TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Đánh giá nguy cơ xói lở dưới ảnh hưởng của dòng chảy trước và sau khi có kè mỏ hàn trên sông Tiền đoạn chảy qua thành phố Sa Đéc, Đồng Tháp

Trà Nguyễn Quỳnh Nga[1,2*], Trần Thị Kim[3], Ôn Bảo Hạng[1,2], Nguyễn Thị Bảy[1,2]

[1] Trường Đại học Bách khoa Tp.HCM; tnqnga@hcmut.edu.vn; hangbaoon1609@gmail.com; ntbay@hcmut.edu.vn
[2] Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh; tnqnga@hcmut.edu.vn; hangbaoon1609@gmail.com; ntbay@hcmut.edu.vn
[3] Trường Đại học Tài nguyên và môi trường Tp.HCM; ttkim@hcmunre.edu.vn

*****Tác giả liên hệ: Email: tnqnga@hcmut.edu.vn; Tel.: +84–347292972

Ban Biên tập nhận bài: 5/9/2023; Ngày phản biện xong: 16/10/2023; Ngày đăng bài: 25/12/2023

Tóm tắt: Đồng Tháp ở phía thượng nguồn sông Cửu Long, là nơi thường xuyên xảy ra sạt lở bờ. Bài báo này tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ thủy động lực trước và sau khi có các kè mỏ hàn trên đoạn sông Tiền chảy qua khu vực thành phố Sa Đéc, tỉnh Đồng Tháp. Phương pháp nghiên cứu chính là ứng dụng mô hình thủy lực MIKE21 HD kết hợp với module bùn cát MT, được hiệu chỉnh và kiểm định với số liệu thực đo tại trạm Mỹ Thuận và trạm Cao Lãnh cho kết quả có độ tương thích cao. Mô hình được tính toán theo 2 kịch bản trước và sau khi 7 kè mỏ hàn được xây dựng. Kết quả cho thấy các kè mỏ hàn làm thay đổi luồng dòng chảy. Nhìn chung là mức độ xói giảm ở sát bờ lõm nhưng mức độ xói ở giữa dòng khá đáng kể (0,8 m/6 tháng). Diện tích xói tăng so với khi chưa có kè. Mặc dù các kè mỏ hàn có khả năng giảm xói hiệu quả ở sát bờ lõm (quanh các kè sát bờ lõm có hiện tượng bồi), nhưng ở đầu các kè mỏ hàn cũng bị xói nhiều do dòng chảy mạnh dẫn đến sạt lở kè. Kết quả cũng góp phần giúp các nhà quản lý có thêm góc nhìn về hiệu quả của kè mỏ hàn ở đoạn sông cong này.

Từ khóa: MIKE21; Thủy động lực học dòng chảy; Xói lở; Kè mỏ hàn; Sông Tiền; Sa Đéc.

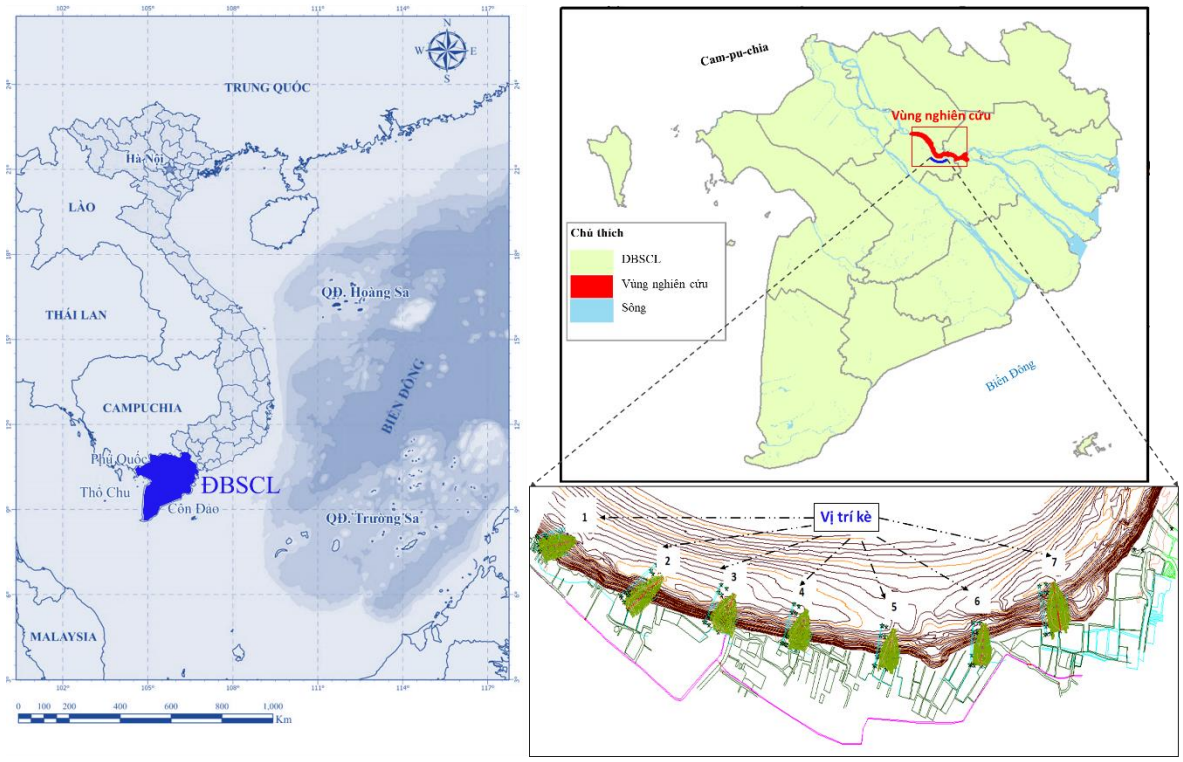
1. Mở đầu

Hiện tượng bồi, xói là kết quả của quá trình tác động qua lại giữa dòng chảy và lòng sông thông qua chuyển động của bùn cát. Diễn biến lòng sông rất phức tạp, chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố như tác dụng xâm thực của dòng chảy; các vận động kiến tạo của địa chất, các điều kiện khí hậu, thời tiết, điều kiện địa hình, địa mạo, lớp phủ thực vật và con người. Xói lòng sông là một trong những nguyên nhân dẫn đến sạt lở bờ. Các nghiên cứu về diễn biến bồi, xói đáy và sạt lở bờ sông đã thu hút được rất nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học trên thế giới. Nghiên cứu ứng dụng mô hình 1D kết hợp điều tra thực địa [1] hoặc kết hợp mô hình 1D-2D [2] để tính toán tác động của lũ lụt đến sự nút vỡ đê hoặc sạt lở kè, từ đó thiết kế được các kè hướng dòng làm giảm tác động của dòng chảy đến sạt lở. Tác giả [3] nghiên cứu phát triển mô hình 2D có sự kết hợp với mô hình vật lý để tính toán và so sánh hiện tượng xói lở bờ sông Old Rhine. Tuy nhiên nghiên cứu này cũng có một số kết quả chưa phù hợp với số liệu đo đạc do có nhiều yếu tố chưa được xem xét trong mô hình 2D. Nghiên cứu [4] kết hợp lý thuyết với thực nghiệm từ mô hình thí nghiệm đã đề xuất chỉnh sửa một vài thông số lý thuyết trong tính toán xói mòn sông để phù hợp với thực nghiệm hơn. Tác giả

[5] nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ trọng bùn đến vận tốc khởi động bùn ven biển bằng các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm với kênh dài 22 m và mẫu bùn từ cửa sông Huangmaohai. Dựa trên kết quả thực nghiệm, một công thức thực nghiệm về vận tốc khởi động của bùn ven biển với tỷ trọng khác nhau được đưa ra. Nghiên cứu [6] kết hợp tính toán CFD và thí nghiệm đo vận tốc hạt (PIV) để đề xuất được phương trình tính toán xói mòn. Nghiên cứu này đã chứng minh được phương trình rất phù hợp để dự báo xói sâu cục bộ. Nhìn chung, với mong muốn hiểu được bản chất và quy luật của quá trình bồi lắng, xói lở, cho đến nay đã có rất nhiều cách tiếp cận và nhiều phương pháp khác nhau như nghiên cứu lý thuyết và công thức thực nghiệm từ thí nghiệm, phân tích tài liệu, đo đạc hiện trường, mô hình vật lý, mô hình toán.

Trong nước cũng đã có nhiều cách tiếp cận để tìm hiểu các quá trình thủy động lực học, vận chuyển bùn cát, xói lở và bồi tụ, đặc biệt là ở đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) như khảo sát thực địa [7–9], mô hình thủy động lực [8, 10–14] và viễn thám [14–17]. Trong số đó, mô hình thủy động lực có khả năng thực hiện được theo nhiều kịch bản, kết hợp được nhiều yếu tố tác động ở quá khứ, hiện tại và tương lai cho kết quả tốt [10, 11, 13]. Có rất nhiều mô hình tính toán được bồi tụ, xói lở được sử dụng rộng rãi hiện nay như: CCHE2D, EFDC ECOMSED, HEC-RAS, TELEMAC, Delft3D, MIKE 21,… trong đó MIKE21 thường được sử dụng rất nhiều vì đã có nhiều tính toán ứng dụng cho các sông ngòi ở nước ta đạt hiệu quả tốt [10, 12, 18–20]. Vì vậy, trong nghiên cứu này, mô hình thủy động lực MIKE 21 được lựa chọn do tính hiệu quả và phổ biến trong nghiên cứu chế độ dòng chảy, vận chuyển trầm tích và diễn biến hình thái ở Việt Nam nói chung và ĐBSCL nói riêng.

Ở ĐBSCL, tình hình sạt lở diễn biến phức tạp trong nhiều năm qua, có trên 665 điểm sạt lở nghiêm trọng [7]. Trong đó, tỉnh Đồng Tháp ở thượng nguồn của ĐBSCL có tỷ lệ xói lở bờ sông cao. Sông Tiền và sông Hậu chảy qua địa phận tỉnh Đồng Tháp với tổng chiều dài khoảng 140 km (110 km sông Tiền và 40 km sông Hậu) mang lại cho tỉnh nhiều lợi ích về kinh tế và xã hội. Tuy nhiên, tình trạng xói lở bờ sông thường xuyên xảy ra làm ảnh hưởng nhiều đến đời sống dân sinh và sự phát triển kinh tế - xã hội của địa phương. Theo thống kê của Chi cục Thủy lợi Đồng Tháp, tổng diện tích đất sạt lở chiếm khoảng 330 ha trên toàn tỉnh, bình quân 22 ha/năm (tính từ năm 2005-2020) [21]. Theo báo cáo thường niên của tỉnh Đồng Tháp, nguyên nhân khiến lòng sông bị thay đổi mạnh và sạt lở bờ sông có thể là do



Hình 1. Vùng nghiên cứu và vị trí kè mỏ hàn.

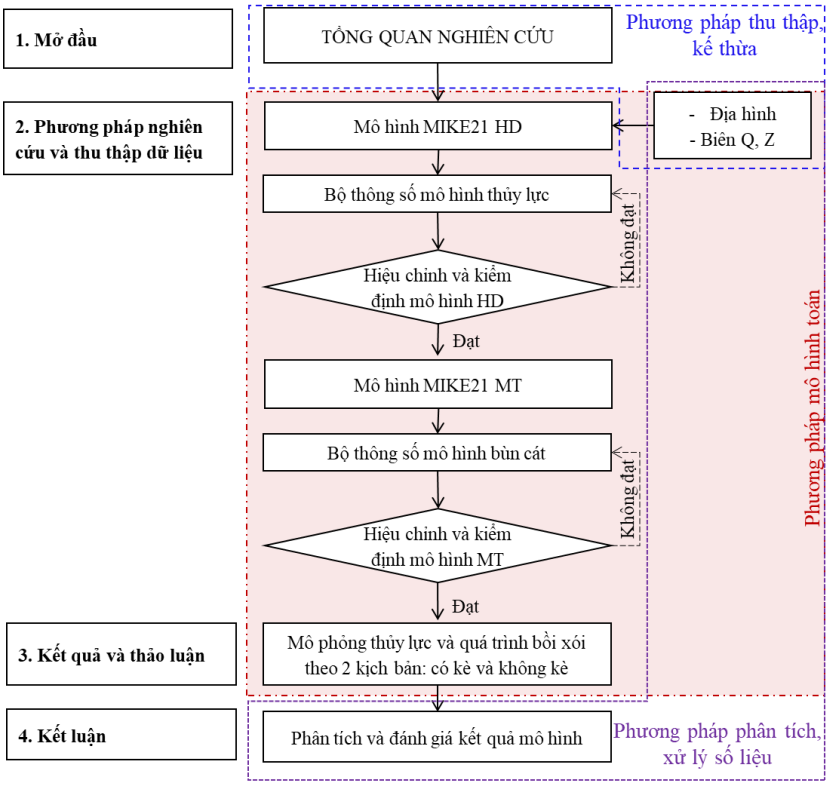
dòng thủy động lực mạnh tương tác với nền đất yếu, hình thái sông cong và có nhiều cồn cát làm phân dòng, ở đây là vùng giáp nước chịu ảnh hưởng của cả dòng chảy lũ ở phía thượng nguồn chảy xuống và dòng triều chảy lên. Với tình hình sạt lở bờ liên tục và nghiêm trọng nơi đây, nhiều giải pháp công trình bảo vệ bờ được xây dựng nhằm giảm thiểu thiệt hại và mất mát [22]. Tuy nhiên, vẫn có nhiều sự cố sạt lở bờ xảy ra ở những đoạn công trình đã được bảo vệ [23–25]. Do đó, mục đích chính của nghiên cứu này là đánh giá tác động của dòng chảy đến xói lở lòng sông trong hai trường hợp trước và sau khi có kè mỏ hàn cho đoạn sông Tiền qua thành phố Sa Đéc. Kết quả thu được từ nghiên cứu này sẽ góp phần giúp các nhà quản lý đánh giá được hiệu quả của kè mỏ hàn, đồng thời lựa chọn được phương án bảo vệ bờ phù hợp với khu vực.

Vì vậy, khu vực nghiên cứu được chọn là đoạn sông Tiền qua công trình kè chống sạt lở ở khu vực xã An Hiệp (TP. Sa Đéc), giới hạn từ cầu Cao Lãnh đến cầu Mỹ Thuận được thể hiện bằng vùng màu đỏ như trong Hình 1.

2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập dữ liệu

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này được tóm tắt bằng sơ đồ cấu trúc nghiên cứu như trong Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

Trong đó, mô hình thủy động lực MIKE 21 (Viện Thủy lực Đan Mạch - DHI) với module thủy lực (*Hydrodynamic - HD*) và bùn cát (*Mud transport - MT*) được sử dụng kết hợp để tính toán sự biến đổi địa hình đáy khu vực nghiên cứu là phương pháp chính. Các module này giải phương trình nước nông 2 chiều, phương trình chuyển tải phù sa và phương trình liên tục bùn cát đáy [26].

2.2. Các chỉ tiêu đánh giá hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Hiệu chỉnh và kiểm tra các thông số của mô hình đối với khu vực sao cho kết quả tính toán phù hợp với số liệu thực đo tại các trạm. Phương pháp biểu đồ, đồ thị và phương pháp số được

sử dụng trong quá trình hiệu chỉnh và kiểm định. Phương pháp số có sử dụng một số hệ số để đánh giá sai số giữa số liệu mô phỏng và thực đo:

Hệ số Nash-Sutcliffe (NSE), được xác định theo công thức:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i-1}^{n}(Y_i^{đo} - Y_i^{MIKE})^2}{\sum_{i-1}^{n}(Y_i^{đo} - Y^{TB})^2} \quad (1)$$

Tỉ số độ lệch quan trắc tiêu chuẩn (RSR), được xác định theo công thức:

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{đo} - Y_i^{MIKE}\right)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{đo} - \overline{Y}^{MIKE}\right)^2}} \quad (2)$$

Phần trăm sai số (PBIAS):

$$PBIAS = \frac{\sum_{i-1}^{n}(Y_i^{đo} - Y_i^{MIKE}) \quad \times 100}{\sum_{i-1}^{n}(Y^{TB})} \quad (3)$$

Trong đó: $Y_i^{đo}$ là giá trị quan trắc thứ i; Y_i^{MIKE} là giá trị mô phỏng thứ i; Y^{TB} là giá trị quan trắc trung bình; $\overline{Y}^{MIKE}$là giá trị trung bình mô phỏng.

Bảng 1 là các tiêu chuẩn dùng để đánh giá hiệu quả của mô hình.

Bảng 1. Các tiêu chuẩn đánh giá cho chỉ số NSE, RSR và PBIAS [27].

Hiệu quả mô phỏng	NSE	RSR	PBIAS	
			Dòng chảy	Chất lượng nước
Rất tốt	0,75 - 1,00	0,00 - 0,50	<± 10%	<± 25%
Tốt	0,65 - 0,75	0,50 - 0,60	± 10% -± 15%	± 25% - ± 40%
Thỏa mãn	0,50 - 0,65	0,60 - 0,70	± 15% -± 25%	± 40% - ± 70%
Không thỏa mãn	< 0,50	> 0,70	> ± 25%	> ± 70%

2.3. Các kịch bản tính toán

Theo thông tin của UBND tỉnh Đồng Tháp, công trình kè chống sạt lở ở khu vực xã An Hiệp đã khởi công thực hiện năm 2012, công trình có tổng chiều dài 4.500 m gồm 7 mỏ hàn với hơn 1.400 m kè bờ (vị trí như mô tả trong Hình 1). Để đánh giá ảnh hưởng của dòng chảy và mức độ xói lở lòng dẫn quanh các kè mỏ hàn này, 2 kịch bản mô phỏng như sau:

- Kịch bản trước khi có kè - KB1: thời gian tính toán từ 07/2008 đến 12/2008;
- Kịch bản sau khi có kè - KB2: thời gian tính toán từ 07/2017 đến 12/2017.

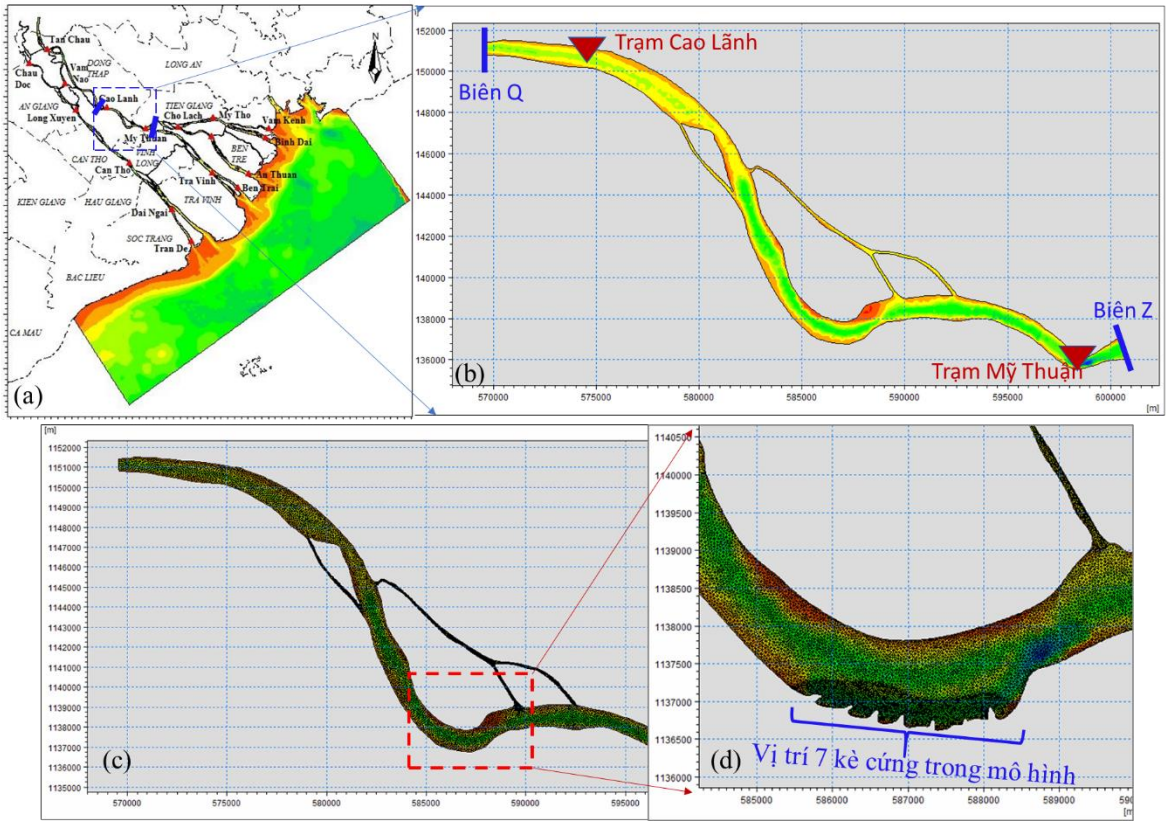
2.4. Dữ liệu đầu vào mô hình

Vùng tính có 2 biên lỏng là biên Q và biên Z. Số liệu từ các biên này được kế thừa từ [10] (mô hình 2D toàn vùng - Hình 3a). Để đảm bảo độ tin cậy thì mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định lại với số liệu thực đo từ trạm thủy văn Cao Lãnh và trạm Mỹ Thuận (vị trí các trạm thủy văn trong Hình 3b). Trong đó:

- Biên cho mô hình thủy lực HD: Dữ liệu biên lưu lượng (tại biên Q) - mực nước (tại biên Z) là dữ liệu theo giờ trong thời gian từ 01/07 đến 31/12/2008 (tính toán cho trường hợp không kè - KB1) và từ 01/07 đến 31/12/2017 (tính toán cho trường hợp có kè - KB2).
- Biên cho mô hình chuyển tải bùn cát MT: Dữ liệu biên phù sa lơ lửng TSS theo giờ tại 2 biên Q, biên Z.

Dữ liệu địa hình năm 2013 (Hình 3b) của khu vực nghiên cứu được kế thừa từ đề tài [20].

Lưới tính được xây dựng là lưới tam giác phi cấu trúc gồm 22.541 nút, 40.375 phần tử, góc nhỏ nhất của các phần tử tam giác là 30^o, khoảng cách giữa các nút trong vùng tính từ 10 m đến 50m. Lưới tính toán cho trường hợp có kè (Hình 3d) được chia mịn hơn lưới không kè (Hình 3c).



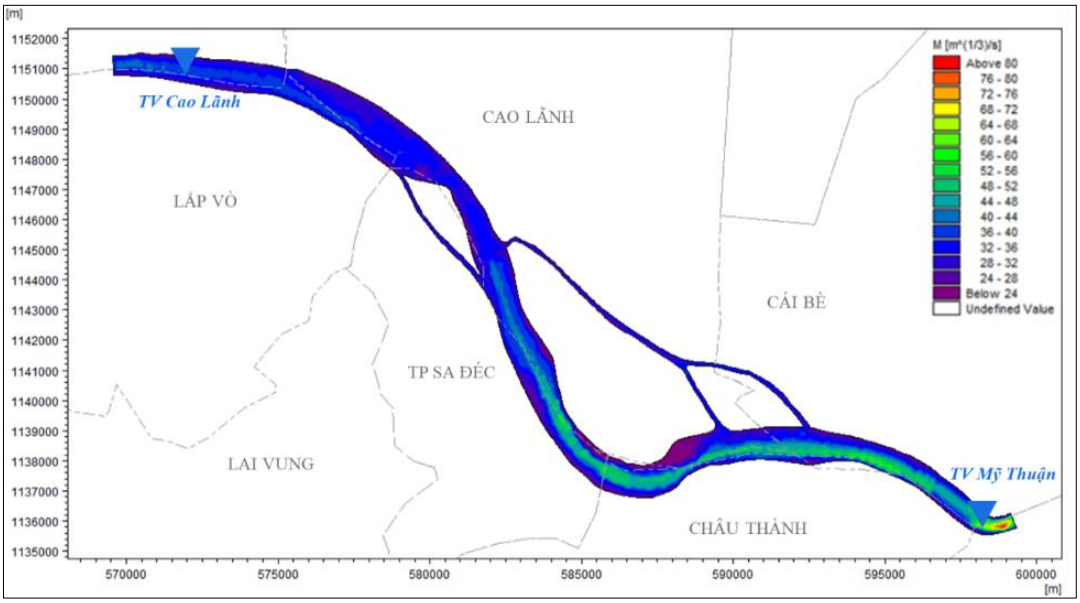
Hình 3. Vùng tính lớn để lấy biên (a) [10]; vị trí biên và địa hình khu vực nghiên cứu (b); lưới tính trường hợp không kè (c) và có kè (d).

2.5. Thông số thiết lập mô hình

Bước thời gian tính toán: 30s.

Điều kiện ban đầu mô hình thủy lực: Mực nước tĩnh, vận tốc bằng 0 m/s.

Hệ số Manning's M dùng để hiệu chỉnh mô hình thủy lực HD. Hệ số M được thay đổi tuyến tính theo độ sâu địa hình đáy sông với M từ 20 đến 85 $m^{1/3}/s$ (Hình 4).



Hình 4. Hệ số Manning M.

Khu vực nghiên cứu có đặc điểm cấu trúc địa chất được mô tả trong Bảng 2.

Bảng 2. Đặc điểm địa chất vùng sông Tiền qua Sa Đéc [20].

	Độ dày lớp (m)	Phân bố các cấp phối hạt trong từng lớp (%)		
		Hạt cát	Hạt bụi	Hạt sét
Lớp 1	2,4	38,5	47	14,5
Lớp 2	13,6	39,3	44,2	16,5
Lớp 3	14,1	88,7	7	4,3
Lớp 4	3,9	30,2	36,6	33,2

Với đặc điểm như trên, bộ thông số mô hình chuyển tải bùn cát MT như sau:

- Vận tốc lắng đọng của các cấp hạt: w_{s1} = 0,003 m/s; w_{s2} = 0,04 m/s; w_{s3} = 0,091 m/s.
- Thông số dùng để hiệu chỉnh mô hình MT là: ứng suất tới hạn bồi τ_{cd} (N/m^2); ứng suất tới hạn xói τ_{ce} (N/m^2); tốc độ xói E (kg/m^2/s); độ nhám đáy k_n (m). Bộ thông số mô hình MT như trong Bảng 3.

Bảng 3. Bộ thông số mô hình MT.

Thông số	Ký hiệu		Đơn vị	Giá trị
Ứng suất tới hạn xói	τ_{ce}	Lớp 1	N/m^2	0,3
		Lớp 2		0,35
		Lớp 3		0,4
		Lớp 4		0,73
Ứng suất tới hạn bồi	τ_{cd}		N/m^2	0,05
Tốc độ xói	E_0	Lớp 1	kg/m^2/s	2×10^{-6}
		Lớp 2		5×10^{-6}
		Lớp 3		5×10^{-5}
		Lớp 4		$2,5\times10^{-5}$
Độ nhám đáy	k_n		m	0,0005

3. Kết quả và thảo luận

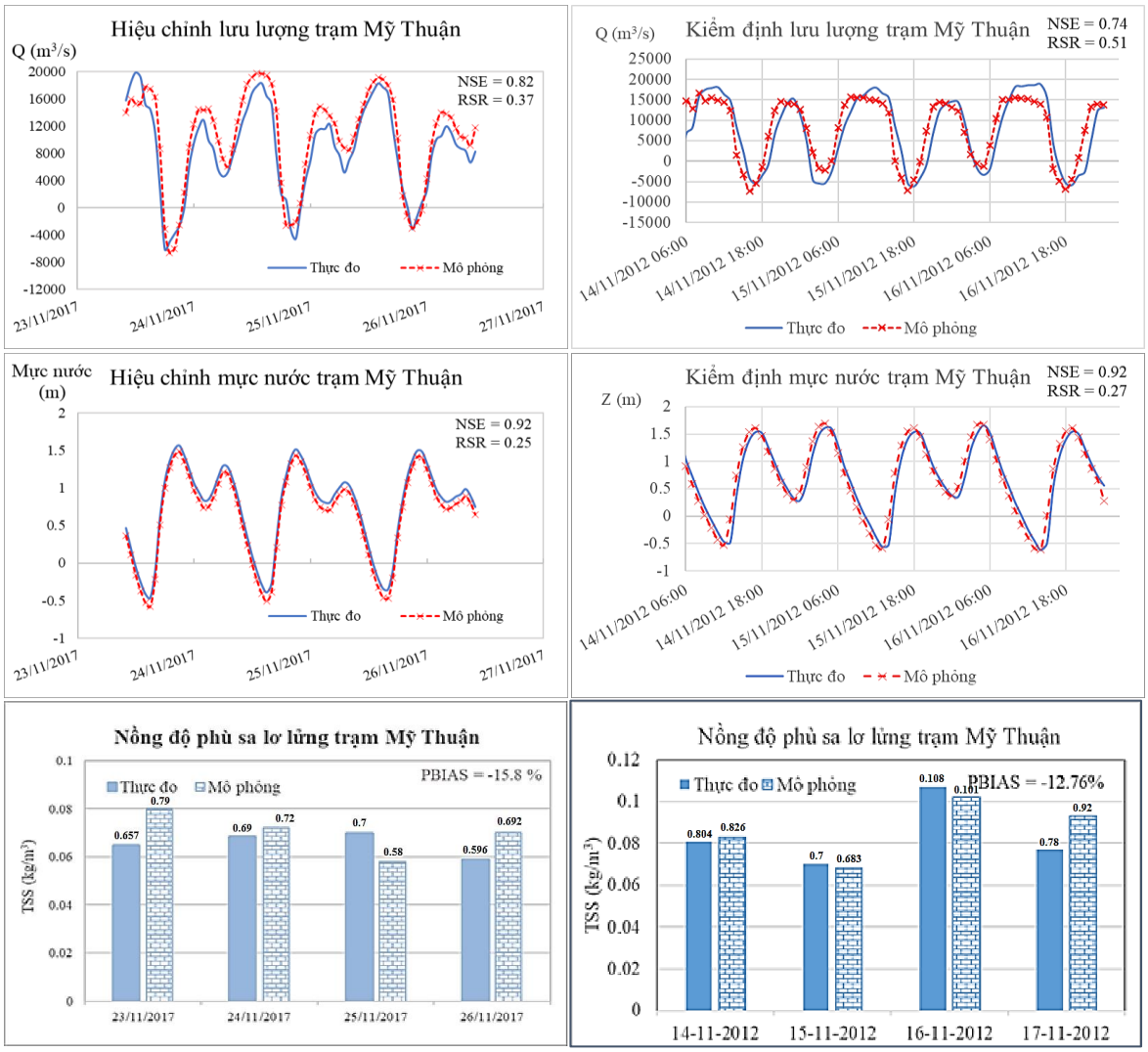
3.1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Mô hình được hiệu chỉnh trong 3 ngày từ 10h 23/11/2017 đến 10h ngày 26/11/2017 và kiểm định trong 3 ngày sử dụng dữ liệu từ 6h ngày 14/11/2012 đến 0h ngày 17/11/2012. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình được thể hiện trong Hình 5, Hình 6 và Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả đánh giá mô hình.

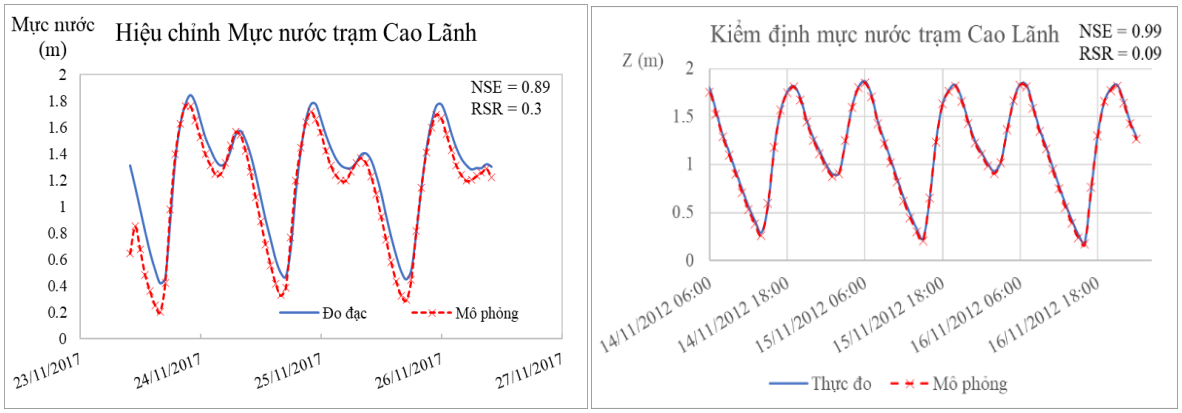
STT	Trạm	Hiệu chỉnh			Kiểm định		
		NSE	RSR	PBIAS	NSE	RSR	PBIAS
Mực nước	Cao Lãnh	0,89	0,3	-	0,99	0,09	-
		0,92	0,25	-	0,92	0,27	-
Lưu lượng	Mỹ Thuận	0,82	0,37	-	0,74	0,51	-
TSS		-	-	-15,8	-	-	-12,76

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực tại 2 trạm Cao Lãnh và Mỹ Thuận tương đối tốt. Số liệu mô phỏng so với số liệu thực đo ở các trạm này có tương quan rất tốt với mực nước (NSE > 0,9; RSR < 0,3) và lưu lượng (NSE > 0,75; RSR < 0,5). Riêng với mô hình chuyển tải bùn cát MT chỉ hiệu chỉnh và kiểm định tại trạm Mỹ Thuận do trong vùng tính chỉ có số liệu TSS tại trạm này. Hệ số PBIAS được áp dụng để đánh giá hiệu quả mô hình vì dữ liệu hàm lượng phù sa thực đo không liên tục (TSS đo 8 lần mỗi ngày). Kết quả tính toán và thực đo phù sa trung bình ngày được so sánh với nhau cho sai số phần trăm ở mức tốt (PBIAS < ±15%). Như vậy, mô hình MIKE21 với những thông số đã thiết lập đảm bảo được độ tin cậy để mô phỏng cho đoạn sông này trong thời gian dài.



Hiệu chỉnh Kiểm định

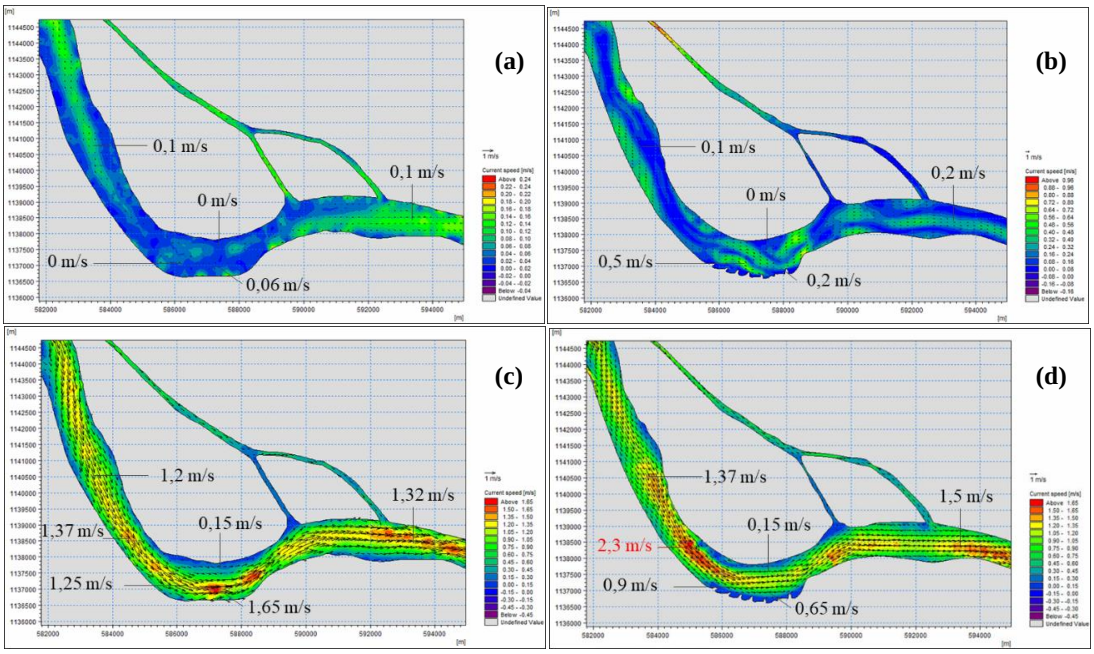
Hình 5. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định tại trạm Mỹ Thuận.



Hình 6. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định tại trạm Cao Lãnh.

3.2. Kết quả mô hình thủy lực

Các kết quả mô phỏng trường vận tốc của 2 kịch bản được biểu diễn tại 2 thời điểm: dòng chảy xuống mạnh nhất và dòng triều lên mạnh nhất (Hình 7). Trong đó, với kết quả dòng chảy xuống mạnh nhất sẽ được biểu diễn cùng 1 thang màu, còn với dòng triều lên ở 2 kịch bản sẽ biểu diễn bằng 2 thang màu khác nhau để thấy rõ kết quả cần phân tích.



Hình 7. Phân bố vận tốc dòng chảy khi không kè và có kè: (a) KB - Triều lên; (b) KB2 - Triều lên; (c) KB1 - Triều xuống; (d) KB2 - Triều xuống.

Ở pha triều lên, khu vực này là vùng giáp nước, với dòng chảy tự nhiên khi chưa có kè (KB1) thì vận tốc dòng chảy gần như bằng không (Hình 7a). Khi có kè (KB2), ngay tại đoạn cong xuất hiện các nhiễu động, vận tốc dòng chảy khoảng 0,2 m/s đến 0,5 m/s (Hình 7b). Tuy nhiên ở pha triều xuống, vận tốc dòng chảy ngay tại đoạn cong tương đối lớn và áp sát vào phía bờ lõm, vận tốc dòng chảy tối đa đạt tới 1,65 m/s và có xu hướng đâm thẳng vào bờ lõm (Hình 7c). Đây có khả năng là một trong những nguyên nhân làm cho xói lở bờ dẫn đến sạt bờ. Ở đoạn sông cong thường xảy ra dòng chảy thứ cấp, là một trong nhưng yếu tố gây xói lở bờ lõm, nhưng trong mô hình 2D không tính được tác động của dòng chảy thứ cấp này. Phía bờ lồi của đoạn cong này, vận tốc dòng chảy thấp (khoảng 0,15 m/s), những khu vực này có khả năng sẽ có gây bồi.

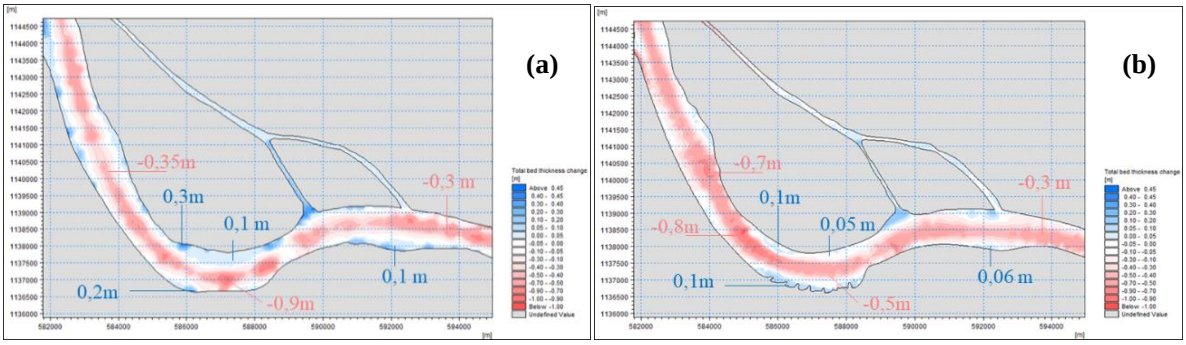
Khi có kè bảo vệ bờ ở đoạn sông cong (Hình 7d), phân bố vận tốc có sự thay đổi so với khi chưa có kè. Cụ thể, ở trước đoạn cong, vận tốc dòng chảy tăng mạnh, vận tốc tối đa đạt tới trên 2,3 m/s. Khu vực có kè làm thay đổi luồng phân bố vận tốc dòng chảy, dòng chảy lúc này không còn áp sát bờ lõm nữa mà đã phân bố ra giữa dòng với tốc độ dòng chảy cũng giảm hơn, đạt khoảng 0,65 m/s. Với vận tốc dòng chảy ở pha triều lên và pha triều xuống thay đổi liên tục và dòng chảy ở pha triều xuống chiếm ưu thế hơn trong mùa lũ, đây có khả năng sẽ tác động vào các kè ngay đoạn cong gây xói dần các chân kè, lâu ngày có thể làm ảnh hưởng đến chất lượng của các kè.

3.3. Mức độ bồi, xói lòng dẫn

Kết quả mô phỏng diễn biến bồi, xói lòng dẫn theo kịch bản sau 6 tháng mùa lũ, với màu xanh đại diện cho vùng bồi, màu đỏ đại diện cho vùng xói (màu đậm thể hiện mức độ bồi/xói nhiều, màu nhạt thể hiện mức độ bồi/xói ít) (Hình 8).

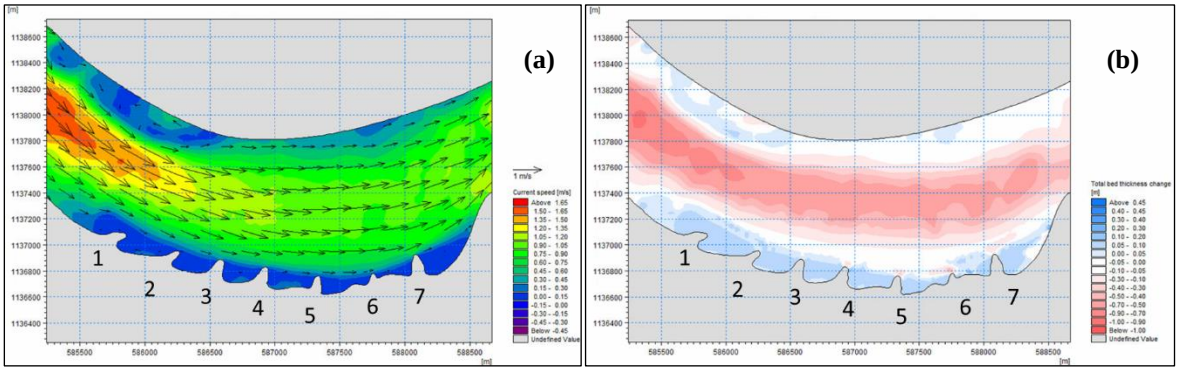
Hình 8a với kịch bản là dòng chảy tự nhiên khi chưa có kè, kết quả chỉ ra rằng, tại các vị trí phía bờ lõm, tốc độ xói cao đạt khoảng 0,9 m, phía bờ lồi, bồi tụ là chủ yếu với tốc độ 0,3 m sau 6 tháng. Đây là đoạn sông cong mạnh (cong 90 độ), địa hình lòng dẫn lệch về phía bờ lõm nên phân bố vận tốc dòng chảy ép sát phía bờ lõm hơn làm cho bờ lõm ngày càng bị đào xói thêm, bên bờ lồi chịu tác động dòng chảy yếu hơn, lắng đọng nhiều hơn nên ngày càng bồi thêm. Hình 8b là kết quả mức độ bồi xói khi có kè bảo vệ bờ. Với tác dụng của kè bờ, luồng dòng chảy không còn ép sát bờ mà bị đẩy ra giữa hơn, xói đáy cũng phân bố ở giữa

dòng với tốc độ 0,5-0,8 m/6 tháng. Quanh các kè mỏ hàn gần như dòng chảy yếu (vận tốc gần bằng không) do đó xảy ra bồi lắng nhẹ với tốc độ khoảng 0,1 m/6 tháng. Sát phía bờ lồi cũng là vùng bồi lắng nhẹ với mức độ khoảng 0,05 đến 0,1 m sau 6 tháng.



Hình 8. Mức độ bồi, xói lòng dẫn trong trường hợp không kè và có kè: (a) KB1; (b) KB2.

Để xem kỹ hơn tác dụng của các kè đến chế độ thủy động lực học dòng chảy và bồi, xói đáy thì kết quả được trích rõ hơn thể hiện trong Hình 9. Dòng chảy giữa các kè gần như bằng 0, do đó, giữa các kè có hiện tượng bồi nhẹ (0,1 m sau 6 tháng màu lũ). Ở vị trí đầu các kè có vận tốc từ 0,4-0,7 m/s, vận tốc này lớn hơn vận tốc khởi động bùn cát của vùng (vận tốc khởi động bùn cát khoảng 0,35 m/s [28]), do đó đây có thể sẽ là nguyên nhân gây ra xói lở ở các vị trí đầu các kè. Cụ thể, vị trí kè số 3 và số 4 đến kè số 7, vận tốc ở đầu các mũi kè tương đối lớn (trên 0,4 m/s), tương ứng với kết quả bồi xói (Hình 9b), tốc độ xói ở đầu các mũi kè từ 0,1 m đến 0,3 m trong 6 tháng mùa lũ. Thực tế cũng cho thấy đỉnh kè 4 và đỉnh kè 7 bị sạt, cụ thể, tính từ cuối năm 2013 đến nay, đã xuất hiện tình trạng sạt lở bờ giữa các kè mỏ hàn số 2, số 3, giữa kè số 4 và 5 và năm 2017 sạt kè số 7 [29]. Các kè bị sự số cũng đã và đang được khắc phục, tuy nhiên với tình hình diễn biến bồi, xói phức tạp ngay đoạn sông cong, trong tương lai sẽ rất dễ tiếp tục bị hư hại nếu không có những giải pháp phù hợp.



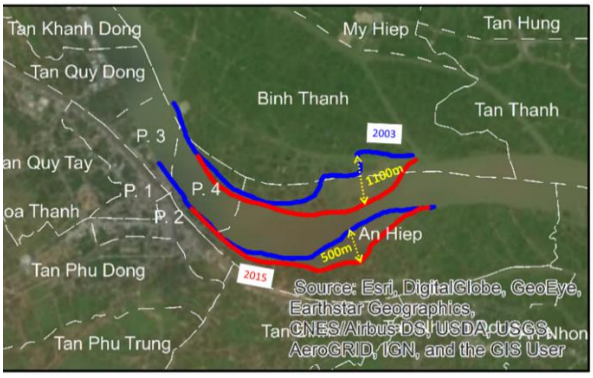
Hình 9. Vận tốc dòng chảy (a) và mức độ bồi, xói (b) tại vị trí kè: (a) Dòng chảy; (b) Bồi, xói lòng dẫn.

3.4. Thảo luận

Đoạn Sa Đéc được biết đến với tình hình sạt lở bờ nghiêm trọng [20]. Theo thống kê từ Viện kỹ thuật biển, từ những số liệu khảo sát và thu thập trong giai đoạn từ 2003 đến 2015, có thể thấy quá trình xói bồi sông Tiền khu vực An Hiệp - cồn Linh trong giai đoạn này như Hình 10. Ngay đoạn cong xã An Hiệp, phía bờ trái (cồn Linh) bồi tụ nhiều với chiều rộng bồi khoảng 1100 m sau 10 năm, tuy nhiên ở bờ phải khu vực An Hiệp bị sạt lở nghiêm trọng với bề rộng sạt lở ăn sâu 500 m.

Trên đoạn sông cong đi qua xã An Hiệp, từ sau năm 2012 đã được nhà nước đầu tư xây dựng 7 kè mỏ hàn để chống sạt lở (Hình 11), tuy nhiên, do vận tốc dòng chảy ở đây rất lớn áp sát vào bờ lõm, địa hình đáy đoạn này có các hố xói sâu trên 40 m, do đó tình hình sạt lở vẫn diễn biến phức tạp. Cụ thể, tính từ cuối năm 2013 đến nay, đã xuất hiện tình trạng sạt lở bờ giữa các kè mỏ

hàn số 2, số 3, giữa kè số 4 và 5 và năm 2017 sạt kè số 7 [20]. Mặc dù đã có kè nhưng do dòng chảy tự nhiên ở đây khá mạnh, lại chảy qua đoạn sông cong và co hẹp nên tình hình sạt lở vẫn xảy ra mạnh.



Hình 10. Diễn biến đường bờ sông Tiền khu vực An Hiệp - cồn Linh (2003-2015) [30].

Hình 11. Một kè mỏ hàn khu vực xã An Hiệp, huyện Châu Thành [20].

Nguyên nhân gây bồi bên phía bờ lồi và xói bờ lõm: khu vực này là đoạn sông cong tự nhiên, địa hình có lạch sâu ép sát bờ lõm, hố xói sâu trên 40 m, chế độ dòng chảy phức tạp do chịu ảnh hưởng của chế độ dòng chảy lũ ở thượng lưu và và chịu ảnh hưởng của triều ở hạ lưu, do đó, có thể gây ra dòng xoáy và dòng nhiễu động trong nội bộ dòng chảy.

4. Kết luận

Nghiên cứu ứng dụng mô hình MIKE21 đã tính toán được chế độ thủy lực và chuyển tải bùn cát, biến đổi đáy tại khu vực sông Tiền đoạn qua thành phố Sa Đéc. Với mục đích của nghiên cứu là đánh giá nguy cơ xói lở dưới tác động của dòng chảy trước và sau khi xây dựng kè bờ, kết quả đạt được như sau:

- Dòng chảy trước khi có kè có vận tốc dòng chảy tối đa đạt 1,65m/s áp sát bờ lõm ở đoạn sông cong, dẫn đến xói sâu lòng dẫn (0,9 m/6 tháng) và bồi nhẹ ở bờ lồi (0,1-0,3 m/6 tháng).

- Sau khi xây dựng kè, vận tốc dòng chảy tăng ở phía trước đoạn có kè (vận tốc đạt tối đa 2,3 m/s) và giảm dần vận tốc trong khu vực có kè, đồng thời các kè này làm thay đổi luồng dòng chảy. Nhìn chung là mức độ xói giảm ở sát bờ lõm nhưng mức độ xói ở giữa dòng cũng khá đáng kể (0,8 m/6 tháng). Diện tích xói tăng so với khi chưa có kè. Bồi lắng phân bố ở phía bờ lồi, diện tích bồi giảm hơn so với khi không có kè.

- Mặc dù các kè mỏ hàn có khả năng giảm xói hiệu quả ở sát bờ lõm (quanh các kè sát bờ lõm có hiện tượng bồi), nhưng ở đầu các kè mỏ hàn cũng bị xói dẫn đến sạt lở kè.

Bên cạnh những kết quả đạt được như trên, trong bài báo này còn hạn chế là chưa tính toán được quá trình bồi xói trong thời gian dài hơn (trên 1 năm), do đó chưa thấy được tác động của dòng chảy mùa lũ và dòng chảy mùa kiệt.

Khu vực này là đoạn sông cong tự nhiên có chế động dòng chảy mạnh và phức tạp. Địa hình lòng sông có lạch sâu ép sát bờ lõm, có hố xói sâu. Dòng chảy chịu ảnh hưởng của cả dòng chảy lũ ở thượng lưu và triều ở hạ lưu, do đó, dòng chảy phức tạp với dòng xoáy và dòng nhiễu động, dễ dẫn đến xói lở khó khắc phục. Nghiên cứu góp phần giúp các nhà quản lý có thêm góc nhìn về hiệu quả của kè mỏ hàn ở đoạn sông cong này.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.N.Q.N.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.T.B., T.T.K., T.N.Q.N.; Xử lý số liệu: O.B.H.; Tính toán mô hình: O.B.H., T.N.Q.N.; Phân tích kết quả: T.T.K., T.N.Q.N.; Viết bản thảo bài báo: T.N.Q.N.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.B., T.T.K., T.N.Q.N.

Lời cảm ơn: Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

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 sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Abdella, K.; Mekuanent, F. Application of hydrodynamic models for designing structural measures for river flood mitigation: the case of Kulfo River in southern Ethiopia. *Model. Earth Syst. Environ.* **2021**, *7*, 2779–2791.
2. Viero, D.P.; D'Alpaos, A.; Carniello, L.; Defina, A. Mathematical modeling of flooding due to river bank failure. *Adv. Water Resour.* **2013**, *59*, 82–94.
3. Abderrezzak, K.E.K.; Moran, A.D.; Tassi, P.; Ata, R.; Hervouet, J.M. Modelling river bank erosion using a 2D depth-averaged numerical model of flow and non-cohesive, non-uniform sediment transport. *Adv. Water Resour.* **2016**, *93*, 75–88.
4. Govers, G.; Giménez, R.; Van, O.K. Rill erosion: exploring the relationship between experiments, modelling and field observations. *Earth Sci. Rev.* **2007**, *84(3-4)*, 87–102.
5. Xu, D.; Bai, Y.; Ji, C.; Williams, J. Experimental study of the density influence on the incipient motion and erosion modes of muds in unidirectional flows: the case of Huangmaohai Estuary. *Ocean Dyn.* **2015**, *65*, 187–201.
6. Mansouri, A.; Arabnejad, H.; Shirazi, S.A.; McLaury, B.S. A combined CFD/experimental methodology for erosion prediction. *J. Fricț. Wear.* **2015**, *332*, 1090–1097.
7. Hoài, H.C.; Bảy, N.T.; Khôi, Đ.N.; Nga, T.N.Q. Phân tích nguyên nhân gây gia tăng xói lở bờ sông ở đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *703*, 42–50.
8. Tân, N.P.; Trí, V.P.Đ.; Thành, V.Q. Ứng dụng mô hình thủy lực hai chiều mô phỏng đặc tính thủy lực và tính toán bồi xói ở vùng cửa sông Định An. *Tạp chí Khoa học Đại học cần Thơ* **2014**, *31*, 8–17.
9. Hùng, N.N.; Hưng, D.Q. Đánh giá hiện trạng hình thái lòng 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* **202**0, *62(1)*, 17–23.
10. Thuy, N.T.D.; Khoi, D.N.; Nhan, D.N.; Nga, T.N.Q.; Bay, N.T.; Phung, N.K. Modelling accresion and erosion processes in the bassac and mekong rivers of the vietnamese mekong delta. in APAC 2019: Proceedings of the 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts, 2019, Hanoi, Vietnam. 2020.
11. Binh, D.; Kantoush, S.A; Saber, M.; Mai, N.P.; Maskey, S.; Phong, D.T.; Sumi, T. Long-term alterations of flow regimes of the Mekong River and adaptation strategies for the Vietnamese Mekong Delta. *J. Hydrol.: Reg. Stud.* **2020**, *32*, 100742.
12. Van, C.T.; Tuan, L.A.; Tuan, N.C. Application of two-dimensional hydrodynamic model (MIKE 21FM) to simulate the sediment regime on Hau river, piloted in Long Xuyen city-An Giang province. *VNU HCM J. Earth Sci. Environ.* **2021**, *5(SI2)*, SI20–SI33.
13. Hoằng, T.B.; Dương, N.B.; Phong, N.C. Chế độ vận chuyển bùn cát vùng đồng bằng sông Cửu Long trong kịch bản phát triển thượng nguồn. *Tạp chí Khoa học và công nghệ thủy lợi* **2019**, *57*, 47–57.
14. Tien, N.N.; Thuc, D.N.; Luan, N.T.; Vinh, V.D. Study and assessment of the situations and causes of erosion along the Hau riverbank in An Giang province during the period 2009–2019. *VN J. Marine Sci. Technol.* **2021**, *21(4)*, 493–506.
15. Khoi, D.N; Duc, D.T.; Lien, P.T.H.; Loi, P.T.; Thuy, N.T.D.; Phung, N.K; Bay, N.T. Morphological change assessment from intertidal to river-dominated zones using multiple-satellite imagery: A case study of the Vietnamese Mekong Delta. *J. Reg. Stud. Mar. Sci.* **2020**, *34*, 101087.

16. Anthony, E.J.; Brunier, G.; Besset, M.; Goichot, M.; Dussouillez, P.; Lap; N.V. Liên hệ giữa xói lở nhanh ở đồng bằng sông Cửu Long và các hoạt động của con người. *Sci. Rep.* **2015**, *5*, 14745.
17. Điệp, N.T.H.; Minh, V.Q.; Trường, P.N.; Thành, L.K.; Vinh, T.L.Q. Diễn tiến tình hình sạt lở ven bờ sông Tiền và sông Hậu, vùng Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2019**, *55*, 125–133.
18. Đoàn, V.P. Ứng dụng mô hình Mike 21 đánh giá tác động của công trình kè cửa sông đến trường thủy động lực khu vực Cửa Tùng, tỉnh Quảng Trị. Đại học Quốc gia Hà Nội, 2020.
19. Bình, H.T.; Châm, Đ.Đ.; Thảo, Đ.T.; Hạnh, L.Đ.; Sơn, N.T.; Huấn, N.M.; Trinh, N.Q. Nghiên cứu các quá trình thủy động lực tích hợp (sóng, dòng chảy và mực nước) bằng MIKE 21/3 coupled model FM vùng biển Đà Nẵng. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *735*, 1–11.
20. Bảy, N.T. 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 kết đề tài thuộc Chương trình Tây Nam Bộ, 2021.
21. Chi cục Thủy lợi. Sở Nông nghiệp & phát triển nông thôn Đồng Tháp. Đồng Tháp thiệt hại hơn 8,2 tỉ đồng do sạt lở 2020. Trực tuyến: http://vmha.gov.vn/public/kttv-voi-san-xuat-va-doi-song-106/dong-thap-thiet-hai-hon-8-2-ti-dong-do-sat-lo-7052.html.
22. Dương, H. Cần 400 tỉ để xây kè chống sạt lở ở Đồng Tháp. Báo điện tử Pháp Luật thành phố Hồ Chí Minh 2023. Trực tuyến: https://plo.vn/can-400-ti-de-xay-ke-chong-sat-lo-o-dong-thap-post720943.html
23. Tài, N. Kè bảo vệ bờ sông hơn trăm tỷ đồng liên tục sạt lở. VnExpress 2023. Trực tuyến: https://vnexpress.net/ke-105-ty-o-dong-thap-sat-lo-lan-thu-4-4607070.html.
24. Ánh, N. Đồng Tháp đề nghị hỗ trợ vốn để xử lý cấp bách sạt lở. Cơ quan phát ngôn chính thống của UBND tỉnh Đồng Tháp 2021. Trực tuyến: https://dongthap.gov.vn/chi-tiet-bai-viet/-/asset_publisher/1mOzUrGkrdAE/content/id/8694611
25. Có, L. Đồng Tháp: Kè chống sạt lở chưa xong đã sạt lở, sụt lún. Trang Tin Điện Tử Truyền Hình Quốc Hội Việt Nam 2023. Trực tuyến: https://www.quochoitv.vn/dong-thap-ke-chong-sat-lo-chua-xong-da-sat-lo-sut-lun
26. DHI. MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Hydrodynamic and Transport Module, in Scientific documentation. 2012.
27. Moriasi, D.N.; Gitau, M.W.; Pai, N.; Daggupati, P. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *J. Trans. ASABE* **2015**, *58(6)*,1763–1785.
28. Huệ, V.H. Giải pháp công trình khắc phục sạt lở cồn Thanh Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, **2023**, *754*, 26–43.
29. Thuận, P. Dân ở xã An Hiệp bao giờ mới hết lo sạt lở. Báo Đồng Tháp, 2015. 04.2015. Trực tuyến: https://www.baodongthap.vn/xa-hoi/dan-o-xa-an-hiep-bao-gio-moi-het-lo-sat-lo-48274.aspx.
30. Hùng, L.M. Nghiên cứu dự báo xói bồi lòng dẫn và đề xuất giải pháp phòng chống cho hệ thống sông ở ĐBSCL. Báo cáo kết quả nghiên cứu đề tài nhà nước KC08-15 Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2004.

The assessment of bank erosion susceptibility under the influence of flow before and after the construction of groyne embankments on the Tien River section flowing through Sa Dec City, Dong Thap province

Tra Nguyen Quynh Nga[1,2*], Tran Thi Kim[3], On Bao Hang[1,2], Nguyen Thi Bay[1,2]

[1] Ho Chi Minh City University of Technology; tnqnga@hcmut.edu.vn; hangbaoon1609@gmail.com; ntbay@hcmut.edu.vn
[2] Vietnam National University Ho Chi Minh City; tnqnga@hcmut.edu.vn; hangbaoon1609@gmail.com; ntbay@hcmut.edu.vn
[3] Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment; ttkim@hcmunre.edu.vn

Abstract: Dong Thap province is located upstream of the Mekong River, where there is a dense river network and frequent bank erosion. This paper focuses on studying the influence of the hydrodynamic regime before and after groyne embankments on the section of the Tien River that flows through Sa Dec city, Dong Thap province. The main research method is to utilize the MIKE21 model with a hydrodynamic module (HD) combined with a mud transport module (MT). The model has been calibrated and validated to ensure high compatibility. The model is calculated based on two scenarios: one before the construction of the seven groyne embankments, and one after. The results indicate that the groyne embankments alter the distribution of flow. As a result, the level of erosion decreases near the concave bank, but there is a significant level of erosion in the middle of the stream (0,8 m/6 months). The erosion area has increased compared to when there are no embankments. While groyne embankments can effectively reduce erosion near concave banks (resulting in a lightly accreted area), it is important to note that the tops of groyne embankments are still susceptible to significant erosion caused by strong currents. This erosion can ultimately lead to embankment failure. The study also contributes to assisting managers in gaining a broader perspective on the effectiveness of groyne embankments in this meandering river section.

Keywords: MIKE21; Hydrodynamics; Erosion; Groyne embankments; Tien River; Sa Dec City.