

Bài báo khoa học

Đánh giá ảnh hưởng của khai thác cát đến diễn biến đáy đoạn sông Tiền chảy qua tỉnh Vĩnh Long

Nguyễn Thị Bầy^{1,2*}, Trần Thị Kim³, Trần Thị Thúy An³, Trà Nguyễn Quỳnh Nga^{1,2}

¹ Trường Đại học Bách Khoa; ntbay@hcmut.edu.vn; tnqnga@hcmut.edu.vn

² Đại học Quốc gia Tp.HCM; ntbay@hcmut.edu.vn; tnqnga@hcmut.edu.vn

³ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Tp.HCM; ttkim@hcmunre.edu.vn; antran.nrec@gmail.com

*Tác giả liên hệ: ntbay@hcmut.edu.vn; Tel.: +84-902698585

Ban Biên tập nhận bài: 5/9/2022; Ngày phản biện xong: 17/10/2023; Ngày đăng bài: 25/12/2023

Tóm tắt: Khai thác cát sông quá mức làm thay đổi kết cấu địa chất, gây ra sạt lở nghiêm trọng là một trong những vấn đề được xã hội quan tâm hiện nay. Nghiên cứu này tập trung đánh giá diễn biến lòng dẫn dưới ảnh hưởng của suy giảm phù sa và hoạt động khai thác cát tại khu vực sông Tiền đoạn chảy qua tỉnh Vĩnh Long. Kết quả mô phỏng bồi, xói đáy cho thấy ở đoạn sông này có diện tích bồi lắng phân bố tương đối nhiều ở các đoạn sông thẳng, tốc độ bồi lắng năm 2017 thấp hơn so với năm 2008. Trong khi đó, xói đáy xảy ra ở các đoạn sông co hẹp đột ngột, có vận tốc dòng chảy lớn, địa hình đáy sâu. Kết quả mô phỏng cho thấy hoạt động khai thác cát có những tác động tích cực và tiêu cực khác nhau. Nếu khai thác không đúng quy mô, vị trí có thể gây ra những vấn đề biến đổi thủy động lực khó lường dẫn đến nguy cơ sạt lở bờ. Tuy nhiên, khai thác cát đúng quy định lại đem đến kết quả tốt, giúp làm khơi thông dòng chảy và làm cho địa hình đáy trở về hình dạng ban đầu. Các kết quả đạt được là cơ sở trong việc đề xuất các biện pháp giảm thiểu xói lở phục vụ công tác quản lý rủi ro thiên tai do sạt lở.

Từ khóa: Sông Tiền; Khai thác cát; Chuyển tải phù sa; Vận chuyển bùn cát; Suy giảm phù sa.

1. Mở đầu

Sự biến đổi của lòng dẫn trong các dòng sông diễn ra liên tục theo không gian và thời gian, dưới tác động của cả yếu tố tự nhiên và nhân tạo. Những sự thay đổi của một dòng sông/kênh có thể là về: kích thước, hình dạng hay hình thái trên mặt bằng... Mặc dù vậy, sự quan tâm hàng đầu vẫn là: cơ chế sạt lở và phát triển các phương pháp để dự đoán tương tác của dòng sông. Trong đó, việc ứng dụng mô hình toán số để mô phỏng bồi xói lòng dẫn, từ đó phân tích nguyên nhân và cơ chế đang được thực hiện rộng rãi và có độ tin cậy cao [1–7].

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) được hình thành vài ngàn năm với sự bồi lắng phù sa từ sông Mê Kông [8]. Hiện nay, lượng trầm tích ở ĐBSCL đã giảm đáng kể bị ảnh hưởng từ các quá trình tự nhiên và các hoạt động của nhân tạo như khai thác cát, xây đập, thay đổi sử dụng đất [9]. Trong giai đoạn 2012-2013, Kondolf đã cho thấy tải lượng trầm tích đổ ra biển của sông Mekong đã giảm 75% từ 160 triệu tấn/năm trước khi có đập [10] xuống còn 40 triệu tấn/năm [11]. Nghiên cứu [12] cũng cho thấy nếu tất cả các đập dự kiến được xây dựng, dòng trầm tích lơ lửng sẽ suy giảm 50% so với mức hiện tại (đo đạc tại Tân Châu) và gây ra hậu quả cho sinh kế và hệ sinh thái địa phương. Theo số liệu đo đạc từ Đài khí tượng thủy văn khu vực Nam bộ, trong các năm 2008 và 2017 lượng nước về trạm Tân Châu và

Tạp chí Khí tượng Thủy văn **2023**, 756, 14-28; doi:10.36335/VNJHM.2023(756), 14-28 <http://tapchikttv.vn>

Châu Đốc không thay đổi nhưng lượng bùn cát giảm đi 1/3. Nếu thống kê số điểm sạt lở theo thời gian và thể tích nước cùng lượng bùn cát từ dòng chính Mekong đổ vào ĐBSCL, nhận thấy có một sự trùng hợp về thời điểm mà các điểm sạt lở gia tăng (sau 2010). Điều này chứng tỏ sự thiếu hụt bùn cát, gây xói lở nghiêm trọng cho hệ thống sông ĐBSCL.

Ngoài tác động xây dựng đập ở thượng nguồn, hoạt động khai thác cát cũng là một nguyên nhân làm giảm lượng bùn cát, gia tăng xói lở ở khu vực ĐBSCL [13–16]. Lượng cát hàng năm bị khai thác khoảng 57 triệu tấn, trong đó 86% là cát chủ yếu diễn ra mạnh trong giai đoạn từ 2008 đến 2012 [17]. Khai thác cát có cả hậu quả ngắn hạn và dài hạn [18]. Tác động ngắn hạn của khai thác cát bao gồm sạt bờ, xói đáy và biến đổi mực nước ngầm [19]. Trong khi đó, về lâu dài sẽ gây nên xâm nhập mặn và tạo nên các vùng ngập lũ do hạ thấp mực nước ngầm hay nên hạ thấp cốt nền [20]. Các tác động của việc khai thác cát đã được nghiên cứu bởi nhiều chuyên gia trên thế giới, điển hình như nhóm nghiên cứu [21] đã nghiên cứu ảnh hưởng của việc đào cát trong kênh đến chế độ thủy văn của đồng bằng sông Châu Giang, Trung Quốc. Nghiên cứu cho thấy, bên cạnh các tác động tích cực như giảm nguy cơ thiệt hại do lũ lụt, cải thiện điều kiện giao thông đường thủy và cung cấp nước nhiều hơn cho các khu vực đang phát triển kinh tế thì vấn đề khai thác cát cũng đem lại những tiêu cực nhất định bao gồm làm tăng độ dốc và sự mất ổn định của bờ sông, gây gián đoạn giao thông thủy ở các hồ nạo vét thượng nguồn trong mùa khô và xâm nhập nước lợ [21]. Bên cạnh đó, nghiên cứu [22] cũng đã cho thấy tác động từ việc khai thác cát đối với khu vực Bestari Jaya, Selangor là lượng khai thác quá lớn so với khả năng tái tạo của tự nhiên, việc giảm tải trọng như vậy có thể gây ra xói lở tại hạ lưu và bờ sông, thay đổi hướng dòng chảy; ngoài ra việc khai thác cát cũng có thể tạo ra các vực sâu, làm mất đi các rãnh, tăng độ đục [22]. [23] đã nghiên cứu tác động của việc khai thác cát ở bốn khía cạnh môi trường là vật lý, sinh học, hóa học và môi trường nhân tạo. Các tác động của việc khai thác cát sông lên môi trường vật lý là mở rộng và hạ thấp lòng sông; trong môi trường sinh học tác động bao trùm là làm giảm đa dạng sinh học và trải dài từ hệ động thực vật thủy sinh và ven bờ đến toàn bộ khu vực đồng bằng ngập lũ; môi trường hóa học là làm giảm chất lượng nước, không khí và đất do ô nhiễm và môi trường nhân tạo là cơ sở hạ tầng bị hư hỏng, điều kiện làm việc tồi tệ cho người lao động, khả năng tiếp cận nguồn nước hạn chế và thiệt hại về nông nghiệp [23].

Hiện nay, khai thác cát trên dòng chính Mekong ngoài lãnh thổ Việt Nam gây thiếu hụt bùn cát nghiêm trọng trên dòng chảy về ĐBSCL. Trong lãnh thổ Việt Nam, khai thác cát quá mức đã tạo ra những hố cục bộ làm thay đổi dòng chảy vốn đã ổn định [24–27]. Lượng bùn cát đổ về từ thượng lưu không đủ bùn cát để bù đắp vào các hố, làm các hố cát thay đổi không kiểm soát được [28–30]. Bên cạnh đó, việc khai thác cát gần bờ, sau quá trình khai thác để lại hố sâu sát bờ gây mất ổn định bờ [16].

Hiện tượng xói lở, biến hình lòng dẫn tại Vĩnh Long hiện nay đang diễn biến rất phức tạp, rộng khắp trên phạm vi toàn tỉnh [31]. Vấn đề sạt lở tại tỉnh Vĩnh Long cũng đã thu hút được sự quan tâm của rất nhiều chuyên gia, cụ thể như nghiên cứu [32] đã thể hiện xã Đồng Phú thuộc thành phố Vĩnh Long tỉnh Vĩnh Long là một trong những khu vực điểm nóng rất thường xuyên xảy ra sạt lở. Các đặc điểm như đoạn cong ven sông, cồn giữa sông là nơi thường xảy ra sạt lở do ảnh hưởng của dòng chảy. Cũng tại khu vực tỉnh Vĩnh Long, nghiên cứu của tác giả [33] cho thấy, dòng chảy hướng vào đầu cồn là một trong những nguyên nhân chính gây sạt lở, để khắc phục tình trạng sạt lở nêu trên nghiên cứu đã đề xuất giải pháp mỏ hàn và kè. Cũng với hướng nghiên cứu trên, và áp dụng cho khu vực bờ sông Cổ Chiên tác giả này đã xác định được những nguyên nhân gây mất ổn định bờ như bùn cát từ thượng nguồn suy giảm, lòng dẫn bị hạ thấp, tỷ lệ phân lưu dòng chảy và dòng chủ lưu áp sát bờ [34].

Trên địa bàn tỉnh đã xảy ra khoảng 200 tuyến/điểm sạt lở, làm mất 5-6 km bờ sông, kênh, rạch. Năm 2022, đoạn từ vàm Mương Lộ đến rạch Bà Bống, bờ sông Cổ Chiên đã xảy ra vụ sạt lở nghiêm trọng với tổng diện tích sạt lở lên đến 41.516 m² [35]. Theo [18], dựa trên bản

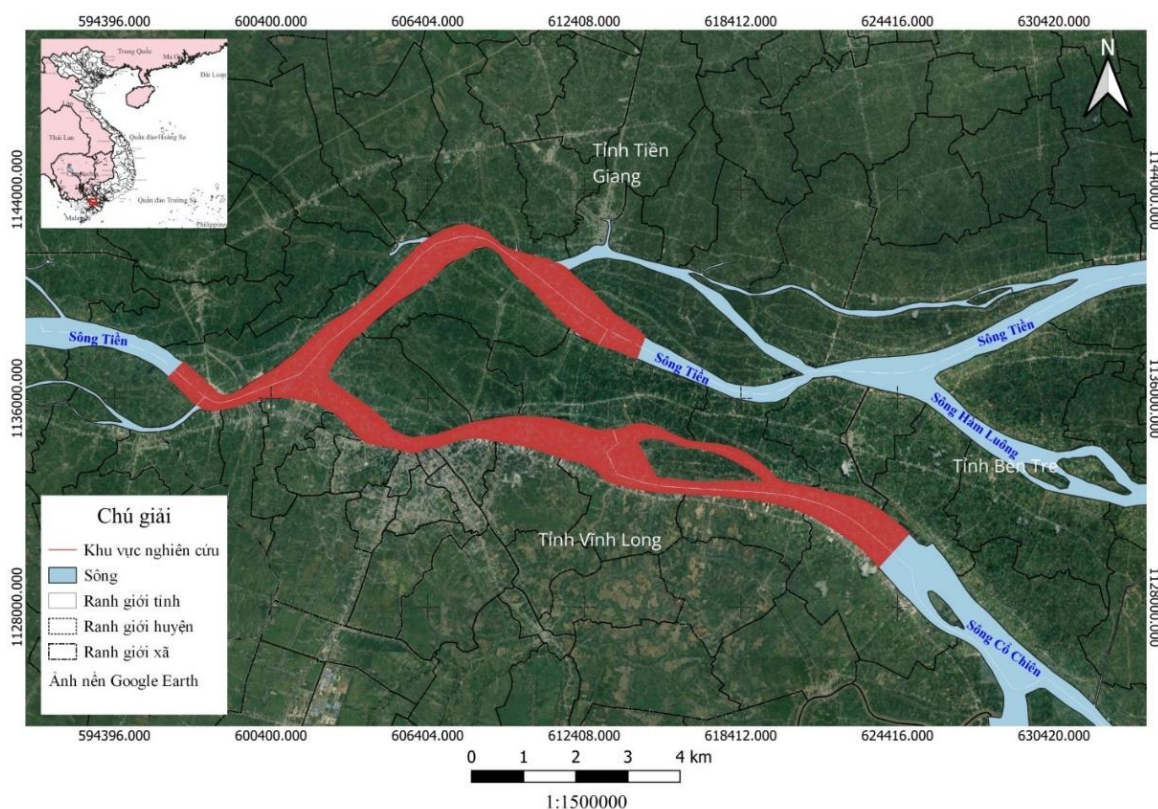
đồ mật độ thuyền khai thác cát, nghiên cứu này đã xác định được một số điểm nóng khai thác cát lớn dọc biên giới Campuchia trên sông Tiền. Các vị trí khai thác cũng ở trên sông Tiền là cù lao Long Khánh, luồng hướng ra Vàm Nao, cù lao Thuận Đông và đoạn Sa Đéc. Ở hạ lưu Mỹ Thuận, điểm nóng lớn được phát hiện quanh ngã ba Mỹ Tho, sông Cổ Chiên, gần thành phố Vĩnh Long và xung quanh An Phước. Điểm nóng nhất ở hạ lưu là hạ lưu cầu Cổ Chiên [18]. Do đó, nghiên cứu này tập trung vào mô phỏng diễn biến đáy cho đoạn sông Tiền chảy qua Tp. Vĩnh Long với hai nhánh chính là nhánh sông Tiền và nhánh sông Cổ Chiên khi có ảnh hưởng của khai thác cát và thiếu hụt phù sa.

Từ các nhận định trên, nghiên cứu này tập trung đánh giá diễn biến lòng dẫn khi suy giảm phù sa và ảnh hưởng từ hoạt động khai thác cát tại khu vực sông Tiền đoạn chảy qua tỉnh Vĩnh Long. Mục tiêu chính của nghiên cứu là tập trung đánh giá diễn biến đáy với 03 kịch bản tương ứng với trường hợp: năm 2017, khi có suy giảm phù sa (giảm 1/3 so với năm 2008), năm 2008, khi chưa có suy giảm phù sa và năm 2017, khi có thêm yếu tố khai thác cát. Kết quả của nghiên cứu là cơ sở, hỗ trợ trong việc đề xuất các biện pháp giảm thiểu xói lở bờ sông phục vụ công tác quản lý rủi ro thiên tai do sạt lở.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu thu thập

2.1. Phạm vi nghiên cứu

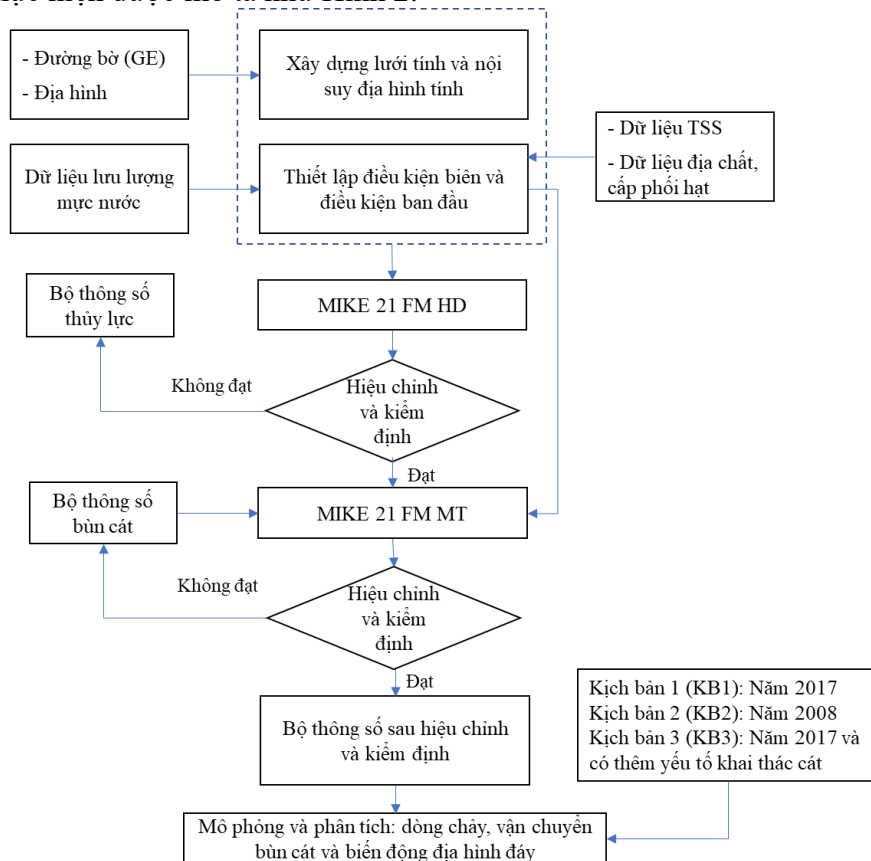
Phạm vi nghiên cứu là đoạn sông Tiền đoạn chảy qua tỉnh Vĩnh Long (Hình 1). Theo khảo sát của Chi cục Thủy lợi Vĩnh Long, hiện Vĩnh Long có 4 khu vực sạt lở mạnh và nguy hiểm (trên 10m/năm) dài 4.690 m, 7 khu vực sạt lở trung bình (từ 5 đến dưới 10 m/năm) và còn lại là các điểm sạt lở nhỏ (dưới 5 m/năm). Các khu vực sạt lở mạnh là: Trên sông Hậu có khu vực từ vàm kinh Hai Quý đến phà Cần Thơ (Bình Minh) dài 690 m; trên sông Tiền hiện khu vực đầu cù lao Minh (phần địa phận xã An Bình, Long Hồ) đang nguy hiểm; sông Cổ Chiên có khu vực ấp Phước Định 1 và 2, xã Bình Hoà Phước (Long Hồ) là khu vực sạt lở lớn.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

2.2. Mô hình MIKE 21

Nghiên cứu này tập trung tính toán chế độ thủy động lực và vận chuyển bùn cát khu vực đoạn sông Tiền chảy qua tỉnh Vĩnh Long bằng mô hình MIKE 21 FM với module HD và MT của (DHI). Mô hình MIKE 21 HD là gói phần mềm mô phỏng chế độ thủy động lực học 2 chiều. Lý thuyết mô hình dựa trên hệ phương trình Saint - Venant với lưới phi cấu trúc linh hoạt. Mô hình MIKE 21 HD cho phép mô phỏng các đặc trưng thủy lực, môi trường và hình thái hai chiều...[36]. MIKE 21 MT là mô hình vận chuyển bùn, mô hình kết hợp giữa mô hình nhiều lớp, được sử dụng để mô tả vận chuyển bùn cát kết dính và không kết dính [37]. Các bước thực hiện được mô tả như Hình 2.



Hình 2. Khung thực hiện.

2.3. Dữ liệu thu thập

Số liệu địa hình năm 2008 được thu thập từ Sở Tài Nguyên và Môi Trường Tỉnh Vĩnh Long. Bên cạnh đó, dữ liệu địa hình đáy năm 2017 kế thừa từ [38].

Số liệu đo thủy văn trong 3 ngày (từ 0h ngày 29/12/2012 đến 0h ngày 1/1/2013) tại 03 vị trí trong vùng nghiên cứu được dùng để hiệu chỉnh mô hình và 0h ngày 7/7/2013 đến 0h ngày 10/7/2013 để kiểm định mô hình, được thu thập từ đề tài [31].

Bảng 1. Vị trí tọa độ của 03 trạm đo.

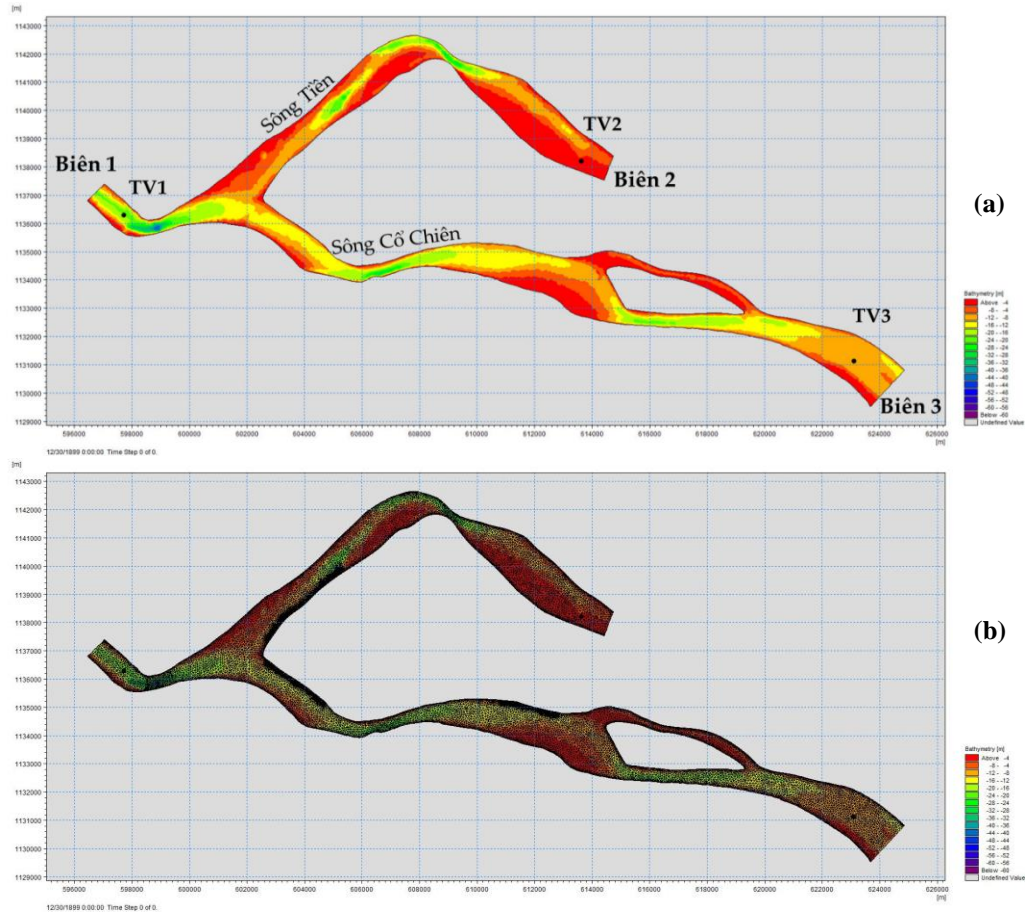
Trạm	Kinh độ	Vĩ độ
TV1	105°53'32,32"E	10°16'41,24"N
TV2	106°2'15,82"E	10°17'41,92"N
TV3	106°7'26,19"E	10°13'50,23"N

Đặc điểm cấu trúc địa chất được thu thập từ Liên Đoàn Bản đồ địa chất miền Nam, 2017.

2.4. Thiết lập mô hình

2.4.1. Lưới tính

Phạm vi không gian của vùng tính được thể hiện như Hình 3. Lưới tính được tạo thành từ 28.926 nút và 53.023 phần tử (Hình 1).



Hình 3. Vùng tính, biên và vị trí các trạm hiệu chỉnh và kiểm định (a) và lưới tính (b).

2.4.2. Điều kiện biên

Điều kiện biên thủy lực và phù sa được trích xuất từ mô hình MIKE 21 từ đề tài [31]. Vùng lớn đã được hiệu chỉnh và kiểm định với độ tin cậy cao [38].

Vùng tính có 03 biên lỏng (Hình 3a) gồm: Biên 1 nằm ở đầu sông Tiền (trước cầu Mỹ Thuận), biên 2 nằm ở nhánh sông Tiền, đoạn giáp với tỉnh Tiền Giang và biên 3 nằm ở nhánh sông Cổ Chiên, đoạn qua huyện Măng Thít.

2.4.3. Đặc điểm cấu trúc địa chất và cấp phối hạt

Đặc điểm cấu trúc địa chất tại khu vực nghiên cứu được mô tả trong Bảng 2, cụ thể như sau:

Khu vực thị xã Vĩnh Long (kí hiệu mẫu VL1): Bờ phải sông Cổ Chiên, từ trên mặt đến độ sâu 46m được cấu tạo gồm 5 lớp chủ yếu: Lớp cát lấp dày 1,2m; Lớp bùn sét màu xám đen dày 1m; Lớp bùn sét màu xám xanh, xám đen đến màu đen dày 8,3m; Lớp cát hạt mịn màu xám đen, chứa ít sét, màu xám đen dày 10,5m; Lớp bùn sét, sét pha màu xám nâu đến màu đen, dày 24m.

Khu vực thị trấn Cái Vồn (kí hiệu mẫu VL2): Bờ trái sông Hậu, từ trên mặt đến độ sâu 36m được cấu tạo gồm 4 lớp chủ yếu: Lớp sét xám đen, dẻo chảy dày 2,5m; Lớp bùn sét màu

xám nâu đến xám đen dày 13,5m; Lớp sét pha màu xám nâu, đen trạng thái chảy lẫn ít cát dày 7,3m; Lớp sét màu xám xanh đến màu đen trạng thái chảy dày 12m.

Khu vực thị trấn Trà Ôn (kí hiệu mẫu VL3): Bờ trái sông Hậu từ trên mặt đến độ sâu 20m có cấu tạo 3 lớp chủ yếu: Lớp cát thô dày 2m; Lớp bùn sét màu đen, nâu đen chứa lớp kẹp cát hạt mịn màu xám xanh dày 11,5m; Lớp sét pha màu đen, nâu có lẫn ít vỏ sò, hến trạng thái từ chảy đến mềm dẻo dày 6,5m.

Các cấp hạt tính toán cho mô hình gồm 6 cấp hạt với đường kính trung bình các cấp hạt là 0,005mm, 0,0075mm, 0,03mm, 0,075mm, 0,175mm và 0,375mm. Việc chọn những thông số này dựa vào số liệu phân tích mẫu tại một số vị trí trong vùng nghiên cứu vào tháng 3/2013. Thành phần cấp hạt trong các lớp được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Bảng thống kê cấp hạt phân bố theo các lớp.

Số hiệu mẫu	Dày (m)	Thành phần cỡ hạt							Hạt sét	Tổng số
		Hạt cát				Hạt bụi				
		To	Vừa	Nhỏ	Thật nhỏ	Bụi	To	Nhỏ		
		Đường kính các hạt (mm) tính theo tỷ lệ %								
		2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005		
VL 1 - 1	1,2			1	7	9	13	70	100	
VL 1 - 2	1					9	34	16	41	100
VL 1 - 3	8,3			8	87	2	3	-	-	100
VL 1 - 4	10,5				2	12	30	12	44	100
VL 1 - 5	24				1	16	43	12	28	100
VL 2 - 1	2,5				1	8	21	16	54	100
VL 2 - 2	13,5				1,5	13	26	15	44,5	100
VL 2 - 3	7,3				31	20	16	8	25	100
VL 2 - 4	12				1	11	27	15,5	45,5	100
VL 3 - 1	2					11	25	18	46	100
VL 3 - 2	11,5				1	19	37	9	34	100
VL 3 - 3	6,5			5,5	13	30	25	5,5	21	100

2.4.4. Kịch bản tính toán

Mô hình được thiết lập và tính toán với ba kịch bản sau:

Kịch bản 1 (KB1): Năm 2017, lấy địa hình và thủy văn 2017 để tính toán. Kịch bản này đưa ra nhằm đánh giá địa hình đáy khi đã có suy giảm phù sa (giảm 1/3 so với năm 2008).

Kịch bản 2 (KB2): Năm 2008, lấy địa hình và thủy văn 2008 để tính toán. Kịch bản này đưa ra nhằm đánh giá địa hình đáy khi chưa có suy giảm phù sa.

Kịch bản 3 (KB3): Năm 2017, lấy địa hình và thủy văn 2017 để tính toán, có thêm yếu tố khai thác cát.

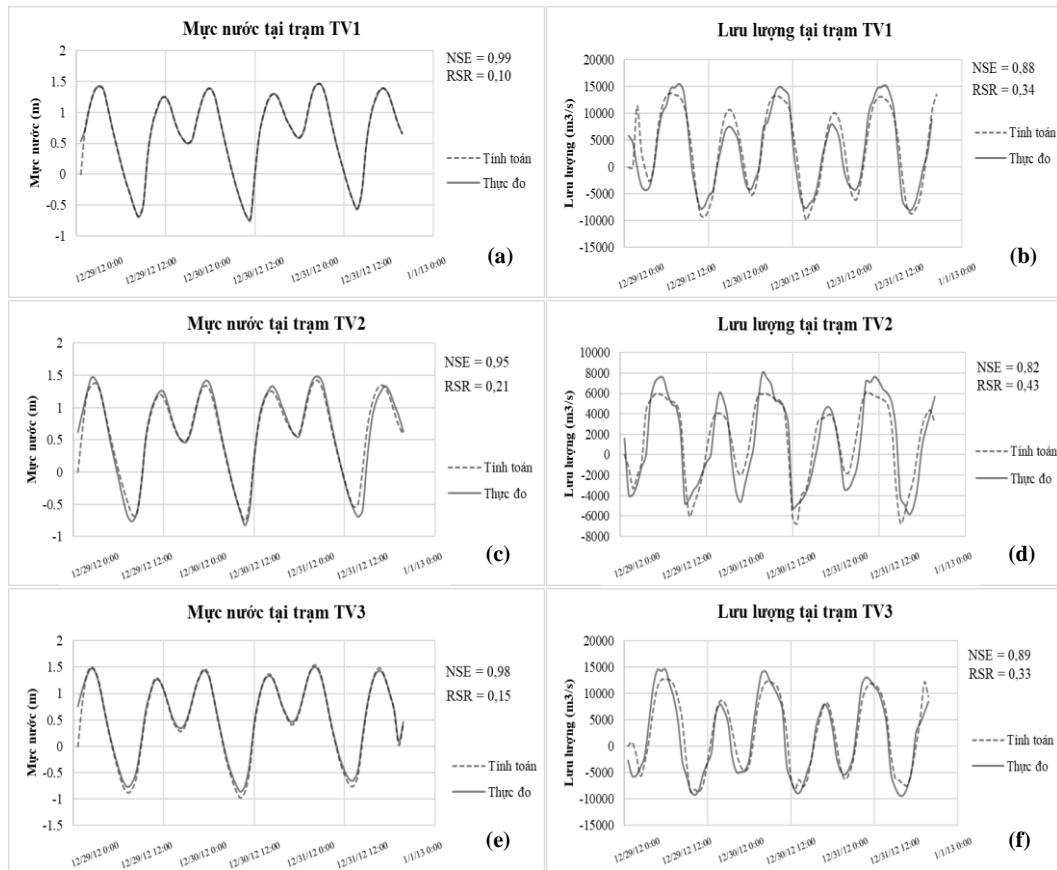
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiệu chỉnh mô hình

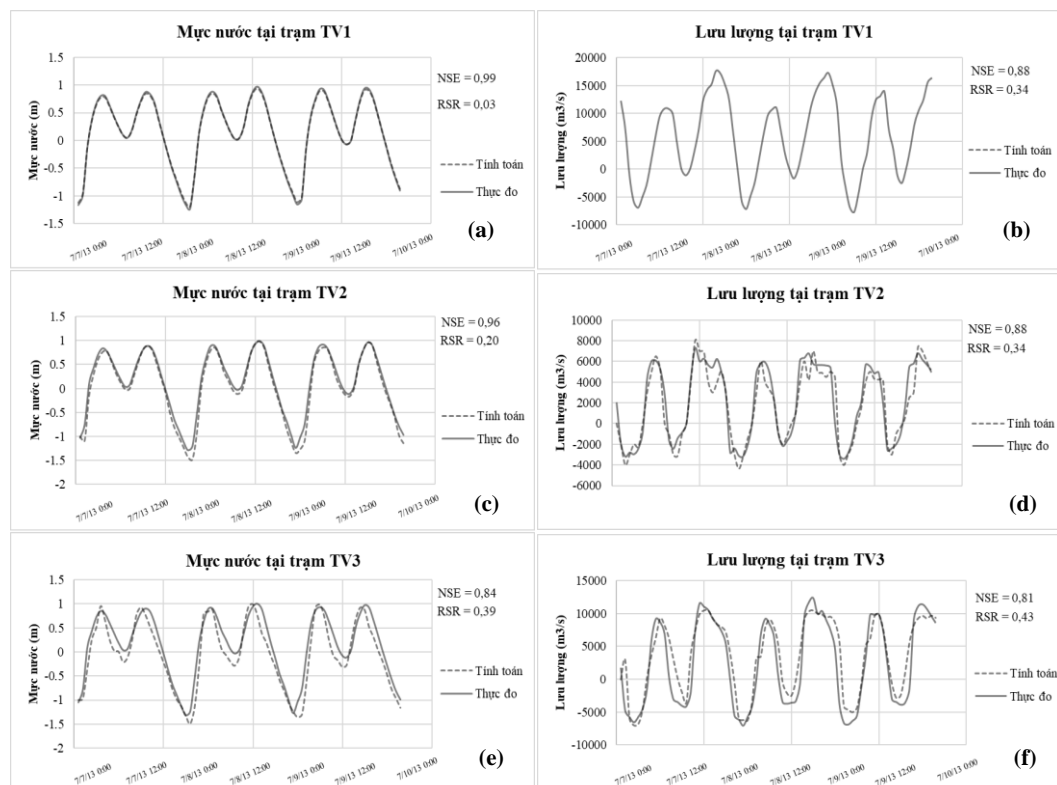
3.1.1. Mô hình thủy lực

Hiệu chỉnh được thực hiện tính toán trong 3 ngày từ 0h ngày 29/12/2012 đến 0h ngày 1/1/2013 với bước thời gian tính là 720s (Hình 4). Thông qua việc đánh giá bằng chỉ số Nash-Sutcliffe, ta nhận thấy rằng sai số mực nước giữa tính toán và thực đo ở các trạm đều hầu như không đáng kể (với $NSE > 0,8$) (Hình 4). Tương tự như mực nước, kết quả so sánh lưu lượng tính toán và thực đo ở các trạm cho thấy chỉ số NSE cũng đều $> 0,8$.

Sau khi hiệu chỉnh mô hình, giá trị lưu lượng và mực nước tại trạm TV1, TV2 và TV3 tiếp tục được trích xuất từ 0h ngày 7/7/2013 đến 0h ngày 10/7/2013 để phục vụ kiểm định mô hình (Hình 5).



Hình 4. Kết quả so sánh giữa mực nước tính toán và thực đo tại trạm TV1 (a), TV2 (c), TV3 (e) và lưu lượng tính toán và thực đo tại trạm TV1 (b), TV2 (d), TV3 (f) từ 0h ngày 29/12/2012 đến 0h ngày 1/1/2013.

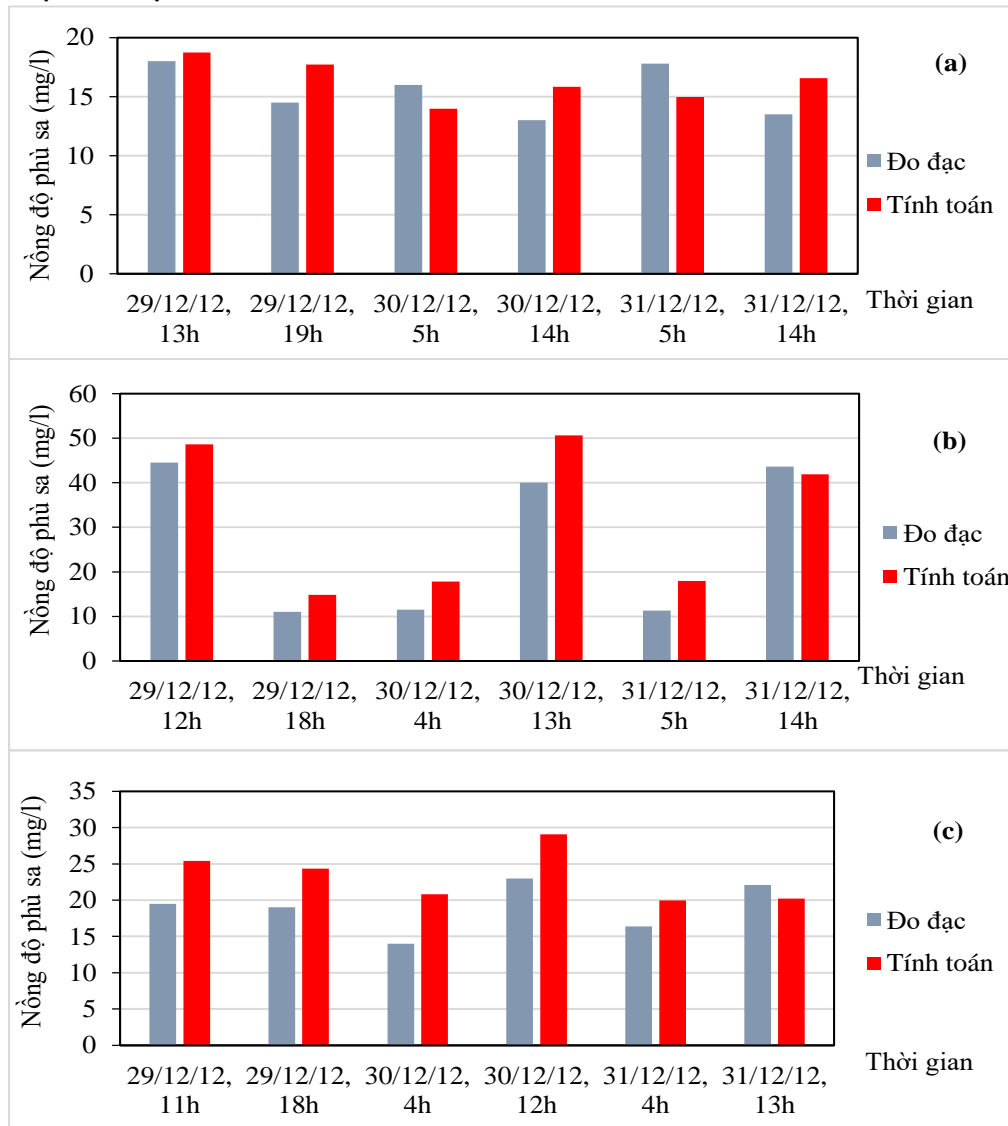


Hình 5. Kết quả kiểm định giữa mực nước tính toán và thực đo tại trạm TV1 (a), TV2 (c), TV3 (e) và lưu lượng tính toán và thực đo tại trạm TV1 (b), TV2 (d), TV3 (f) từ 0h ngày 7/7/2013 đến 0h ngày 10/7/2013.

Như vậy, từ các kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình đạt được như trên, ta nhận thấy các yếu tố thủy động lực học do mô hình MIKE 21 FM mô phỏng phù hợp với thực tế. Nên ta có thể dùng các thông số thủy động lực học về độ nhám của mô hình là hợp lý. Bộ thông số mô hình gồm: Hệ số nhám n phân bố tuyến tính theo độ sâu trong khoảng từ 0,015 đến 0,05 và điều kiện ban đầu với mực nước và vận tốc bằng 0.

3.1.2. Mô hình vận chuyển bùn cát

Kết quả tính toán về nồng độ phù sa được xuất ra tại các vị trí từ TV1 tới TV3 (được mô tả trong Hình 3a) trong 3 ngày từ 0h ngày 29/12/2012 đến 0h ngày 1/1/2013 để so sánh với số liệu thực đo. Kết quả so sánh nồng độ phù sa giữa tính toán và đo đạc sau khi đã hiệu chỉnh được thể hiện như Hình 6.



Hình 6. Kết quả so sánh nồng độ phù sa giữa tính toán và thực đo tại trạm TV1 (a), TV2 (b), TV3 (c) từ 0h ngày 29/12/2012 đến 0h ngày 1/1/2013.

Kết quả so sánh (Hình 6) cho thấy, không có sự chênh lệch quá lớn giữa số liệu tính toán và thực đo tại 03 trạm TV1, TV2 và TV3 từ 0h ngày 29/12/2012 đến 0h ngày 1/1/2013; % sai số vẫn nằm trong giới hạn cho phép. Cụ thể, % sai số trung bình đối với trạm TV1, TV2, TV3 lần lượt là 7,90%, 12,90% và 11,81%.

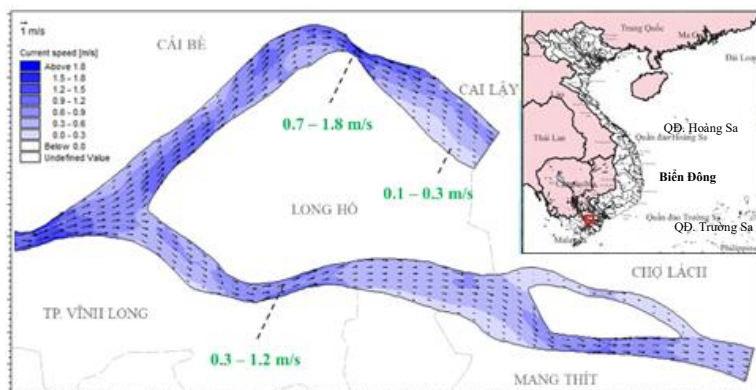
Sau khi hiệu chỉnh và kiểm định mô hình, được bộ thông số tính toán cho mô hình vận chuyển bùn cát của vùng nghiên cứu như Bảng 3.

Bảng 3. Bộ thông số tính toán vận chuyển bùn cát.

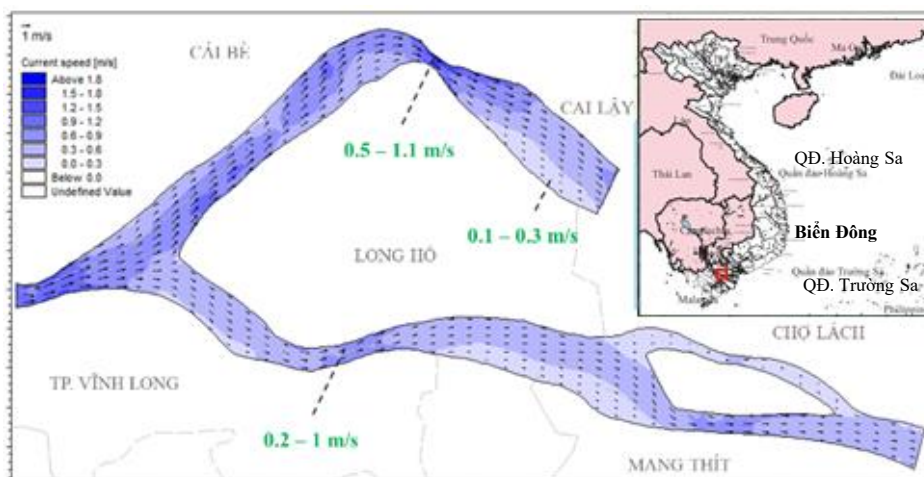
Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị	
Vận tốc lắng đọng	w_s	m/s	$w_{s1} = 0,000022$	
			$w_{s2} = 0,00005$	
			$w_{s3} = 0,0008$	
			$w_{s4} = 0,005$	
			$w_{s5} = 0,021$	
			$w_{s6} = 0,055$	
Ứng suất tới hạn bồi	τ_{cd}	N/m ²	0,05	
Ứng suất tới hạn xói	τ_{ce}	N/m ²	Lớp 1:	0,25
			Lớp 2:	0,3
			Lớp 3:	0,45
			Lớp 4:	0,5
			Lớp 5:	0,8
Tốc độ xói	E_0	kg/m ² /s	Lớp 1:	0,0001
			Lớp 2:	0,00008
			Lớp 3:	0,00005
			Lớp 4:	0,00001
			Lớp 5:	0,000005
Độ nhám đáy	k_n	m	0,0001	

3.2. Tính toán diễn biến đáy theo KB1 và KB2

Đoạn sông Tiền qua khu vực Mỹ Thuận được xem như một nút thắt khống chế của hình thái sông với phía thượng lưu là đoạn sông phân lạch, cong và phía hạ lưu là đoạn sông phân dòng rẽ nhánh. Quá trình diễn biến lòng sông và đặc trưng hình thái sông của khu vực này chịu ảnh hưởng của điều kiện dòng chảy, dòng bùn cát, diễn biến lòng sông của các đoạn sông phía thượng lưu, đặc biệt là đoạn Sa Đéc. Sông Tiền khu vực này bắt đầu phân lưu, bên bờ phải với sự hình thành sông Cỏ Chiên nên chế độ thủy lực thủy văn của vùng này rất phức tạp.



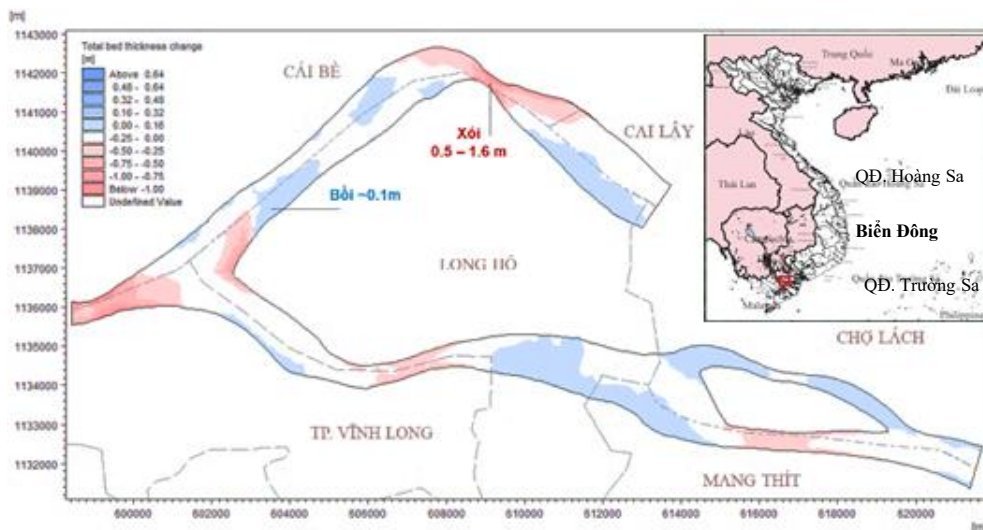
Hình 7. Vận tốc dòng chảy theo KB1.



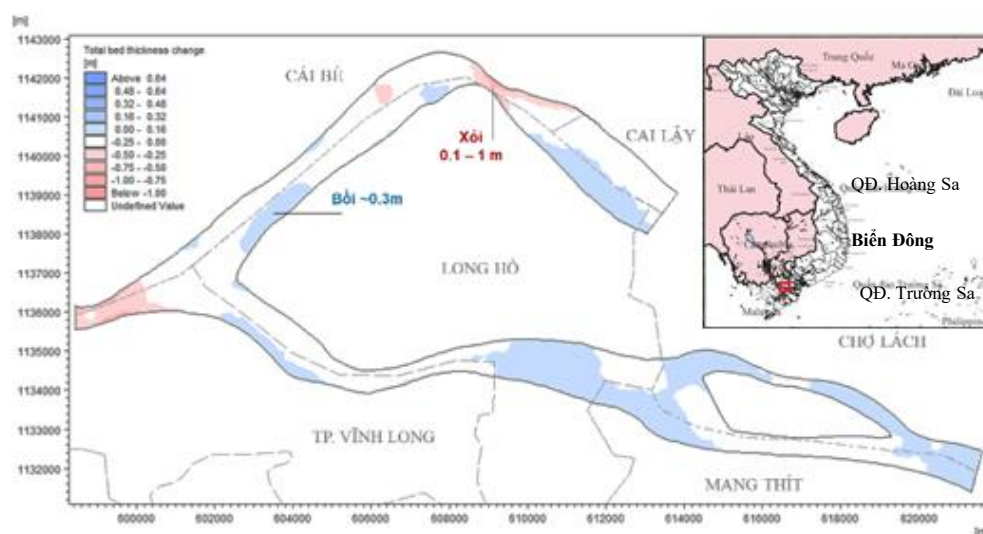
Hình 8. Vận tốc dòng chảy theo KB2.

Theo kết quả từ mô hình thủy lực cho thấy, dòng chủ lưu, luồng sâu của lòng sông sau khi ép sát bờ tả của Mỹ Thuận và khi ra khỏi khu vực co hẹp thì chuyển về phía bờ hữu. Sau khi tách dòng, đi vào sông Cỏ Chiên thì vận tốc lại tăng đột ngột khi qua đoạn sông co hẹp, dòng chủ lưu ép sát bờ tại khu vực TP. Vĩnh Long (Hình 7 và Hình 8). Vận tốc dòng chảy tại vị trí co hẹp đoạn sông Cỏ Chiên này đạt 1,2 m/s theo KB1 và 1 m/s theo KB2. Trong khi đó, vận tốc dòng chảy bên phía sông Tiền đoạn qua huyện Long Hồ cũng đáng kể, đạt tới 1,8 m/s theo KB1 và 1,1 m/s theo KB2. Kết quả tính toán trường vận tốc cho thấy kết quả tính toán thủy lực năm 2017 theo KB1 lớn hơn nhiều so với vận tốc theo KB2.

Về diễn biến lòng dẫn theo 2 KB: Kết quả mô phỏng bồi, xói đáy (Hình 9 và Hình 10) cho thấy ở đoạn này có diện tích bồi lắng phân bố tương đối nhiều ở các đoạn sông thẳng, tốc độ bồi lắng đạt khoảng 0,1m (KB1 năm 2017) và 0,3 m (KB2 năm 2008). Xói đáy xảy ra ở các đoạn sông co hẹp đột ngột, có vận tốc dòng chảy lớn, địa hình đáy sâu. Tốc độ xói đáy mạnh khoảng 0,5-1,6 m sau theo KB1, lớn hơn nhiều so với KB2 (đạt khoảng 0,1-1 m). Như kết quả phân tích thủy lực, tại vị trí co hẹp này, vận tốc dòng chảy ở KB1 lớn hơn KB2, bên cạnh đó, lượng phù sa trong KB1 suy giảm so với KB2 (chỉ còn 1/3 so với KB2). Đó là lý do mà tốc độ xói theo KB1 tăng đáng kể so với KB2. Hồ xói sâu trên sông Cỏ Chiên hình thành tại đoạn bờ thành phố Vĩnh Long đạt đến -40 m, gây ra sập, sụt bờ kè phía bờ phải sông Cỏ Chiên.



Hình 9. Bồi, xói đáy theo KB1.

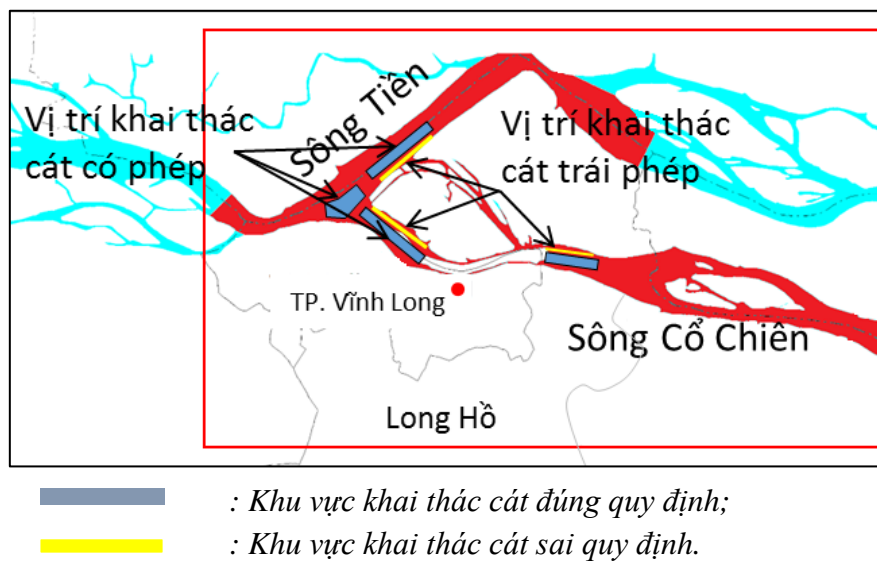


Hình 10. Bồi, xói đáy theo KB2.

So với nghiên cứu [34], tính toán vận tốc tại đoạn Cổ Chiên chảy qua Vĩnh Long cũng cho thấy dòng chảy sau khi phân lưu (đoạn sông Cổ Chiên), kết hợp với địa hình sông cong, lồi về phía Vĩnh Long nên dòng chủ lưu áp sát bờ sông phía Vĩnh Long. Kết quả cho thấy dòng chủ lưu ảnh hưởng đến bờ kè sông Cổ Chiên, đoạn Phường 1, Tp. Vĩnh Long gây nên mất ổn định bờ. Như vậy, kết quả tính toán cũng cho thấy kết quả mô phỏng tương đồng về trường vận tốc.

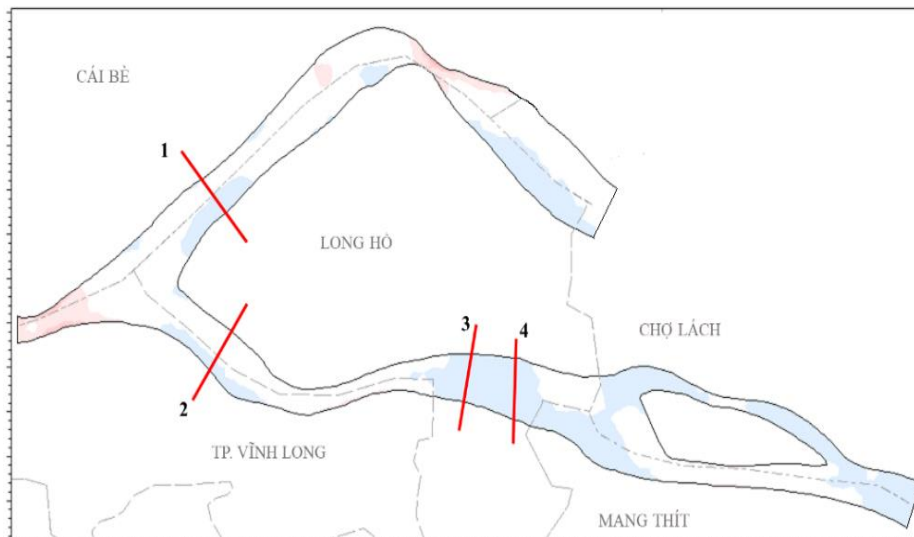
3.3. Ảnh hưởng của khai thác cát đến diễn biến lòng dẫn (KB3)

Toàn tỉnh có 31 khu vực mỏ cát (theo Sở Tài nguyên và Môi trường Vĩnh Long) được phép hoạt động khai thác giai đoạn 2016-2020. Ở đoạn sông này (Hình 11), do có diện tích bồi lắng tương đối nhiều, vì vậy nơi đây được quy hoạch cho phép khai thác cát theo quy định. Vị trí khai thác cát trong vùng này gồm 4 khu vực và được thể hiện trên **Error! Reference source not found.** Công suất khai thác cát là 200.000 m³/năm đối với mỗi khai trường.

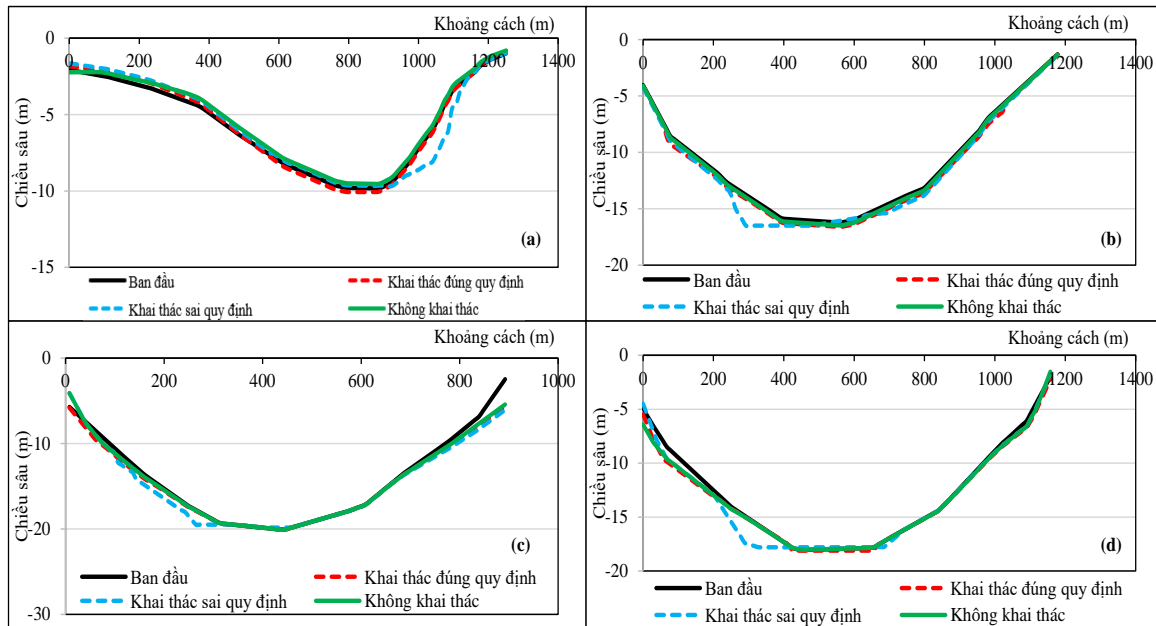


Hình 3. Vị trí khai thác cát theo KB3.

Nhóm nghiên cứu tiến hành thử nghiệm tính toán các nguồn khai thác cát đúng và sai quy định để đánh giá tác động của việc khai thác cát đến vấn đề sạt lở bờ sông. Kết quả mô phỏng tác động khai thác cát đến diễn biến lòng dẫn được xem xét tại 4 mặt cắt (MC) 1, 2, 3, 4 (Hình 12). Diễn biến tại mặt cắt 1, 2, 3, 4 được thể hiện như Hình 13.



Hình 4. Vị trí 4 mặt cắt theo KB3.



Hình 5. Diễn biến lòng dẫn tại MC 1 (a), MC 2 (b), MC 3 (c), MC 4(d).

Theo kết quả tính toán bồi, xói (Hình 13), địa hình đáy trong trường hợp nếu không có khai thác cát (đường liền nét màu xanh lá) so với địa hình ban đầu (đường liền nét màu đen) hầu hết các khu vực tại mặt cắt 2, 3, 4 có hiện tượng bồi ở giữa dòng và xói gần bờ. Qua kết quả tính toán diễn biến lòng dẫn có tính đến kịch bản khai thác cát, nhận thấy rằng nếu khai thác đúng theo quy định (đường nét đứt màu đỏ) thì sẽ không làm ảnh hưởng nhiều đến xói lở bồi lắng lòng sông khu vực này.

Kết quả cho thấy rằng hoạt động khai thác cát có những tác động tích cực và tiêu cực khác nhau. Nếu khai thác không đúng quy mô, vị trí có thể gây ra những vấn đề biến đổi thủy động lực khó lường dẫn đến nguy cơ sạt lở bờ. Cụ thể đối với xã An Bình, khu vực hiện tại hoạt động khai thác cát đang diễn ra, khai thác cát ở đây chủ yếu diễn ra ở sông Tiền thuộc địa phận Vĩnh Long, bên bờ Tiền Giang hiện chưa khai thác. Dòng chủ lưu đang bị lệch về phía bờ phải làm lưu tốc dòng chảy gần bờ tăng lên. Điều này ngược với kết quả tính toán thủy lực. Từ đó cho thấy rằng, vị trí khai thác cát là hết sức quan trọng, thậm chí cho kết quả ngược lại đối với biến đổi thủy lực khu vực khai thác.

Tóm lại, theo kết quả tính toán tác động đến xói lở bờ sông ở khu vực TP. Vĩnh Long, thì khai thác cát trên sông Cổ Chiên là không có lợi cho việc giảm thiểu sạt lở khu vực này, do vậy nên hạn chế khai thác ở đây. Tuy nhiên, khai thác cát đúng quy định lại đem đến kết quả tốt, giúp làm khơi thông dòng chảy và làm cho hình dạng địa hình đáy trở về ban đầu.

Thực tế cho thấy việc khai thác cát trái phép đang diễn ra tràn lan không chỉ ở Vĩnh Long. Nghiên cứu [15] báo cáo rằng việc khai thác cát (ít nhất là trong năm 2018) đã bị cấm ở hai tỉnh Tiền Giang và Bến Tre thông qua nguồn dữ liệu cũng cấp khai thác cát thực tế ở các tỉnh. Tuy nhiên, một thống kê khác cho thấy trữ lượng cát bị khai thác ở Tiền Giang vẫn là 0,51 triệu m³ cát. Những nghiên cứu như vậy ngụ ý rằng việc khai thác trái phép là một vấn đề đang tiếp diễn đối với khu vực này. Điều này cũng chứng minh các thống kê về khai thác cát vẫn còn bị hạn chế, đó cũng chính là hạn chế của nghiên cứu khi chưa mô phỏng diễn biến đáy dưới ảnh hưởng của khai thác cát với đầy đủ dữ liệu về các khai trường. Nghiên cứu [18] đã xác định vấn đề khai thác cát trái phép hiện đang tiếp tục diễn ra từ 2015 đến 2020, và không dừng hẳn. Việc khai thác cát trái phép được ghi nhận nhiều nhất là vào lúc

ban đêm. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, việc đánh giá diễn biến đáy dưới ảnh hưởng của khai thác cát theo thời gian vẫn chưa được thực hiện.

Nghiên cứu [3] cũng xác định hố xói gần bờ tại khu vực sạt lở Tp. Vĩnh Long (Hòa Ninh) được hình thành từ hoạt động khai thác cát. Hố xói này ngày càng mở rộng và ảnh hưởng đến độ ổn định bờ. Đoạn khai thác cát như mô phỏng của [3] có xu thế xói bồi xen kẽ với tốc độ trung bình từ $0,1 \div 0,2$ m/năm. Kết quả này khá tương đồng với KB2 về tốc độ bồi ở những đoạn thẳng (đoạn khai thác cát) của nhóm nghiên cứu.

4. Kết luận

Nghiên cứu phân tích diễn biến hình thái đáy có xét đến yếu tố suy giảm phù sa và khai thác cát tại khu vực sông Tiền đoạn chảy qua tỉnh Vĩnh Long thông qua tính toán chế độ thủy động lực và chuyển tải phù sa bằng mô hình MIKE 21 FM. Kết quả mô phỏng bồi, xói đáy cho thấy, ở đoạn sông Tiền qua khu vực Mỹ Thuận có diện tích bồi lắng phân bố tương đối nhiều ở các đoạn sông thẳng, tốc độ bồi lắng đạt khoảng 0,1m (KB1 năm 2017) và 0,3 m (KB2 năm 2008). Xói đáy xảy ra ở các đoạn sông co hẹp đột ngột, có vận tốc dòng chảy lớn, địa hình đáy sâu. Hố xói sâu trên sông Cổ Chiên hình thành tại đoạn bờ thành phố Vĩnh Long đạt đến -40 m, gây ra sập, sụt bờ kè phía bờ phải sông Cổ Chiên. Đối với ảnh hưởng của hoạt động khai thác cát, kết quả cho thấy rằng hoạt động khai thác cát có những tác động tích cực và tiêu cực khác nhau. Nếu khai thác không đúng quy mô, vị trí có thể gây ra những vấn đề biến đổi thủy động lực khó lường dẫn đến nguy cơ sạt lở bờ. Tuy nhiên, khai thác cát đúng quy định cũng đem đến kết quả tốt, giúp làm khơi thông dòng chảy và làm cho địa hình đáy trở về hình dạng ban đầu.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.N.Q.N., T.T.K., N.T.B.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.N.Q.N., T.T.K., N.T.B.; Xử lý số liệu: T.N.Q.N.; Mô hình hóa: T.N.Q.N., T.T.K.; Phân tích kết quả: T.N.Q.N., T.T.K., N.T.B.; Chính sửa bài báo: T.T.K., N.T.B., T.T.T.A.

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 sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Dakheel, A.; Al-Aboodi, A.; Abbas, S. Assessment of Annual Sediment Load Using Mike 21 Model in Khour Al-Zubair Port, South of Iraq. *Basrah J. Eng. Sci.* **2022**, 22, 108–114.
2. Hồng, N.V.; An, Đ.T. Đánh giá diễn biến hình thái sông dựa trên sự kết hợp mô hình hóa và phân tích ảnh viễn thám. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 726, 36–46.
3. Huệ, V.H. Đánh giá ổn định bờ sông Cổ Chiên, tỉnh Vĩnh Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 752, 12–28.
4. Kim, T.T.; Minh, N.T.T.; Nga, T.N.Q.; Bảy, N.T.; Phùng, N.K. Nghiên cứu diễn biến đáy khu vực cửa sông Hậu thuộc tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 717, 44–55.
5. Novico, F.; Priohandono, Y.A. Analysis of erosion and sedimentation patterns using software of Mike 21 HDFM-MT in The Kapuas Murung River Mouth Central Kalimantan Province. *Bull. Mar. Geol.* **2012**, 27(1), 35–53.
6. Wibowo, M.; Khoirunnisa, H.; Wardhani, K.S.; Wijayanti, R. Pemodelan Pola Sedimentasi di Muara Cisadane untuk Mendukung Pengembangan Terpadu Pesisir Ibukota Negara. *Jurnal Kelautan Tropis* **2022**, 25(2), 179–190.
7. Zhang, K.; Li, Q.; Zhang, J.; Shi, H.; Yu, J.; Guo, X.; Du, Y. Simulation and analysis of Back siltation in a navigation channel using MIKE 21. *J. Ocean Univ. China* **2022**, 21(4), 893–902.

8. Hanebuth, T.J.; Proske, U.; Saito, Y.; Nguyen, V.L.; Ta, T.K.O. Early growth stage of a large delta—Transformation from estuarine-platform to deltaic-progradational conditions (the northeastern Mekong River Delta, Vietnam). *Sediment. Geol.* **2012**, *261*, 108–119.
9. Binh, D.V.; Kantoush, S.; Sumi, T. Changes to long-term discharge and sediment loads in the Vietnamese Mekong Delta caused by upstream dams. *Geomorphology* **2020**, *353*, 107011.
10. Kondolf, G.M.; Rubin, Z.K.; Minear, J. Dams on the Mekong: Cumulative sediment starvation. *Water Resour. Res.* **2014**, *50*(6), 5158–5169.
11. Nowacki, D.J.; Ogston, A.S.; Nittrouer, C.A.; Fricke, A.T.; Van, P.D.T. Sediment dynamics in the lower Mekong River: Transition from tidal river to estuary. *J. Geophys. Res.: Oceans.* **2015**, *120*(9), 6363–6383.
12. Bussi, G.; Darby, S.E.; Whitehead, P.G.; Jin, L.; Dadson, S.J.; Voepel, H.E.; Vasilopoulos, G.; Hackney, C.R.; Hutton, C.; Berchoux, T.; Parsons, D.R.; Nicholas, A. Impact of dams and climate change on suspended sediment flux to the Mekong delta. *Sci. Total Environ.* **2021**, *755*, 142468.
13. Manh, N.V. et al. Future sediment dynamics in the Mekong Delta floodplains: Impacts of hydropower development, climate change and sea level rise. *Global Planet. Change*, **2015**, *127*, 22–33.
14. Hackney, C.R. et al. River bank instability from unsustainable sand mining in the lower Mekong River. *Nat. Sustainability* **2020**, *3*(3), 217–225.
15. Jordan, C. et al. Sand mining in the Mekong Delta revisited-current scales of local sediment deficits. *Sci. Rep.* **2019**, *9*(1), 17823.
16. Kim, T.T. 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* **2020**, *12*(10), 2912.
17. Bravard, J.P.; Goichot, M.; Gaillot, S. Geography of sand and gravel mining in the Lower Mekong River. First survey and impact assessment. *EchoGéo* **2013**, *26*, 1–20.
18. Gruel, C.R. et al. New systematically measured sand mining budget for the Mekong Delta reveals rising trends and significant volume underestimations. *Int. J. Appl. Earth Obs.* **2022**, *108*, 102736.
19. Park, E. et al. Dramatic decrease of flood frequency in the Mekong Delta due to river-bed mining and dyke construction. *Sci. Total Environ.* **2020**, *723*, 138066.
20. Loc, H.H. et al. Intensifying saline water intrusion and drought in the Mekong Delta: From physical evidence to policy outlooks. *Sci. Total Environ.* **2021**, *757*, 143919.
21. Luo, X.L. et al. Effects of in-channel sand excavation on the hydrology of the Pearl River Delta. *China. J. Hydrol.* **2007**, *343*(3-4), 230–239.
22. Ashraf, M.A. et al. Sand mining effects, causes and concerns: A case study from Bestari Jaya, Selangor, Peninsular Malaysia. *Sci. Res. Essays.* **2011**, *6*(6), 1216–1231.
23. Rentier, E.; Cammeraat, L. The environmental impacts of river sand mining. *Sci. Total Environ.* **2022**, *838*, 155877.
24. Anthony, E.J. et al. Linking rapid erosion of the Mekong River delta to human activities. *Sci. Rep.* **2015**, *5*(1), 14745.
25. Kim, T.T. 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* **2020**, *12*(10), 2912.
26. Brunier, G. et al. Recent morphological changes in the Mekong and Bassac river channels, Mekong delta: The marked impact of river-bed mining and implications for delta destabilisation. *Geomorphology* **2014**, *224*, 177–191.

27. Barman, B.; Kumar, B.; Sarma, A.K. Turbulent flow structures and geomorphic characteristics of a mining affected alluvial channel. *Earth Surface Processes Landforms*, **2018**, 43(9), 1811–1824.
28. Kondolf, G.M. PROFILE: hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. *Environ. Manage.* **1997**, 21(4), 533–551.
29. Barman, B.; Kumar, B.; Sarma, A.K. Dynamic characterization of the migration of a mining pit in an alluvial channel. *Int. J. Sediment Res.* **2019**, 34(2), 155–165.
30. Padmalal, D.; Maya, K. Sand mining: environmental impacts and selected case studies. 2014: Springer.
31. Bầy, N.T. Nghiên cứu hiện tượng bồi lắng, sạt lở bờ sông, xác định nguyên nhân, đề xuất các giải pháp phòng chống, khắc phục ở tỉnh Vĩnh Long. 2014 - 2015.
32. Điệp, N.T.H. et al. 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.
33. Huệ, V.H. Giải pháp công trình khắc phục sạt lở cồn Thanh Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 754, 26–43.
34. Huệ, V.H. Giải pháp công trình ứng phó với dòng chủ lưu áp sát bờ sông Cổ Chiên, khu vực TP. Vĩnh Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 753, 23–36.
35. Tú, L.X. Dự án Đánh giá ổn định bờ sông Cổ Chiên (Khu vực từ rạch Cái Cá đến rạch Bà Bổng) tỉnh Vĩnh Long. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2023.
36. Hydrodynamic Module. 2012: Scientific documentation.
37. Hydrodynamic and Transport Module. 2012: Scientific documentation.
38. Thuy, N.T.D. et al. Modelling accretion 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. Springer.

Assessing the impact of sand mining on the riverbed of the Tien River flowing through Vinh Long Province

Nguyen Thi Bay^{1,2*}, Tran Thi Kim³, Tran Thi Thuy An³, Tra Nguyen Quynh Nga^{1,2}

¹ University of Technology; ntbay@hcmut.edu.vn; tnqnga@hcmut.edu.vn

² Vietnam National University Ho Chi Minh City; ntbay@hcmut.edu.vn; tnqnga@hcmut.edu.vn

³ Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment; ttkim@hcmunre.edu.vn; antran.nrec@gmail.com

Abstract: The excessive extraction of river sand, which causes significant alterations to the geomorphology, is a current social concern. This study focuses on assessing the changes in the riverbed under the influence of decreasing sediment supply and sand extraction activities in the area of the Tien River, flowing through Vinh Long province. The results of bed change simulations show that accretion is relatively high in straight river sections, and the accretion rate in 2017 was lower than in 2008. On the other hand, erosion occurs in narrow, fast-flowing river sections with deep riverbeds. The simulation results indicate that sand extraction has both positive and negative effects. If sand extraction is carried out incorrectly in terms of scale and location, it can lead to unpredictable alterations in hydraulic dynamics and the risk of bank erosion. However, properly regulated sand extraction can yield positive results by improving flow conditions and restoring the original riverbed shape. These findings provide a basis for proposing measures to minimize erosion and assist in disaster risk management due to bank erosion.

Key words: Tien River; Riverbed; Sandmining; Sediment Transport; Sediment deficit.