

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH THỦY LỰC MỘT CHIỀU (1D) KẾT HỢP VỚI HAI CHIỀU (2D) TRÊN ĐOẠN SÔNG HẬU

Phạm Lê Mỹ Duyên¹, Nguyễn Văn Bé¹, Đặng Trâm Anh² và Văn Phạm Đăng Trí¹

¹Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

²Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

Thông tin chung:

Ngày nhận: 26/04/2016

Ngày chấp nhận: 29/08/2016

Title:

Combined one- and two-dimensional hydraulic modelling for simulating a section of the Hau river along the Can Tho city

Từ khóa:

Mô hình thủy lực một chiều kết hợp hai chiều, mô hình thủy lực, đặc tính thủy lực

Keywords:

Combined 1D and 2D, hydraulic modelling, hydraulic properties

ABSTRACT

The study presented the development of a two-dimensional (2D) domain nested in a one-dimensional (1D) hydraulic modelling by a new version of the HEC-RAS hydraulics model (version 5.0) in a river section of the Hau River running along the Can Tho city. The main objective of the research was to assess the applicability of the 2D hydraulic model nested in a 1D hydraulic model in the study river section to provide better understanding on hydraulic properties of surface water flow (e.g. flow direction and velocity at each considered position) during the dry period (from April to May in 2012). Input data of the 2D domain were developed based on the outputs of the 1D model (which was fully calibrated and validated). The study set a stage for subsequent studies about potential impacts of flow on river morphological changes.

TÓM TẮT

Nghiên cứu trình bày việc phát triển mô hình thủy lực hai chiều (2D) kết nối vào trong mô hình 1 chiều (1D) bằng phần mềm HEC-RAS mới (phiên bản 5.0) trên một đoạn sông thuộc nhánh sông Hậu chảy dọc thành phố Cần Thơ. Mục tiêu chính của nghiên cứu là đánh giá khả năng áp dụng mô hình thủy lực 2D kết nối trong mô hình thủy lực 1D trên đoạn sông nghiên cứu, nhằm cung cấp thông tin cụ thể hơn về đặc tính thủy lực của dòng chảy (hướng dòng chảy, vận tốc dòng chảy tại từng vị trí) vào mùa khô (từ tháng 4 đến tháng 5 năm 2012). Các thông số đầu vào của khu vực 2D được xuất từ kết quả của mô hình 1D (đã hiệu chỉnh và kiểm định). Nghiên cứu cũng là tiền đề cho những nghiên cứu tiếp sau về tác động của dòng chảy đến địa mạo của sông.

Trích dẫn: Phạm Lê Mỹ Duyên, Nguyễn Văn Bé, Đặng Trâm Anh và Văn Phạm Đăng Trí, 2016. Ứng dụng mô hình thủy lực một chiều (1D) kết hợp với hai chiều (2D) trên đoạn Sông Hậu. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 45a: 82-89.

1 GIỚI THIỆU

Hiện nay, mô hình toán thủy lực đã và đang trở thành một công cụ thích hợp, hỗ trợ trong lĩnh vực quản lý và dự đoán sự thay đổi của nguồn tài nguyên nước (Trần Hồng Thái *et al.*, 2007; Phan Viết Chính, 2011). Việc ứng dụng mô hình toán thủy lực một chiều (1D) nhằm đánh giá động thái

nguồn tài nguyên nước mặt dưới tác động của sự thay đổi điều kiện khí hậu và cơ sở hạ tầng thủy lợi đã được phát triển cho toàn vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) và một số vùng nhỏ hơn như Tứ giác Long Xuyên và các vùng ven biển) (Reiner Wassmann *et al.*, 2004; Le Thi Viet Hoa *et al.*, 2006; Dinh Nhat Quang *et al.*, 2012; Văn Phạm Đăng Trí *et al.*, 2012b; a; Lâm Mỹ Phụng *et al.*,

2013). Trên thế giới, mô hình hai chiều (2D) và ba chiều (3D) đã được áp dụng khá phổ biến (BinLiang Lin *et al.*, 2006; Pascal Finaud-Guyot *et al.*, 2011; E. Bladé *et al.*, 2012; Zoltan Horvat *et al.*, 2015); mặc dù vậy, việc áp dụng nhóm mô hình có tính phức tạp về tính toán và yêu cầu về số liệu đầu vào vẫn còn khá mới và chưa được áp dụng rộng rãi trong các nghiên cứu ở ĐBSCL. Việc kết hợp giữa 2 nhóm mô hình (1D và 2D) là cần thiết nhằm xác định động thái thủy lực chung của hệ thống sông lớn / phức tạp và xác định động thái thủy lực cụ thể ở một số vị trí quan trọng cần quan tâm cũng như khắc phục được tình trạng thiếu dữ liệu đầu vào khi xây dựng mô hình 2D riêng biệt.

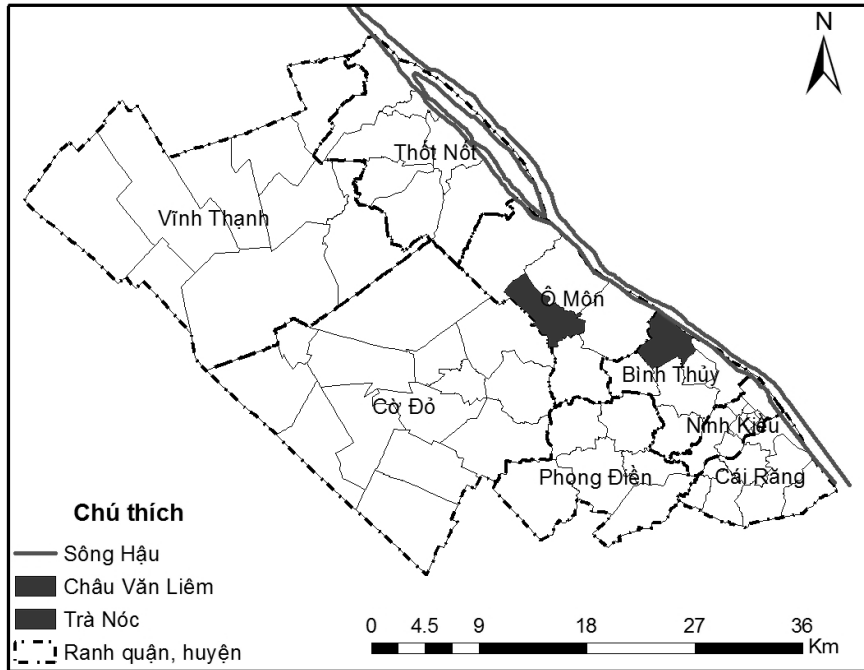
Theo Zoltan Horvat *et al.* (2015), chế độ dòng chảy và sự vận chuyển bùn cát trong sông lòng nền phù sa ảnh hưởng trực tiếp đến sự phát triển hình dạng và địa mạo của lòng sông. Tình trạng thay đổi địa mạo lòng sông Hậu (xói lở và bồi lắng bờ sông) đang là vấn đề quan tâm hiện nay do tác động của sự thay đổi chế độ dòng chảy do sự thay đổi của điều kiện tự nhiên và việc xây dựng các công trình thủy lợi trên sông Hậu (Lam Dao Nguyen *et al.*,

2011). Tuy nhiên, các nghiên cứu về lĩnh vực địa mạo lòng sông, xói lở hoặc bồi lắng vẫn còn hạn chế, đặc biệt là trong bối cảnh thay đổi điều kiện thủy văn – môi trường của lưu vực sông Mekong. Vì vậy, nghiên cứu đã được thực hiện với mục tiêu đánh giá khả năng áp dụng mô hình toán thủy lực hai chiều (2D) kết hợp với 1 chiều (1D); đồng thời, tìm hiểu thêm đặc tính thủy lực dòng chảy trên một phần đoạn sông Hậu. Từ đó, nghiên cứu còn giúp cho việc tìm hiểu chi tiết hơn về đặc tính thủy lực (vận tốc, lưu lượng, mực nước dòng chảy tại mỗi điểm khác nhau trên một mặt cắt ngang) ở những khu vực quan tâm.

2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đoạn sông Hậu từ phường Châu Văn Liêm, quận Ô Môn đến phường Trà Nóc, quận Bình Thủy, thành phố Cần Thơ được chọn để phát triển mô hình hai chiều kết hợp với mô hình một chiều (xây dựng cho sông Hậu, từ trạm đo thủy văn Châu Đốc tỉnh An Giang đến trạm đo thủy văn Cần Thơ thuộc Thành phố Cần Thơ) (Hình 1).



Hình 1: Bản đồ khu vực nghiên cứu

2.2 Mô hình HEC-RAS

Mô hình phân tích dòng chảy HEC-RAS (Hydrological Engineering Centre - River Analysis System) (phiên bản 2D, 5.0) được thiết kế bởi trung tâm công trình thủy văn của Cục Kỹ thuật Công trình Quân đội Hoa Kỳ (Gary W. Brunner, 2016). Phần mềm này vừa mới được cải tiến, bổ sung khả năng mô phỏng dòng chảy không ổn định

2 chiều (2D) và mô hình 1D kết hợp với 2D. Phần mềm vừa mới được đưa ra sử dụng vào tháng 3 năm 2016 (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>). Phần mềm được phát triển dựa trên phương trình Saint Venant (2.1) và phương trình khuếch tán sóng (2.2). Hình 2 thể hiện dòng chảy 1 chiều và 2 chiều qua một đoạn sông trong mô hình.

$$C = \frac{V \cdot \Delta T}{\Delta X} \leq 1.0 \quad \text{or} \quad \Delta T \leq \frac{\Delta X}{V} \quad (2.1)$$

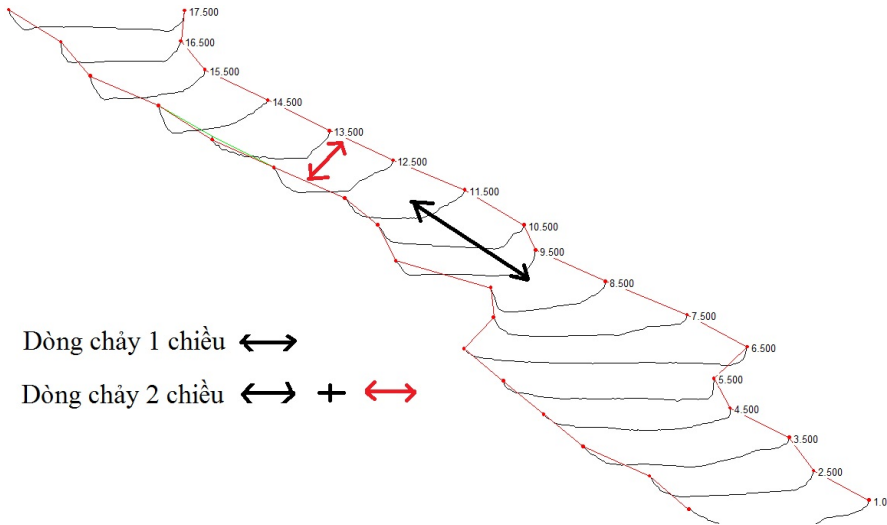
(with C=1.0)

$$C = \frac{V \cdot \Delta T}{\Delta X} \leq 2.0 \quad (\text{with } \alpha \text{ max } C = 5.0) \quad (2.2)$$

or $\Delta T \leq \frac{2\Delta X}{V}$ (with C=1.0)

Trong đó: C: hệ số Courant

V: vận tốc sóng (m/s)



Hình 2: Mô phỏng dòng chảy một và hai chiều trong một đoạn sông

2.3 Các bước xây dựng mô hình

Mô hình 2D kết hợp với 1D được phát triển dựa trên mô hình 1D đã được xây dựng cho sông Hậu (Bài báo “Ứng dụng mô hình thủy lực một chiều mô phỏng dòng chảy trong hai tháng mùa khô trên sông Hậu” đã được chấp nhận đăng trên tạp chí Đại học Cần Thơ); bao gồm các bước sau:

Bước 1: Gán hệ tọa độ cho mạng lưới sông và tạo bản đồ địa hình thông qua RAS- Mapper trên HEC-RAS phiên bản 5.0. Mạng lưới sông thuộc khu vực của ĐBSCL nên hệ tọa độ được gán là UTM 48N.

Dữ liệu địa hình (Digital Elevation Model - DEM) được thu thập từ Ủy ban sông Mekong (Halcrow Group Limited, 2004) kết hợp với mặt cắt của sông để tạo ra bản đồ cao độ của đáy sông cho khu vực nghiên cứu thông qua phương pháp hiệu chỉnh lớp dữ liệu địa hình dựa vào mặt cắt trong phần mềm HEC-RAS phiên bản 5.0.

Bước 2: Tạo khu vực đoạn sông 2D trên đoạn sông Hậu từ mạng lưới sông 1D phát triển cho sông Hậu. Sau đó, các ô lưới được tạo trong vùng 2D, mỗi ô lưới tạo ra sẽ gồm 3 đặc trưng (điểm trung tâm, điểm góc và bề mặt các ô lưới).

ΔT : bước thời gian tính toán (s);

ΔX : kích thước trung bình của ô lưới (m)
Trong đó: C: hệ số Courant

V: vận tốc sóng (m/s)

ΔT : bước thời gian tính toán (s);

ΔX : kích thước trung bình của ô lưới (m)

Bước 3: Kết hợp biên dưới của mô hình 1D với khu vực 2D để tạo thành mô hình 2D kết hợp trong mô hình 1D và tiến hành mô phỏng.

Hình 43 dưới đây trình bày tiến trình xây dựng mô hình 1D kết hợp 2D.



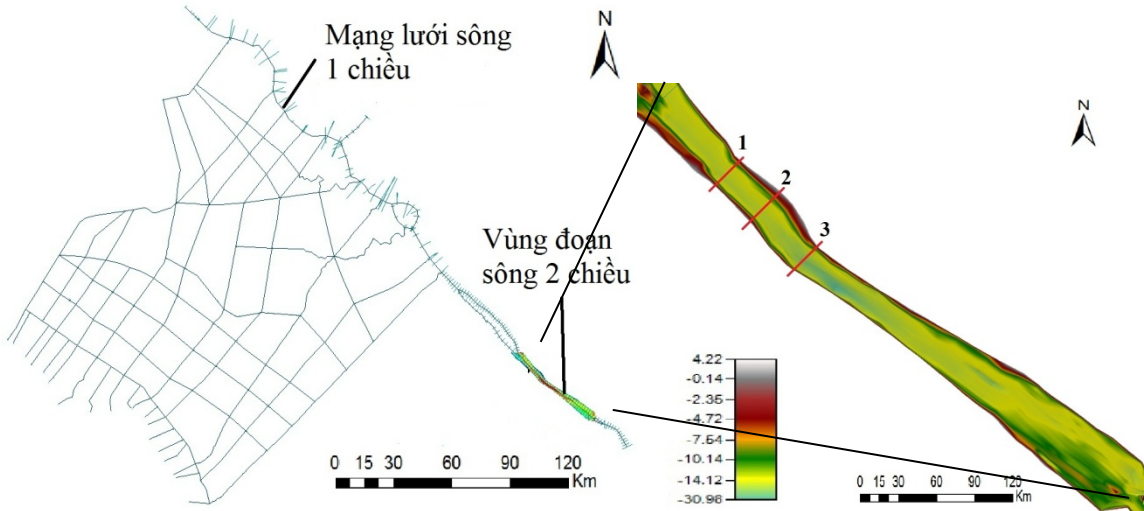
Hình 3: Tiến trình xây dựng mô hình

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Kết quả xây dựng mô hình

Mô hình một chiều đã được xây dựng gồm có 2 biên đầu vào (lưu lượng tại trạm Châu Đốc và Vàm Nao), và 20 biên đầu ra (mức nước tại trạm Rạch Giá và Cần Thơ) (Phạm Lê Mỹ Duyên và ctv. đã

được chấp nhận đăng). Khu vực dòng chảy hai chiều được xây dựng bên trong mô hình 1D này. Biên lưu lượng và mực nước của mô hình hai chiều sẽ được gán dựa trên kết quả thủy lực của mô hình 1D đã được hiệu chỉnh và kiểm định tại các vị trí như Hình 4.



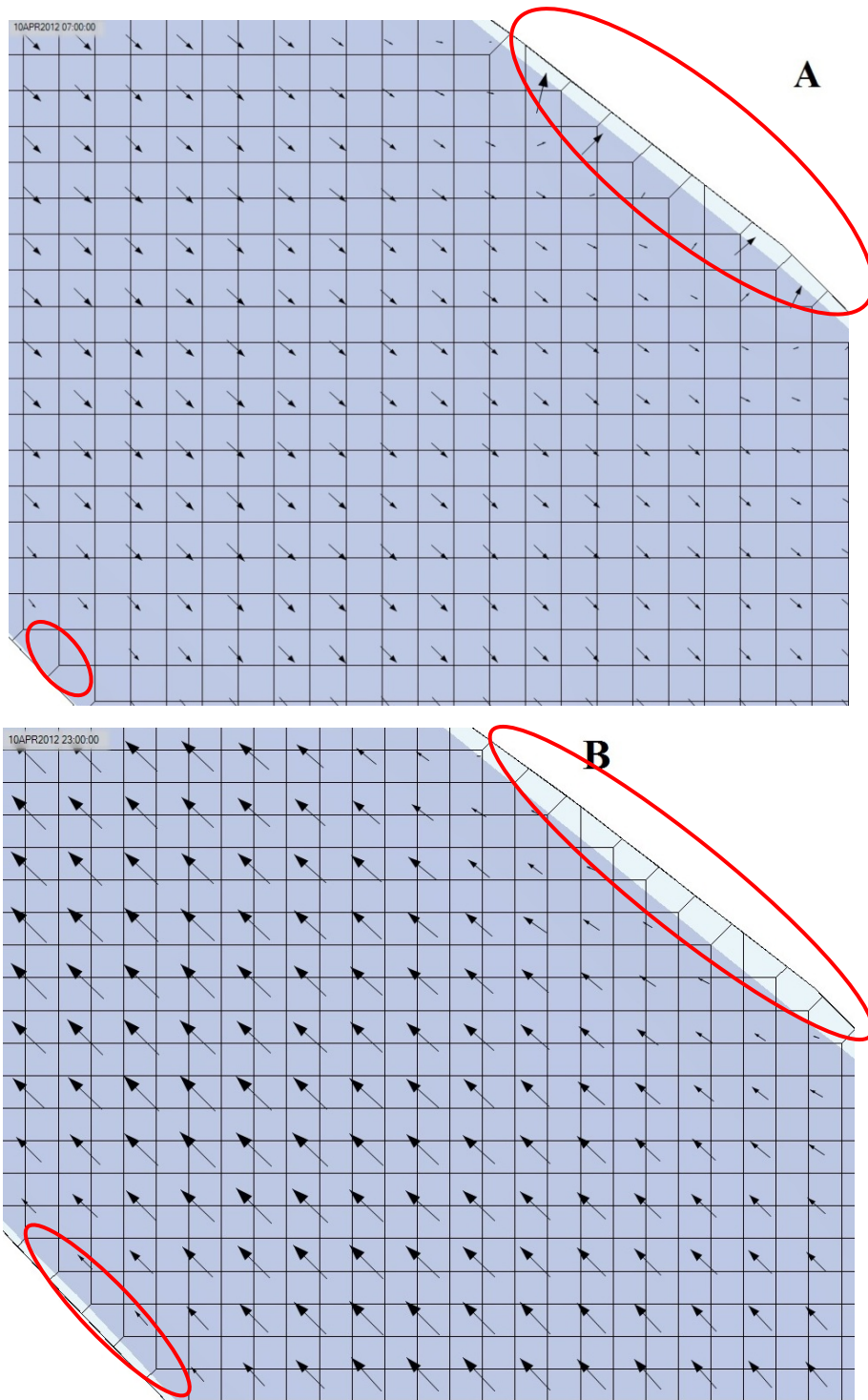
Hình 4: Mạng lưới sông 1 chiều kết hợp với vùng đoạn sông 2 chiều được xây dựng trong mô hình HEC-RAS

3.2 Kết quả mô phỏng thủy lực mô hình 1D kết hợp với 2D

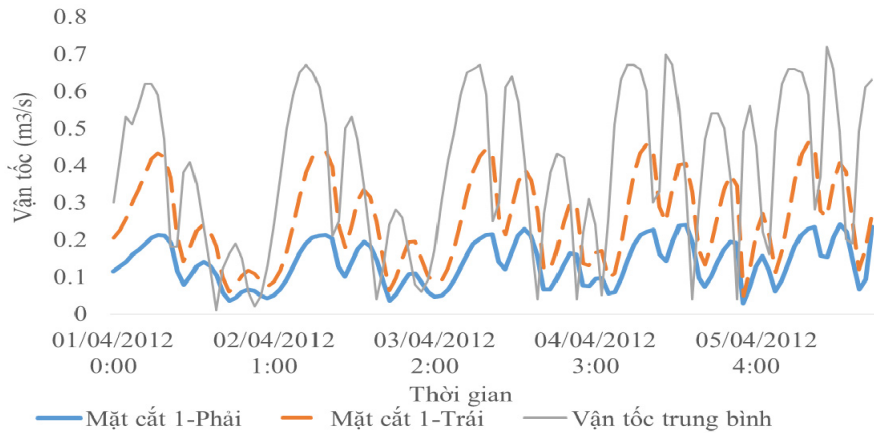
Mô hình được mô phỏng trong giai đoạn từ 01/4/2012 đến 31/5/2012. Hệ số nhám thủy lực được gán trong vùng 2D là 0,022. Hệ số này được thay đổi thông qua phương pháp thử sai cho đến khi tìm ra được hệ số nhám thích hợp với kết quả mô phỏng phù hợp với kết quả thực đo; đây cũng là bước hiệu chỉnh mô hình. Kết quả mô phỏng có thể đưa ra những nhận định sâu hơn về kết quả thủy lực cũng như xem xét về sự thay đổi địa mạo lòng sông. Hướng dòng chảy trong mô hình được chia thành: theo chiều dọc của dòng chảy (từ Châu Đốc về Cần Thơ và ngược lại) và hướng qua hai bên bờ (Hình 5A). Kết quả mô hình còn cho thấy được sự phân bố dòng chảy qua hai bên bờ khác nhau theo thời gian (Hình 5A và Hình 5B). Các mũi tên trong Hình 5 ngoài việc thể hiện hướng của dòng chảy mà độ lớn của mũi tên còn thể hiện sự khác biệt vận tốc dòng chảy giữa các ô lưới. Ví dụ, đối với khu vực gần bờ thì độ lớn của mũi tên thường nhỏ hơn so với ở khu vực giữa dòng sông do vận tốc dòng chảy giữa dòng thường lớn hơn 2 bên bờ. Ngoài ra, nếu mũi tên hướng về phía bờ với vận tốc lớn thì phía bờ đó có khả năng bị xói lở (Hình 5A).

Vận tốc dòng chảy tại các ô lưới khác nhau sẽ có giá trị khác nhau. Vì thế, nghiên cứu đã xem xét sự khác biệt vận tốc dòng chảy tại hai bên bờ của mặt cắt 1 (bắt đầu đoạn cong), mặt cắt 2 (nằm trong đoạn cong) và mặt cắt 3 (kết thúc đoạn cong) (Hình 4). Việc so sánh vận tốc dòng chảy tại khúc quanh của đoạn sông giúp cho việc xem xét hướng dòng chảy đổ về phía bên nào nhiều hơn; từ đó, mô hình có thể giúp dự báo đoạn sông có thể bị sạt lở hay bồi tụ; đây là ưu điểm của việc kết hợp thêm đoạn sông 2D trong mô hình 1D và cũng khắc phục được hạn chế của mô hình 1D (chỉ xem xét dòng chảy trung bình tại một mặt cắt và không xem xét đến dòng chảy ngang, gây sạt lở bờ).

Vận tốc dòng chảy tại bờ trái, bờ phải và vận tốc trung bình của mặt cắt 1 có cùng pha dao động (Hình 6); tuy nhiên, biên độ dao động giữa hai bên bờ thì khác nhau rõ rệt. Vận tốc ở giữa sông thường lớn hơn so với hai bên bờ (dựa vào độ lớn các mũi tên ở Hình 5); vì vậy, vận tốc trung bình cho cả mặt cắt cao hơn so với vận tốc ở bờ trái và vận tốc ở bờ phải (Hình 6). Vận tốc dòng chảy tại bờ bên trái cao hơn so với bờ bên phải; điều này chứng tỏ rằng dòng chảy đổ về bên trái nhiều hơn so với bên phải.



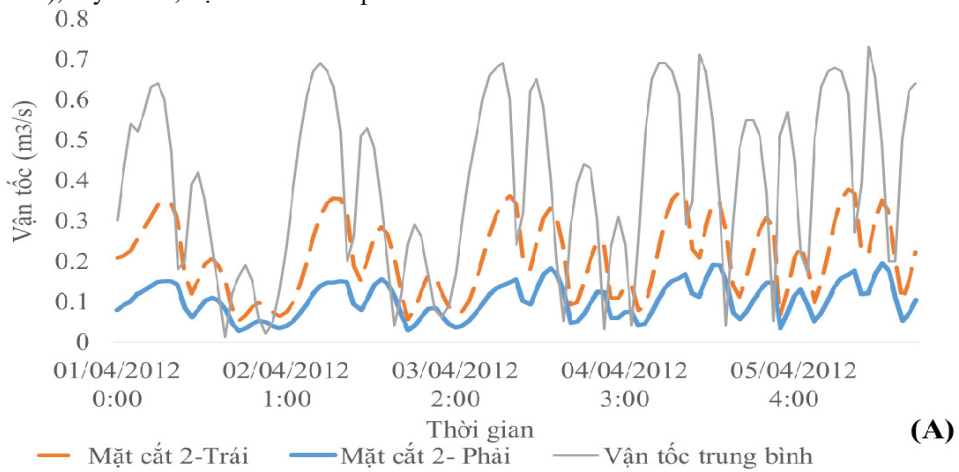
Hình 5: Hướng dòng chảy khu vực 2D lúc 7h ngày 10/4/2012(A) và 23h ngày 10/4/2012 (B) tại đoạn cong (mặt cắt 2) của vùng đoạn sông 2D



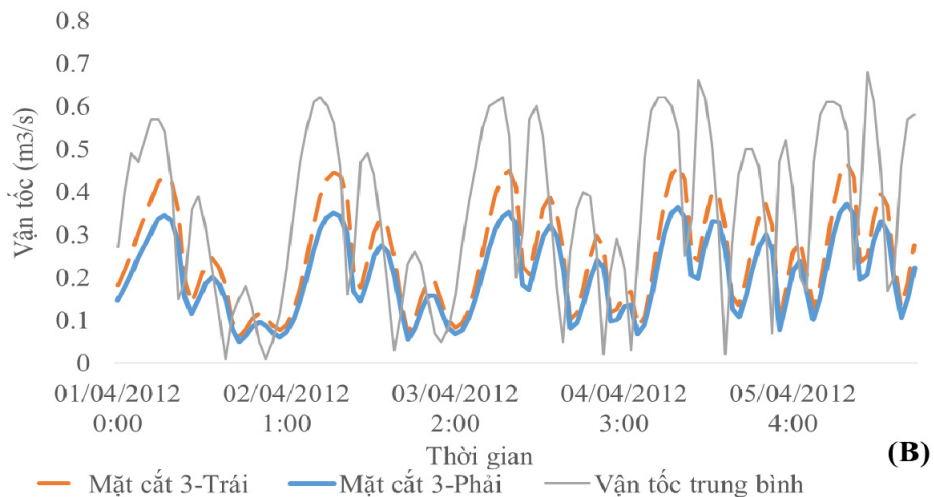
Hình 6: Vận tốc tại mặt cắt 1

Đối với vận tốc của mặt cắt 2 (đoạn cong) và mặt cắt 3 (kết thúc đoạn cong), đặc tính dòng chảy cũng giống như đối với mặt cắt 1 (Hình 7). Tại mặt cắt 2, dòng chảy có hướng về phía bờ phải tại một số thời điểm trong giai đoạn nghiên cứu (điền hình như Hình 5A); tuy nhiên, vận tốc bên bờ phải nhỏ

hơn so với bờ trái (Hình 7A). Trong quá trình khảo sát thực địa nhận thấy bên phía bờ phải của đoạn cong có một cồn nổi tạo thành bãi lầy ở bờ phải của đoạn cong; vì thế, vận tốc bờ phải nhỏ hơn so với bờ trái (Hình 8).



(A)



(B)

Hình 7: Vận tốc tại mặt cắt 2 (A) và 3 (B)



Hình 8: Bãi lầy tại đoạn cong

Tại mặt cắt 3, vận tốc tại bờ phải vẫn thấp hơn so với bờ trái nhưng có xu hướng tăng lên so với hai mặt cắt còn lại (Hình 7B). Mặt cắt 3 cũng là mặt cắt kết thúc đoạn cong trong vùng 2D. Khi mô phỏng dòng chảy một chiều, vận tốc tại một mặt cắt là vận tốc trung bình và không có sự khác biệt giữa các vị trí khác nhau trên một mặt cắt. Đây là sự khác biệt giữa mô phỏng dòng chảy 1 chiều và 2 chiều.

Đối với khu vực cách biên trên của đoạn sông

2D khoảng 4 m thuộc xã Tân Hòa, huyện Lai Vung, tỉnh Đồng Tháp, dòng chảy thường hướng về hai bên bờ phải nên có nguy cơ sạt lở cao. Khu vực này bắt đầu hợp lưu từ hai nhánh sông thuộc sông Hậu nên vận tốc ở đoạn đầu này cũng cao hơn so với những khúc sông khác. Theo như quá trình khảo sát thực địa thì khu vực ven sông Hậu thuộc xã Tân Hòa đang chịu tình trạng xói lở bờ sông do tác động của dòng chảy, một số đoạn phải thực hiện kè (bằng đất, cây, đá ...) để bảo vệ bờ sông (Hình 9).



Hình 9: Xói lở bờ sông (A) và người dân đắp kè đất để bảo vệ bờ sông (B)

4 KẾT LUẬN

Ứng dụng kết hợp mô hình thủy lực 1D với 2D đã được xây dựng trên đoạn sông 10 km thuộc nhánh sông Hậu đã khắc phục được những hạn chế của mô hình dòng chảy 1D. Kết quả mô hình trong khu vực đoạn sông 2D cho thấy được những chi tiết cụ thể về đặc tính thủy lực của dòng sông, giúp cho việc phân ánh được tác động của dòng chảy đến sự thay đổi địa mạo lòng sông. Nghiên cứu đã

cho thấy được khả năng áp dụng mô hình 1D kết hợp với 2D trong đoạn sông đơn nhánh, lòng phù sa và cũng mở ra triển vọng đối với nghiên cứu việc mô hình toán thủy lực 2D để tìm hiểu về sự thay đổi địa mạo lòng sông trong bối cảnh vấn đề sạt lở đang xảy ra nghiêm trọng ở ĐBSCL.

Hạn chế của nghiên cứu này là kết quả thủy lực của mô hình 2D được phát triển đối với dòng chảy ngang vẫn chưa được kiểm chứng lại so với diễn

biến thực tế do không có nguồn số liệu đo đạc. Do vậy, nghiên cứu đề xuất việc đo đạc thực địa (mức nước, vận tốc tại các vị trí và hướng dòng chảy khác nhau) để thực hiện bước hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thông qua việc điều chỉnh hệ số nhám cho phù hợp với thực tế cũng như có thể xây dựng mô hình 2D riêng biệt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- BinLiang Lin, Jon M.Wicks, Roger Alexander Falconer, and Konrad Adams. 2006. Integrating 1D and 2D hydrodynamic models for flood simulation. *Water Manag.* 159(1): 19–25 Available at <http://www.atypon-link.com/TELF/doi/pdf/10.1680/wama.2006.159.1.19>.
- Dinh Nhat Quang, S. Balica, I. Popescu, A.Jonoski, and Đinh Nhật Quang. 2012. Climate change impact on flood hazard, vulnerability and risk of the Long Xuyen Quadrangle in the Mekong Delta. *Int. J. River Basin Manag.* 10(1): 103–120.
- E. Bladé, M. Gómez-Valentín, J. Dolz, J.L. Aragón-Hernández, G. Corestein, and M. Sánchez-Juny. 2012. Integration of 1D and 2D finite volume schemes for computations of water flow in natural channels. *Adv. Water Resour.* 42: 17–29.
- Gary W. Brunner. 2016. HEC-RAS River Analysis System, 2D Modeling User's Manual Version 5.0. Inst. Water Resour. Hydrol. Enginrring Cent.
- Halcrow Group Limited. 2004. Technical Reference Report DSF 620. SWAT and IQQM Models. Water Utilisation Project Component A: Development of Basin Modelling Package and Knowledge Base (WUP-A), Mekong River Comm.
- Lam Dao Nguyen, Pham Bach Viet, Nguyen Thanh Minh, Pham Thi Mai Thy, and Hoang Phi Phung. 2011. Change Detection of Land Use and Riverbank in Mekong Delta, Vietnam Using Time Series Remotely Sensed Data. *J. Resour. Ecol.* 2(4): 370–374.
- Lâm Mỹ Phụng, Văn Phạm Đăng Trí, and Trần Quốc Đạt. 2013. Ứng dụng mô hình toán thủy lực một chiều đánh giá và dự báo tình hình xâm nhập mặn trên hệ thống sông chính trên đại bản tỉnh Trà Vinh. *Tạp chí khoa học - Đại học Cần Thơ* 25: 68–75.
- Pascal Finaud-Guyot, Carole Delenne, Vincent Guinot, and Cécile Llovel. 2011. 1D–2D coupling for river flow modeling. *Comptes Rendus Mécanique* 339(4): 226–234 Available at <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S163107211100026X>.
- Phạm Lê Mỹ Duyên, Nguyễn Văn Bé, and Văn Phạm Đăng Trí. 2016. Ứng dụng mô hình thủy lực một chiều mô phỏng dòng chảy trong hai tháng mùa khô trên sông Hậu. Được chấp nhận đăng trên *Tạp chí khoa học - Đại học Cần Thơ*.
- Phan Viết Chính. 2011. Ứng dụng mô hình toán đánh giá chất lượng nước hạ lưu sông Đồng Nai đến năm 2020. *Tạp chí khoa học - Đại học Đồng Á* 4: 40–53.
- Reiner Wassmann, Nguyen Xuan Hien, Chu Thai Hoanh, and To Phuc Tuong. 2004. Sea level rise affecting the Vietnamese Mekong Delta: Water elevation in the flood season and implications for rice production. *Clim. Chang.* 66: 89–107.
- Le Thi Viet Hoa, Nguyen Huu Nhan, Eric Wolanski, Tran Thanh Cong, and Haruyama Shigeiko. 2006. The combined impact on the flooding in Vietnam's Mekong River delta of local man-made structures, sea level rise, and dams upstream in the river catchment. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 71: 110–116.
- Trần Hồng Thái, Vương Xuân Hòa, and Nguyễn Văn Thao. 2007. Ứng dụng mô hình toán học tính toán dự báo xu thế biến đổi chất lượng nước phụ thuộc vào các kịch bản kinh tế xã hội lưu vực sông Sài Gòn, Đồng Nai. *Hội thảo khoa học - Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường* 10: 304–313.
- Văn Phạm Đăng Trí, I. Popescu, A. van Griensven, D. Solomatine, Nguyễn Hiếu Trung, and A. Green. 2012a. A study of the climate change impacts on fluvial flood propagation in the Vietnamese Mekong Delta. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 9(6): 7227–7270.
- Văn Phạm Đăng Trí, Nguyễn Hiếu Trung, and Nguyễn Thành Tự. 2012b. Flow dynamics in the Long Xuyen Quadrangle under the impacts of full-dyke systems and sea level rise. *VNU J. Sci. Earth Sci.* 28: 205–214.
- Zoltan Horvat, Mirjana Isic, and Miodrag Spasojevic. 2015. Two dimensional river flow and sediment transport model. *Env. Fluid Mech* 15: 595–625.