

Bài báo khoa học

Kết hợp phương pháp viễn thám GIS và mô hình toán mô phỏng diễn biến đường bờ khu vực cầu Ghềnh, sông Đồng Nai

Tô Việt Nam^{1,2}, Phùng Đại Khánh^{1,2}, Đinh Thị Linh^{3*}

¹ Khoa Kỹ thuật Địa chất & Dầu khí, Trường Đại học Bách khoa Tp.HCM;
tovietnam@hcmut.edu.vn; phungdaikhanh@hcmut.edu.vn

² Đại học Quốc gia Tp.HCM; tovietnam@hcmut.edu.vn; phungdaikhanh@hcmut.edu.vn

³ Đại học Sejong, Seoul, Hàn quốc; dinhthilinh682@gmail.com

*Tác giả liên hệ: dinhthilinh682@gmail.com; +84-987497698

Ban Biên tập nhận bài: 5/11/2023; Ngày phản biện xong: 4/12/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2024

Tóm tắt: Việc đánh giá sự thay đổi đường bờ sông trước khi xây kè lấn sông và dự báo sự thay đổi lòng dẫn sông khi có kè là hết sức quan trọng trong công tác quy hoạch và xây dựng cũng như vận hành đô thị. Trong thời gian gần đây, công nghệ viễn thám đã nổi lên như một giải pháp vô cùng hữu ích cung cấp cho chúng ta dữ liệu ảnh theo thời gian và không gian với độ phân giải cao. Bài báo giới thiệu một kết quả nghiên cứu, đánh giá, mô tả diễn biến đường bờ của khu vực cầu Ghềnh sông Đồng Nai từ dữ liệu ảnh viễn thám, sử dụng hệ thống phân tích Digital Shoreline Analysis System (DSAS) trong giai đoạn quá khứ từ năm 1988 đến năm 2016 và mô hình toán MIKE 21C để dự báo diễn biến lòng dẫn trong tương lai. Kết quả nghiên cứu cho thấy tốc độ sạt lở trung bình đạt khoảng 0.6 mét/ năm, tuy nhiên khu vực mũi Cù lao Phố đạt 1.83 mét/ năm. Kết quả diễn biến lòng dẫn ứng với lưu lượng tạo lòng cho thấy khả năng bị xói mạnh gần vị trí trước cầu Ghềnh khi thực hiện dự án cải tạo cảnh qua và phát triển đô thị ven sông Đồng Nai. Kết quả đạt được từ nghiên cứu có thể dùng để dự báo diễn biến lòng dẫn trong tương lai dưới ảnh hưởng của kè sông.

Từ khóa: Phương pháp viễn thám; GIS; Mô hình toán; MIKE 21C; Diễn biến đường bờ.

1. Giới thiệu

Cùng với sự phát triển kinh tế - xã hội, xây dựng cơ sở hạ tầng để phát triển cảnh quan đô thị tại ven sông là một dự án hạ tầng quan trọng tạo cảnh quan xanh cho cư dân thành phố. Tuy nhiên, việc lấn sông sẽ gây ảnh hưởng đến dòng chảy, làm thay đổi chế độ thủy lực của khu vực thực hiện dự án cũng như tác động đến các đoạn bờ khu vực lân cận [1]. Do vậy, việc đánh giá sự thay đổi đường bờ sông trước khi kè lấn sông và dự báo sự thay đổi lòng dẫn sông khi có kè là thực sự cần thiết để có cái nhìn khách quan về sự ảnh hưởng của dự án đến chế độ thủy lực của dòng chảy.

Trước đây, để đánh giá được mức độ bồi, xói của đường bờ theo thời gian, chúng ta phải dựa hoàn toàn vào số liệu đo đạc hiện trường. Tuy nhiên, điểm yếu của phương pháp này là chỉ đo đạc được ở một số vị trí cụ thể, không thể đo đạc được toàn vùng và qua một chuỗi thời gian dài [1, 2].

Trong những năm gần đây, công nghệ viễn thám đã phát triển rất mạnh mẽ và được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Ảnh viễn thám là dữ liệu vô cùng hữu ích, thu thập theo cả thời gian và không gian với độ phân giải cao, có thể theo dõi quan sát được sự thay đổi của thảm thực vật theo thời gian. Việc ứng dụng ảnh viễn thám để theo dõi sự thay đổi đường bờ đã được ứng dụng trong nhiều nghiên cứu bởi vì phương pháp này có thể khắc

phục được nhược điểm của phương pháp thực đo [3–6]. Hiện nay, có nhiều phương pháp được sử dụng để phân tích biến động đường bờ, trong đó hệ thống phân tích đường bờ DSAS (Digital Shoreline Analysis System) được xem là một công cụ hiệu quả được sử dụng rộng rãi. DSAS có thể tích hợp với phần mềm ArcGIS để phân tích thông tin địa lý và tính toán tốc độ thay đổi đường bờ theo cả không gian và thời gian [1–3, 7, 8].

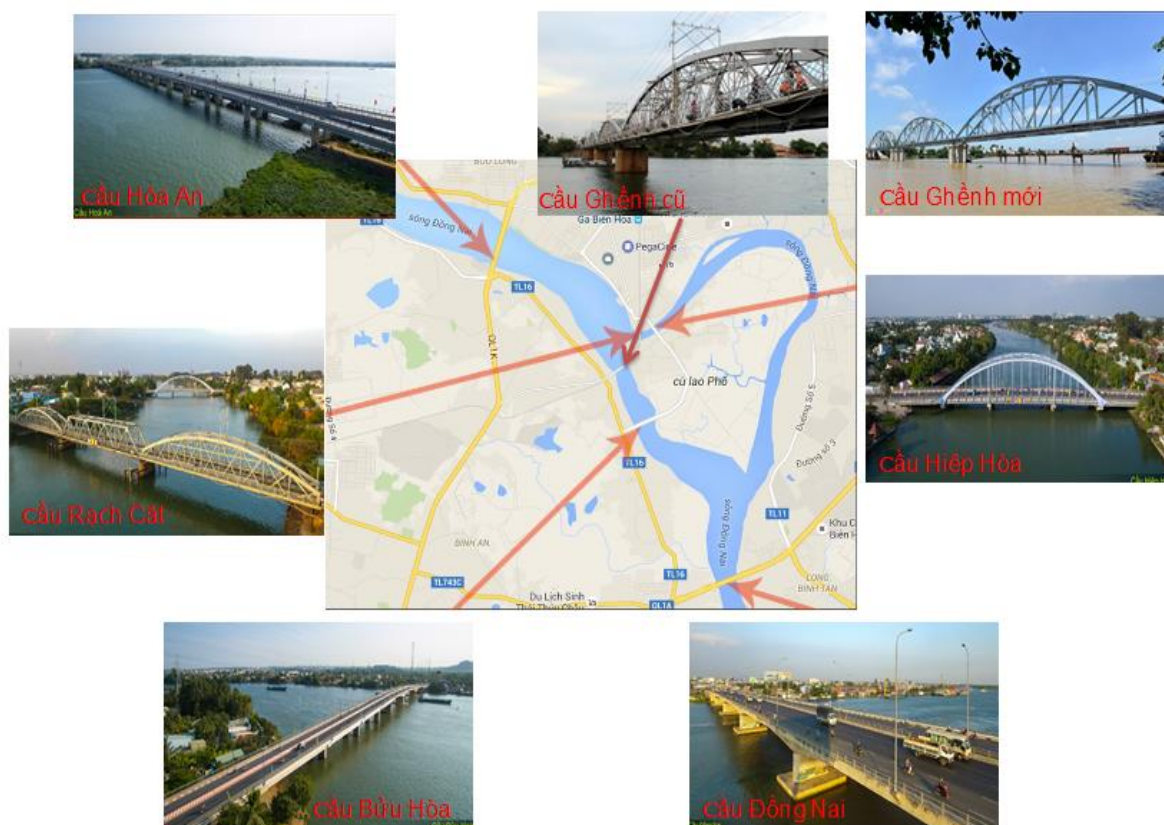
Việc đánh giá diễn biến bồi, xói của đường bờ bằng phương pháp viễn thám và GIS là rất lợi thế bởi hệ thống viễn thám có thể lưu trữ dữ liệu hình ảnh theo lịch sử [9–11], tuy nhiên để có thể dự báo mức độ diễn biến lòng dẫn trong sông, phương pháp mô hình toán, như mô hình thủy lực 2 chiều, là phương pháp thể hiện ưu điểm vượt trội. Đối với đoạn sông cong, đặc trưng như khu vực sông Đồng Nai, mô hình thủy lực MIKE 21C có thể mô phỏng tốt về lòng dẫn [12–15].

Nghiên cứu này là để đánh giá sự biến động của đường bờ trong quá khứ giai đoạn từ 1988 đến 2016 sử dụng ảnh viễn thám và DSAS, và để dự báo diễn biến lòng dân cho đoạn sông cong sử dụng mô hình thủy lực hai chiều MIKE 21C cho khu vực sông Đồng Nai đoạn từ cầu Hòa An đến cầu Ghềnh.

2. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu nằm trong vùng Dự án cải tạo cảnh quan và phát triển đô thị ven sông Đồng Nai thuộc phường Quyết Thắng, Tp. Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai [16] với tổng diện tích 150.939 m² bao gồm: phần diện tích xây dựng mới 102.999 m², phần diện tích cải tạo 47.940 m². Khu vực dự án nằm dọc bờ sông Đồng Nai, khu vực phường Quyết Thắng được bảo vệ bằng tuyến kè.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

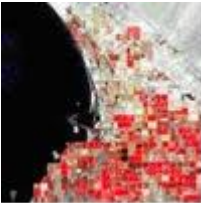
Trên phạm vi thượng và hạ lưu khu vực dự án có các công trình cầu xây dựng trên sông là cầu Hóa An 2, cầu Ghềnh, cầu Rach Cát, cầu Bửu Hòa và cầu Đồng Nai.

2.2. Cơ sở dữ liệu và quá trình xử lý

2.2.1. Ảnh landsat

Để đánh giá diễn biến thay đổi đường bờ, dữ liệu ảnh landsat theo thời gian được lựa chọn để phục vụ cho nghiên cứu. Hiện nay đối với ảnh vệ tinh Landsat, người ta sử dụng chủ yếu 3 ảnh: Landsat 4-5, Landsat 7 và Landsat 8. Để thuận tiện cho người dùng trong công tác lựa chọn các phương pháp tổ hợp màu đối với các ảnh vệ tinh Landsat, có thể dựa vào bảng tham chiếu chuyển đổi hệ màu giữa ảnh Landsat 5, 7 và Landsat 8 [16]. Trong nghiên cứu này, dữ liệu ảnh landsat từ năm 1988 đến năm 2016 được thu thập và xử lý.

Bảng 1. Tổ hợp band ảnh của Landsat [17].

Mẫu ảnh	Phương pháp tổ hợp	Landsat 7 Landsat 5	Landsat 8
	Color Infrared: Màu hồng ngoại (thực vật)	4, 3, 2	5,4,3
	Natural Color: Màu tự nhiên	3, 2, 1	4,3,2
	False Color: Giả màu phân tích thực vật	5,4,3	6,5,4
	False Color: Giả màu (đô thị)	7,5,3	7,6,4
	False Color: Giả màu (màu tự nhiên với sự thâm nhập khí quyển)	7,4,2	7,5,3

2.2.2. Dữ liệu mô hình thủy lực

Dữ liệu để phục vụ mô phỏng thủy lực bao gồm dữ liệu địa hình, địa chất, dữ liệu khí tượng, thủy văn, bùn cát, dữ liệu mặt cắt sông và dữ liệu khảo sát thực địa.

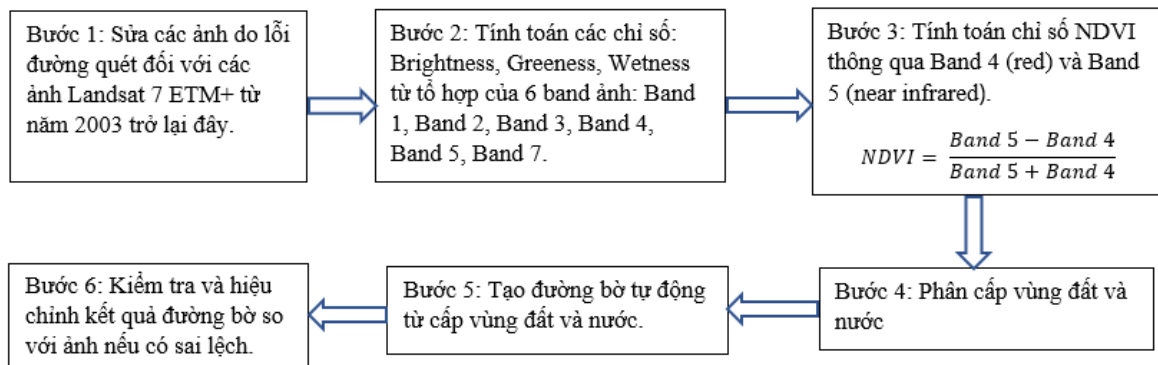
- Tài liệu địa hình: mặt cắt ngang sông Đồng Nai đoạn từ cầu Hóa An đến cầu Ghềnh từ năm 1982, 2007; tài liệu địa hình đo tháng 9/2008; tài liệu địa hình đo bổ sung tháng 4/2015, 10/2016.
- Tài liệu địa chất: 9/2008 do công ty cổ phần tư vấn đầu tư GEOQ khảo sát tháng 3/2012.
- Số liệu khí tượng thủy văn, bùn cát trên lưu vực sông Đồng Nai.

- Các bản vẽ về khảo sát, quy hoạch tuyến, thiết kế xây dựng hạ tầng trên phạm mặt bằng khu đất lấn ra sông 6/2013 từ Công ty cổ phần tư vấn xây dựng Đồng Nai.
- Bản vẽ mô tả mặt cắt địa chất dọc tuyến công trình từ Công ty cổ phần tư vấn đầu tư GEOQ.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp diễn toán đường bờ

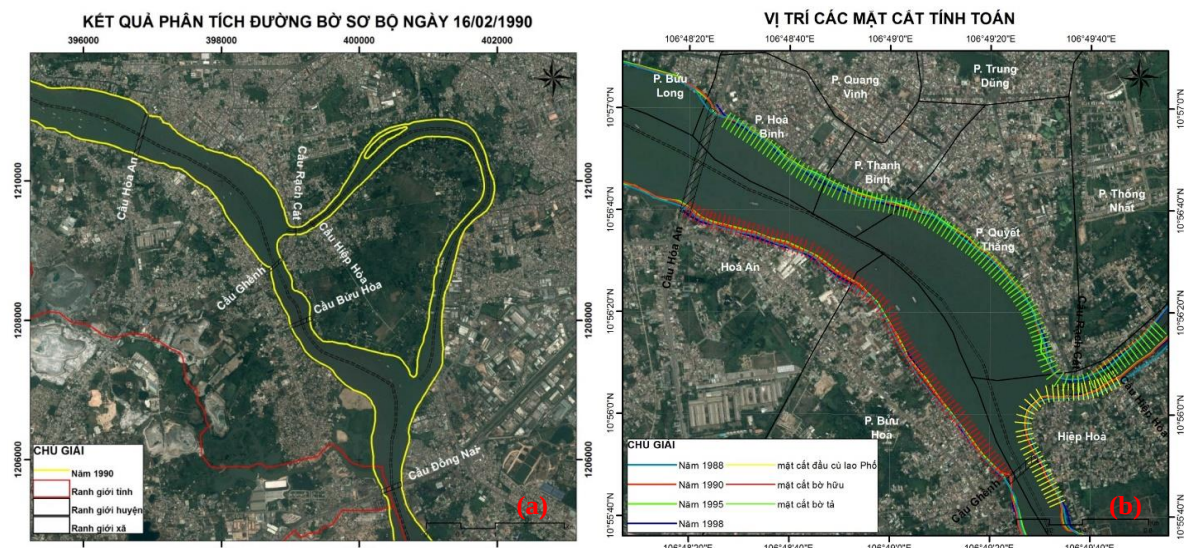
Nghiên cứu [18] đã giới thiệu một phương pháp để chiết tách đường bờ từ Landsat toolbox dựa trên ảnh Landsat TM và ETM+. Landsat toolbox là một công cụ hỗ trợ trên nền của Arcgis, dùng để phục vụ các tính toán liên quan đến ảnh Landsat. Cách chiết tách đường bờ từ ảnh Landsat được thực hiện như trên hình 2.



Hình 2. Sơ đồ các bước thực hiện để chiết tách đường bờ từ ảnh Landsat.

Sau khi trích xuất được đường bờ từ dữ liệu Landsat bằng công cụ DSAS thì ta sẽ tính toán được tỷ lệ dịch chuyển và thay đổi đường bờ. DSAS tạo ra các mặt cắt vuông góc với đường cơ sở với khoảng cách do người sử dụng tự định nghĩa dọc theo đường bờ, các giao điểm mặt cắt của đường bờ với đường cơ sở sẽ được sử dụng để tính toán các số liệu thống kê tỷ lệ thay đổi một cách tự động [19].

Sự dịch chuyển của đường bờ được xác định bằng các đường cơ sở (*baseline*), để DSAS dựa vào đó tính toán sự thay đổi đường bờ theo thời gian. Đường cơ sở được xây dựng với các thông tin do người sử dụng công cụ DSAS lựa chọn, và đóng vai trò là pháp tuyến tại mỗi giao điểm cho những đường cắt ngang (*transect*). Transect là những đường được công cụ DSAS dựng lên theo đặc trưng người sử dụng chọn lựa, các transect này có một đầu xuất phát từ đường cơ sở và cắt ngang qua các đường bờ cần tính toán. Giao điểm bởi các đường



Hình 3. Kết quả chiết tách đường bờ từ ảnh Landsat (a) và vị trí các mặt cắt (b).

transect và các đường bờ sẽ cung cấp một lưới dữ liệu cho DSAS tính toán các thông số phục vụ đánh giá việc thay đổi đường bờ theo thời gian.

Trong phạm vi đoạn sông nghiên cứu, các mặt cắt cách nhau 30 m, ở các vị trí có công trình quan trọng hay các vị trí có khả năng xói, bồi cao thì chia khoảng cách các mặt cắt dày hơn (Hình 3). DSAS có khả năng thực hiện nhiều phương pháp tính toán thống kê khác nhau: *Shoreline Change Envelope (SCE)*, *Net Shoreline Movement (NSM)*, *End - Point Rate (EPR)*, *Linear Regression Rate (LRR)*, *Weighted Linear Regression (WLR)* hoặc *Least Median of Squares (LMS)*. Việc lựa chọn phương pháp thống kê thì phù thuộc vào số lượng và chất lượng đường bờ. Ngoài ra, công cụ hỗ trợ tính toán đường bờ DSAS cũng xét đến các yếu tố như tốc độ bồi xói, khoảng cách thay đổi lớn nhất.

2.3.2. Phương pháp mô hình toán

Viện thủy lực Đan Mạch (DHI) đã giới thiệu bộ mô hình thủy động lực MIKE để tính toán diễn biến hình thái lòng sông 2 chiều, đặc biệt là MIKE 21C cho những đoạn sông cong. Do vậy, nghiên cứu này ứng dụng mô hình MIKE 21C để đánh giá, dự báo mức độ xói, bồi, sạt lở bờ sông và diễn biến lòng dẫn cho đoạn sông từ cầu Ghềnh đến cầu Hóa An của sông Đồng Nai.

a) Mô hình thủy lực 2 chiều (Hydrodynamic)

Mô hình thủy động lực học dùng để mô phỏng mực nước và dòng chảy trong sông bằng cách giải hệ phương trình Saint Venant thông qua các lưới cong. Hệ phương trình này được giải bằng kỹ thuật sai phân ẩn với các biến được định nghĩa trên lưới tính toán so le [15] được mô tả như sau:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{p^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{pq}{h}\right) + 2\frac{pq}{hR_n} + \frac{p^2 - q^2}{hR_s} + gh\frac{\partial H}{\partial s} + \frac{g}{C^2}\frac{p\sqrt{p^2 + q^2}}{h^2} = \text{RHS} \quad (1a)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{pq}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{q^2}{h}\right) + 2\frac{pq}{hR_s} + \frac{q^2 - p^2}{hR_n} + gh\frac{\partial H}{\partial n} + \frac{g}{C^2}\frac{q\sqrt{p^2 + q^2}}{h^2} = \text{RHS} \quad (1b)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial s} + \frac{\partial q}{\partial n} - \frac{q}{R_s} + \frac{p}{R_n} = 0 \quad (1c)$$

Trong đó s, n là vị trí trong hệ tọa độ cong; p, q là lưu lượng theo hướng s và n; H là cao trình mực nước; h là độ sâu mực nước; g là gia tốc trọng trường; C là hệ số Chezy; R_s, R_n là bán kính cong của đường s và n; RHS là hệ số Reynold.

b) Mô hình hình thái (Morphology)

Hình thái của lòng dẫn được đặc trưng bởi dòng chảy vòng, vận chuyển bùn cát và thay đổi độ cao đáy lòng sông.

- Dòng chảy vòng là dòng chảy thứ cấp gây ra do sự chênh hướng của ứng suất tiếp đáy bởi dòng sát đáy với dòng chảy chính, là nguyên nhân chính của xói vòng, xói hợp lưu [15]. Sự chênh hướng này được tính như sau:

$$\tan \delta_s = -\beta \frac{h}{R_s} \quad (2)$$

Trong đó δ_s là góc lệch giữa ứng suất tiếp đáy và dòng chính; h là độ sâu dòng chảy; R là bán kính đoạn sông cong; β là hệ số được tính như sau:

$\beta = \alpha \frac{2}{K^2} \left(1 - \frac{\sqrt{g}}{KC}\right)$ với K là hằng số Van Karman, C là số Chezy và α là hằng số kiểm định mô hình.

- Vận chuyển bùn cát trong MIKE 21C được tính toán dựa trên một trong các công thức của Engelund - Hansen, Engelund - Fredsoe, van Rijn hay Meyer - Peter [15].

- Sự thay đổi địa hình đáy sông được tính toán dựa trên lượng bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng:

$$(1-n)\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial S_x}{\partial x} + \frac{\partial S_y}{\partial y} = \emptyset Si \quad (3)$$

Trong đó S_x và S_y là bùn cát tổng theo phương x và y ; n là độ rỗng của bùn cát vận chuyển; z là cao trình đáy; t là thời gian; x, y là tọa độ Đề các; $\emptyset Si$ là bùn cát cung cấp do xói bờ.

Để thiết lập mô hình diễn toán lòng dẫn cho khu vực sông Đồng Nai bằng mô hình MIKE 21C, dữ liệu đầu vào của mô hình đóng vai trò quan trọng vì nó quyết định độ chính xác của mô hình. Các dữ liệu đầu vào của mô hình MIKE 21C có được từ kết quả tính toán mô hình thủy lực MIKE 11 trên hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai.

Sơ đồ thủy lực tính toán nghiên cứu trong MIKE 11 bao gồm toàn bộ hệ thống sông Đồng Nai Sài Gòn được số hóa với tổng số 269 nhánh sông chính với tổng chiều dài được mô phỏng khoảng 1926,7 km, và 7563 nút tính toán và 707 mặt cắt. Số liệu địa hình và khí tượng thủy văn tại các trạm đo được thu thập, kiểm tra độ chính xác để đảm bảo chất lượng phục vụ cho việc phân tích đánh giá chế độ dòng chảy và vấn đề tiêu thoát lũ trên sông Đồng Nai. Mô hình MIKE 11 được hiệu chỉnh với trận lũ tháng 10/2000 và so sánh với số liệu thực đo để hiệu chỉnh hệ số nhám mô hình thông qua chỉ số kiểm định NASH tương ứng tại trạm đo (Bảng 2).

Bảng 2. Kết quả hiệu chỉnh mô hình MIKE 11.

TT	Trạm kiểm tra	Sông	Hmax (m)			Hmin (m)			Hệ số Nash
			Tính toán	Thực đo	Sai số	Tính toán	Thực đo	Sai số	
					Hmax (m) (Ttoán-Tđo)			Hmin (m) (Ttoán-Tđo)	
1	Biên Hòa	Đồng Nai	2,17	2,19	-0,02	-0,67	-0,66	-0,01	0,95
2	Bến Lức	Vàm Cỏ Đông	1,37	1,38	-0,01	-0,2	-0,22	0,02	0,95
3	Thủ Dầu Một	Sài Gòn	1,27	1,26	0,01	-1,53	-1,52	-0,01	0,97
4	Nhà Bè	Nhà Bè	1,38	1,42	-0,04	-1,57	-1,62	0,05	0,87
5	Phú An	Sài Gòn	1,44	1,43	0,01	-1,56	-1,53	-0,03	0,94

Trận lũ tháng 10/2007 là trận lũ điển hình và được lựa chọn để kiểm định mô hình MIKE 11.

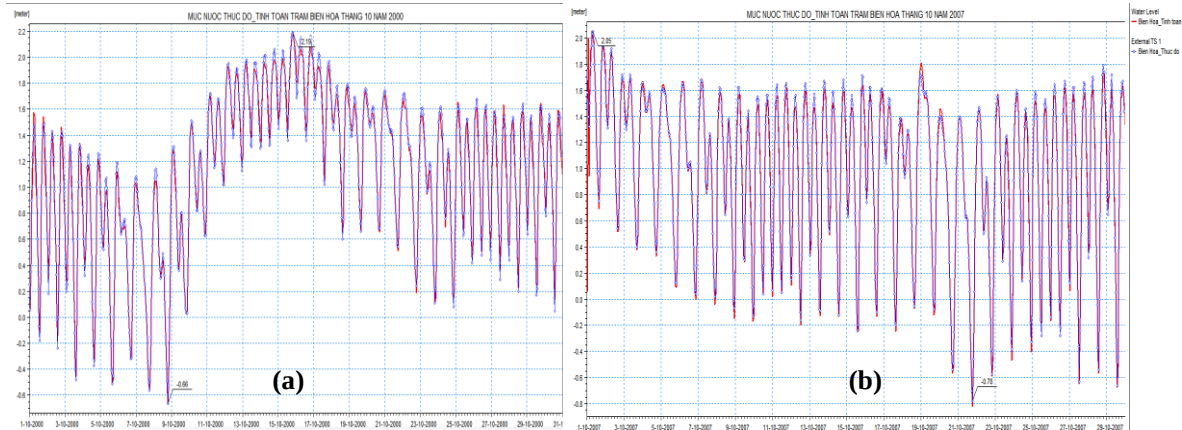
Bảng 3. Kết quả kiểm định mô hình MIKE 11.

TT	Trạm kiểm tra	Hmax (m)			Hmin (m)			Hệ số Nash
		Tính toán	Thực đo	Sai số	Tính toán	Thực đo	Sai số	
				Hmax (m) (Ttoán-Tđo)			Hmin (m) (Ttoán-Tđo)	
1	Biên Hòa	2,06	2,05	0,01	-0,82	-0,78	-0,04	0,89
2	Bến Lức	1,41	1,4	0,01	-1,08	-1,06	-0,02	0,97
3	Thủ Dầu Một	1,25	1,24	0,01	-1,38	-1,4	0,02	0,93
4	Nhà Bè	1,42	1,46	-0,04	-2,2	-2,21	0,01	0,96
5	Phú An	1,47	1,49	-0,02	-1,71	-1,72	0,01	0,95

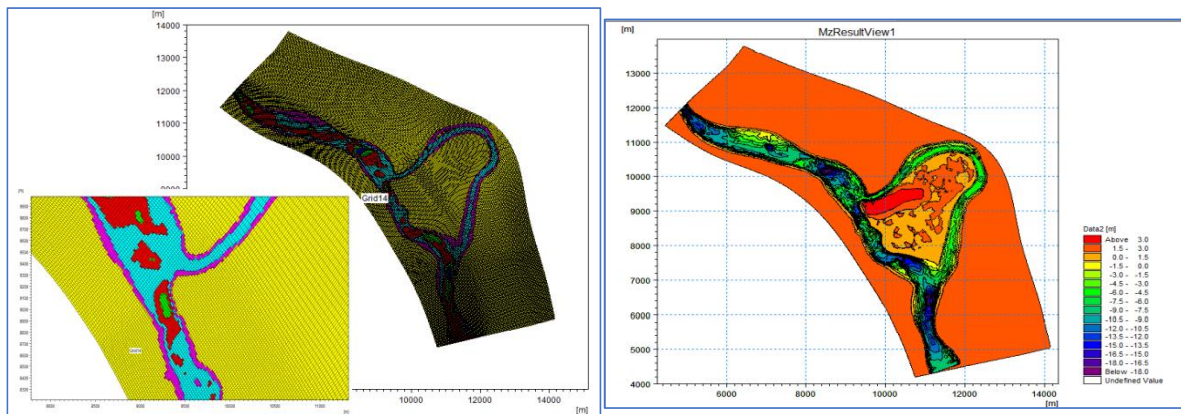
Kết quả kiểm định trận lũ tháng 10/2007 cho thấy sai số giữa tính toán và đo đạc là $0,01 \div 0,04$ m (Bảng 3). Quá trình mực nước lên và xuống giữa quan trắc và mô phỏng là phù hợp và bám sát với nhau, sự chênh lệch giữa đỉnh triều và chân triều là rất ít (Hình 4). Do đó, có thể sử dụng kết quả của mô hình MIKE 11 làm đầu vào cho mô hình hai chiều để đánh giá biến động lòng dẫn khu vực nghiên cứu.

Sau đó, nghiên cứu thực hiện thiết lập mô hình MIKE 21C với lưới tính toán là lưới cong, miền lưới tính toán bao gồm 800×240 ô lưới, Biên vào là phía thượng lưu đoạn sông là quá trình lưu lượng $Q-t$ với bờ phải là phường Tân Hạnh, bờ trái là phường Bửu Long thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai, tại vị trí Bến đò Tân Ba - Bửu Long (cách cầu Hóa An về thượng lưu khoảng 3.300 m). Biên ra phía hạ lưu đoạn sông là quá trình mực nước $H-t$, bờ phải là phường Long Bình, Quận 9, TP. Hồ Chí Minh. Bờ trái là phường Long Bình, thành phố Biên Hoà, tỉnh Đồng Nai, tại vị trí cách cầu Đồng Nai khoảng 1000 m về phía hạ lưu.

Biên bùn cát được lấy với đường kính hạt $d_{50} = 0,1\text{mm}$; độ rỗng 0,35; tỷ trọng cát 2,65 và thông số Shield tới hạn 0,056.



Hình 3. Kết quả hiệu chỉnh (a) và kiểm định (b) mực nước tại trạm Biên Hòa.



Hình 4. Lưới tính toán và địa hình khu vực nghiên cứu.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả phân tích đường bờ

Để thuận tiện cho việc phân tích, khu vực nghiên cứu được chia thành 2 khu vực nhỏ tính từ thượng lưu xuống hạ lưu theo 3 giai đoạn từ năm 1990 đến 1999, từ năm 2000 đến 2009 và từ 2010 đến 2016 như sau:

- Khu vực 1: Đoạn từ cầu Hóa An đến ngã ba sông gần khu vực mở rộng bãi ven sông.
- Khu vực 2: Từ ngã sông xuống đến ngã ba nhập lưu của hai nhánh sông

a) Phân tích diễn biến đoạn từ cầu Hóa An đến ngã ba sông.

Đoạn sông từ cầu Hóa An đến ngã ba sông diễn biến đường bờ có sự thay đổi không nhiều, tuy nhiên tại một số vị trí xuất hiện hiện tượng sạt lở.

Trong giai đoạn từ 1990-1999, đối với mùa kiệt tại vị trí mở rộng ngay sau đoạn eo thu hẹp, bờ tả xuất hiện xói với sự dịch chuyển đường bờ lớn nhất là 3,8 mét, tốc độ xói lớn nhất đạt 0,38 m/năm. Bên bờ hữu có bồi nhẹ, tốc độ bồi đạt 0,3 m/năm. Tuy nhiên, đến mùa lũ thì sự dịch chuyển đường bờ hầu như không nhiều. Trước năm 2008, gần khu vực công viên Biên Hòa, tại bờ tả khu vực công viên bị sạt lở, nhưng từ năm 2008 đến nay thì đường bờ tương đối ổn định do có bờ kè bằng cọc bê tông dự ứng lực.

Đặc biệt từ năm 2014-2016, hiện trạng đoạn sông khu vực phường Quyết Thắng đang thực hiện dự án “Cải tạo cảnh quan và phát triển đô thị ven sông Đồng Nai” [16]. Dự án này có quy mô 8,4 ha (84.000 m²), nằm dọc theo sông Đồng Nai với diện tích mở rộng khu bãi ven sông lên tới hơn 7,7 ha, chỉ có hơn 0,6 ha là đất hiện hữu. Dự án này kéo dài hơn 1,3 km từ công viên Nguyễn Văn Trãi (đối diện UBND tỉnh Đồng Nai) đến cầu Rạch Cát (P. Quyết

Thắng), và mở rộng bãi ra đoạn hẹp nhất là 30m, còn đoạn rộng nhất khoảng 100m nên đường bờ đoạn sông này có sự dịch chuyển rõ rệt [20]. Sự thay đổi đường bờ trong giai đoạn này có thể gây tác động đến dòng chảy phía dưới hạ lưu.



Hình 5. Sự thay đổi đường bờ tại vị trí dự án.



Hình 6. Sự thay đổi đường bờ qua các năm tại vị trí đầu Cù Lao Phố.

Tại vị trí đầu Cù Lao Phố thuộc phần hạ lưu khu vực mở rộng bãi sông đây là vị trí dòng chảy phân lạch, có hiện tượng xói. Sự dịch chuyển đường bờ lớn nhất trong đoạn này đạt 17,7 m với tốc độ sạt lở là 0,63 m/năm (Hình 6).

Đối với cù lao Phố, do đặc trưng hình thái của đoạn sông phân lạch, lạch phải phát triển mạnh, lạch trái cù lao Phố phát triển yếu, dòng chảy vào lạch chính lớn hơn. Do sự phân chia lưu lượng thay đổi giữa hai lạch dẫn đến sạt lở mạnh ở đầu cù lao Phố.

Từ kết quả tính toán như hình 7 ta thấy khoảng cách dịch chuyển đường bờ lớn nhất trong vòng 28 năm đạt 51,4 m. Điều đó cho thấy, sự biến đổi của dòng chảy phía thượng lưu

tác động lớn đến mũi Cù lao Phố với tốc độ sạt lở trung bình đạt 1,83 m/năm. Đây là tốc độ sạt lở rất lớn, có thể tác động đến hình dạng của cù lao Phố.

b) Phân tích diễn biến đường bờ đoạn từ ngã ba sông xuống dưới đoạn ngã ba nhập lưu.

+ Đối với đoạn từ ngã ba sông xuống dưới ngã ba nhập lưu, vị trí cách cầu Ghềnh khoảng 550m về phía hạ lưu, bờ hữu bị xói với tốc độ bình quân khoảng $\Delta Z=1,1m-1,3m$.

Tại vị trí cách cầu Ghềnh khoảng 170 m về phía hạ lưu, do đặc điểm lòng sông bên bờ tả lòng sông sâu và dốc, phía bờ hữu giai đoạn từ 1990-1999 bị xói với tốc độ lớn nhất đạt 0,6 m/năm. Đến giai đoạn từ năm 2008 đến nay, mức độ thay đổi đường bờ đối với bờ hữu trung bình đạt 0,4 m/năm.

+ Vị trí khu vực Cù Lao Phố cách cầu Ghềnh về phía hạ lưu khoảng 1200 m, phía bờ tả có sự dịch chuyển đường bờ lớn nhất đạt 17,8 m trong vòng 28 năm, tốc độ dịch chuyển đạt 0,63 m/năm.

Dựa trên bản đồ diễn biến lòng dẫn, tiến hành đánh giá, phân tích và xác định một số quy luật diễn biến cần thiết cho từng khu vực cụ thể phục vụ cho công tác dự báo: Tốc độ và quy mô xói bồi hai bên bờ tả và hữu, tốc độ diễn biến xói khu vực cù lao. Quy mô, tốc độ sạt lở bờ và vị trí sạt lở tại khu vực nghiên cứu trong giai đoạn từ 1988 đến 2016, được ghi trong bảng sau:

Bảng 4. Kết quả tính toán bồi, xói của khu vực nghiên cứu.

Vị trí	Bờ sông	Chiều rộng sạt lở sâu vào bờ lớn nhất (m)	Tốc độ sạt lở trung bình (m/năm)
Khu vực đầu Cù Lao Phố thuộc phần hạ lưu khu vực dự án	Tả	17,7	0,63
Khu vực mom Cù Lao Phố		51,4	1,83
Khu vực Cù Lao Phố cách cầu Ghềnh về phía hạ lưu khoảng 550m	Hữu		1,1
Khu vực Cù Lao Phố cách cầu Ghềnh về phía hạ lưu khoảng 1200m	Tả	17,8	0,63
Khu vực thượng lưu cầu Bửu Hòa cách cầu khoảng 100m	Tả	16,3	0,58

3.2. Phân tích diễn biến lòng dẫn từ mô hình thủy lực

3.2.1. Thiết lập phương án tính toán

Nghiên cứu giả thiết các phương án tính toán diễn biến lòng dẫn dựa trên các hiện trạng địa hình khác nhau:

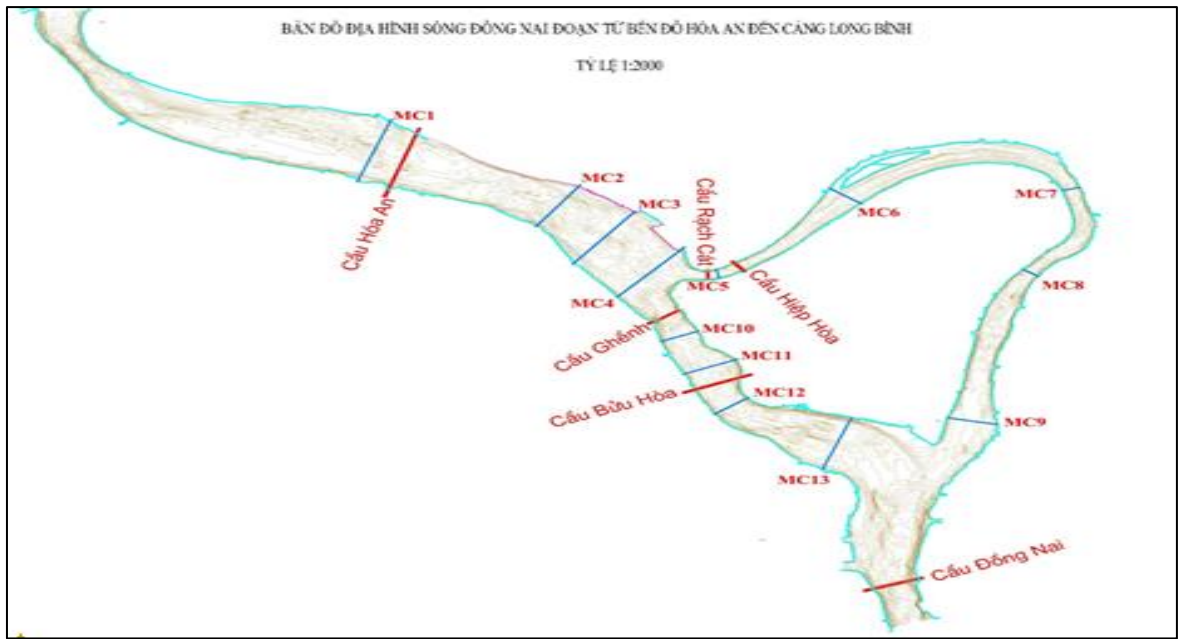
- Hiện trạng số liệu địa hình 2008 do Viện KHTL Miền Nam khảo sát đo đạc từ cầu Hóa An đến cảng Long Bình với tỷ lệ chi tiết 1:5000, trong đoạn nghiên cứu chỉ có 4 cầu là cầu Hóa An, cầu Ghềnh, cầu Rạch Cát và cầu Đồng Nai.

- Hiện trạng lần sông của dự án [16] với số liệu địa hình 2016 do Viện KHTL Miền Nam khảo sát đo đạc từ cầu Hóa An đến cảng Long Bình với tỷ lệ chi tiết 1:2000, trong đoạn nghiên cứu có 6 cầu là cầu Hóa An, cầu Ghềnh, cầu Rạch Cát, cầu Bửu Hòa, cầu Hiệp Hòa và cầu Đồng Nai.

- Đối với lòng dẫn trong sông thì lưu lượng tạo lòng là yếu tố ảnh hưởng nhiều nhất đến lòng dẫn. Vì vậy ta có thể xem xét đến giả thiết tính toán diễn biến lòng dẫn với kịch bản lưu lượng tạo lòng.

3.2.2. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình hai chiều MIKE 21C

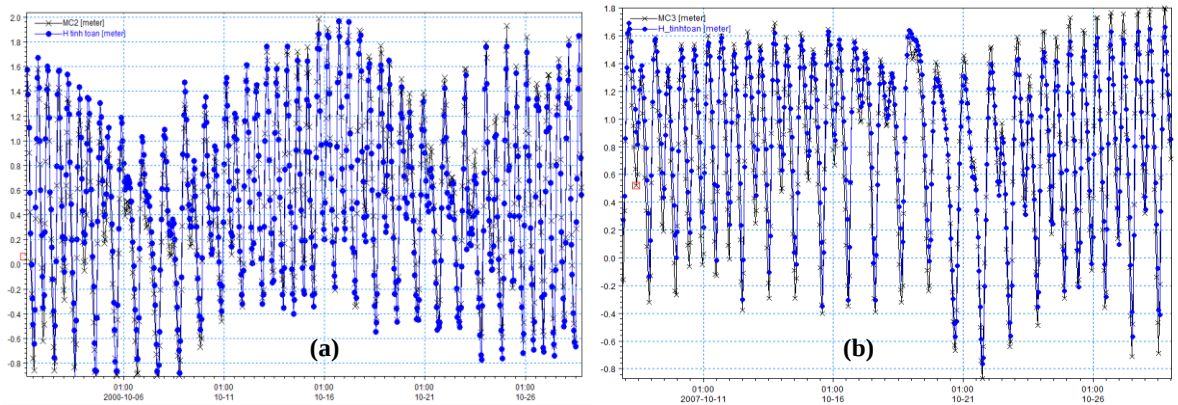
Do điều kiện không có dữ liệu thực đo mực nước tại đoạn sông nghiên cứu vì thế đồ án đã lựa chọn hiệu chỉnh, kiểm định với kết quả mực nước tại một số mặt cắt từ MIKE 11. Trên đoạn sông từ cầu Hóa An đến cầu Ghềnh, nghiên cứu đã lựa chọn hiệu chỉnh kiểm định mực nước với hai mặt cắt 2 và 3 như hình 8.



Hình 7. Bản đồ mặt cắt sử dụng trong mô hình MIKE 21C.

Bảng 5. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình 2 chiều.

STT	Mặt cắt	Hiệu chỉnh			Kiểm định		
		Δ đỉnh max (m)	Δ chân max (m)	Nash	Δ đỉnh max (m)	Δ chân max (m)	Nash
1	MC2	0,28	0,22	0,94	0,16	0,22	0,93
2	MC3	0,38	0,27	0,92	0,24	0,3	0,91



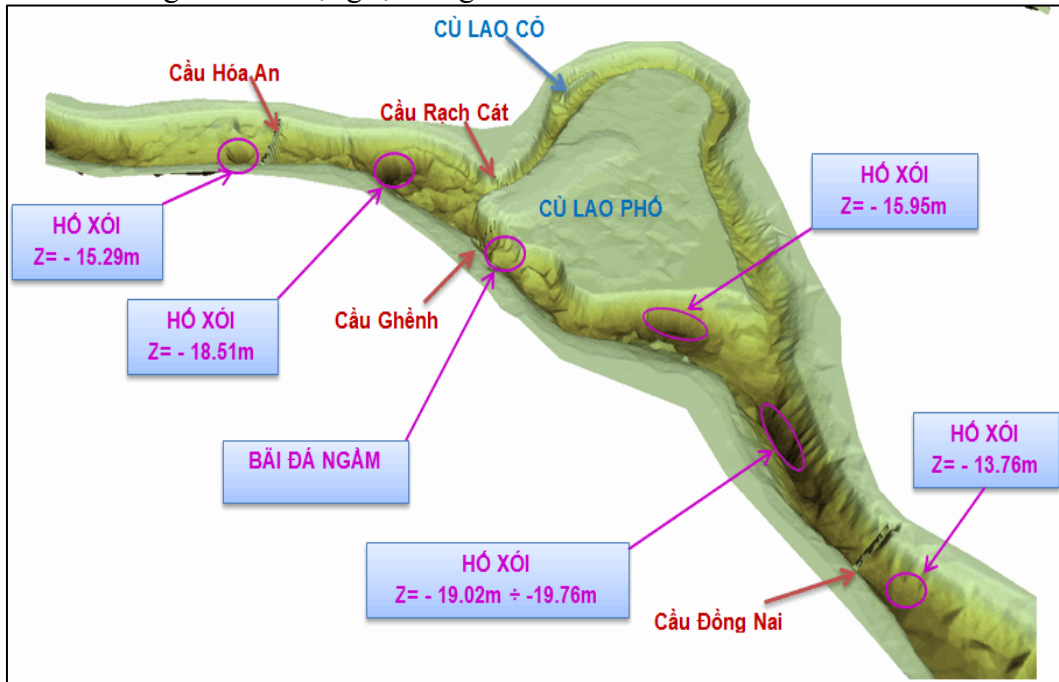
Hình 8. Kết quả hiệu chỉnh mực nước ở mặt cắt 2 (a) và kiểm định mực nước ở mặt cắt 3 (b).

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE 21C cho chỉ tiêu Nash khá tốt ($Nash > 0,8$) đỉnh lũ và quá trình mực nước trong cả 2 trường hợp đều khá phù hợp, sai số chênh lệch mực nước lớn nhất đều đảm bảo tiêu chuẩn sai số cho phép. Mực nước và lưu lượng nhỏ nhất mùa lũ chênh lệch không nhiều.

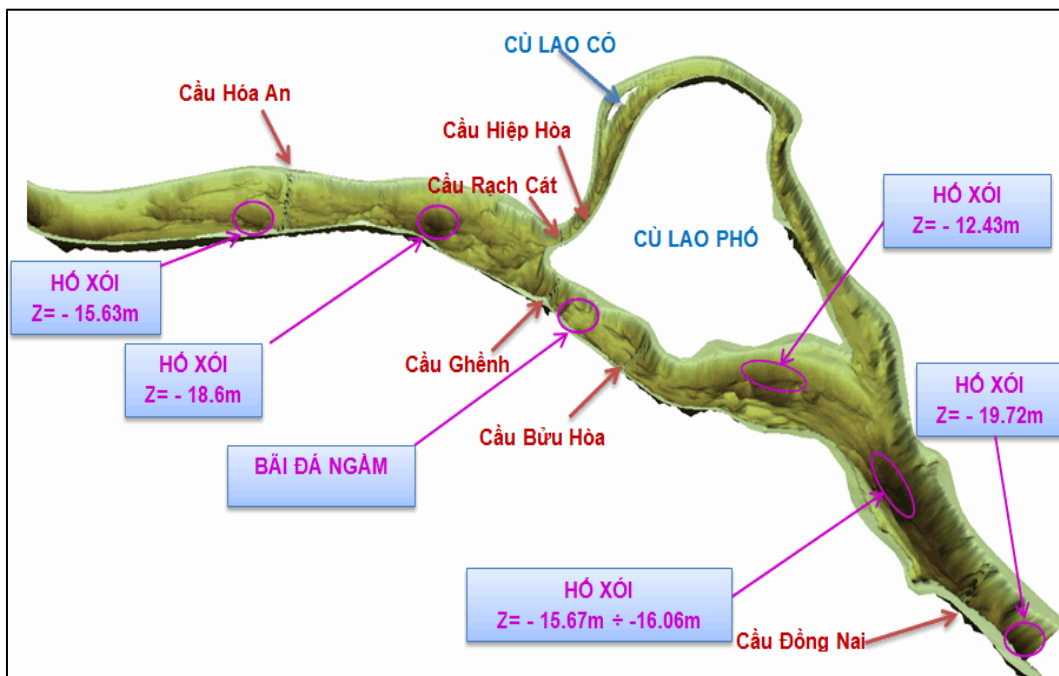
3.2.3. Kết quả diễn biến lòng dẫn ứng với lưu lượng tạo lòng.

Nghiên cứu này đề xuất chọn lưu lượng tạo lòng để đánh giá sự thay đổi lòng dẫn lớn nhất. Việc sử dụng lưu lượng tạo lòng để dự báo diễn biến lòng sông này khá đơn giản tuy nhiên hạn chế của nó là không mô phỏng được sự thay đổi của các cấp dòng chảy khác nhau, sự dao động của mực nước, sự thay đổi về vận tốc và lưu lượng trong năm, những yếu tố gây ảnh hưởng đến sự bồi xói lòng sông. Do vậy kết quả tính toán với hướng này chỉ cho thấy được những thay đổi mang tính trung bình và ý nghĩa của nó chỉ mang tính định hướng về

xu thế diễn biến của đoạn sông. Từ dữ liệu tại trạm thủy văn, lưu lượng tạo lòng được tính toán với $Q_{tl} = 3950 \text{ m}^3/\text{s}$ tương ứng với 3 tháng mùa lũ. Kết quả lòng dẫn theo hiện trạng 2008 và 2016 ứng với lưu lượng tạo lòng:



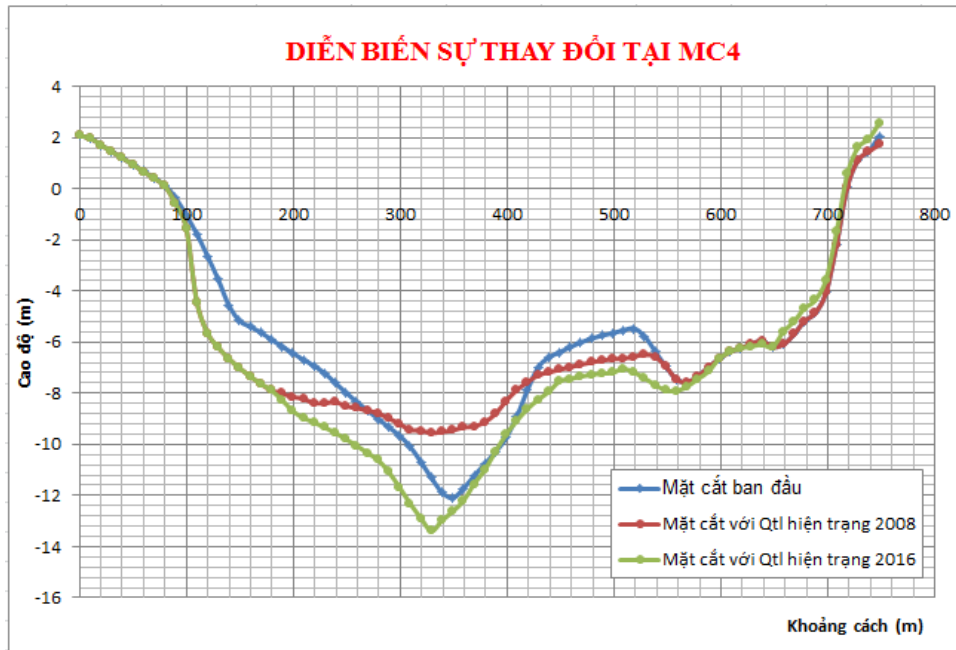
Hình 9. Diễn biến lòng dẫn khu vực nghiên cứu theo hiện trạng 2008.



Hình 10. Diễn biến lòng dẫn khu vực nghiên cứu theo hiện trạng 2016.

So sánh kết quả lòng dẫn giữa hiện trạng 2008 với 2016 ta thấy, thượng lưu vị trí mở rộng bãi ven sông không có sự khác biệt, tuy nhiên phía hạ lưu vị trí công trình đã có sự thay đổi rõ rệt. Ngay phía dưới hạ lưu cầu Bửu Hòa, hiện trạng năm 2008 hố xói sâu 15,95 m, tuy nhiên đến hiện trạng 2016 thì đã có sự bồi lớn, hố xói chỉ còn 12,43 m. Đoạn trước cầu Đồng Nai cũng có xu hướng tương tự như phía dưới hạ lưu cầu Bửu Hòa, năm 2008 là 19,76 m nhưng đến hiện trạng 2016 thì bồi chỉ còn 16,06 m.

Kết quả diễn biến lòng dẫn ứng với lưu lượng tạo lòng cho thấy sự biến đổi mạnh trong lòng dẫn trong vòng 3 tháng mùa lũ. Xem xét tác động của công trình mở rộng bãi ven sông đến sự biến đổi lòng dẫn đoạn sông hạ lưu phía dưới, ta xem xét sự thay đổi tại mặt cắt 4 theo hai hiện trạng 2008 và 2016 ứng với sự biến đổi của lưu lượng tạo lòng, trước và sau khi có công trình.



Hình 11. Diễn biến thay đổi lòng dẫn.

Bảng 6. So sánh sự thay đổi MC4 theo 2 hiện trạng.

Mặt cắt	Các kịch bản	Bờ hữu (m)	Lòng sông(m)	Bờ tả(m)
MC4	Hiện trạng 2008	-1.8	+2.3	
	Hiện trạng 2016	-2	-1.4	+0.3

Từ kết quả so sánh giữa 2 kịch bản ứng với 2 hiện trạng 2008 và 2016 tại MC4, bên bờ hữu đều có xu hướng xuất hiện xói, nguyên nhân là do ở vị trí này gần ngay đoạn sông phân lạch, dòng chảy có xu hướng lệch bên bờ hữu để đi vào đoạn phân lạch Rạch Cát, tuy nhiên đối với lòng sông hiện trạng 2008 có xu thế bồi nhẹ nhưng theo hiện trạng 2016 có xu hướng xói. Điều đó cho thấy tác động của công trình ngay đoạn gần ngã ba sông có ảnh hưởng đến lòng dẫn trong sông, đặc biệt là phía hạ lưu [7].

4. Kết luận

Để giúp cho việc đánh giá tính ổn định lòng dẫn sông Đồng Nai dưới tác động của các khu đô thị, các công trình ven sông cần có đánh giá cụ thể diễn biến đoạn sông trong quá khứ, dự báo diễn biến lòng dẫn trong tương lai để xác định hành lang an toàn sạt lở; định hướng quy hoạch và chỉnh trị sông khu vực hạ du sông Đồng Nai Sài Gòn tại các khu vực xói bồi trọng điểm.

Nghiên cứu đã ứng dụng công nghệ ảnh viễn thám để đánh giá đường bờ đoạn từ cầu Hóa An đến cầu Ghềnh trong giai đoạn từ năm 1988 đến nay và ứng dụng mô hình toán MIKE 21C dự báo diễn biến lòng dẫn khu vực sông Đồng Nai đoạn từ cầu Hóa An đến cầu Ghềnh dưới tác động của các khu đô thị mới mở ven sông. Kết quả tính toán cho thấy tại vị trí đầu Cù Lao Phố thuộc phần hạ lưu khu vực mở rộng bãi sông đây là vị trí dòng chảy phân lạch, có hiện tượng xói. Sự dịch chuyển đường bờ lớn nhất trong đoạn này là 17,7 m với tốc độ sạt lở là 0,63 m/năm. Tại vị trí cách cầu Ghềnh khoảng 170 m về phía hạ lưu, do đặc điểm lòng sông bên bờ tả lòng sông sâu và dốc, phía bờ hữu giai đoạn từ 1990-1999 bị xói với tốc

độ lớn nhất là 0,6 m/năm. Đến giai đoạn từ năm 2008 đến nay, sự thay đổi đường bờ đối với bờ hữu trung bình đạt 0,4 m/năm. Khu vực thượng lưu cầu Bửu Hòa cách cầu khoảng 100 m sự dịch chuyển đường bờ lớn nhất trong đoạn này là 17,7 m.

Nghiên cứu cũng đã ứng dụng được mô hình MIKE 21C dự báo diễn biến lòng dẫn khu vực đoạn sông cong đoạn từ cầu Hóa An đến cầu Ghềnh dưới tác động của các khu đô thị mới mở ven sông. Việc hiệu chỉnh và kiểm định bộ thông số của mô hình được thực hiện qua các mặt cắt khác nhau với chỉ số đánh giá sai số Nash đều khá tốt ($> 0,8$). Qua đó đã xây dựng được bộ thông số sơ bộ ban đầu nhằm phục vụ cho bài toán dự báo diễn biến lòng dẫn ứng với hai hiện trạng trước khi có công trình và sau khi có công trình. Nhìn chung kết quả đạt được cho thấy khi mở rộng bãi ven sông thì có ảnh hưởng đối với biến động lòng dẫn trong đoạn sông từ cầu Hóa An xuống đến hạ lưu cầu Đồng Nai.

Nói chung, các phương án tính toán được xây dựng nhằm phục vụ cho công tác khai thác và quản lý của địa phương đặc biệt khu vực dân sinh ven sông Đồng Nai, từ đó có các biện pháp khắc phục để đảm bảo phát triển bền vững kinh tế, xã hội cũng như tài nguyên nước của sông Đồng Nai.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: Đ.T.L., P.Đ.K., T.V.N.; Xử lý số liệu: Đ.T.L., P.Đ.K., T.V.N.; Viết bản thảo bài báo: Đ.T.L., P.Đ.K., T.V.N.; Góp ý bài báo: Đ.T.L., P.Đ.K., T.V.N.

Lời cảm ơn: Nhóm nghiên cứu cảm ơn các đồng nghiệp tại các đơn vị nghiên cứu đã tham gia thảo luận và những người dân đã tham gia trả lời phỏng vấn.

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. Tran, T.V.; Xuan, A.T.T.; Nguyen, P.H.; Dahdouh-Guebas, F.; Koedam, N. Application of remote sensing and GIS for detection of long-term mangrove shoreline changes in Mui Ca Mau, Vietnam. *Biogeosciences* **2014**, *11*(14), 3781–3795. Doi:10.5194/bg-11-3781-2014.
2. Thinh, N.A.; Hens, L. A Digital Shoreline Analysis System (DSAS) applied on mangrove shoreline changes along the Giao Thuy coastal area (Nam Dinh, Vietnam) during 2005-2014. *VN J. Earth Sci.* **2017**, *39*(1), 87–96. Doi:10.15625/0866-7187/39/1/9231.
3. Muskananfol, M.R.; Febrianto, S.S. Spatio-temporal analysis of shoreline change along the coast of Sayung Demak, Indonesia using digital shoreline analysis system. *Reg. Stud. Mar. Sci.* **2020**, *34*, 101060. Doi: 10.1016/j.rsma.2020.101060.
4. Ford, M. Shoreline changes interpreted from multi-temporal aerial photographs and high resolution satellite images: Wotje Atoll, Marshall Islands. *Remote Sens. Environ.* **2013**, *135*, 130–140. Doi: 10.1016/j.rse.2013.03.027.
5. Esmail, M.; Mahmod, W.E.; Fath, H. Assessment and prediction of shoreline change using multi-temporal satellite images and statistics: Case study of Damietta coast, Egypt. *Appl. Ocean Res.* **2018**, *82*, 274–282. Doi: 10.1016/j.apor.2018.11.009.
6. Almonacid-Caballer, J.; Sánchez-García, E.; Pardo-Pascual, J.E.; Balaguer-Beser, A.A.; Palomar-Vázquez, J. Evaluation of annual mean shoreline position deduced from Landsat imagery as a mid-term coastal evolution indicator. *Mar. Geol.* **2016**, *372*, 79–88. Doi: 10.1016/j.margeo.2015.12.015.
7. Mutaqin, B.W. Shoreline changes analysis in kuwaru coastal area, yogyakarta, Indonesia: An application of the digital shoreline analysis system (DSAS). *Int. J. Sustain. Dev. Plan.* **2017**, *12*(7), 1203–1214. Doi:10.2495/SDP-V12-N7-1203-1214.
8. Baig, M.R.I.; Ahmad, I.A.; Tayyab, S.M.; Rahman, A. Analysis of shoreline changes in Vishakhapatnam coastal tract of Andhra Pradesh, India: an application of digital

- shoreline analysis system (DSAS). *Ann. GIS* **2020**, 26(4), 361–376. Doi: 10.1080/19475683.2020.1815839.
9. T. T. Vũ, “Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS nghiên cứu tai biến xói lở , bồi tụ đối ven biển Hải Phòng,” 2012.
 10. N. T. Luan, N. H. Son, and T. T. Tung, “Study on evolution of the cai river estuaries, nha trang using remote sensing data (period 1999-2013),” *J. Water Resour. Environ. Eng.*, vol. 45, no. January 2015, pp. 18–23, 2014.
 11. Đ. Đ. Đăng, “Đánh giá biến động bờ biển khu vực cửa sông Thu Bồn bằng công nghệ viễn thám và GIS,” *Tạp chí viện khoa học Thủy Lợi miền Trung và Tây Nguyên*.
 12. Morianou, G.G.; Kourgialas, N.N.; Karatzas, G.P.; Nikolaidis, N.P. Hydraulic and sediment transport simulation of Koiliaris river using the MIKE 21C model. *Procedia Eng.* **2016**, 162, 463–470. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.089.
 13. Đăng, H.T. Nghiên cứu tính toán dự báo sạt lở bờ sông dựa trên mô hình MIKE C và phần mềm GEOSLOPE (Áp dụng cho đoạn sông Đuống đoạn từ Đồng Viên đến Đông Đoài). *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2011**, 3, 52–55.
 14. Đăng, H.T. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mới - Mike 21C vào đánh giá, dự báo biến động lòng dẫn ở một số trọng điểm thuộc hệ thống sông Hồng. 2008, tr. 21.
 15. Hoàng, V.; Đăng, H.T. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mới - mô hình MIKE 21C vào đánh giá, dự báo biến động lòng dẫn ở một số trọng điểm thuộc hệ thống sông Hồng, miền Bắc. 2014, tr. 21.
 16. UBND tỉnh Đồng Nai. Dự án cải tạo cảnh quan và phát triển đô thị ven sông Đồng Nai thuộc phường Quyết Thắng, Tp. Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai, 2014.
 17. Ngọc, L.Đ. Tổ hợp màu để giải đoán ảnh vệ tinh Landsat 7 phục vụ hiệu chỉnh bản đồ địa hình 1:250.000, 2009.
 18. Daniels, R.C. Using ArcMap to Extract Shorelines from Landsat TM & ETM+. *Data Thirty-second ESRI Int. Users Conf. Proc.* 2012, pp. 1–23.
 19. Phong, D.H.; Thục, T.; Hà, L.P.; Anh, N.N. Phân tích biến động đường bờ khu vực Cà Mau bằng ảnh Landsat. Hội thảo khoa học Quốc gia về khí tượng Thủy văn, Môi trường và Biến đổi khí hậu lần thứ XVI, 2014, tr. 270-271.
 20. Viện Thủy lợi và Môi trường. Đánh giá tác động dòng chảy sông Đồng Nai đoạn từ cầu Hóa An tới cầu Ghềnh, 2009.

The combination of GIS remote sensing approach and mathematical modeling methods to describe the shoreline evolution of the Ghenh-bridge area, Dong Nai river

Viet-Nam To^{1,2}, Dai-Khanh Phung^{1,2}, Thi-Linh Dinh^{3*}

¹ Faculty of Geology and Petroleum Engineering, Ho Chi Minh city University of Technology; tovietnam@hcmut.edu.vn; phungdaikhanh@hcmut.edu.vn

² Vietnam National University in Ho Chi Minh city; tovietnam@hcmut.edu.vn; phungdaikhanh@hcmut.edu.vn

³ Sejong University, Seoul, Republic of Korea; dinhthilinh682@gmail.com

Abstract: Assessing changes in river banks before building embankments and predicting changes in river channels when embankments are installed is extremely important in urban planning, construction and operation. In recent times, remote sensing technology has emerged as an extremely useful solution that provides us with spatial and temporal image data with high resolution. This article introduces a result of research, evaluation, and description of the shoreline evolution of the Dong Nai River, Ghenh-bridge area from remote sensing image data, using the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) and models of numerical modeling of MIKE 21C in the period from 1988 to 2016 to predict future

reverbed developments. Research results show that the average landslide rate is about 0.6 meters/year, however, the Cu Lao Pho tip area reaches 1.83 meters/year. The results of the evolution of the channel corresponding to the flow creating the channel show the possibility of strong erosion near the location in front of the Ghenh bridge when implementing the project to improve the landscape and develop urban areas along the Dong Nai river. The results obtained from the study can be used to predict future bed development and channel changes under the influence of river embankments.

Keywords: Remote sensing; GIS; Mathematical model; MIKE 21C; Shoreline evolution.