

NGHIÊN CỨU DIỄN BIẾN HÌNH THÁI LÒNG SÔNG TIỀN VÀ SÔNG HẬU ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Trần Tuấn Anh, Nguyễn Bình Dương,
Lê Mạnh Hùng, Nguyễn Nghĩa Hùng
Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam

Tóm tắt: Diễn biến hình thái lòng sông Tiền và sông Hậu ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đã có những biến động phức tạp trong những năm gần đây. Đặc biệt là trong bối cảnh của biến đổi khí hậu, nước biển dâng và cả các hoạt động của con người làm thay đổi chế độ thủy động lực và bùn cát ở đồng bằng. Nghiên cứu này đã sử dụng mô hình hai chiều tổng thể cho toàn đồng bằng và bộ số liệu khảo sát chi tiết đầy đủ cho toàn bộ năm 2022 để bổ sung những hiểu biết về những biến động do sự thiếu hụt bùn cát đến thay đổi hình thái sông trên phạm vi toàn đồng bằng. Kết quả mô hình cho thấy sông Tiền và sông Hậu ở ĐBSCL đã có những thay đổi hình thái phù hợp với số liệu khảo sát thực đo giai đoạn 2018 và 2022. Các vùng xói mòn phù hợp với chế độ dòng chảy. Hạ thấp lòng dẫn do lũ và triều cường trong một năm là lớn, với độ sâu giảm từ 1,50 đến 2,00 mét trên sông Tiền và từ 1,00 đến 1,20 mét trên sông Hậu. Mô phỏng dài hạn cho thấy xói mòn trung bình trên sông Tiền dự kiến là 10 mét trong 10 năm, tập trung ở Tân Châu, Cao Lãnh, Sa Đéc và khu vực gần cầu Mỹ Thuận. Trên sông Hậu, xói mòn trung bình dự kiến là 4 đến 5 mét trong 10 năm, tập trung ở Long Xuyên và Ninh Kiều.

Từ khoá: Đồng bằng sông Cửu Long, mô hình toán, hạ thấp lòng dẫn, bùn cát.

Summary: The morphological evolution of the Tien River and the Hau River in the Mekong Delta has undergone complex changes in recent years, particularly in climate change, sea level rise, and human activities that have altered the delta's hydrodynamic regime and sediment transport. To better understand the fluctuations caused by sediment scarcity and changes in river morphology, a comprehensive two-dimensional model was developed for the entire delta, along with detailed survey data for 2022. The model findings align with survey data collected between 2018 and 2022, indicating morphological changes in the Tien and Hau rivers in line with observed trends. The erosion areas correspond to the flow patterns within the rivers. Channel depths have decreased significantly, ranging from 1.50 to 2.00 meters on the Tien River and from 1.00 to 1.20 meters on the Hau River, primarily due to floods and high tides. Long-term simulations project an average erosion of 10 meters over ten years along the Tien River, mainly concentrated in Tan Chau, Cao Lanh, Sa Dec, and the vicinity of My Thuan bridge. Similarly, the Hau River is expected to experience an average erosion of 4 to 5 meters over ten years, with prominent effects in Long Xuyen and Ninh Kieu.

Keywords: Vietnam Mekong Delta, mathematical model, lower riverbed, sediment.

1. MỞ ĐẦU

Đồng bằng sông Cửu Long được hình thành từ trầm tích được đưa xuống bởi sông Mê Công từ lưu vực sông rộng 800,000 km². Trầm tích được vận chuyển chủ yếu vào mùa gió mùa (mùa mưa). Tuy nhiên, tải lượng trầm tích thời kỳ trước đây là 150-170 triệu tấn/năm, đã giảm 40 - 70% do các đập trên thượng nguồn giữ lại

trầm tích [1], [2], [3], [4]. Nghiên cứu mới nhất về bùn cát ở sông Mê Công đã chỉ ra rằng hiện nay tổng lượng bùn cát về đến đồng bằng là khoảng 25 triệu tấn/ năm. Việc phát triển các đập thượng nguồn (bao gồm cả xây dựng mới và phá dỡ do hết tuổi thọ công trình) thì tổng lượng bùn cát gần như không đổi trong tương lai [5]. Bên cạnh đó, nguồn cung cấp trầm tích cho Đồng bằng sông Cửu Long cũng bị giảm nghiêm trọng do khai thác cát trong sông, phổ biến ở hạ lưu sông Mê Công và ĐBSCL [6].

Ngày nhận bài: 02/4/2024

Ngày thông qua phản biện: 02/5/2024

Ngày duyệt đăng: 14/5/2024

Để đánh giá định lượng kết quả hiệu chỉnh và kiểm định cho các số liệu thủy văn chúng tôi sử dụng hệ số NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency). Trong đó

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{num})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{mean})^2} \right]$$

Với Y^{mean} là giá trị trung bình của dữ liệu quan trắc được và Y^{num} dữ liệu mô phỏng. Y_i^{obs} dữ liệu quan trắc được tại thời điểm i .

Kết quả hiệu chỉnh mô hình cho thấy: đối với mực nước, giá trị hệ số NSE lớn hơn 0,79, trong khi đối với lưu lượng, giá trị hệ số NSE vượt quá 0,76. Tại tất cả các trạm, kết quả kiểm định đều rất phù hợp với các giá trị đo được (giá trị NSE trên 0,87 đối với mực nước và trên 0,75 đối với lưu lượng). Các giá trị này cho thấy kết quả hiệu chỉnh và kiểm định là chính xác và đáng tin cậy (Bảng 1)

Bảng 1: Kết quả tính NSE cho hiệu chỉnh và kiểm định số liệu thủy văn năm 2017 và 2022

Trạm	Hiệu chỉnh		Kiểm định	
	Mực nước	Lưu lượng	Mực nước	Lưu lượng
Vàm Nao	0,94	0,76	0,87	0,75
Long Xuyên	0,88		0,91	
Cao Lãnh	0,86			
Cần Thơ	0,83	0,86	0,88	0,88
Mỹ Thuận	0,95	0,88	0,90	0,82
Mỹ Hòa	0,95			
Mỹ Tho	0,91		0,95	
Trà Vinh	0,79			

2.2.2. Hiệu chỉnh và kiểm định bùn cát lơ lửng

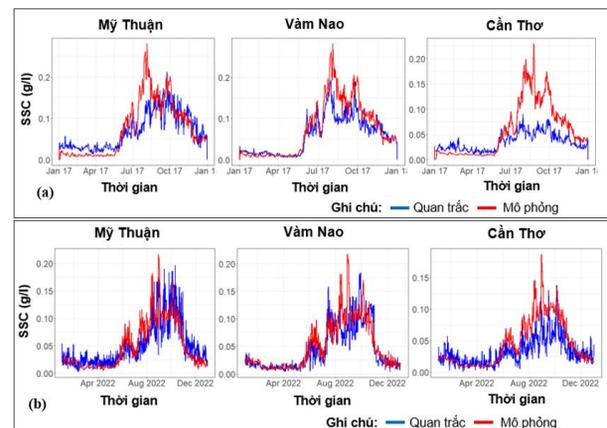
Hệ số độ sai lệch Dev được sử dụng trong hiệu chỉnh này.

$$Dev = \left| \frac{Obs - Sim}{Obs} \right| * 100\%$$

Trong đó Sim là tổng lượng bùn cát mô phỏng, và Obs là tổng lượng bùn cát thực đo. Giá trị Dev càng gần 0 thì càng thể hiện sự chính xác.

Hình 5 thể hiện kết quả hiệu chỉnh và kiểm định bùn cát lơ lửng. Đáng lưu ý là việc hiệu chỉnh vận chuyển trầm tích khó hơn hiệu chỉnh thủy động lực. Đó là vì các lý do khác nhau: i) Có nhiều sai số giữa số liệu đo đạc trầm tích tại chỗ và phân tích trong phòng thí nghiệm; ii) Việc tham số hóa quá trình vận chuyển trầm tích trong mô hình số, đặc biệt đối với trầm tích dính, vẫn chưa có đầy đủ chức năng. Ngoài ra, giá trị đo được của trầm tích tại các trạm chỉ được thu thập hai lần một ngày. Việc lấy mẫu trầm tích lơ lửng được thực hiện khi thủy triều lên và xuống. Kết quả hiệu chỉnh

2017 cho Dev tốt ở các trạm Mỹ Thuận và Vàm Nao (Dev lần lượt là 36% và 21%). Đối với kiểm định thì mô hình cho các kết quả tốt hơn (Dev nhỏ hơn 30% cho tất cả các trạm). Có thể thấy việc sử dụng các tài liệu địa hình năm 2022 đã ảnh hưởng khá lớn đến việc hiệu chỉnh bùn cát với các số liệu năm 2017. Tuy nhiên kết quả kiểm định vẫn đảm bảo độ tin cậy và chính xác với các số liệu năm 2022.



Hình 2: Kết quả hiệu chỉnh bùn cát lơ lửng năm 2017 (a) và kiểm định bùn cát lơ lửng 2022 (b)

2.2.3. Hiệu chỉnh và kiểm định hình thái

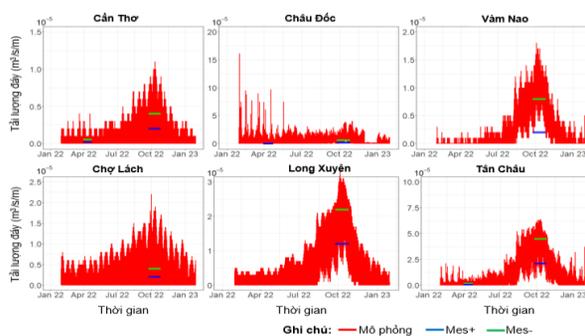
Lượng trầm tích chảy vào Đồng bằng đóng vai trò chính trong việc hình thành hình thái của Đồng bằng[12]. Theo một nghiên cứu của Hackney và cộng sự (2020), tổng lượng trầm tích đáy chảy vào khu vực Phnom Penh khoảng 6,18 triệu tấn/năm[6].

Trong kết quả mới nhất của về tải lượng bùn cát về ĐBSCL thì tổng lượng bùn cát (cả bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng) về đến ĐBSCL là vào khoảng 25 triệu tấn/năm [5].

Các nghiên cứu gần đây đã liên tục chứng minh rằng việc khai thác cát ảnh hưởng đáng kể đến hình thái của ĐBSCL [11], [13]. Trong đó các nghiên cứu đã chỉ ra rằng giai đoạn 2017 – 2020 lượng cát khai thác ở ĐBSCL ngày càng gia tăng. Số liệu phân tích ảnh vệ tinh đã dự báo rằng năm 2020, lượng cát khai thác ở ĐBSCL là khoảng 40 triệu tấn/năm [14], lớn hơn rất nhiều con số bùn cát lắng đọng lại ở đồng bằng. Vì vậy, các hoạt động của con người kết hợp với yếu tố dòng chảy tự nhiên là nguyên nhân chính góp phần tạo nên những thay đổi hình thái lớn ở ĐBSCL trong những năm gần đây.

Việc sử dụng độ sâu của sông hoặc độ cao mặt cắt ngang để điều chỉnh và dự báo hình thái sông có thể gây ra sai sót không mong muốn và tạo ra sự khác biệt trong kết quả. Điều này xảy ra do những thay đổi do con người gây ra. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sẽ hiệu chỉnh và kiểm định biến động hình thái dựa trên việc so sánh định tính số liệu thực đo và xu thế biến động của tải lượng bùn cát đáy và sự thay đổi biến động hình thái tại một số khu vực có dữ

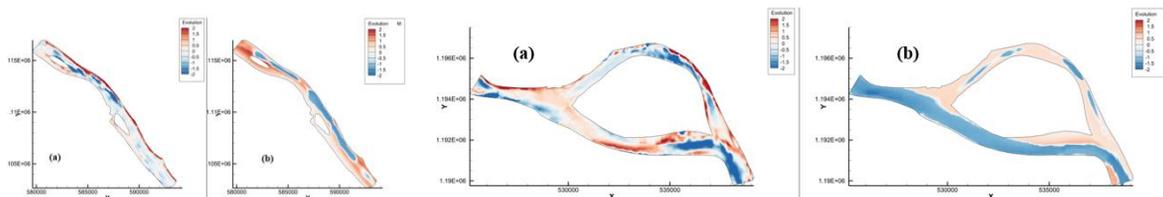
liệu quan trắc.



Hình 3: Kết quả kiểm định tải lượng bùn cát đáy theo công thức Meyer – Peter

Các giá trị đo đạc nằm trong phạm vi từ (Mes-) đến (Mes+), là giá trị trung bình theo thời gian trong đợt khảo sát, với (Mes±) = giá trị đo đạc trung bình ± độ lệch chuẩn. Có thể thấy kết quả mô phỏng bùn cát đáy phản ánh tương đồng với thực tế ở ĐBSCL.

Với sự hạn chế của mô hình về chiều dài thời đoạn mô phỏng, kết quả mô phỏng thay đổi hình thái cũng phần nào cho thấy mô hình có khả năng diễn toán tương đối hợp lý về mặt xu thế xói bồi và có thể sử dụng cho những dự báo đánh giá tác động của hệ thống công trình kè bảo vệ bờ. Các số liệu đo đạc địa hình tại một số khu vực năm 2018 và 2022 đã được trích xuất và tính trung bình xói bồi cho một năm (Hình 7a và Hình 8a). Các kết quả này được dùng để so sánh với số liệu mô phỏng (Hình 7b và Hình 8b). Nhìn chung, mô hình mô phỏng tương đồng với xu thế phân bố xói bồi với thực tế.



Hình 4: Kết quả so sánh biến động đáy sông giữa số liệu thực đo 2018 và 2022 (a) và kết quả mô phỏng mô hình (b) ở : Cần Thơ (trên) và Tân Châu – Hồng Ngự (dưới)

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

3.1. Thay đổi chế độ thủy triều

Ở ĐBSCL, thủy triều đóng vai trò rất quan trọng trong chế độ thủy động lực cũng như

hình thái lòng dẫn. Các hiện tượng “triều xuống” hay “triều lên” ảnh hưởng đáng kể đến vận chuyển trầm tích và xâm nhập mặn. Sự thay đổi chế độ thủy triều có thể được phân tích bằng phân tích điều hoà và thủy triều, là sự tương quan giữa thành phần sóng bán nhật triều mặt trăng chính M2 và sóng điều hòa bậc nhất M4. Kết quả phân tích chỉ ra mức độ bất đối xứng của thủy triều [15]. Trong đó các yếu tố được dùng để mô tả cường độ và bản chất của sự bất đối xứng thủy triều:

i) Cường độ bất đối xứng thủy triều được định nghĩa là tỷ lệ $aM4/aM2$ trong đó $aM2$ và $aM4$ lần lượt là biên độ thủy triều của M4 và M2. Thông thường, cường độ bất đối xứng là đáng kể khi tỷ lệ này lớn hơn 0,1;

ii) Tính chất trội thủy triều được xác định là độ lệch pha giữa M4 và M2 $\Delta\phi = (2\phi_{M2} - \phi_{M4})$, trong đó ϕ_{M2} và ϕ_{M4} lần lượt là pha thủy triều của M2 và M4. Thủy triều chiếm ưu thế lũ nếu $0^\circ < \Delta\phi < 180^\circ$ hoặc ngược lại là triều xuống.

Bảng 2: Kết quả phân tích điều hoà và thủy triều ở ĐBSCL

Trạm	2017			2022		
	Biên độ K1/M2 (%)	Biên độ aM4/aM2 (%)	Pha (2M2 - 2M4) (độ)	Biên độ K1/M2 (%)	Biên độ aM4/aM2 (%)	Pha (2M2 - 2M4) (độ)
Châu Đốc	33.6	24.6	89.9			
Vàm Nao	35.4	15.8	189.3	66	12	91
Long Xuyên	38.5	18.1	291.1			
Cao Lãnh	34.8	23	345.1			
Cần Thơ	38.5	16.4	219.5	72	11	75
Mỹ Thuận	34.2	17.3	-30.6	62	10	-6
Mỹ Hòa	37.2	10.4	-11.9			
Mỹ Tho	39.6	7.6	56.2			
Trà Vinh	38.7	6.6	50.1			
Chợ Lách				59	10	-68
Bình Đại				72	5	182
Đại Ngãi				71	10	-20

Kết quả phân tích điều hoà và thủy triều (Bảng 2) đã cho thấy sự lan truyền thủy triều nhật triều và bán nhật triều trong ĐBSCL là sự kết hợp, với độ biến dạng vừa phải do ảnh hưởng của các sóng triều M4. Điều đó làm cho thủy triều ở ĐBSCL không đối xứng. So sánh giữa năm 2017 và 2022, năm 2017 có chế độ bán nhật triều M2 chiếm ưu thế hơn. Như vậy, mực nước năm 2017 có mức độ lên xuống nhanh hơn so với năm 2022, từ đó dẫn đến hiện tượng xói mòn lòng dẫn cao hơn. Ngoài ra, việc nước triều lên xuống nhanh hơn trong năm 2017 cũng làm gia tăng nguy cơ sạt lở bờ sông so với năm 2022.

3.2. Sự thay đổi hình thái sông

Kết quả mô phỏng xói mòn lòng sông dọc sông Tiền và sông Hậu cung cấp góc nhìn sâu

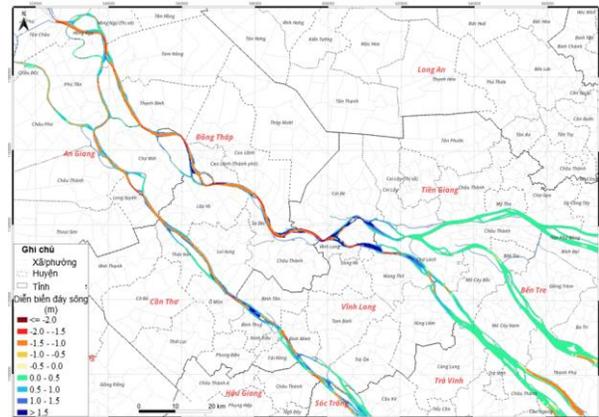
sắc về mối quan hệ giữa hình thái sông và tốc độ dòng chảy. Hình 5 mô tả kết quả so sánh sự thay đổi lòng sông Tiền và sông Hậu trong thời gian mô phỏng một năm, theo các điều kiện thủy động lực của năm 2022. Phân tích cho thấy sông Tiền, đặc biệt là đoạn từ Tân Châu đến Mỹ Thuận, có những biến động đáng kể ở lòng sông. Tuy nhiên, sau khu vực Mỹ Thuận, sông Tiền chia thành nhiều nhánh, sự biến động của lòng sông từ khu vực này đến các cửa sông là không đáng kể.

Sông Tiền có dòng chảy không ổn định ở nhiều vị trí. Trong các đoạn từ Tân Châu đến Mỹ Thuận, vận tốc trung bình theo thời gian vượt quá $1,30 \text{ m.s}^{-1}$, dẫn đến các hố xói sâu và xói mòn, trong khi bồi tụ hiếm khi phát triển, ngoại trừ những nơi vận tốc giảm xuống dưới $0,75 \text{ m.s}^{-1}$ (xem Hình 6). Điều đáng chú ý là xói mòn

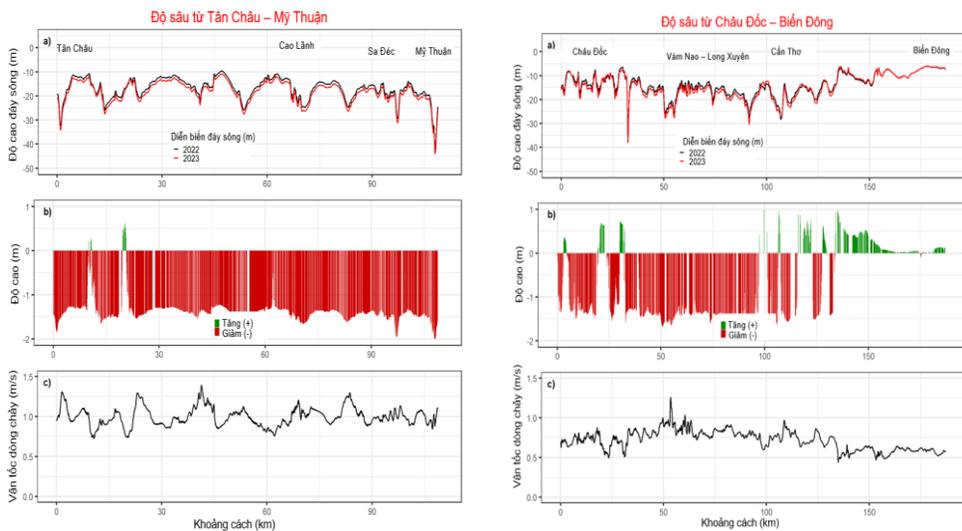
chiếm ưu thế ở hầu hết đoạn này, với độ sâu xói mòn thay đổi dọc theo dòng chính từ 1,50 m đến 2,0 m trong một năm. Chỉ có hai vị trí xuất hiện bồi tụ với chiều dày 0,25-0,50 m.

Ngược lại, trên sông Hậu, vận tốc thay đổi trong khoảng 0,50-1,25 m.s⁻¹ dọc theo dòng chính. Điều này giải thích tại sao bồi tụ xuất hiện ở đó thường xuyên hơn và xói mòn giảm nhẹ so với đoạn từ Tân Châu đến Mỹ Thuận ở sông Tiền. Các xu hướng xói mòn và bồi lắng trên dòng chính của sông Hậu có thể được chia thành hai phần riêng biệt. Đoạn đầu tiên dài khoảng 130km, từ Châu Đốc đến Cần Thơ với xu thế xói mòn là chính. Tuy nhiên tại khu vực trước ngã ba sông Vàm Nao, có hiện tượng bồi tụ do vận tốc dòng chảy thấp. Đoạn thứ hai bao gồm đoạn sông từ sau cầu Cần Thơ đến biển Đông. Ở khu vực này, tốc độ dòng chảy

trung bình tương đối thấp, dưới 0,75 m/s. Do đó, xu hướng chính ở đoạn này là bồi lắng, với tốc độ bồi lắng cao, dao động từ 0,2 đến 1m.

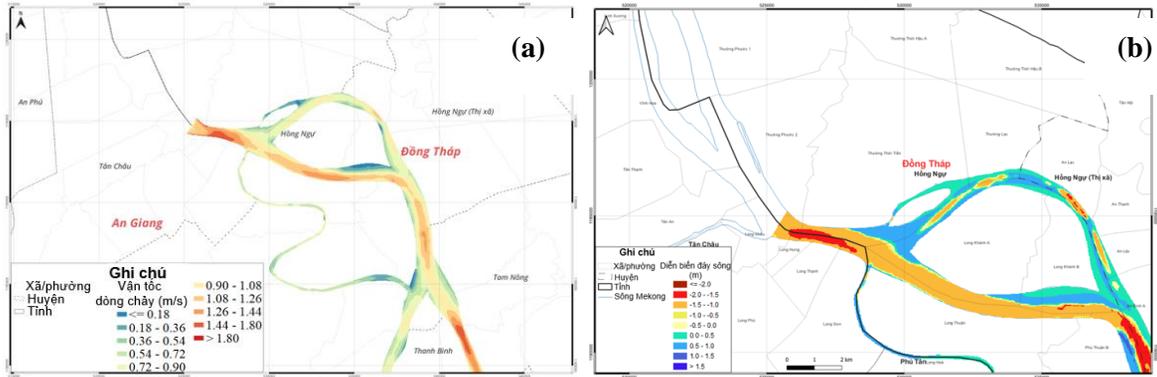


Hình 5: Diễn biến đáy sông tại ĐBSCL sau một năm mô phỏng



Hình 6: Biến đổi hình thái sông trên dòng chính sau mô phỏng 1 năm: a) Đáy sông trên dòng chính năm 2022 so với mô phỏng năm 2023; b) Diễn biến dòng chính sau một năm; c) Mặt cắt dọc vận tốc trung bình theo thời gian trên dòng chính

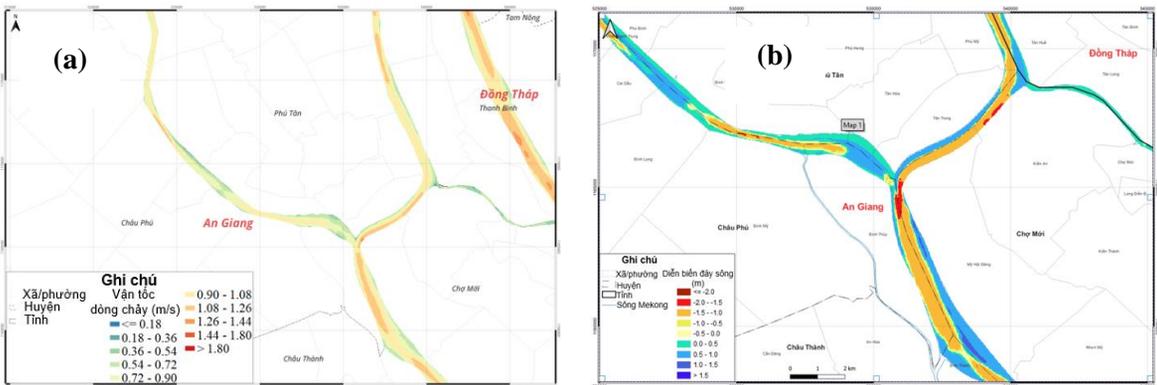
3.3. Đánh giá biến động hình thái tại một vài khu vực biến động mạnh



Hình 7: Trường vận tốc lớn nhất mùa lũ (10/2022) (a) và biến động đáy sông tại Tân Châu – Hồng Ngự (b)

Nhánh tả sông Tiền chảy qua gần thành phố Hồng Ngự, nối với sông Sở Thượng và sông Hồng Ngự, vận tốc dòng chảy trung bình theo thời gian xấp xỉ 0,8 m/s. Tuy nhiên, ở những đoạn sông cong và hẹp, vận tốc trung bình có thể vượt quá 1,0 m/s. Những khu vực này có tốc độ dòng chảy cao hơn do đặc tính hình thái của đoạn sông cong (Hình 7a). Ở đoạn sông

này, lòng sông có xu hướng xói mòn và bồi tụ xen kẽ nhau. Sự suy giảm lòng sông đặc biệt tập trung ở khu vực thành phố Hồng Ngự (Hình 7b). Ngược lại, ở nhánh hữu chảy qua cù lao Long Khánh, hình thái sông có xu hướng xói mòn dọc sông, Tuy nhiên, khi sông càng về cuối cù lao xu hướng xói mòn lệch về phía bờ phải, trong khi bờ trái có xu hướng bồi tụ.



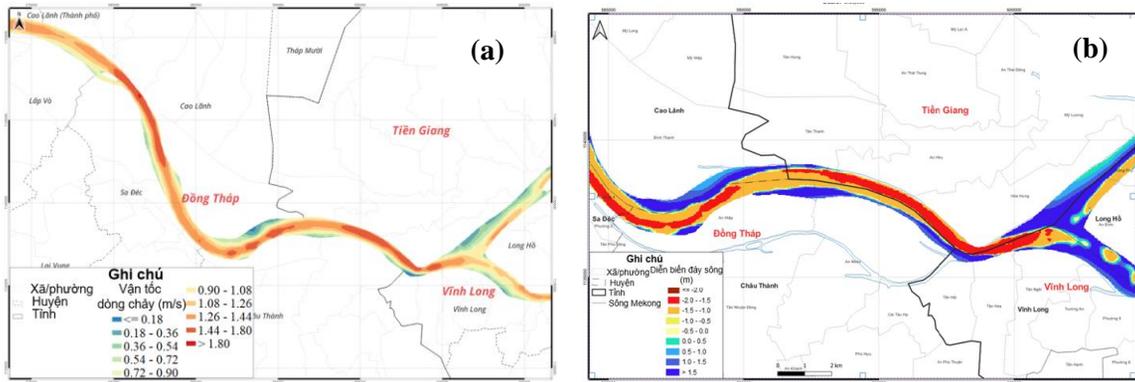
Hình 8: Trường vận tốc lớn nhất mùa lũ (10/2022) (a) và biến động đáy sông tại Vàm Nao (b)

Hình 8a thể hiện trường vận tốc lớn nhất mùa lũ và biến động đáy sông ở khu vực ngã ba sông Vàm Nao. Toàn bộ khu vực Vàm Nao – sông Hậu phía hạ lưu có lòng dẫn sông bị hạ thấp với tốc độ trung bình 1,4m/năm. Ngược lại, phía thượng lưu có hiện tượng trầm tích bồi tụ, dẫn đến độ cao trung bình đáy sông tăng khoảng 1m/năm. Lòng dẫn ở khu vực này ngày càng nông hơn. Hạ lưu nơi hợp lưu sông Hậu và sông Vàm Nao, cụ thể từ xã Bình Thủy đến An Hòa có nhiều điểm đáng chú ý. Trong mùa lũ, dòng nước mạnh ép về phía bờ phải sông Hậu, tốc độ trung bình trên

1,3 m/s. Dòng chảy mạnh này có nguy cơ đáng kể làm tăng xói mòn lòng sông và mất gây ổn định ở bờ phải.

Các mô phỏng sâu hơn về hình thái lòng sông ở khu vực Mỹ Thuận cho thấy hiện tượng xói mòn ở đoạn lõm của sông. Xói mòn đáng kể nhất xảy ra gần đoạn sông gần cầu Mỹ Thuận, với tốc độ xói mòn ước tính khoảng 2 mét sau một năm mô phỏng (năm 2022). Ngoài ra, còn xuất hiện hiện tượng xói mòn cục bộ ở khu vực phân nhánh cù lao An Bình, nơi dòng chảy mạnh gây xói mòn cả hai nhánh trái và

phải (đoạn sông Cỏ Chiên) của cù lao.



Hình 9: Trường vận tốc lớn nhất mùa lũ (10/2022) (a) và biến động đáy sông tại Mỹ Thuận (b)

3.4. Xu thế biến động lòng dẫn sông Tiền và sông Hậu trong tương lai

Xu thế biến động lòng dẫn sông Tiền và sông Hậu trong tương lai được mô phỏng liên tục trong 10 năm với các số liệu điều kiện biên năm 2022, trong đó chế độ dòng chảy và vận hành thượng nguồn là gần nhất, giả định các điều kiện thay đổi không nhiều. Do các hạn chế về thời gian cũng như kinh phí chúng tôi đã không tiến hành phân tích đánh giá các điều kiện biên thay đổi (biến đổi khí hậu, nước biển dâng, biến đổi thượng nguồn ...)

Kết quả mô phỏng cho thấy xu hướng hình thái lòng sông đã thay đổi đáng kể so với điều kiện hiện tại. Cả sông Tiền và sông Hậu đều đã hạ thấp lòng sông trung bình khoảng 2 mét sau ba năm mô phỏng. Các đoạn sông Tiền từ biên giới Việt Nam – Campuchia đến khu vực cầu Mỹ Thuận bị thay đổi đáng kể. Khu vực Tân Châu đoạn nhánh phải cù lao Long Khánh, các đoạn sông cong ở Cao Lãnh, Sa Đéc và đoạn trước cầu Mỹ Thuận là những ví dụ về những khu vực có lòng sông hạ thấp nhanh. Trong vòng ba năm, dự báo những khu

vực này sẽ bị hạ thấp hơn 6 mét. Trong khi đó, khu vực từ cầu Mỹ Thuận ra biển Đông cũng sẽ có biến động nhưng không đáng kể.

Tương tự như vậy, sông Tiền tiếp tục là khu vực có mối lo ngại chính về biến động lòng sông sau 5 năm. Kết quả mô phỏng cho thấy độ sâu lòng sông bị hạ thấp điển hình là khoảng 6 đến 7 mét. Đặc biệt tại Tân Châu, Cao Lãnh, Sa Đéc có vị trí bị sâu thêm trên 10 m. Trong khi đó, mực nước lòng sông trên nhánh sông Hậu đã bị hạ thấp trung bình khoảng 3m sau 5 năm. Long Xuyên và Ninh Kiều (Cần Thơ) là những khu vực trên sông Hậu bị hạ thấp nhiều nhất, với độ sâu lần lượt là 6m và 8m.

Mô phỏng dự báo mức độ hạ thấp lòng dẫn trung bình là 10 mét đối với sông Tiền trong khoảng thời gian 10 năm. Địa hình đáy sông có thể sâu thêm hơn 17 m ở một số khu vực, trong đó có Tân Châu, cù lao Châu Ma và Sa Đéc. Trên sông Hậu, độ sâu lòng sông bị hạ thấp trung bình vào thời điểm này khoảng 4-5m. Khu vực Long Xuyên và Ninh Kiều vẫn là nơi bị ảnh hưởng mạnh nhất, với độ sâu đáy giảm xuống lần lượt là 13m và 9m.



Hình 10: Kết quả mô phỏng biến động hình thái sông Tiền và sông Hậu lần lượt sau 3, 5 và 10 năm

Kết quả thu được từ mô phỏng 10 năm đã cung cấp một bức tranh tổng thể về xu hướng suy giảm lòng sông ở sông Tiền và sông Hậu trong khoảng thời gian 10 năm. Lòng sông sâu hơn có khả năng giữ được nhiều nước hơn, dẫn đến các kênh nội đồng khô cạn hơn, đặc biệt là trong mùa khô. Hơn nữa, lòng sông bị hạ thấp góp phần làm tăng sự xâm nhập mặn vào vùng đồng bằng. Do đó, tài nguyên nước sẽ có những rủi ro đáng kể cho cả hoạt động sinh hoạt và sản xuất nông nghiệp trong thời gian tới. Cần lưu ý rằng do dữ liệu thủy văn và trầm tích bị thiếu ở ranh giới thượng lưu của ĐBSCL trong mô phỏng tương lai nên những mô phỏng trong tương lai này chỉ được thực hiện với các thông số đầu vào hiện tại. Vì vậy, trên thực tế, rủi ro do hạ thấp lòng sông và các rủi ro liên quan mà nó gây ra có thể lớn hơn nhiều so với kết quả mô phỏng.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Các kết quả thiết lập mô hình phù hợp với những thay đổi hình thái được quan trắc thực tế ở ĐBSCL trong khoảng thời gian 2018 và 2022. Các phân vùng xói mòn phù hợp với chế độ dòng chảy. Hạ thấp lòng dẫn do lũ và dòng triều trong 1 năm là lớn. Độ sâu lòng dẫn bị hạ thấp có thể đạt 1,50 - 2,00 m trên dọc theo tuyến lạch sâu sông Tiền (đặc biệt từ Cao Lãnh đến Mỹ Thuận). Trên sông Hậu, mặc dù biến động lòng dẫn cục bộ ở khu vực Long Xuyên có thể lên tới 2,00 m nhưng ở Cần Thơ lòng sông biến động nhẹ hơn trong khoảng từ 1,00 - 1,20 m.

Hiện nay, trạng thái lòng dẫn trên sông chính bị xói mòn chủ yếu xảy ra ở thượng nguồn đồng bằng và bồi lắng diễn ra rời rạc ở các nơi thuộc hạ lưu.

Mô phỏng dài hạn cho thấy những thay đổi đáng kể ở lòng sông Tiền. Sau ba năm mô phỏng, lòng sông trung bình đã hạ thấp khoảng 2 mét. Sau 5 năm, độ sâu xói mòn trên sông Tiền dao động từ 6 đến 7 mét. Mô phỏng dự báo mức độ xói mòn trung bình là 10 mét ở sông Tiền trong 10 năm. Xói mòn đặc biệt rõ rệt ở Tân Châu, Cao Lãnh, Sa Đéc và khu vực gần cầu Mỹ Thuận trên sông Tiền.

Tương tự, sông Hậu cũng có những thay đổi

đáng kể về lòng sông. Trong quá trình mô phỏng kéo dài ba năm, lòng sông Hậu đã hạ thấp xuống khoảng 2 mét. Độ sâu xói mòn trung bình trên sông Hậu khoảng 3 mét sau 5 năm. Các khu vực bị ảnh hưởng đáng chú ý bao gồm Long Xuyên và Ninh Kiều, với độ sâu xói mòn lần lượt là 6 mét và 8 mét. Sau 10 năm mô phỏng, độ xói mòn lòng sông trung bình ở sông Hậu là khoảng 4 đến 5 mét.

Về lâu dài, các hoạt động của con người, đặc biệt là khai thác cát, nổi lên như những yếu tố chính ảnh hưởng đến sự thay đổi hình thái ở Đồng bằng sông Cửu Long Việt Nam. Đáng chú ý, lòng sông bị hạ thấp đáng kể đã được ghi nhận ở khu vực thượng nguồn từ biên giới Campuchia-Việt Nam đến khu vực Mỹ Thuận trên sông Tiền và khu vực Cần Thơ trên sông Hậu. Ngoài ra còn có xu hướng đáng chú ý là mực nước triều dâng cao ở các vùng ven biển. Những thay đổi về hình thái sông có ảnh hưởng đáng kể đến hiện tượng xâm nhập mặn và thời gian nhiễm mặn ở các vùng nước lợ và nước ngọt. Những rủi ro này sẽ đe dọa đến hoạt động sản xuất trong các khu vực.

Nghiên cứu của chúng tôi chưa đi sâu nghiên cứu ảnh hưởng của việc hạ thấp lòng sông đối với tình trạng xâm nhập mặn, chất lượng nước và việc sử dụng nước. Trong nghiên cứu trong tương lai, quan trọng là phải kết hợp các yếu tố này vào mô hình toán học để đưa ra đánh giá toàn diện hơn về tác động của thay đổi lòng dẫn đối với các khía cạnh vật lý và sinh thái của toàn bộ vùng đồng bằng.

LỜI CẢM ƠN: Nghiên cứu này được tài trợ kinh phí bởi Chính phủ CHLB Đức thông qua Tổ chức bảo tồn thiên nhiên thế giới WWF – Việt Nam thuộc dự án “Giảm thiểu tác động của biến đổi khí hậu và phòng chống thiên tai thông qua sự tham gia của khối công tư trong khai thác cát bền vững ở Đồng bằng sông Cửu Long” và Ngân hàng thế giới WB qua gói dự án “Dự án hỗ trợ kỹ thuật cho dự án chống chịu khí hậu tổng hợp và sinh kế bền vững vùng Đồng bằng sông Cửu Long”. Các tài liệu

khảo sát, biên tập và chỉnh sửa số liệu được thực hiện bởi GS. Stephen Darby và các cộng sự thuộc Đại học Southampton, Đại học Newcastle và Đại học Hull. Nhóm tác giả xin

cảm ơn Marc Goichot, Hà Huy Anh và Đỗ Huy Toàn từ WWF-Việt Nam vì những thảo luận hiệu quả và những đề xuất có giá trị để cải thiện bài viết này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] P. Marchesiello *et al.*, ‘Erosion of the coastal Mekong delta: Assessing natural against man induced processes’, *Cont Shelf Res*, vol. 181, 2019, doi: 10.1016/j.csr.2019.05.004.
- [2] G. M. Kondolf, Z. K. Rubin, and J. T. Minear, ‘Dams on the Mekong: Cumulative sediment starvation’, *Water Resour Res*, vol. 50, no. 6, 2014, doi: 10.1002/2013WR014651.
- [3] G. M. Kondolf *et al.*, ‘Save the Mekong Delta from drowning’, *Science (1979)*, vol. 376, no. 6593, 2022, doi: 10.1126/science.abm5176.
- [4] N. V. Manh, N. V. Dung, N. N. Hung, B. Merz, and H. Apel, ‘Large-scale suspended sediment transport and sediment deposition in the Mekong Delta’, *Hydrol Earth Syst Sci*, vol. 18, no. 8, 2014, doi: 10.5194/hess-18-3033-2014.
- [5] F. E. Dunn and P. S. J. Minderhoud, ‘Sedimentation strategies provide effective but limited mitigation of relative sea-level rise in the Mekong delta’, *Commun Earth Environ*, vol. 3, no. 1, 2022, doi: 10.1038/s43247-021-00331-3.
- [6] C. R. Hackney, G. Vasilopoulos, S. Heng, V. Darbari, S. Walker, and D. R. Parsons, ‘Sand mining far outpaces natural supply in a large alluvial river’, *Earth Surface Dynamics*, vol. 9, no. 5, 2021, doi: 10.5194/esurf-9-1323-2021.
- [7] Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, ‘Báo cáo đề tài: 'Nghiên cứu tác động bất lợi của biến đổi hình thái lòng dẫn và hạ thấp mực nước hệ thống sông Cửu Long và đề xuất giải pháp giảm thiểu''. KC08.12/16-20’, 2020.
- [8] Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, ‘Báo cáo đề tài: Nghiên cứu đề xuất giải pháp chỉnh trị hệ thống sông Tiền, sông Hậu phục vụ phát triển kinh tế xã hội bền vững vùng đồng bằng sông Cửu Long. ĐTĐL.CN-48/18’, 2018.
- [9] Viện Kỹ thuật Biển, ‘Báo cáo dự án: “Đo đạc, quan trắc, đánh giá ổn định bờ sông Tiền và thiết lập hành lang an toàn khu vực đông dân cư và cơ sở hạ tầng tỉnh Đồng Tháp”’, 2020.
- [10] Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, ‘Báo cáo đề tài: “Nghiên cứu ảnh hưởng của hoạt động khai thác cát đến thay đổi lòng dẫn sông Cửu Long (sông Tiền, sông Hậu) và đề xuất giải pháp quản lý, quy hoạch khai thác hợp lý”. ĐTĐL.2010/T9’, 2013.
- [11] T. T. Kim *et al.*, ‘Assessment of the impact of sand mining on bottom morphology in the mekong river in an giang province, vietnam, using a hydro-morphological model with gpu computing’, *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 10, 2020, doi: 10.3390/w12102912.
- [12] I. Overeem, J. P. M. Syvitski, and E. W. H. Hutton, ‘Three-Dimensional Numerical Modeling of Deltas’, in *River Deltas-Concepts, Models, and Examples*, 2011. doi: 10.2110/pec.05.83.0011.
- [13] C. Jordan, J. Visscher, N. V. Dung, H. Apel, and T. Schlurmann, ‘Impacts of human activity and global changes on future morphodynamics within the tien river, vietnamese mekong delta’, *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 8, 2020, doi: 10.3390/w12082204.

- [14] C. R. Gruel *et al.*, ‘New systematically measured sand mining budget for the Mekong Delta reveals rising trends and significant volume underestimations’, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 108, 2022, doi: 10.1016/j.jag.2022.102736.
- [15] C. T. Friedrichs and D. G. Aubrey, ‘Non-linear tidal distortion in shallow well-mixed estuaries: a synthesis’, *Estuar Coast Shelf Sci*, vol. 27, no. 5, 1988, doi: 10.1016/0272-7714(88)90082-0