

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MÔ HÌNH MÃ NGUỒN MỞ TELEMAT 2 CHIỀU ĐÁNH GIÁ SỰ BIẾN ĐỔI HÌNH THÁI ĐÁY SÔNG HẬU ĐOẠN QUA XÃ CHÂU PHÚ TỈNH AN GIANG

Cần Thu Văn⁽¹⁾, Phan Thị Thùy Dương⁽¹⁾, Nguyễn Hữu Tuấn⁽¹⁾,
Nguyễn Thanh Toàn⁽²⁾, Lưu Văn Ninh⁽²⁾, Phạm Thị Thúy⁽³⁾

⁽¹⁾Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh

⁽²⁾Đài Khí tượng Thủy văn Tỉnh An Giang

⁽³⁾Học viện Kỹ thuật Quân sự (Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn)

Ngày nhận bài: 2/7/2025; ngày gửi phản biện: 3/7/2025; ngày chấp nhận đăng: 6/8/2025

Tóm tắt: Hiện tượng bồi lắng và xói lở trên dòng chính Sông Tiền, Sông Hậu diễn ra rất phức tạp trong những năm gần đây, đặc biệt đoạn chảy qua Xã Châu Phú, Tỉnh An Giang (Sông Hậu) sụt lở xảy ra với mức độ và quy mô ngày càng phức tạp, gây ảnh hưởng lớn đến sự ổn định của lòng dẫn và hình thái sông. Hơn nữa, trong bối cảnh biến đổi khí hậu, gia tăng khai thác tài nguyên và tác động từ các công trình thượng lưu, việc nghiên cứu, mô phỏng chế độ thủy động lực và vận chuyển bùn cát là hết sức cần thiết để phục vụ công tác quy hoạch và quản lý địa phương. Bài báo này trình bày kết quả ban đầu của việc ứng dụng mô hình thủy động lực hai chiều Telemac-2D nhằm mô phỏng chế độ vận chuyển bùn cát và sự thay đổi hình thái đáy sông tại đoạn Sông Hậu thuộc Xã Châu Phú. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định thủy lực đều cho thấy chỉ tiêu Nash > 0,68 là mức khá. Sự biến đổi hình thái đáy sông tại mặt cắt CD_1, CD_2 và CD_3 lần lượt là: -3,73 m, -3,57 m và -7,90 m. Nghiên cứu cho thấy khả năng tính toán hiệu quả của phần mềm Telemac-2D đối với địa hình phức tạp và số lượng ô lưới lớn.

Từ khóa: Vận chuyển bùn cát, Telemac-2D, Đồng bằng Sông Cửu Long.

1. Mở đầu

Vùng Đồng bằng Sông Cửu Long hiện đang chịu tác động ngày càng rõ rệt từ các yếu tố như biến đổi khí hậu, mực nước biển dâng, cùng với sự thay đổi trong chế độ dòng chảy do ảnh hưởng của hệ thống công trình thủy lợi trên thượng nguồn Sông Mê Công [1-4]. Trong bối cảnh đó, tình trạng xói lở và bồi lắng trên các tuyến sông chính, đặc biệt là Sông Hậu, đang có những diễn biến ngày càng phức tạp và khó dự báo [3], [5-7]. Hiện tượng sụt lở bờ sông không chỉ gây tổn thất nghiêm trọng về đất đai và hạ tầng kỹ thuật, mà còn ảnh hưởng tiêu cực đến sinh kế người dân và sự phát triển kinh tế - xã hội của toàn khu vực [3-6].

Xã Châu Phú, Tỉnh An Giang là một trong những địa phương chịu tác động mạnh từ sự

biến đổi hình thái dòng chảy của Sông Hậu. Tại khu vực này, quá trình vận chuyển bùn cát diễn ra phức tạp, với những đặc điểm biến thiên khó lường, chịu chi phối bởi cả điều kiện tự nhiên và các hoạt động nhân sinh [3-6], [8]. Tuy nhiên, hiện nay vẫn còn thiếu các nghiên cứu định lượng chi tiết về chế độ vận chuyển bùn cát tại khu vực này, đặc biệt là những nghiên cứu sử dụng mô hình thủy lực hai chiều nhằm mô phỏng một cách cụ thể dòng chảy và sự phân bố hàm lượng bùn cát trong lòng sông [9-14].

Nhằm góp phần làm sáng tỏ cơ chế vận chuyển bùn cát và xác định các khu vực có nguy cơ xói lở cao, nghiên cứu này tiến hành ứng dụng mô hình thủy động lực hai chiều Telemac-2D để mô phỏng chế độ dòng chảy và vận chuyển bùn cát tại đoạn Sông Hậu chảy qua địa bàn Xã Châu Phú [9], [12-14]. Telemac-2D là một công cụ mô hình số hiện đại, cho phép mô phỏng chuyển động dòng chảy hai chiều

Liên hệ tác giả: Cần Thu Văn

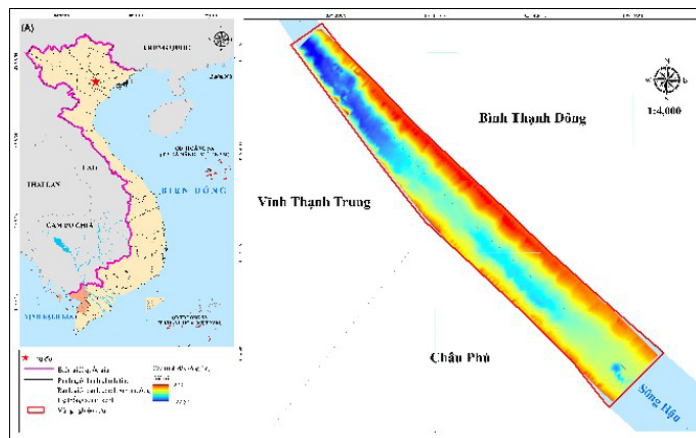
Email: ctvan@hcmunre.deu.vn

trên mặt phẳng ngang với độ chính xác cao, đồng thời cung cấp khả năng đánh giá chi tiết sự biến đổi về vận tốc dòng chảy và hàm lượng bùn cát theo không gian và thời gian [9], [12-13]. Kết quả nghiên cứu bước đầu sẽ là cơ sở khoa học quan trọng phục vụ công tác quản lý và quy hoạch tài nguyên nước tại địa phương, trong bối cảnh các yếu tố biến động ngày càng gia tăng như hiện nay [3], [5-6].

Trong những năm gần đây, đoạn Sông Hậu chảy qua Xã Châu Phú thường xuyên xảy ra xói lở nghiêm trọng, đặc biệt vào mùa lũ, gây thiệt hại lớn về đất đai, nhà cửa và hạ tầng giao thông. Bên cạnh đó, một số khu vực lại có xu hướng

bồi lắng, làm thay đổi hướng dòng chảy và ảnh hưởng đến giao thông thủy. Nguyên nhân chủ yếu gồm: Giảm lượng bùn cát từ thượng nguồn do các đập thủy điện, khai thác cát quá mức, thay đổi dòng chảy do công trình chỉnh trị, và tác động của biến đổi khí hậu. Xu thế diễn biến xói lở - bồi lắng được dự báo sẽ ngày càng phức tạp, đòi hỏi các nghiên cứu định lượng cụ thể phục vụ công tác quản lý hiệu quả.

Khu vực Sông Hậu đoạn qua Xã Châu Phú, Tỉnh An Giang (Hình 1) là một trong những trọng điểm về sạt lở tại ĐBSCL, đóng vai trò quan trọng trong việc định hướng các giải pháp phòng chống và thích ứng với biến động lòng sông.



Hình 1. Vị trí và địa hình khu vực nghiên cứu

2. Cơ sở lý thuyết

Mô hình Telemac-2D là một trong những mô hình thủy động lực hai chiều được phát triển bởi tập đoàn EDF (Pháp) trong khuôn khổ hệ thống phần mềm Telemac-Mascaret [9]. Mô hình sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để giải hệ phương trình thủy động lực dạng trung bình theo chiều sâu, cho phép mô phỏng sự phân bố dòng chảy trên mặt phẳng ngang với độ chính xác cao [9-10], [12-13]. Telemac-2D đặc biệt phù hợp để mô phỏng các quá trình diễn biến dòng chảy trong các hệ thống sông phức tạp, vùng cửa sông, ven biển và các vùng ngập lũ với địa hình biến đổi lớn [9-14].

Trong nghiên cứu này, quá trình mô phỏng vận chuyển bùn cát được tích hợp thông qua mô-đun Sisyphe, cho phép tính toán tương tác giữa dòng chảy và trầm tích đáy [9-10]. Mô-đun này sử dụng công thức bán thực nghiệm

(như công thức của Meyer-Peter & Müller hoặc Einstein) để mô phỏng quá trình vận chuyển vật liệu đáy (bedload) và bùn cát lơ lửng (suspended load) dưới tác động của lực di đáy [10-11]. Quá trình thay đổi địa hình đáy sông được mô phỏng thông qua phương trình liên tục, liên kết trực tiếp với phân bố vận tốc dòng chảy và nồng độ bùn cát tại mỗi bước tính [9-11].

Hệ phương trình cơ bản được giải trong mô hình TELEMAC-2D bao gồm:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Hệ phương trình động lượng:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2h)}{\partial x} + \frac{\partial(uvh)}{\partial y} \\ & = -gh \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \text{khuếch tán} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(v^2h)}{\partial y} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} = -gh \frac{\partial z_s}{\partial y} + \frac{\tau_{by}}{\rho} + \text{khuếch tán} \quad (3)$$

Trong đó: h là chiều sâu dòng chảy (m); u và v là vận tốc theo phương x và y (m/s); t là thời gian (s); g là gia tốc trọng trường ($9,81 \text{ m/s}^2$); z_s là cao trình đáy sông (m); τ_{bx}, τ_{by} là ứng suất đáy theo phương x, y (N/m^2); ρ là khối lượng riêng của nước (1.000 kg/m^3).

Mô hình Telemac-2D được phát triển với khả năng lựa chọn giữa hai phương pháp giải số chính là phần tử hữu hạn và thể tích hữu hạn. Ưu điểm của mô hình là khả năng xử lý lưới tam giác không đều, cho phép mô phỏng hiệu quả các địa hình phức tạp và biên hình học phi tuyến như lòng sông, kênh rạch [9-10, 12-13].

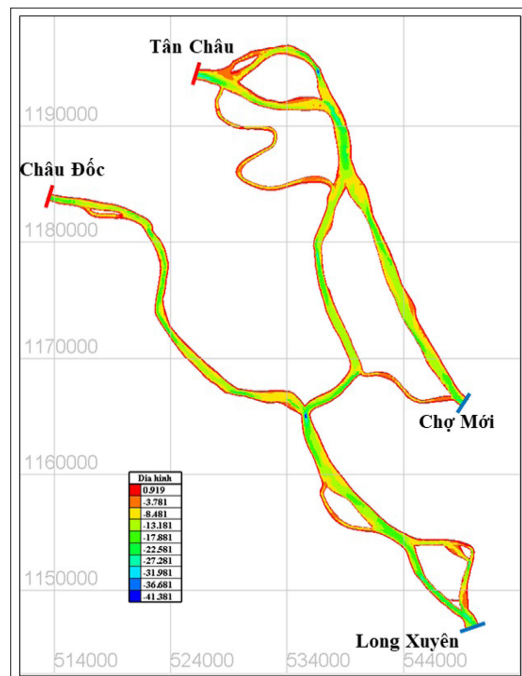
Phần mềm được lập trình theo cấu trúc tính

toán song song, sử dụng thư viện MPI, cho phép phân chia bài toán tính toán trên nhiều lõi xử lý của các máy tính đa nhân hoặc cụm máy tính hiệu năng cao. Nhờ đó, tốc độ tính toán được cải thiện đáng kể, đặc biệt với các mô hình có số lượng phần tử lớn hoặc thời gian mô phỏng dài. Đây là một lợi thế nổi bật của Telemac-2D so với nhiều phần mềm thương mại khác, giúp nâng cao hiệu quả tính toán và mở rộng khả năng ứng dụng trong các bài toán thực tế quy mô lớn [9-14].

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Thiết lập mô hình

Miền tính toán được giới hạn từ trạm Tân Châu (Sông Tiền) và Châu Đốc (Sông Hậu); phía hạ lưu được giới hạn tại trạm Chợ Mới (Sông Tiền) và Long Xuyên (Sông Hậu). Miền tính được xây dựng với 98.699 nút và 187.744 phần tử với kích thước lưới 40 m (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ miền tính 2D

3.2. Điều kiện biên

Miền tính toán được giới hạn bởi 2 biên thượng lưu và 2 biên hạ lưu cụ thể như sau:

- Biên thượng lưu $Q(t)$: Tân Châu Châu Đốc;
- Biên hạ lưu $H(t)$: Chợ Mới, Long Xuyên;
- Biên hàm lượng chất lơ lửng (SSC): Tân

Châu, Châu Đốc;

Số liệu lưu lượng và mực nước được thu thập và biên tập theo thời đoạn giờ; số liệu hàm lượng bùn cát lơ lửng được thu thập theo các thời điểm đặc trưng của chế độ triều (chân triều và đỉnh triều), từ Đài KTTV Tỉnh An Giang. Thông số mô hình được thể hiện tại Bảng 1.

Bảng 1. Thông số mô hình

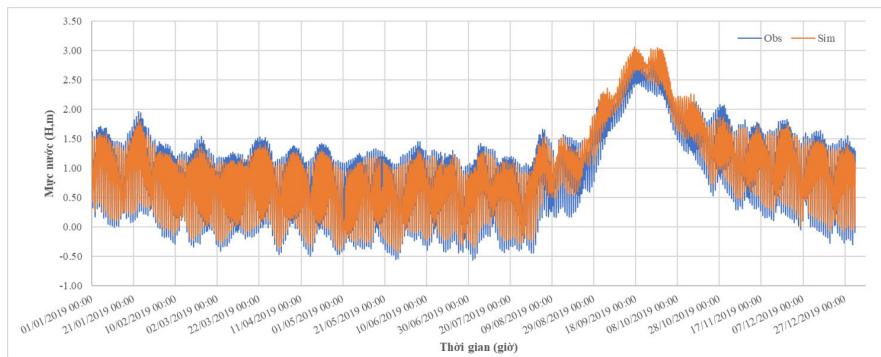
Thông số	Giá trị	Đơn vị
Time step	10	giây
Initial Elevation	1,5	m
Qui luật ma sát	4 (Manning)	
Hệ số ma sát	0,020 - 0,030	$m^{1/3}/s$
Mô hình rối	2 (Elder)	
Hệ số nhớt động học	10-6	m^2/s
Dòng chảy thứ cấp	☒	
Đặc tính bùn cát	Hỗn hợp	
Số lớp ở đáy	2	
Hằng số xói	0,001	$kg/m^2/s$
Vận tốc lắng	0,15 (cát); 0,032 (bùn)	mm

3.3. Hiệu chỉnh mô hình

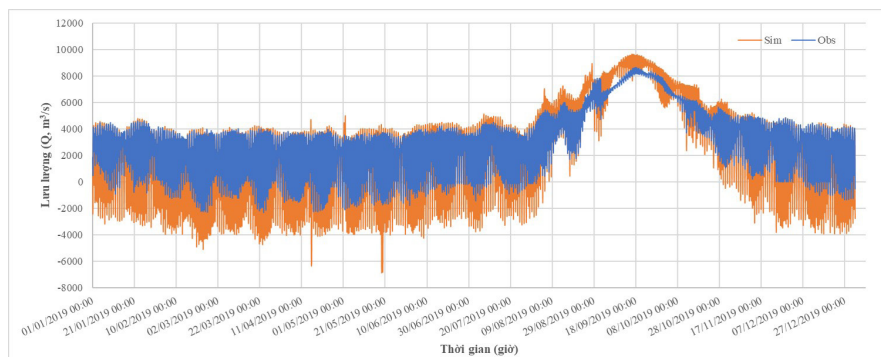
Nghiên cứu này lựa chọn năm 2019 cho việc hiệu chỉnh mô hình vì đây là thời điểm kiệt nhất trong những năm gần đây. Dữ liệu trạm Vàm Nao được sử dụng như số liệu thực đo để so sánh đánh giá độ tin cậy của mô hình. Các đồ thị

trình bày số liệu thực đo và kết quả tính toán từ mô hình như Hình 3, 4, 5, 6 và Bảng 2.

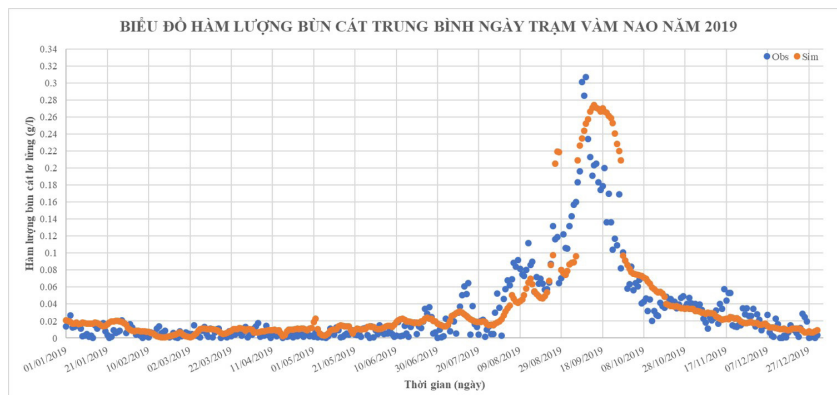
So sánh kết quả giữa thực đo và tính toán cho thấy kết quả hiệu chỉnh mô hình đạt độ tin cậy cao, có thể dùng bộ thông số mô hình phục vụ công tác kiểm định.



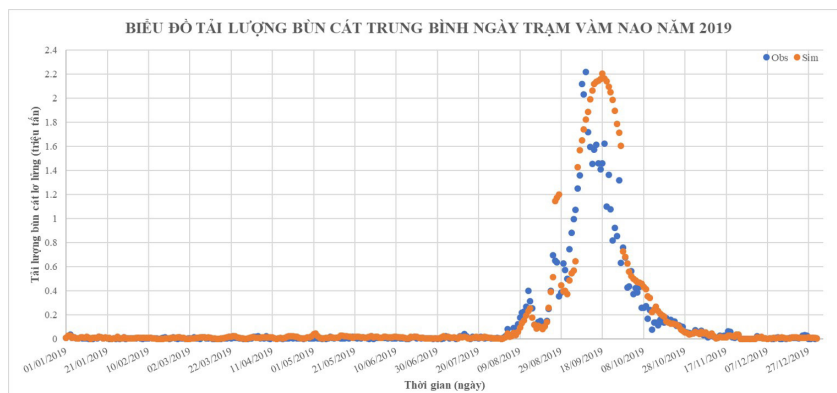
Hình 3. Đường quá trình mực nước trạm Vàm Nao năm 2019



Hình 4. Đường quá trình lưu lượng trạm Vàm Nao năm 2019



Hình 5. Hàm lượng bùn cát lơ lửng TB ngày trạm Vàm Nao Năm 2019



Hình 6. Tải lượng bùn cát lơ lửng TB ngày trạm Vàm Nao năm 2019

Bảng 2. Đánh giá sai số hiệu chỉnh mô hình

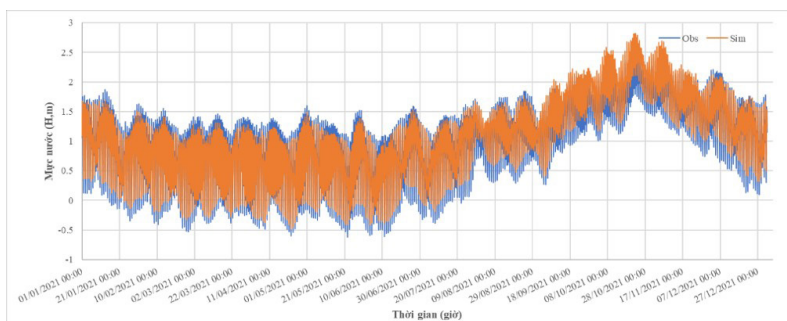
Yếu tố đánh giá	R^2	Nash
Mức nước	0,94	0,94
Lưu lượng	0,93	0,71
Hàm lượng bùn cát lơ lửng	0,89	0,68
Tải lượng bùn cát lơ lửng	0,88	0,74

3.4. Kiểm định mô hình

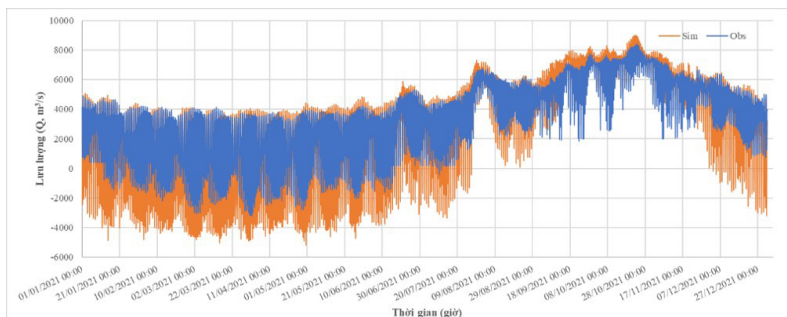
Nghiên cứu lựa chọn năm 2021 để kiểm định mô hình. Các đồ thị trình bày số liệu thực đo và kết quả tính toán từ mô hình như các Hình 7, 8, 9, 10 và Bảng 3.

Kết quả kiểm định cho thấy mô hình Telemac-2D kết hợp mô-đun Sisyphe có độ phù hợp cao với số liệu quan trắc thực tế, thể hiện qua hệ

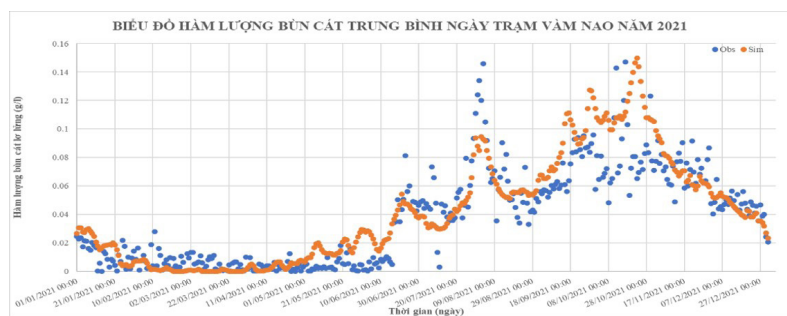
số tương quan R^2 và chỉ số Nash-Sutcliffe (NSE) đều đạt giá trị tốt cho các yếu tố mức nước, lưu lượng và bùn cát. Đặc biệt, mô hình mô phỏng khá chính xác hàm lượng và tải lượng bùn cát lơ lửng, với R^2 lần lượt đạt 0,87 và 0,91. Điều này cho thấy mô hình có khả năng tái hiện tương đối tốt các quá trình thủy động lực và hàm lượng bùn cát tại khu vực nghiên cứu.



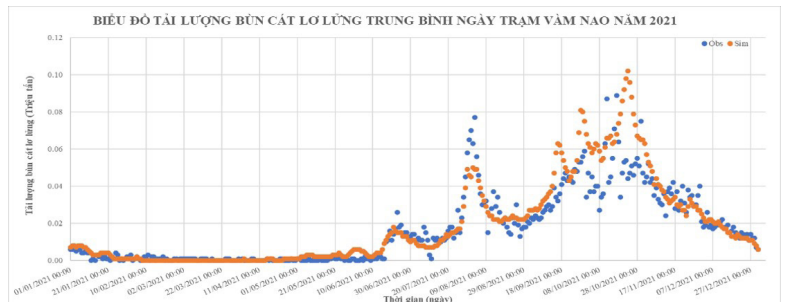
Hình 7. Đường quá trình mực nước trạm Vàm Nao năm 2021



Hình 8. Đường quá trình lưu lượng trạm Vàm Nao năm 2021



Hình 9. Hàm lượng bùn cát lơ lửng TB ngày trạm Vàm Nao năm 2021



Hình 10. Tải lượng bùn cát lơ lửng TB ngày trạm Vàm Nao năm 2021

Bảng 3. Đánh giá sai số kiểm định mô hình

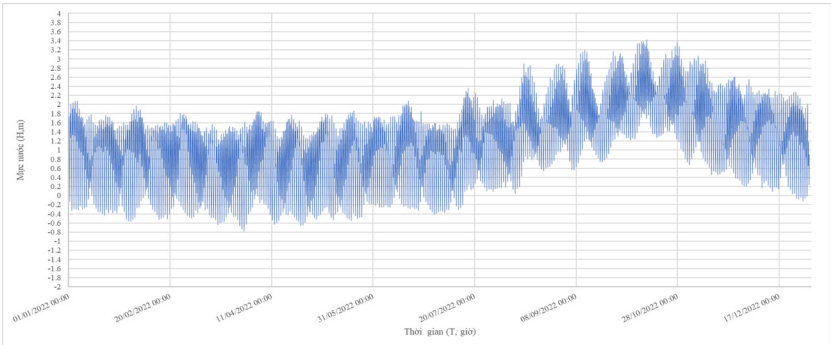
Yếu tố đánh giá	R^2	Nash
Mực nước	0,92	0,90
Lưu lượng	0,93	0,76
Hàm lượng bùn cát lơ lửng	0,87	0,69
Tải lượng bùn cát lơ lửng	0,91	0,74

3.5. Thay đổi địa hình đáy sông

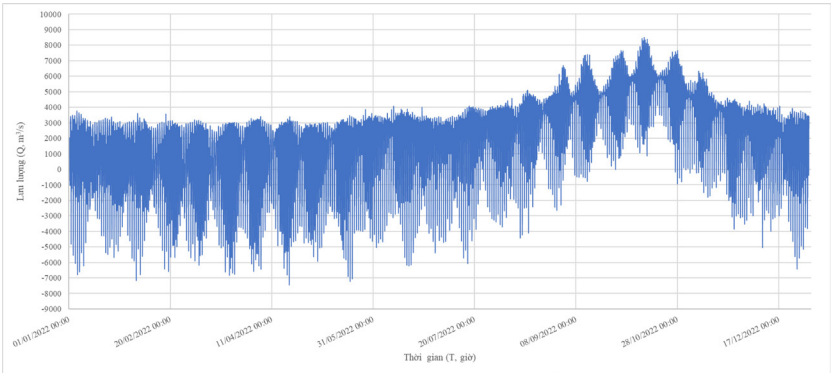
Cùng với sự thay đổi của chế độ dòng chảy, lượng phù phù sa bổ sung từ dòng chảy thượng lưu và quá trình xói mòn trên lưu vực, diễn biến hình thái lòng dẫn cũng biến đổi theo. Quá trình biến đổi hình thái phụ thuộc rất lớn vào nguồn

cung cấp bùn cát từ thượng lưu và quá trình vận chuyển nguồn bùn cát nội tại do chế độ thủy lực.

Dựa trên thông số mô hình đã hiệu chỉnh và kiểm định, công tác mô phỏng khu vực nghiên cứu tại Xã Châu Phú Tỉnh An Giang đạt được kết quả thể hiện tại Hình 11-14 và Bảng 4.



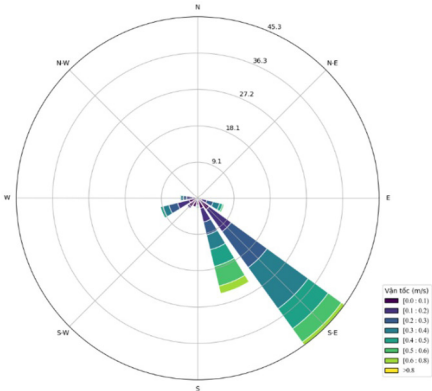
Hình 11. Kết quả mô phỏng mực nước tại Cái Dầu hiện trạng



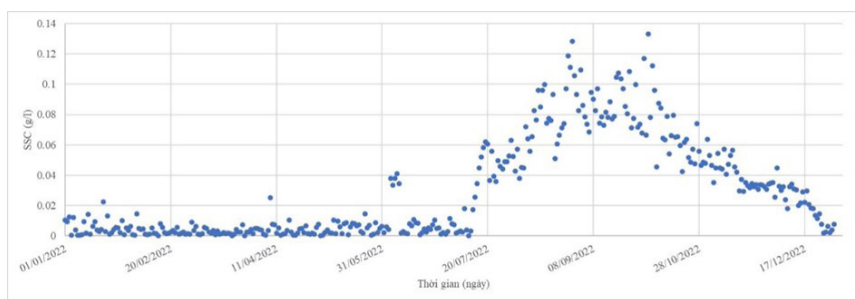
Hình 12. Kết quả mô phỏng lưu lượng tại Cái Dầu hiện trạng

Bảng 4. Tổng hợp kết quả mô phỏng hiện trạng

STT	Yếu tố	Max	Min	Trung bình
1	Mức nước (m)	3,420	-0,770	1,210
2	Lưu lượng (m³/s)	8.439	-7.456	2.162



Hình 13. Lưu hướng trên Sông Hậu Xã Châu Phú 2022



Hình 14. HLCLL mô phỏng tại khu vực Cái Dầu năm 2022

Biểu đồ lưu hướng tại khu vực nghiên cứu cho thấy hướng dòng chảy chủ đạo tập trung từ Tây Bắc về Đông Nam, trong đó các hướng từ Nam đến Đông Nam chiếm ưu thế rõ rệt. Tốc độ dòng chảy phổ biến nằm trong khoảng từ 0,1 đến 0,4 m/s, với tần suất cao nhất quan sát được ở các hướng khoảng 120° đến 160° , phù hợp với hướng dòng chảy theo triều xuống. Các giá trị vận tốc lớn hơn 0,6 m/s xuất hiện với tần suất thấp và chủ yếu tập trung theo hướng Đông Nam. Kết quả này phản ánh rõ đặc điểm dòng chảy hai chiều điển hình dưới tác động của thủy triều trong khu vực hạ lưu Sông Hậu.

Tại khu vực nghiên cứu, đoạn sông có dạng cong với hướng dòng chảy lệch về phía hữu ngạn, làm tăng nguy cơ xói lở tại bờ này. Trường vận tốc phân bố không đều, với vận tốc trung bình tương đối cao, tập trung chủ yếu ở vùng giữa sông và sát bờ cong lõm. Vận tốc thấp xuất hiện tại bờ tả ngạn và vùng bồi lắng, tạo điều kiện thuận lợi cho tích tụ vật liệu phù sa. Hiện tượng xoáy cục bộ tại các đoạn cong cho thấy sự tương tác phức tạp giữa địa hình đáy sông và dòng chảy, góp phần làm biến động hình thái lòng dẫn qua thời gian.

Chế độ thủy lực trên Sông Hậu chịu ảnh hưởng của thủy triều Biển Đông và dòng chảy mang tính chất mùa nên quá trình vận chuyển bùn cát tại đây cũng chịu ảnh hưởng tương ứng.

Do chịu ảnh hưởng của chế độ theo mùa, nên lưu lượng vận chuyển bùn cát trong mùa lũ lớn hơn so với trong mùa kiệt. Trong mùa kiệt, vận chuyển bùn cát theo cả hai chiều, tuy nhiên lưu lượng bùn cát vận chuyển theo chiều dương có số lần xuất hiện nhiều hơn so với chiều ngược lại. Trong mùa lũ, vận chuyển bùn cát chủ yếu theo chiều dương và điều này càng thể hiện rõ khi tiến về phía thượng lưu

Kết quả độ sâu xói đáy tại các mặt cắt Cái Dầu (CD_1 đến CD_5) thể hiện sự biến động đáng kể theo các khoảng cách cộng dồn khác nhau (Hình 15). Tại CD_1, độ sâu xói đáy đạt cực đại -3,73 ở 258 m, bờ phải có xu thế ổn định do khu vực này có hệ sinh thái cây bần và cỏ bảo vệ bờ. CD_2 cũng có xu hướng biến đổi phức tạp với độ sâu xói đáy lớn nhất là -3,57 tại 513 m, tốc độ xói nhỏ do khu vực này đã từng xảy ra hiện tượng sạt bờ và đã được đầu tư xây dựng hệ thống kè rọ đá. CD_3 cho thấy sự biến động mạnh hơn, với độ sâu xói đáy đạt giá trị sâu nhất là -7,90 tại 128 m, đường bờ phải sạt lở lớn nhất là do ngay chợ Cái Dầu chịu ảnh hưởng từ các hoạt động của ghe tàu và xe tải bốc xếp hàng hóa, trung chuyển đi tiêu thụ.

Trong 5 năm mô phỏng, mô hình đã tính toán mô phỏng được độ sâu xói đáy như sau:

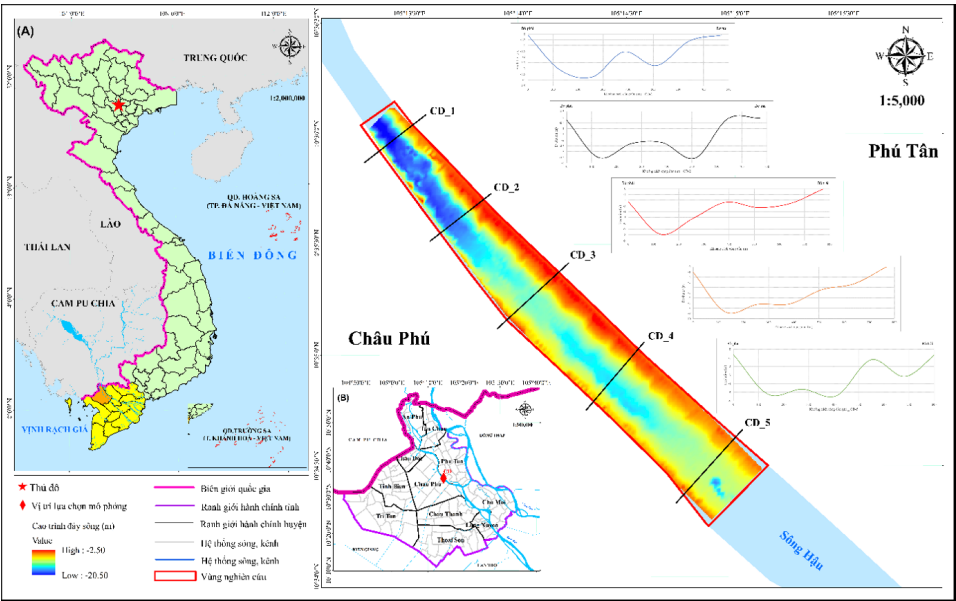
Tại CD_1, hình thái đáy sông thể hiện rõ xu thế xói mạnh tại khu vực giữa sông, với độ sâu xói tối đa khoảng -3,8 m nằm trong khoảng cộng dồn từ 150-250 m. Khu vực gần bờ trái chịu ảnh hưởng xói nhẹ hơn, trong khi khu vực từ khoảng 600-800 m gần bờ phải có xu hướng bồi nhẹ (độ xói tiệm cận về 0). Điều này cho thấy dòng chính áp sát bờ trái, gây ra hiện tượng xói đáy tập trung ở vùng lòng dẫn chính.

Tại CD_5, mức độ xói đáy diễn ra mạnh hơn với độ xói lớn nhất đạt -5,5 m, tập trung tại vùng giữa sông (khoảng 100-200 m), tương đồng về vị trí với CD_1 nhưng có cường độ xói cao hơn. Ngoài ra, tại khu vực từ 450-600 m, biểu đồ thể hiện một vùng bồi lắng nhẹ, sau đó chuyển sang xói nhẹ về phía bờ phải. Điều này phản ánh sự dịch chuyển nhẹ của dòng chính và khả năng tăng cường vận tốc dòng chảy tại khu vực giữa và gần bờ phải.

Nhìn chung, độ sâu xói đáy từ CD_1 đến

CD_5 cho thấy xu thế xói đáy tăng dần về phía hạ lưu, với mức độ xói tại CD_5 sâu và lan rộng hơn. Kết quả này phản ánh diễn biến hình thái

lòng dẫn phức tạp, có thể liên quan đến hướng dòng chủ lưu, độ cong của sông, và tác động tích lũy của dòng chảy trong thời gian tính toán.



Hình 15. Kết quả mô phỏng độ sâu xói đáy (Evolution) tại các mặt cắt

4. Kết luận và kiến nghị

Trong nghiên cứu này, mô hình thủy động lực hai chiều Telemac-2D kết hợp với mô-đun Sisyphe đã được triển khai nhằm mô phỏng quá trình vận chuyển bùn cát tại đoạn Sông Hậu chảy qua Xã Châu Phú, Tỉnh An Giang. Quá trình hiệu chỉnh mô hình dựa trên số liệu thực đo năm 2019 và kiểm định với dữ liệu năm 2021 cho thấy độ phù hợp cao giữa kết quả mô phỏng và quan trắc thực tế, khẳng định độ tin cậy của mô hình.

Kết quả mô phỏng cho thấy sự biến đổi rõ rệt về đặc tính dòng chảy và bùn cát theo cả không gian và thời gian, đồng thời xác định được các

khu vực có nguy cơ xói đáy nghiêm trọng. Các điểm có tốc độ dòng lớn, dòng chảy hội tụ và độ sâu biến đổi nhanh - chủ yếu tập trung ở đoạn giữa khu vực nghiên cứu - là những vị trí có nguy cơ cao nhất. Những kết quả này hoàn toàn phù hợp với thực tế diễn biến hình thái lòng dẫn đã và đang được ghi nhận tại địa phương trong các năm gần đây.

Việc áp dụng mô hình Telemac-2D trong điều kiện địa hình phức tạp của khu vực nghiên cứu cho thấy khả năng mô phỏng hiệu quả các quá trình thủy động lực và vận chuyển bùn cát, đồng thời mở ra triển vọng lớn trong việc áp dụng mô hình này cho các nghiên cứu tương tự tại khu vực Đồng bằng Sông Cửu Long.

Đóng góp của từng tác giả trong bài báo: Xây dựng nghiên cứu ý tưởng: Cấn Thu Văn, Phan Thị Thùy Dương; phương pháp nghiên cứu: Cấn Thu Văn, Nguyễn Hữu Tuấn; Xử lý dữ liệu: Phạm Thị Thủy; phân tích tài liệu, viết bản thảo bài báo: Cấn Thu Văn, Phan Thị Thùy Dương, Nguyễn Hữu Tuấn, Lưu Văn Ninh, Nguyễn Thanh Toàn; chỉnh sửa bài báo: Cấn Thu Văn.

Lời cảm ơn: Kết quả nghiên cứu này được hỗ trợ bởi đề tài khoa học và công nghệ cấp cơ sở năm 2025 “Nghiên cứu ứng dụng mô hình thủy động lực hai chiều mã nguồn mở mô phỏng chế độ bùn cát đoạn sông Hậu tỉnh An Giang” mã số CS.2025.25.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Lưu Văn Ninh và cộng sự (2018), *Nghiên cứu xây dựng cơ sở dữ liệu khí tượng thủy văn Tỉnh An Giang trong bối cảnh biến đổi khí hậu*, Báo cáo tổng hợp đề tài nghiên cứu khoa học cấp tỉnh.
2. Lưu Văn Ninh, Nguyễn Minh Giám (2017), "Đặc điểm khí hậu An Giang", *Tạp chí Khí tượng thủy văn* 2017, 648, 18-26.
3. Nguyễn Thị Bảy và cộng sự (2021), *Nghiên cứu xác định nguyên nhân cơ chế và đề xuất các giải pháp khả thi về kỹ thuật hiệu quả về kinh tế nhằm hạn chế xói lở bồi lắng cho hệ thống sông Đồng bằng Sông Cửu Long*, Báo cáo tổng hợp đề tài cấp Quốc gia KHCN-TNB/14-19.
4. Nguyễn Kỳ Phùng và cộng sự (2021), *Xây dựng mô hình dự báo sạt lở bờ sông dựa trên công nghệ tính toán hiệu năng cao sử dụng GPUs kết hợp thực hiện dựa trên mô hình thực nghiệm và ứng dụng cho một số đoạn sông Đồng bằng Sông Cửu Long*, Báo cáo tổng hợp đề tài cấp Quốc gia NĐT.28.KR/17.
5. Nguyễn Thanh Sơn, Cấn Thu Văn và cộng sự (2018), *Nghiên cứu xác định nguyên nhân sạt lở bờ sông và đề xuất công nghệ cảnh báo, dự báo, mức độ sạt lở bờ sông tại một số khu vực sạt lở trọng điểm ở ĐBSCL*, Đề tài cấp Bộ TNMT.2018.02.12, Viện Khoa học Tài nguyên nước.
6. Cấn Thu Văn và nnk (2024), *Nghiên cứu xây dựng thử nghiệm hệ thống cảnh báo sớm nguy cơ sạt lở do hiện tượng thời tiết cực đoan trên nền tảng trí tuệ nhân tạo*, Báo cáo chuyên đề đề tài cấp Tỉnh An Giang mã số 373.2024.02.
7. Lê Ngọc Thanh và cộng sự (2020), "Đánh giá hiện trạng hình thái dẫn một số đoạn Sông Tiền và sông Vàm Nao bằng tài liệu địa chấn nông phân giải cao", *Tạp chí Khoa học và công nghệ Việt Nam*, số 62(1), 1.2020.
8. Nguyễn Văn Hoàng, Nguyễn Chí Thanh và cộng sự (2012), "Đánh giá vận chuyển bùn cát sông Hồng đoạn Đan Phượng - Vạn Phúc bằng mô hình thủy lực - môi trường EFDC," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, số 12 (2012), tr. 45-53.
9. Scott, S. H., & Jia, Y. (2002), "Simulation of sediment transport and channel morphology change in large river systems", *US-China Workshop on Advanced Computational Modelling*, Mississippi, USA.
10. Wu, W. M. (2001), "CCHE2D Sediment Transport Model", *Technical Report NCCHE-TR-2001-3*, University of Mississippi.
11. Lê Ngọc Anh và cộng sự (2022), *Đánh giá tác động của hoạt động khai thác cát đến chế độ dòng chảy và vận chuyển bùn cát vùng hạ lưu Đồng Nai - Sài Gòn*, Báo cáo tổng hợp đề tài cấp cơ sở, CS.2022.11
12. Lê Ngọc Anh (2014), "Ứng dụng mô hình TELEMAC - 2D đánh giá ảnh hưởng của hiện tượng vỡ đập Trị An lên vùng hạ lưu Đồng Nai - Sài Gòn", *Tạp chí Tài Nguyên Nước*, 1, 21-30.
13. Nguyễn Trần Nhấn Tấn và cộng sự (2018), *Áp dụng TELEMAC3D để mô phỏng dòng chảy và vận chuyển trầm tích tại khu vực ngã ba Sông Hậu và sông Vàm Nao (khu vực sạt lở xã Mỹ Hội Đông)*, Báo cáo tổng hợp đề tài cấp tỉnh 373.2017.28.
14. Van CT, Son NT, Tuan NC (2021), "Research and Experimental Application of Empirical Formulas to Calculate Riverbank Erosion in Tien River in Mekong Delta", *J. Environ. Sci. Eng. A* 2021;10:116-123; Available from: <https://doi.org/10.17265/2162-5298/2021.03.003>.
15. Abernethy, B., & Rutherford, I. D. (1998), "Where along a river's length will vegetation most effectively stabilise stream banks?", *Geomorphology*, 23(1), 55-75. DOI:10.1016/S0169-555X(97)00089-5.
16. Clark, L. A., & Wynn, T. M. (2007), "Methods for determining streambank critical shear stress and soil erodibility: Implications for erosion rate predictions", *Transactions of the ASABE*, 50(1), 95-106.
17. Couper, P. R., & Maddock, I. P. (2001), "Subaerial river bank erosion processes and their interaction with other bank erosion mechanisms on the River Arrow, UK", *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(6), 631-646. DOI:10.1002/esp.212
18. Fischenich, J. C. (1989), "Channel erosion analysis and control", In Woessmer, W. and D.F.Potts, eds, *Proceedings Headwaters Hydrology*, 101-109. American Water Resources Association.

Bethesda, Md.

19. Gray, D. H., & MacDonald, A. (1989), "The role of vegetation in river bank erosion", *National Conference on Hydraulic Engineering*, 218-223.
20. Hooke, J. M. (1979), "An analysis of the processes of river bank erosion", *Journal of Hydrology*, 42(1), 39-62.
21. Lawler, D. M., Thorne, C. R., & Hooke, J. M. (1997), "Bank erosion and instability", In C. R. Thorne, R. D. Hey, & M. D. Newson (Eds.), *Applied fluvial geomorphology for river engineering and management* (pp. 137-172). Chichester: John Wiley & Sons.
22. Ata, R. (2012), "TELEMAC-2D new finite volume schemes for shallow water equations with source terms on 2D unstructured grids", Presented at the XIXth TELEMAC-MASCARET User Conference, Oxford.

APPLICATION OF THE OPEN-SOURCE TELEMAC-2D MODEL TO ASSESS RIVERBED MORPHOLOGICAL CHANGES IN THE HAU RIVER SECTION THROUGH CHAU PHU COMMUNE, AN GIANG PROVINCE

Can Thu Van⁽¹⁾, Phan Thi Thuy Duong⁽¹⁾, Nguyen Huu Tuan⁽¹⁾,
Nguyen Thanh Toan⁽²⁾, Luu Van Ninh⁽²⁾, Pham Thi Thuy⁽³⁾

⁽¹⁾Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment

⁽²⁾An Giang Provincial Hydro-Meteorological Center

⁽³⁾Le Quy Đôn technical University

Received: 2/7/2025; Accepted: 6/8/2025

Abstract: The phenomenon of sediment deposition and riverbank erosion along the main channels of the Tien and Hau Rivers has become increasingly complex in recent years. Particularly, in the section flowing through Chau Phu Commune, An Giang Province (Hau River), erosion has occurred with increasing severity and spatial extent, significantly affecting the stability of the river channel and morphology. Moreover, under the impacts of climate change, intensified resource exploitation, and upstream hydraulic structures, studying and simulating hydrodynamic regimes and sediment transport is essential for local planning and management. This paper presents the initial results of applying the two-dimensional hydrodynamic model TELEMAC-2D to simulate sediment transport processes and riverbed morphological changes in the Hau River section within Chau Phu Commune. The hydraulic calibration and validation results showed that the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (NSE) was consistently above 0.68, indicating a good level of model performance. The riverbed changes at cross-sections CD_1, CD_2, and CD_3 were -3.73 m, -3.57 m, and -7.90 m, respectively. The study demonstrates the TELEMAC-2D model's effectiveness in handling complex terrain conditions with a large number of computational grid cells.

Keywords: Sediment transport, Telemac-2D, Mekong Delta.