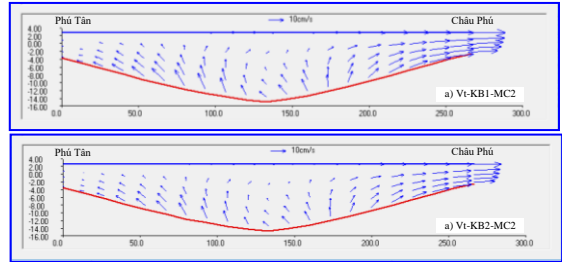
Hình 9. Mặt cắt MC1 - vận tốc  $V_t$  của KB1 và KB2



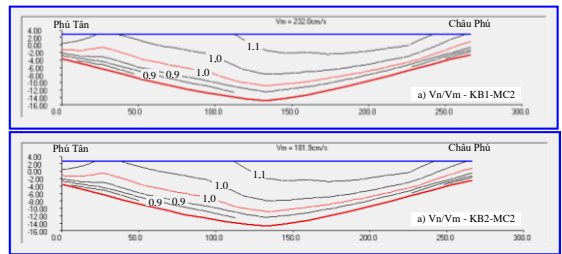
Hình 10. Mặt cắt MC1 - vận tốc  $V_n$  của KB1 và KB2

Hình 10 cho thấy vận tốc  $V_m$  trong kịch bản KB1 lớn hơn đáng kể so với KB2 (222,1cm/s so với 174,0cm/s).

Tương tự, Hình 11 và Hình 12 giới thiệu các thành phần vận tốc  $V_t$  và  $V_n$  trên mặt cắt MC2 ở hai KB1 và KB2. Tại mặt cắt MC2, dòng chảy bắt đầu phân kỳ. Xoáy thứ cấp hầu như đã biến mất. Tuy nhiên, trục động lực của dòng chảy vẫn lệch về phía bờ huyện Châu Phú làm cho gradient vận tốc sát đáy tại bờ này lớn hơn đáng kể so với bờ đối diện.

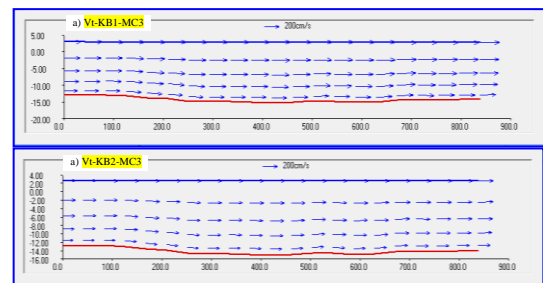


Hình 11. Mặt cắt MC2 - vận tốc  $V_t$  của KB1 và KB2



Hình 12. Mặt cắt MC2 - vận tốc  $V_n$  của KB1 và KB2

Hình 13 biểu diễn thành phần vận tốc tiếp tuyến  $V_t$  trên lát cắt MC3 dọc theo lòng sông tại vị trí hố xói của KB1 và KB2.

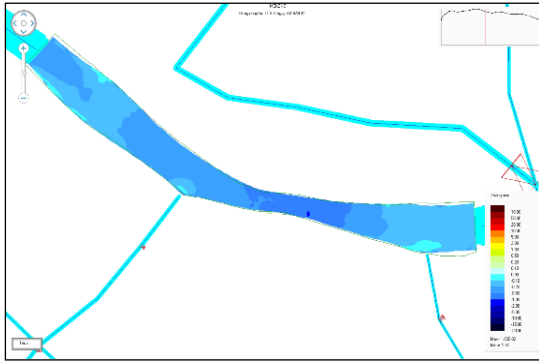


Hình 13. Mặt cắt MC3 - vận tốc  $V_t$  của KB1 và KB2

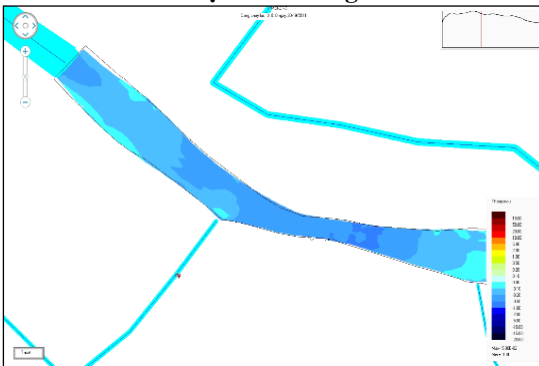
Như vậy, vận tốc dòng chảy của kịch bản có hệ thống đê bao trong KB1 lớn hơn đáng kể so với KB2.

3.2.2. Diễn biến lòng dẫn

Mô hình của hai KB1 và KB2 đã được cho chạy 45 ngày, từ 07/9/2011 – 22/10/2011 để đánh giá diễn biến lòng dẫn trong thời gian đỉnh của một trận lũ lớn. Hình 14 và 15 biểu diễn độ bồi xói lòng dẫn ở KB1 và KB2. Thang màu biểu thị mức độ thay đổi cao độ đáy ở đơn vị mét và giá trị dương là bồi.



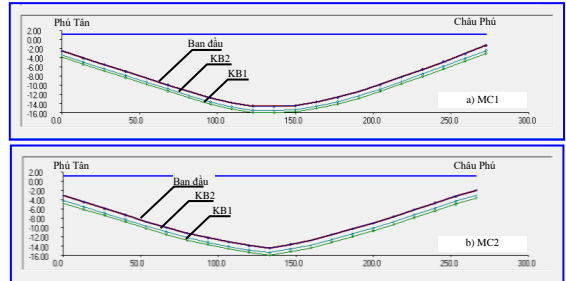
Hình 14. Độ bồi xói lòng dẫn KB1



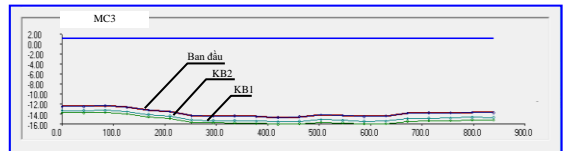
Hình 15. Độ bồi xói lòng dẫn KB2

Trong trường hợp giả định chưa có hệ thống đê bao (KB2), mức độ bồi xói tại vị trí hố xói trong khoảng từ (-0,87) m đến (-1,27) m. Trong khi ở hiện trạng (KB1), mức độ đào sâu lòng từ (-1,35) m đến (-2,00) m. Bờ phía Châu Phú bị xói mạnh hơn bờ phía đối diện.

Để làm rõ hơn đặc điểm bồi xói khu vực thay đổi biên dạng các mặt cắt MC1 và MC2 trong hai kịch bản được giới thiệu trên Hình 16. Còn Hình 17 giới thiệu thay đổi biên dạng đáy trên lát cát MC3 cắt dọc theo hố xói. Từ Hình 16 và Hình 17 cho thấy việc có hay không có hệ thống đê bao thì lòng dẫn sông Hậu khu vực này vẫn bị xói. Tuy nhiên hệ thống đê bao sẽ làm gia tăng tốc độ xói lên khoảng 70%.



Hình 16. Biên dạng mặt cắt MC1 và MC2 sau 45 ngày lũ



Hình 17. Biên dạng mặt cắt MC3 sau 45 ngày lũ

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, một phương pháp tính toán diễn biến hình lòng dẫn bằng mô hình tích hợp 1D2D3D đã được trình bày cụ thể. Phương pháp thể tích hữu hạn trên lưới tính phi cấu trúc phân tử tứ giác được áp dụng để giải các phương trình vi phân. Kết quả bài tính áp dụng cho sông Hậu đoạn chảy qua ấp Bình Tân, xã Bình Mỹ, huyện Châu Phú, tỉnh An Giang cho lời giải hợp lý và phù hợp với diễn biến thực tế.

Ngoài ra, từ kết quả tính toán diễn biến lòng dẫn sông Hậu cho thấy khi có sự hiện diện của hệ thống đê ngăn lũ đã ảnh hưởng rõ rệt đến quá trình bồi xói lòng sông. Cụ thể, tại đoạn sông áp dụng, kịch bản hiện trạng với hệ thống đê bao ngăn lũ sẽ có mức độ xói sau 45 ngày lũ lớn, chẳng hạn như lũ diễn ra năm 2011 vào khoảng từ (-1,35) m đến (-2,00) m. Trong khi đó, nếu không làm hệ thống đê bao thì mức độ xói ít hơn nhiều, dao động từ (-0,87) m đến (-1,27) m. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây (Hong & Giang, 2015). cũng như tình hình diễn biến sạt lở đang xảy ra tại đoạn sông Hậu áp dụng cho mô hình.

LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin cảm ơn ông Nguyễn Đỗ Tiến, Chủ tịch Hội đồng Quản trị kiêm Tổng Giám đốc, và ông Huỳnh Văn Vê, Phó Tổng Giám đốc Công ty Cổ phần TV&ĐT Phát triển An Giang (ADICO) đã cho phép sử dụng tài liệu của ADICO.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Anh, H. A., & Thuy, N. N. (2022). Socio-economic assessment of riverbank erosion from heavy boat traffic: A case study at the Cho Gao Canal, Tien Giang, Vietnam. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.<https://doi.org/10.1088/17551315/967/1/012005>
- Athanasios, N., Mohamed, E., George, K., Shwet, P., & Edinger, J (2008). Sediment Transport Modeling Review Current and Future Developments, 2008. *Journal of hydraulic engineering*, Bd. 134, 1-14. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2008\)134:1\(1\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:1(1))
- Bever, A. J., & MacWilliams, M. L. (2013). Simulating sediment transport processes in San Pablo Bay using coupled hydrodynamic, wave, and sediment transport models. 2013, 345, . *Mar.Geol.* 235–253. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.06.012>
- Casulli, V., & Walters, R. A. (2000). An unstructured grid, three dimensional model based on the shallow water equations. *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 32, 331–348.
- Delft3D-FLOW. (2010). *In Simulation of Multi-Dimensional Hydrodynamic Flow and Transport Phenomena, including Sediments—User Manual*. The Netherlands: Version 3.04, rev. 11114; Deltares: Delft.
- DHI (Dansk Hydraulisk Institut). (2011). *Delft3D-FLOW: Simulation of Multi-Dimensional Hydrodynamic Flows and Transport Phenomena, Including Sediments*. Deltares: Delft, The Netherlands.
- DHI (Dansk Hydraulisk Institut) - MIKE. (2009). *MIKE 11: a modeling system for rivers and channels. Reference manual*. Danish Hydraulic Institute, Denmark.
- Giang, L. S., & Bích, T. T. (2012). Kết quả bước đầu phát triển mô hình toán số 2 chiều diễn biến lòng dẫn sông Sài gòn – Đồng Nai. *Hội nghị khoa học Cơ học Thủy Khí Toàn quốc năm 2012*, 26-28/7/2012, (S. 259 – 268). Nha Trang. [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2019\(702\).1-12](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2019(702).1-12)
- Giang, L. S., & Hồng, T. T. M. (2019). Mô hình tính toán dòng chảy và vận tải bùn cát ba chiều trong sông và kênh hở. *Tạp chí phát triển Khoa học và Công nghệ*, 3(1), 23-36.
- Giang, L. S. (2011). Xây dựng mô hình toán tổng hợp cho tính toán thoát nước đô thị. HCM: *Báo cáo đề tài Nghiên cứu khoa học mã số B2007-20-13TD, VNU-HCM (Đại học Quốc gia Tp.HCM)*.
- Greimann, B., & Huang, J. V. (2018). SRH-1D 4.0 User's Manual (Sedimentation and River Hydraulics—One Dimension, Version 4.0). USA: *Technical Report SRH-2018-07, Technical Service Center, US Bureau of Reclamation, Denver (CO)*.
- Hamrick, J. M. (1992). *A Three-Dimensional Environmental Fluid Dynamics Computer Code: Theoretical and Computational Aspects* (doctoral dissertation, The College of William and Mary VA, USA, Virginia Institute of Marine Science: Gloucester Point.
- Hayter, E. J., & Mehta, A. J., (1986). Modeling cohesive sediments transport in estuarine waters. *Applied Mathematical Modelling*, 51, 765-778.
- Hervouet, J. M. (2007). *Hydrodynamics of Free Surface Flows*. John Wiley & Sons, NJ, USA. <https://doi.org/10.1002/9780470319628>
- Hoàng, T. B., & Thanh. T. T. P. (2018). Phân tích nguyên nhân gây sạt lở bờ sông trên địa bàn tỉnh Bạc Liêu và Cà Mau. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, 43, 1-7.
- Hoành, T. P. (2015). Đánh giá thực trạng và nguyên nhân xói lở bờ sông Tiền đoạn chảy qua tỉnh Đồng Tháp. *Khoa học Tự nhiên & Công nghệ*, 2(20), 61-67.
- Hồng, T. T. M., & Giang, L. S. (2015). Ảnh hưởng của đê bao tới lũ ở Đồng bằng sông Cửu long. *Tuyển tập Công trình Hội nghị khoa học*, 351-358.
- HydroQual, I. (2002). *A primer for ECOMSED: Users Manual*. USA: HydroQual, Inc.: Mahwah, NJ.
- Jia, Y., & Wang, S. S. Y., (2001). Two-Dimensional Hydrodynamic and Sediment Transport Model for Unsteady Open Channel Flows Over Loose Bed; *Technical Report: NCCHETR-2001-01; National Center for Computational Hydroscience and Engineering*, The University of Mississippi: Oxford, MS, USA: National Center for Computational Hydroscience and Engineering.
- Johnson, B. H., Kim, K. W., Heath, R. E., Hsieh, B. B., & Butler, H. L., (1993). Validation of three dimensional hydrodynamic model of Chesapeake Bay. *J. Hydraul. Eng.*, 119, 2-20. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1993\)119:1\(2\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1993)119:1(2))
- Kamal, E. A., & André, P. (2009). One-dimensional numerical modeling of sediment transport and bed deformation in open channels. *Water Resour Res*, 45:W05404, 1-20 <https://doi.org/10.1029/2008WR007134>
- Krone, R. B. (1962). *Flume studies of the transport of sediment in estuarine shoaling processes, final report*. Berkeley, Hydraulic Engineering Laboratory and Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California.



- Giang, L. S., & Hồng, T. T. M. (2019). Mô hình tính toán dòng chảy và vận tải bùn cát ba chiều trong sông và kênh rạch. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ – Khoa học Trái Đất và Môi trường*, Bd. 3(1), 23-36.
- Lesser, G. (2000). *Computation of Three-Dimensional Suspended Sediment Transport within the DELFT3D-FLOW Module*; WLjDelft Hydraulics Report Z2396; Delft Hydraulics: Delft. The Netherlands.
- Manh, N. V., Dung, N. V., Hung, N. N., B. Merz, B., & Apel, H. (2014). Large-scale suspended sediment transport and sediment deposition in the Mekong Delta. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 18, 3033–3053. <https://doi.org/10.5194/hess-18-3033-2014>
- Roelvink, J. A., & Van Banning, G. K. F. M. (1994). Design and development of DELFT3D and application to coastal morphodynamics. In *Hydroinformatics*; Verwey, A., Minns, A.W., Babovic, V., Maksimovic, C., Eds.; Balkema: Rotterdam. The Netherlands.
- Thomas, W. A., & McAnally, W. H., (1985). Users manual for the generalized computer program system open-channel flow and sedimentation. *Main Text, Instruction Rep. HL-85-1, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, Miss.*
- Van Rijn. (1993). *Principles of Sediment Transport in Rivers*. Estuaries and Coastal Seas, Aqua Publications, 690p.
- Vieira, D. A., & Wu, W. (2002). One-dimensional channel network model CCHE1D version 3.0-User's Manual. *National Center for Computational Hydroscience and Engineering*, University of Mississippi, Oxford, Miss.