

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Journal of Hydro - Meteorology

ISSN 2525 - 2208



TỔNG CỤC KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration

Số 754

10-2023



Q. TỔNG BIÊN TẬP

PGS. TS. Đoàn Quang Trí

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. GS. TS. Trần Hồng Thái | 14. PGS. TS. Mai Văn Khiêm |
| 2. GS. TS. Trần Thực | 15. PGS. TS. Nguyễn Bá Thủy |
| 3. GS. TS. Mai Trọng Nhuận | 16. TS. Tống Ngọc Thanh |
| 4. GS. TS. Phan Văn Tân | 17. TS. Đinh Thái Hưng |
| 5. GS. TS. Nguyễn Kỳ Phùng | 18. TS. Võ Văn Hòa |
| 6. GS. TS. Phan Đình Tuấn | 19. TS. Nguyễn Đắc Đồng |
| 7. GS. TS. Nguyễn Kim Lợi | 20. GS. TS. Kazuo Saito |
| 8. PGS. TS. Nguyễn Văn Thắng | 21. GS. TS. Jun Matsumoto |
| 9. PGS. TS. Dương Văn Khảm | 22. GS. TS. Jaecheol Nam |
| 10. PGS. TS. Dương Hồng Sơn | 23. TS. Keunyong Song |
| 11. TS. Hoàng Đức Cường | 24. TS.. Lars Robert Hole |
| 12. TS. Bạch Quang Dũng | 25. TS. Sooyoul Kim |
| 13. PGS. TS. Đoàn Quang Trí | |

Giấy phép xuất bản

Số: 225/GP-BTTTT - Bộ Thông tin Truyền thông cấp ngày 08/6/2015

Tòa soạn

Số 8 Pháo Đài Láng, Đống Đa, Hà Nội
Điện thoại: 024.39364963
Email: tapchikttv@gmail.com

Chế bản và In tại:

Công ty TNHH sản xuất và in bao bì Thiên Hà
ĐT: 0243.562.4399

Ảnh bìa: Trạm Quan trắc Khí tượng bề mặt Phú Quốc

Giá bán: 40.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

SỐ 754 - 10/2023

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- 1 Đỗ Hữu Tuấn, Đoàn Phương Anh:** Đánh giá mức độ phú dưỡng tại một số hồ nội thành tại quận Hai Bà Trưng, thành phố Hà Nội
- 9 Phan Võ Tiểu Phương, Phạm Thị Hồng Hạnh, Bùi Tá Long:** Ứng dụng viễn thám, GIS đánh giá phạm vi và mức độ xói lở bờ biển Đồng bằng sông Cửu Long, đoạn từ Tiền Giang đến Sóc Trăng
- 26 Văn Hữu Huệ:** Giải pháp công trình khắc phục sạt lở cồn Thanh Long
- 44 Nguyễn Đại Trung, Nguyễn Anh Đức, Nguyễn Trung Việt, Nguyễn Bách Tùng:** Nghiên cứu phát triển bộ chỉ số đánh giá mức độ khan hiếm nước đô thị phù hợp cho thành phố Đà Nẵng
- 59 Trần Bảo Chung, Trần Anh Phương, Trần Thị Diệu Hằng, Nguyễn Nam Anh, Hoàng Thị An, Siliennis Blanco Campbell:** Nghiên cứu khả năng sử dụng số liệu mưa vệ tinh độ phân giải cao trong mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông thiếu số liệu
- 71 Trần Quốc Cường, Dương Hồng Sơn, Lê Xuân Tuấn:** Đa dạng thực vật ngập mặn và ảnh hưởng của nước biển dâng đến thực vật ngập mặn ở huyện Thạnh Phú và huyện Bình Đại, tỉnh Bến Tre
- 79 Văn Hữu Huệ:** Phân tích, xác định nguyên nhân và đề xuất giải pháp công trình chống sạt lở bờ sông Vàm Cỏ Tây
- 101 Ninh Thu Trang, Nguyễn Quang Minh, Nguyễn Thái Sơn, Nguyễn Minh Hải, Nguyễn Anh Ngọc:** Nghiên cứu diễn biến đường bờ và quá trình xói lở - bồi tụ dải ven biển thành phố Đà Nẵng

Bài báo khoa học

Đánh giá mức độ phú dưỡng tại một số hồ nội thành tại quận Hai Bà Trưng, thành phố Hà Nội

Đỗ Hữu Tuấn^{1*}, Đoàn Phương Anh¹

¹ Khoa môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân Hà Nội; tuandh@vnu.edu.vn; doanphuonganh_t64@hus.edu.vn

*Tác giả liên hệ: tuandh@vnu.edu.vn; Tel.: +84-2438584995

Ban Biên tập nhận bài: 10/7/2023; Ngày phản biện xong: 31/8/2023; Ngày đăng bài: 25/10/2023

Tóm tắt: Phú dưỡng là hiện tượng ô nhiễm nước mặt điển hình tại các hồ trong thành phố gây ảnh hưởng tới mỹ quan, sức khỏe người dân sống xung quanh. Nghiên cứu tiến hành đánh giá mức độ phú dưỡng tại 5 hồ thuộc quận Hai Bà Trưng nội thành Hà Nội qua nồng độ tổng phốt pho (TP) và nồng độ diệp lục a (Chl-a), kết hợp chỉ số phú dưỡng Carlson. Kết quả nghiên cứu cho thấy nồng độ TP tại các hồ giao động từ 0,277 (mg/l) đến 1,322 (mg/l), nồng độ Chl-a giao động từ 0,1 đến 0,244 mg/l. Cả 5 hồ khu vực nghiên cứu gồm hồ Quỳnh (TSI = 80), hồ Thanh Nhàn (TSI = 79), hồ Bảy Mẫu (TSI = 90), hồ Hai Bà Trưng (TSI = 77), hồ Thiên Quang (TSI = 86) đều ở mức siêu phú dưỡng (Hypereutrophic TSI > 70). Nghiên cứu cho thấy các hoạt động của người dân sống xung quanh hồ là nguyên nhân chính gây phú dưỡng nước hồ.

Từ khóa: Phú dưỡng; Hồ nội thành Hà Nội; Chỉ số phú dưỡng; Ô nhiễm hồ nội thành Hà Nội.

1. Mở đầu

Cùng với sự phát triển của các đô thị, các hồ trong nội thành cũng chịu nhiều áp lực về tiếp nhận các nguồn nước xả thải vào trong hồ gây ra ô nhiễm các hồ nghiêm trọng. Phú dưỡng là một trong những loại hình ô nhiễm điển hình tại các hồ trong nội thành gây tác động xấu tới hệ sinh thái hồ, tạo ra mùi khó chịu, mất mỹ quan đô thị.

Theo nghiên cứu của Ủy ban môi trường hồ quốc tế, có tới 40-50% các hồ trên thế giới bị phú dưỡng từ những năm đầu của thập kỷ 90 [1]. Phú dưỡng là biểu hiện rõ ràng nhất của vấn đề ô nhiễm môi trường nước mặt, đặc biệt là nước hồ. Chính vì thế phú dưỡng là vấn đề môi trường được quan tâm nghiên cứu trên thế giới. Các chất ô nhiễm phát sinh trong cuộc sống phát triển hiện nay, đặc biệt là chất ô nhiễm đến từ sinh hoạt là một trong những nguyên nhân gây ra hiện tượng phú dưỡng ở các hồ trong nội thành. Các nghiên cứu trên thế giới cho thấy, các hồ nội thành thường có mức độ phú dưỡng cao hơn các hồ ngoại thành, các hồ thủy lợi, thủy điện [2–6]. Điều này được xác định là do các hoạt động sinh hoạt của người dân nội thành xả nước thải chưa qua xử lý ra hồ dẫn tới nồng độ các chất dinh dưỡng tăng cao gây phú dưỡng [7]. Để đánh giá mức độ phú dưỡng, chỉ số phú dưỡng do Carlson phát triển [8] năm 1977 dựa trên 3 chỉ số phụ là chỉ số tổng phốt pho (TSI_{TP}), chỉ số về nồng độ diệp lục a (TSI_{Chla}) và chỉ số độ sâu đĩa Secchi (TSI_{SD}). Phương pháp tính chỉ số phú dưỡng Carlson đã được áp dụng rộng rãi trên thế giới để đánh giá mức độ phú dưỡng của nước hồ [6, 7, 9–11].

Tại Việt nam, nghiên cứu về mức độ phú dưỡng của các hồ cũng được tiến hành như nghiên cứu năm 2018 tại hồ Cự Chính, Hà Nội cho thấy hồ đang ở tình trạng phú dưỡng

nghiêm trọng và photpho là chất dinh dưỡng hạn chế sự phát triển của tảo còn nitơ chỉ có trong một số thời điểm trong các tháng mùa mưa [12–13]. Nghiên cứu tại hồ Hoàn Kiếm cho thấy hàm lượng Chl-a của nước hồ dao động trong khoảng 114,8 µg/l đến hơn 700 µg/l, Giá trị TSI(Chl-a) dao động ở mức từ 77 đến 95 tương ứng với mức siêu phú dưỡng [14]. Một nghiên cứu nhằm xác định hiện trạng phú dưỡng của hồ chứa Quan Sơn (Mỹ Đức) năm 2023 cho thấy hồ chứa Quan Sơn đang ở mức phú dưỡng cao với giá trị TSI > 60 [15]. Một nghiên cứu khác thực hiện tại 8 hồ trong Kinh thành Huế cho thấy hầu hết các hồ đều ở mức siêu phú dưỡng [16].

Quận Hai Bà Trưng là một quận trung tâm nội thành Hà Nội, các hoạt động phát triển kinh tế và sinh hoạt của người dân diễn ra mạnh mẽ. Các hồ trong quận Hai Bà Trưng đóng vai trò quan trọng trong việc tạo cảnh quan môi trường, điều hòa khí hậu khu vực. Các nghiên cứu về phú dưỡng tại Hà Nội nói chung và tại quận Hai Bà Trưng nói riêng còn hạn chế. Do đó việc đánh giá hiện trạng phú dưỡng của các hồ trong quận Hai Bà Trưng có ý nghĩa rất lớn đối với công tác quản lý chất lượng nước hồ trong khu vực cũng như nâng cao ý thức bảo vệ môi trường nước hồ. Các mục tiêu của nghiên cứu bao gồm: (1) Đánh giá được nồng độ của các thông số gây phú dưỡng nước hồ bao gồm tổng photpho (TP), nồng độ diệp lục a (Chl-a); (2) Đánh giá mức độ phú dưỡng các hồ thông qua chỉ số phú dưỡng Carlson.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Vị trí quan trắc

Nghiên cứu được thực hiện tại 5 hồ lớn có vai trò quan trọng trên địa bàn quận Hai Bà Trưng bao gồm: hồ Quỳnh, hồ Thanh Nhàn, hồ Bảy Mẫu, hồ Hai Bà Trưng, hồ Thiên Quang (Hình 1).

Bảng 1. Vị trí các điểm lấy mẫu nước mặt.

TT	Địa điểm	Ký hiệu mẫu	Tọa độ
1.	Hồ Quỳnh	L1	21°00'18.9"N 105°51'12.9"E
2.	Hồ Thanh Nhàn	L2	21°00'24.7"N 105°51'24.5"E
3.	Hồ Bảy Mẫu	L3	21°00'40.6"N 105°50'34.2"E
4.	Hồ Hai Bà Trưng	L4	21°00'44.7"N 105°51'21.8"E
5.	Hồ Thiên Quang	L5	21°01'03.1"N 105°50'44.9"E

2.2. Phương pháp lấy mẫu, bảo quản và phân tích mẫu

Phương pháp lấy mẫu và bảo quản thực hiện theo hướng dẫn của QCVN 08:2023/BTNMT. Mẫu nước được lấy thành 2 đợt tháng 3 và tháng 4 năm 2023. Mẫu sau khi được lấy, bảo quản và chuyển về phân tích photpho tổng số (TP) và nồng độ diệp lục a (Chl-a). Độ sâu đĩa Secchi (SD) được đo tại hiện trường khu vực nghiên cứu tại thời điểm lấy mẫu.

2.3. Phương pháp tính chỉ số phú dưỡng Carlson

Chỉ số phú dưỡng được TSI Carlson được tính toán dựa trên 3 thông số tổng photpho (TP), nồng độ diệp lục a (Chl-a), và độ sâu đĩa Secchi (SD).

$$TSI(SD) = 10 \left(6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right) \tag{1}$$

$$TSI(Chl) = 10 \left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln Chl}{\ln 2} \right) \tag{2}$$

$$TSI(TP) = 10 \left(6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2} \right) \tag{3}$$

TSI tổng hợp được tính theo công thức:

$$TSI = \frac{TSI(SD) + TSI(Chl) + TSI(TP)}{3} \tag{4}$$

Kết quả tính toán TSI so sánh với mức phân loại phú dưỡng theo TSI của Carlson: TSI < 30 hồ thiếu dinh dưỡng, 30 ≤ TSI < 50 hồ có mức dinh dưỡng trung bình, 50 ≤ TSI ≤ 70 hồ bị phú dưỡng, TSI > 70 hồ siêu phú dưỡng.



Hình 1. Vị trí lấy mẫu khu vực nghiên cứu.

2.4. Phương pháp xử lý dữ liệu

Các kết quả quan trắc được đưa vào xử lý thống kê sử dụng phần mềm lập trình R với gói nâng cao Psych để phân tích tương quan giữa các thông số quan trắc.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Nồng độ TP, Chl-a, và SD trong nước hồ khu vực nghiên cứu

Kết quả nghiên cứu cho thấy, nồng độ TP tại 5 hồ nghiên cứu đều rất cao (Bảng 2). Trong đó 3 hồ: hồ Quỳnh, hồ Thanh Nhân, hồ Hai Bà Trưng nồng độ TP đều nằm ở mức chất lượng nước loại B (< 0,3 mg/l) theo QCVN 08:2023/BTNMT trong khi đó 2 hồ Thuyền Quang và Bảy Mẫu chất lượng nước đạt mức loại D với nồng độ TP vượt mức loại C từ 1,88 đến 2,64 lần với nồng độ lần lượt là 0,94 và 1,32 mg/l (Hình 2).

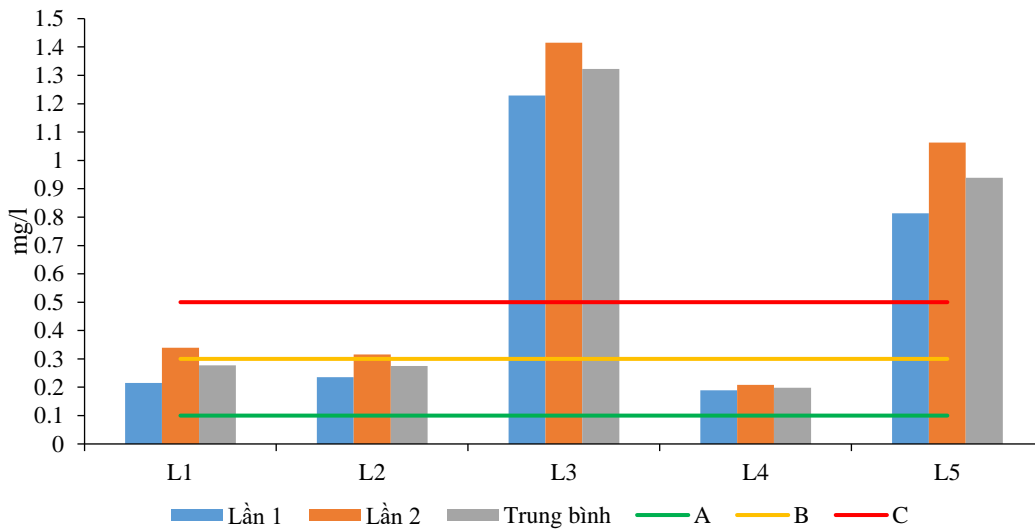
Đối với nồng độ Chl-a, cả 5 hồ đều nằm ở mức chất lượng nước loại D (Chl-a > 0,07 mg/l). Nồng độ trung bình của Chl-a tại khu vực nghiên cứu đều cao hơn từ 1,9 đến 3,5 lần so với mức chất lượng nước loại C theo QCVN 08:2023/BTNMT.

Bảng 2. Nồng độ TP, Chl-a, độ sâu SD khu vực nghiên cứu.

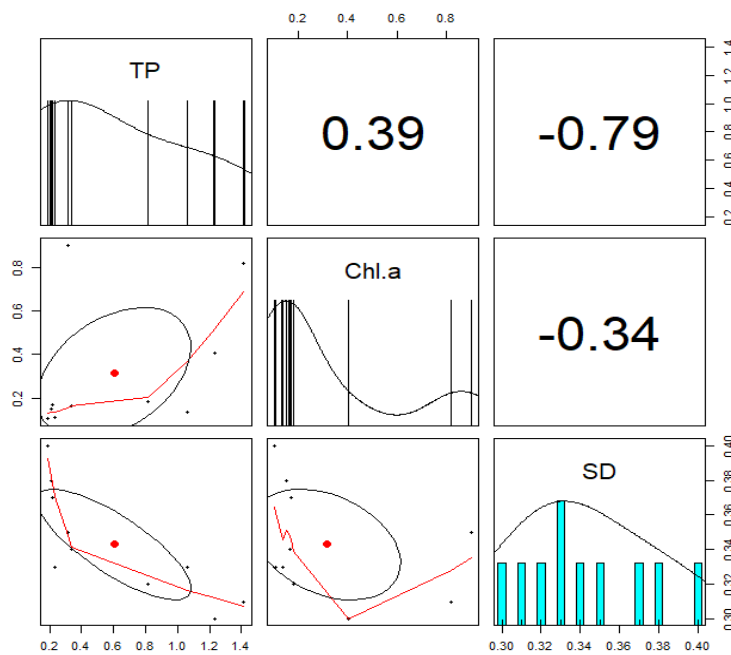
TT	Địa điểm	Lần 1			Lần 2			Trung bình		
		TP (mg/l)	Chl-a (mg/l)	SD (m)	TP (mg/l)	Chl-a (mg/l)	SD (m)	TP (mg/l)	Chl-a (mg/l)	SD (m)
1.	L1	0,215	0,172	0,37	0,339	0,166	0,34	0,277	0,169	0,355
2.	L2	0,235	0,111	0,33	0,316	0,90	0,35	0,2755	0,1005	0,34
3.	L3	1,229	0,406	0,3	1,415	0,82	0,31	1,3222	0,244	0,305
4.	L4	0,189	0,107	0,4	0,208	0,153	0,38	0,1985	0,130	0,39
5.	L5	0,814	0,183	0,32	1,063	0,137	0,33	0,9385	0,160	0,325

Trong các hồ được nghiên cứu, hồ Bảy Mẫu có nồng độ TP cao nhất trung bình 1,322 mg/l, tiếp theo là hồ Thiên Quang 0,9385 mg/l, các hồ còn lại ở mức từ 0,198 mg/l đến 0,277 mg/l. Hồ Bảy Mẫu và hồ Thiên Quang có nồng độ TP cao do các hồ này tiếp nhận nước thải từ các hoạt động của người dân xung quanh hồ. Do nồng độ TP cao dẫn tới nồng độ Chl-a của hai hồ Bảy mẫu và Thiên Quang cũng khá cao tương ứng 0,244 mg/l và 0,16 mg/l.

So sánh nồng độ TP và Chl-a trong nước mặt hồ nội thành tại khu vực nghiên cứu với một số hồ nội thành trên thế giới cho thấy các hồ nội thành nồng độ các chất dinh dưỡng đều ở mức cao. Nồng độ TP khu vực nghiên cứu giao động từ 0,1985-1,3222 mg/l, nồng độ Chl-a từ 0,1005-0,244 mg/l. Trong khi đó các hồ Hawassa tại Ethiopia nồng độ TP trung bình 0,317 mg/l, nồng độ Chl-a 0,0236 mg/l. Các hồ tại Haveri, Ấn Độ như hồ Akkamahadevi, hồ Dundibasaweshwar, hồ Mullankere, hồ Neharuhalkere và hồ Heggere đều có nồng độ TP ở mức cao tương ứng 8,26 mg/l, 4,73 mg/l, 8,94 mg/l, 4,20 mg/l, 3,04 mg/l. Nguyên nhân chính dẫn tới nồng độ TP tại các hồ trên ở Ấn Độ rất cao được xác định là do các hoạt động sinh hoạt của người dân xả trực tiếp xuống hồ không qua xử lý [17].



Hình 2. Nồng độ TP trong nước mặt khu vực nghiên cứu so với QCVN 08:2023/BTNMT với mức chất lượng nước hồ loại A, B và C.



Hình 3. Tương quan giữa TP, Chl-a, và SD trong nước hồ khu vực nghiên cứu.

Phân tích tương quan giữa nồng độ Chl-a với độ sâu của đĩa Secchi cho thấy (Hình 3), 2 thông số này tương quan nghịch với hệ số tương quan -0,34. Như vậy khi nồng độ Chl-a tăng thì độ sâu đĩa Secchi giảm. Tuy nhiên mức độ tương quan thấp ở mức -0,34 điều đó cho thấy ngoài yếu tố Chl-a ảnh hưởng tới độ sâu Secchi còn có các yếu tố khác ảnh hưởng tới độ sâu Secchi như chất rắn lơ lửng khác. Tương quan giữa TP và Chl-a là tương quan thuận, khi nồng độ TP tăng thì nồng độ Chl-a tăng (hệ số tương quan 0,39). Tuy nhiên cũng như tương quan giữa Chl-a và SD, tương quan giữa TP và Chl-a không mạnh. Như vậy ngoài TP còn yếu tố khác ảnh hưởng tới nồng độ Chl-a và điều này hoàn toàn phù hợp vì sự phát triển của tảo ảnh hưởng bởi cả nồng độ tổng nitơ trong nước. Tương quan giữa TP với SD là khá mạnh với hệ số tương quan -0,79. Khi TP tăng thì SD giảm và ngược lại. Điều này kết hợp với hệ số tương quan giữa Chl-a và SD cho thấy, trong nước hồ ngoài Chl-a ảnh hưởng tới SD còn có chất rắn lơ lửng có hàm lượng TP cao.

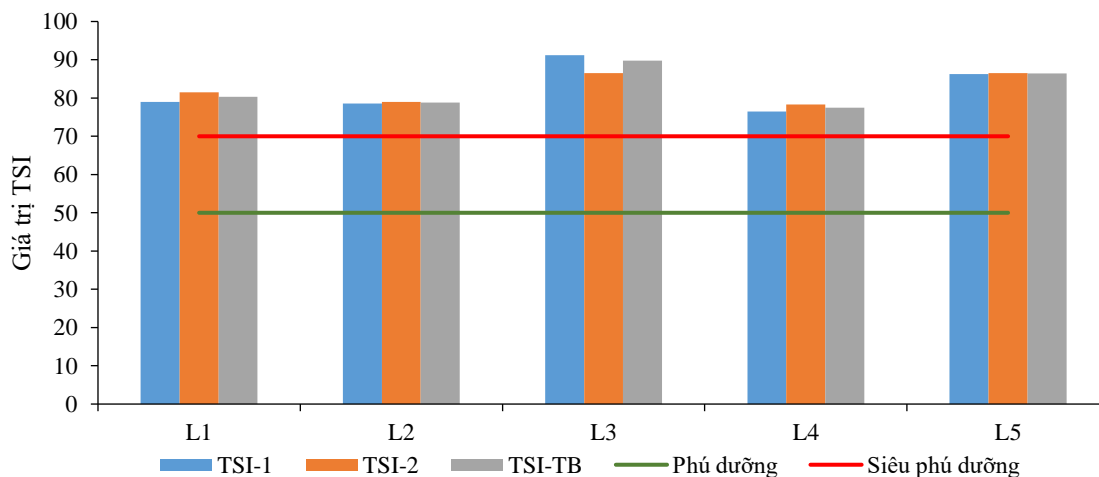
3.2. Đánh giá mức độ phú dưỡng bằng chỉ số Carlson

Kết quả nghiên cứu cho thấy, tình trạng phú dưỡng tại các hồ khu vực nghiên cứu đều ở mức phú dưỡng cao (TSI > 70). Trong đó hồ Bảy Mẫu và hồ Thuyền Quang có mức độ siêu phú dưỡng với chỉ số TSI trung bình lần lượt là 90 và 87 (Hình 4). TSI của hai hồ Bảy Mẫu và hồ Thuyền Quang cao do nồng độ TP của hai hồ đều vượt quy chuẩn nước mặt loại C từ 1,88 đến 2,64 lần.

Bảng 3. Chỉ số Carlson tại các hồ khu vực nghiên cứu.

TT	Địa điểm	Lần 1			Lần 2			TSI trung bình		
		TSI _{TP}	TSI _{Chl-a}	TSI _{SD}	TSI	TSI _{TP}	TSI _{Chl-a}		TSI _{SD}	
1.	L1	81,6	81,1	74,3	79,0	88,2	80,7	75,5	81,5	80
2.	L2	82,9	76,8	76,0	78,5	87,1	74,7	75,1	79,0	79
3.	L3	106,7	89,5	77,4	91,2	108,8	73,8	76,9	86,5	90
4.	L4	79,7	76,4	73,2	76,4	81,1	79,9	73,9	78,3	77
5.	L5	100,8	81,7	76,4	86,3	104,6	78,8	76	86,5	86

Qua điều tra khảo sát cho thấy, nước thải sinh hoạt, các hoạt động kinh doanh dịch vụ được cho là nguồn gây ô nhiễm chính tại các hồ khu vực nghiên cứu. Một số hồ tiếp nhận nước thải từ khu dân cư như hồ Quỳnh, hồ Hai Bà, hồ Bảy Mẫu gây ra hiện tượng dư thừa N, P tại đây. Nước thải từ các hoạt động dịch vụ ăn uống, vui chơi gần hồ cũng là một nguyên nhân gây ảnh hưởng lớn đến chất lượng nước. Các hồ như Thanh Nhân, Thiên Quang, Hai Bà, Bảy Mẫu đều có hiện tượng người dân đổ nước thải, phế thải xuống hồ. Nước thải không qua xử lý đổ trực tiếp xuống hồ gây các hiện tượng bốc mùi, mất cảnh quan và gây ô nhiễm cho khu vực lân cận.



Hình 4. Mức độ phú dưỡng của các hồ khu vực nghiên cứu.

So sánh mức độ phú dưỡng của các hồ trong quận Hai Bà Trưng Hà Nội với một số hồ trên thế giới (Bảng 4) cho thấy, mức độ phú dưỡng của các hồ khu vực nghiên cứu rất nghiêm trọng. Chỉ số TSI của các hồ nghiên cứu đều lớn hơn 70 mức siêu phú dưỡng (*Hypereutrophic*) trong đó có hồ Bảy Mẫu chỉ số TSI đạt 90. Trong khi đó so sánh với các hồ nội thành một số thành phố trên thế như các hồ Sharanabasaveshwara (Ấn Độ) TSI = 72, hồ Kaw của Mỹ chỉ số TSI từ 60-78.

Bảng 4. So sánh mức độ phú dưỡng của hồ khu vực nghiên cứu với một số hồ trên thế giới.

TT	Hồ	Quốc gia	TSI	Mức độ	Tài liệu tham khảo
1.	Hồ Quỳnh	Hà Nội, Việt Nam	80	Siêu phú dưỡng	
2.	Hồ Thanh Nhàn	Hà Nội, Việt Nam	79	Siêu phú dưỡng	
3.	Hồ Bảy Mẫu	Hà Nội, Việt Nam	90	Siêu phú dưỡng	
4.	Hồ Hai Bà Trưng	Hà Nội, Việt Nam	77	Siêu phú dưỡng	
5.	Hồ Thiên Quang	Hà Nội, Việt Nam	86	Siêu phú dưỡng	
6.	Dr. João Penido	Brazil	53,5	Phú dưỡng	[18]
7.	Aha	Trung Quốc	51,5	Phú dưỡng	[19]
8.	Hawassa	Ethiopia	65,4	Phú dưỡng	[11]
9.	Sharanabasaveshwara	Ấn Độ	72	Siêu phú dưỡng	[20]
10.	Dundibasaweshwar	Ấn Độ	65	Phú dưỡng	[17]
11.	Mullankere	Ấn Độ	67	Phú dưỡng	[17]
12.	Kaw	Mỹ	60-78	Phú dưỡng-Siêu phú dưỡng	[21]
13.	Niepruszewskie	Ba Lan	57,5	Phú dưỡng	[22]

4. Kết luận

Phú dưỡng hiện tượng phổ biến tại các hồ tại quận Hai Bà Trưng, Hà Nội. Nồng độ TP và Chl-a ở mức cao, nồng độ TP tại các hồ giao động từ 0,277 (mg/l) đến 1,322 (mg/l), nồng độ Chl-a giao động từ 0,1 đến 0,244 mg/l.

Cả 5 hồ khu vực nghiên cứu gồm hồ Quỳnh (TSI = 80), hồ Thanh Nhàn (TSI = 79), hồ Bảy Mẫu (TSI = 90), hồ Hai Bà Trưng (TSI = 77), hồ Thiên Quang (TSI = 86) đều ở mức siêu phú dưỡng (*Hypereutrophic* TSI >70) theo chỉ số phú dưỡng Carlson.

Nghiên cứu này mới chỉ dừng lại ở mức độ đánh giá hiện trạng phú dưỡng của các hồ, để có bức tranh tổng thể về diễn biến mức độ phú dưỡng các hồ theo thời gian, các hồ cần được quan trắc định kỳ để có chuỗi số liệu phục vụ cho công tác quản lý được tốt hơn. Các hồ trong quận Hai Bà Trưng cần có các biện pháp xử lý để giảm mức độ phú dưỡng của nước hồ.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng và lựa chọn phương pháp nghiên cứu: Đ.H.T., Đ.P.A.; Thu thập, phân tích mẫu, tính toán xử lý số liệu: Đ.P.A., Đ.H.T.; Viết bản thảo bài báo: Đ.H.T., Đ.P.A.; Chỉnh sửa bài báo: Đ.H.T.

Lời cam đoan: Đây là công trình nghiên cứu của nhóm tác giả, công trình chưa được công bố ở đâu, không sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích.

Tài liệu tham khảo

- Istvánovics, V. Eutrophication of Lakes and Reservoirs. Encyclopedia of Inland Waters, Likens, G.E. Editor. Academic Press: Oxford. 2009, pp. 157–165.
- Lucas, C.; Chalar, G.; Ibarguren, E.; Baeza, S.; De Giacomo, S.; Alvareda, E.; Brum, E.; Paradiso, M.; Mejía, P.; Crossa, M. Nutrient levels, trophic status and land-use influences on streams, rivers and lakes in a protected floodplain of Uruguay. *Limnologica* 2022, 94, 125966.
- Yu, H.; Xi, B.; Jiang, J.; Heaphy, M.J.; Wang, H.; Li, D. Environmental heterogeneity analysis, assessment of trophic state and source identification in Chaohu Lake, China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2011, 18(8), 1333–1342.

4. El-Serehy, H.A.; Abdallah, H.S.; Al-Misned, F.A.; Al-Farraj, S.A.; Al-Rasheid, K.A. Assessing water quality and classifying trophic status for scientifically based managing the water resources of the Lake Timsah, the lake with salinity stratification along the Suez Canal. *Saudi J. Biol. Sci.* **2018**, *25*(7), 1247–1256.
5. Matthews, R.; Hilles, M.; Pelletier, G. Determining trophic state in Lake Whatcom, Washington (USA), a soft water lake exhibiting seasonal nitrogen limitation. *Hydrobiologia* **2002**, *468*(1), 107–121.
6. Liu, W.W.; Zhao, E.; Kuo, Y.M.; Jang, C.S. Identifying the relationships between trophic states and their driving factors in the Shihmen Reservoir, Taiwan. *Limnologia* **2017**, *64*, 38–45.
7. Musani, R.; Deshpande, A.; Katepaga, V.; Parveen, Z.; Chengte, M.K. Monitoring of Trophic State of Urban Lake Using Insect Biotic Index. *Biodivers. Aquat. Res.: Int. J.* **2021**, *2*(1), 1–14.
8. Carlson, R.E. A trophic state index for lakes1. *Limnol. Oceanogr.* **1977**, *22*(2), 361–369.
9. Bekteshi, A.; Cupi, A. Use of trophic state index (Carlson, 1977) for assessment of trophic status of the Shkodra lake. *J. Environ. Prot. Ecol.* **2014**, *15*, 359–365.
10. Lin, J.L.; Karangan, A.; Huang, Y.M.; Kang, S.F. Eutrophication factor analysis using Carlson trophic state index (CTSI) towards non-algal impact reservoirs in Taiwan. *Sustainable Environ. Res.* **2022**, *32*(1), 25.
11. Lencha, S.M.; Tränckner, J.; Dananto, M. Assessing the Water Quality of Lake Hawassa Ethiopia-Trophic State and Suitability for Anthropogenic Uses-Appling Common Water Quality Indices. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*(17), 8904. <https://doi.org/10.3390/ijerph18178904>.
12. Thuận, T.Đ.; Lập, B.Q. Mô phỏng kịch bản kỹ thuật để kiểm soát phú dưỡng trong hồ nông: Trường hợp với hồ Cự Chính, Hà Nội. *Tap chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi & Môi trường, Hà Nội* **2021**, *74*, 136–143.
13. Ta, D.T.; Lap, B.Q.; Nguyen, D.B.T.; Tri, D.Q.; Kandasamy, J. Application of a Genetic Algorithm for the Calibration of Eutrophication Model in an Urban Lake. *Int. J. Earth Sci. Eng.* **2019**, *12*(01), 1–15.
14. Thảo, N.T.P.; Vinh, P.Q.; Hà, N.T.T.; Linh, N.T. Giám sát biến thiên mức độ phú dưỡng của hồ Hoàn Kiếm dựa vào hàm lượng Chlorophyll-a tính toán từ ảnh Sentinel-2A. *Tap chí Khí tượng Thủy Văn* **2021**, *721*(01), 11–20.
15. Thảo, N.T.P.; Thắng, P.Đ.; Hiền, T.T.; Hà, N.T.T.; Vinh, P.Q. Đánh giá và mô hình hoá hiện trạng phú dưỡng nước hồ Quan Sơn theo không gian và thời gian. *Tap chí khí tượng thủy văn* **2023**, *748*(4), 42–52.
16. Hợp, N.V.; Thi, P.N.A.; Hoàng, N.H.; Vân, V.T.B.; Tờ, T.C. Chất lượng nước và tình trạng phú dưỡng các hồ trong kinh thành Huế. *Tap chí khoa học Đại học Huế* **2012**, *73*(4).
17. Barki, N.D.; Singa, P. Assessment of trophic state of lakes in terms of carlson's trophic state index. *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.* **2014**, *6*(7), 14297–14302.
18. Bucci, M.M.H.S.; Delgado, F.E.d.F.; de Oliveira, L.F.C. Water quality and trophic state of a tropical urban reservoir for drinking water supply (Juiz de Fora, Brazil). *Lake Reservoir Manage.* **2015**, *31*(2), 134–144.
19. Ni, M.; Ge, Q.; Li, S.; Wang, Z.; Wu, Y. Trophic state index linked to partial pressure of aquatic carbon dioxide in a typical karst plateau lake. *Ecol. Indic.* **2021**, *120*, 106912.
20. Musani, R.; Deshpande, A.; Katepaga, V.; Parveen, Z.; Chengte, M.K. Monitoring of trophic state of urban lake using insect biotic index. *Biol. Aquat. Res.: Int. J.* **2021**, *2*(1), 1–14.

21. Alemayehu, D.; Hackett, F. Water quality and trophic state of Kaw Lake. *J. Environ. Stud.* **2016**, *26(1)*, 7.
22. Zbierska, J.; Ławniczak, A.E.; Zbierska, A. Changes in the Trophic Status of Lake Niepruszewskie (Poland). *J. Ecol. Eng.* **2015**, *16(4)*, 65–73.

Assessment of eutrophication status of some inner lakes in Hai Ba Trung District, Hanoi City

Do Huu Tuan^{1*}, Doan Phuong Anh¹

¹ Faculty of Environmental Sciences, VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi; tuandh@vnu.edu.vn; doanphuonganh_t64@hus.edu.vn

Abstract: Eutrophication is a typical phenomenon of surface water pollution in lakes in the city, affecting the city beauty and health of people living around the lakes. This study conducted to evaluate the eutrophication level in 5 lakes in Hai Ba Trung district, inner Hanoi city through the concentration of total phosphorus (TP) and concentration of chlorophyll a (Chl-a), combined with the Carlson eutrophication index. Research results show that TP concentration in lakes ranges from 0.277 (mg/l) to 1.322 (mg/l), Chl-a concentration ranges from 0.1 to 0.244 mg/l. All 5 lakes in the study area, that include Quynh lake (TSI = 80), Thanh Nhan lake (TSI = 79), Bay Mau lake (TSI = 90), Hai Ba Trung lake (TSI = 77), Thien Quang lake (TSI = 86), are at the level of hypereutrophic (TSI > 70). Research also indicates that the activities of people living around the lake are the main cause of eutrophication of lake water.

Keywords: Eutrophication; Inner lakes in Hanoi; Trophic state index; Pollution in inner lakes in Hanoi.

Bài báo khoa học

Ứng dụng viễn thám, GIS đánh giá phạm vi và mức độ xói lở bờ biển Đồng bằng sông Cửu Long, đoạn từ Tiền Giang đến Sóc Trăng

Phan Võ Tiểu Phương^{1,2}, Phạm Thị Hồng Hạnh^{2,3}, Bùi Tá Long^{1,2*}

¹ Khoa Môi trường và Tài nguyên, Trường Đại học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh; phuong.phanthantichduyen@hcmut.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

² Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh; phuong.phanthantichduyen@hcmut.edu.vn; hanhpth99@hcmut.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

³ Phòng thí nghiệm Trọng điểm ĐHQG - HCM Công nghệ xử lý chất thải bậc cao, Trường Đại học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh; hanhpth99@hcmut.edu.vn

*Tác giả liên hệ: longbt62@hcmut.edu.vn; Tel.: +84-918017376

Ban Biên tập nhận bài: 5/8/2023; Ngày phản biện xong: 1/9/2023; Ngày đăng bài: 25/10/2023

Tóm tắt: Tình trạng sạt lở bờ biển tại vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đang diễn ra với tần suất nhiều hơn, mức độ thiệt hại nghiêm trọng hơn. Loại hình thiên tai này ảnh hưởng rất lớn đến tính mạng, tài sản, sinh kế của người dân và là đối tượng nghiên cứu của nhiều đề tài, dự án. Viễn thám là một trong số phương pháp được lựa chọn để phân tích sự thay đổi đường bờ qua các năm. Trong nghiên cứu này, ảnh viễn thám Landsat 8 được kết hợp với công cụ DSAS tích hợp trong phần mềm ArcGIS để làm rõ biến động đường bờ cùng tình trạng sạt lở diễn ra tại vùng ven bờ biển từ Tiền Giang tới Sóc Trăng giai đoạn 2021-2023. Kết quả phân tích cho thấy, khoảng 63,71% chiều dài đường bờ bị xói lở ở giai đoạn 2021-2022. Tuy nhiên, đến giai đoạn tiếp theo 2022-2023, con số này giảm còn 59,03%. Điều này cho thấy phạm vi xói lở gần như tương đương ở hai giai đoạn nhưng có xu hướng giảm nhẹ. Cùng với đó, so sánh kết quả với giai đoạn 2016-2020, có thể nhận thấy ở giai đoạn 2021-2023 các tỉnh Tiền Giang, Bến Tre và Sóc Trăng có tốc độ xói lở giảm nhẹ, trong khi tỉnh Trà Vinh có xu hướng xói lở tăng nhanh. Kết quả là cơ sở để nâng cao năng lực dự báo, cảnh báo, giám sát sạt lở và quản lý bờ biển, giảm thiểu tác động của sạt lở, bảo vệ an toàn cho người dân và sinh kế người dân.

Từ khóa: Viễn thám; Phân tích đường bờ; Bồi/xói; Đồng bằng sông Cửu Long.

1. Giới thiệu

Nghiên cứu đánh giá diễn biến đường bờ, xói lở bờ biển là một lĩnh vực đầy thách thức nhưng có phạm vi ứng dụng to lớn trong khuôn khổ phát triển bền vững bờ biển. Vấn đề liên quan đến xói mòn bờ biển được nhìn nhận ở khía cạnh: nếu quá trình này diễn ra lâu dài sẽ dẫn đến mất đất, tuy diễn ra chậm nhưng liên tục. Mặt khác, đặc điểm hình thái dài hạn của vùng ven biển là luôn là vấn đề quan trọng trong việc quản lý tài nguyên ven biển, vì những tổn thất do sự thay đổi dần dần, liên tục hầu như không thể khắc phục được. Kỹ thuật trích xuất đường bờ dựa trên GIS, viễn thám và hệ thống số phân tích biến động đường bờ (*Digital Shoreline Analysis System, DSAS*) trong thời gian qua đã chứng minh tính hiệu quả trong giám sát biến động đường bờ [1]. Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu cho thấy điều đó chẳng hạn như nghiên cứu phân tích sự thay đổi đường bờ biển Ash Shu'aybah, Al Mujayrimah tại Ả Rập Saudi được thực hiện bởi nhóm tác giả [2]; nghiên cứu tốc độ xói lở ven biển miền nam Vịnh Monterey [3]. Kỹ thuật DSAS kết hợp viễn thám còn ứng dụng để

Tạp chí Khí tượng Thủy văn **2023**, 754, 9-25; doi:10.36335/VNJHM.2023(754).9-25 <http://tapchikttv.vn/>

phân tích các biến động đường bờ sau thiên tai như xem xét sự thay đổi đường bờ sau bão tại đảo Fire, New York [4] và quần đảo Chandeleur, Louisiana [5]; phân tích xói lở bờ biển và cồn cát trong cơn bão Sandy [6]. Bên cạnh đó còn có nghiên cứu đánh giá xu hướng xói mòn và phục hồi bãi biển dọc theo vùng ven biển Laguna Venice (Ý) [7]; sử dụng kỹ thuật DSAS Landsat 5,8 để phân tích sự thay đổi đường bờ biển huyện Jambusar, Ấn Độ [8]; ứng dụng ảnh viễn thám SPOT và kỹ thuật DSAS để tính các chỉ số biến động đường bờ như SCE, EPR, NSM,... bờ biển thành phố Surabaya [9]; sử dụng kỹ thuật phân tích DSAS Landsat theo dõi biến động đường bờ bãi biển Tuban [10]; sử dụng ảnh Landsat 8 OLI và kỹ thuật phân tích đường bờ DSAS để theo dõi biến động đường bờ khu vực rừng ngập mặn ven bờ biển tại Tanjung Piai [11].

Việt Nam là một quốc gia ven biển, thường xuyên hứng chịu ảnh hưởng của thiên tai và biến đổi khí hậu, chính vì thế các nghiên cứu về biến động đường bờ càng có vai trò quan trọng hơn. Nghiên cứu của nhóm tác giả [12] tại Cửa Đại cho thấy so với năm 1996, đường bờ năm 2015 có lún ra biển không quá 100 m ở phường Cẩm An với tốc độ không quá 5 m/năm. Tuy nhiên, ở phường Cửa Đại đến cửa sông Thu Bồn, bờ biển năm 2015 lại lún sâu vào đất liền so với năm 1996. Nghiên cứu tại cửa sông Lạch Ghép - Thanh Hóa cho thấy quy mô và cường độ bồi xói tại cửa sông ven biển diễn ra với cường độ lớn [13]. Nghiên cứu của nhóm tác giả [14] đã xây dựng bản đồ diễn biến đường bờ Hà Tĩnh từ năm 1998 đến năm 2018. Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển kinh tế, văn hóa của cả nước, hiện nay tình trạng sạt lở tại khu vực này diễn biến ngày một phức tạp hơn ảnh hưởng trực tiếp đến tính mạng, tài sản và sinh kế của người dân. Kết quả nghiên cứu [15] cho thấy một phần đường bờ thị xã Vĩnh Châu tỉnh Sóc Trăng bị xói lở nghiêm trọng trong giai đoạn 2006-2020 với bề rộng rừng ngập mặn suy giảm khoảng 70-140 m ở giai đoạn 2006-2014 và 10-50 m ở giai đoạn 2014-2020. Đoạn Tiền Giang tăng/giảm gấp đôi (từ -11,2 lên -23,1 m/năm và +23,4 xuống +11,5 m/năm). Đoạn Bến Tre và Trà Vinh có tốc độ lún bờ tăng gấp 1,7 lần và tốc độ tiến biển tăng nhẹ khoảng 2 m/năm. Đoạn Sóc Trăng có tốc độ lún bờ tăng nhẹ khoảng 2,6 m/năm tuy nhiên tốc độ tiến biển đã giảm đáng kể với 21,2 m/năm [16]. Hiện nay vẫn chưa có nghiên cứu thực hiện đến năm 2023 chính vì thế nhóm tác giả muốn tiếp tục nghiên cứu về sạt lở tại ĐBSCL trong ba năm gần đây, bổ sung số liệu nghiên cứu cho ĐBSCL và cập nhật tình hình sạt lở mới nhất trong khu vực. Ảnh Landsat 8 có nhiều ưu điểm và triển vọng áp dụng trong việc giải đoán và xác định lớp phủ thực vật cũng như xác định biến động trên bề mặt trái đất trên quy mô lưu vực lớn hoặc cấp huyện trở lên. So với ảnh Landsat 7, Landsat 8 có khả năng chụp và gửi về mỗi ngày nhiều ảnh hơn hẳn thế hệ vệ tinh trước. Tuy nhiên, hai kênh phổ mới là ưu thế vượt trội của Landsat 8, trong đó một kênh phổ cho phép vệ tinh thu thập được thông tin ở các tầng nước sâu hơn trong đại dương, sông, hồ; trong khi đó kênh phổ còn lại có thể phát hiện mây ti và chỉnh sửa các hiệu ứng khí quyển. Thêm vào đó, băng phổ hồng ngoại của Landsat 8 được chia thành hai, cho phép xác định nhiệt độ bề mặt chính xác hơn [17]. Với những ưu điểm kể trên, nhóm tác giả lựa chọn ảnh Landsat 8 để trích xuất và phân tích biến động đường bờ khu vực nghiên cứu (KVNC).

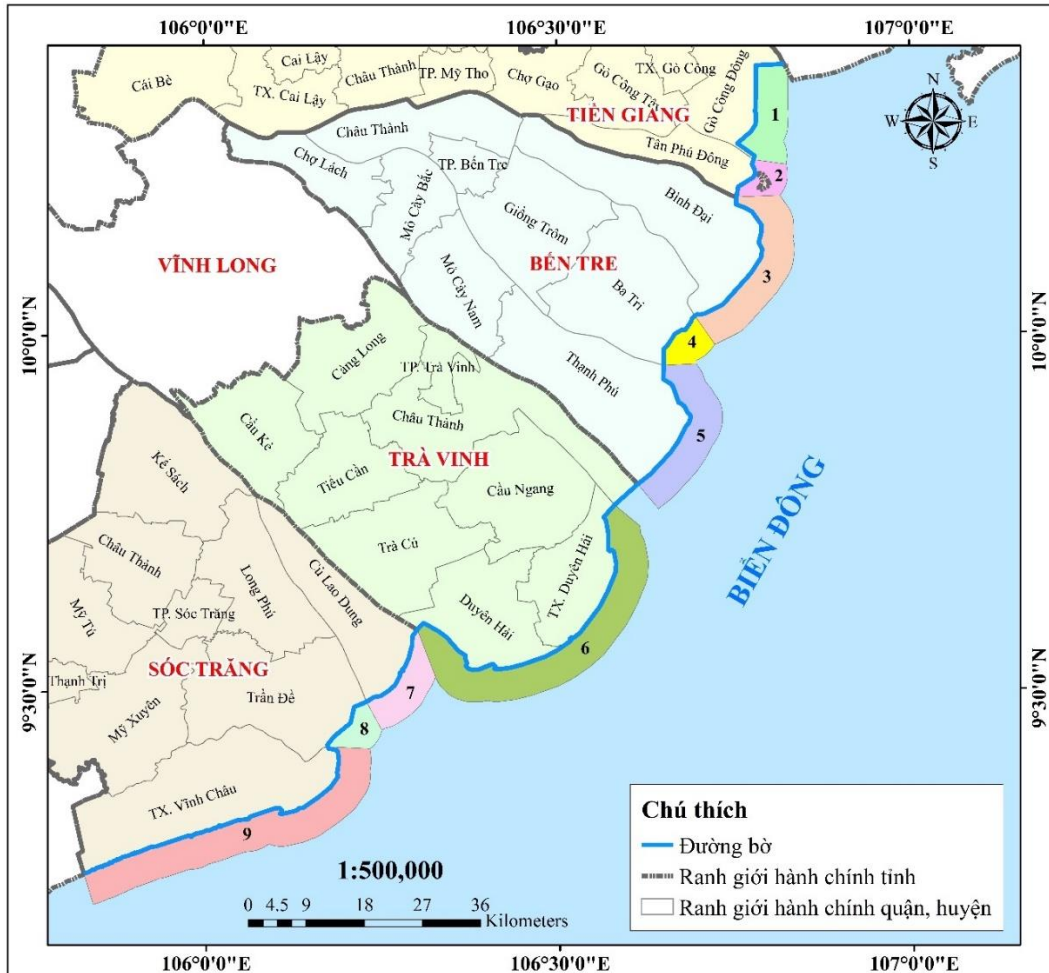
Nghiên cứu có mục tiêu làm rõ biến động đường bờ và xu thế bồi/xói tại vùng ven biển ĐBSCL, đoạn từ Tiền Giang đến Sóc Trăng, giai đoạn 2021-2023, sử dụng phương pháp tích hợp viễn thám và GIS. Ngoài ra, nghiên cứu được thực hiện nhằm xây dựng bản đồ sạt lở trong ba năm gần đây, xác định các vị trí xói lở. Qua đó làm cơ sở để thực hiện các nghiên cứu đưa ra dự báo, cảnh báo, giám sát sạt lở và quản lý bờ sông, lòng sông, bờ biển, giảm thiểu tác động của sạt lở.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Giới hạn KVNC là đường bờ biển trải dài bốn tỉnh Tiền Giang, Bến Tre, Trà Vinh và Sóc Trăng, được chia thành chín đoạn như Hình 1.

Trong đó, đường bờ tỉnh Tiền Giang nằm trải dọc trên bờ bắc sông Tiền, có chiều dài đường biển khoảng 32 km, gồm Đoạn 1 (huyện Gò Công Đông) và Đoạn 2 (huyện Tân Phú Đông); đường bờ tỉnh Bến Tre có chiều dài khoảng 65 km, gồm Đoạn 3 (huyện Bình Đại), Đoạn 4 (huyện Ba Tri) và Đoạn 5 (huyện Thạnh Phú); đường bờ tỉnh Trà Vinh nằm ở cuối cù lao, nằm giữa sông Tiền và sông Hậu, chiều dài khoảng 65 km, gồm Đoạn 6 (thị xã Duyên Hải và huyện Duyên Hải); đường bờ tỉnh Sóc Trăng nằm ở cửa Nam sông Hậu, có bờ biển dài 72 km và ba cửa sông lớn là Định An, Trần Đề và Mỹ Thanh đổ ra Biển Đông, gồm Đoạn 7 (huyện Cù Lao Dung), Đoạn 8 (huyện Trần Đề) và Đoạn 9 (thị xã Vĩnh Châu).



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng ảnh Landsat8 OLI/TIRS Collection 2 Level 1 từ vệ tinh Landsat 8. Ảnh được cung cấp miễn phí bởi Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ - U.S. Geological Survey (USGS) từ trang web: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Ảnh Landsat8 OLI/TIRS Collection 2 Level 1 được chụp ở 11 kênh ảnh với bước sóng và độ phân giải như mô tả ở Bảng 1 [18].

Bảng 1. Đặc trưng bộ cảm OLI và TIRs của ảnh Landsat 8.

Kênh	Bước sóng (micrometers)	Độ phân giải (meters)
Band 1 - Coastal aerosol	0,43-0,45	30
Band 2 - Blue	0,45-0,51	30
Band 3 - Green	0,53-0,59	30
Band 4 - Red	0,64-0,67	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0,85-0,88	30
Band 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1,57-1,65	30

Kênh	Bước sóng (micrometers)	Độ phân giải (meters)
Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2,11-2,29	30
Band 8 - Panchromatic	0,50-0,68	15
Band 9 - Cirrus	1,36-1,38	30
Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10,6-11,19	100
Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11,50-12,51	100

Dữ liệu của ba năm được lấy cùng một vị trí và khoảng thời gian chụp. Nghiên cứu lựa chọn các tháng mùa khô, ít mưa, ít bị mây che phủ để lấy ảnh. Vị trí cố định để lấy ảnh cho ba năm: Path 125-Row 053. Thông tin ảnh thu thập được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Thông tin ảnh viễn thám đã thu thập.

STT	Tên file ảnh	Ngày
1	LC08_L1TP_125053_20210209_20210302_02_T1	09/02/2021
2	LC09_L1TP_125053_20220204_20230429_02_T1	04/02/2022
3	LC09_L1TP_125053_20230311_20230311_02_T1	11/03/2023

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Do ảnh viễn thám Landsat8 OLI/TIRS Collection 2 Level 1 đã được hiệu chỉnh bức xạ và hình học nên không cần tiền xử lý ảnh nên khi tải ảnh về chỉ cần xử lý chuyển các giá trị số trên ảnh về giá trị của bức xạ vật lý tại sensor và giá trị của phản xạ ở tầng trên khí quyển bằng công cụ Raster Calculator trong ArcToolbox của phần mềm ArcGIS 10.4.1. Sau khi xử lý xong ảnh viễn thám, các bước tiếp được thực hiện để trích xuất đường bờ và tính toán phạm vi và mức độ sạt lở/bồi tụ tại KVNC (Hình 2). Các bước thực hiện gồm:

Bước 1: Chuyển các giá trị số (DN) trên ảnh về giá trị của bức xạ vật lý tại sensor bằng công thức:

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L \tag{1}$$

Trong đó L_{λ} là giá trị bức xạ phổ tại ống kính của sensor ($Wm^{-2} ster^{-1} \mu m^{-1}$); Q_{cal} là giá trị số trên ảnh (DN); M_L là giá trị RADIANCE_MULT_BAND_x; A_L là giá trị RADIANCE_ADD_BAND_x.

Bước 2: Chuyển các giá trị của bức xạ vật lý tại sensor về giá trị của phản xạ ở tầng trên khí quyển của vật thể (đối tượng) bằng công thức:

$$\rho_{\lambda} = (M_p \times Q_{cal} + A_p) / \cos(\theta_{sz}) \tag{2}$$

Trong đó ρ_{λ} là phản xạ ở tầng trên khí quyển (Planetary TOA Reflectance, thứ nguyên, không đơn vị); Q_{cal} là giá trị số trên ảnh (DN); M_p là giá trị REFLECTANCRE_MULT_BAND_x; A_p là giá trị REFLECTANCRE_ADD_BAND_x; θ_{sz} là góc thiên đỉnh (góc cao) của Mặt Trời (độ) (90 - Sun elevation) [17].

Bước 3: Tính chỉ số AWEI_{sh} bằng công thức [19]:

$$AWEI_{sh} = \rho_{band1} + 2,5 \times \rho_{band2} - 1,5 \times (\rho_{band4} + \rho_{band5}) - 0,25 \times \rho_{band7} \tag{3}$$

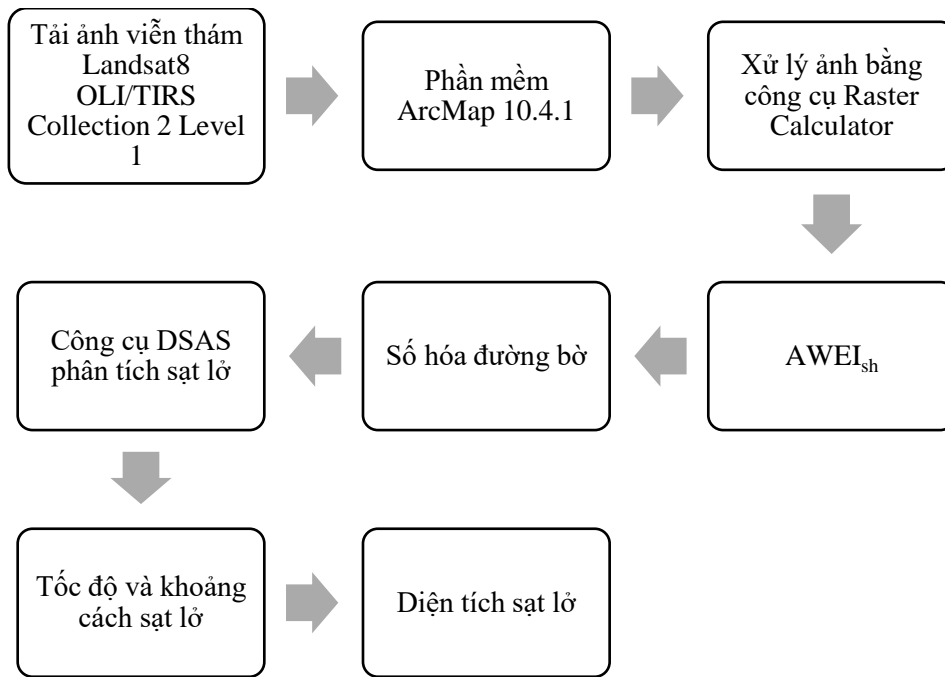
Bước 4: Số hóa đường bờ theo cùng một tỉ lệ 1:6000.

Bước 5: Sử dụng công cụ DSAS để phân tích đường bờ và tính toán các chỉ số thay đổi đường bờ. Quá trình thực hiện như sau: Xác định đường chuẩn (*baseline*) và các đường bờ tính toán (*shoreline*); Tạo các tuyến cắt ngang vuông góc bờ (*transect*); Tính toán các chỉ số thay đổi đường bờ.

Dựa trên dữ liệu thu thập được, phương pháp tỷ lệ điểm cuối (EPR) và khoảng cách thay đổi đường bờ (SCE) được chọn để phân tích kết quả. Trong đó: EPR = khoảng cách biến động/tổng thời gian theo dõi biến động; SCE = khoảng cách lớn nhất giữa các đường bờ (m).

Trong đó khoảng cách biến động là khoảng cách giữa hai đường bờ biển, tổng thời gian theo dõi biến động là khoảng thời gian giữa thời điểm có đường bờ cũ nhất và mới nhất [20].

Bước 6: Tính toán diện tích sạt lở.



Hình 2. Sơ đồ các bước thực hiện.

3. Kết quả và thảo luận

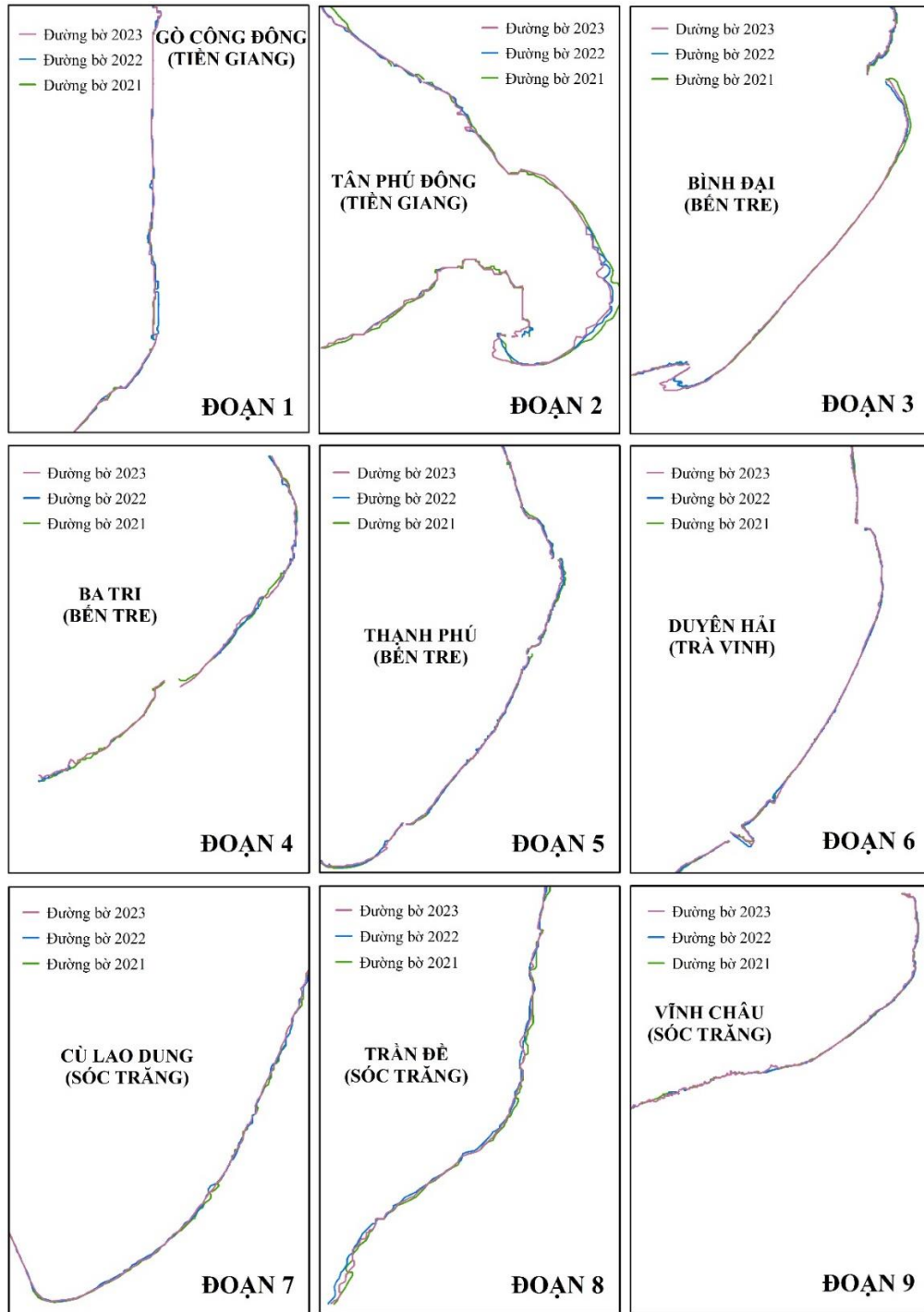
3.1. Kết quả trích xuất đường bờ, tính khoảng cách và diện tích bồi/xói

Sau khi thực hiện các bước xử lý ảnh viễn thám như mô tả ở trên, kết quả các đường bờ được số hóa như Hình 3.

Sau khi trích xuất đường bờ, bước tính diện tích sạt lở và khoảng cách sạt lở tại KVNC trong ba năm 2021-2023 được thực hiện, kết quả phân tích được thể hiện ở các Bảng 3-5.

Bảng 3. Tốc độ biến đổi đường bờ EPR (xói lở (-)) giai đoạn 2021-2023.

Đoạn	Huyện	Tỉnh	Tốc độ biến đổi đường bờ (m/năm)		Ghi chú
			2021-2022	2022-2023	
1	Gò Công Đông	Tiền Giang	-23,03	-22,80	Sạt
			29,11	16,21	Bồi
2	Tân Phú Đông		-44,79	-28,94	Sạt
			23,56	25,95	Bồi
3	Bình Đại		-47,70	-15,24	Sạt
			13,50	58,91	Bồi
4	Ba Tri	Bến Tre	-25,46	-22,13	Sạt
			41,08	13,57	Bồi
5	Thạnh Phú		-25,64	-23,82	Sạt
			11,04	19,62	Bồi
6	Duyên Hải	Trà Vinh	-32,62	-31,62	Sạt
			26,89	39,70	Bồi
7	Cù Lao Dung		-25,47	-16,78	Sạt
			13,47	13,64	Bồi
8	Trần Đề	Sóc Trăng	-54,49	-20,42	Sạt
			16,74	36,43	Bồi
9	Vĩnh Châu		-26,86	-25,94	Sạt
			27,89	10,08	Bồi



Hình 3. Đường bờ các năm được trích xuất.

Bảng 4. Kết quả chỉ số SCE trung bình giai đoạn 2021-2023.

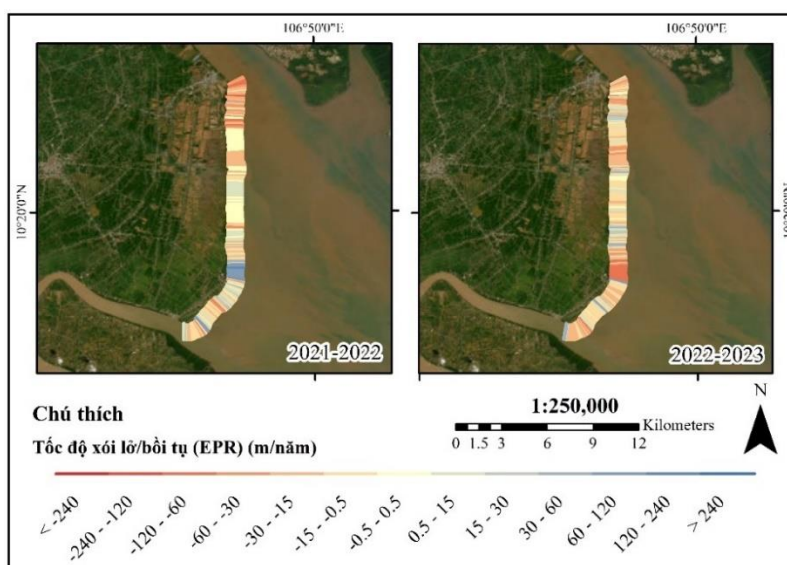
Đoạn	Huyện	Tỉnh	SCE (m)	
			2021-2022	2022-2023
1	Gò Công Đông	Tiền Giang	21,78	23,18
2	Tân Phú Đông	Tiền Giang	39,68	24,69
3	Bình Đại	Bến Tre	37,25	33,88
4	Ba Tri	Bến Tre	29,09	15,87
5	Thạnh Phú	Bến Tre	21,47	24,09
6	Duyên Hải	Trà Vinh	29,07	37,93
7	Cù Lao Dung	Sóc Trăng	21,22	16,94
8	Trần Đề	Sóc Trăng	51,13	33,55
9	Vĩnh Châu	Sóc Trăng	26,45	20,14

Bảng 5. Kết quả diện tích bồi/xói giai đoạn 2021-2023.

Đoạn	Huyện	Tỉnh	Diện tích bồi (ha)		Diện tích sạt (ha)	
			2021-2022	2022-2023	2021-2022	2022-2023
1	Gò Công Đông	Tiền Giang	14,88	8,63	19,62	29,01
2	Tân Phú Đông		9,02	15,40	50,32	18,45
3	Bình Đại		9,09	39,44	71,84	21,97
4	Ba Tri	Bến Tre	9,59	3,63	17,41	10,88
5	Thạnh Phú		6,70	12,50	37,00	38,44
6	Duyên Hải	Trà Vinh	75,56	74,64	67,51	112,85
7	Cù Lao Dung		6,72	9,38	24,46	16,01
8	Trần Đề	Sóc Trăng	1,10	23,31	49,43	6,59
9	Vĩnh Châu		47,12	11,70	75,86	81,27

3.3.1. Đoạn 1 (huyện Gò Công Đông, tỉnh Tiền Giang)

Tốc độ sạt và bồi tụ ở huyện Gò Công Đông có xu hướng giảm qua ba năm, cụ thể tốc độ sạt giảm từ 23,03 m/năm còn 22,08 m/năm, tốc độ bồi tụ giảm mạnh từ 29,11 m/năm còn 16,21 m/năm. Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 21,78 m, giai đoạn 2 tăng lên 23,18 m. Diện tích sạt tăng từ 19,62 ha lên 29,01 ha và diện tích bồi tụ giảm mạnh từ 14,88 ha còn 8,63 ha. Có thể vị trí có tốc độ sạt tăng đột biến, chuyển từ bồi tụ sang sạt lở ở phía nam đường bờ tiếp giáp giữa xã Tân Điền và xã Tân Thành (Hình 4). Vào mùa gió Đông Bắc, khi sóng lớn và dòng hải lưu mạnh chiếm ưu thế đi cùng với đó là dòng chảy sông vào mùa khô là tương đối nhỏ tạo nên dòng chảy ven bờ có lưu tốc lớn. Sóng lớn sẽ gây ra hiện tượng kết cấu địa chất bờ biển bị phá vỡ tại những nơi sóng mạnh như xã Tân Điền và những nơi địa chất yếu. Hiện tượng xói lở bờ biển diễn ra mạnh vào mùa này [21].

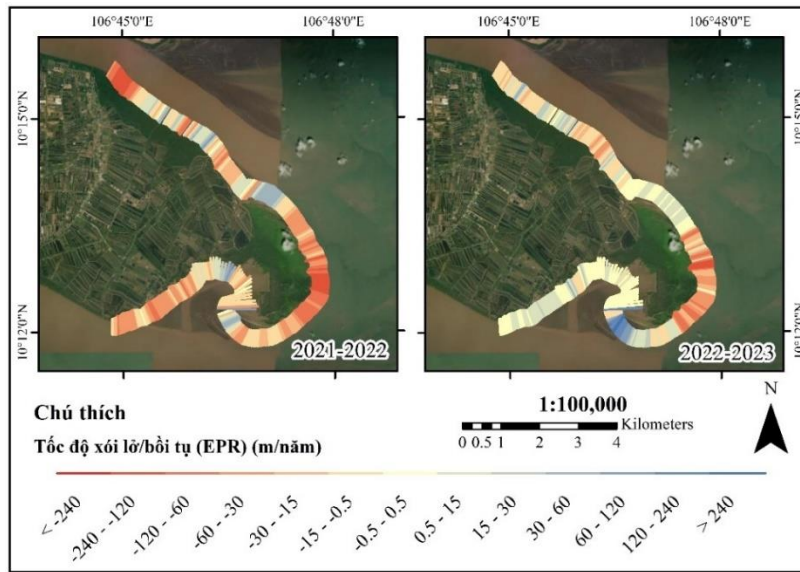


Hình 4. Tốc độ bồi-xói đường bờ huyện Gò Công Đông (Tiền Giang) giai đoạn 2021-2023.

3.3.2. Đoạn 2 (huyện Tân Phú Đông, tỉnh Tiền Giang)

Tốc độ sạt ở huyện Tân Phú Đông giảm đáng kể qua ba năm, cụ thể giảm từ 44,79 m/năm còn 28,94 m/năm, tốc độ bồi tụ tăng từ 23,56 m/năm đến 25,95 m/năm. Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 39,68 m, giai đoạn 2 giảm còn 24,69 m. Diện tích sạt giảm mạnh từ 50,32 ha xuống còn 18,45 ha và diện tích bồi tụ tăng từ 9,02 ha lên 15,40 ha. Hình 5 thấy vị trí thường xuyên diễn ra sạt lở ở cực đông của huyện thuộc xã Phú Tân do có dạng hình mũi nhọn thường xuyên hứng chịu gió và sóng biển ở cường độ cao. Ở phía Tây Bắc gần Cửa Tiểu và phía Nam đường bờ (Cửa Đại) đã chuyển từ xu thế xói lở sang bồi tụ. Dòng chảy mạnh tại Cửa Tiểu và Cửa Đại là nguyên nhân chủ yếu khiến ở hai vị trí này có

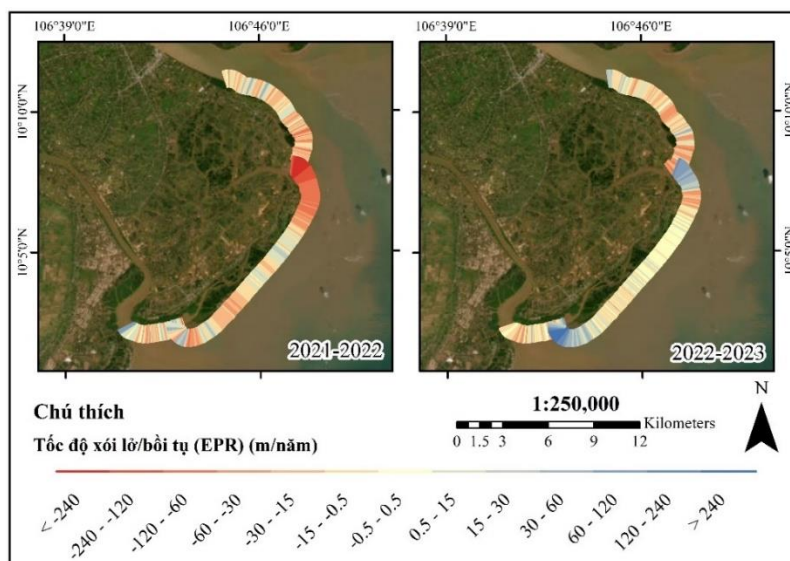
tốc độ xói lở và bồi tụ diễn biến phức tạp, bên cạnh đó hình dạng nhô ra của huyện Tân Phú Đông khiến bờ biển phía bắc gần Cửa Tiểu hứng được phần lớn khối lượng cát xói lở từ huyện Gò Công Đông.



Hình 5. Tốc độ bồi-xói đường bờ huyện Tân Phú Đông (Tiền Giang) giai đoạn 2021-2023.

3.3.3. Đoạn 3 (huyện Bình Đại, tỉnh Bến Tre)

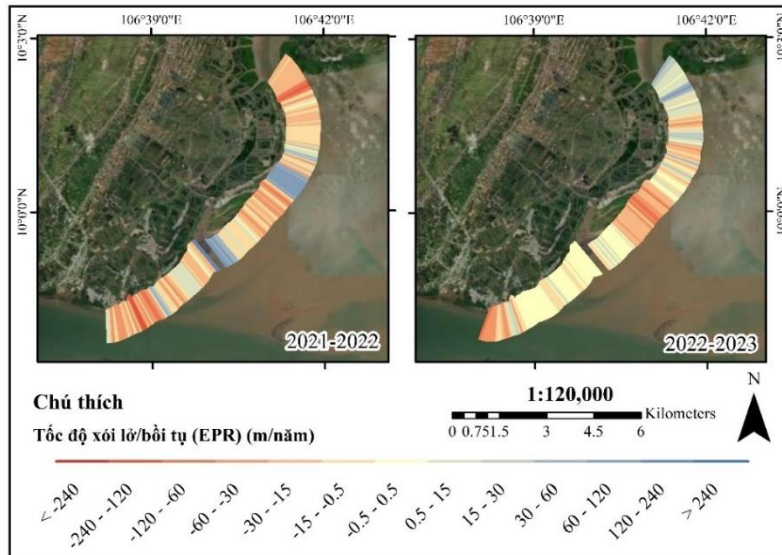
Tốc độ sạt ở huyện Bình Đại giảm đáng kể qua ba năm, cụ thể giảm từ 47,70 m/năm còn 15,24 m/năm, tốc độ bồi tụ tăng mạnh từ 13,50 m/năm lên 58,91 m/năm cao nhất trong các huyện. Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 37,25 m, giai đoạn 2 giảm còn 33,88 m. Diện tích sạt giảm mạnh từ 71,84 ha xuống còn 21,97 ha và diện tích bồi tụ tăng mạnh từ 9,09 ha lên 39,44 ha. Hình 6 cho thấy vị trí có tốc độ sạt giảm mạnh và chuyển sang xu hướng bồi tụ ở khu vực gần cửa sông phía Bắc và Cửa Ba Lai phía Nam đường bờ. Các cồn cát ở cửa sông này đã phát triển mạnh, cửa Ba Lai là một ví dụ về sự tàn lụi của một cửa sông do tác động của con người. Năm 1999, hệ thống cống đập ở cửa sông Ba Lai được xây dựng, hệ quả làm cho quá trình bồi lấp xảy ra nhanh hơn [22]. Bên cạnh đó, do dòng chảy của sông Ba Lai yếu nên không chuyển tải phù sa dạt từ cửa Đại vào cửa Ba Lai. Hệ quả cửa Ba Lai bị phù sa bồi đắp và dòng chảy sông Ba Lai có xu hướng nghẽn ở đầu ra cửa biển [23].



Hình 6. Tốc độ bồi-xói đường bờ huyện Bình Đại (Bến Tre) giai đoạn 2021-2023.

3.3.4. Đoạn 4 (huyện Ba Tri, tỉnh Bến Tre)

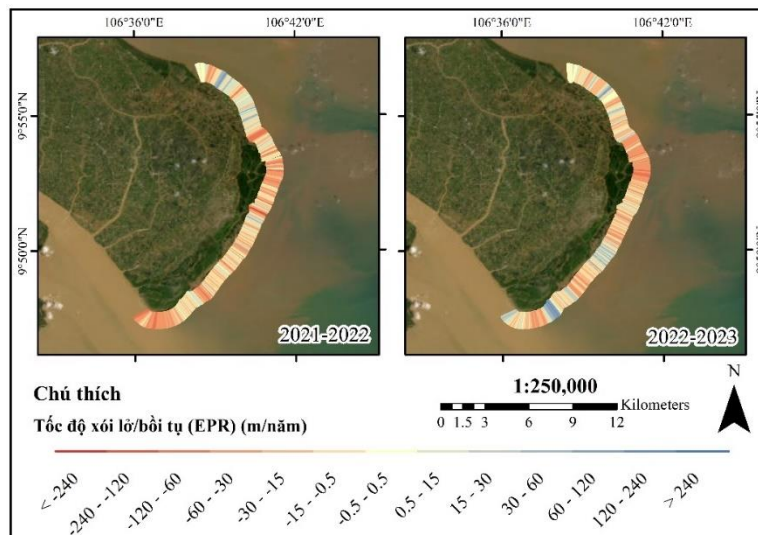
Tốc độ sạt ở huyện Ba Tri có xu hướng giảm qua ba năm, cụ thể giảm từ 25,46 m/năm còn 22,13 m/năm, tốc độ bồi tụ giảm mạnh từ 41,08 m/năm còn 13,57 m/năm. Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 29,09 m, giai đoạn 2 giảm còn 15,87 m. Diện tích sạt giảm từ 17,41 ha xuống còn 10,88 ha và diện tích bồi tụ giảm từ 9,59 ha xuống 3,63 ha. Các vị trí chuyển từ sạt lở sang bồi tụ và ngược lại được thể hiện trong (Hình 7).



Hình 7. Tốc độ bồi-xói đường bờ huyện Ba Tri (Bến Tre) giai đoạn 2021-2023.

3.3.5. Đoạn 5 (huyện Thạnh Phú, tỉnh Bến Tre)

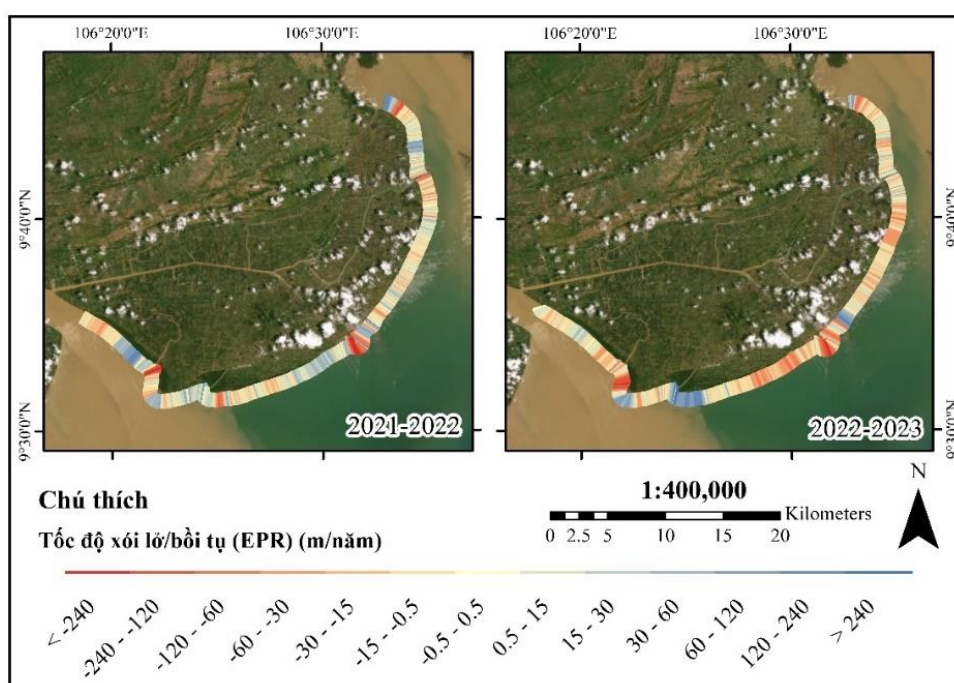
Tốc độ sạt ở huyện Thạnh Phú có xu hướng giảm qua ba năm, cụ thể giảm từ 25,64 m/năm còn 23,81 m/năm, tốc độ bồi tụ tăng từ 11,04 m/năm lên 19,62 m/năm (Hình 8). Đường bờ biển động trung bình lần lượt là 21,47 m và 24,09 m ở giai đoạn 1 và 2. Diện tích sạt tăng từ 37,00 ha lên 38,44 ha và diện tích bồi tụ tăng mạnh từ 6,70 ha lên 12,50 ha. Từ Hình 8 cho thấy vị trí thường xuyên diễn ra sạt lở ở cực đông xã Thạnh Hải do hình dạng mũi nhô ra biển. Ở phía Nam đường bờ gần Cửa Cỏ Chiên có tốc độ sạt giảm mạnh, chuyển từ xu thế xói lở sang bồi tụ. Giải thích cho hiện tượng diễn biến phức tạp này là do tác động tổng hợp của dòng chảy trong sông, thủy triều và sóng cộng với địa hình nhánh Cỏ Chiên hẹp và sâu hơn, dòng chính lại chảy qua nhánh này nên sự biến động đường bờ diễn ra mạnh mẽ hơn so với nhánh Cung Hầu [24].



Hình 8. Tốc độ bồi-xói đường bờ huyện Thạnh Phú (Bến Tre) giai đoạn 2021-2023.

3.3.6. Đoạn 6 (thị xã Duyên Hải và huyện Duyên Hải, tỉnh Trà Vinh)

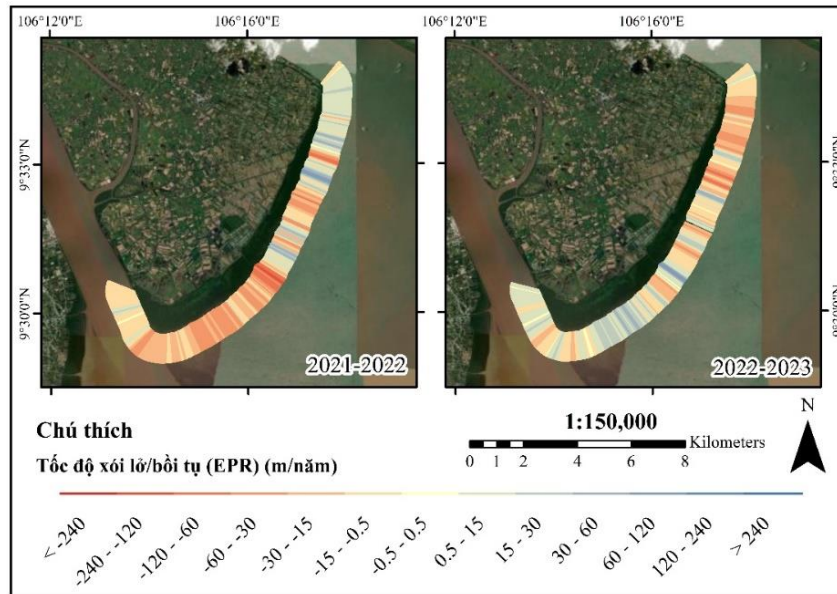
Tốc độ sạt ở Duyên Hải gần như không đổi qua hai giai đoạn, lần lượt là 32,62 m/năm và 31,62 m/năm, tốc độ bồi tụ tăng từ 26,89 m/năm lên 39,70 m/năm. Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 29,07 m, giai đoạn 2 tăng lên 37,93 m. Diện tích sạt tăng mạnh từ 67,51 ha lên 112,85 ha và diện tích bồi tụ giảm từ 75,56 ha còn 74,64 ha. Quan sát ảnh ta thấy vị trí thường xuyên xảy ra sạt lở trong ba năm tại ghềnh đá Dân Thành và Vàm Rạch Cỏ - Cửa Định An - Mê Kông (Hình 9). Hình dạng mũi nhọn và vị trí đặc biệt của khu vực ghềnh đá Dân Thành khiến phần lớn diện tích tiếp xúc với gió và sóng biển ở cường độ cao, bên cạnh đó lớp thực vật che phủ ít khiến khu vực này thường xuyên bị sạt lở. Tại Cửa Định An trong những năm gần đây nguyên nhân sạt lở chủ yếu là do giao thông thủy (chiếm 44,12%), hiện nay tỉnh Trà Vinh với lưu lượng giao thông thủy tăng rất nhanh để vận chuyển hàng hóa và vật liệu xây dựng, kết hợp vận chuyển lúa gạo. Trên các sông của tỉnh Trà Vinh lưu lượng tàu thuyền với tải trọng dao động từ khoảng 280-1050T khi đó chiều cao sóng dao động khoảng từ 0,2-0,5 m kết hợp với đất yếu (bùn sét) dẫn đến sạt lở tăng cao tại khu vực [25].



Hình 9. Tốc độ bồi - xói đường bờ Duyên Hải (Trà Vinh) giai đoạn 2021-2023.

3.3.7. Đoạn 7 (huyện Cù Lao Dung, tỉnh Sóc Trăng)

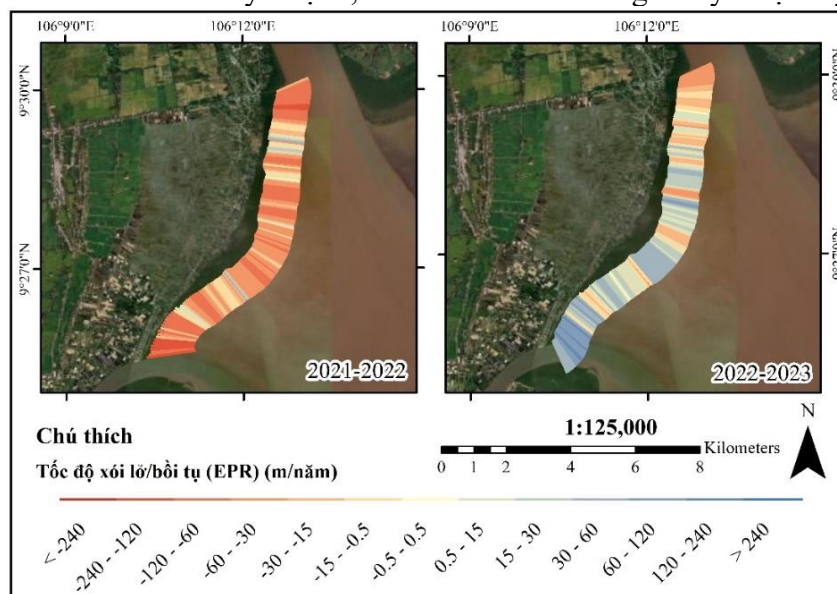
Tốc độ sạt ở huyện Cù Lao Dung giảm đáng kể qua ba năm, cụ thể giảm từ 25,47 m/năm còn 16,78 m/năm, tốc độ bồi tụ gần như không đổi lần lượt là 13,47 m/năm và 13,64 m/năm. Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 21,22 m, giai đoạn 2 giảm còn 16,94 m. Diện tích sạt giảm từ 24,46 ha còn 16,01 ha và diện tích bồi tụ tăng từ 6,72 ha lên 9,38 ha. Quan sát bản đồ Hình 10 nhận thấy khu vực gần cửa biển phía Nam (Cửa Trần Đề) có tốc độ sạt giảm mạnh trong khi đó ở cửa biển phía Bắc (Cửa Định An) gần khu vực rừng ngập mặn sinh thái có tốc độ sạt tăng đột biến. Qua các năm xu hướng chính của đường bờ huyện Cù Lao Dung chủ yếu là bồi tụ do lớp thực vật phòng hộ ven bờ giúp giữ lại phù sa cho khu vực này, tuy nhiên càng gần cửa sông, xu hướng xói mòn càng tăng cao [26]. Đặc biệt gần cửa sông Định An, vị trí có lưu lượng tàu thuyền đi qua lớn kết hợp với gió mùa Đông Bắc tác động trực tiếp là nguyên nhân gây ra bất ổn định đường bờ tại khu vực phía bắc. Tại phía nam đường bờ do hình dạng phẳng và nhô ra hơn so với bờ bắc và lớp thực vật che phủ cũng chiếm ưu thế hơn tạo điều kiện giữ lại cát từ phía bờ bắc đổ xuống cũng như từ cửa Trần Đề đổ ra.



Hình 10. Tốc độ bồi - xói đường bờ huyện Cù Lao Dung (Sóc Trăng) giai đoạn 2021-2023.

3.3.8. Đoạn 8 (huyện Trần Đề, tỉnh Sóc Trăng)

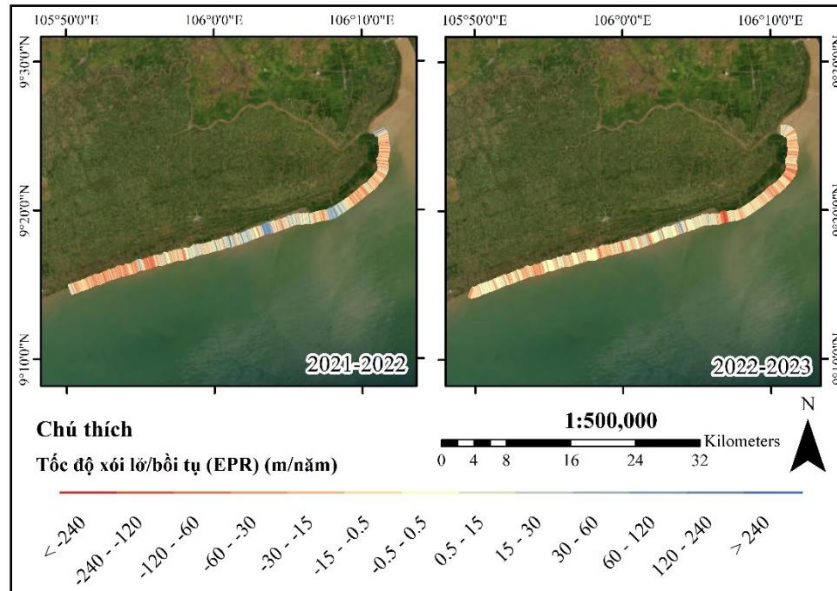
Tốc độ sạt ở huyện Trần Đề giảm đáng kể qua ba năm, cụ thể giảm từ 54,49 m/năm còn 20,42 m/năm, tốc độ bồi tụ tăng mạnh từ 16,74 m/năm lên 36,43 m/năm. Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 51,13 m, giai đoạn 2 giảm còn 35,55 m. Diện tích sạt giảm mạnh từ 49,93 ha còn 6,59 ha và diện tích bồi tụ tăng từ 1,10 ha lên 23,31 ha. Quan sát bản đồ nhận thấy tốc độ sạt lở giảm trên phần lớn đoạn đường bờ đặc biệt chuyển từ xu thế sạt lở sang bồi tụ ở phía nam đường bờ gần cửa biển Mỹ Thạnh (Hình 11). Rừng ngập mặn tại huyện Trần Đề, tỉnh Sóc Trăng có vai trò làm giảm năng lượng sóng triều biển từ đó giảm tác động xói lở ven bờ. Độ dày của rừng khác nhau, khả năng làm giảm sóng R (%) và tỷ lệ giảm sóng R' cũng khác nhau [27]. Khu vực phía Bắc đường bờ chịu ảnh hưởng trực tiếp của gió mùa Đông Bắc và dòng chảy của cửa biển Trần Đề cộng với độ dày rừng ngập mặn không đủ để triệt tiêu tác động từ bên ngoài và giữ lại phù sa ven bờ, chính vì thế tình trạng sạt lở tại đây diễn ra phức tạp. Ngược lại, ở khu vực phía Nam độ dày rừng tương đối cao giúp hạn chế mất đất do tác động của gió và sóng, bên cạnh đó khu vực phía Nam còn được tiếp nhận lượng lớn phù sa từ cửa biển Mỹ Thạnh, chính vì thế xu hướng chủ yếu tại đây là bồi tụ.



Hình 11. Tốc độ bồi - xói đường bờ huyện Trần Đề (Sóc Trăng) giai đoạn 2021-2023.

3.3.9. Đoạn 9 (thị xã Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng)

Tốc độ sạt ở thị xã Vĩnh Châu giảm qua ba năm, cụ thể giảm từ 26,86 m/năm còn 25,94 m/năm, tốc độ bồi tụ giảm mạnh từ 27,89 m/năm còn 10,08 m/năm (Hình 12). Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 26,45 m, giai đoạn 2 giảm còn 20,14 m. Diện tích sạt tăng từ 75,86 ha lên 81,27 ha và diện tích bồi tụ giảm từ 47,12 ha còn 11,70 ha.



Hình 12. Tốc độ bồi - xói đường bờ thị xã Vĩnh Châu (Sóc Trăng) giai đoạn 2021-2023.

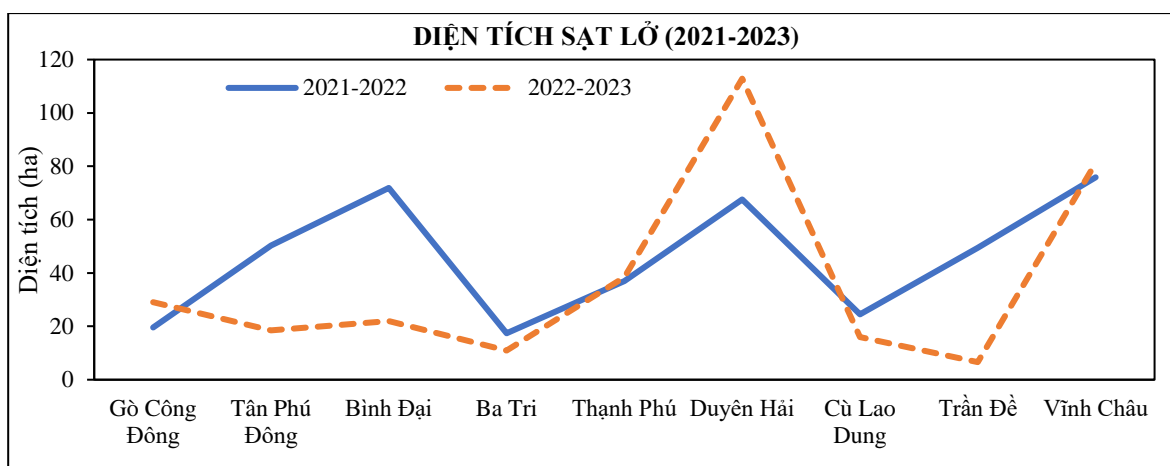
3.2. Thảo luận

Kết quả thống kê từ Bảng 3-5 cho thấy, khoảng 63,71% chiều dài của 243 km đường bờ tại KVNC bị xói lở ở giai đoạn 2021-2022. Tuy nhiên, đến giai đoạn tiếp theo 2022-2023, con số này giảm còn 59,03%. Điều này cho thấy phạm vi xói lở gần như tương đương ở hai giai đoạn nhưng có xu hướng giảm nhẹ. Sau ba năm, diện tích đất bị thu hẹp khu vực lên đến 370,52 ha.

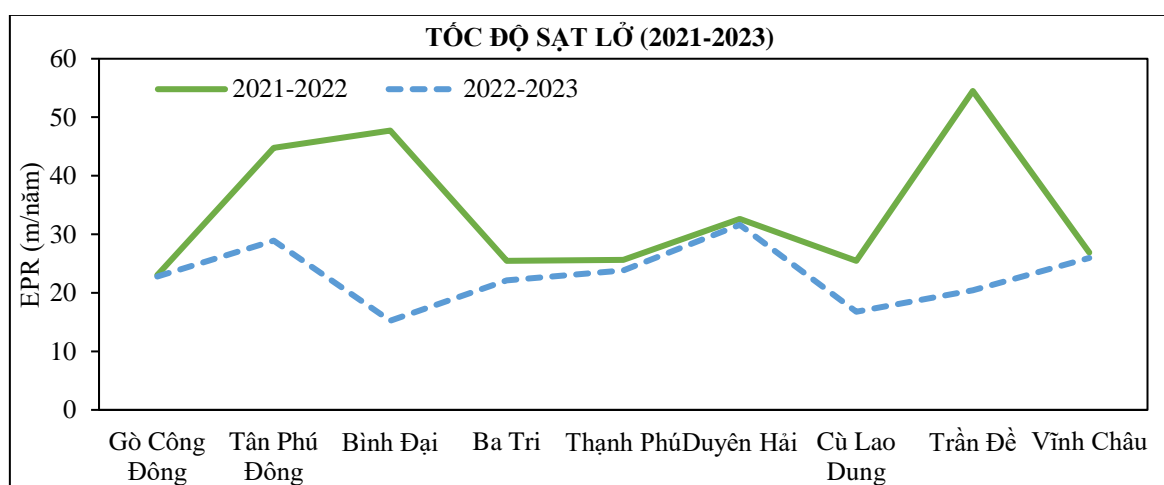
Tốc độ lùi bờ tại đoạn 8 (Trần Đề-Sóc Trăng) là lớn nhất vào khoảng 54,49 m/năm giai đoạn 2021-2022, tiếp đó là đoạn 3 (Bình Đại-Bến Tre) khoảng 47,70 m/năm giai đoạn 2021-2022. Từ năm 2021-2023, trên cả chín đoạn thuộc KVNC có sự bồi xói xen kẽ nhau trong đó đa số tốc độ xói chiếm ưu thế hơn, tuy nhiên ở giai đoạn 2022-2023 ở đoạn 3 (Bình Đại-Bến Tre) có xu hướng tiến biển (58,91 m/năm), điều này trái ngược với giai đoạn trước 2021-2022 khi vị trí này có tốc độ xói cao thứ hai trong khu vực (Bảng 3).

Giai đoạn 2021-2022, trên cả chín đoạn thuộc KVNC đều xảy ra xói lở, với tốc độ lùi bờ lần lượt là 23,03 m/năm (đoạn 1), 44,79 m/năm (đoạn 2), 47,70 m/năm (đoạn 3) và 25,46 m/năm (đoạn 4), 25,64 m/năm (đoạn 5), 32,62 m/năm (đoạn 6), 25,47 m/năm (đoạn 7), 54,49 m/năm (đoạn 8), 26,86 m/năm (đoạn 9) (Bảng 3). Đường bờ (chỉ số SCE) giai đoạn này có sự biến động từ 0,01-431,81 m, trung bình dao động khoảng 29,46 m (Bảng 4). Tổng diện tích sạt của cả khu vực là 413,46 ha, tổng diện bồi 179,78 ha, do đó tổng diện tích đất bị thu hẹp của giai đoạn này là 233,69 ha.

Giai đoạn 2022-2023, trên cả chín đoạn thuộc KVNC đều xảy ra xói lở, với tốc độ lùi bờ lần lượt là 22,80 m/năm (đoạn 1), 28,94 m/năm (đoạn 2), 15,24 m/năm (đoạn 3) và 22,13 m/năm (đoạn 4), 23,82 m/năm (đoạn 5), 31,62 m/năm (đoạn 6), 16,78 m/năm (đoạn 7), 20,42 m/năm (đoạn 8), 25,94 m/năm (đoạn 9) (Bảng 3). Đường bờ (chỉ số SCE) giai đoạn này có sự biến động từ 0,01-598,45 m, trung bình dao động khoảng 27,41 m (Bảng 4). Tổng diện tích sạt của cả khu vực là 335,47 ha, tổng diện bồi 198,64 ha. Như vậy, KVNC đã diễn ra xu thế chuyển từ xói lở (2021-2022) sang bồi tụ (2022-2023), diện tích sạt lở của khu vực đã giảm đáng kể, giảm đi 77,99 ha so với giai đoạn 2021-2022, diện tích bồi tụ tăng 18,86 ha.



Hình 13. Biểu đồ thể hiện diện tích sạt lở tại các huyện trong ba năm (2021-2023).



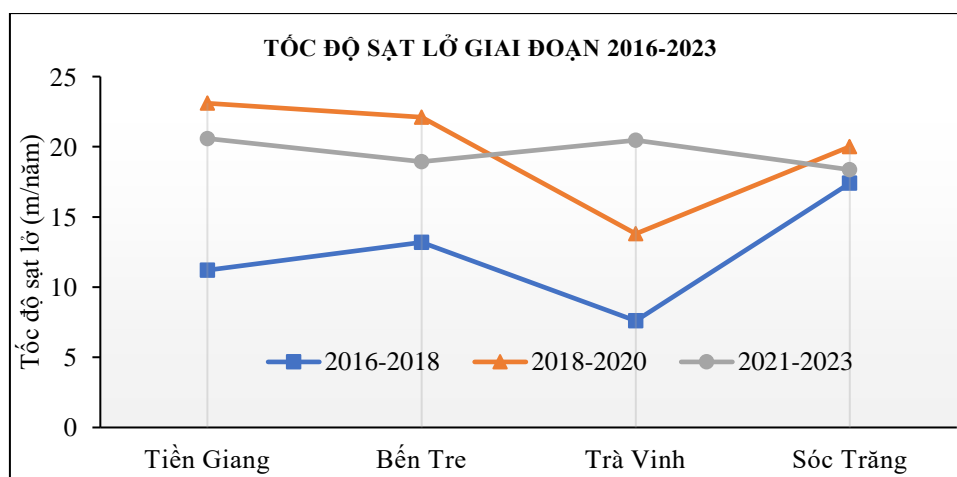
Hình 14. Biểu đồ thể hiện tốc độ sạt lở của các huyện trong ba năm (2021-2023).

Từ biểu đồ Hình 13 và 14 ta thấy: Diện tích và tốc độ sạt đường bờ tại các huyện Tân Phú Đông, Bình Đại, Cù Lao Dung, Trần Đề khá cao ở giai đoạn 2021-2022 đặc biệt là ở Bình Đại và Trần Đề, nhưng đến năm 2023 lại giảm xuống đáng kể, đây có thể xem là kết quả khả quan do nhà nước đã có những biện pháp cấp bách kịp thời để hạn chế sạt lở như kê giảm sóng bảo vệ bờ biển khu vực Côn Ngoại, Côn Nhân xã Bảo Thuận, huyện Ba Tri; kê giảm sóng bảo vệ bờ biển khu vực Cồn Bưng, xã Thạnh Phong và công trình chống xói lở bờ biển khu vực Cồn Lợi, xã Thạnh Hải, huyện Thạnh Phú [28]. Tại các huyện khác như Thạnh Phú diện tích và tốc độ sạt thay đổi không đáng kể và có xu hướng tăng. Đáng chú ý tại Duyên Hải diện tích sạt lở có xu hướng tăng cao gần như gấp đôi ở năm 2023.

Để theo dõi diễn biến sạt lở trong KVNC từ năm 2016-2023 và kiểm định tính chính xác của kết quả, nghiên cứu đã kế thừa kết quả nghiên cứu trước của nhóm tác giả [16]. Kết quả phân tích EPR giai đoạn 2016-2018, 2018-2020 và kết quả nghiên cứu 2021-2023 được thể hiện trong Bảng 6.

Bảng 6. Tốc độ sạt lở/bồi tụ giai đoạn 2016-2023.

Tỉnh	2016-2018		2018-2020		2021-2023	
	Sạt lở	Bồi tụ	Sạt lở	Bồi tụ	Sạt lở	Bồi tụ
Tiền Giang	-11,2	23,4	-23,1	11,5	-20,6	17,2
Bến Tre	-13,2	15,4	-22,1	17,5	-18,9	17,6
Trà Vinh	-7,6	9,9	-13,8	11,1	-20,5	23,7
Sóc Trăng	-17,4	52,1	-20,0	30,9	-18,4	13,7
KVNC	-12,8	29,3	-17,5	21,9	-19,3	18,4



Hình 15. Biểu đồ tốc độ sạt lở của KVNC từ 2016-2023.

Từ Bảng 6 cho thấy xu hướng sạt lở đang gia tăng chậm tại KVNC (tăng 1,5 lần giai đoạn 2016-2023), lần lượt là 12,8 m/năm (2016-2018), 17,5 m/năm (2018-2020), và 19,3 m/năm (2021-2023). Trong khi đó, tốc độ bồi tụ lại giảm 1,6 lần trong giai đoạn 2016-2023, lần lượt là 29,3 m/năm (2016-2018), 21,9 m/năm (2018-2020) và 18,4 m/năm (2021-2023). Tại Tiền Giang, tốc độ sạt lở tăng 1,06 lần ở giai đoạn 2018-2020 (từ 11,2 lên 23,1 m/năm), đến giai đoạn 2021-2023 giảm nhẹ còn 20,6 m/năm. Tương tự, tại tỉnh Bến Tre tốc độ sạt tăng 0,67 lần (từ 13,2 lên 22,1 m/năm), đến giai đoạn 2021-2023 giảm còn 18,9 m/năm. Tại Trà Vinh, tốc độ sạt gia tăng qua các năm, từ 7,6 m/năm thấp nhất trong khu vực tăng 0,82 lần ở giai đoạn 2018-2020 (từ 7,6 lên 13,8 m/năm), đến giai đoạn 2021-2023 tiếp tục tăng 0,49 lần lên 20,5 m/năm cao thứ 2 trong khu vực (chỉ sau Tiền Giang). Tốc độ sạt lở tại tỉnh Sóc Trăng thay đổi không đáng kể qua các giai đoạn, chỉ tăng nhẹ 0,15 lần ở giai đoạn 2018-2020 (từ 17,4 lên 20,0 m/năm), đến giai đoạn 2021-2023 giảm nhẹ còn 18,4 m/năm. Quan sát biểu đồ (Hình 15), có thể nhận thấy các tỉnh Tiền Giang, Bến Tre và Sóc Trăng có tốc độ xói lở giảm nhẹ ở giai đoạn 2021-2023 so với các giai đoạn trước đó, trong khi Trà Vinh có xu hướng xói lở tăng nhanh, cần có những biện pháp phòng tránh và giảm thiểu tác động của sạt lở đường bờ tại địa phương này.

So với nghiên cứu [16] nghiên cứu này giới hạn cho 243 km đường bờ, chiếm khoảng 3/10 độ dài đường bờ của ĐBSCL tương đương tiểu vùng 1 của nghiên cứu trước [16]. Tuy nghiên cứu này có mục tiêu đánh giá tình trạng sạt lở ở từng địa phương của tiểu vùng, làm rõ vị trí bị sạt lở nhiều nhất cũng như diễn biến đường bờ của khu vực.

Các tỉnh khu vực ĐBSCL đã và đang đứng trước nhiều khó khăn, thách thức trước tác động khôn lường của biến đổi khí hậu, nước biển dâng. Bờ biển từ Tiền Giang đến Sóc Trăng bị ảnh hưởng nặng nề trong các năm qua. Với phạm vi và mức độ như vậy cần có nhiều biện pháp cấp bách, kịp thời hơn để hạn chế thiệt hại đối với con người và thiên nhiên.

4. Kết luận

Nghiên cứu này ứng dụng GIS, viễn thám xác định mức độ và phạm vi xói lở bờ biển Tiền Giang-Sóc Trăng, giai đoạn 2021-2023. Kết quả cho thấy, từ năm 2021-2023, bờ biển từ Tiền Giang đến Sóc Trăng có diện tích sạt lở trung bình năm khoảng 14-47 ha. Đặc biệt, khu vực có đường bờ biển dài như Duyên Hải, Vĩnh Châu có diện tích lớn hơn (68-113 ha). Tốc độ sạt trung bình khoảng 21-38 m/năm. Khoảng cách dao động đường bờ trung bình từ khoảng 19-42 m. Tổng diện tích sạt lở của toàn KVNC trong giai đoạn ba năm 2021-2023 là 578,78 ha, bồi tụ là 243,26 ha. Khu vực gần cửa biển thường có diễn biến bồi xói phức tạp qua các năm gồm Cửa Tiểu, Cửa Đại, Cửa Ba Lai, Cửa Cỏ Chiên, Cửa Định An, Cửa Trần Đề và Cửa Mỹ Thạnh. Đến năm 2023 tốc độ xói có xu hướng giảm trên toàn khu vực tuy nhiên diện tích xói vẫn tăng cao ở một số khu vực có đường bờ dài như Duyên Hải, Vĩnh

Châu. Khu vực này cần có các biện pháp hiệu quả để tình hình sạt lở được kiểm soát tốt hơn, giảm thiệt hại đến mức tối thiểu nhất.

Do hạn chế về thời gian thực hiện nghiên cứu, giai đoạn số hóa đường bờ cần sự chính xác cao, nhóm tác giả chưa thể xây dựng bộ dữ liệu nghiên cứu cho toàn bộ khu vực ĐBSCL để có cái nhìn tổng quát hơn về tình trạng sạt lở đường bờ mà chỉ giới hạn xử lý dữ liệu cho bốn tỉnh Tiền Giang, Bến Tre, Trà Vinh, Sóc Trăng. Bên cạnh đó nghiên cứu gặp phải một vài hạn chế về dữ liệu thực đo, chưa có số liệu đo đạc tại địa phương để so sánh với kết quả phân tích từ ảnh viễn thám. Các kết quả nghiên cứu chỉ đưa ra mức độ và phạm vi sạt lở nhưng chưa tìm ra nguyên nhân chính xác tại sao diễn ra các quá trình đó (chỉ đưa ra ở phần phân tích thông qua thu thập tài liệu). Từ các hạn chế trên nhóm tác giả mong muốn mở rộng phạm vi nghiên cứu trong tương lai, trong quá trình nghiên cứu sẽ thu thập thêm dữ liệu thực đo để tăng thêm độ tin cậy cho kết quả chiết xuất đường bờ. Bước tiếp theo cần mô hình hóa để tìm ra nguyên nhân bồi, xói từ đó làm cơ sở để đề xuất thực hiện các biện pháp, giải pháp kịp thời ở những khu vực có nguy cơ xói lở cao.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu và đặt ra bài toán: B.T.L; Xử lý số liệu: P.V.T.P.; Viết bản thảo bài báo: P.V.T.P., P.T.H.H.; Chỉnh sửa bài báo: B.T.L., P.T.H.H.

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. Quynh, C.K.N.; Hanh, P.T.H.; Long, B.T. Assessment of the shoreline evolution and coastal erosion trends along Cua Dai beach, Hoi An City, Quang Nam. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *736(1)*, 41–53.
2. Alharbi, O.A.; Hasan, S.S.; Fahil, A.S.; Mannaa, A.; Buitrago, N.R.; Alqurashi, A.F. Shoreline change rate detection applying the DSAS technique on low and medium resolution data: Case study along Ash Shu'aybah-Al Mujayrimah coastal Area of the Eastern Red Sea, Saudi Arabia. *Reg. Stud. Mar. Sci.* **2023**, *66*, 103118. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103118>.
3. Bheeroo, R.A.; Chandrasekar, N.; Kaliraj, S.; Magesh, N.S. Shoreline change rate and erosion risk assessment along the Trou Aux Biches–Mont Choisy beach on the northwest coast of Mauritius using GIS-DSAS technique. *Environ. Earth Sci.* **2016**, *75*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5311-4>.
4. Hapke, C.J.; Brenner, O.; Hehre, R.; Reynolds, B.J. Coastal Change from Hurricane Sandy and the 2012–13 Winter Storm Season: Fire Island, New York. *Mar. Sci. Fac. Publ.* **2013**, 2501, pp. 37. https://digitalcommons.usf.edu/msc_facpub/2501/.
5. Mishra, M.; Kar, D.; Santos, C.A.G.; da Silva, R.M.; Das, P.P. Assessment of impacts to the sequence of the tropical cyclone Nisarga and monsoon events in shoreline changes and vegetation damage in the coastal zone of Maharashtra, India. *Mar. Pollut. Bull.* **2022**, *174*, 113262. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113262>.
6. Kish, S.A.; Donoghue, J.F. Coastal Response to Storms and Sea-Level Rise: Santa Rosa Island, Northwest Florida, U.S.A. *J. Coastal Res.* **2013**, *63*, 131–140. <https://doi.org/10.2112/SI63-012.1>.
7. Al-Zubieri, A.G.; Ghandour, I.M.; Bantan, R.A.; Basaham, A.S. Shoreline Evolution Between Al Lith and Ras Mahāsin on the Red Sea Coast, Saudi Arabia Using GIS and DSAS Techniques. *J. Indian Soc. Remote Sens.* **2020**, *48*, 1455–1470. <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01169-6>.
8. Singh, S.; Solanki, H.; Prakash, I. Shoreline Change Analysis Using Digital Shoreline Analysis System (DSAS) in the Coastal Area of Jambusar, Gujarat, India. *Acta Sci. Environ. Sci.* **2022**, *1(1)*, 10–16.

9. Khomsin; Pratomo, D.G.; Pramudya, F.A. Evaluation of shoreline change using multitemporal satellite images. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2021**, 731, 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/731/1/012006>.
10. Joesidawati, M.I.; Suntoyo. Shoreline Change in Tuban district, East Java using Geospatial and Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Techniques. *Int. J. Oceans Oceanogr.* **2016**, 10(2), 235–246.
11. Apandi, E.B.T.; Salleh, S.A.; Rahim, H.A.; Adnan, N.A. Mapping of Coastline Changes in Mangrove Forest using Digital Shoreline Analyst System (DSAS). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2022**, 1067, 1–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1067/1/012036>.
12. Non, D.Q.; Ngũ, N.H.; Linh, N.T.N.; Vinh, N.T. Tích hợp DSAS (Digital Shorelines Analysis System), GIS - viễn thám đánh giá biến động đường bờ biển: trường hợp nghiên cứu tại Cửa Đại, tỉnh Quảng Nam. *VN J. Agric.* **2017**, 3, 128–134.
13. Hà, N.T.T.; Vệ, N.Đ.; Lựu, N.M. Tuyển tập báo cáo khoa học: Nghiên cứu ứng dụng, phát triển hạ tầng dữ liệu không gian địa lý quốc gia: Vai trò của công nghệ đo đạc bản đồ hiện đại. Nhà xuất bản Tài nguyên - môi trường và bản đồ Việt Nam, Hà Nội, 2021, pp. 220–227.
14. Châu, T.K.; Hiền, L.T.T.; Hoa, N.T.; Trung, L.H. Nghiên cứu diễn biến đường bờ biển Hà Tĩnh bằng công nghệ viễn thám và GIS. 2018. Trục tuyến: https://www.researchgate.net/publication/329235714_nghien_cuu_dien_bien_duong_b_o_bien_ha_tinh_bang_cong_nghe_vien_tham_va_gis.
15. Hậu, L.M.; Hồng, N.T.C.; Loan, T.T.; Duy, Đ.V.; Tỳ, T.V. Đánh giá biến động đường bờ biển Thị xã Vĩnh Châu tỉnh Sóc Trăng bằng phương pháp ảnh viễn thám. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 733(1), 98–108.
16. Hanh, T.H.P.; Long, B.T. Mechanism of erosion zone formation based on hydrodynamic factor analysis in the Mekong Delta coast, Vietnam. *Environ. Technol. Innovation* **2023**, 30, 103094. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103094>.
17. Thị, V.; Dẫn, V.; Thị, N.V.; Hưng, V.; Văn, H. Nghiên cứu xây dựng quy trình ảnh vệ tinh Landsat 8 Trong Arcgis. *Tạp Chí Khoa Học Và Công Nghệ* **2015**, 1-2015, 73–83.
18. What are the band designations for the Landsat satellites?. USGS. Online available: https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=3#qt-news_science_products (accessed Jul. 27, 2023).
19. Laonamsai, J. et al. Utilizing NDWI, MNDWI, SAVI, WRI, and AWEI for Estimating Erosion and Deposition in Ping River in Thailand. *Hydrology* **2023**, 10(3), 1–25. <https://doi.org/10.3390/hydrology10030070>.
20. Himmelstoss, E.A.; Henderson, R.E.; Kratzmann, M.G.; Farris, A.S. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.1 User Guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2021–1091. U.S. *Geol. Surv.* **2021**, pp. 104.
21. Thành, L.T.; Hải, N.V. Diễn biến thủy động lực khu vực bờ biển Gò Công Đông - Tiền Giang, dưới tác dụng của mô hàn và đê ngầm phá sóng bằng Geo-tube. Hội đập lớn và phát triển nguồn nước Việt Nam, 2016.
22. Sáo, N.T.; Huân, N.M. Nghiên cứu bồi lấp cửa Ba Lai, Bến Tre. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2011**, 27(1S), 211–217.
23. Ba Lai. Website thông tin Kinh tế - Xã hội tỉnh Bến Tre. 2011. Trục tuyến: https://web.archive.org/web/20110617120843/http://www.bentre.gov.vn/index.php?option=com_content&task=view&id=556
24. Bình, L.T.H.; Thành, L.T. Diễn biến hình thái học của cửa sông Cỏ Chiên và Cung Hầu, thuộc hệ thống sông Cửu Long, Việt Nam. *Tạp chí khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường* **2014**, 46, 56–62.
25. H.V.Hiệp; H.H.Trí; N.T.Công; N.G.Truyền. Nghiên cứu nguyên nhân sạt lở bờ sông: trường hợp nghiên cứu tỉnh Trà Vinh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 741, 19–28.
26. Khoa, H.Đ.; Hồng, H.T.C.; Thanh, T.N.; Liễu, N.T.T.; Tỳ, T.V.; Thân, C.T.N.; Thắng, C.N.; Toàn, H.T.; Tuấn, H.M.; Duy, Đ.V.; Ninh, T.Q. Quan trắc diễn biến đường bờ Cù

Lao Dung bằng công nghệ phân tích ảnh viễn thám. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng* **2023**, 13(02), 54–58.

27. Lợi, L.T.; Nguyễn, L.T.; Duy, N.N.; Trí, V.P.Đ. Đánh giá khả năng giảm sóng triều của độ dày rừng ngập mặn tại huyện Trần Đề, tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2019**, 55(2), 18–26.

28. Trí, C. Sạt lở ở Bến Tre diễn biến phức tạp. Báo Tin Tức. 2022. Truy cập: <https://baotintuc.vn/tay-bac-tay-nguyen-tay-nam-bo/sat-lo-o-ben-tre-dien-bien-phuc-tap-20221118091950327.htm#:~:text=Thời gian qua%2C được sự quan tâm%2C hồ, và xã Nhơn Thạnh%2C thành phố Bến Tre.>

Application of remote sensing, GIS to assess the rate and range of coastal erosion in the Mekong River Delta, from Tien Giang to Soc Trang Province

Phan Vo Tieu Phuong^{1,2}, Pham Thi Hong Hanh^{2,3}, Bui Ta Long^{1,2*}

¹ Faculty of Environment and Natural Resources, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam; phuong.phanthantichduyen@hcmut.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

² National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam; phuong.phanthantichduyen@hcmut.edu.vn; hanhpth99@hcmut.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

³ National University Ho Chi Minh (VNU-HCM) Key Laboratory of Advanced Waste Treatment Technology, HCMUT; hanhpth99@hcmut.edu.vn

Abstract: Coastal erosion in the Mekong Delta is happening with more frequency and more serious damage. This type of disaster greatly affects people's lives, properties and livelihoods and is the subject of many research projects and projects. Remote sensing is one of the methods chosen to analyze the shoreline change over the years. In this study, Landsat 8 remote sensing images were combined with the DSAS tool integrated in ArcGIS software to clarify the shoreline changes and erosions occurring in the coastal area from Tien Giang to Soc Trang in the period of 2021-2023. The analysis results show that, about 63.71% of the length of the shoreline will be eroded in the period of 2021-2022. However, by the next period 2022-2023, this number drops to 59.03%. This shows that the extent of erosion is almost equal in the two periods but tends to decrease slightly. Along with that, comparing the results with the period 2016-2020, it can be seen that in the period of 2021-2023 Tien Giang, Ben Tre and Soc Trang provinces have a slight decrease in erosion rate, while Tra Vinh province tends to have a slight decrease in erosion rate. the direction of erosion increases rapidly. The results are the basis for improving the capacity of landslide forecasting, warning, monitoring and coastal management, minimizing the impact of landslides, and protecting people's safety and livelihoods.

Keywords: Remote sensing; Shoreline analysis; Accretion/erosion; Mekong Delta.

Bài báo khoa học

Giải pháp công trình khắc phục sạt lở cồn Thanh Long

Văn Hữu Huệ^{1*}

¹ Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, Vĩnh Long; huuhuevan@gmail.com

*Tác giả liên hệ: huuhuevan@gmail.com; Tel.: +84-919235799.

Ban Biên tập nhận bài: 5/8/2023; Ngày phản biện xong: 14/9/2023; Ngày đăng bài: 25/10/2023

Tóm tắt: Cồn Thanh Long được hình thành bởi quá trình bồi tích của sông, thời gian thành tạo ngắn nên đất chưa có kết cấu cao, lực dính hạn chế nên dễ sạt lở, để bảo vệ vùng đất này cần xác định rõ về địa chất, dòng chảy, hàm lượng chất lơ lửng, tác động của gió... để tìm ra nguyên nhân sạt lở và đề xuất giải pháp ứng phó. Nghiên cứu đã dùng các phương pháp điều tra, thu thập, kế thừa, đánh giá thông tin, phân tích ảnh viễn thám, mô hình toán, tham khảo chuyên gia... xác định nguyên nhân chính là dòng chảy hướng vào đầu cồn gây ra sạt lở và kiến nghị giải pháp kè và mỏ hàn bảo vệ cồn Thanh Long.

Từ khóa: Cồn Thanh Long; Giải pháp bảo vệ cù lao; Ổn định đất ven sông; Sạt lở cồn Thanh Long.

1. Mở đầu

Những năm qua, tình hình sạt lở tại các quần đảo, đảo, cồn, cù lao trên thế giới diễn biến phức tạp, cụ thể như sạt lở ở Red Rock, đảo Coochiemudlo, phía nam của Vịnh Moreton, thuộc Đông Nam Queensland, Úc [1]. Trên thế giới có rất nhiều nghiên cứu về việc dự báo xói lở bờ biển cũng như giải pháp khắc phục. Trong đó, Pilarczyk (2001) đã đưa ra cơ chế phá hủy đê khi sóng tràn qua đê biển. Mái đê phía biển chịu tác động trực tiếp của sóng. Thân đê sẽ bị phá hỏng ở phía biển do sóng và áp lực thấm đẩy ngược dưới đáy bề mặt gia cố. Đỉnh đê sẽ bị xói bề mặt, trượt do thấm. Như vậy khi sóng tràn, mái trong đồng và mái ngoài biển đều sẽ bị phá hủy.

Ở Việt Nam, hình thức sạt lở này cũng xảy ra nhiều nơi. Cù Lao Dung (Sóc Trăng) với gần 17 km đường bờ biển, lũ tháng 10/2011 đã phá hủy nhiều tuyến đê trên huyện Cù Lao Dung và ảnh hưởng 2.000 ha diện tích cây trồng. Các tai biến bờ sông bờ biển đang diễn biến hết sức phức tạp trên địa bàn Cù Lao Dung [2].

Những năm gần đây, tình hình sạt lở tại cù lao Tân Phong (xã Tân Phong, huyện Cai Lậy, tỉnh Tiền Giang) diễn biến rất phức tạp. Bình quân mỗi năm, xã Tân Phong bị sạt lở từ 2,0÷3,0 m, làm mất đất sản xuất từ 2,0÷3,0 ha. Khu vực đầu cù lao, sạt lở lấn sâu vào hơn 30 m. Di dời đê bao ba lần nhưng tình trạng sạt lở vẫn tiếp diễn. Từ tháng 4/2022 đến nay, cù lao Tân Phong liên tiếp xảy ra nhiều vụ sạt lở; phạm vi ảnh hưởng suốt chiều dài 1.350 m; hàng năm, sạt lở ảnh hưởng đến hàng chục ha đất sản xuất (Hình 1).

Cồn Long Khánh (huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp) bị sạt lở với chiều dài 3.000 m, lấn sâu vào 50 m [3], sạt lở năm nào cũng diễn ra. Tuyến đường ven sông Tiền thuộc đê bao cồn Ông, xã Tân Khánh Trung, huyện Lấp Vò, là nơi tiếp giáp với khu vực khai thác cát (Mỏ cát thuộc xã Tân Mỹ - Tân Khánh Trung) và các loại sà lan, ghe tàu qua lại nhiều nên trong thời gian qua đã xuất hiện nhiều vết nứt lớn; cụ thể, từ ngày 24/5÷10/6/2019 xảy ra sụp lún tuyến đường, lấn sâu vào sát mép đường đê, chiều dài 60 m. Trong hai ngày 3÷4/7/2019 sạt lở chiều dài 30 m, lấn vào hơn 2/3 mặt đường, cách bờ khoảng 50 m trở ra sông có cao trình đáy từ -14 ÷ -16, rất sâu.

Vĩnh Long là tỉnh thuộc hạ lưu MeKong, nằm giữa sông Tiền, sông Hậu, tổng diện tích tự nhiên 152.573,2 ha, bờ sông Cổ Chiên (đoạn từ vàm sông Mương Lộ đến rạch Bà Bống), thuộc Tổ 9, Tổ 10, ấp Bình Thuận 1, xã Hòa Ninh, huyện Long Hồ, tỉnh Vĩnh Long đã xảy ra vụ sạt lở nghiêm trọng, vào khoảng 16 giờ 30 phút ngày 05/12/2022, chiều dài đoạn sạt lở khoảng 350 m, rộng khoảng 160 m, tổng diện tích khoảng 41.516 m², ảnh hưởng đến 30 hộ dân; thiệt hại 13 căn nhà, 01 nhà kho, 01 xe cuốc, 02 ao nuôi, 01 ghe gỗ tải trọng 2,5 tấn, các vật dụng trong gia đình bị chìm xuống sông. Thiệt hại khoảng 35 tỷ đồng, ảnh hưởng lớn đến tài sản, đời sống của người dân [4]. Cồn Thanh Long được hình thành giữa dòng sông Cổ Chiên năm 1984, là vùng đất đai màu mỡ, trù phú. Cồn phân chia dòng chảy nhánh phải sông Cổ Chiên thành hai nhánh; nhánh phải chảy về phía xã Quới An, nhánh trái chảy về xã Quới Thiện, bên nhánh phải khu vực đầu cồn còn lại là hợp lưu của sông Măng Thít. Cồn như là một hòn đảo được tạo bởi các nhánh sông hợp thành, cùng với đặc điểm là có hệ thống sông kênh rạch chằng chịt [5].



Hình 1. Sạt lở cù lao Tân Phong (trái), Sạt lở đê bao cồn Ông (phải).

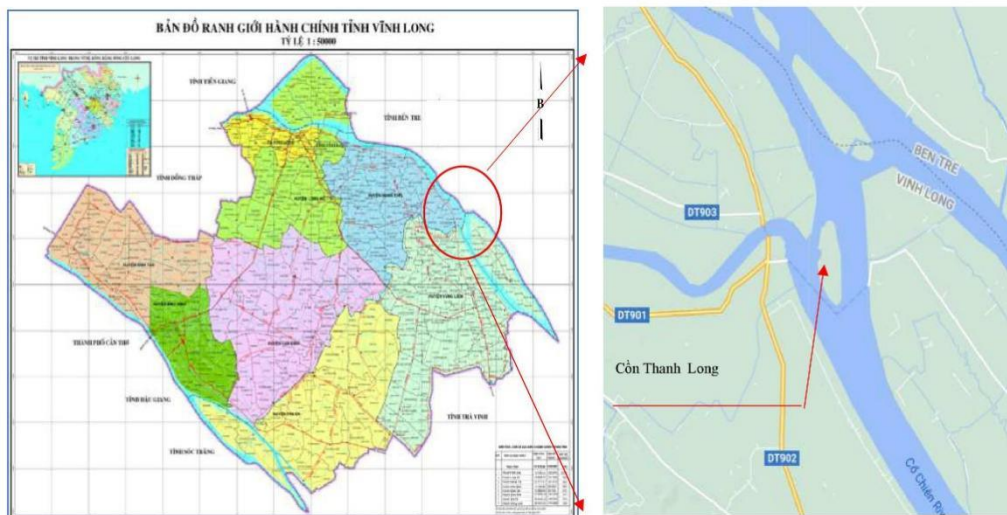
Những năm gần đây cồn đã xảy ra tình trạng sạt lở bờ xảy ra ngày một nghiêm trọng. Trước năm 2016, diện tích của cồn khoảng 50 ha; từ năm 2016 đến nay cồn thường xuyên xảy ra nhiều vị trí sạt lở, mất khoảng 11 ha đất, còn lại khoảng 39 ha. Trong tương lai, cồn sẽ bị biến mất nếu không có giải pháp can thiệp. Vì vậy, việc xác định nguyên nhân sạt lở và đề xuất giải pháp bảo vệ cồn là rất cấp thiết. Tính mới của nghiên cứu là phân tích ảnh viễn thám, tính tốc độ sạt lở giai đoạn 1984-2020.

Bài báo với mục tiêu nghiên cứu đánh giá ổn định bờ sông, phân tích ảnh viễn thám, tác động dòng chảy đối với lòng dẫn, sóng do gió chướng, gia tải mái bờ, vận chuyển bùn cát, diễn biến xói bồi...; từ đó đề xuất giải pháp công trình kè, mô hàn bảo vệ cồn.

2. Phương pháp nghiên cứu và tài liệu thu thập

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu và đặc điểm khí tượng thủy văn

2.1.1. Phạm vi nghiên cứu

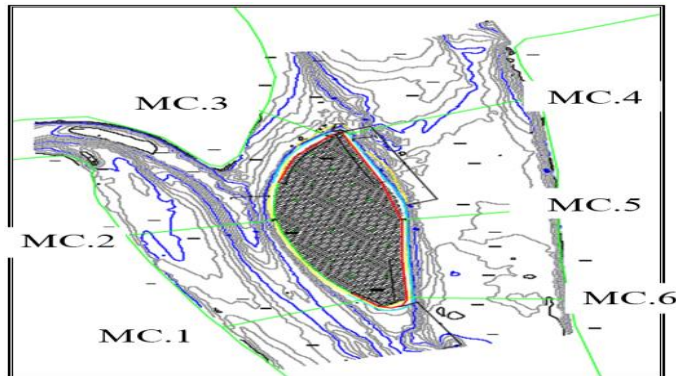


Hình 2. Bản đồ vị trí cồn Thanh Long [5].

Phạm vi nghiên cứu Cồn Thanh Long thuộc ấp Phước Lý Nhì xã Quới Thiện, huyện Vũng Liêm, tỉnh Vĩnh Long. Thời gian nghiên cứu là giai đoạn 1984-2023 (Hình 2).

Lòng dẫn sông Cổ Chiên đoạn chảy qua cồn có sự biến đổi mạnh, dọc theo chiều dài sông xuất hiện nhiều hố xói cục bộ (Hình 3).

Cao độ trung bình mặt đất tự nhiên từ $+1,5 \div +1,8$, cao trình lòng dẫn đầu cồn khá sâu; $-5,0 \div -19,5$; khu vực gần bờ $-3,0 \div -8,0$ với xu thế lạch sâu ép sát đầu cồn. Phía dưới đầu cồn bên nhánh trái đã xuất hiện hố xói $-15,5$, cách bờ 80 m; lạch sâu có cao độ $-12,0 \div -14,5$. Nhánh phải lạch sâu có xu thế ép về phía cồn. Tại ngã ba sông Măng Thít hố xói có cao độ $-16,5$ cách bờ 100 m. Lạch sâu lòng dẫn nhánh phải đoạn phía dưới ngã ba sông Măng Thít có cao độ từ $-10,0 \div -12,5$. Lòng sông phía đuôi cồn nông hơn, cao độ từ $-0,5 \div -2,0$; cách đuôi cồn về hạ lưu 300 m cũng xuất hiện hố xói -20 . Lòng dẫn khu vực đầu cồn và về hạ lưu khoảng 500 m bên nhánh trái và 300 m bên nhánh phải có hình thái bất lợi đối với sự ổn định bờ sông và dễ gây sạt lở bờ sông [5].



Hình 3. Địa hình lòng sông cồn Thanh Long và vị trí một số mặt cắt (MC.) điển hình.

2.1.2. Đặc điểm khí hậu, khí tượng và chế độ thủy văn dòng chảy

Khí hậu, khí tượng nằm trong vùng nhiệt đới gió mùa. Tổng lượng mưa bình quân cao nhất trong năm là 1.893,1 mm/năm. Chế độ thủy văn chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố như dòng chảy thượng nguồn Mekong, thủy triều biển Đông, chế độ mưa đồng bằng, sông Cổ Chiên, sông Măng Thít và hệ thống kênh rạch. Mực nước và biên độ triều khá cao, cường độ triều truyền mạnh, mùa lũ biên độ triều khoảng $70 \div 90$ cm và mùa khô biên độ triều dao động $114 \div 140$ cm [5]. Lưu tốc, lưu lượng, mực nước kế thừa từ các dự án trước. Nghiên cứu chỉ quan trắc 01 trạm đo mực nước và 02 trạm đo lưu tốc, lưu lượng, thời gian đo từ ngày 7÷10/4/2021, đo 24/24 (mỗi giờ đo 1 lần). Vị trí khảo sát được thể hiện ở Hình 4; đo lưu tốc, trùng với thời gian đo mực nước, chênh độ đo 12/24 (02 giờ đo một lần).

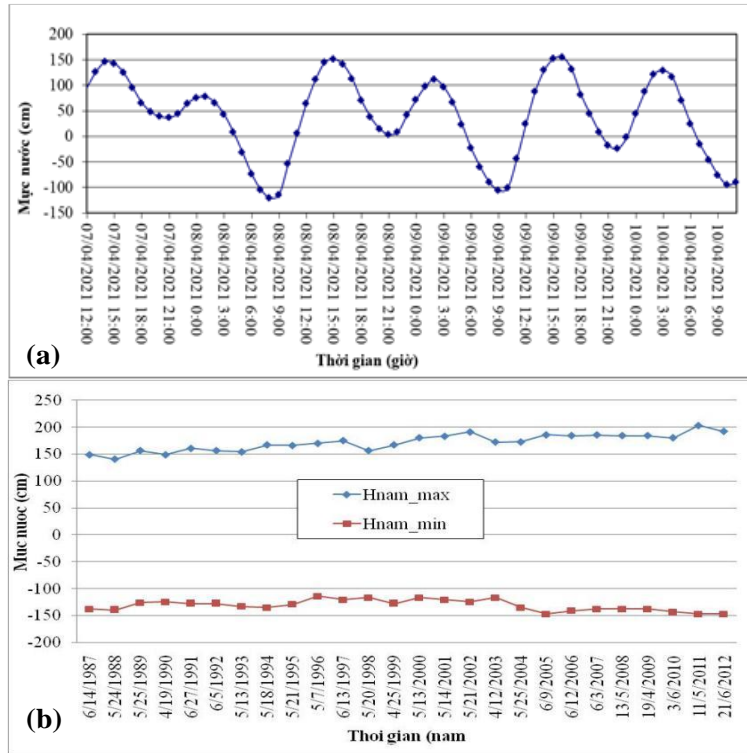


Hình 4. Sơ họa vị trí khảo sát đo đặc thủy văn, bùn cát tại cồn Thanh Long.

2.1.3. Mực nước và vận tốc dòng chảy

- Khảo sát mực nước trong 03 ngày đêm, từ 7÷10/4/2021, chế độ đo 24/24 cho thấy chế độ mực nước chịu ảnh hưởng của thủy triều là chính; đường quá trình mực nước dạng hình sin với chế độ bán nhật triều không đều một chân triều thấp và một chân triều cao. Từ 7÷10/4/2021, đỉnh triều lớn nhất $+155$ cm, chân triều nhỏ nhất -106 cm, biên độ triều khá lớn, đạt 261 cm; mực nước có xu thế tăng dần, bình quân mỗi năm tăng 1,7 cm, chứng tỏ

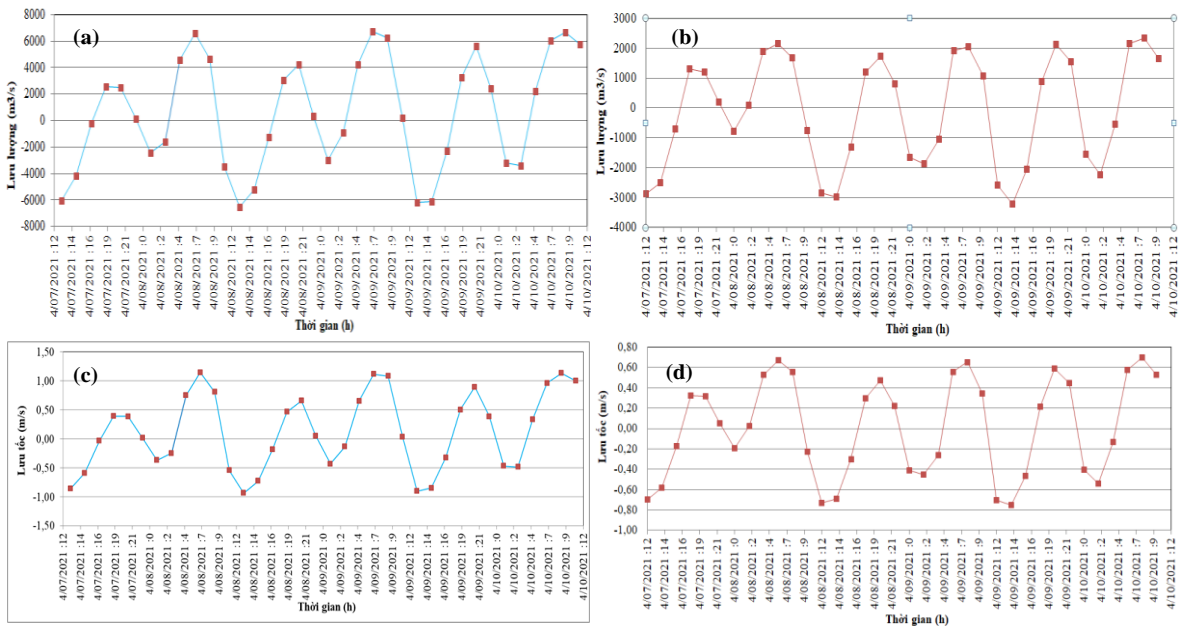
mực nước khu vực cũng chịu ảnh hưởng của BĐKH - nước biển dâng; trong khi đó mực nước đặc trưng thấp nhất năm tăng giảm theo quy luật chu kỳ nhiều năm (Hình 5).



Hình 5. Đường quá trình mực nước thực đo (a) và đặc trưng (b) năm [5].

- Lưu lượng dòng chảy thuộc nhánh trái lớn hơn nhánh phải, khi triều xuống khoảng 2,89 lần, khi triều lên 2,03 lần.

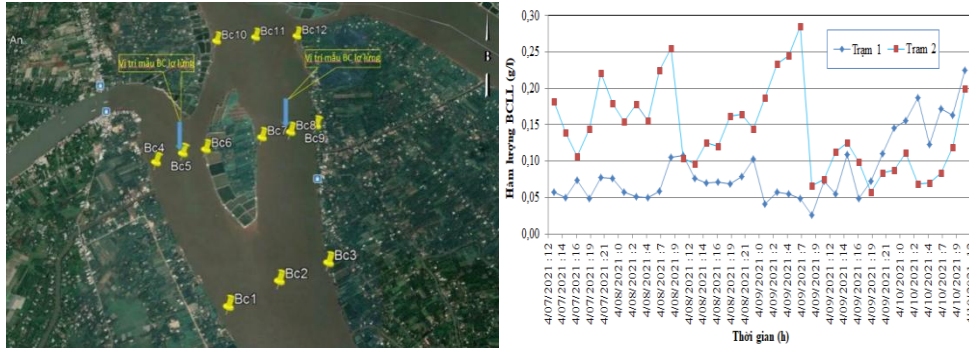
Lưu lượng, lưu tốc dòng chảy khi triều xuống và triều lên gần bằng nhau trong mùa kiệt (nhưng ngược chiều); cho thấy khu vực không có ảnh hưởng của dòng chảy lũ thượng nguồn trong mùa kiệt. Lưu lượng, lưu tốc ở nhánh trái lớn hơn nhánh phải cho nên diễn biến xói lở ở nhánh trái lớn hơn nhánh phải (Hình 6).



Hình 6. Quá trình lưu lượng và lưu tốc: (a) Quá trình lưu lượng thực đo nhánh trái (từ 7÷10/4/2021); (b) Quá trình lưu lượng nhánh phải (từ 7/04/2021÷10/4/2021); (c) Quá trình lưu tốc nhánh trái (từ 7÷10/4/2021); (d) Quá trình lưu tốc nhánh phải (từ 7÷10/4/2021) [5].

2.1.4. Chế độ bùn cát

Theo các tài liệu thu thập được [6–8], hàm lượng phù sa sông Tiền và khu vực nghiên cứu không lớn; một phần phù sa lắng đọng trong sông, đồng, phần khác ra biển. Vị trí MC. đo, lấy mẫu và kết quả khảo sát 36 mẫu bùn cát cho mỗi nhánh và 12 mẫu bùn cát đáy trình bày trên Hình 7.



Hình 7. Sơ đồ vị trí lấy mẫu bùn cát đáy (trái) và hàm lượng bùn cát lơ lửng thực đo trạm 1 (nhánh phải) và trạm 2 (nhánh trái) (phải).

2.1.5. Thực trạng sạt lở cồn Thanh Long

Với chu vi cồn khoảng 2.750 m, sạt lở với chiều dài 1.900 m, 03 vị trí sạt lở lớn gồm [5]:

- Khu vực đầu Cồn (KV.1) chiều dài sạt lở 800 m, trong đó nhánh trái 500 m và nhánh phải 300 m, sạt lở diễn ra ngày một mạnh hơn, mạnh nhất với tốc độ từ 5÷8 m/năm (Hình 8).



Hình 8. Hình ảnh minh họa sạt lở bờ sông khu vực đầu cồn Thanh Long (KV.1): (a) Khu vực đầu cồn - Nhánh phải; (b) Khu vực đầu cồn - Nhánh trái.

- Đoạn bờ nhánh trái (KV.2) với chiều dài 700 đến gần cuối cồn sạt lở bờ diễn ra cũng tương đối mạnh, với tốc độ từ 2÷4 m/năm (Hình 9).



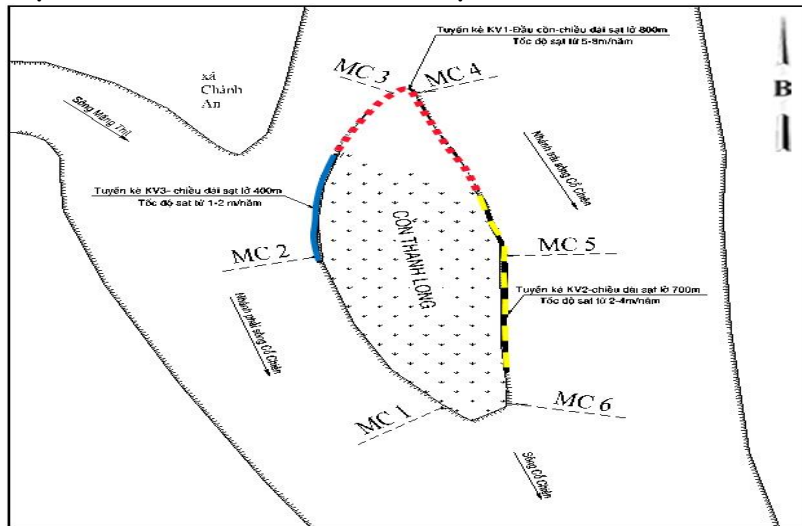
Hình 9. Hình ảnh sạt lở bờ sông cồn Thanh Long (KV. 2): (a, b) Khu vực nhánh trái.

- Nhánh phải (KV.3) đoạn hợp lưu với sông Măng Thít với chiều dài 400 m, sạt lở diễn biến phức tạp, tốc độ từ 1÷2 m/năm, lòng sông đã xuất hiện hố xói cách bờ khoảng 80 m, chỗ sâu nhất đạt đến cao trình -17, là một trong những nguyên nhân gây ra sạt lở bờ, cung trượt sạt lở có thể lấn vào bờ từ 10÷30 m (Hình 10).



Hình 10. Hình ảnh sạt lở bờ sông cồn Thanh Long (KV. 3): (a, b) Khu vực nhánh phải.

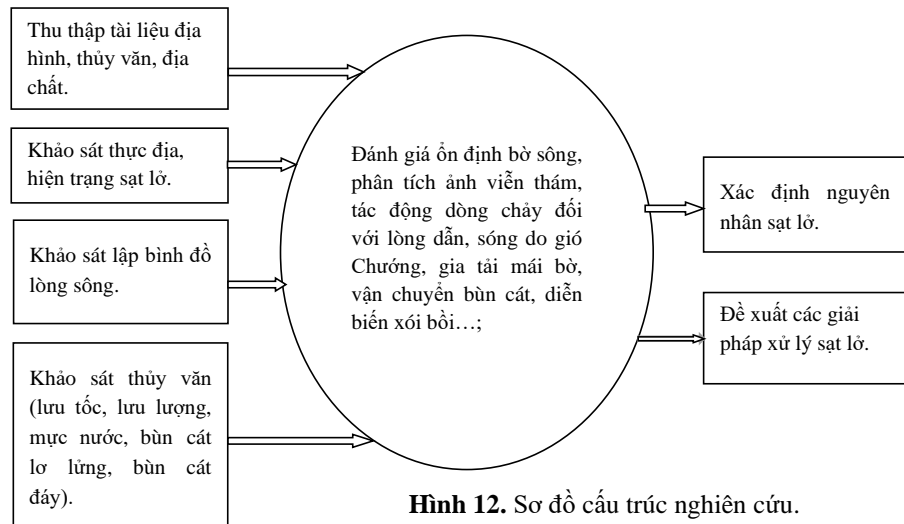
Đuôi cồn có vài vị trí sạt lở nhỏ là do đắp bờ tạo ao nuôi cá không đảm bảo ổn định. Vị trí các khu vực sạt lở và các MC. điển hình thể hiện ở Hình 11.



Hình 11. Sơ đồ vị trí sạt lở cồn Thanh Long và các MC. điển hình.

2.2. Dữ liệu sử dụng và sơ đồ cấu trúc nghiên cứu

Tài liệu địa hình thực đo khu vực nghiên cứu tháng 04/2021. Tài liệu địa chất: Tham khảo địa chất công trình của cống Cái Tôm [5]. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu được thể hiện trên hình 12.



Hình 12. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

3. Phân tích kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá khả năng mất ổn định bờ sông

Bảng 1. Kết quả tính toán ổn định mái bờ trường hợp hiện trạng [9].

Hệ số an toàn cho phép	Hệ số an toàn tính toán					
	MC.1	MC.2	MC.3	MC.4	MC.5	MC.6
$[K] \geq 1,15$	1,30	1,16	1,02	0,97	1,13	1,25

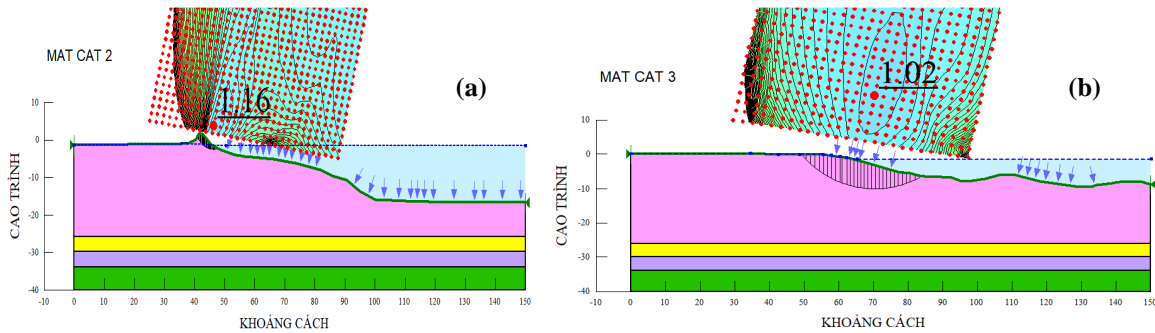
Kết quả tính toán ổn định minh họa trên Hình 13.

- Tại đầu cồn, MC.3 có $K = 1,02$ và MC.4 có $K = 0,97$, nhỏ hơn $[K]$, mái bờ sông khu vực này có khả năng mất ổn định cao. Thực tế ở khu vực này đang sạt lở với tốc độ từ 5÷8 m/năm.

- Nhánh trái cồn, MC.5, $K = 1,13$ nhỏ hơn $[K]$, khả năng mái bờ sông ở tình trạng cân bằng tạm thời, chỉ cần có tác động nhỏ lên bờ sông cũng sẽ gây sạt lở.

- Nhánh phải cồn, MC.2, $K = 1,16 > [K]$, mái bờ sông ở tình trạng cân bằng tạm thời, chỉ cần có tác động nhỏ lên bờ sông cũng sẽ gây sạt lở.

- Đuôi cồn, MC.1, nhánh trái, $K = 1,30$ và nhánh phải MC.6, $K = 1,246$ lớn hơn $[K]$, do đó hiện trạng mái bờ sông khu vực này tương đối ổn định.



Hình 13. Hệ số ổn định mái bờ tại MC.2 (trái) và MC. 3 (phải) [5].

3.2. Phân tích ảnh viễn thám

Phân tích ảnh viễn thám trên nền tảng Googlearth Engine diễn biến hình thái của sông từ năm 1984-2020 (ảnh có độ phân giải cao qua các năm 2010, 2015 và 2020). Kết quả thể hiện trên Hình 14; tốc độ và diện tích xói lở đầu cồn diễn ra mạnh nhất ở ngã ba sông Cổ Chiên và sông Mang Thít; đầu cồn phía bờ phải bị xói lở nhiều nhất, nơi dòng chảy sông Cổ Chiên hướng thẳng vào. Phía cuối cồn trước năm 2015 có xu hướng bồi.

Tốc độ xói lở trung bình ở đầu và bên trái cồn giai đoạn 2010÷2015 là khoảng 10÷12 m/năm. Giai đoạn 2015÷2020 tốc độ xói lở đầu cồn giảm còn 1÷3 m/năm. Riêng phía bờ trái đầu cồn tốc độ duy trì khoảng 7 m/năm. Đuôi cồn xu thế bồi mạnh ở giai đoạn 2010÷2015 với tốc độ trung bình 5 m/năm. Tốc độ xói lở giai đoạn 2015÷2020 có giảm đi so với trước, nhưng trong tương lai giảm khoảng 80% bùn cát về ĐBSCL, chắc chắn tốc độ xói lở sẽ tăng (Hình 14).



Hình 14. Diễn biến đường bờ cồn Thanh Long từ 2010 đến 2020 [5].

3.3. Do đất yếu và tác động của dòng chảy đối với lòng dẫn

Lớp bùn sét yếu dày trên 11 m, góc ma sát trong từ 3÷5°, lực dính 0,05 kg/cm² chịu lực kém, dễ bị nén lún, tan rã; để ổn định, hệ số mái dốc của bờ sông phải lớn hơn 3 [10].

Dòng chảy có vận tốc lớn hơn vận tốc không xói cho phép của đất cấu tạo lòng dẫn, thì sẽ xảy ra xói lở. Mức độ xói lở phụ thuộc vào: (1) độ lớn của vận tốc dòng chảy so với vận tốc cho phép không xói của lòng dẫn; (2) thời gian duy trì các giá trị vận tốc lớn; vận tốc cho phép không xói của lòng dẫn tính từ vận tốc khởi động bùn cát của Êri, Gôntrarốp, Samốp [11].

Công thức của Êri:
$$V_{kd} = 3,9 \sqrt{\left(1 + \frac{0,0004}{d}\right)gd}$$
 (1)

Công thức của Gôntrarốp:
$$V_{kd} = \lg \frac{8,8h}{d} \sqrt{\frac{2}{1,75}agd}$$
 (2)

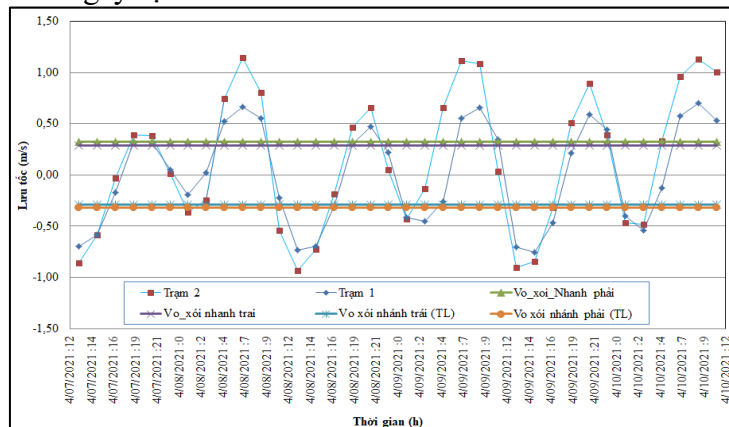
Công thức của Samốp:
$$V_{kd} = 4,6 \sqrt[6]{h \left(\frac{d}{1000}\right)^2}$$
 (3)

Trong đó V_{kd} là lưu tốc khởi động của bùn cát (m/s); K là hằng số; a là hệ số Acsimet, $a = \frac{\gamma_s - \gamma}{\lambda}$ thường lấy a = 1,65; γ_s, γ là trọng lượng riêng của bùn cát (KG/m³), nước; g là gia tốc trọng trường (m/s²); h là chiều sâu dòng nước (m); d là đường kính hạt (m). Kết quả tính (V_{kx}) của bùn cát theo Êri, Gôntrarốp, Samốp và tra biểu đồ (theo Asce Task Committee và Mehrota) thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính toán V_{kd} bùn cát tại nhánh trái, nhánh phải [5].

Vị trí	Mẫu bùn cát đáy	Đường kính hạt d_{50} (mm)	V_{kd} (m/s)				Trung bình
			Êri	Gôntrarốp	Samốp	Tra biểu đồ	
Nhánh phải	BC 4	0,045	0,275	0,241	0,210	0,510	0,309
	BC 5	0,032	0,289	0,287	0,255	0,540	0,343
	BC 6	0,071	0,297	0,309	0,232	0,440	0,319
Nhánh trái	BC 7	0,015	0,270	0,220	0,201	0,450	0,285
	BC 8	0,019	0,269	0,224	0,224	0,500	0,304
	BC 9	0,018	0,268	0,215	0,198	0,520	0,300

Kết quả V_{kx} cho phép của đất cấu tạo lòng dẫn ở phía nhánh phải lớn hơn nhánh trái. So sánh vận tốc trung bình MC. (V_{tb}) với V_{kx} trên cùng một hệ trục tọa độ (Hình 15) để phân tích nguyên nhân gây sạt lở.

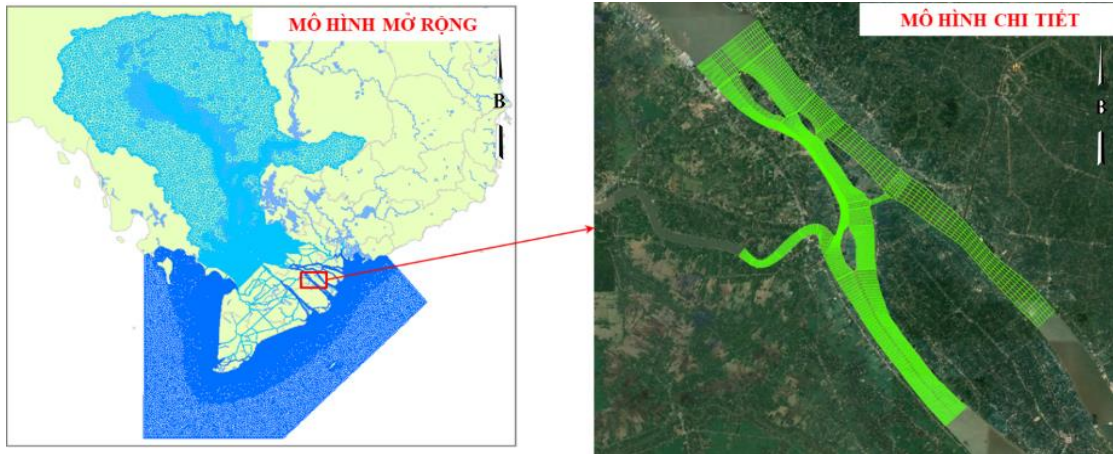


Hình 15. So sánh lưu tốc dòng chảy và lưu tốc không xói của lòng dẫn [5].

- Từ ngày 7÷10/4/2021, đường quá trình lưu tốc cả hai nhánh đều có $V_{tb} > V_{kx}$ kể cả lúc triều lên và triều xuống, vì là mùa kiệt, dòng chảy từ thượng nguồn về ít, do đó vào mùa lũ vận tốc V_{tb} sẽ lớn hơn và thời gian duy trì vận tốc lớn cũng sẽ cao hơn.

- Nhánh trái $V_{tb} > V_{kx}$ khoảng 42%, nhánh phải $V_{tb} > V_{kx}$ khoảng 30%. V_{kx} ở nhánh trái nhỏ hơn nhánh phải trong khi V_{tb} nhánh trái lớn hơn nhánh phải, càng làm cho khả năng xói lòng dẫn ở nhánh trái diễn ra mạnh hơn nhánh phải.

Sử dụng mô hình toán mô phỏng chế độ thủy động lực và hình thái sông Cổ Chiên đoạn qua cù lao Thanh Long, có kiểm chứng bằng số liệu khảo sát thực tế, để có thể làm rõ hơn chế độ thủy động lực, hình thái (xói bồi) lòng dẫn. Hình 16 minh họa cách tiếp cận chung, trong đó các mô hình với tỉ lệ và mức độ chi tiết khác nhau được thiết lập.



Hình 16. Phạm vi và lưới tính khu vực nghiên cứu [5].

Mô hình toán đã được thiết lập, hiệu chỉnh và kiểm định bằng số liệu thực đo, kế thừa kết quả các dự án trước, từ mô hình toàn biển Đông, mô hình lưu vực Mekong cho đến các mô hình chi tiết hơn thực hiện cho ĐBSCL.

Để phân tích chế độ thủy động lực, dòng chảy vùng nghiên cứu, các điểm P1 đến P8 đều cách bờ 5 m được xem xét trích xuất vận tốc dòng chảy (Hình 17).

Kết quả mô phỏng bằng mô hình toán trong năm điển hình (2009) mô tả đặc điểm chế độ thủy động lực khu vực này khá rõ nét. Mùa kiệt mực nước thấp, giá trị lớn nhất đạt được khoảng 1,4 m tương ứng dòng chảy tổng hợp thời kỳ này cũng khá nhỏ từ tháng 11 đến tháng 5 của năm sau. Ngược lại, trong thời kỳ mùa lũ mực nước, vận tốc dòng chảy tăng nhanh, giá trị lớn nhất tương ứng có thể đạt 1,9 m và vận tốc đạt 1,5 m/s (Bảng 3). Biên độ triều lớn nhất đạt 2,5 m. Ngoài ra, khu vực chịu chi phối mạnh của chế độ thủy lực thượng nguồn, vận tốc thời kỳ triều rút lớn hơn nhiều so với triều lên (Hình 18).

Dòng chảy phía bờ trái lớn hơn so với bờ phải, vận tốc lớn nhất ven bờ trái từ 0,7÷1,5 m/s, vận tốc lớn nhất phía bờ phải thấp hơn, từ 0,5÷0,9 m/s (Hình 19). Kết quả này giải thích vì sao nhánh trái bị sạt lở nhiều hơn nhánh phải. Tỷ lệ phân lưu đoạn sông Cổ Chiên qua cù lao Thanh Long thể hiện trên Bảng 4 cho thấy trong mùa lũ năm 1979 nhánh trái có lưu lượng lớn nhất, lớn hơn nhánh phải và tổng lượng nhánh trái gấp gần 4 lần tổng lượng nhánh phải.



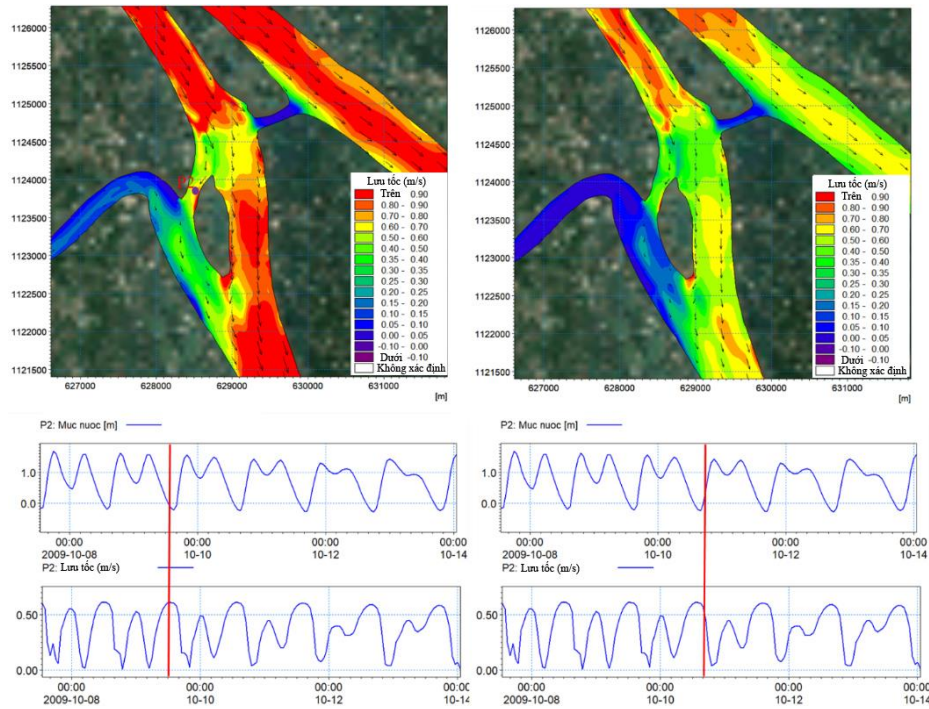
Hình 17. Vị trí trích xuất (P1 đến P8) để phân tích kết quả tính toán từ mô hình.

Bảng 3. Vận tốc dòng chảy tổng hợp lớn nhất (V_{max}) tại các vị trí P1÷P8 ven bờ [5].

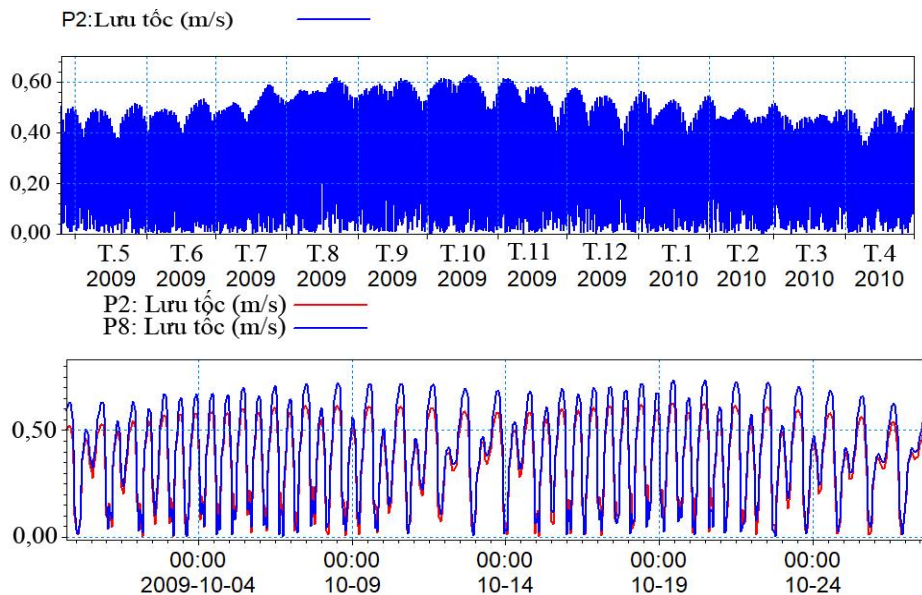
Vị trí	V_{max} (m/s)	Ghi chú	Vị trí	V_{max} (m/s)	Ghi chú
P1	0,90	Đầu cù lao	P5	0,86	Cuối cù lao
P2	0,84	Bờ nhánh phải cù lao	P6	1,37	Bờ nhánh trái cù lao
P3	0,83		P7	1,09	
P4	0,59		P8	1,25	

Bảng 4. Tỷ lệ phân lưu hai nhánh của cồn Thanh Long [11].

Vị trí	Q_{max} (m ³ /s) triều lên	Q_{max} (m ³ /s) triều xuống	Tỷ lệ phân lưu (%)
Chính	4.975	8.327	100
Bên trái	4.497	7.473	79
Bên Phải	1.549	1.775	21



Hình 18. Chế độ dòng chảy vùng nghiên cứu, phía trên là trường phân bố dòng chảy mùa lũ lúc triều rút và triều lên, phía dưới là đường quá trình mực nước và dòng chảy tổng hợp tại vị trí P2 [5].



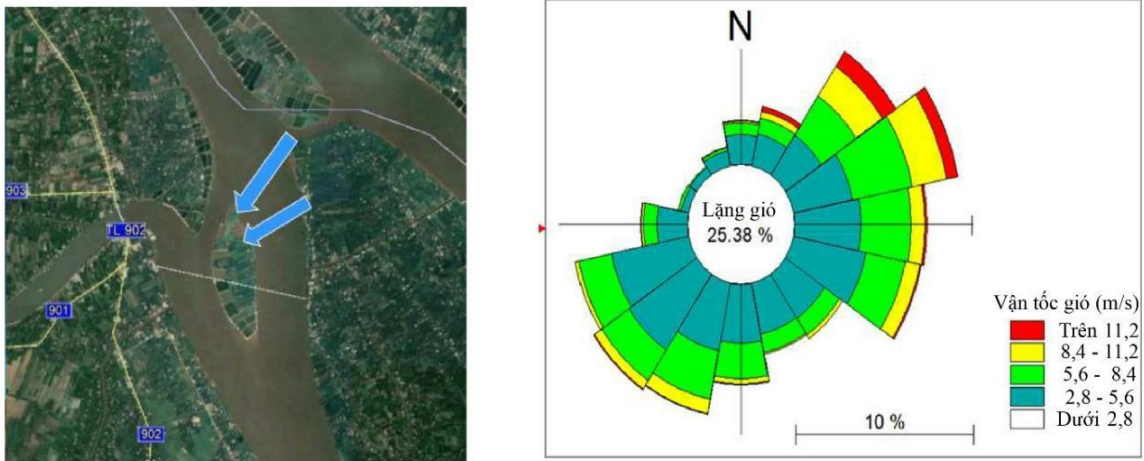
Hình 19. Đường quá trình vận tốc dòng chảy tổng hợp tại vị trí P2 cho một năm khí hậu đặc trưng (trên) và giữa điểm P2 và điểm P8 [5].

3.4. Do sóng gió và sóng tàu thuyền tác động đến xói lở lòng dẫn

3.4.1. Sóng tạo bởi gió mùa Đông Bắc (gió Chướng)

Việt Nam nằm trong vùng nhiệt đới gió mùa, mỗi năm có hai mùa là mùa khô và mùa mưa; mùa khô bắt đầu từ tháng 11 năm trước cho đến tháng 4 năm sau, mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 10. Thời gian của hai mùa gần trùng với thời gian ảnh hưởng của hai mùa gió mùa là gió mùa Tây Nam và gió mùa Đông Bắc. Vĩnh Long bị chi phối bởi chế độ gió mùa trên Biển Đông. Gió Chướng - gió mùa Đông Bắc và gió tín phong; đầu mùa, gió Chướng chỉ chiếm từ 20÷30%, đến tháng 02 thì tỉ lệ gió chướng trên 73%, vận tốc gió cấp 6÷7 đạt 36,4%, gió cấp 8÷9 đạt 35,8%, đặc biệt gió với vận tốc 11 m/s đạt 21,2%.

Kết quả trích xuất gió từ mô hình toàn cầu tại Cồn Thanh Long thể hiện bằng hoa gió trên Hình 20. Gió mùa Đông Bắc có hướng thổi là Đông Bắc hoặc Đông trùng với hướng có đà gió (mặt thoáng) lớn nhất tác động và gây ra sóng lớn đập vào khu vực đầu cồn, làm phá vỡ kết cấu đất ở đầu cồn gây sạt lở lớn. Mùa gió Tây Nam, do đà gió nhỏ hơn so với mùa Đông Bắc, sóng tạo ra bởi gió mùa Tây Nam cũng nhỏ hơn.



Hình 20. Hướng gió mùa ĐB (gió Chướng) và hoa gió tại vùng nghiên cứu [5].

Để xem xét mức độ tác động của gió Chướng, tính toán sóng do gió gây ra [13].

$$H_s = 0,0208W^{5/4}D^{1/3} \tag{4}$$

Trong đó H_s là chiều cao sóng (m); W là tốc độ gió (m/s) và D là đà gió (km).

Theo Beaufort, gió từ cấp 5 trở lên thì mặt nước hình thành sóng. Vì vậy, tính toán sóng do tác động gió vào mái bờ cồn Thanh Long đối với gió từ cấp 5÷9. Kết quả tính toán ở Bảng 5 cho thấy chiều cao sóng do gió mùa Đông Bắc khá lớn, từ 0,33÷0,97 m. Chiều cao này có khả năng gây ra sạt lở lớn hơn nhiều do sóng tàu thuyền.

Bảng 5. Kết quả tính toán chiều cao sóng tác động vào đầu cồn ứng với các cấp độ gió.

Cấp gió	Tên cấp gió	Tốc độ (m/s)	Tốc độ t/bình (m/s)	Tác dụng của gió trên mặt đất	D (km)	Hs (m)
5	Gió vừa	8,0 ÷ 10,7	9,6	Cây nhỏ lay động, mặt nước hình thành sóng	0,85	0,333
6	Gió hơi mạnh	10,8 ÷ 13,8	12,3	Cành cây lớn rung chuyển	0,85	0,454
7	Gió khá mạnh	13,9 ÷ 17,1	15,5	Cả cây rung chuyển, khó đi ngược gió	0,85	0,606
8	Gió mạnh	17,2 ÷ 20,7	19,0	Gió làm gãy cành con	0,85	0,779
9	Gió rất mạnh	20,8 ÷ 24,4	22,6	Gió làm thiệt hại nhà cửa	0,85	0,971

3.4.2. Sóng do tàu thuyền

Sóng tàu thuyền gây ra từ 0,20÷0,30 m và nhỏ hơn sóng do gió Chướng gây ra. Ngoài ra, tác động của dòng chảy do chân vịt của tàu thuyền cũng gây ra xói lở [14].

3.5. Do gia tăng tải trọng lên mép bờ

Tải trọng mép bờ tăng, khối đất mái bờ xuất hiện ứng suất dư lớn, vùng có ứng suất dư vượt quá khả năng chịu tải của đất mái bờ, hình thành vùng biến dạng dẻo. Tải trọng tăng dần thì vùng biến dạng dẻo cũng phát triển. Khi tải trọng vượt quá giới hạn cho phép, vùng biến dạng dẻo phát triển ra đến mái bờ thì các hạt đất sẽ bị tách ra, đất bờ bị sạt lở.

Gia tải lên mép bờ sông gồm các nguyên nhân: Xây dựng công trình, neo đậu tàu thuyền, chất hàng hóa, mưa to, lũ xuống, triều rút...:

- + Mưa gây bão hòa và tăng trọng lượng khối đất bờ, phát sinh áp lực thấm...;
- + Lũ xuống, triều rút làm tăng áp lực thấm, giảm áp lực đẩy nổi; về mùa lũ mực nước trong sông dâng cao làm dâng mực nước ngầm, khi lũ rút, triều xuống nước ngầm sẽ chảy ra sông, kéo theo những hạt đất của mái bờ vào lòng sông.

Đánh giá tác động của việc thay đổi mực nước (thấp nhất và trung bình) và các mức độ gia tải (từ 1÷6 tấn), tiến hành tính toán ổn định cho mái bờ sông (Bảng 6).

Bảng 6. Kết quả tính toán ổn định mái bờ theo các mực nước, tải trọng khác nhau [5].

STT	Trường hợp tính toán	$K_{\min\min}$	[K]	Nhận xét
1	Mực nước min, H=-1,49	1,246	1,15	Ổn định
2	Mực nước TB, H _{tb} =0,4 m	1,465	1,15	Ổn định
3	Tải trọng trên bờ T=1 tấn	1,192	1,15	Ổn định
4	Tải trọng trên bờ T=2 tấn	1,139	1,15	Ổn định tạm thời
5	Tải trọng trên bờ T=3 tấn	1,092	1,15	Tiềm ẩn nguy cơ sạt lở bờ
6	Tải trọng trên bờ T=4 tấn	1,050	1,15	Tiềm ẩn nguy cơ sạt lở bờ
7	Tải trọng trên bờ T=5 tấn	1,010	1,15	Tiềm ẩn nguy cơ sạt lở bờ
8	Tải trọng trên bờ T=6 tấn	0,974	1,15	Sạt lở bờ đã xảy ra

Khi mực nước $H_{tb} = 0,40$ m thì $K_{\min\min} = 1,465$ nhưng khi mực nước giảm xuống đến $H_{\min} = -1,49$ m, $K_{\min\min}$ giảm xuống 1,246. Cho thấy khi lũ xuống hoặc triều rút, mực nước xuống thấp làm bờ sông kém ổn định hơn.

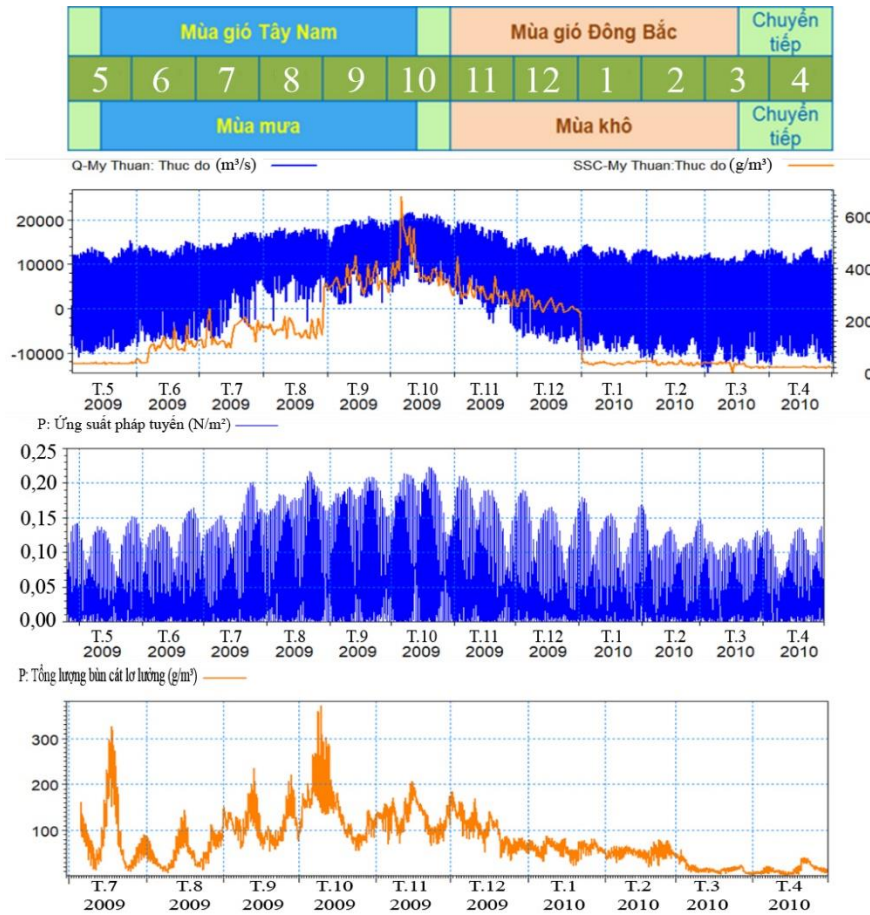
Khi chưa chất tải, $K_{\min\min} = 1,246$, khi chất tải ven bờ lần lượt từ 1÷6 tấn, thì $K_{\min\min}$ đã giảm dần cho tới khi chất tải đến 4 tấn, thì $K_{\min\min} = 1,05$, tức là bờ sông có thể bị sạt lở.

3.6. Do chế độ vận chuyển bùn cát

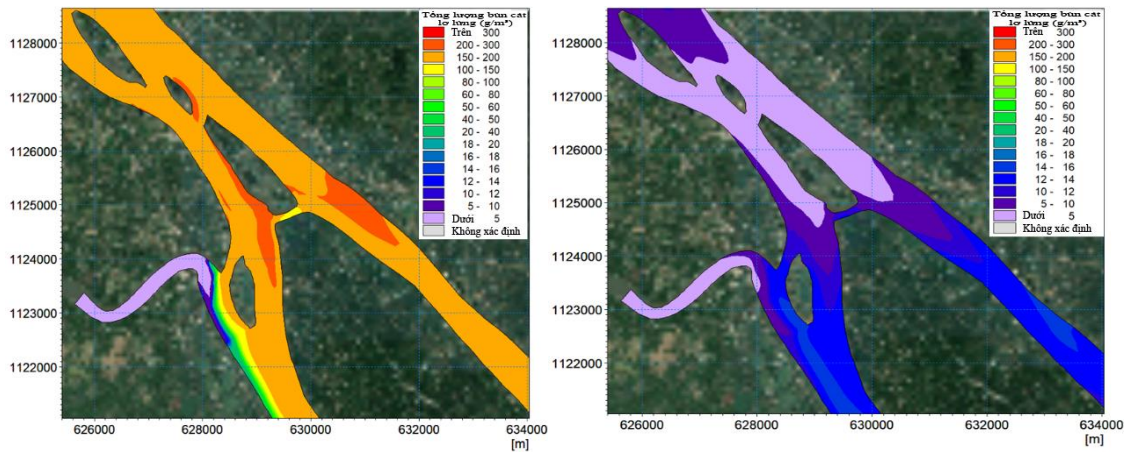
Hình 21 thể hiện tương quan giữa diễn biến bùn cát [15] với điều kiện khí hậu, chế độ thủy văn thượng nguồn tại Mỹ Thuận và ứng suất tiếp đáy với chu kỳ một năm khí hậu.

Kết quả tính toán cho thấy thời kỳ mùa mưa lũ (từ tháng 7÷11) có nguồn phù sa từ thượng nguồn dồi dào nhất trong năm, là thời kỳ cung cấp bùn cát chủ yếu cho ĐBSCL. Dòng chảy trong mùa này là lớn nhất trong năm và phân bố bùn cát rất cao. Quá trình bồi tụ, xói lở diễn ra chủ yếu trong thời kỳ này. Trường phân bố bùn cát tại một thời điểm trong mùa lũ trình bày trên Hình 22; hàm lượng bùn cát lớn nhất thời kỳ này có thể đạt 200-300 mg/l; hàm lượng bùn cát lớn nhất mùa này nhỏ hơn mùa lũ rất nhiều [16].

Thời kỳ mùa kiệt, dòng chảy tổng hợp nhỏ, ứng suất tiếp đáy khá thấp, nguồn bùn cát phía thượng nguồn về rất ít, bùn cát tại vùng này khá thấp, điều kiện bồi tụ thuận lợi nhưng nguồn cung cấp bùn cát hạn chế dẫn đến xu thế xói lở trong thời kỳ này chiếm ưu thế, đặc biệt là giai đoạn chuyển tiếp từ mùa kiệt sang mùa lũ.



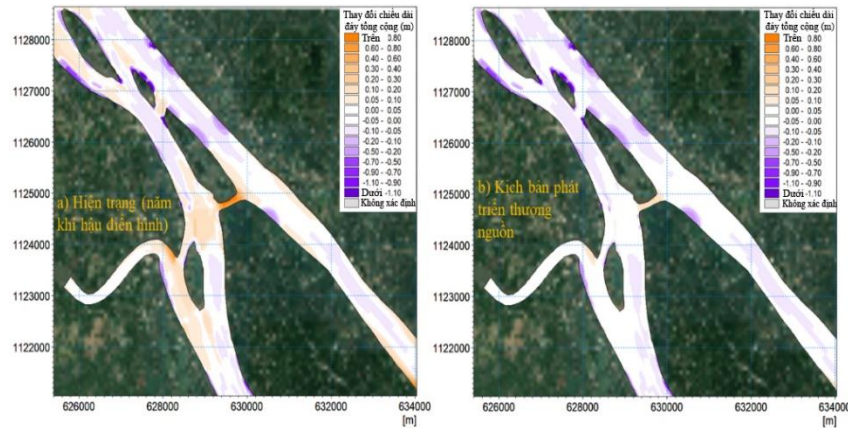
Hình 21. Tương quan biến động bùn cát và thủy động lực tại vùng nghiên cứu trong năm 2009 [5].



Hình 22. Trường phân bố nồng độ bùn cát trong mùa lũ (trái) và mùa kiệt (phải) [5].

Đã có nhiều nghiên cứu về tác động gây thiếu hụt bùn cát do các đập trên dòng Mekong gây ra. Nghiên cứu này, tiến hành mô phỏng vùng nghiên cứu với kịch bản thượng nguồn xấu nhất (hình thành 11 đập trên Mekong). Kế thừa các nghiên cứu trước đây, biên thượng nguồn trong tính toán này bùn cát tại Kratie giảm 80% so với năm 2015 [17].

Kết quả tính toán xói bồi vùng nghiên cứu chi tiết được trình bày trên Bảng 7 và trên Hình 23 cho thấy sự thay đổi bức tranh xói lở sau khi giảm bùn cát về một cách rõ rệt. Mức độ xói lở ở vùng đầu còn tăng gấp 1,5 lần so với hiện trạng (từ khối lượng xói -4.522 m^3 tăng lên -6.541 m^3). Mức độ bồi nửa đuôi còn giảm mạnh (từ khối lượng bồi 3.779 m^3 giảm còn 1.043 m^3). Toàn khu vực còn ở vùng còn lại thì bồi tụ từ 63.913 m^3 không còn nữa, xói lở chiếm ưu thế với khối lượng -712.433 m^3 .



Hình 23. So sánh diễn biến hình thái vùng nghiên cứu giữa kịch bản hiện trạng (trái) và kịch bản phát triển thượng nguồn (phải).

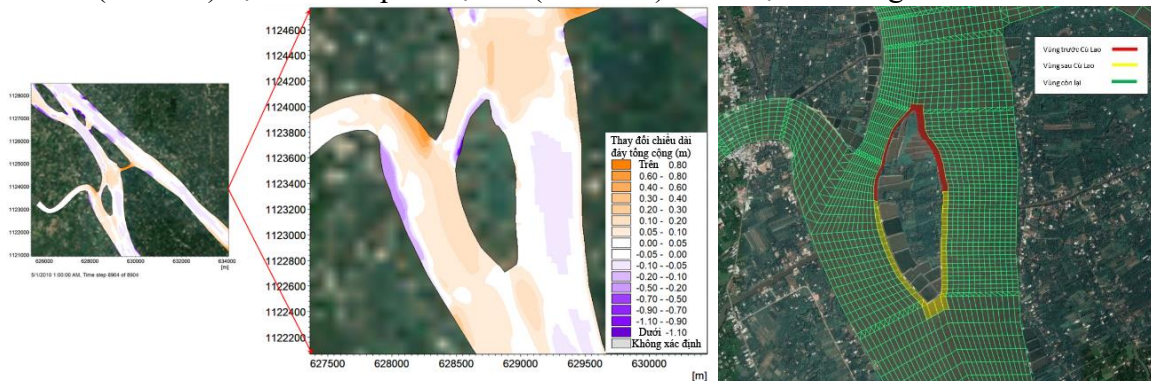
Bảng 7. Kết quả tính toán xói bồi chi tiết giữa hiện trạng và kịch bản phát triển thượng nguồn (giảm 80% bùn cát về) [5].

Kịch bản	Phân vùng		Diện tích (m ²)	Thể tích bùn cát (m ³)
Hiện trạng	Vùng lân cận Cù Lao	Trước	39.079	-4.522
		Sau	70.257	3.779
	Vùng còn lại		1.9155.336	63.913
Giảm 80%	Vùng lân cận Cù Lao	Trước	39.079	-6.541
		Sau	70.257	1.043
	Vùng còn lại		1.9155.336	-712.433

Ứng dụng kết quả mô phỏng chế độ thủy động lực và hình thái (xói, bồi) bằng MIKE21FM đã làm rõ chế độ thủy động lực trong mùa lũ, mùa kiệt của năm điển hình và tính toán dự báo xói lở, bồi lắng sau một năm thủy văn điển hình và có xét đến tác động bởi thiếu hụt bùn cát về ĐBSCL sau khi hoàn thành các đập trên dòng Mekong. Kết quả minh chứng tác động của dòng chảy là nguyên nhân chính gây ra xói lở và bồi lắng khu vực cồn, đặc biệt dưới tác động giảm 80% bùn cát, mức độ xói lở trong khu vực sẽ gia tăng đáng kể.

3.7. Diễn biến hình thái (xói/bồi) trong năm điển hình

Kết quả cho thấy đầu cồn Thanh Long xói lở chiếm ưu thế, phía nửa cuối cù lao xói bồi xen kẽ và bồi lớn hơn (Hình 24). Tuy nhiên trên toàn cù lao thì xói chiếm ưu thế. Để làm rõ hơn, đã phân vùng và tính toán cho vùng lân cận phía thượng lưu cồn (màu đỏ), vùng lân cận phía hạ lưu cồn (màu vàng) và toàn bộ vùng nghiên cứu (màu xanh). Kết quả cho thấy vùng thượng lưu cồn sau một năm bị xói khoảng 4.522 m³, vùng hạ lưu cồn được bồi khoảng 3.779 m³ (Bảng 8). Như vậy, xu thế cho toàn khu vực vẫn là bồi lắng, phía thượng lưu cồn (nửa đầu) bị xói lở và phía hạ lưu (nửa đuôi) cồn được bồi lắng.



Hình 24. Diễn biến hình thái cho năm khí hậu đặc trưng vùng nghiên cứu (trái) và phân vùng tính toán diễn biến hình thái cho năm điển hình (phải).

Bảng 8. Kết quả tính toán xói bồi cho năm khí hậu điển hình cho khu vực nghiên cứu [5].

Kịch bản	Phân vùng		Diện tích (m ²)	Thể tích bùn cát (m ³)
Hiện trạng	Vùng lân cận	Trước	39.079	-4.522
		Sau	70.257	3.779
	Vùng còn lại		19.155.336	63.913

3.8. Tổng quát các giải pháp khắc phục sạt lở bờ sông

Trước tình hình sạt lở bờ sông kênh rạch đã và đang diễn ra rất nghiêm trọng và trên diện rộng ở ĐBSCL, không thể khi nào cũng sử dụng các biện pháp công trình cho các vùng sạt lở. Do đó, tùy từng nơi với mức độ quan trọng, ưu tiên về phát triển kinh tế, cơ sở hạ tầng của địa phương để áp dụng biện pháp phi công trình hay công trình hoặc phải kết hợp cả hai.

Hai loại hình công trình được đề xuất áp dụng cho khu vực còn dựa trên yêu cầu chỉnh trị sông: (1) Kè áp mái bảo vệ trực tiếp; (2) Kè hình chữ V ngược để bảo vệ từ xa cho đầu còn và hệ thống mỏ hàn cứng được bố trí ở hai bên hướng dòng chảy ra xa bờ, giảm được tác động của dòng chảy gây sạt lở bờ.

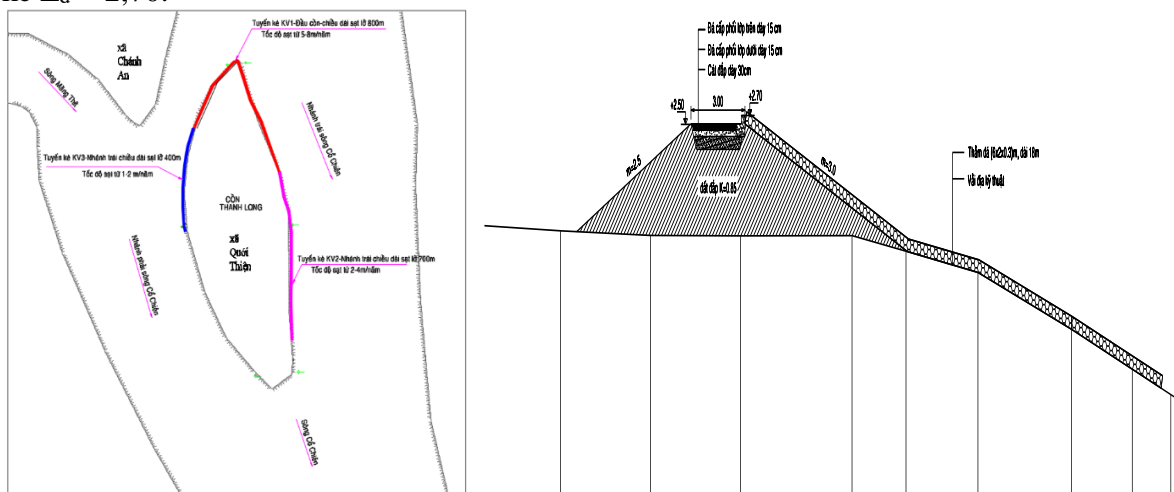
3.8.1. Kè áp mái bảo vệ bờ trực tiếp

Kè áp mái ứng với bờ sông bị sạt lở dưới tác động của dòng chảy, lòng dẫn tại đó có hố xói sâu nằm sát bờ, mái bờ sông bị mất ổn định do mất khối đất phản áp, không đủ khả năng giữ ổn định cho mái bờ, để đảm bảo ổn định bờ, cần quan tâm nhiều phần chân kè. Tùy theo địa hình, địa chất khu vực bảo vệ để xác định khối lượng vật liệu lấp hố xói; theo kinh nghiệm, khối vật liệu đắp bù tạo được mái $m = 3$, hay $m = 4$ từ đỉnh kè đến khi gặp lòng sông thì dừng lại. Trên cơ sở nghiên cứu và thực tế đề xuất dạng kè áp mái; phân tuyến kè gồm ba khu vực: (1) Khu vực đầu còn 800 m, trải rọ đá trên MC. ngang là 4 thảm rọ đá: dài 24 m; (2) Khu vực bờ nhánh trái còn 700 m, trải ba rọ đá dài 18 m; (3) Khu vực bờ nhánh phải 400 m, trải ba rọ đá dài 18 m.

Cao trình đỉnh kè được tính toán [18] với công trình cấp IV:

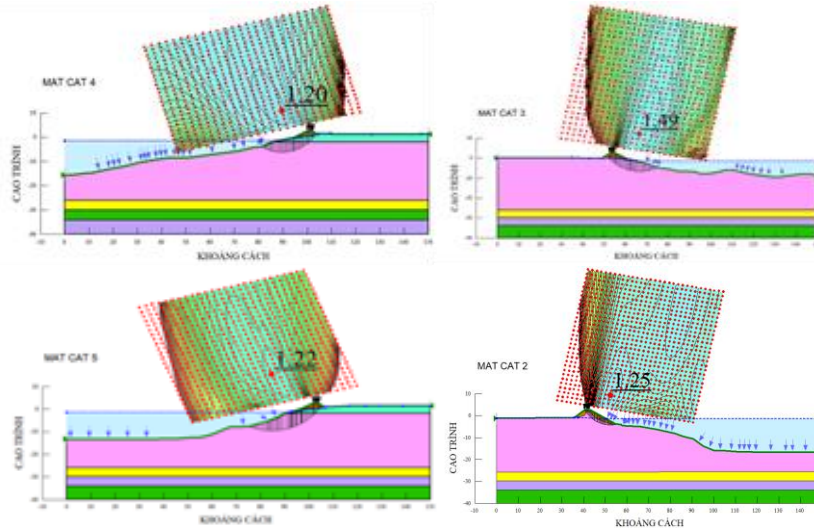
$$Z_d = H_{tk} + H_{sl} + a \tag{5}$$

Trong đó H_{tk} là mực nước thiết kế ứng tần suất thiết kế 2% $H_{tk} = +1,96$ m, H_{sl} là chiều cao sóng leo (m), $a = 0,3$ m là độ gia cao an toàn của kè). Kết quả tính được cao trình đỉnh kè $Z_d = 2,70$.



Hình 25. Mặt bằng và MC. ngang kết cấu kè áp mái còn Thanh Long [5].

- Tính toán ổn định tổng thể: Sử dụng phần mềm GeoSlope [19] tính ổn định, kết quả thể hiện trên các Hình 26 và Bảng 9.



Hình 26. Hệ số ổn định MC.4, MC.3 (trên) và MC.5 và MC. 2 (dưới) [5].

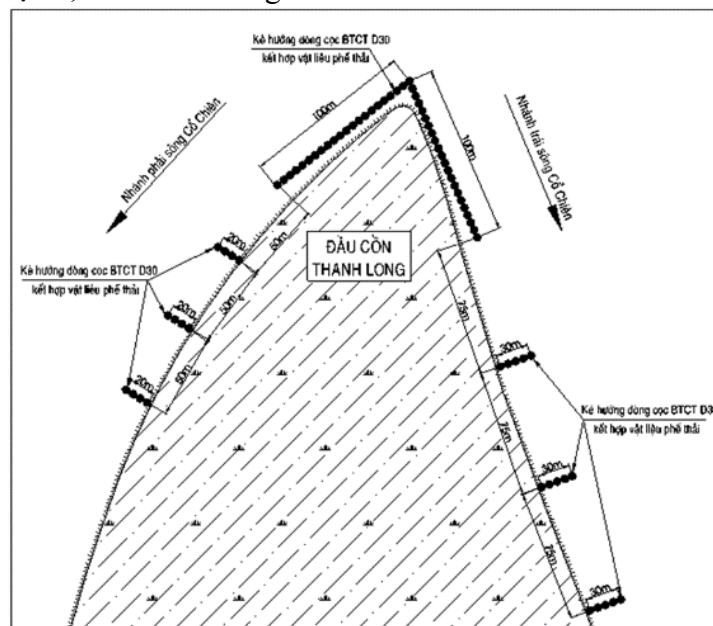
Bảng 9. Kết quả tính toán ổn định tại các MC [5].

Hệ số an toàn cho phép	Hệ số an toàn tính toán (K)			
	MC.2	MC.3	MC.4	MC.5
$[K] \geq 1,150$	1,25	1,49	1,20	1,22

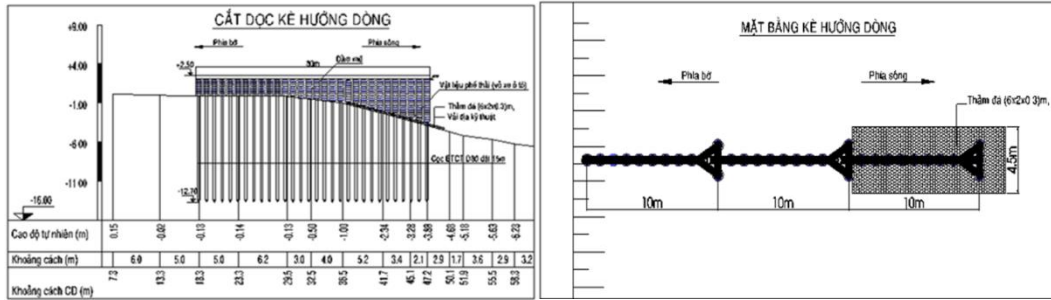
Theo kết quả tính toán tại các MC. $K > [K]$, công trình đảm bảo ổn định tổng thể.

3.8.2. Kè hướng dòng

Kè bảo vệ từ xa hình chữ V ngược để bảo vệ đầu cồn với chiều dài 200 m, bố trí hai bên cồn, mỗi bên ba mỏ hàn; nhánh phải chiều dài mỏ hàn 20 m, nhánh trái chiều dài mỏ hàn 30 m, hướng dòng chảy ra xa bờ (Hình 27). Cao trình đỉnh kè +2,5, dùng cọc ống ly tâm đường kính 30 cm, chiều dài dự kiến 15 m; đóng đến cao trình -12,7, bước cọc 1 m, dùng vỏ xe ô tô phế thải thả vào các cọc, sau đó ghim lại, tạo thành như một tấm chắn để lái dòng nước sang hướng khác; đỉnh các cọc được liên kết dầm mũ BTCT. Cứ mỗi 10 m theo chiều dọc mỏ hàn, gia cố tăng ổn định bằng cụm ba cọc hình tam giác; phía ngoài tuyến kè được gia cố thêm rọ đá, đảm bảo chống xói.



Hình 27. Sơ đồ chỉnh trị bố trí mỏ hàn khu vực cồn Thanh Long [5].



Hình 28. Kết cấu cắt dọc (trái) và mặt bằng (phải) kè hướng dòng [5].

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy nguyên nhân chính và nhân tố ảnh hưởng đến xói lở cồn Thanh Long là do: (1) Tác động của dòng chảy lũ, thủy triều (triều lên và triều xuống) đều lớn hơn vận tốc không xói cho phép của lòng dẫn, làm cho lòng dẫn bị xói, dần dần lấn vào bờ và gây ra sạt lở bờ; (2) Địa chất của bờ sông là loại đất bùn sét yếu - trầm tích mới hình thành có tính chịu lực kém, tính nén lún cao và dễ tan rã dưới tác động của ngoại lực; (3) Tác động của sóng gây ra chủ yếu từ gió mùa Đông Bắc (hướng gió trùng với đà gió lớn - chiều rộng sông) va đập vào bờ phá vỡ kết cấu đất và gây xói lở trên bề mặt bờ sông. Ngoài ra, sóng do gió Tây Nam và sóng tàu thuyền cũng góp phần gây sạt lở bờ; (4) Việc gia tải làm tăng tải trọng trên bờ, góp phần gây ra sạt lở; (5) Một số tác động khác như thiếu hụt bùn cát về hạ lưu; khai thác cát trái phép, đất bờ sông bị bão hòa nước, tăng tải trọng ven bờ,...

Từ đó bài báo đã đề xuất được các giải pháp khắc phục xói lở là kè áp mái, kè hướng dòng, mở hàn cho cồn Thanh Long. Trong thời gian chưa có kinh phí thì giải pháp phi công trình là giải pháp trước mắt cần thiết phải được thực hiện ngay để giảm thiểu xói lở cho cồn Thanh Long. Thường xuyên theo dõi diễn biến lòng sông để cảnh báo người dân di dời, đảm bảo tính mạng và tài sản trên cồn Thanh Long.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ kết quả “Báo cáo tình hình sạt lở tại cồn Thanh Long xã Quới Thiện, huyện Vũng Liêm” của Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam.

Lời cam đoan: Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa từng được công bố, không sao chép các nghiên cứu trước đây.

Tài liệu tham khảo

1. Trực tuyến: <https://yoursay.redland.qld.gov.au/Coochiemudlo-Island-Shoreline-Erosion-Management-Plan/photos/38499>.
2. Duy, Đ.V.; Khoa, H.Đ. Quan trắc diễn biến đường bờ Cù Lao Dung bằng công nghệ phân tích ảnh viễn thám. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng*, 2023, 13(02), 54–58.
3. Trực tuyến: <https://vtv.vn/trong-nuoc/sat-lo-con-long-khanh-dong-thap-khong-co-tac-dong-tu-doanh-nghiep-2018110708251403.htm>.
4. Dự án “Đánh giá ổn định bờ sông Cổ Chiên (Khu vực từ rạch Cái Cá đến rạch Bà Bống) tỉnh Vĩnh Long”. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2023.
5. Báo cáo tình hình sạt lở tại cồn Thanh Long xã Quới Thiện, huyện Vũng Liêm (Công văn số 271/BC-UBND ngày 25/11/2020).
6. Bích, L.N. Điều tra biến đổi lòng dẫn hệ thống sông Cửu Long, hạ du sông Đồng Nai – Sài Gòn và định hướng giải pháp kỹ thuật phòng chống sạt lở giảm nhẹ thiên tai trên sông Cửu Long. Dự án điều tra cơ bản, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 1995-1998.
7. Hùng, L.M.; Sản, Đ.C. Xói lở bờ sông Cửu Long và giải pháp phòng tránh cho các khu vực trọng điểm. Nhà xuất bản Nông Nghiệp, TP. HCM, 2002.

8. Hùng, L.M. và cs. Nghiên cứu dự báo xói lở-bồi lắng lòng dẫn và đề xuất các biện pháp phòng chống cho hệ thống sông ở ĐBSCL. Báo cáo đề tài cấp nhà nước KC.08.15. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, 2004.
9. TCXDVN 285:2002. Công trình thủy lợi - Các quy định chủ yếu về thiết kế.
10. Kixêlep, P.G. và cs. Sổ tay tính toán thủy lực. Nhà xuất bản Nông nghiệp Hà Nội, 11. 1984, tr. 312.
12. Đề tài cấp Nhà nước “Nghiên cứu các giải pháp Khoa học - Công nghệ để điều chỉnh và ổn định các đoạn sông có cù lao đang diễn ra biến động lớn về hình thái trên sông Tiền, sông Hậu”, Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, 2015.
13. Hậu, L.P. Nghiên cứu các giải pháp KHCVN cho hệ thống công trình chỉnh trị sông trên các đoạn trọng điểm vùng đồng bằng Bắc Bộ và Nam Bộ. Đề tài KC08-14/06-10, 2010.
14. TCVN 8419:2010. Công trình thủy lợi - Thiết kế công trình bảo vệ bờ sông để chống lũ.
15. Hậu, L.P. Động lực học dòng sông. Trường đại học Xây dựng Hà Nội, 1992.
16. Hùng, L.M. ĐTĐL.2010T/29. Nghiên cứu ảnh hưởng hoạt động khai thác cát đến thay đổi lòng dẫn sông Cửu Long (sông Tiền, sông Hậu) và đề xuất quản lý, quy hoạch khai thác cát. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2010-2013.
17. Sở Tài nguyên và Môi trường Vĩnh Long. Báo cáo “Quy hoạch thăm dò, khai thác và sử dụng tài nguyên cát sông Tiền - tỉnh Vĩnh Long, giai đoạn 2016-2020”.
18. Chương L.T. Đánh giá thực trạng sạt lở bờ sông Tiền đoạn chảy qua địa phận tỉnh Tiền Giang khu vực đầu cồn Tân Phong huyện Cai Lậy và đề xuất giải pháp phòng chống, khắc phục. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2014.
19. TCVN 9902:2016. Công trình Thủy lợi - yêu cầu thiết kế đê sông (Bảng 2).
20. Ân, C.N. Nền móng. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TPHCM, 2002.
21. Whitlow, R. Cơ học đất (Tập 1, 2). Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 1999.
22. Dư, D.L.; Phạm, Đ.B.; Đinh, V.D.; Cao, T.N.T.; Trần, V.T.; Trần, G.B.; Trần, H. Đức. Mô phỏng khả năng giảm sóng của kè cọc ly tâm bằng mô hình Flow-3D. *Tap chí Vật liệu và Xây dựng* **2023**, 13(4).
23. Huệ, V.H. Đánh giá ổn định bờ sông Cỏ Chiên, tỉnh Vĩnh Long. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 752, 12–28.
24. Huệ, V.H. Giải pháp công trình ứng phó với dòng chủ lưu áp sát bờ sông Cỏ Chiên khu vực TP. Vĩnh Long. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 753, 23–36.

Construction solutions overcomes erosions in Thanh Long Island

Van Huu Hue^{1*}

¹ Mien Tay Construction University, Vinh Long; huuhuevan@gmail.com

Abstracts: Thanh Long Island was formed by the alluvial process of the river. The formation time is short, so the soil is not highly consolidated, and the cohesion is limited, so it is easy to be eroded. To protect this land, it is necessary to clearly define the geology, flow, suspended matter content, wind impact... to find the cause of erosions and propose overcome solutions. The study used methods of investigation, collection, inheritance, evaluation of information, analysis of remote sensing images, mathematical models, consultation with experts... to determine that the main cause is the flow towards the head of the island caused erosions and proposed solutions for embankments and groynes to protect Thanh Long Island.

Keywords: Thanh Long Island, Solution for protection the island; Stabilization of riverside land; Erosion at Thanh Long Island.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu phát triển bộ chỉ số đánh giá mức độ khan hiếm nước đô thị phù hợp cho thành phố Đà Nẵng

Nguyễn Đại Trung^{1,2*}, Nguyễn Anh Đức³, Nguyễn Trung Việt⁴, Nguyễn Bách Tùng⁵

¹ NCS trường Đại học Thủy lợi; nguyendaitrung@gmail.com

² Trường Cao đẳng Công nghệ Kinh tế và Thủy lợi Miền Trung;
nguyendaitrung@gmail.com

³ Viện Khoa học Tài nguyên nước; naduc@monre.gov.vn

⁴ Trường Đại học Thủy lợi; nguyentrongviet@tlu.edu.vn

⁵ Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội;
bachtung_cefd@hus.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nguyendaitrung@gmail.com; Tel.: +84-905118886

Ban biên tập nhận bài: 5/8/2023; Ngày phản biện xong: 17/9/2023; Ngày đăng bài: 25/10/2023

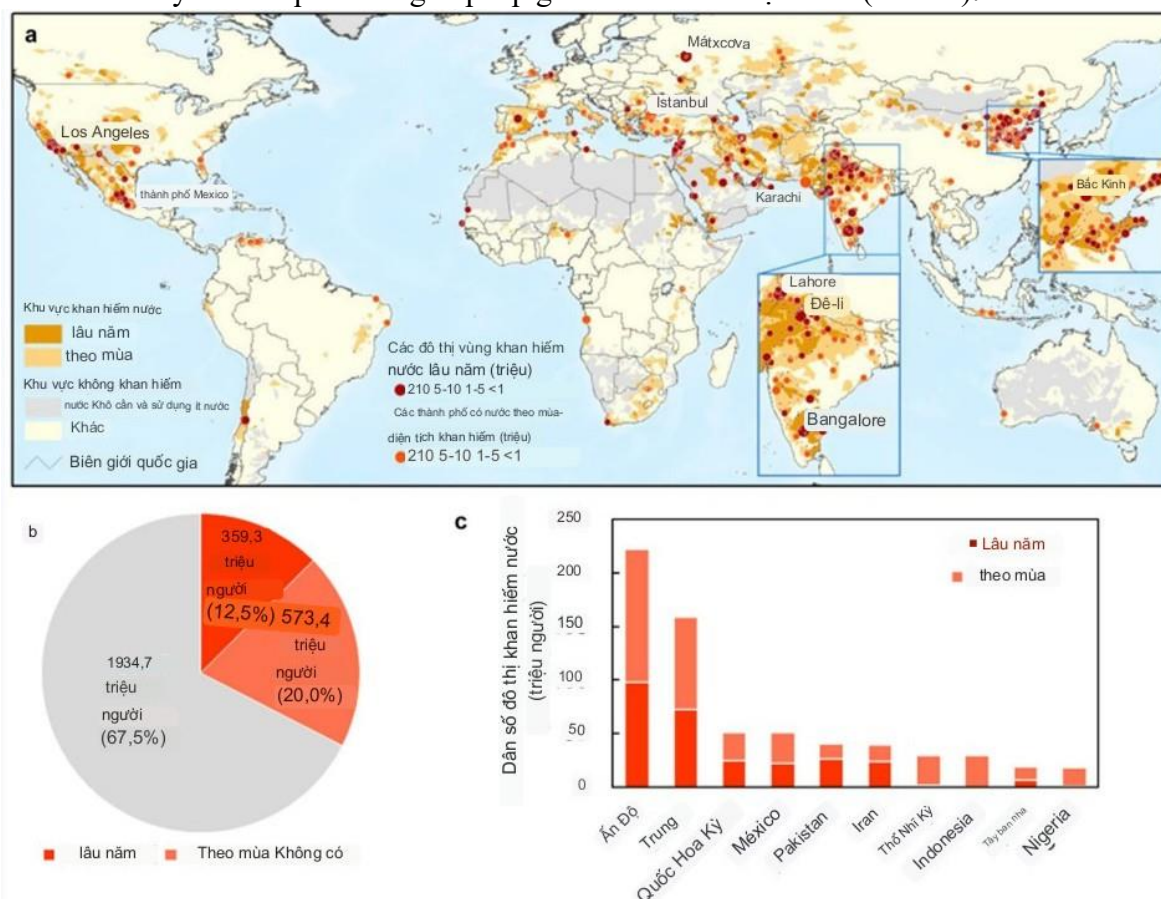
Tóm tắt: Bài báo đã sử dụng phương pháp Delphi kết hợp cùng với quy tắc KAMET và phương pháp phân tích hệ thống phân cấp (*Analytic Hierarchy Process_AHP*) để xây dựng bộ chỉ số khan hiếm nước (*Water Scarcity Index_WSI*) đánh giá mức độ khan hiếm nước cho đô thị. Trên cơ sở các nghiên cứu mức độ KHN bằng chỉ số WSI trên thế giới và Việt Nam, các nguyên tắc xây dựng chỉ số, các điều kiện, đặc điểm cụ thể của thành phố Đà Nẵng. Bài báo đã xây dựng được bộ chỉ số gồm 04 nhóm chỉ số, 19 chỉ số chính và 10 chỉ số phụ, đồng thời cũng đã xác định được mức độ ảnh hưởng của từng chỉ số đối với bộ chỉ số. Các nhóm chỉ số để biểu thị mức độ khan hiếm nước đô thị áp dụng thí điểm cho thành phố Đà Nẵng gồm: (1) Nhóm chỉ số Nguồn nước và khai thác sử dụng nước (*WSI_1*); (2) Nhóm chỉ số Hệ sinh thái và Môi trường (*WSI_2*); (3) Nhóm chỉ số Cung cấp nước sinh hoạt đô thị từ công trình cấp nước tập trung (*WSI_3*) và (4) Nhóm chỉ số WSI Năng lực ứng phó (*WSI_4*) tương ứng chỉ số trong bộ chỉ số được xác định lần lượt là 50,3%, 16,8%, 20,0% và 12,9%. Chỉ số WSI tổng hợp cho từng khu vực cụ thể và toàn vùng nghiên cứu là cơ sở để đánh giá mức độ khan hiếm nước đô thị ở thời điểm hiện tại và trong tương lai.

Từ khóa: Khan hiếm nước (KHN); Chỉ số khan hiếm nước (WSI); Delphi; KAMET, AHP.

1. Mở đầu

Nước là tài nguyên đặc biệt quan trọng của mỗi quốc gia, là một phần không thể thiếu trong đời sống của con người, môi trường và phát triển bền vững. Tuy nhiên, nước lại là nguồn tài nguyên hữu hạn và việc đảm bảo an ninh nước là một trong những thách thức mang tính toàn cầu. Các báo cáo chỉ ra rằng lượng nước tiêu thụ trên toàn cầu đã tăng hơn sáu lần trong thế kỷ qua và khủng hoảng nước là rủi ro số một đối với kinh tế xã hội (KTXH) [1]. Trước sức ép của gia tăng dân số và tăng trưởng kinh tế, mở rộng nông nghiệp tưới tiêu, thay đổi mô hình tiêu dùng thì tình trạng thiếu nước và ô nhiễm đã trở thành những vấn đề toàn cầu nghiêm trọng đe dọa sức khỏe con người, môi trường sống và sự phát triển bền vững. Trên toàn cầu, hai tỷ người sống ở các quốc gia trong điều kiện căng thẳng về nước cao, bốn tỷ người bị căng thẳng nghiêm trọng về nước ít nhất một tháng mỗi năm và 1,8 tỷ người ít nhất sáu tháng mỗi năm. Ước tính đến năm 2050 hơn một nửa dân số toàn cầu sẽ sống ở các vùng thiếu nước và hàng triệu người chết vì các bệnh liên quan đến thiếu nước và ô nhiễm nước mỗi năm [2].

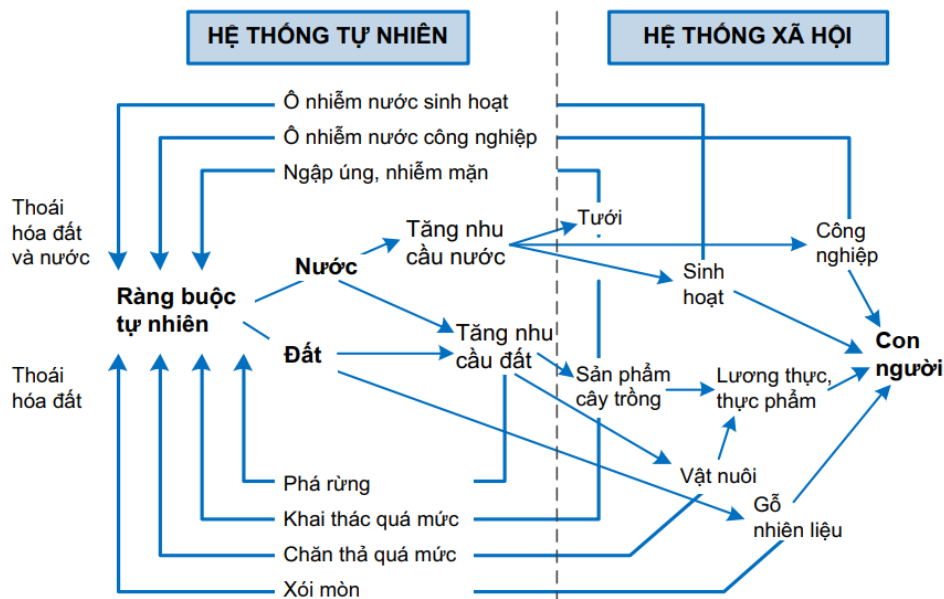
Theo UNESCO/UN-Water [3] Biến đổi khí hậu (BĐKH) sẽ ảnh hưởng đến nguồn nước, chất lượng và lượng nước sử dụng cho các nhu cầu cơ bản của hàng tỷ người trên thế giới về sử dụng nước sạch và vệ sinh môi trường. Nhu cầu sử dụng nước toàn cầu đã tăng gấp 6 lần trong 100 năm qua và dự kiến sẽ tiếp tục tăng khoảng 1% mỗi năm do tăng dân số, phát triển kinh tế và thay đổi mô hình tiêu dùng. Cùng với sự kém ổn định của tài nguyên nước, BĐKH sẽ làm trầm trọng hơn tình trạng căng thẳng về nước hiện nay ở một số khu vực và mở rộng phạm vi các khu vực phải đối phó với tình trạng này. BĐKH có thể sẽ kéo dài thời gian khan hiếm nước (KHN) ở một số khu vực, ví dụ như từ theo mùa thành trong cả năm. Đối với mỗi nhiệt độ tăng lên thì trung bình khoảng 7% dân số toàn cầu sẽ phải đối mặt với khoảng 20% suy giảm nguồn tài nguyên nước tái tạo (trung bình các mô hình phát thải khí nhà kính) [4] và đến năm 2050 thì chi phí liên quan đến KHN của một số khu vực có thể sẽ lên đến khoảng 6% GDP [5]. Bên cạnh đó, nghiên cứu [6] chỉ rõ đô thị hóa và BĐKH đang làm trầm trọng thêm tình trạng KHN khi nhu cầu sử dụng nước vượt quá khả năng cung cấp đối với các thành phố trên thế giới. Kết quả nghiên cứu cho thấy dân số đô thị toàn cầu đối mặt với tình trạng KHN được dự đoán sẽ tăng từ 933 triệu người (một phần ba dân số đô thị toàn cầu) vào năm 2016 lên 1,693÷2,373 tỷ người (một phần ba đến gần một nửa dân số đô thị toàn cầu) vào năm 2050. Số lượng các thành phố lớn rơi vào tình trạng KHN dự kiến sẽ tăng từ 193 lên 284 với 10÷20 siêu đô thị. Hơn hai phần ba các thành phố có thể giải quyết tình trạng KHN bằng cách đầu tư cơ sở hạ tầng, nhưng những đánh đổi đáng kể về môi trường, hệ sinh thái có thể xảy ra liên quan đến giải pháp giảm thiểu mức độ KHN (Hình 1).



Hình 1. Tình trạng khan hiếm nước đô thị hiện nay [6]: (a) Phân bố các thành phố lớn trong khu vực KHN (các thành phố có dân số trên 10 triệu người vào năm 2016); (b) Dân số đô thị KHN ở quy mô toàn cầu; (c) Dân số đô thị KHN phạm vi quốc gia (10 quốc gia có giá trị lớn nhất).

Những năm gần đây, các vấn đề liên quan tới tài nguyên nước (TNN) đã và đang trở thành một trong những mối quan tâm hàng đầu của các cấp quản lý khi phải đối mặt với một tổ hợp thách thức ảnh hưởng đến khả năng cung ứng nước cho đời sống dân sinh và phát

triển kinh tế xã hội cả ở hiện tại và tương lai (Hình 2), gồm: (i) Sự gia tăng dân số, đô thị hóa và tốc độ tăng trưởng kinh tế ngày một cao làm tăng nhu cầu sử dụng nước trong khi nguồn bổ cập hạn chế; (ii) BĐKH và các hoạt động khai thác nguồn nước mặt ở vùng thượng lưu sông đã và đang gây ra các tác động làm suy giảm cả về số lượng và chất lượng; (iii) Chất lượng nước bị suy giảm do chất ô nhiễm từ các hoạt động kinh tế làm tăng nguy cơ cạn kiệt nguồn nước theo nghĩa không thể sử dụng. Có thể nói TNN phục vụ cho thành phố đang đứng trước nguy cơ suy giảm và cạn kiệt do tác động đa chiều của nhiều nhân tố. Nói cách khác, tình trạng KHN đang ngày càng tăng đã đặt ra nhiều yêu cầu đối với công tác quản lý, khai thác, sử dụng và bảo vệ TNN trong khu vực.



Hình 2. Những tương tác, phản hồi phức tạp hơn giữa hệ thống tự nhiên và xã hội [7].

Nhìn chung cho đến thời điểm hiện tại các nghiên cứu về KHN và khung đánh giá về KHN đô thị là rất ít. Đối với thành phố Đà Nẵng và lưu vực sông (LVS) Vu Gia - Thu Bồn chưa có nghiên cứu bài bản và trực tiếp về KHN cũng như phương pháp đánh giá mặc dù thành phố đang phải đối mặt với tình trạng thiếu nước sinh hoạt đô thị như trong các năm 2018, 2019, 2021 vừa qua. Một số nghiên cứu đề cập gián tiếp đến các vấn đề riêng lẻ liên quan đến việc đảm bảo an ninh nước của lưu vực có thể kể đến như nghiên cứu đánh giá TNN [8–9], phân bổ nguồn nước [10–12], cân bằng nước [13–15], dòng chảy tối thiểu [16], hạn hán [17], Xâm nhập mặn [18–20], tác động của mưa lũ [21], biến động sử dụng đất [22], biến đổi thảm phủ thực vật [23], và tác động của việc vận hành hồ thủy điện đến XNM và cung cấp nước sinh hoạt ở hạ lưu [18, 24],...

Các nhà quản lý cần có cơ sở khoa học rõ ràng để tìm lời giải cho bài toán KHN đô thị cũng như hoạch định được chiến lược phát triển bền vững. Nghiên cứu đề xuất bộ chỉ số đánh giá mức độ KHN trên cơ sở kế thừa một số chỉ số của các nghiên cứu trước và phát triển các chỉ số phù hợp với đặc trưng riêng của thành phố Đà Nẵng ở thời điểm hiện tại và trong tương lai dưới tác động của BĐKH.

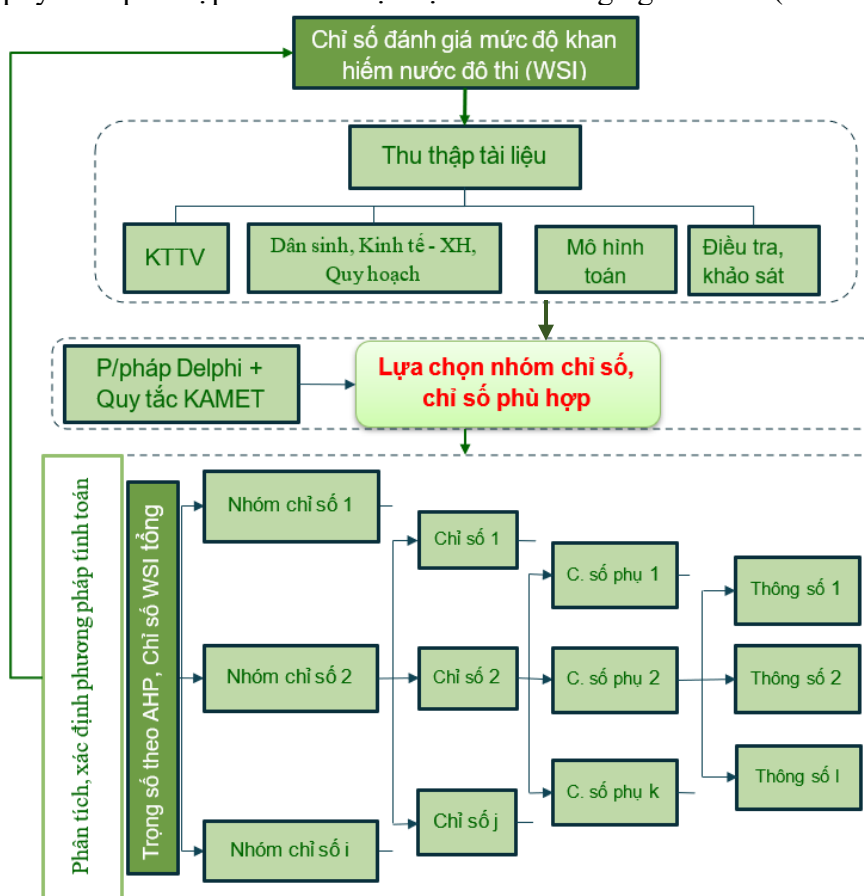
2. Phương pháp nghiên cứu và tài liệu sử dụng

2.1. Cách tiếp cận

Các yếu tố cần đạt được để đảm bảo cấp nước đô thị gồm: (i) Người dân có đủ nước để sử dụng phục vụ đời sống, sinh hoạt, ăn uống và phát triển kinh tế - xã hội? (ii) Chất lượng nước sinh hoạt có được đảm bảo theo quy chuẩn?; (iii) Tất cả các yếu tố nêu trên phải được

duy trì trong điều kiện hệ sinh thái vẫn được bảo tồn?; và (iv) Năng lực ứng phó với các sức ép phát triển trên như thế nào?

Có rất nhiều yếu tố (biến/chỉ số) liên quan đến TNN, tuy nhiên, để tính toán được chỉ số đánh giá mức độ KHN cho các vùng đô thị của Việt Nam cần xác định được các yếu tố phù hợp cần đảm bảo các nguyên tắc sau: (i) Phải mang tính đại diện: Các yếu tố được lựa chọn phải là các yếu tố có khả năng gây ra sự căng thẳng về TNN; (ii) Có thể đo lường được: Các yếu tố được lựa chọn phải có khả năng định lượng được; (iii) Dễ dàng thể hiện trong các công thức: Các yếu tố được lựa chọn phải có khả năng đưa được vào các công thức tính toán; (iv) Có sẵn dữ liệu để tính toán: Các yếu tố được lựa chọn phải có khả năng có dữ liệu để có thể tính toán; và (v) Có thể chuẩn hóa được trong khoảng giới hạn từ 1÷5 với 5 là cực kỳ khan hiếm và 1 là không bị khan hiếm. Việc áp dụng các nguyên tắc này giúp xác định được một bộ chỉ số hợp lý nhất phù hợp với điều kiện cụ thể của vùng nghiên cứu (Hình 3).



Hình 3. Sơ đồ khối phát triển bộ chỉ số đánh giá mức độ khan hiếm nước đô thị.

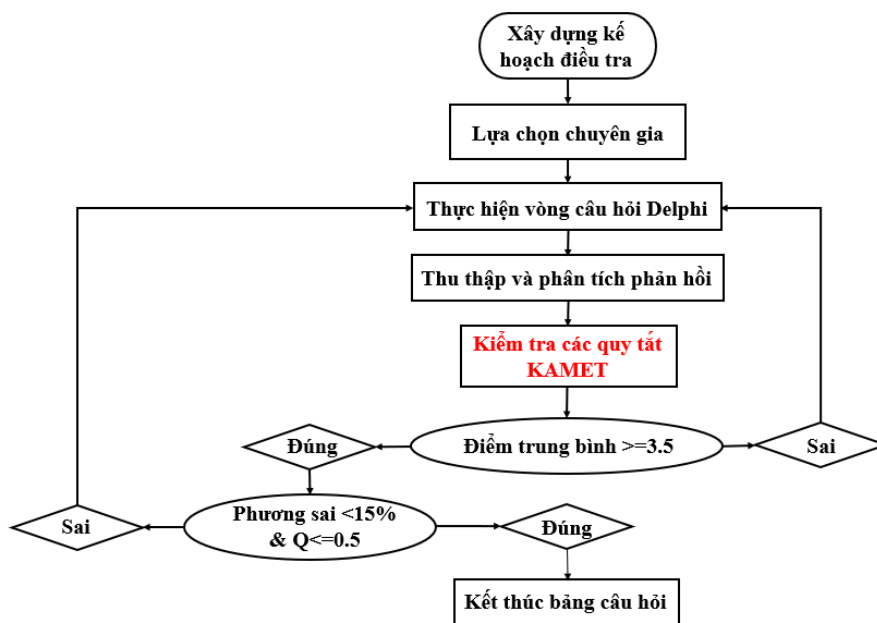
2.2. Phương pháp lựa chọn chỉ số

Hiện nay các nghiên cứu về phát triển bộ chỉ số đánh giá liên quan đến các lĩnh vực TNN thường sử dụng các phương pháp: phương pháp DPSIR (*Driving Force - Pressure - State - Impact - Response*); phương pháp SMART (*Specific - Measurable - Attainable - Realistic - Time bound*); phương pháp mô hình hóa động lực hệ thống SDM (*System Dynamics Modelling*); phương pháp phân tích quá trình PAM (*Process Analysis Method*); Phương pháp bảng hỏi Delphi. Trong các cách tiếp cận trên thì phương pháp Delphi cùng quy tắc KAMET (*Knowledge Acquisition for Multiple Experts with Time scales*) [25, 26], được đánh giá có ưu điểm và phù hợp khi áp dụng phát triển bộ chỉ số đánh giá mức độ KHN đô thị. Phương pháp Delphi là một phương pháp nghiên cứu định tính có hệ thống dựa trên đánh giá của các cá nhân được xác định là chuyên gia trong chủ đề đang được xem xét [27] cung cấp một giải pháp lặp đi lặp lại để đạt được sự đồng thuận chung của chuyên gia về điểm số hoặc khi các

phản hồi đạt được mức độ ổn định nhất định [28]. Bên cạnh đó quy tắc KAMET cung cấp một ngưỡng định lượng để dừng các vòng câu hỏi Delphi tiếp theo. Quá trình này bao gồm việc lựa chọn các chuyên gia, nhận phản hồi từ các chuyên gia và kiểm tra mức độ đạt yêu cầu theo bộ quy tắc KAMET.

Phương pháp Delphi được phát triển vào những năm 1950 bởi Olaf Helmer và Norman Dalkey thuộc Tập đoàn RAND để giải quyết một số vấn đề trong các dự án quân sự [27]. Kể từ đó, nhiều ứng dụng thực tế của phương pháp đã được thực hiện trong nhiều lĩnh vực, trong đó lĩnh vực thủy văn và quản lý TNN đã và đang được áp dụng [29–32]. Có thể kể đến như sau: Nghiên cứu [33] đã sử dụng phương pháp Delphi trong việc đánh giá quản lý tổng hợp TNN. Bảng câu hỏi được thực hiện với 21 chuyên gia được lựa chọn qua ba vòng và đã đạt được đồng thuận của các chuyên gia về bộ chỉ số đánh giá mức độ thực hiện quản lý tổng hợp TNN ở Đồng bằng sông Cửu Long của Việt Nam ở mức trung bình cao, với khía cạnh Môi trường thuận lợi đạt điểm cao hơn đáng kể so với ba thành phần khác là: Công cụ quản lý, Thể chế và sự tham gia và Tài chính, trong đó yếu tố Tài chính là kém nhất; Hay nghiên cứu [34] đã sử dụng phương pháp Delphi để hỗ trợ lựa chọn và phân bổ điểm số cho tất cả các tiêu chí khả thi góp phần vào tính dễ bị lũ lụt ở vùng đồng bằng ven biển của LVS Juqueriquere ở Brazil, sử dụng 15 chuyên gia trong ba vòng.

Phương pháp Delphi được sử dụng để thu thập dữ liệu đáng tin cậy trong nhiều lĩnh vực và nghiên cứu khác nhau, do đó phương pháp này được coi là phù hợp với mục đích nghiên cứu. Các bảng câu hỏi được thiết kế tập trung vào các chỉ số có liên quan đến KHN, mỗi bảng câu hỏi tiếp theo được phát triển dựa trên kết quả của bảng câu hỏi trước đó và nhận xét liên quan từ vòng trước. Quá trình này sẽ dừng lại khi câu trả lời đạt được sự đồng thuận hay khi đã trao đổi đầy đủ thông tin [35]. Phương pháp này không cho phép lộ diện các chuyên gia đưa ra đánh giá, xem xét về vấn đề đó có phù hợp với những người khác không, và họ có thể thay đổi ý kiến nếu muốn. Quá trình lựa chọn các chỉ số WSI được thực hiện qua 8 bước như Hình 4.



Hình 4. Quy trình thực hiện tham vấn theo phương pháp Delphi.

- + Bước 1: Xây dựng kế hoạch chi tiết cho các bước điều tra.
- + Bước 2: Lựa chọn nhóm chuyên gia có liên quan tới quá trình tham vấn số lượng từ 10÷40 người.
- + Bước 3: Xây dựng bảng hỏi Delphi: Bảng hỏi gồm các câu hỏi về các chỉ số dựa trên các tổng quan nghiên cứu, cách tiếp cận và đánh giá sự phù hợp trong vấn đề nghiên nhằm xin ý kiến tham vấn của các chuyên gia và các nhà khoa học liên quan.

+ Bước 4: Điều tra Delphi lần 1: Các bảng câu hỏi mở được gửi tới từng chuyên gia. Các chuyên gia được yêu cầu đánh giá mức độ đồng thuận với bộ chỉ số và các chỉ tiêu đưa ra. Mức độ đồng thuận được sắp xếp từ 1 ÷ 5, theo thang điểm lần lượt: (1) rất không liên quan; (2) không liên quan; (3) có ít nhiều liên quan; (4) liên quan và (5) rất liên quan. Mẫu câu hỏi cho chuyên gia được trình bày trong Bảng 1.

+ Bước 5. Phân tích dữ liệu vòng 1: Sau khi nhận được đáp án từ các chuyên gia, tổng hợp và phân tích kết quả dựa vào quy tắc KAMET. Quy tắc này đưa ra mức độ đánh giá quan trọng của mỗi chỉ số (qi) ở từng giai đoạn khác nhau trên cơ sở đánh giá tổ hợp các giá trị thống kê gồm Trung vị (Mdqi); Độ lệch tứ phân vị (Qqi); Giá trị trung bình (Mqi) và Phương sai (Vqi). Cần lưu ý rằng, phương sai là tỷ lệ số chuyên gia thay đổi đánh giá, có đơn vị là %. Quy tắc KAMET được mô tả chi tiết với 3 điều kiện để đánh giá như trong Bảng 2 [25].

+ Bước 6. Gửi kết quả điều tra cho nhóm chuyên gia: Các bảng câu hỏi sau khi đã loại các chỉ số hay câu hỏi không thỏa mãn nguyên tắc KAMET được phân gửi tới hội đồng.

+ Bước 7. Điều tra Delphi vòng 2: Thực hiện điều tra Delphi vòng 2 với bảng hỏi sau khi kết thúc vòng 1. Tương tự như vòng 1, sau khi thu được các đáp án từ các chuyên gia, nhóm Delphi lại tiến hành phân tích dựa vào quy tắc KAMET. Các giá trị thống kê bao gồm Trung vị (Mdqi); Độ lệch tứ phân vị (Qqi); Giá trị trung bình (Mqi) và Phương sai (Vqi) được tính toán lại ở bước này. Trong trường hợp tất cả các câu hỏi được chấp thuận hoặc từ chối; hoặc Giá trị trung bình cao hơn 3,5 và phương sai thấp hơn 15%, phương pháp xin ý kiến kết thúc [25].

+ Bước 8. Phân tích và tổng hợp kết quả: căn cứ các bước nêu trên và bộ chỉ số sơ bộ để lấy ý kiến chuyên gia, trình bày kết quả tính toán và cuối cùng là lựa chọn được bộ chỉ số cần thiết.

Bảng 1. Mẫu câu hỏi cho các chuyên gia về sự liên quan của bộ chỉ số đánh giá mức độ khan hiếm nước (KHN).

Nhóm chỉ số/ Chỉ số	Mức độ có liên quan của bộ chỉ số/chỉ số				
	Rất không liên quan (1)	Không liên quan (2)	Có ít nhiều liên quan (3)	Liên quan (4)	Rất liên quan (5)
Nguồn nước và KT SDN					
....					
Hệ sinh thái và môi trường					
....					
Cung cấp nước sinh hoạt đô thị tự CTCNTT					
....					
Năng lực ứng phó					
....					

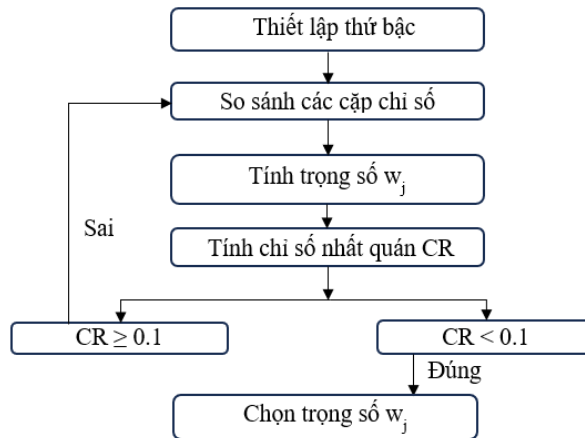
Bảng 2. Bảng Quy tắc KAMET phân tích đánh giá từ các chuyên gia sử dụng phương pháp Delphi [25].

Vòng t	Vòng t + 1	Vòng t + 2
Giá trị trung bình (qi) ≥ 3,5	Nếu giá trị trung bình (qi) ≥ 3,5, Q ≤ 0,5 và (%) < 15%, thì qi được chấp nhận và không cần phải tham vấn về qi nữa	
Giá trị trung bình (qi) ≥ 3,5	Nếu giá trị trung bình (qi) ≥ 3,5, Q ≤ 0,5 và (%) ≥ 15%, thì cần tham vấn vòng 2	Nếu (qi) ≥ 3,5, Q ≤ 0,5 và (%) ≤ 15% thì qi được chấp thuận và không cần phải tham vấn về qi nữa.
Giá trị trung bình (qi) < 3,5	Nếu giá trị trung bình (qi) < 3,5 và Q ≤ 0,5 và (%) ≤ 15% thì qi bị loại, và không cần phải tham vấn về qi nữa	

2.3. Phương pháp xác định trọng số

Sau khi xác định được các chỉ số thành phần, cần phải xác định được trọng số cho từng chỉ số để khẳng định vai trò của từng chỉ số trong bộ chỉ số với lưu ý rằng tổng trọng số của các chỉ số thành phần này phải bằng 1. Để tính trọng số không đều, hai phương pháp thường

được sử dụng là phương pháp phân tích hệ thống phân cấp (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) và phương pháp Iyengar-Sudarshan. Phương pháp Iyengar - Sudarshan được sử dụng trong nghiên cứu dựa trên cơ sở thống kê, được sử dụng đối với số vùng/huyện và số chỉ số phù hợp. Số vùng tính toán tối thiểu quy định phải lớn hơn 11 vùng, tức là 11 giá trị để thỏa mãn các đặc trưng thống kê [36], do vậy không phù hợp để tính toán cho 05 vùng như thành phố Đà Nẵng. Đối với vùng có ít hơn 11 vùng có thể sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP [36] được đề xuất bởi Thomas [37]. Các bước tiến hành theo phương pháp AHP như Hình 5.



Hình 5. Phương pháp tính toán trọng số theo AHP.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Bộ chỉ số đề xuất ban đầu

Thực hiện phương pháp Delphi trong đánh giá TNN, đề xuất các chỉ số ban đầu đánh giá mức độ KHN đô thị gồm 4 nhóm chỉ số với 25 chỉ số chính và 12 chỉ số phụ để xin ý kiến 16 chuyên gia nhằm lựa chọn chỉ số phù hợp. Các chuyên gia được lựa chọn là những nhà khoa học, nhà quản lý đến từ Trường Đại học Thủy lợi, Viện Khoa học KTTV và BDKH, Viện Khoa học Tài nguyên nước, Viện Địa lý, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam, Trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng, Sở TNMT thành phố Đà Nẵng. Bộ chỉ số này gồm các nhóm chỉ số và chỉ số cụ thể như sau:

3.1.1 Nhóm chỉ số nguồn nước và khai thác sử dụng nước

Ở Việt Nam, nguồn nước mặt được sử dụng cho các mục đích như nông nghiệp (tưới và chăn nuôi), cung cấp nước cho sinh hoạt, dịch vụ, công nghiệp, nuôi trồng thủy sản... Nguồn nước đến có khả năng khai thác (KT) và việc khai thác sử dụng (KTSD) có vai trò rất quan trọng đối với đời sống, phát triển kinh tế xã hội và môi trường. Nguồn nước đến có khả năng KT càng phong phú thì mức độ KHN của vùng sẽ càng giảm và lượng nước được KT cho từng lĩnh vực có đáp ứng nhu cầu sử dụng nước (NCSDN) không? Qua đó phản ánh mức độ KHN của lưu vực/vùng. Nghiên cứu đã chọn nhóm chỉ số Nguồn nước và KTSDN là nhóm chỉ số thứ nhất trong việc đánh giá mức độ KHN đô thị, bao gồm các chỉ số:

Bảng 3. Thành phần và cách xác định nhóm chỉ số Nguồn nước và KTSDN.

Chỉ số chính	Chỉ số phụ	Đơn vị	Cách xác định
Độ sẵn có của nguồn nước	Theo bình quân năm	l/s/km ²	Mô đun dòng chảy bình quân năm
	Theo bình quân mùa kiệt		Mô đun dòng chảy bình quân mùa kiệt
Lượng nước mặt bình quân đầu người	Theo bình quân năm	m ³ /người/năm	Tỉ số giữa tổng lượng dòng chảy bình quân năm và tổng dân số

Chỉ số chính	Chỉ số phụ	Đơn vị	Cách xác định
Sự biến đổi của nguồn nước mặt	Theo bình quân mùa kiệt	m ³ /người/ ngày	Tỉ số giữa tổng lượng dòng chảy đến các điểm khai thác nước bình quân thời đoạn tính toán và tổng dân số
	3 tháng kiệt nhất liên tục		
	Tháng kiệt nhất		
Lượng mưa bình quân	Theo trung bình năm	Cv	Hệ số biến đổi dòng chảy năm Hệ số biến đổi dòng chảy mùa kiệt
	Theo trung bình mùa kiệt		
Sức ép KTSDN	Tính theo năm	%	Tỉ số giữa tổng NCN cho các ngành so với tổng lượng nước đến cả năm/mùa kiệt
	Tính theo mùa kiệt		
Chất lượng nước mặt qua chỉ số VN_WQI			Đánh giá theo Quyết định số 1460/QĐ-TCMT ngày 12/11/2019
KTSD nước cho lĩnh vực nông nghiệp		%	Tỉ số giữa lượng nước KT phục vụ nông nghiệp và tổng NCN nông nghiệp
KTSDN cho lĩnh vực phi nông nghiệp (công nghiệp, dịch vụ, công cộng,...)		%	Là tỉ số giữa lượng nước KT phục vụ phi nông nghiệp với tổng NCN phi nông nghiệp
Khả năng trữ nước của các công trình		Ngày	Là tỉ số giữa tổng lượng nước trong các hồ chứa, đập dâng với tổng NCN 1 ngày

3.1.2. Nhóm chỉ số hệ sinh thái và môi trường

Bảo vệ Hệ sinh thái (HST) và môi trường (MT) dòng sông là nội dung không thể thiếu trong KTSD nước và phát triển bền vững của (LVS). Trên LVS nhất là dòng chính luôn cần phải duy trì một lượng nước nhất định để có thể chuyên tải, lưu thông được lượng bùn cát, các vật chất, các nguồn dinh dưỡng trong nguồn nước qua các mặt cắt sông, đảm bảo cho khả năng pha loãng cũng như khả năng tự làm sạch của nước sông. Lưu lượng nước duy trì trong sông cũng cần phải đảm bảo ở một mức độ nhất định để cho cá và các loài thủy sinh vật có thể tồn tại và phát triển bình thường. Trong thực tế HST và MT của nhiều sông ở nước ta hiện nay đã bị ô nhiễm và suy thoái do ảnh hưởng của các hoạt động phát triển của con người, ảnh hưởng đến nguồn cấp nước sạch cho đô thị, qua đó được chọn là nhóm chỉ số thứ hai trong bộ chỉ số đánh giá mức độ KHN đô thị, bao gồm các chỉ số chính được thể hiện trên bảng 4.

Bảng 4. Thành phần và cách xác định nhóm chỉ số Hệ sinh thái và Môi trường.

Chỉ số chính	Đơn vị	Cách xác định
Mức độ duy trì dòng chảy tối thiểu	%	Tỉ lệ phần trăm mức độ đáp ứng về dòng chảy tối thiểu
Ô nhiễm nguồn nước	%	Là tỉ số giữa tổng lượng nước thải từ các hoạt động kinh tế và tổng lượng nước tự nhiên
Mặt đệm	%	Là tỉ lệ giữa diện tích bề mặt được phủ xanh (rừng + cây phân tán) so với tổng diện tích tự nhiên.
Hệ số suy giảm hệ sinh thái	%	Là tỉ lệ giữa tổng diện tích không được che phủ rừng và mặt nước so với tổng diện tích tự nhiên.
Tác động của các hồ đập đến biến đổi dòng chảy và suy giảm HST và MT sông	Số CT	Được xác định thông qua số lượng công trình, vị trí, chức năng hoạt động của công trình trên sông nhánh, sông chính

3.1.3. Nhóm chỉ số cung cấp nước sinh hoạt đô thị từ công trình cấp nước tập trung

Trong Kết luận số 36/KL/TW [38] đã đưa ra mục tiêu: Cân đối đủ nước phục vụ dân sinh và phát triển KTXN; 100% hộ gia đình ở thành thị và 80% hộ gia đình ở nông thôn được sử dụng nước sạch theo quy chuẩn. Mức độ đáp ứng nước sạch cho người dân cũng phụ thuộc khả năng cung cấp nước sinh hoạt từ các công trình cấp nước của đô thị. Vì thế nghiên cứu

đề xuất nhóm chỉ số cung cấp nước sinh hoạt đô thị từ công trình cấp nước tập trung (CTCNTT) làm nhóm chỉ số đánh giá mức độ KHN đô thị với các chỉ số được thể hiện trên bảng 5.

Bảng 5. Thành phần và cách xác định nhóm chỉ số Cung cấp nước sinh hoạt đô thị từ công trình cấp nước tập trung.

Chỉ số chính	Đơn vị	Cách xác định
KTSD nước cho lĩnh vực sinh hoạt	%	Là tỉ số giữa lượng nước khai thác (qua công trình) phục vụ sinh hoạt và tổng nhu cầu nước sinh hoạt
Số dân được cấp nước sạch sinh hoạt	%	Là tỉ số giữa số người dân được cung cấp nước sạch từ các công trình cấp nước tập trung và tổng số dân trong khu vực
Tổn thất của hệ thống cấp nước	%	Là tỉ số giữa tổng lượng nước ghi thu và lượng nước phát vào hệ thống cấp nước
Số lượng đồng hồ đo nước	%	Là tỉ số giữa số lượng đồng hồ và tổng số hộ dân
Áp lực nước trung bình đến hộ dân	%	Tỉ lệ % mức độ đáp ứng về áp lực nước tại các hộ sử dụng nước theo quy định của Quy phạm
Ảnh hưởng của xâm nhập mặn đối với cấp nước sạch	‰	Được xác định bằng độ mặn tại vị trí khai thác nước thô cho sinh hoạt

3.1.4. Nhóm chỉ năng lực ứng phó với tình trạng khan hiếm nước

Năng lực ứng phó biểu thị khả năng cũng như độ nhạy của các cấp quản lý trong việc đáp ứng kịp thời và đầy đủ tất cả nhu cầu sử dụng nước cho các hoạt động phát triển KTXH của một đô thị trước mọi tác động bất lợi của cả yếu tố chủ quan và khách quan. Vì thế đây cũng là một nhóm chỉ số dùng để đánh giá mức độ KHN của một đô thị. Thành phần và cách xác định nhóm chỉ số năng lực ứng phó được thể hiện trên bảng 6.

Bảng 6. Thành phần và cách xác định nhóm chỉ số năng lực ứng phó.

Chỉ số chính	Đơn vị	Cách xác định
Ứng phó với tình trạng XNM	%	Là tỉ số giữa công suất máy bơm bơm nước ngọt pha loãng trên tổng công suất của nhà máy nước bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn
Lượng nước thải sinh hoạt được xử lý	%	Là tỉ số giữa công suất nhà máy xử lý nước thải sinh hoạt và tổng lượng nước thải sinh hoạt
Khả năng chi trả tiền nước (Thu nhập bình quân đầu người)	%	Là tỉ số giữa số tiền chi trả tiền nước bình quân hằng tháng trên tổng thu nhập bình quân hằng tháng của người dân
Ứng phó khi nguồn nước gặp sự cố về ô nhiễm môi trường	%	Là tỉ số giữa lượng nước dự phòng cho sinh hoạt theo quy chuẩn và lượng nước cần đáp ứng khi gặp sự cố
Ứng phó nhu cầu nước sinh hoạt gia tăng do du lịch cao điểm 3 tháng cuối mùa hạn	%	Tỉ số giữa lượng nước sản xuất gia tăng và nhu cầu nước của khách du lịch cao điểm 3 tháng cuối mùa kiệt

3.2. Bộ chỉ số đánh giá mức độ khan hiếm nước đô thị

Qua 3 vòng tham vấn với 16 chuyên gia đã xác định được bộ chỉ số đánh giá KHN đô thị. Kết quả được thể hiện trong Bảng 7, chỉ số có dấu (*) là chỉ số bị loại do không đảm bảo điều kiện theo quy tắc KAMET và chỉ số lựa chọn cuối cùng được trình bày trong Bảng 8.

Bảng 7. Kết quả xin ý kiến chuyên gia đối với các chỉ số.

Vòng tham vấn	Chỉ số	Độ lệch tứ phân vị	Phương sai (%)	Chỉ số	Độ lệch tứ phân vị	Phương sai (%)
Vòng 1	Mô đun dòng chảy bình quân năm	0,50		Lượng mưa bình quân năm (*)	0,50	
Vòng 2		0,50	18,8%		1,00	37,5%
Vòng 3		0,50	12,5%		0,50	56,3%
Vòng 1	Mô đun dòng chảy bình quân mùa kiệt	0,00		Lượng mưa bình quân mùa kiệt (*)	0,50	
Vòng 2		0,00	12,5%		1,00	50,0%

Vòng tham vấn	Chỉ số	Độ lệch tứ phân vị	Phương sai (%)	Chỉ số	Độ lệch tứ phân vị	Phương sai (%)
Vòng 3		0,00	12,5%		0,50	75,0%
Vòng 1		0,50			0,50	
Vòng 2	Lượng nước mặt bình quân đầu người_năm	0,50	31,3%	Sức ép khai thác sử dụng nước (KTSDN) cả năm	0,50	43,8%
Vòng 3		0,50	12,5%		0,50	12,5%
Vòng 1	Lượng nước mặt bình quân đầu người_mùa	0,38		Sức ép khai thác sử dụng nước (KTSDN) mùa kiệt	0,50	
Vòng 2		0,50	6,3%		0,38	25,0%
Vòng 3	kiệt	0,50	12,5%		0,50	6,3%
Vòng 1	Lượng nước mặt bình quân_3 tháng kiệt nhất liên tục	0,50		Chất lượng nước (CLN) mặt	0,50	
Vòng 2		0,50	43,8%		0,50	31,3%
Vòng 3		0,50	12,5%		0,38	12,5%
Vòng 1	Lượng nước mặt bình quân đầu người tháng	0,50		KTSDN cho lĩnh vực nông nghiệp	0,50	
Vòng 2		0,38	25,0%		0,50	12,5%
Vòng 3	kiệt nhất	0,50	12,5%		0,50	12,5%
Vòng 1	Sự biến đổi của nguồn nước đến bình quân năm	0,38		KTSDN cho lĩnh vực phi nông nghiệp	0,50	
Vòng 2		0,75	37,5%		0,50	12,5%
Vòng 3	năm	0,38	12,5%		0,50	12,5%
Vòng 1	Sự biến đổi của nguồn nước đến bình quân mùa kiệt	0,50		Khả năng trữ nước của công trình	0,38	
Vòng 2		0,50	75,0%		0,50	25,0%
Vòng 3		0,50	6,3%		0,50	12,5%
Vòng 1		0,50		Số lượng đồng hồ đo nước ^(*)	0,50	
Vòng 2	Mức độ duy trì nước	0,50	25,0%		1,00	37,5%
Vòng 3		0,50	12,5%		1,00	37,5%
Vòng 1		0,50		Áp lực nước trung bình đến hộ dân ^(*)	0,50	
Vòng 2	Ô nhiễm nguồn nước	0,50	43,8%		1,00	43,8%
Vòng 3		0,38	12,5%		1,00	31,3%
Vòng 1		0,50		Ảnh hưởng của XNM đối với cấp nước	0,50	
Vòng 2	Mặt đệm	0,50	25,0%		0,50	25,0%
Vòng 3		0,50	12,5%		0,50	12,5%
Vòng 1		0,50		Ứng phó với tình trạng XNM	0,50	
Vòng 2	Hệ số suy giảm hệ sinh thái ^(*)	0,50	37,5%		0,50	31,3%
Vòng 3		0,50	12,5%		0,50	12,5%
Vòng 1		0,50		Lượng nước thải sinh hoạt được xử lý ^(*)	1,00	
Vòng 2	Tác động của hồ đập đến HST & MT	0,50	37,5%		0,50	43,8%
Vòng 3		0,50	12,5%		0,50	37,5%
Vòng 1		0,38		Khả năng chi trả tiền nước ^(*)	1,00	
Vòng 2	KTSDN cho lĩnh vực sinh hoạt	0,50	18,8%		1,38	50,0%
Vòng 3		0,50	0,0%		1,38	43,8%
Vòng 1		0,50		Ứng phó khi nguồn nước gặp sự cố về ô nhiễm môi trường	0,50	
Vòng 2	Số dân được cấp nước sinh hoạt	0,50	18,8%		0,50	18,8%
Vòng 3		0,50	12,5%		0,50	12,5%
Vòng 1		0,75		Ứng phó với lượng khách du lịch cao điểm	0,50	
Vòng 2	Tồn thất của hệ thống cấp nước	0,88	37,5%		0,50	12,5%
Vòng 3		0,38	18,8%	3 tháng cuối mùa hạn	0,50	12,5%

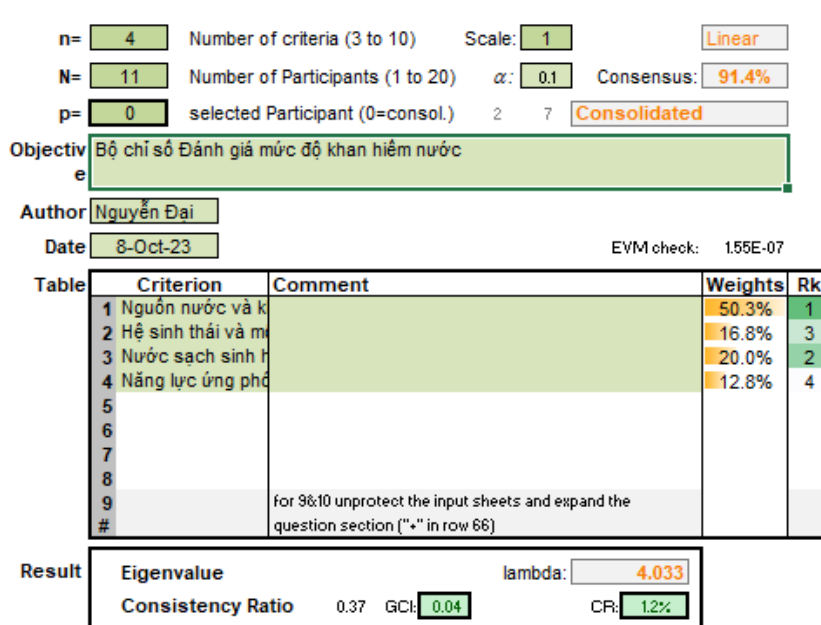
Bảng 8. Kết quả bộ chỉ số đánh giá mức độ khan hiếm nước.

Nhóm chỉ số	Ký hiệu	Chỉ số chính và phụ	Nhóm chỉ số	Ký hiệu	Chỉ số chính và phụ
WSI_1. Nguồn nước và khai thác sử dụng nước	WSI_1.1	Độ sẵn có của nguồn nước mặt	WSI_2 Hệ sinh thái và môi trường	WSI_2.1	Mức độ duy trì dòng chảy tối thiểu
	WSI_1.1.1	Mô đun dòng chảy bình quân nhiều năm		WSI_2.2	Ô nhiễm nguồn nước
	WSI_1.1.2	Mô đun dòng chảy bình quân mùa kiệt		WSI_2.3	Mặt đệm
	WSI_1.2	Lượng nước mặt bình quân đầu người		WSI_2.4	Tác động của các hồ đập trên sông đến HST và MT
	WSI_1.2.1	Trong năm	WSI_3 Cung cấp nước SH đô thị từ CTCNT T	WSI_3.1	KTSD nước cho lĩnh vực SH
	WSI_1.2.2	Trong mùa kiệt		WSI_3.2	Số dân được cấp nước SH
	WSI_1.2.3	3 tháng kiệt nhất liên tục		WSI_3.3	Tồn thất của hệ thống cấp nước
	WSI_1.2.4	Tháng kiệt nhất		WSI_3.4	Ảnh hưởng của XNM đối với cấp nước sinh hoạt

Nhóm chỉ số	Ký hiệu	Chỉ số chính và phụ	Nhóm chỉ số	Ký hiệu	Chỉ số chính và phụ
	WSI_1.3	Sự biến đổi của nguồn nước		WSI_4.1	Ứng phó với tình trạng XNM
	WSI_1.3.1	Trung bình năm	WSI_4	WSI_4.2	Ứng phó khi nguồn nước gặp sự cố về ô nhiễm MT
	WSI_1.3.2	Trung bình mùa kiệt	Năng lực ứng phó	WSI_4.3	Ứng phó với lượng khách du lịch cao điểm 3 tháng cuối mùa hạn
	WSI_1.4	Sức ép KTSDN		WSI_1.6	KTSDN lĩnh vực nông nghiệp
	WSI_1.4.1	Cả năm		WSI_1.7	KTSDN lĩnh vực phi Nghịch
	WSI_1.4.2	Mùa kiệt	WSI_1	WSI_1.8	Khả năng trữ nước của công trình
	WSI_1.5	Chất lượng nước			

3.3. Trọng số của bộ chỉ số

Trọng số của các chỉ số được xác định theo phương pháp AHP với 11 phiếu khảo sát thu thập được từ các chuyên gia. Kết quả mức độ ảnh hưởng của nhóm chỉ số/ chỉ số được thể hiện ở Hình 6 và Bảng 9.



Hình 6. Trọng số bộ chỉ số đánh giá mức độ KHN thành phố Đà Nẵng.

Bảng 9. Kết quả trọng số bộ chỉ số đánh giá mức độ khan hiếm nước của thành phố Đà Nẵng.

Chỉ số	Hạng mục đánh giá	Trọng số (%)	Xếp hạng thứ tự ưu tiên
WSI	Bộ chỉ số đánh giá mức độ KHN đô thị		
WSI_1	Nguồn nước và KTSDN	50,3	1
WSI_3	Cung cấp nước sạch SH đô thị từ CTCNTT	20,0	2
WSI_2	HST & Môi trường	16,8	3
WSI_4	Năng lực ứng phó	12,8	4
WSI_1	Nhóm chỉ số Nguồn nước và KTSDN		
WSI_1.1	Mô đun dòng chảy bình quân nhiều năm	26,7	1
WSI_1.2	Lượng nước bình quân đầu người	17,1	2
WSI_1.3	Sự biến đổi của nguồn nước	12,3	3
WSI_1.5	Chất lượng nước	11,8	4
WSI_1.4	Sức ép KTSDN	10,8	5
WSI_1.6	KTSDN cho lĩnh vực nông nghiệp	8,8	6

Chỉ số	Hạng mục đánh giá	Trọng số (%)	Xếp hạng thứ tự ưu tiên
WSI_1.7	KTSDN cho sinh hoạt và phi nông nghiệp	7,7	7
WSI_1.8	Khả năng trữ nước	4,6	8
WSI_2	Nhóm chỉ số Hệ sinh thái và môi trường		
WSI_2.2	Ô nhiễm nguồn nước	41,1	1
WSI_2.1	Mức độ duy trì dòng chảy tối thiểu	31,5	2
WSI_2.3	Mật độ	14,8	3
WSI_2.4	Tác động của các hồ đập	12,6	4
WSI_3	Nhóm chỉ số Cung cấp nước sạch từ CTCNTT		
WSI_3.2	Số dân được cấp nước sạch sinh hoạt	46,7	1
WSI_3.3	Tồn thất của HTCNT	23,6	2
WSI_3.1	KTSDN cho sinh hoạt và phi nông nghiệp	19,8	3
WSI_3.4	Ảnh hưởng của XNM đối với cấp nước sạch	9,9	4
WSI_4	Nhóm chỉ số Năng lực ứng phó		
WSI_4.3	Đáp ứng lượng nước sinh hoạt với du lịch cao điểm 3 tháng cuối mùa hạn	47,0	1
WSI_4.2	Nguồn nước dự trữ cho sinh hoạt khi gặp sự cố về ô nhiễm môi trường	33,1	2
WSI_4.1	Ứng phó với tình trạng XNM	19,9	3
WSI_1.2	Chỉ số Lượng nước bình quân đầu người		
WSI_1.2.4	Bình quân người/tháng kiệt nhất	44,6	1
WSI_1.2.3	Bình quân người/3 tháng kiệt nhất liên tục	27,6	2
WSI_1.2.2	Bình quân người/mùa kiệt	18,4	3
WSI_1.2.1	Bình quân người/năm	9,5	4
Chỉ số phụ	Các chỉ số có 2 chỉ số phụ, mỗi biên	50	

4. Kết luận

Bài báo sử dụng phương pháp Delphi cùng với bộ quy tắc KAMET và phương pháp phân cấp thứ bậc AHP, đã xác định được bộ chỉ số đánh giá mức độ KHN đô thị gồm 4 nhóm chỉ số, 19 chỉ số chính và 10 chỉ số phụ hình tạo thành 25 thông số với mức độ ảnh hưởng khác nhau của từng chỉ số theo tiếp cận định nghĩa của FAO về KHN. Bên cạnh việc kế thừa các chỉ số đã có trước đây, kết quả nghiên cứu đã phát triển mới các chỉ số có tác động đến mức độ KHN đô thị qua tốc độ tăng trưởng dân số, mức độ đô thị hóa, cung cấp nước sinh hoạt đô thị, khai thác sử dụng nước cho các hoạt động phát triển. Các tác động này được thể hiện qua nhóm chỉ số Cung cấp nước sạch sinh hoạt đô thị từ CTCNTT (WSI_3), Năng lực ứng phó với sức ép về KHN (WSI_4), và các chỉ số gồm Lượng nước mặt bình quân đầu người 3 tháng liên tục kiệt nhất và tháng kiệt nhất (WSI_1.2.3), (WSI_1.2.4); Sức ép KTSDN mùa kiệt (WSI_1.4.2); KTSDN cho lĩnh vực sinh hoạt và phi nông nghiệp (WSI_3.1), Ảnh hưởng của XNM đối với cấp nước sạch (WSI_3.4); Ứng phó với tình trạng XNM (WSI_4.1), Ứng phó khi gặp sự cố về ô nhiễm MT (WSI_4.2) và Ứng phó với lượng khách du lịch cao điểm 3 tháng cuối mùa hạn (WSI_4.3).

Bộ chỉ số sau khi tính toán với các số liệu từ các thống kê, báo cáo, văn bản quy phạm và kết quả từ các mô hình toán sẽ là cơ sở để đánh giá được mức độ KHN lần lượt qua từng chỉ số phụ, chỉ số chính và nhóm chỉ số tương ứng, từ đó xác định được chỉ số WSI tổng hợp của từng vùng cũng như của toàn đô thị. Điểm số đánh giá của các chỉ số và nhóm chỉ là động lực để các nhà khoa học, nhà quản lý tìm giải pháp phù hợp nhằm giảm thiểu mức độ tác động của việc KHN cũng như đảm bảo cấp nước an toàn cho phát triển bền vững của đô thị.

Bên cạnh kết quả đạt được như trên, do hạn chế về cơ sở dữ liệu và phương pháp luận nên một số chỉ số mới được tính toán ở góc độ định tính như chỉ số tác động của hồ đập đến HST và môi trường (WSI_2.4) hoặc được tính qua trung gian của các thông số khác, đây cũng chính là các tồn tại cần được giải quyết trong các nghiên cứu tiếp theo.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.Đ.T., N.A.Đ., N.T.V.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.Đ.T., N.A.Đ.; Xử lý số liệu và tính toán: N.Đ.T., N.B.T.; Viết bản thảo bài báo: N.Đ.T., N.B.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.A.Đ., N.T.V.

Lời cảm ơn: Bài báo này được thực hiện trong luận án tiến sĩ của NCS Nguyễn Đại Trung thực hiện tại Trường Đại học Thủy lợi. Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn các cơ quan quản lý, các chuyên gia, các nhà khoa học đã hỗ trợ các quá trình tham vấn để hoàn thành 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. World Economic Forum. Global Risks 2015: 10th Edition. Geneva, 2015, pp. 67.
2. Wang, D.; Hubacek, K.; Shan, Y.; Gerbens-Leenes, W.; Liu, J.A. A Review of Water Stress and Water Footprint Accounting. *Water* **2021**, *13*, 201–215. <https://doi.org/10.3390/w13020201>.
3. UNESCO/UN-Water. United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change, UNESCO, Paris, 2020.
4. IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, 2014.
5. World Bank. High and dry: Climate change, water, and the economy. Washington, DC, 2016.
6. He, C.; Liu, Z.; Wu, J.; Pan, X.; Fang, Z.; Li, J.; Bryan, B.A. Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nat. Commun.* **2021**, *4667*, 1–11. [Doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3](https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3).
7. Nghị, V.V. Đánh giá mức độ khan hiếm tài nguyên nước ngọt cho thành phố Hồ Chí Minh bằng chỉ số áp lực về nước WSI theo các kịch bản quy hoạch phát triển đến năm 2030 và trong điều kiện Biến đổi khí hậu khi nước biển dâng, Trường Đại học KHTN, Đại học Quốc gia TP HCM, TP HCM, 2016, tr. 283.
8. Tuấn, H.N. Đánh giá TNN mặt thành phố Đà Nẵng có xét đến điều kiện BĐKH, phát triển kinh tế xã hội và đề xuất định hướng khai thác nước đến 2050. Hội thảo khoa học Công nghệ xây dựng tiên tiến hướng đến phát triển bền vững, Đà Nẵng, 2015, tr. 1-8.
9. Sơn, L.M. Nghiên cứu đề xuất giải pháp quản lý sử dụng tổng hợp tài nguyên nước và lưu vực sông Vu Gia- Sông Hàn đáp ứng nhu cầu phát triển bền vững thành phố Đà Nẵng, Viện Công nghệ Môi trường, Hà Nội, 2011, 397 trang.
10. Liên danh trường Cao đẳng Công nghệ Kinh tế và Thủy lợi Miền Trung và Viện Thủy văn môi trường và BĐKH, trường Đại học Thủy lợi. Tài nguyên nước mặt thành phố Đà Nẵng đến năm 2030 tầm nhìn đến năm 2045, Đà Nẵng, 2018, 285 trang.
11. Đón, T.V. Nghiên cứu phân bổ hợp lý nguồn nước mặt cho lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn. Luận án tiến sĩ, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và BĐKH, Hà Nội, 2021.
12. Thắng, T.V. Nghiên cứu phân bổ nguồn nước và vận hành hợp lý hệ thống hồ chứa lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn trong mùa cạn. Luận án tiến sĩ, Viện Khoa học thủy lợi Việt Nam, 2019.
13. Lan, V.T.T.; Sơn, H.T.; Tùng, N.B.; Thủy, Đ.B.; Yên, N.T.H. Cân bằng nước lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn bằng mô hình Mike Hydro Basin. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *708*, 1–12.

14. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Trung-Tây Nguyên. Nghiên cứu đề xuất giải pháp quản lý sử dụng tổng hợp tài nguyên nước và lưu vực sông Vu Gia - Sông Hàn đáp ứng nhu cầu phát triển bền vững thành phố Đà Nẵng, Đà Nẵng, 2014, tr. 324.
15. Viện Quy hoạch thủy lợi. Nghiên cứu sử dụng tài nguyên nước tổng hợp tại lưu vực Vu Gia - Thu Bồn, Hà Nội, 2005, tr. 243.
16. Tinh, N.V. Nghiên cứu xác định khả năng chịu tải và dòng chảy tối thiểu của sông Vu Gia–Thu Bồn, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Hà Nội, 2016, tr. 338.
17. Tue, V.M.; Duong, V.N.; Gourbesville, P.; Raghavan, S.V.; Liang, S.Y. Hydrometeorological drought assessment under climate change impact over the Vu Gia-Thu Bon river basin, Vietnam. *Hydrol. Sci. J.* **2017**, *10*, 1–15.
18. Sơn, H.T.; Lan, V.T.T.; Trung, N.Đ. Biến động lan truyền mặn vùng hạ lưu sông Vu Gia - Thu Bồn dưới tác động vận hành của các công trình thủy điện. *Tap chí Khí tượng - Thủy văn* **2018**, *690*, 1–11.
19. Sơn, H.T.; Trung, N.Đ. và cs. Nghiên cứu đề xuất giải pháp kiểm soát xâm nhập mặn cho TP Đà Nẵng. Viện Địa lí, Hà Nội, 2018, tr. 257.
20. Lan, V.T.T.; Sơn, H.T.; Tùng, N.B.; Trung, N.Đ. Phát triển mô hình Delta cảnh báo xâm nhập mặn các sông vùng hạ lưu lưu vực Vu Gia - Thu Bồn. *Tap chí Khoa học Công nghệ Việt Nam* **2019**, *6*, 17–23.
21. Huy, D.Q. Nghiên cứu mưa, lũ cực hạn lưu vực Sông Vu Gia - Thu bồn. Luận án tiến sĩ, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2018.
22. Hồng, N.T. Đánh giá ảnh hưởng của biến động sử dụng đất đến lưu lượng dòng chảy lưu vực sông Vu Gia-Thu Bồn. *Tap chí Địa chất* **2015**, *5-6*, 49–59.
23. Thọ, B.Đ.; Bình, N.Q.; Dương, V.N.; Hiếu, L.C. Đánh giá ảnh hưởng của việc thay đổi thảm phủ đến chế độ dòng chảy lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn. Hội nghị khoa học cơ học Thủy khí lần thứ 21. 2018.
24. Hùng, L. Nghiên cứu ảnh hưởng của việc vận hành các công trình thủy điện ở thượng nguồn đến việc cấp nước của nhà máy nước Cầu Đỏ trong điều kiện biến đổi khí hậu, nước biển dâng và phát triển kinh tế xã hội của thành phố Đà Nẵng - Đề xuất các giải pháp phù hợp. Nhiệm vụ KHCN UBND thành phố Đà Nẵng. 2017.
25. Chu, H.C.; Hwang, G.J. A Delphi-based approach to developing expert systems with the cooperation of multiple experts. *National Library Medicine* **2007**, *34(4)*, 2826–2840. Doi:10.1016/j.eswa.2007.05.034.
26. Grime, M.M.; Wright, G. Delphi method. In Brandimarte, P.; Everitt, B.; Molenberghs, G.; Piegorisch, W.; Ruggeri, F. (Eds.), Wiley StatsRef: Statistics reference online. John Wiley&Sons Inc. **2016**, 1–6.
27. Dalkey, N.; Helmer, O. An experimental application of Delphi method to use of experts. *Manage. Sci.* **1963**, *9*, 458–467.
28. Drescher, M.; Perera, A.H.; Johnson, C.J.; Buse, L.J.; Drew, C.A.; Burgman, M.A. Toward rigorous use of expert knowledge in ecological research. *Ecosphere* **2013**, *7*, 1–26.
29. Brady, S.R. Utilizing and adapting the Delphi method for use in qualitative research. *Int. J. Qual. Methods* **2015**, 1–6. <https://doi.org/10.1177/1609406915621381>.
30. dell’Olio, L.; Ibeas, A.; de Oña, J.; de Oña, R. Public participation techniques and choice of variables. *Public Transp. Qual. Serv.* **2018**, 33–47. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102080-7.00003-3>.
31. Skinner, R.; Nelson, R.R.; Chin, W.W.; Land, L. The Delphi method research strategy in studies of information systems. *Commun. Assoc. Inf. Syst.* **2015**, *37*, 31–63. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.03702>.
32. Anh, N.T.; Trà, T.V.; Linh, L.V.; Dương, V.H.; Huy, N.Q. Nghiên cứu áp dụng phương pháp khảo sát DelPhi trong đánh giá mức độ quản lý tổng hợp tài nguyên nước. *Tap chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2021**, *20*, 66–77.

33. Tra, T.V.; Anh, N.T.; Linh, L.V.; Sơn, D.H. The degree of integrated water resources management implementation in the Mekong River Delta in Viet Nam. *World Water Policy* **2022**, 1-14. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12071>.
34. Boulomytis, V.T.G.; Zuffo, A.C.; Imteaz, M.A. Detection of flood influence criteria in ungauged basins on a combined Delphi-AHP approach. *Oper. Res. Perspect.* **2019**, 6, 100116. <https://doi.org/10.1016/J.ORM>.
35. Skulmoski, G.J.; Hartman, S.T.; Krahn, J. The Delphi Method for Graduate Research. *J. Inf. Technol. Educ.* **2007**, 6, 1–21.
36. Văn, C.T.; Sơn, N.T. Xây dựng phương pháp tính trọng số để xác định chỉ số dễ bị tổn thương lũ lụt lưu vực sông Vũ Gia- Thu Bồn. *Tap chí Khoa học và Công nghệ* **2015**, 1S, 93–102.
37. Saaty, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process, Katz Graduate School of Business, University of Pittsburgh, USA, 2008.
38. Ban chấp hành TW Đảng. Về bảo đảm an ninh nguồn nước và an toàn đập, hồ chứa nước đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045. Kết luận số 36/KL/TW ngày 23/6/2022, Hà Nội, 2022.

Research on developing a set of urban water scarcity index suitable for Da Nang City

Nguyen Dai Trung^{1,2*}, Nguyen Anh Duc³, Nguyen Trung Viet⁴, Nguyen Bach Tung⁵

¹ PhD student, Thuyloi University; nguyendaitrung@gmail.com

² Central Region College of Technology, Economics and Water Resources; nguyendaitrung@gmail.com

³ Water Resources Institute; naduc@monre.gov.vn

⁴ Thuyloi University; nguyentruongviet@tlu.edu.vn

⁵ VNU University of Science; bachtung_cefd@hus.edu.vn

Abstract: The article uses the Delphi method combined with the KAMET rule and the Analytic Hierarchy Process_AHP to build a set of water scarcity index (Water Scarcity Index_WSI) for urban water scarcity. On the basis of research on the level of science using the WSI index in the world and Viet Nam, the principles of index construction, the conditions and specific characteristics of Da Nang City belonging to the lower Vu Gia Thu Bon river basin, the article builds a set of indicators including 04 groups of indicators, 19 main indicators and 10 sub-indicators, and also determines the level of influence of each index in the index set. This index combination is divided into 4 index groups to represent the level of urban water scarcity, applied to Da Nang city, including: (1) Water source and water exploitation and use index group (WSI_1); (2) Ecosystem and Environment Index (WSI_2); (3) Index group Urban water supply from public water supply works (WSI_3) and (4) WSI index group Response capacity (WSI_4). The importance of the index groups in the WSI_1, (WSI_2), (WSI_3), (WSI_4) sets of indexes is determined to be 50.3%, 16.8%, 20.0% and 12.9%, respectively. The calculation process determines the aggregate WSI index for each specific area and the entire study area as a basis for assessing the level of urban water scarcity at the present time and for future development.

Keywords: Water Scarcity; Water Scarcity Index (WSI); DELPHI, KAMET, AHP.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu khả năng sử dụng số liệu mưa vệ tinh độ phân giải cao trong mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông thiếu số liệu

Trần Bảo Chung^{1*}, Trần Anh Phương¹, Trần Thị Diệu Hằng¹, Nguyễn Nam Anh¹, Hoàng Thị An¹, Siliennis Blanco Campbell²

¹ Viện Khoa học tài nguyên nước - WRI: chungtb26tlu@gmail.com; phuongtran.monre@gmail.com; hangtd1001@gmail.com; namanh.luna@gmail.com; anht510@wru.vn

² National Institute of Hydraulic Resources of Cuba- INRH; siliennis.blanco@hidro.gob.cu

*Tác giả liên hệ: chungtb26tlu@gmail.com; Tel.: +84-337136556

Ban biên tập nhận bài: 5/8/2023; Ngày phản biện xong: 21/9/2023; Ngày đăng bài: 25/10/2023

Tóm tắt: Hiện nay sản phẩm mưa CHIRPS đang được sử dụng rộng rãi trong mô phỏng dòng chảy trên các lưu vực sông thiếu số liệu quan trắc. Tuy nhiên, để sử dụng các sản phẩm mưa này cho một lưu vực sông cụ thể, độ tin cậy và chính xác của chúng cần phải được đánh giá. Nghiên cứu đã so sánh mưa CHIRPS với mưa trạm để đánh giá độ tin cậy và sử dụng nó làm đầu vào cho mô hình SWAT mô phỏng quá trình dòng chảy trên lưu vực. Công cụ SWAT-CUP được sử dụng để thực hiện quá trình hiệu chỉnh mô hình tự động và tối ưu hóa các tham số mô hình. Kết quả nghiên cứu cho thấy lượng mưa trung bình tháng CHIRPS có tương quan ở mức chấp nhận được với lượng mưa tại các trạm (hệ số tương quan lớn hơn 0,6). Kết quả mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông La Plata sử dụng mưa CHIRPS làm đầu vào cho kết quả tương đối tốt ở giai đoạn hiệu chỉnh ($R^2 = 0,76$, $NSE = 0,66$ và $PBIAS = 23,18\%$) và chấp nhận được ở giai đoạn kiểm định ($R^2 = 0,63$, $NSE = 0,57$ và $PBIAS = 20,39\%$). Nghiên cứu này đã cho thấy tiềm năng to lớn của mưa CHIRPS trong mô phỏng quá trình dòng chảy trên các lưu vực sông thiếu/không có số liệu quan trắc.

Từ khoá: Dòng chảy; CHIRPS; SWAT Model; SWAT-CUP; Thiếu số liệu.

1. Giới thiệu

Mưa là một thành phần chính của chu trình thủy văn [1], là đầu vào chính cho các nghiên cứu thủy văn, nông nghiệp, biến đổi khí hậu và môi trường [2-3]. Tuy nhiên, dữ liệu mưa tại các trạm trong nhiều trường hợp không đảm bảo yêu cầu do nhiều nguyên nhân như trạm mưa phân bố không đều hoặc không có trạm đo mưa, không đủ bao phủ toàn bộ khu vực nghiên cứu, các trạm có lịch sử quan trắc ngắn, không đầy đủ dữ liệu đo hoặc có thể bị ảnh hưởng bởi yếu tố tác động bên ngoài [4]. Để bổ sung dữ liệu, các sản phẩm mưa vệ tinh toàn cầu nguồn mở đã và đang được sử dụng rộng rãi như là một giải pháp thay thế, bổ sung cho dữ liệu mưa trạm. Các sản phẩm này có lợi thế so với các trạm mặt đất về độ phân giải không gian và phạm vi bao phủ cũng như khả năng tiếp cận. Do đó nguồn dữ liệu mưa này sẽ là nguồn dữ liệu tiềm năng cho các khu vực có dữ liệu quan trắc thưa thớt hoặc không có dữ liệu [5]. Tuy nhiên, để đánh giá tính hiệu quả của chúng đối với một khu vực cụ thể, dữ liệu mưa vệ tinh cần phải được đánh giá về độ tin cậy so với dữ liệu mặt đất [6]. Hiện nay, các bộ dữ liệu lượng mưa dạng lưới trên thế giới tương đối phong phú được nhiều Cơ quan khác nhau phát triển như TRMM, GPM, GSMAP... Tuy nhiên, các sản phẩm mưa vệ tinh này có

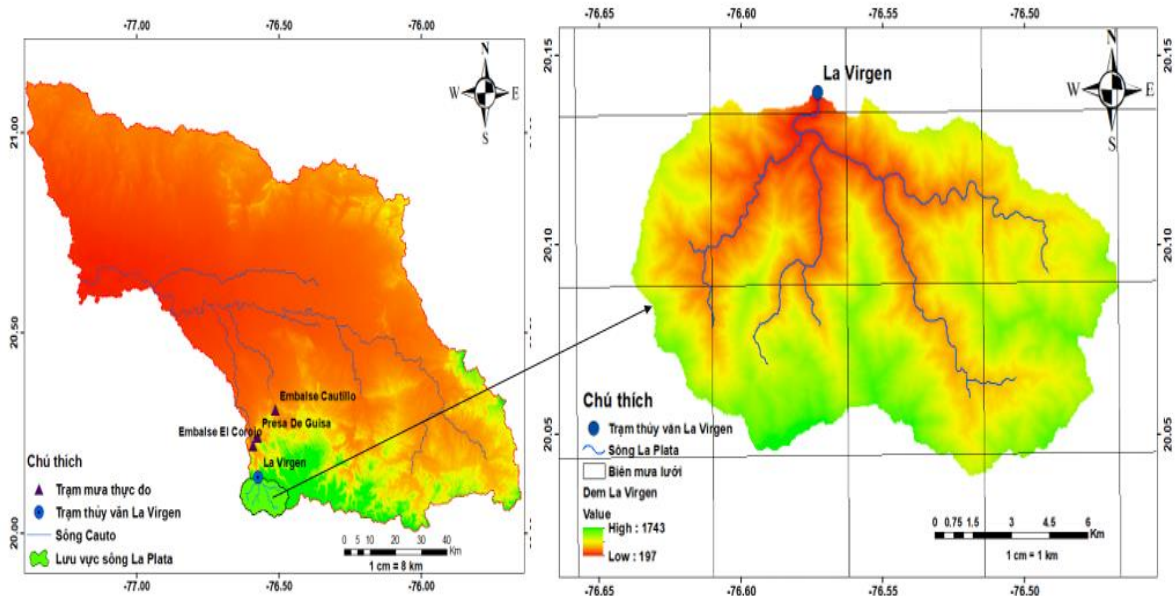
Tạp chí Khí tượng Thủy văn **2023**, 754, 59-70; doi:10.36335/VNJHM.2023(754).59-70 <http://tapchikttv.vn/>

độ phân giải không gian tương đối lớn, do đó khó phản ánh đầy đủ sự biến đổi không gian của lượng mưa đối với các khu vực tương đối nhỏ như khu vực nghiên cứu của bài báo này. Vì vậy, nghiên cứu đã lựa chọn sử dụng sản phẩm mưa được xác định từ dữ liệu vệ tinh hồng ngoại và đã được hiệu chỉnh với dữ liệu mưa trạm đo toàn cầu được cung cấp bởi các quốc gia (CHIRPS) được phát triển bởi trung tâm nghiên cứu về hiểm họa khí hậu thuộc Đại học California, Santa Barbara, Hoa Kỳ. Sản phẩm CHIRPS nổi bật với khả năng cung cấp dữ liệu mưa hàng ngày độ phân giải không gian tốt $0,05^\circ$ (trương đương kích thước ô lưới $5 \times 5 \text{ km}^2$) từ năm 1981 đến nay. Độ phân giải không gian cao cho phép CHIRPS phản ánh tốt biến động theo không gian của lượng mưa và tạo thuận lợi cho nghiên cứu quá trình thủy văn ở các lưu vực có quy mô nhỏ. Một số nghiên cứu trên thế giới đã đánh giá sản phẩm mưa CHIRPS cho kết quả tương đối tốt như Thổ Nhĩ Kỳ [7]; ở Síp [8], Argentina [9]... Các kết quả đánh giá chỉ ra rằng CHIRPS phù hợp và tương quan cao với số liệu mưa trạm. So với các sản phẩm mưa vệ tinh toàn cầu khác, mưa CHIRPS có độ chính xác tương đối cao, chuỗi số liệu dài và độ phân giải không gian lớn [10]. Ở trong nước, các nghiên cứu đánh giá sản phẩm mưa CHIRPS cũng đã được thực hiện. Chẳng hạn, nghiên cứu đánh giá chất lượng dữ liệu mưa CHIRPS tại khu vực tỉnh Ninh Thuận và Bình Thuận cho thấy CHIRPS phản ánh tương quan tốt với mưa trạm tại các trạm Tân Mỹ, Sông Lũy tuy nhiên độ sai lệch về giá trị vẫn tương đối lớn giữa 2 nguồn dữ liệu. Nghiên cứu khác đánh giá và so sánh các dữ liệu mưa vệ tinh độ phân giải cao trên lưu vực sông Cả đã chỉ ra rằng mưa CHIRPS thể hiện khá tốt phân bố mưa ở khu vực đồng bằng, duyên hải và thể hiện tốt phân bố mưa ở khu vực phía Tây và Tây Nam của khu vực miền núi [11–12].

Lưu vực được lựa chọn trong nghiên cứu này là lưu vực sông La Plata nằm trên khu vực núi cao tiếp ở miền nam Cuba với lượng mưa biến động theo không gian và thời gian tương đối lớn. Tuy nhiên, hiện trên lưu vực không có trạm đo mưa nào đang hoạt động, gây khó khăn cho việc tính toán mô phỏng quá trình dòng chảy trên lưu vực. Do đó, mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá khả năng sử dụng của mưa vệ tinh CHIRPS trong mô phỏng dòng chảy hàng ngày trên lưu vực. Để đạt được mục tiêu này, nghiên cứu tập trung vào 2 nội dung chính: (1) So sánh giá trị lượng mưa của sản phẩm CHIRPS với dữ liệu mưa trạm; (2) Đánh giá hiệu quả mưa CHIRPS trong mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông La Plata sử dụng mô hình SWAT và công cụ SWAT-CUP trong đó lưu lượng tính toán từ mô hình SWAT sẽ được so sánh với lưu lượng thực đo tại trạm thủy văn La Virgen. Đây là nghiên cứu đầu tiên đánh giá khả năng ứng dụng mưa lưới toàn cầu trong mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông La Plata. Đồng thời, việc sử dụng công cụ SWAT-CUP giúp tự động hóa quá trình hiệu chỉnh mô hình, tối ưu hóa sự phù hợp giữa dòng chảy thực đo và mô phỏng sử dụng số liệu mưa CHIRPS. Kết quả của nghiên cứu sẽ làm cơ sở cho việc sử dụng mưa vệ tinh trong đánh giá thủy văn, tài nguyên nước trên lưu vực sông La Plata nói riêng và cả Cuba nói chung, nơi mật độ các trạm đo mưa còn tương đối thưa thớt.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu sử dụng

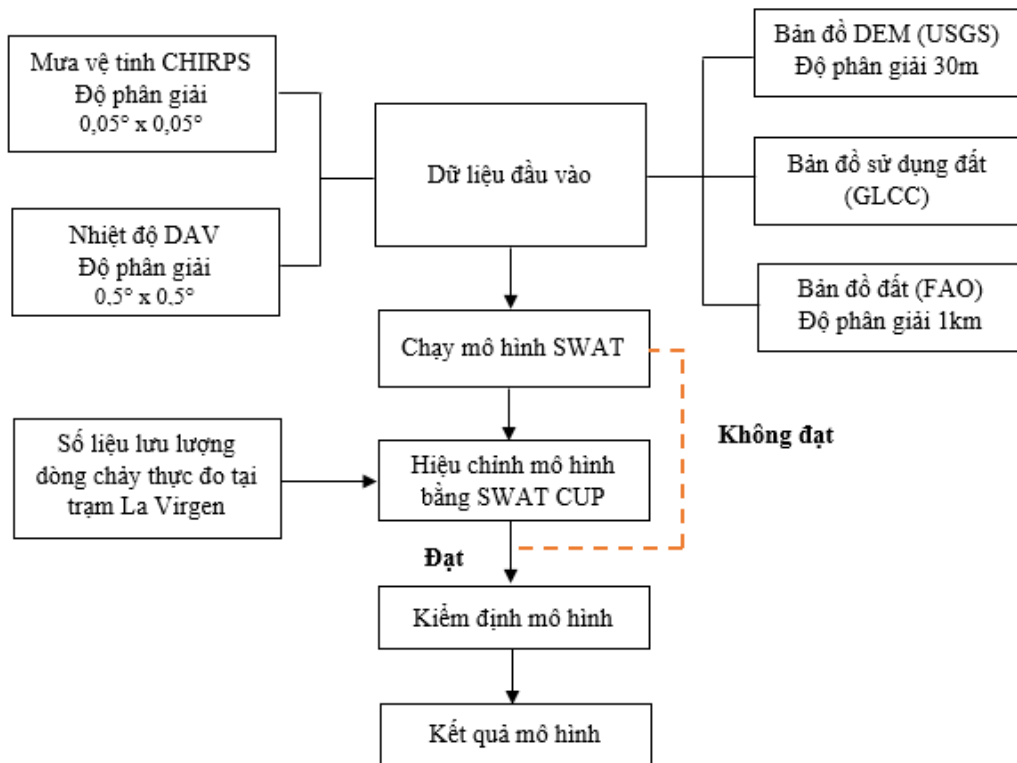
Sông La Plata bắt nguồn từ dãy núi Pico La Bayamesa chảy về sông Bayamo ở hạ lưu. Sông là nhánh cấp 1 của sông Bayamo, nhánh phụ cấp 2 sông Cauto. Vị trí địa lý từ $20,01^\circ$ đến $20,15^\circ$ vĩ độ Bắc và $76,45^\circ$ đến $76,65^\circ$ kinh độ Tây, phía bắc giáp Guisa, phía Nam gần biển Caribe có diện tích lưu vực $141,95 \text{ km}^2$ (Hình 1). Địa hình lưu vực tương đối cao với độ dốc lớn ($>10^\circ$). Khí hậu lưu vực là khí hậu nhiệt đới ẩm với lượng mưa trung bình hàng năm khoảng 1770 mm trong đó lượng mưa mùa mưa chiếm tới 70%. Nhiệt độ trung bình hàng năm trong khoảng từ 26 đến 30°C trong đó nhiệt độ cao nhất lên đến $36-40^\circ\text{C}$. Nguồn sinh thủy của lưu vực nằm ở dãy núi Pico La Bayamesa với lớp thảm phủ chủ yếu là rừng rậm, đất mùn là loại đất chủ yếu. Các đặc điểm về điều kiện tự nhiên và phân bố mưa này sẽ tác động trực tiếp đến chế độ dòng chảy lưu vực sông La Plata.



Hình 1. Phân bố các trạm khí tượng và thủy văn, điều kiện địa hình của lưu vực sông La Plata.

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này bài báo tập trung vào đánh giá chất lượng mưa vệ tinh CHIRPS qua so sánh với các trạm đo mưa có vị trí gần lưu vực nghiên cứu và sử dụng nó làm đầu vào cho mô hình SWAT mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông La Plata. Ngoài dữ liệu mưa CHIRPS, nghiên cứu cũng sử dụng các dữ liệu nguồn mở khác (nhiệt độ, địa hình, thảm phủ, loại đất) đưa vào sử dụng cho mô hình SWAT. Đồng thời, để hiệu chỉnh mô hình SWAT cho lưu vực sông La Plata, công cụ hiệu chỉnh tự động SWAT-CUP với thuật toán SU-FI 2 được áp dụng trong nghiên cứu (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ các bước đánh giá số liệu mưa CHIRPS trong mô phỏng dòng chảy sử dụng mô hình SWAT và công cụ SWAT-CUP.

2.2. Dữ liệu

2.2.1. Dữ liệu mưa thực đo

Dữ liệu mưa thực đo được cung cấp bởi Cơ quan quản lý tài nguyên nước quốc gia Cuba (*National Institute of Hydraulic Resources of Cuba- INRH*) tại các trạm Pr. Corojo, Pr. Guisa, Pr. Cautillo trong giai đoạn 2000-2020 (Bảng 1). Đây là các trạm đo mưa có vị trí gần lưu vực nghiên cứu nhất. Các trạm này sẽ được dùng để đánh giá dữ liệu mưa CHIRPS.

Bảng 1. Thông tin của các trạm khí tượng.

Trạm	Giai đoạn	Kinh độ	Vĩ độ	Độ cao (m)	Mưa trung bình năm (mm)
Pr. Corojo	2000 - 2020	-76°35'	20°13'	150	1775
Pr. Guisa	2000 - 2020	-76°34'	20°14'	95	1762
Pr. Cautillo	2000 - 2020	-76°30'	20°18'	130	1837

2.2.2. Dữ liệu mưa CHIRPS

Dữ liệu lượng mưa CHIRPS là bộ dữ liệu lượng mưa toàn cầu có từ năm 1981 đến nay. CHIRPS là sản phẩm kết hợp giữa dữ liệu từ trạm khí tượng quan sát theo thời gian thực với dữ liệu vệ tinh hồng ngoại để ước tính lượng mưa toàn cầu. Dữ liệu có độ phân giải không gian 0,05° cung cấp số liệu mưa hàng ngày. Bộ dữ liệu mở cho phép người dùng sử dụng tại địa chỉ <https://app.climateengine.org/climateEngine/>. Bài báo sử dụng bộ dữ liệu này trong giai đoạn từ 2000-2020 để phục vụ nghiên cứu.

2.2.3. Các chỉ số đánh giá độ tin cậy của số liệu mưa CHIRPS

Để đánh giá độ tin cậy của mưa vệ tinh CHIRPS, nghiên cứu áp dụng chỉ số thống kê: Trung bình bình phương quân phương (*RMSE*) mức độ sai khác trung bình giữa dữ liệu lượng mưa thực đo và vệ tinh; độ lệch tương đối (*BIAS*) và sai số trung bình (*ME*) đánh giá mức độ thiên lệch của dữ liệu lượng mưa thực đo và vệ tinh; hệ số tương quan (*CC*) đại diện cho mức độ tương quan của 2 dữ liệu. Bảng 2 trình bày biểu thức xác định các chỉ số này.

Bảng 2. Các chỉ số thống kê đánh giá sản phẩm CHIRPS.

Chỉ số thống kê	Đơn vị	Phương trình	Điểm hoàn hảo
Hệ số tương quan (CC)	-	$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}}$	1
Lỗi bình phương trung bình gốc (RMSE)	mm	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i)^2}$	0
Sai số trung bình (ME)	mm	$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i)$	0
Xu hướng tương đối (BIAS)	%	$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - G_i)}{\sum_{i=1}^n G_i}$	0

Trong đó G_i là lượng mưa thực đo, S_i là lượng mưa vệ tinh từ CHIRPS, \bar{G} là lượng mưa trung bình thực đo, \bar{S} là lượng mưa trung bình vệ tinh.

2.2.4. Mô hình thủy văn SWAT

SWAT là mô hình thủy văn phân phối phát triển bởi Trung tâm dịch vụ nghiên cứu nông nghiệp (*Agricultural Research Service*) thuộc Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (*United States*

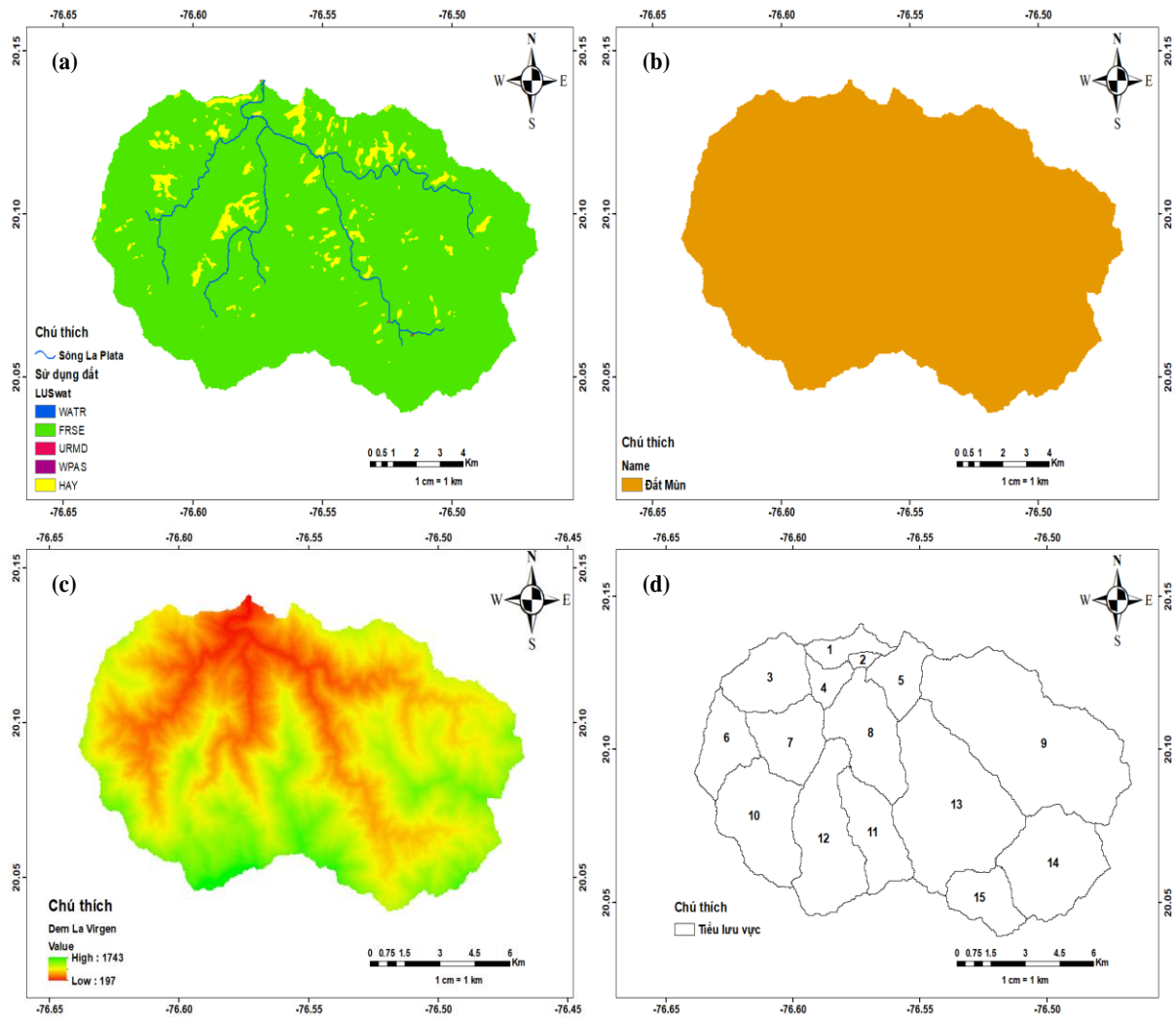
Department of Agriculture) và Đại học Texas A&M, Hoa Kỳ vào đầu những năm 1990 với mục đích dự báo những ảnh hưởng của công tác quản lý sử dụng đất đến chu trình thủy văn, quá trình bồi lắng và chất lượng nước do hoạt động nông nghiệp gây ra trên những lưu vực rộng lớn và phức tạp trong khoảng thời gian dài. Một trong những mô-đun chính của mô hình này là mô phỏng dòng chảy từ mưa.

2.2.5. Thiết lập mô hình SWAT

SWAT yêu cầu dữ liệu địa hình, sử dụng đất, mưa, nhiệt độ làm đầu vào để mô phỏng quá trình dòng chảy trên lưu vực. Các nguồn dữ liệu này được thu thập cụ thể như sau:

- Dữ liệu địa hình: Mô hình độ cao số (DEM) độ phân giải 30m × 30m Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (<https://srtm.csi.cgiar.org/>) phục vụ xác định lưu vực, độ dốc của các tiểu lưu vực sông, xây dựng mạng lưới sông.
- Dữ liệu thảm phủ: Được lấy từ Liên đoàn địa chất Mỹ (USGS) và được thống kê tại Bảng 4 và Hình 3a.
- Dữ liệu loại đất: Được lấy từ tổ chức nông lương Liên hợp quốc (FAO) và được thống kê ở Bảng 5 và Hình 3b.
- Dữ liệu nhiệt độ: POWER Data Access Viewer v2.0.0 của Cơ quan vũ trụ Mỹ (NASA).
- Dữ liệu lưu lượng dòng chảy để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình được cung cấp từ cơ quan tài nguyên nước Cuba (IRNH).

Mô tả chi tiết và nguồn của các dữ liệu được cung cấp trong Bảng 3.



Hình 3. Bản đồ sử dụng đất (3a), bản đồ loại đất (3b), bản đồ DEM (3c), bản đồ phân chia tiểu lưu vực (3d) lưu vực sông La Plata.

Bảng 3. Nguồn dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu.

Dữ liệu	Độ phân giải	Nguồn
DEM	Bản đồ phân giải 30 m	US Geological Survey (USGS) National Elevation Dataset
Bản đồ sử dụng đất	Cơ sở dữ liệu vectơ	USGS Global Land Cover Characterization (GLCC)
Bản đồ đất	Bản đồ có độ phân giải 1 km	FAO soil and land legacy maps
Dữ liệu nhiệt độ	Độ phân giải 0,5° × 0,5° (2018-2022)	POWER Data Access Viewer (DAV)
Lưu lượng dòng chảy	Trạm quan trắc La Virgen (thời gian ngày)	National Institute of Hydraulic Resources of Cuba - INRH

Bảng 4. Các loại hình sử dụng đất tại lưu vực sông La Plata.

STT	Loại hình sử dụng đất	Mã SWAT	Diện tích (ha)
1	Sông suối	WATR	7,2
2	Đất rừng xanh	FRSE	27.044,1
3	Đất đô thị dân cư trung bình	URMD	3,1
4	Đất đồng cỏ mùa đông	WPAS	0,2
5	Đất đồng cỏ	HAY	1336,3

Bảng 5. Các loại hình đất khu vực tại lưu vực sông La Plata.

Tên loại hình đất	Mã SWAT	Diện tích (ha)
Đất mùn	LOAM	28.390,8

2.2.6. Quy trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Mô hình SWAT được chạy với bộ dữ liệu lượng mưa CHIRPS để đánh giá khả năng sử dụng dữ liệu mưa CHIRPS phục vụ mô phỏng dòng chảy trên lưu vực thông qua quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Việc hiệu chỉnh mô hình được thực hiện tự động với công cụ SWAT-CUP sử dụng thuật toán SUFI2 [13–16]. SWAT-CUP cho phép hiệu chỉnh, kiểm định, phân tích độ nhạy và độ bất định của mô hình [17–20]. Trong SUFI-2, tất cả các nguồn bất định (chẳng hạn, bất định do cấu trúc mô hình, đầu vào và tham số) đều được gán cho tham số mô hình. Quá trình hiệu chỉnh được bắt đầu bằng việc xác định các khoảng giá trị khả thi của các tham số mô hình trong đó SUFI-2 giả định các tham số có phân bố đều trong các khoảng này. Quá trình dò tìm tham số tự động bằng thuật toán SUFI-2 được tiến hành bằng cách lặp nhiều lần để tìm giá trị tối ưu của các tham số. Việc phân tích độ nhạy trước khi hiệu chỉnh sẽ giúp giảm số lượng tham số và giảm thời gian tính toán [21–23]. Độ chính xác của kết quả mô phỏng được đánh giá bằng các chỉ số sau:

- Hệ số cân bằng tổng lượng (*PBIAS*) đo lường sai số tổng lượng của mô phỏng. Giá trị tối ưu của *PBIAS* là bằng không. Giá trị âm cho biết kết quả mô phỏng cao hơn số liệu thực đo. Ngược lại, giá trị dương cho thấy kết quả mô phỏng nhỏ hơn thực đo.

$$PBIAS = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n Q_{obs} - Q_{sim}}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}} \quad (1)$$

- Hệ số xác định (R^2): Hệ số xác định đánh giá mức độ tương quan của kết quả mô phỏng và số liệu thực đo. Giá trị này nằm trong khoảng từ 0 đến 1. Càng gần 1 thì mức độ tương quan giữa giá trị thực đo và mô phỏng càng cao.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})(Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Q_{obs} - \bar{Q}_{obs}} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n Q_{sim} - \bar{Q}_{sim}}} \quad (2)$$

- Chỉ số Nash- Sutcliffe (*NSE*): Đánh giá khả năng dự đoán của các mô hình. *NSE* xác định mức độ tương đối của phương sai sai số so với phương sai của dữ liệu quan trắc:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \tag{3}$$

Trong đó Q_{obs} là lưu lượng quan sát; Q_{sim} là lưu lượng mô phỏng; n là số lượng giá trị; \bar{Q}_{obs} và \bar{Q}_{sim} biểu thị các giá trị trung bình của dữ liệu thực đo và mô phỏng tương ứng. Bảng 6 dưới đây xác định mức độ phù hợp của kết quả mô phỏng so với số liệu thực đo theo giá trị của các chỉ số thống kê [24].

Bảng 6. Chỉ tiêu thống kê đánh giá khả năng của mô hình thủy văn [24].

Xếp hạng	NSE & R ²	PBIAS
Rất tốt	0,75 < NSE & R ² ≤ 1,00	PBIAS < 10
Tốt	0,65 < NSE & R ² ≤ 0,75	10 ≤ PBIAS < 15
Đạt yêu cầu	0,5 < NSE & R ² ≤ 0,65	15 ≤ PBIAS < 25
Không đạt yêu cầu	NSE & R ² ≤ 0,5	PBIAS ≥ 25

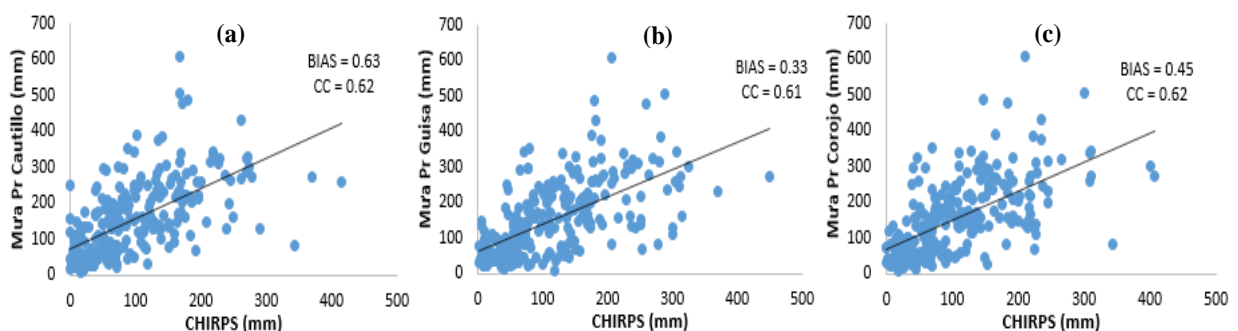
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả so sánh dữ liệu mưa CHIRPS với mưa thực đo

Dữ liệu mưa CHIRPS ngày được sử dụng để tính toán lượng mưa tháng. Sau đó lượng mưa tháng CHIRPS sẽ được so sánh với dữ liệu mưa tháng ở 3 trạm có vị trí gần lưu vực nghiên cứu. Các chỉ số thống kê CC, RMSE, ME, BIAS được tính toán và trình bày ở Bảng 7 và Hình 4. Kết quả so sánh cho thấy dữ liệu mưa CHIRPS tương quan ở mức chấp nhận được với dữ liệu mưa trạm với hệ số tương quan tại các trạm đều đạt trên 0,6. Tuy nhiên có sự sai khác tương đối lớn về giá trị lượng mưa giữa 2 nguồn dữ liệu. Chỉ số RMSE dao động trong khoảng từ 94 đến 102,9 mm trong khi chỉ số BIAS dao động trong khoảng từ 0,33 đến 0,63 trong đó dữ liệu tại trạm Guisa phù hợp tốt nhất với dữ liệu CHIRPS với chỉ RMSE và BIAS nhỏ nhất. Nguyên nhân của sự sai khác giữa 2 nguồn dữ liệu này có thể do mức độ đại diện về không gian của từng nguồn dữ liệu mưa. Trong khi dữ liệu mưa trạm đo đại diện cho khu vực xung quanh trạm đo mưa đó, dữ liệu mưa CHIRPS cung cấp thông tin mưa với độ phân giải 0,5°. Đồng thời, một nguyên nhân khác có thể kể đến là do sai số đo đạc của cả dữ liệu mưa trạm và mưa vệ tinh đặc biệt trong điều kiện vùng núi địa hình bị chia cắt và thảm phủ là rừng rậm.

Bảng 7. Các chỉ số thống kê sản phẩm lượng mưa CHIRPS so với trạm thực đo.

Trạm	Pr. Corojo				Pr. Guisa				Pr. Cautillo			
	CC	RMSE	ME	BIAS	CC	RMSE	ME	BIAS	CC	RMSE	ME	BIAS
CHIRPS	0,62	97	47,8	0,45	0,61	94	38,5	0,33	0,62	102,9	59,4	0,63



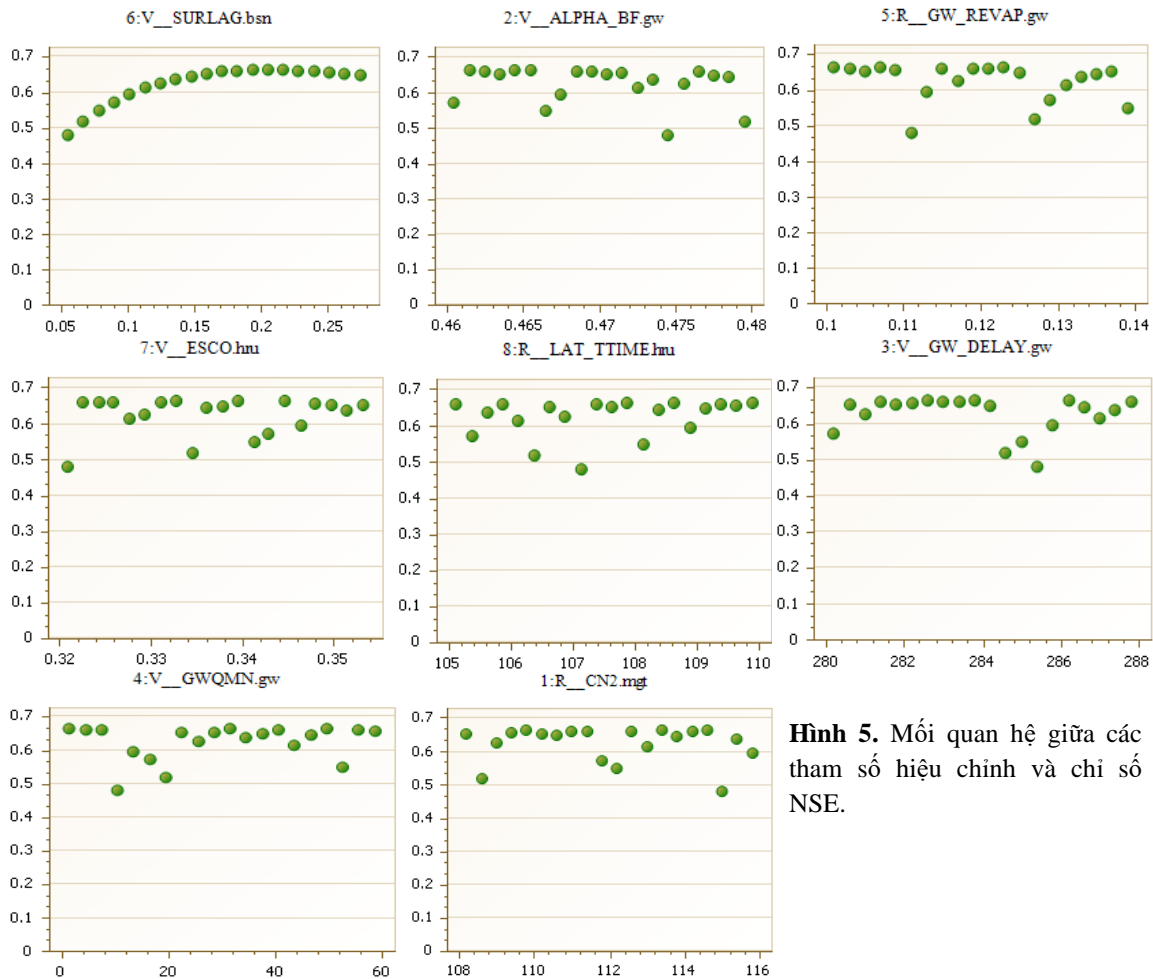
Hình 4. So sánh dữ liệu mưa tháng CHIRPS trên lưu vực và mưa tại trạm: (4a) trạm Pr Cautillo, (4b) trạm Pr Guisa, (4c) trạm Pr Corojo giai đoạn 2000-2020.

3.2. Kết quả mô phỏng dòng chảy

3.2.1. Phân tích độ nhạy và hiệu chỉnh mô hình

Chuỗi số liệu về lưu lượng dòng chảy thu thập từ trạm thủy văn La Virgen trên sông La Plata được chia làm 2 giai đoạn: chuỗi số liệu hiệu chỉnh được lấy trong thời gian ngày từ 01/02/2020 đến 30/04/2020 và thời gian kiểm định từ 01/04/2022 đến 30/04/2022.

SWAT là mô hình phân bố phụ thuộc vào thay đổi của các biến khác nhau theo không gian và thời gian. Việc phân tích độ nhạy rất quan trọng để xác định được các thông số nhạy nhất, ảnh hưởng đến chế độ thủy văn, dòng chảy lưu vực sông La Plata. Điều này giúp việc hiệu chỉnh mô hình nhanh hơn khi tập trung vào các thông số độ nhạy cao. Kết quả xác định độ nhạy được thể hiện ở Bảng 8. Có tổng cộng 8 tham số được đánh giá độ nhạy với mô hình. Độ nhạy của tham số được đánh giá thông qua sự thay đổi của các chỉ số thống kê T-stat và P-Value. T-stat đánh giá mức độ nhạy, giá trị tuyệt đối của T-stat càng cao thì thông số càng nhạy. P-Value xác định ý nghĩa của độ nhạy, P-Value càng gần 0, thông số càng quan trọng. Kết quả phân tích cho thấy thông số V_SURLAG (thời gian trễ của dòng chảy bề mặt) và v_ALPHA BF (Hệ số alpha dòng cơ sở) là 2 thông số nhạy nhất quyết định đến kết quả mô phỏng dòng chảy của mô hình.



Hình 5. Mối quan hệ giữa các tham số hiệu chỉnh và chỉ số NSE.

Bảng 8. Giá trị tối ưu hóa của từng tham số hiệu chỉnh.

Độ nhạy	Tên thông số	T-stat	P-Value	Khoảng giá trị mặc định		Khoảng giá trị tối ưu		Giá trị tối ưu
				Max	Min	Max	Min	
1	V_SURLAG	4,82	0	24	0,05	0,28	0,05	0,2
2	V_ALPHA_BF	-1,42	0,18	1	0	0,48	0,46	74,26
3	R_GW_REVAP	1,143	0,277	0,2	0,02	0,14	0,1	0,107

Độ nhạy	Tên thông số	T-stat	P-Value	Khoảng giá trị mặc định		Khoảng giá trị tối ưu		Giá trị tối ưu
				Max	Min	Max	Min	
4	V_ESCO	-0,433	0,673	1	0	0,354	0,32	0,344
5	R_LATTIME	-0,283	0,783	180	0	110	105	107,87
6	V_GW_DELAY	0,267	0,794	500	0	288	280	286,2
7	V_GWQMN	0,15	0,883	5000	0	60	0	49,5
8	R_CN2	0,148	0,885	120	35	116	108	109,8

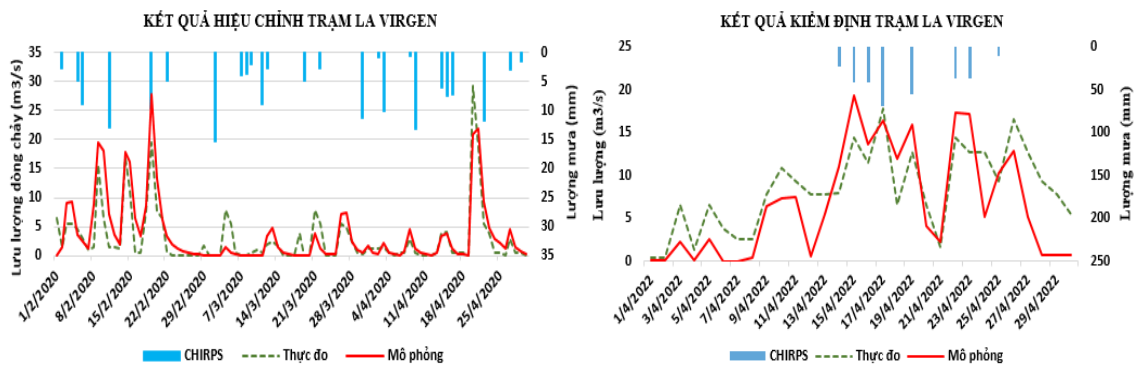
Hình 5 thể hiện diễn biến chỉ số NSE với các giá trị khác nhau của các tham số mô hình. Sau khi quá trình chạy lập mô hình SWAT với thuật toán SUFI-2, khoảng giá trị tốt nhất của thông số là khoảng giá trị cho chỉ số NSE cao nhất. Hình 5 cho thấy giá trị NSE cao nhất đạt 0,66 sau khi kết thúc hiệu chỉnh. Bộ giá trị tối ưu của các tham số sau khi hiệu chỉnh (Bảng 8) sẽ được sử dụng cho giai đoạn kiểm định mô hình.

3.2.2. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

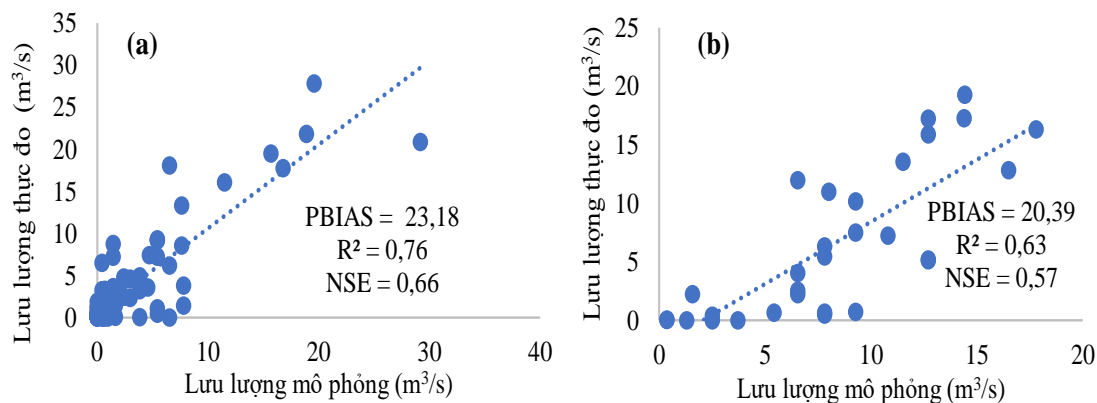
Kết quả hiệu chỉnh kiểm định được trình bày ở Bảng 9, hình 6 và hình 7. Kết quả cho thấy có sự phù hợp tương đối tốt giữa dòng chảy thực đo và mô phỏng. Theo tiêu chí đánh giá chất lượng mô hình trình bày ở Bảng 6, ở giai đoạn hiệu chỉnh, mô hình cho kết quả ở mức độ tốt với $R^2 = 0,76$, $NSE = 0,66$ và $PBIAS = 23,18\%$. Ở bước kiểm định, mô hình ở mức độ đạt yêu cầu với $R^2 = 0,63$, $NSE = 0,57$ và $PBIAS = 20,39\%$.

Bảng 9. Đánh giá kết quả mô phỏng dòng chảy giai đoạn hiệu chỉnh, kiểm định.

Giai đoạn	Giá trị		
	R^2	NSE	PBIAS
Hiệu chỉnh (01/02/2020 - 30/04/2020)	0,76	0,66	23,18%
Kiểm định (01/04/2022 - 30/04/2022)	0,63	0,57	20,39%



Hình 6. Đường quá trình lưu lượng thực đo và mô phỏng từ mô hình SWAT tại trạm La Virgen giai đoạn hiệu chỉnh (01/02/2020 - 30/04/2020) và kiểm định (01/04/2022 - 30/04/2022).



Hình 7. Biểu đồ so sánh lưu lượng thực đo và mô phỏng giai đoạn hiệu chỉnh (a) và kiểm định (b).

3.2.3. Các thành phần cân bằng nước

Ưu điểm của mô hình SWAT có khả năng tính toán và cung cấp thông tin các thành phần trong cân bằng nước lưu vực đến từng đơn vị thủy văn HRU, các tiểu lưu vực cũng như toàn bộ lưu vực. Giá trị mô phỏng các thành phần cân bằng nước trong năm 2020 thể hiện qua Bảng 10 dưới đây. Kết quả tính toán cho thấy tỷ lệ dòng chảy so với lượng mưa trung bình đạt 77%. Tỷ lệ bốc thoát hơi thực tế so với lượng mưa là (32%) cho thấy khả năng giữ nước tốt của lớp thực phủ trên bề mặt lưu vực do vùng lưu vực nghiên cứu có lớp phủ thực vật chủ yếu là rừng rậm.

Bảng 10. Giá trị mô phỏng cân bằng nước năm 2020 lưu vực sông La Plata.

	Giá trị	Tỉ lệ so với lượng mưa
Lượng mưa (mm)	2506	100,0
Bốc thoát hơi thực tế	793,5	31,7
Dòng chảy mặt	1317,5	68,3
Dòng chảy hồi quy	218,02	8,7
Tổng lượng dòng chảy	1929	77,0

4. Kết luận

Bài báo này trình bày kết quả đánh giá khả năng sử dụng lượng mưa nguồn mở CHIRPS trong mô phỏng dòng chảy tại một lưu vực sông thiếu số liệu ở Cuba. Kết quả tính toán cho thấy có sự tương quan ở mức chấp nhận được giữa dữ liệu mưa CHIRPS và mưa trạm đo tuy nhiên vẫn còn khác biệt tương đối lớn giữa 2 nguồn này. Nguyên nhân này là do sai số đo đạc của cả 2 nguồn dữ liệu và do sự khác nhau ở phạm vi đo đạc của chúng. Nghiên cứu cũng dùng số liệu mưa CHIRPS làm đầu vào cho mô hình SWAT để mô phỏng dòng chảy trên lưu vực. Kết quả mô phỏng cho thấy trong giai đoạn hiệu chỉnh, mô hình có chất lượng mô phỏng đạt mức tốt trong khi ở giai đoạn kiểm định, chất lượng mô phỏng ở mức chấp nhận được. Số liệu và thời gian mô phỏng của nghiên cứu này vẫn còn hạn chế chỉ mô phỏng được khoảng thời gian ngắn trong năm chưa phản ánh hết được những thay đổi của dòng chảy trên lưu vực. Đồng thời, do thiếu số liệu mưa ngày tại các trạm nên nghiên cứu chưa hiệu chỉnh số liệu mưa CHIRPS theo số liệu mưa trạm để nâng cao độ chính xác của mưa CHIRPS. Để cải thiện chất lượng mô phỏng, hướng nghiên cứu tiếp theo là sử dụng tổ hợp dữ liệu mưa vệ tinh và mưa trạm đo để xây dựng bộ dữ liệu mưa tốt hơn cho lưu vực sông La Plata nhằm cải thiện hơn nữa chất lượng mô phỏng của mô hình.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu T.B.C., T.A.P.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.B.C., T.A.P.; Xử lý số liệu và tính toán: T.B.C., H.T.A., S.B.C.; Viết bản thảo bài báo: T.B.C., T.A.P., N.N.A., T.T.D.H.; Chỉnh sửa bài báo: T.B.C., T.A.P.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được thực hiện với sự hỗ trợ của Dự án khoa học và công nghệ theo Nghị định thư với Cuba “Nghiên cứu hiện trạng nguồn nước mặt và dự báo xâm nhập mặn tại lưu vực sông Cauto làm cơ sở đề xuất các giải pháp tăng cường sản xuất lúa gạo và cải thiện cấp nước cho người dân” Mã số: NĐT.100.CU/21. Nhóm nghiên cứu xin gửi lời cảm ơn đến sự giúp đỡ, hỗ trợ của Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam (Ministry of Science & Technology - MOST) và Cơ quan quản lý tài nguyên nước quốc gia Cuba (National Institute of Hydraulic Resources of Cuba- INRH) để nhóm hoàn thành nghiên cứu.

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. Luo, X.; Wu, W.; He, D. et al. Hydrological Simulation Using TRMM and CHIRPS Precipitation Estimates in the Lower Lancang-Mekong River Basin. *Chin. Geogr. Sci.* **2019**, 29, 13–25.
2. Gao, F.; Zhang, Y.; Chen, Q.; Wang, P.; Yang, H.; Yao, Y.; Cai, W. Comparison of two long-term and high-resolution satellite precipitation datasets in Xinjiang, China. *Atmos. Res.* **2018**, 212, 150–157.
3. Macharia, J.M.; Ngetich, F.K.; Shisanya, C.A. Comparison of satellite remote sensing derived precipitation estimates and observed data in Kenya. *Agric. For. Meteorol.* **2020**, 284, 107–875.
4. Alsallal, S.T.; Leong, M.; Sâmt, N.; Al-Bakri, Jawad, T.; Longhui, L. Evaluation of CHIRPS and CFSR precipitation products over the Mujib Basin, Jordan. *Geografia-Malaysian J. Soc. Space* **2023**, 19(2), 1–20.
5. Meng, J.; Hao, Z.; Wang, J.; Shao, Q. Suitability of TRMM satellite rainfall in driving a distributed hydrological model in the source region of Yellow River. *J. Hydrol.* **2014**, 509, 320–332.
6. Mantas, C.J.; Castellano, J.G.; Moral-García, S.; Abellán, J. A comparison of random forest based algorithms: random credal random forest versus oblique random forest. *Soft Computing* **2019**, 23, 10739–10754.
7. Aksu, H.; Akgül, M.A. Performance evaluation of CHIRPS satellite precipitation estimates over Turkey. *Theor. Appl. Climatol.* **2020**, 142(1-2), 71–84.
8. Rivera, J.A.; Marianetti, G.; Sofía Hinrichs, S. Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. *Atmos. Res.* **2018**, 213, 437–449.
9. Aadhar, S.; Mishra, V. High-resolution near real-time drought monitoring in South Asia. *Scie. Data* **2017**, 4(1), 1–14.
10. Guo, J.; Su, X. Parameter sensitivity analysis of SWAT model for streamflow simulation with multisource precipitation datasets. *Hydrol. Res.* **2019**, 50(3), 861–877.
11. Thảo, N.H.P. Đánh giá chất lượng dữ liệu mưa CHIRPS tại khu vực tỉnh Ninh Thuận và Bình Thuận, Tuyển tập Hội nghị khoa học thường niên năm 2019, tr. 724–726.
12. Hải, B.T.; Tuấn, N.V. Nghiên cứu đánh giá và so sánh các dữ liệu mưa vệ tinh độ phân giải cao lưu vực sông Cả. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 695, 17–28.
13. Abbaspour, K.C. et al. SWAT - CUP2: SWAT calibration and uncertainty programs manual version 2. Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Eawag. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland, 2011, pp. 106.
14. Lu, Z.; Zou, S.; Xiao, H.; Zheng, C.; Yin, Z.; Wang, W. Comprehensive Hydrologic Calibration of SWAT and Water Balance Analysis in Mountainous Watersheds in Northwest China. *Phys. Chem. Earth* **2019**, 79–82, 76–85.
15. Abbaspour, K.C.; Yang, J.; Maximov, I.; Siber, R.; Bogner, K.; Mieleitner, J.; Zobrist, J.; Srinivasan, R. Modelling Hydrology and Water Quality in the Pre-Alpine/Alpine Thur Watershed Using SWAT. *J. Hydrol.* **2007**, 333, 413–430.
16. Nesru, M.; Shetty, A.; Nagaraj, M.K. Multi-Variable Calibration of Hydrological Model in the Upper Omo-Gibe Basin, Ethiopia. *Acta Geophys.* **2020**, 68, 537–551.
17. Chen, L.; Chen, S.; Li, S.; Shen, Z. Temporal and spatial scaling effects of parameter sensitivity in relation to non-point source pollution simulation. *J. Hydrol.* **2019**, 571, 36–49.
18. Razavi, S.; Gupta, H.V. A new framework for comprehensive, robust, and efficient global sensitivity analysis: 1. Theory. *Water Resour. Res.* **2016**, 52, 423–439.
19. Razavi, S.; Gupta, H.V. A new framework for comprehensive, robust, and efficient global sensitivity analysis: 2. Application. *Water Resour. Res.* **2016**, 52, 440–455.

20. Khorashadi, Z.F.; Nossent, J.; Sarrazin, F.; Pianosi, F.; van Griensven, A.; Wagener, T.; Bauwens, W. Comparison of variance-based and moment-independent global sensitivity analysis approaches by application to the SWAT model. *Environ. Model. Softw.* **2017**, *91*, 210–222.
21. Abbaspour, K.C. SWAT-CUP SWAT calibration and uncertainty programs-a user manual; SWAT-CUP Calibration: Ho Chi Minh, Vietnam, 2015.
22. Abbaspour, K.C.; Johnson, C.A.; Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. *Vadose Zone J.* **2004**, *1352*, 1340–1352.
23. Abbaspour, K.C.; Yang, J.; Maximov, I.; Siber, R.; Bogner, K.; Mieleitner, J.; Zobrist, J.; Srinivasan, R. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *J. Hydrol.* **2007**, *333*, 413–430.
24. Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Van Liew, M.W.; Bingner, R.L.; Harem, R.D.; Veith, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE* **2007**, *50*, 850–900.

Using high-resolution satellite rain data in flow simulation for a data - Scarce river basin

Chung Bao Tran^{1*}, Anh Phuong Tran¹, Hang Thi Dieu Tran¹, Nam Anh Nguyen¹, An Thi Hoang¹, Siliennis Blanco Campbell²

¹ Water Resources Institute, Ministry of Natural Resources and Environment - WRI, Vietnam; chungtb26tlu@gmail.com; phuongtran.monre@gmail.com; hangtd1001@gmail.com; namanh.luna@gmail.com; anht510@wru.vn

² National Institute of Hydraulic Resources of Cuba- INRH, Cuba; siliennis.blanco@hidro.gob.cu

Abstract: Currently, the CHIRPS precipitation product has been widely used in hydrological modelling on data-scarce river basins. However, in order to use this product for a specific region, its reliability and accuracy is needed to evaluate. This study compared the CHIRPS product with gauged precipitation to evaluate its reliability and then use it as precipitation input for the SWAT model to simulate flow in the La Plata river basin, Cuba. The SWAT-CUP tool is used to perform automatic model calibration and optimization of model parameters. Obtained results show that the monthly CHIRPS has an acceptable correlation with the gauged precipitation ($CC \geq 0.6$). Simulation results of flow at the La Plata river basin is relatively good in the calibration period ($R^2 = 0.76$, $NSE = 0.66$ and $PBIAS = 23.18\%$) and acceptable in the validation period ($R^2 = 0.63$, $NSE = 0.57$, and $PBIAS = 20.39\%$). This study shows the potential of the CHIRPS precipitation product to simulate flow at the river basins lack of gauged observations.

Keywords: Flow; CHIRPS; SWAT Model; data-scarce river basin.

Bài báo khoa học

Đa dạng thực vật ngập mặn và ảnh hưởng của nước biển dâng đến thực vật ngập mặn ở huyện Thạnh Phú và huyện Bình Đại, tỉnh Bến Tre

Trần Quốc Cường^{1*}, Dương Hồng Sơn², Lê Xuân Tuấn³

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội; tqcuong@hunre.edu.vn

² Viện Tài nguyên nước, Bộ Tài nguyên và Môi trường; dhson.monre@gmail.com

³ Khoa Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; tuan.mangrove@gmail.com

*Tác giả liên hệ: tqcuong@hunre.edu.vn; Tel.: +84-949018686

Ban Biên tập nhận bài: 5/8/2023; Ngày phản biện xong: 23/9/2023; Ngày đăng bài: 25/10/2023

Tóm tắt: Nghiên cứu được thực hiện nhằm xác định đa dạng sinh học loài và đánh giá một số chỉ số đa dạng sinh học thực vật ngập mặn huyện Thạnh Phú và Bình Đại, tỉnh Bến Tre. Kết quả ghi nhận 43 loài cây ngập mặn thuộc 22 họ, trong đó 23 loài thực vật ngập mặn thực thụ ở Thạnh Phú, 17 loài cây ngập mặn thực thụ ở Bình Đại và 20 loài cây ngập mặn tham gia. Khu vực nghiên cứu có 5 nhóm dạng sống được xác định là thân cỏ, cây bụi, dây leo, gỗ nhỏ, gỗ lớn. Định lượng chỉ số đa dạng sinh học chỉ ra tính đa dạng thực vật rừng ngập mặn khu vực nghiên cứu biến động với chỉ số H' từ 0,51 đến 1,26. Bên cạnh đó, ảnh hưởng của nước biển dâng đến thực vật ngập mặn cũng được thảo luận. Kết quả nghiên cứu là cơ sở dữ liệu khoa học quan trọng để xuất giải pháp quản lý, bảo tồn và phát triển hợp lý hệ sinh thái rừng ngập mặn ở khu vực nghiên cứu.

Từ khóa: Thực vật ngập mặn; Chỉ số đa dạng sinh học; Thạnh Phú; Bình Đại.

1. Mở đầu

Rừng ngập mặn có vai trò quan trọng trong việc bảo vệ môi trường, là “lá phổi xanh” hấp thụ khí CO₂ ứng phó với ảnh hưởng bất lợi của biến đổi khí hậu, nóng lên toàn cầu như hiện nay. Hệ sinh thái rừng ngập mặn còn là nơi bảo tồn đa dạng sinh học, có năng suất sinh học cao, nơi cung cấp thức ăn, nơi cư trú, sinh trưởng và phát triển của nhiều loài động thực vật [1–4]. Nghiên cứu, đánh giá vai trò đa dạng của thực vật ngập mặn, ảnh hưởng của nước biển dâng đến thực vật rừng ngập mặn cũng được các tác giả trong và ngoài nước thực hiện, kết quả cho thấy nước biển dâng ảnh hưởng đến phân bố của các loài cây ngập mặn [5–6]. Thảm thực vật ngập mặn có vai trò là “bức tường xanh”, hạn chế thiệt hại gió bão, phòng chống xói lở bờ biển, cố định đất bãi bồi, mở rộng sản xuất, giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

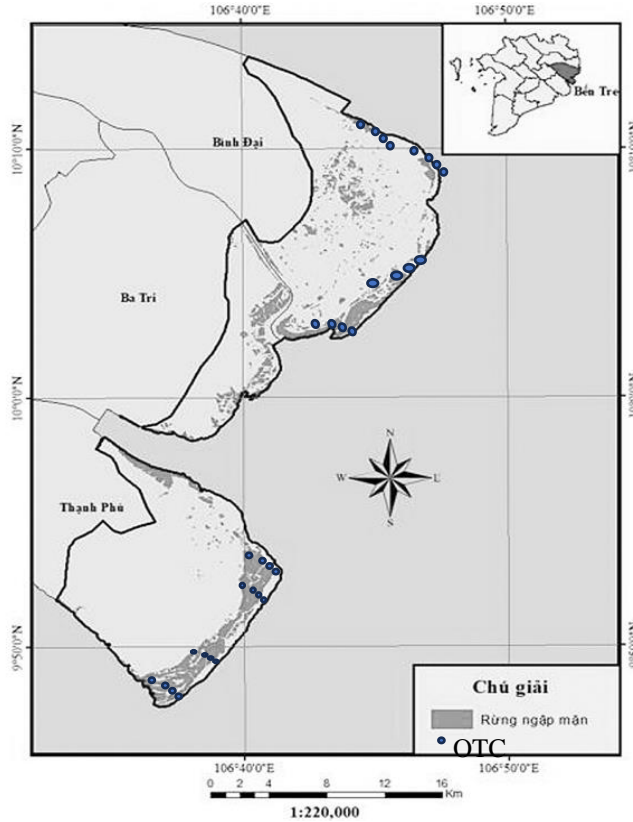
Rừng ngập mặn tỉnh Bến Tre có chiều rộng đai rừng trung bình từ 50 đến 2000 m và chủ yếu tập trung 3 huyện ven biển (Ba Tri, Bình Đại và Thạnh Phú). Vùng rừng ngập mặn huyện Thạnh Phú và Bình Đại, tỉnh Bến Tre có diện tích khoảng hơn 3 ngàn ha, trong đó huyện Thạnh Phú có diện tích đất có rừng là 1.981 ha, huyện Bình Đại có 1.385ha [7]. Hệ sinh thái rừng ngập mặn nơi đây có vai trò quan trọng trong việc bảo vệ môi trường, nơi ương nuôi nhiều loài hải sản có giá trị như nghêu, sò, ba khía, tôm... và gắn liền với sinh kế của người dân ven biển nhờ các dịch vụ hệ sinh thái rừng ngập mặn mang lại. Tuy nhiên, vùng rừng ngập mặn nơi đây có xu hướng suy giảm do tác động của tự nhiên và con người. Hiện nghiên cứu liên quan đến đa dạng thực vật ngập mặn khu vực huyện Bình Đại và Thạnh Phú chưa

hiều. hầu hết các nghiên cứu tập trung vào cấu trúc thảm thực vật ngập mặn ở Thạnh Phú với các quần xã *Rhizophora apiculata*, *R. mucronata*, *Sonneratia caseolaris*, *Avicenia allba* và *S. caseolaris* [8]. Hơn nữa, số liệu về đa dạng sinh học, đa dạng về thành phần loài cây ngập mặn thực thụ và loài cây tham gia còn chưa đầy đủ, do đó nghiên cứu này tập trung vào đa dạng thành phần loài cây ngập mặn, đa dạng cấu trúc. Kết quả nghiên cứu góp phần vào công tác quản trác, quản lý, bảo vệ rừng ngập mặn vùng ven biển, bảo vệ môi trường và ứng phó với biến đổi khí hậu.

2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện trong 3 đợt khảo sát vào tháng 8 năm 2018, tháng 7 năm 2020 và tháng 8 năm 2023. Tại vùng rừng ngập mặn Bình Đại và Thạnh Phú thiết kế ngẫu nhiên mỗi khu vực 4 mặt cắt, mỗi mặt cắt có chiều rộng 20m qua quần xã thực vật ngập mặn đặc trưng, mỗi mặt cắt thiết lập từ 3-4 ô tiêu chuẩn (OTC) tùy theo điều kiện thực tế, mỗi OTC có kích thước 10mx10m tại các vị trí đại diện (Hình 1). Kết hợp điều tra theo tuyến và điều tra theo OTC để thu thập các số liệu về thành phần loài, mật độ các loài thực vật ngập mặn.

Tên loài thực vật ngập mặn và dạng sống được xác định trực tiếp ngoài thực địa và sử dụng tài liệu tham khảo [4, 9–15]. Trong nghiên cứu, thực vật rừng ngập mặn được phân thành thực vật ngập mặn thực thụ, cây ngập mặn chủ yếu và thực vật tham gia rừng ngập mặn.



Hình 1. Sơ đồ vị trí mặt cắt và OTC nghiên cứu điều tra.

Chỉ số Shannon-Wiener (H'), Simpson ($1-\lambda'$) [16], được xác định qua phân tích số liệu và sử dụng phần mềm PAST Diversity để tính các chỉ số đa dạng sinh học. Chỉ số đa dạng (H') là phép thống kê có sự tổ hợp của cả 2 yếu tố là thành phần số lượng loài và khả năng xuất hiện của các cá thể trong mỗi loài. Chỉ số H' không phải chỉ phụ thuộc vào thành phần số lượng loài mà cả số lượng cá thể và xác suất xuất hiện của các cá thể trong mỗi loài. Chỉ số H' được tính toán bằng công thức:

$$H' = -\sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right) \tag{1}$$

Trong đó H' là chỉ số đa dạng loài hay chỉ số Shannon-Wiener; n_i là số lượng cá thể của loài thứ i và N là tổng số số lượng cá thể của tất cả các loài tại vị trí nghiên cứu và s là số lượng các loài.

Chỉ số đa dạng loài Simpson (D): là một chỉ số tính độ tập trung hay tính ưu thế của quần xã. Trong trường hợp này, một vài loài quý hiếm hoặc chỉ có một vài loài đại diện sẽ không ảnh hưởng đến sự đa dạng.

Trong chỉ số Simpson, p là tỷ lệ (n/N) của các cá thể trong một loài tìm thấy (n) chia cho tổng số cá thể tìm thấy (N), Σ vẫn là tổng tính toán, và s là số loài.

$$D = \sum_{i=1}^s \frac{n_i (n_i - 1)}{N_i (N_i - 1)} \tag{2}$$

Trong đó D là chỉ số đa dạng Simpson ($0 < D < 1$); n_i là số lượng cá thể của loài thứ i trong mỗi ô tiêu chuẩn; N_i là tổng số cá thể của ô tiêu chuẩn.

Khi D càng gần 0 thì mức độ đa dạng về loài và mức độ đồng đều về số lượng cá thể trong mỗi loài càng cao.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Thành phần loài và mật độ cá thể thực vật ngập mặn

Tại khu vực nghiên cứu, xác định được 43 loài cây ngập mặn thuộc 22 họ, trong đó họ Đước chiếm nhiều nhất với 5 loài chủ yếu (Bảng 1). Trong số đó, có 23 loài cây ngập mặn thực thụ thuộc 11 họ và 20 loài cây tham gia ngập mặn. Tại vùng rừng ngập mặn huyện Bình Đại xác định được 17 loài cây thực vật ngập mặn, ít hơn so với khu vực rừng ngập mặn Thạnh Phú 5 loài. Số loài cây tham gia rừng ngập mặn ở khu vực Thạnh Phú là 20 loài, nhiều hơn số loài cây tham gia rừng ngập mặn ở huyện Bình Đại. Số loài cây ngập mặn ở Thạnh Phú trong nghiên cứu có khác về số lượng so với nghiên cứu công bố năm 2020 và 2022 của [17–18] công bố 14 loài cây ngập mặn thực thụ và 9 loài tham gia rừng ngập mặn và [19] công bố 21 loài ngập mặn và 27 loài tham gia.

Bảng 1. Danh lục thực vật rừng ngập mặn khu vực nghiên cứu.

TT	Tên Việt Nam	Tên khoa học	Thạnh Phú	Bình Đại	Dạng sống
Những loài ngập mặn thực thụ					
	(1) Họ Ô rô	Acanthaceae			
1	Ô rô trắng	<i>Acanthus ebracteatus</i> Vhal	x	x	B
2	Ô rô	<i>Acanthus ilicifolius</i> L.	x	x	B
	(2) Họ Rau dấp	Aizoaceae			
3	Sam biển	<i>Sesuvium portulacastrum</i> (L.) L.	x	x	C
	(3) Họ Mắm	Avicenniaceae			
4	Mắm trắng	<i>Avicennia alba</i> Blume	x	x	GL
5	Mắm biển	<i>Avicennia marina</i>	x	x	
6	Mắm đen	<i>Avicennia officinalis</i> L.	x	x	GL
	(4) Họ Chùm ớt	Bignoniaceae			
7	Quao nước	<i>Dolichandrone spathacea</i> (L.f.) K. Schum.	x	x	GN
	(5) Họ Bàng	Combretaceae			
8	Cóc trắng	<i>Lumnitzera racemosa</i> Willd.	x	x	GN
	(6) Họ Xoan	Meliaceae			
9	Xu (Xu đỏ; Xu nhỏ)	<i>Xylocarpus moluccensis</i> (Lam.)	x	x	GN
10	Xu ôi	<i>Xylocarpus granatum</i> J. Koenig	x	x	GN
	(7) Họ Dừa	Arecaceae			
11	Dừa nước	<i>Nypa fruticans</i> Wurmb	x	x	G
12	Chà là biển	<i>Phoenix paludosa</i> Roxb.	x	x	GN
	(8) Họ Thầu dầu	Euphorbiaceae			
13	Giá	<i>Excoecaria agallocha</i> L.	x	x	GL
	(9) Họ Ráng	Pteridaceae			
14	Ráng	<i>Acrostichum aureum</i> L.	x	x	C
	(10) Họ Đước	Rhizophoraceae			
15	Vẹt dù	<i>Bruguiera gymnorhiza</i> (L.) Lam.	x		GN
16	Dà quánh	<i>Ceriops decandra</i> (Griff.)	x		GN
18	Dà vôi	<i>Ceriops tagal</i> (Perr.)	x		GN
19	Đước đôi	<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	x	x	GL
20	Đưng	<i>Rhizophora mucronata</i> Poir.	x	x	GL
	(11) Họ Bần	Sonneratiaceae			
21	Bần trắng	<i>Sonneratia alba</i> Sm.	x		GL
22	Bần chua	<i>Sonneratia caseolaris</i> (L.) Engl.	x	x	GL
23	Bần ôi	<i>Sonneratia ovata</i> Backer	x		GL
Những loài tham gia rừng ngập mặn					
	(12) Họ Na	Annonaceae			
24	Bình bát nước	<i>Annona glabra</i> L.	x	x	GN
	(13) Họ Trúc đào	Apocynaceae			
25	Thiên lý đại	<i>Finlaysonia obovata</i> Wall.	x	x	DL
26	Dây cám	<i>Sarcobolus globosus</i> Wall.	x	x	DL

TT	Tên Việt Nam	Tên khoa học	Thanh Phú	Bình Đại	Dạng sống
27	Dây mù (14) Họ Cúc	<i>Zygostelma benthamii</i> Baill. Asteraceae	x	x	DL
28	Cúc tần	<i>Pluchea indica</i> (L.) Less.	x	x	B
29	Sơn cúc 2 hoa (15) Họ Mù u	<i>Wollastonia biflora</i> (L.) DC. Calophyllaceae	x	x	B
30	Mù u	<i>Calophyllum inophyllum</i> L.	x	x	GN
31	Bàng (16) Họ Bìm bìm	<i>Terminalia catappa</i> L. Convolvulaceae	x	x	GL
32	Rau muống biển (17) Họ Đậu	<i>Ipomoeapes-caprae</i> (L.) R.Br. Fabaceae	x	x	DL
33	Đậu biển	<i>Canavalia rosea</i> (Sw.) DC.	x	x	DL
34	Cóc kèn	<i>Derris trifoliata</i> Lour.	x	x	B
35	Vuốt hùm	<i>Guilandina bonduc</i> L.	x	x	DL
36	Gỗ nước (18) Họ Mây nước	<i>Intsia bijuga</i> (Colebr.) Kuntze Flagellariaceae	x	x	GL
37	Mây nước (19) Họ Bông	<i>Flagellaria indica</i> L. Malvaceae	x		DL
38	Tra lâm chiếu	<i>Hibiscus tiliaceus</i> L.	x	x	GN
39	Tra lâm vô (20) Họ Cà phê	<i>Thespesiapopulnea</i> (L.) Sol. ex Corrêa Rubiaceae	x	x	GN
40	Chùm lé	<i>Azima sarmentosa</i> (Blume) Benth. & Hook.f.	x		B
41	Lìm kìm (21) Dừa	<i>Psychotria serpens</i> L. Pandananaceae	x	x	DL
42	Dừa sợi (22) Họ Hòa thảo	<i>Pandanus odorifer</i> (Forssk.) Kuntze Poaceae	x	x	GN
43	Cỏ lông công	<i>Diplachne fusca</i> (L.) P. Beauv. ex Roem & Schult	x	x	C

Ở cả 2 khu vực nghiên cứu xác định được 5 dạng sống chính là cây bụi (B), thân gỗ (G), Thân gỗ lớn (GL), gỗ nhỏ (GN) cây thân leo/bò (DL) và cây dạng cỏ (C).

Cả hai vùng rừng ngập mặn huyện Thanh Phú và Bình Đại đều có xuất hiện các loài cây ưu thế như *Avicennia alba*, *Avicennia officinalis*, *Avicennia lanata*, *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia caseolaris*; 1 loài Dương xỉ (*Acrostichum aureum*); và 1 loài dạng cau dừa (*Nypa frutican*). Trong số này, những loài thường gặp nhất là *S. caseolaris*, *A. alba*, *R. apiculata* và *N. fruticans*. *Acanthus ilicifolius* là loài có độ thường gặp cao và số lượng cá thể áp đảo các loài khác tại tất cả các khu vực khảo sát.

Các loài thân gỗ chiếm ưu thế hơn cả (53,4% tổng số loài hiện diện) với các loài *Avicennia alba*, *A. lanata*, *A. officinalis*, *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia caseolaris*, *Xylocarpus granata* và *X. moluccensis*. Còn lại là các loài thân leo và thân cỏ cùng sự hiện diện một số loài thân bụi như *Azima sarmentosa*, *Derris trifoliata*, *Pluchea indica* trong các hệ sinh thái rừng ngập mặn. Hiện số loài cây thực thụ ở vùng rừng ngập mặn Việt Nam có 36 loài [4, 10, 20–21], số loài cây tham gia và di nhập rừng ngập mặn hiện có sự biến động từ 70 đến 90 loài.

Nghiên cứu tập trung vào sự biến động mật độ cá thể của các loài thân gỗ là cây rừng ngập mặn chủ yếu trong khu vực nghiên cứu, là thành phần quan trọng trong cấu trúc rừng ngập mặn. Mật độ cá thể của các loài có sự biến động theo không gian. Loài có mật độ cá thể cao nhất trong khu vực nghiên cứu là *Avicennia officinalis* với mật độ cá thể biến thiên từ 1.632 đến 19.867 cây/ha. Những loài có mật độ cao tiếp theo lần lượt là *A. alba* (629-3.833 cây/ha), *N. fruticans* (422-1.417 cây/ha), *R. apiculata* (572-3.417 cây/ha) và *S. caseolaris* (178-946 cây/ha). Những loài có mật độ cá thể thấp bao gồm *X. granata* (133-300 cây/ha), *X. moluccensis* (450-768 cây/ha), *A. aureum* (89-357 cây/ha), *S. caseolaris* (70-326 cây/ha). Mật độ cá thể cao nhất của loài *R. apiculata* tại Bình Đại (435 cây/ha) thấp hơn Thanh Phú, (3.241 cây/ha). Đối với *S. caseolaris*, mật độ cá thể loài không quá khác biệt giữa Bình Đại và Thanh Phú (88-315 cây/ha).

3.2. Các chỉ số đa dạng sinh học

Các giá trị về độ giàu của loài (S), chỉ số Shannon - Wiener (H'), chỉ số Simpson (D) ở vùng rừng ngập mặn Bình Đại và Thạnh Phú được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Chỉ số Shannon-Wiener (H') tại các khu vực nghiên cứu.

Khu vực	Độ giàu loài (S)	H'	Simpson (D)
Bình Đại	2,48±0,73	0,94±0,32	0,77±0,18
Thạnh Phú	2,75±0,64	0,87±0,36	0,68±0,17

Giá trị chỉ số đa dạng sinh học (Bảng 2) là số liệu tính trung bình trong hai đợt khảo sát năm 2018 và 2020, chỉ số đa dạng sinh học thực vật rừng ngập mặn ở Bình Đại thấp hơn ở Thạnh Phú cả về độ giàu có loài, chỉ số H' và chỉ số Simpson (D). Độ đa dạng về thành phần loài cũng thể hiện rõ qua mức độ đa dạng thực vật giảm liên tục từ vùng ven biển vào sâu trong rừng và tăng liên tục theo thời gian khảo sát.

Rừng ngập mặn ở Bình Đại phát triển với chiều hướng gia tăng mức độ đa dạng các loài cây thân gỗ và gỗ nhỏ. Ở Thạnh Phú, mức độ đa dạng tăng dần từ vùng ven biển vào vùng phía trong đất liền. Sự gia tăng giá trị của các chỉ số đa dạng sinh học ở các hệ sinh thái rừng ngập mặn khảo sát chủ yếu do số lượng cá thể quá lớn của loài *A. ilicifolius*, trong khi số lượng cá thể các cây thân gỗ là thực vật rừng ngập mặn thực thụ lại giảm về mật độ cá thể. Chỉ số đa dạng sinh học ở hai khu vực nghiên cứu có sự sai khác chủ yếu so dự khác nhau về số lượng loài cây ngập mặn và số lượng thành phần cây gỗ chiếm ưu thế trong khu vực. So với thang đánh giá tính đa dạng theo [22]: rất thấp (H' = 0,01-0,99), thấp (H' = 1-2,49), trung bình (H' = 2,5-2,99), cao (H' = 3-4) thì khu vực nghiên cứu tính đa dạng biến động từ rất thấp đến thấp. Kết quả nghiên cứu này tương đồng với kết quả của các tác giả khi xác định giá trị H' ở vùng rừng ngập mặn có cấu trúc thành phần loài cây ngập mặn tương tự [19, 23] và tương đồng với kết quả nghiên cứu, đánh giá chỉ số đa dạng sinh học và phân bố cấu trúc của một số loài cây thân gỗ ở vùng rừng ngập mặn ở Quảng Ninh, Huế, Cần Giờ, Côn Đảo, Cà Mau. Sự khác nhau về độ đa dạng cũng như chỉ số đa dạng sinh học thực vật ngập mặn cũng chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố khí hậu, thủy văn, địa hình và các nhân tố sinh học [24-27].

3.3. Ảnh hưởng của nước biển dâng đến rừng ngập mặn

Mực nước biển dâng lên cùng với giá tăng tần suất, cường độ bão sẽ làm thay đổi thành phần của trầm tích, độ mặn và mức độ ô nhiễm của nước, làm suy thoái và đe dọa đến sự sinh trưởng và phân bố của rừng ngập mặn và các loài sinh vật trong hệ sinh thái.

Nghiên cứu tính dễ bị tổn thương đến rừng ngập mặn đã chỉ ra những biến đổi rõ rệt của hệ sinh thái RNM dưới tác động của nước biển dâng. Với nhiệt độ tăng hàng năm khoảng 0,013-0,23°C và mực nước biển dâng 1,9 mm/năm, là nguyên nhân tác động tới sự sinh trưởng và tồn tại của HST rừng [28]. Tuy nhiên, qua kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng RNM có khả năng thích ứng rất cao và tính dễ bị tổn thương là không lớn qua số liệu biến động diện tích RNM và bồi tụ trầm tích của vùng rừng ngập mặn [4, 28].

Nếu lượng lắng đọng bùn cát tại khu vực rừng ngập mặn không vượt quá mức nước biển dâng, thời gian ngập rễ của cây gia tăng sẽ khiến một số loại cây không chịu ngập được dài ngày bị chết (Bảng 3). Bên cạnh đó, sự gia tăng trường sóng sát rừng ngập mặn do mực nước biển dâng tạo ra sóng lớn đánh thẳng vào rừng gây xói lở bãi, làm suy thoái hoặc biến mất rừng khiến cho “vành đai xanh chắn sóng” này suy giảm hoặc có thể mất đi chức năng bảo vệ bờ biển. Khi độ che phủ của rừng ngập mặn giảm dần sẽ dẫn tới sự phân tán thành nhiều thảm nhỏ, môi trường đất bị ô nhiễm, giảm bồi tụ phù sa, đa dạng sinh học bị suy giảm vì không còn điều kiện thích hợp để các loài sinh vật sinh sống và cư trú.

Vùng rừng ngập mặn huyện Bình Đại và Thạnh Phú được xác định với các loài cây gỗ chủ yếu họ Rhizophoracea, Sonneratiacea, Aviceniacea. Loài cây ngập mặn phân bố chủ yếu

từ vùng ven bờ và cửa sông là các loài tiên phong *Sonneratia caseolaris*, *Avicennia alba*, nếu nước biển dâng cao sẽ ngăn cản sự tái sinh của các loài cây này. Ngược lại, phía sau các loài cây tiên phong ở khu vực có các loài *Avicennia marina*, *R. apiculata*, *Bruguiera* sp., các loài cây ngập mặn này có hệ thống rễ dày đặc trên mặt đất, có trụ mầm, quả và hạt có khả năng sống dài ngày trôi nổi trong nước, vì vậy có khả năng thích ứng với nước biển dâng và có khả năng phát tán rộng vào ven bờ và đất liền khi nước triều làm ngập các vùng đất đó.

Bảng 3. Ngưỡng chống chịu của một số loài cây ngập mặn khi bị ngập [4, 20, 29].

TT	Loài cây ngập mặn	Phản ứng/ngưỡng chống chịu
1	Dừa nước - <i>Nypa fruticans</i>	- Giảm sinh trưởng - Chết sau 30 ngày ngập
2	Bần chua - <i>Sonneratia caseolaris</i>	- Giảm sinh trưởng - Chết sau 35 ngày ngập
3	Mắm trắng - <i>Avicennia alba</i>	- Giảm sinh trưởng - Chết khi ngập liên tục sau 30 ngày
4	Đước, sù, vẹt - <i>Rhizophora apiculata</i> , <i>Aegiceras</i> sp., <i>Bruguiera</i> sp.,	- Giảm sinh trưởng - Chết khi ngập liên tục sau 40 ngày
5	Bần chua, dừa nước, cói, lác - <i>Sonneratia caseolaris</i> , <i>Nypa fruticans</i> , <i>Cyperus malaccensis</i>	- Giảm sinh trưởng - Chết khi ngập liên tục sau 40 ngày
6	Giá, xu ôi, chà là - <i>Excoecaria agallocha</i> , <i>Xylocarpus granatum</i> , <i>Phoenix paludosa</i>	- Giảm sinh trưởng - Chết khi ngập liên tục sau 45 ngày

Nước biển dâng có thể dẫn đến sự thay đổi một số quần xã cây ngập mặn ở huyện Thanh Phú và Bình Đại, Bến Tre:

- Các quần xã rừng ngập mặn ven bờ và cửa sông huyện Thanh Phú và Bình Đại, với các loài *Sonneratia caseolaris*, *Nypa fruticans* có khả năng bị suy giảm, thay thế vào đó là các quần xã chịu mặn cao hơn như Mắm biển *Avicennia marina* khi nước biển dâng cao. Nghiên cứu địa chất chỉ ra rằng, môi trường sống tại rừng ngập mặn thay đổi hay không tùy vào tốc độ biến đổi của mực nước biển. Khi tốc độ của nước biển dâng lớn hơn giới hạn của tốc độ tích tụ than bùn, rừng ngập mặn sẽ bị nhấn chìm trong nước biển và sẽ chết [30].

- Các quần xã *Avicennia marina* trước đây phân bố ngoài cùng, nơi có độ mặn cao và nước ngập sâu sẽ bị mất môi trường sống, bị chết hoặc bị đẩy lùi vào vùng bờ do đặc điểm sinh lý và sự thích ứng của *Avicennia marina* [4]. Hơn nữa, nước biển dâng cao tạo áp lực môi trường tác động đến hệ sinh thái RNM, làm yếu cấu trúc bộ rễ cây và dần dần lật đổ cây, hoặc tăng độ mặn hoặc thay đổi thời gian và cường độ ngập.

- Quần xã ruộng biển *Ipomoea pes-caprae* chiếm ưu thế bị ngập khi nước biển dâng sẽ bị di chuyển lùi vào khu vực bờ cát cao thay thế cho các quần xã Na biển *Annona glabra*, Tra làm chiếu *Hibiscus tiliaceus*, Giá *Excoeria agallocha*.

4. Kết luận

- Khu vực nghiên cứu đã xác định được 43 loài cây ngập mặn, trong đó có 23 loài cây ngập mặn thực thụ và 20 loài cây tham gia rừng ngập mặn. Rừng ngập mặn huyện Thanh Phú có 23 loài cây ngập mặn, vùng rừng ngập mặn huyện Bình Đại có 17 loài. Thành phần thực vật cây ngập mặn các trạng thái rừng khá đơn giản, các loài ngập mặn chiếm ưu thế ở Bình Đại và Thanh Phú là Đước, Mắm, Bần, Dừa nước.

- Tính đa dạng thực vật trong cả hai khu vực nghiên cứu chưa cao ($H' = 0.87-0.94$), hiện tại ở cả hai khu vực có xu hướng loài *Rhizophora apiculata* đang dần thay thế *Avicennia alba* ở các đai rừng phía ngoài biển. Cấu trúc thành phần loài cây ngập mặn thực thụ thân gỗ ảnh hưởng đến độ đa dạng loài ở khu vực nghiên cứu.

- Nước biển dâng ảnh hưởng đến thực vật ngập mặn, trong đó có sự phân bố của *Avicennia marina* và *Sonneratia caseolaris* ở Bình Đại và Thanh Phú.

Bài báo còn hạn chế về số liệu nghiên cứu lượng lắng đọng bùn cát tại khu vực rừng ngập mặn nghiên cứu so với mực nước biển dâng để có thể đánh giá chính xác hơn ảnh hưởng của nước biển dâng đến thực vật rừng ngập mặn. Nghiên cứu khả năng thích ứng của rừng

ngập mặn và ảnh hưởng của nước biển dâng cũng cần xây dựng mô hình tính toán với những số liệu hiện trạng và hồi cứu về từng yếu tố tác động của vùng nghiên cứu.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.Q.C., D.H.S., L.X.T.; Xử lý số liệu: T.Q.C., L.X.T.; Viết bản thảo bài báo: T.Q.C., L.X.T.; Chỉnh sửa bài báo: T.Q.C., D.H.S., L.X.T.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ một phần hỗ trợ của đề tài Mã số: KC09.21/16-20.

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. Aksornkoae, S. Ecology and management of Mangrove. The IUCN Wetlands Programme. Bangkok. Thailand, 1993.
2. Chapman, V.J. Mangrove biogeography. In: Proceedings of the international symposium on biology and management of mangroves. *Honolulu* 1975, 3–52.
3. Blasco, F. Climatic factors and the biology of mangrove plants. In the M.E. Research methods. Eds. by Snedaker, S.C., Snedaker, J.G. UNESCO Paris, 1984, pp. 18-35.
4. Hồng, P.N.; Ba, T.V.; Nam, V.N.; Sản, H.T.; Tạng, V.T.; Trễ, L.T.; Trí, N.H.; Tuấn, M.S.; Tuấn, L.X. Rừng ngập mặn Việt Nam. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội, 1999, tr. 225.
5. Ong, J.E.; Gong, W.K. Structure, function and management of mangrove ecosystems. ISME Mangrove Educational Book Series No. 2. International Society for Mangrove Ecosystems (ISME), Okinawa, Japan, and International Tropical Timber Organization (ITTO), Yokohama, Japan, 2013.
6. Magi, M.Y.; Kogo, M.M.; Hong P.N. Mangroves as a coastal protection from waves in the Tong King delta, Viet Nam. *Mangroves Salt Marshes* 1997, 1, 127–135.
7. UBND tỉnh Bến Tre. Công bố hiện trạng rừng tỉnh Bến Tre năm 2020. 2020.
8. Cuc, N.T.K.; Suzuki, T.; de Ruyter van Steveninck, E.D.; Hai, H. Modelling the impacts of mangrove vegetation structure on wave dissipation in Ben Tre Province, Vietnam, under different climate change scenarios. *J. Coastal Res.* 2015, 31(2), 340–347.
9. Hồng, P.N. Vai trò của Rừng ngập mặn Việt Nam. Nhà xuất bản Nông nghiệp, 1997, tr. 205.
10. Trí, N.H. Sinh thái học rừng ngập mặn. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội, 1999, tr. 271.
11. Nam, V.N.; Thụy, N.S. Nhận biết cây rừng ngập mặn qua hình ảnh. NXB Nông nghiệp, 1999, tr.102.
12. Sổ tay hướng dẫn giám sát và điều tra đa dạng sinh học. Nhà xuất bản Giao thông vận tải, 2003, tr. 315–331.
13. Spalding, M.; Kainuma, M.; Collins, L. World Atlas of Mangroves. *Hum. Ecol.* 2011, 39, 107–109.
14. Tomlinson P.B. The botany of mangroves. Second edition. New York: Cambridge University Press, 2016.
15. Lugo, A.E.; Snedaker, S.C. The ecology of mangroves. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 1974, 5, 39–64.
16. Shannon, C.E.; Wiener, W. The mathematical theory of communities. Illinois: Urbana University, Illinois Press, 1963.
17. Vương, T.H. Nghiên cứu khả năng ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến đa dạng sinh học rừng ngập mặn tỉnh Bến Tre, Trà Vinh và đề xuất một số giải pháp bảo tồn, Mã số: TNMT. 2017.05.15, 2020.
18. Thắng, H.V. Đánh giá dịch vụ hệ sinh thái rừng ngập mặn tỉnh Bến Tre và Nam Định, đề xuất các giải pháp quản lý và sử dụng bền vững. Mã số đề tài: QG.19.71, 2022.

19. Hạnh, N.T.; Thống, B.Q.; Minh, N.T.B.; Hoàn, V.M.; Hương, K.M.; Quý, N.V.; Hợp, N.V. Đa dạng thực vật rừng ngập mặn tại ban quản lý rừng phòng hộ và đặc dụng tỉnh Bến Tre. *Tap chí khoa học và công nghệ lâm nghiệp số* **2023**, 2, 65–75.
20. Tuấn, L.X. Ảnh hưởng của tuyến đê biển Vũng Tàu-Gò Công đến các hệ sinh thái ven biển. *ĐTĐL.G77*, 2016.
21. Tuấn, L.X.; Hồng, P. N.; Học, T.Q. Những vấn đề về môi trường ven biển và phục hồi rừng ngập mặn ở Việt Nam. *Kỷ yếu hội thảo quốc tế Việt Nam học lần thứ 3*, 2006, tr. 678–692.
22. Fernando, E. Forest Formations and Flora of the Philippines. College of Forestry and Natural Resources. University of the Philippines Los Banos, 1998.
23. Tính, P.H.; Tuấn, M.S. Phân tích định lượng các chỉ số đa dạng sinh học và phân bố của thảm thực vật thân gỗ rừng ngập mặn ven biển miền Bắc Việt Nam. *Tap chí Sinh học* **2016**, 38(1), 53–60.
24. Magurran, A. Ecological diversity and its measurement. *Life Sci. Plant Sci.* 1998, pp. 179.
25. Odum, P.E. Fundamentals of ecology. Saunders Philadelphia, Pennsylvania, 1971.
26. Blasco, F. Climatic factors and the biology of mangrove plants. In: Snedaker S.C, Mangrove ecosystem research methods. UNESCO, Paris, 1975, pp. 18–35.
27. Saenger, P. Mangrove Ecology, silviculture and conservation. Kluwer Academic publishers, Dordrecht, Netherlands, 2002, pp. 11–18.
28. Tuấn, L.X.; Hồng, P.N.; Đào, P.T.A.; Hiền, V.T.; Dao, Q.T.Q.; Anh, P.H.; Thái, V.Đ.; Phương, T.M.; Nguyệt, P.T.M. Hệ sinh thái rừng ngập mặn huyện Giao Thủy, tỉnh Nam Định và một số vấn đề quản lý, Phục hồi rừng ngập mặn ứng phó với BĐKH hướng tới phát triển bền vững. Nhà xuất bản Nông nghiệp, 2008, tr. 151–168.
29. Lai, B. Cơ sở khoa học để đồng bằng sông Cửu Long thích ứng với biến đổi khí hậu và nước biển dâng. Nhà xuất bản Nông nghiệp, 2012.
30. Miyagi, T.E. Mangrove habitat dynamics and sea-level change. Tohoku University, 1998.

Diversity of mangrove vegetation and effects of sea level rise in on mangroves in Thanh Phu district and Binh Dai district, Ben Tre Province

Tran Quoc Cuong¹, Duong Hong Son², Le Xuan Tuan³

¹ Hanoi University of Natural Resources and Environment; tqcuong@hunre.edu.vn

² Water Resource Institution, MONRE; dhson.monre@gmail.com

³ Faculty of Biology, University of Science (VNU University of Science);
tuan.mangrove@gmail.com

Abstract: The study was conducted to determine species biodiversity and evaluate some biodiversity indicators of mangrove vegetation in Thanh Phu and Binh Dai districts, Ben Tre province. The results recorded 43 species of mangroves belonging to 22 families, of which 23 species of true mangroves in Thanh Phu, 17 species of true mangroves in Binh Dai and 20 species of associate mangroves. The study area has 5 groups of life forms identified as grasses, shrubs, vines, small trees, and large trees. Quantifying the biodiversity index shows that mangrove vegetation diversity fluctuates with the H' index from 0.51 to 1.26. In addition, the relationship between biodiversity of mangroves ecosystem and the impact of sea level rise is also discussed. The research results are an important scientific finding to propose solutions for management, conservation, and sustainable development of the mangrove ecosystem in the study area.

Keywords: Mangrove vegetation; Biodiversity index; Thanh Phu; Binh Dai.

Bài báo khoa học

Phân tích, xác định nguyên nhân và đề xuất giải pháp công trình chống sạt lở bờ sông Vàm Cỏ Tây

Văn Hữu Huệ^{1*}

¹ Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, Vĩnh Long; huuhuevan@gmail.com

*Tác giả liên hệ: huuhuevan@gmail.com; Tel.: +84-919235799

Ban Biên tập nhận bài: 7/8/2023; Ngày phản biện xong: 29/9/2023; Ngày đăng bài: 25/10/2023

Tóm tắt: Hiện nay việc mất ổn định bờ sông dẫn đến sạt lở xảy ra nhiều nơi ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) với nhiều nguyên nhân khác nhau, trong đó phải kể đến sạt lở bờ sông Vàm Cỏ Tây (VCT) đoạn từ Rạch Góc đến đường Phan Văn Lại, TP. Tân An, T. Long An. Bài báo nghiên cứu dòng chủ lưu áp sát bờ sông, góp phần làm rõ nguyên nhân mất ổn định nhằm bảo vệ trung tâm chính trị, văn hóa, kinh tế xã hội của TP. Tân An. Nghiên cứu đã tiến hành khảo sát, đánh giá địa chất, lưu tốc dòng chảy, hình thái lòng sông, bình đồ lòng sông kết hợp sử dụng các phương pháp điều tra khảo sát, thống kê, phần mềm Plaxis, Geo 5, MIKE 11, MIKE 21; từ đó xác định các nguyên nhân chủ yếu gây mất ổn định bờ sông là do hình thái sông, dòng chủ lưu áp sát bờ, gia tải bờ sông, lưu chuyển bùn cát và đề xuất giải pháp công trình bảo vệ khu vực nghiên cứu.

Từ khóa: Dòng chủ lưu áp sát bờ sông; Ổn định bờ sông VCT; Ổn định bờ sông; Sạt lở ở ĐBSCL.

1. Mở đầu

Tại Hoa Kỳ, xói mòn bờ biển gây thiệt hại khoảng 5.000.000 USD/năm. Để giảm thiểu tình trạng xói mòn bờ biển, chính phủ liên bang chi trung bình 150.000.000 USD/năm cho việc kiểm soát xói mòn bờ biển. Ngoài ra, đất ngập nước ven biển bị mất hơn 80.000 ha/năm, tương đương với bảy sân bóng đá biển mất mỗi giờ mỗi ngày. Kết quả tổng hợp là Hoa Kỳ đã mất một diện tích đất ngập nước lớn hơn bang Rhode Island từ năm 1998 đến năm 2009 [1].

Những năm gần đây, tình hình sạt lở diễn biến phức tạp trên toàn thế giới, cụ thể như sạt lở ở Red Rock, đảo Coochiemudlo, phía nam của Vịnh Moreton, thuộc Đông Nam Queensland, Úc. Đã có nhiều nghiên cứu dự báo xói lở bờ biển cũng như giải pháp khắc phục. Kết quả đã đưa ra cơ chế phá hủy đê khi sóng tràn qua đê biển; mái đê phía biển chịu tác động trực tiếp của sóng, thân đê sẽ bị phá hỏng ở phía biển do sóng và áp lực thấm đẩy ngược dưới đáy bề mặt gia cố; đỉnh đê sẽ bị xói bề mặt, trượt do thấm; như vậy khi sóng tràn, mái trong đồng và mái ngoài biển đều sẽ bị phá hủy.

Kết quả nghiên cứu [2] cho thấy, lòng Mekong đang hạ thấp trung bình 10 cm/năm, định vị thủy âm cho thấy sự xuất hiện của những hố xói lớn mà Hackney cho rằng “Có thể thay đổi hoàn toàn hình dạng dòng sông”. Việc hạ thấp lòng dẫn cùng các nguyên nhân



Hình 1. Sạt lở Cồn Long Khánh.

khác làm cho các công trình hiện hữu mất dần ổn định, gây sạt lở nhiều nơi. Cồn Long Khánh (H. Hồng Ngự, T. Đồng Tháp) bị sạt lở với chiều dài 3.000 m, lún sâu vào 50 m, sạt lở năm nào cũng diễn ra (Hình 1).

Tháng 4 năm 2017 bờ sông Vàm Nao ở xã Mỹ Hội Đông (H. Chợ Mới, T. An Giang) xảy ra sạt lở, nhấn chìm 14 căn nhà và nền nhà xuống sông. Ở Huyện Cao Lãnh, T. Đồng Tháp, tháng 7 năm 2023, một vụ sạt lở xảy ra tại tuyến đường bờ Tây kênh Nhà Hay (xã Phong Mỹ), chiều dài khoảng 25 m, ăn sâu vào bờ từ 3-5 m, hơn 90 m² đất bị rơi xuống kênh. Cùng thời gian trên, tuyến đường bờ Đông kênh Cồn Lố (xã Nhị Mỹ) bị sạt lở với chiều dài 15 m, ăn sâu vào mặt đường giao thông khoảng 2m, ảnh hưởng đến việc lưu thông của người dân. Cùng thời điểm đó khu vực chợ Nhị Mỹ (xã Nhị Mỹ) tiếp tục xảy ra sạt lở, chiều dài khoảng 35 m, rộng từ 3-5 m. Trước đó tháng 5 năm 2023, tại khu vực chợ Nhị Mỹ xảy ra vụ sạt lở nghiêm trọng với chiều dài khoảng 30 m, ăn sâu vào mặt đường bờ Tây kênh Cồn Lố.

Sông VCT đoạn chảy qua TP. Tân An, T. Long An, lớp bùn có đoạn sâu đến 29 m, là điểm nóng về sạt lở bờ sông, nguyên nhân do địa chất bờ sông yếu, chủ yếu là đất bùn, cường độ chịu lực kém, lưu lượng tàu thuyền lớn, gây xói lở, làm mất ổn định bờ sông [4]. Sông VCT từ Rạch Góc đến đường Phan Văn Lại là đoạn sông cong, bờ lồi nên dòng chảy lúc thủy triều lên và xuống dòng chảy hướng mạnh vào bờ, lưu tốc trung bình với dòng triều bình thường $1,0 \div 1,2$ m/s và với mùa lũ lưu tốc tăng lên $1,5 \div 1,8$ m/s lớn hơn lưu tốc cho phép xói của đất nền ven bờ. Mái bờ sông khá dốc, $m = 1,5 \div 2,0$, dễ mất ổn định khi trong sông hạ thấp đến mực nước nhỏ nhất. Bên cạnh các bến bãi, nhà cửa lấn ra bờ sông làm tăng tải trọng lên mặt bờ có nguy cơ gây mất ổn định. Để chủ động phòng ngừa, kè phòng, chống sạt lở bờ sông VCT đoạn từ Rạch Góc đến đường Phan Văn Lại, Phường 6, TP. Tân An là thật sự là cần thiết và cấp bách. Bài báo nghiên cứu một số nội dung chính sau:

Phân tích, đánh giá, xác định nguyên nhân gây ra sạt lở khu vực nghiên cứu (dòng chảy hướng vào bờ, tương tác dòng chảy và lòng dẫn, lưu tốc vượt vận tốc khởi động bùn cát, mất cân bằng khối đất ven sông, giảm hàm lượng chất lơ lửng, sóng...); Đánh giá lựa chọn để xuất phương án xây dựng tuyến kè dọc theo bờ phải sông VCT từ Rạch Góc đến đường Phan Văn Lại, Phường 6, TP. Tân An.



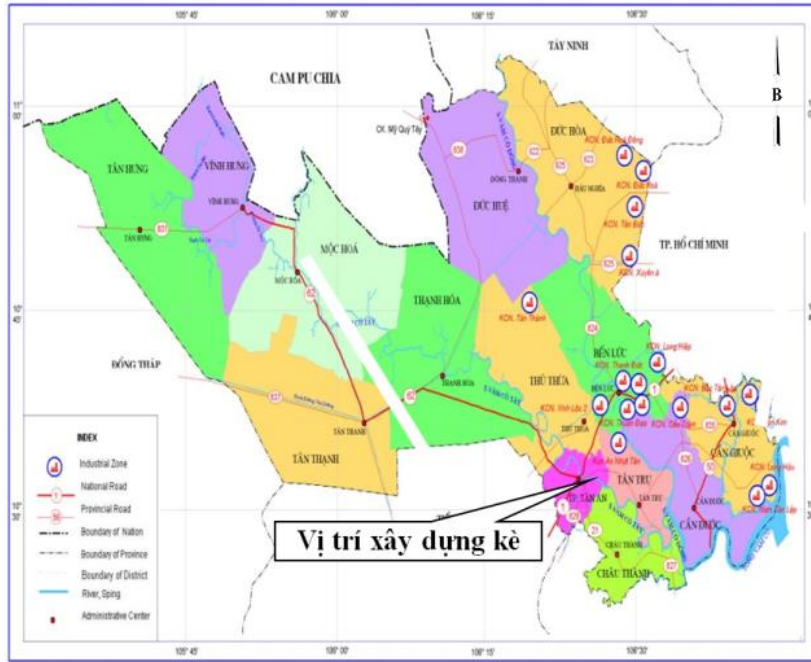
Hình 2. Bình đồ tuyến kè nghiên cứu [4].

2. Phương pháp nghiên cứu và tài liệu nghiên cứu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu và đặc điểm khí tượng thủy văn

2.1.1. Phạm vi, nhiệm vụ nghiên cứu

Đoạn sông bờ phải sông VCT từ Rạch Góc đến đường Phan Văn Lại, Phường 6, TP. Tân An, T. Long An (dài 1.674 m) (Hình 3). Thời gian nghiên cứu: giai đoạn 2020-2023.



Hình 3. Vị trí xây dựng tuyến kè [4].

2.1.2. Điều kiện địa hình, địa mạo và địa chất công trình

Địa hình trên cạn: Tương đối bằng phẳng, cao độ biến thiên từ +1,50 ÷ + 2,50m, nhà cửa tương đối dày. Tại tuyến có 6 rạch thoát nước. Trong đó có rạch Cồn Đốt tương đối lớn bề rộng khoảng 55 m, cao độ đáy rạch khoảng -1,15 m (Hình 4).



Hình 4. Bản đồ độ sâu lòng sông [4].

Địa hình dưới nước: Sông VCT có chiều rộng trung bình 200 m, cao trình lạch sâu từ -10 ÷ -15m. Vị trí sạt lở là bờ lồi của đoạn sông cong do ảnh hưởng của dòng chảy ngang (hình thành bờ lực ly tâm) [5] dòng chảy có xu hướng moi đất từ phía bờ lồi đưa sang phía bờ lõm.

Theo kết quả khảo sát và thí nghiệm địa chất trong phòng do Công ty TNHH Tư vấn xây dựng Cao Khoa thực hiện tháng 10-11/2021, khối lượng thực hiện: 6 hồ khoan, 17 chỉ tiêu. Địa tầng khảo sát từ trên xuống như sau:

Lớp 1: Đất đắp: Cát pha lẫn xác thực vật, xám vàng, xám nâu.

Lớp 2: Bùn sét lẫn xác thực vật màu xám xanh, xám nâu, trạng thái dẻo chảy.

Lớp 2a: Sét pha đôi chỗ xen kẹp cát pha, màu xám nâu, xám xanh, xám đen, trạng thái dẻo mềm.

Lớp 3: Sét đôi chỗ xen kẹp cát pha, màu xám vàng, nâu vàng, xám xanh, xám trắng, trạng thái dẻo cứng đến nửa cứng.

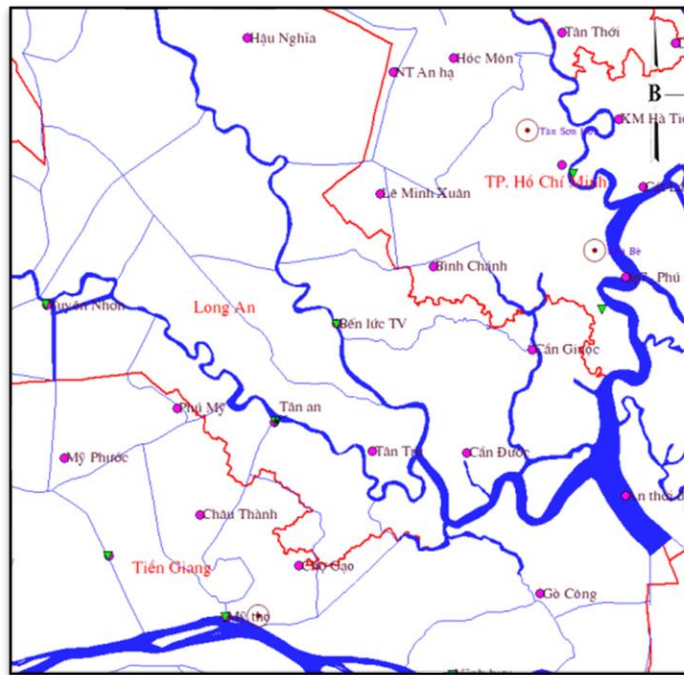
Lớp 4: Cát pha xen kẹp sét pha, màu xám vàng, xám trắng, trạng thái dẻo, kết cấu chặt vừa.

2.1.3. Đặc điểm khí tượng, khí hậu và thủy văn

Mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 11 và mùa khô từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau, có nền nhiệt cao (trung bình: 27,6°C). Chế độ gió thay đổi theo hai mùa rõ rệt. Gió mùa khô thịnh hành theo hướng Đông - Nam. Gió mùa mưa thịnh hành theo hướng Tây - Nam, với tốc độ trung bình 2,0 ÷ 2,5 m/s.

Khu vực chịu ảnh hưởng của chế độ bán nhật triều không đều biển Đông qua cửa sông Soài Rạp với biên độ lớn từ 3,5 ÷ 3,9 m. Thời gian một ngày triều là 24 giờ 50 phút, một chu kì triều là 13 ÷ 14 ngày.

Xâm nhập mặn chủ yếu là từ biển Đông qua cửa sông Soài Rạp. Lũ thường bắt đầu vào trung tuần tháng 8 và kéo dài đến tháng 11, lũ đến chậm và mức độ ngập không sâu. Sử dụng số liệu mưa và mực nước của trạm khí tượng và thủy văn Tân An, Tuyên Nhơn (gần khu vực nghiên cứu) để tính toán các thông số thủy văn; sử dụng số liệu các trạm ở ĐBSCL để tính toán mô hình thủy lực.



Hình 5. Mạng lưới các trạm khí tượng thủy văn khu vực [4].

2.1.4. Tính toán mưa thiết kế và mực nước thiết kế

Nghiên cứu sử dụng số liệu của trạm thủy văn Tân An, Tuyên Nhơn (gần khu vực nghiên cứu) với lượng mưa 1 ngày max theo các tần suất thiết kế và các trạm thủy văn ĐBSCL để tính toán mô hình thủy lực (Bảng 1, Bảng 2).

Bảng 1. Lượng mưa 01 ngày max trạm Tân An theo tần suất thiết kế (mm).

Trạm đo	Tần suất mưa ngày (P%)						
	0,5	1	1,5	2	3	5	10
Tân An	375,18	322,4	292,53	271,83	243,36	208,79	164,45

Bảng 2. Mức nước đỉnh triều cao nhất tại các trạm thủy văn theo tần suất (m).

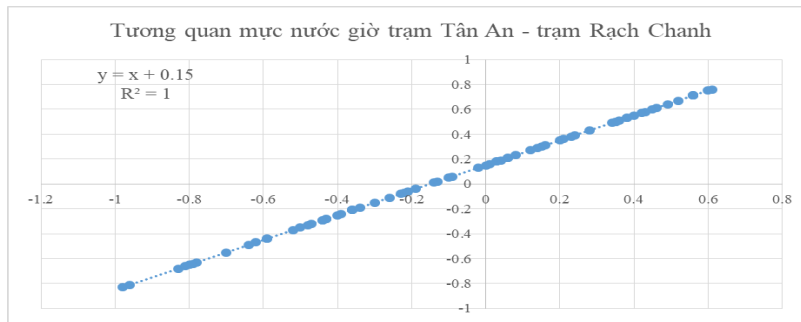
Tên trạm	Đặc trưng thống kê			Mức nước lớn nhất ứng với các tần suất thiết kế P (%)							
	Htb	CV	CS	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	10,0	
Vũng Tàu	1,37	0,07	-0,32	1,59	1,57	1,56	1,55	1,54	1,52	1,49	
Tân An	1,44	0,14	-0,46	1,87	1,84	1,82	1,80	1,78	1,74	1,69	
Tuyên Nhơn	1,37	0,28	1,40	2,84	2,62	2,50	2,40	2,27	2,11	1,88	

Bảng 3. Mức nước nhỏ nhất theo tần suất các trạm thủy văn khu vực (m).

Tên trạm	Đặc trưng thống kê			Mức nước thấp nhất ứng với các tần suất thiết kế P (%)							
	Htb	CV	CS	75	80	85	90	95	97	99	
Vũng Tàu	-2,99	0,13	-0,48	-3,07	-3,10	-3,13	-3,16	-3,22	-3,26	-3,34	
Tân An	-1,64	0,13	0,69	-1,86	-1,90	-1,95	-2,01	-2,08	-2,13	-2,20	
Tuyên Nhơn	-0,96	0,11	-0,80	-1,15	-1,22	-1,30	-1,40	-1,57	-1,69	-1,93	

2.1.5. Xây dựng phương trình tương quan mực nước Tân An - Rạch Chanh

Dựa vào kết quả khảo sát thủy văn xã Bình Lợi Nhơn TP. Tân An và số liệu mực nước giờ thực đo trạm Tân An năm 2019. Xây dựng được phương trình tương quan mực nước Tân An - Rạch Chanh thời gian từ 13 giờ ngày 26/06/2019 đến 13 giờ ngày 29/06/2019 (Hình 6).



Hình 6. Tương quan mực nước giờ trạm Tân An - Rạch Chanh [3].

Chênh lệch mực nước giờ của trạm Tân An và trạm Rạch Chanh là +15 cm, nên tần suất mực nước trạm Rạch Chanh được thể hiện trên Bảng 4.

Bảng 4. Mức nước đỉnh triều cao nhất tại trạm Rạch Chanh theo tần suất (m).

Tên trạm	Đặc trưng thống kê			Mức nước lớn nhất ứng với các tần suất thiết kế P (%)							
	Htb	CV	CS	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	10,0	
Rạch Chanh	1,59	0,14	-0,46	2,02	1,99	1,97	1,95	1,93	1,89	1,84	

Bảng 5. Mức nước nhỏ nhất theo tần suất tại trạm Rạch Chanh (m).

Tên trạm	Đặc trưng thống kê			Mức nước thấp nhất ứng với các tần suất thiết kế P (%)							
	Htb	Cv	Cs	75	80	85	90	95	97	99	
Rạch Chanh	-1,49	0,13	0,69	-1,71	-1,75	-1,80	-1,86	-1,93	-1,98	-2,05	

Bảng 6. Mực nước biển dâng theo kịch bản RCP6.5 (cm).

Khu vực	Các mốc thời gian của thế kỷ 21							
	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
	11	16	21	27	34	41	48	56

Khu vực	Các mốc thời gian của thế kỷ 21							
	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Mũi Kê Gà								
÷ Mũi Cà Mau	(7÷16)	(10÷23)	(14÷31)	(18÷39)	(22÷48)	(27÷58)	(32÷69)	(37÷81)

2.1.6. Đề xuất mực nước thiết kế công trình

Khu vực nghiên cứu gần vị trí khảo sát thủy văn Rạch Chanh. Kết quả mực nước cao hơn thiên về bất lợi cho công trình. Do vậy, đề xuất lựa chọn mực nước phục vụ thiết kế tương ứng công trình cấp IV của công trình kê như sau:

- Cao trình mực nước lớn nhất thiết kế ứng với tần suất $P = 2,0\%$: +1,95
- Cao trình mực nước lớn nhất kiểm tra ứng với tần suất $P = 1,5\%$: +1,97
- Cao trình mực nước thiết kế trong điều kiện NBD năm 2050: $H_{max} 2050 = +2,16$
- Cao trình mực nước thấp nhất thiết kế ứng với tần suất $P = 90\%$: -1,86
- Cao trình mực nước thi công ứng với tần suất $P = 10\%$.



Hình 7. Địa hình lòng sông VCT. từ Rạch Chanh đến cầu Tân An [4].

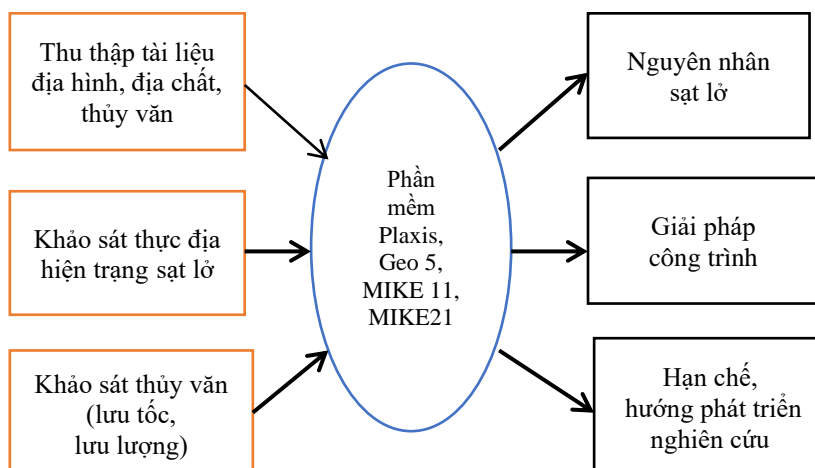
2.2. Dữ liệu sử dụng

Tài liệu địa hình: (1) Tài liệu địa hình lòng sông Hậu và sông Tiền do Ủy ban Mekong phát hành năm 1998 (Hydrographic Atlas) tỷ lệ 1:20.000 [6]; (2) Tài liệu địa hình lòng sông vùng Đồng Tháp Mười thu thập tại Viện Quy Hoạch Thủy Lợi Miền Nam [7]; (3) Bản đồ DEM vùng hạ lưu Mekong do Ủy ban Mekong phát hành năm 2003; (4) Tài liệu khảo sát địa hình phục vụ nghiên cứu.

Tài liệu địa chất: Gồm 6 hố khoan, 17 chỉ tiêu [4].

Tài liệu thủy văn: Số liệu mực nước trạm thủy văn Tân An, Tuyên Nhơn; dòng chảy triều bình thường tháng 7/2000, dòng chảy lũ tháng 9 ÷ 10/2000.

2.3. Phương pháp nghiên cứu



Hình 8. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

2.3.1. Thiết lập các điều kiện biên MIKE 11

a) Điều kiện biên lưu lượng

Biên lưu lượng: Ảnh hưởng của thượng lưu được đưa vào mô hình số thông qua 6 biên lưu lượng tại Kratie, Biền Hồ, Vàm Cỏ Đông, Dầu Tiếng, Phước Hòa và Trị An.

b) Điều kiện biên mực nước

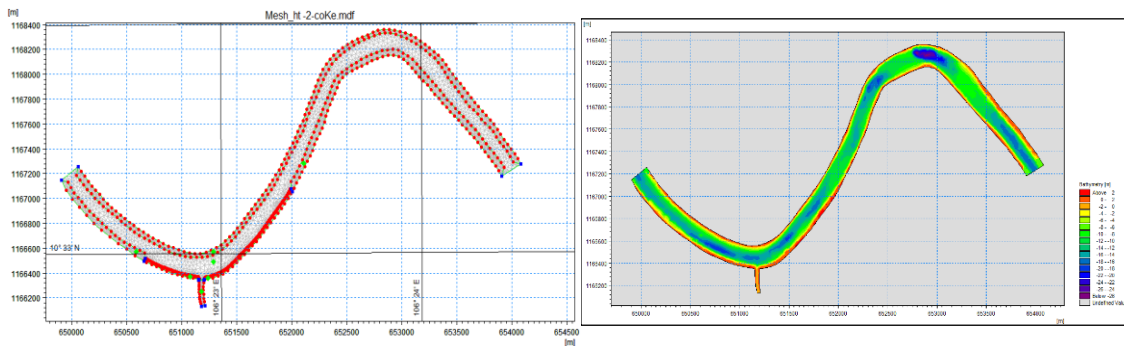
Các biên sử dụng là 10 trạm đặt trên cửa sông chính là: Vũng Tàu (cửa sông Soài Rạp và Lòng Tàu có hiệu chỉnh pha và mực nước từ Vũng Tàu vào cửa), Vàm Kênh (cửa Tiểu), Bình Đại (cửa Đại), An Thuận (cửa Hàm Luông); Bến Trại (cửa Cỏ Chiên, Cung Hầu); Mỹ Thanh (cửa Mỹ Thanh, Định An, Trần đề), Gành Hào, Ông Đốc, Xẻo Rô, Rạch Giá.

Ảnh hưởng của mưa, bốc hơi, thấm, nước ngầm, gió được lấy ở các trạm khí tượng thủy văn Quốc gia trên hạ du lưu vực Mekong, bao gồm: Kratie, Pnompenh, Biền Hồ, Tân Châu, Châu Đốc, Long Xuyên, Sóc Trăng, Cần Thơ, Trà Vinh, Mỹ Tho, Vĩnh Long, Cao Lãnh, Sa Đéc, Mỹ Thuận, Bến Tre, Tân An, Mộc Hóa, Tân Sơn Nhất, Biên Hòa, Rạch Giá, Hà Tiên, Cà Mau.

2.3.2. Thiết lập mô hình MIKE 21FM

a) Lưới tính toán và địa hình lòng sông

Phạm vi mô hình MIKE 21FM được thiết lập với chiều dài 5,6 km từ Rạch Chanh đến cầu Tân An phục vụ mô phỏng dòng chảy khu vực nghiên cứu và vùng lân cận. Mô hình MIKE 21FM cho phép nội suy các cao độ địa hình đáy sông thực đo tạo ra các khoảng cao độ đồng mức thể hiện địa hình lòng sông qua các phổ màu. Lưới tính toán sử dụng phương pháp lưới hình tam giác phi cấu trúc gồm 9.242 nút, 17.135 phần tử, góc nhỏ nhất của các phần tử tam giác là 300, diện tích mỗi ô lưới là 10 - 1.000 m², chiều dài mỗi đoạn lưới là 5 ÷ 50 m cho kết quả nội suy địa hình mịn và chính xác. Lưới tính toán cho toàn vùng được thể hiện trong Hình 9.



Hình 9. Lưới tính toán địa hình lòng sông (trái) và mô phỏng cao độ địa hình đáy sông trong mô hình (phải).



Hình 10. Sơ họa vị trí biên mô hình thủy lực MIKE 21.

b) Biên tính toán

Biên tính toán cho mô hình MIKE 21FM được trích xuất từ kết quả tính toán mô hình thủy lực MIKE 11. Vị trí trích xuất kết quả mô hình thủy lực MIKE 11 làm biên cho mô hình MIKE 21FM tại các vị trí (1) ngã ba Rạch Chanh, (2) cầu Tân An, (3) rạch nhỏ nhập lưu (Hình 10).

2.4. Hiện trạng sạt lở khu vực nghiên cứu và vùng lân cận

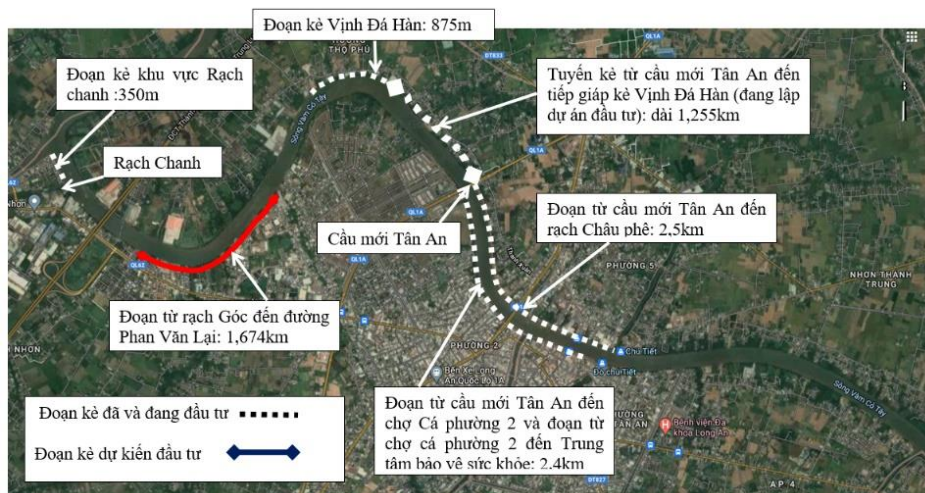
Thời gian qua, tỉnh Long An xảy ra nhiều vụ sạt lở nghiêm trọng; tình trạng sạt lở ngày càng diễn biến phức tạp, nhất là dọc theo sông VCT khu vực TP. Tân An. Nguyên nhân sạt lở là do tác động của dòng chảy hướng vào bờ lởm đoạn sông cong.

Đoạn sông VCT chảy qua TP. Tân An có chiều dài khoảng 15 km, năm năm trở lại đây sạt lở xảy ra thường xuyên. Khu vực ấp Rạch Chanh, xã Lợi Bình Nhơn, đoạn sông cong và vùng đất yếu khá dày, chiều dài sạt lở khoảng 500 m.



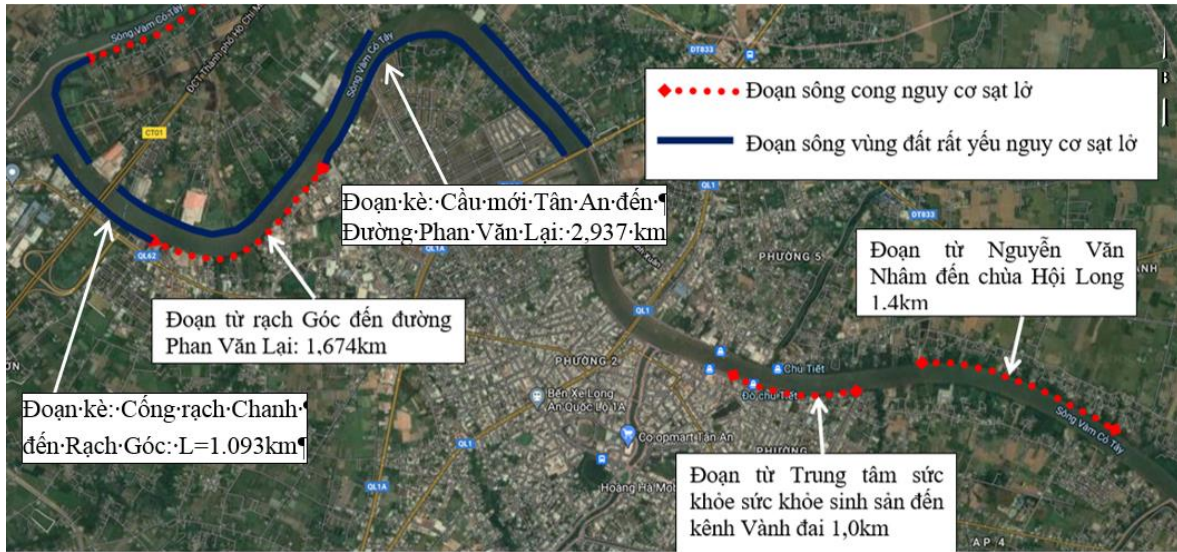
Hình 11. Sạt lở bờ sông khu vực Rạch Chanh, xã Lợi Bình Nhơn [4].

Hiện nay khu vực đã và đang đầu tư xây dựng 05 tuyến kè dọc theo sông VCT (Hình 12) bảo vệ được 6.141 m bờ sông, trong đó 3.395 m bờ trái, 2.746 m bờ phải và một số đơn vị tự nhân đã gia cố kiên cố khoảng 400 m.



Hình 12. Các tuyến kè đã đầu tư và dự kiến đầu tư tại sông VCT.

Khoảng 21,8 km bờ sông VCT trong TP. Tân An chưa được gia cố, đặc biệt có khoảng 4 đoạn bờ lồm sông cong có tổng chiều dài khoảng 5,8 km có nguy cơ sạt lở rất lớn cần được gia cố sớm và khoảng 7,5 km (Hình 13) có lớp bùn khá dày 8 ÷ 29 m, khả năng chịu tải kém và rất dễ xảy ra cung trượt sâu.



Hình 13. Các vị trí tiềm ẩn nguy cơ sạt lở trên sông VCT [3].

Một số hình ảnh sạt lở tại khu vực nghiên cứu và vùng lân cận.



Hình 14. Hình ảnh sạt lở khu vực nghiên cứu [3].

Đường bờ sông từ rạch Góc (K0) đến rạch Cần Đốt (K₀+550) thuộc xã Lợi Bình Nhơn, nằm trong đoạn sông cong dễ bị xói lở. Ngoài những đoạn xây dựng kè tạm (khoảng 230 m) các đoạn khác bị sạt lở lấn vào bờ 10 ÷ 20 m. Mái sông hiện trạng khá dốc từ m = 1,50 ÷ 2,50. Ảnh hưởng bờ lồm nên đáy lòng sông xu hướng dịch chuyển về phía hướng bờ kè có cao độ đáy từ -16,0 ÷ -20,0.

Đường bờ sông từ rạch Cần Đốt (K₀+550) ÷ K₁+50 thuộc địa bàn phường 6, TP. Tân An là đoạn sông cong, có mái dốc tự nhiên từ 1,8 ÷ 2,4; đường bờ lồi lồm từ 4 ÷ 9 m; lòng sông có cao độ từ -17,0 ÷ -21,0, cao độ bờ tự nhiên từ +1,30 ÷ +2,50.

Đường bờ từ K₁+050 ÷ K₁+674 (đường Phan Văn Lại) thuộc phường 6, TP. Tân An tương đối thẳng. Tuy nhiên đây là khu vực dân cư đông đúc. Các bãi vật liệu lấn ra sông từ 4 ÷ 14 m, dài 260 m. Hệ số mái dốc từ 1,75 ÷ 3,00; cao độ lòng sông -14,0 ÷ -18,0.

2.5. Phân tích nguyên nhân, nhân tố gây xói lở bờ

- Tương tác giữa dòng chảy và lòng dẫn: Làm cho lòng dẫn sâu thêm hay cạn đi, lòng sông bị mở rộng hay thu hẹp, nhanh hay chậm, mạnh hay yếu đều phụ thuộc các yếu tố sau:

+ Tất cả các yếu tố tác động vào lòng dẫn hay dòng chảy làm tăng lực gây trượt hay làm giảm lực chống trượt của khối đất, mất cân bằng khối đất mái bờ sông, là hiện tượng trượt hay sụt lở từng mảnh khối đất mái bờ [8].

+ Lưu tốc thực tế lớn hơn vận tốc khởi động của bùn cát cấu tạo lòng dẫn, lưu tốc càng lớn khả năng gây xói mòn lòng dẫn càng lớn [9].

+ Dòng chảy hướng vào bờ ảnh hưởng tới cơ chế xói lở, hố xói hình thành hay không hình thành, hình thành ở đâu, mái bờ sông bị xói mặt hay xói chân... sẽ dẫn tới tốc độ xói lở bờ nhanh hay chậm.

+ Hai mùa mưa nắng gây ra chế độ dòng chảy theo hai mùa khác biệt, dòng chảy có lưu tốc, lưu lượng lớn gấp nhiều lần mùa kiệt. Mùa mưa đất bão hòa nước sẽ bị giảm tính chất cơ lý đất bề mặt, gia tăng trọng lượng bản thân tang lực gây trượt. Dòng chảy thủy triều với lưu tốc lớn, gây nên sóng triều, tạo nên các xoáy lớn trong nội bộ dòng chảy [10].

+ Lũ càng lớn (diện tích MC ướt, lưu lượng càng lớn), mực nước lũ (H) càng cao, kéo dài, lưu tốc lũ vượt nhiều lần so với lưu tốc cho phép không xói ($V_{max} > [V]_{xói}$), bờ sông bị sạt lở, thể sông dịch chuyển, hình thái sông thay đổi theo hướng ngày càng bất lợi; dòng chảy lũ là nguyên nhân chủ yếu gây ra sạt lở bờ sông.

+ Dòng chảy giảm hàm lượng chất lơ lửng, phân lưu dòng chảy, hạ thấp lòng dẫn kênh chính sẽ hạ thấp lòng dẫn các chi lưu, tàu thuyền neo đậu hay cập bến; chênh lệch đỉnh triều và chân triều cao, co hẹp mặt cắt (MC) ướt, khai thác cát [11].

- Sóng - nguyên nhân gây xói lở bờ:

Dưới tác động của áp lực sóng (do gió hay tàu thuyền gây ra) mái bờ sông bị phá vỡ kết cấu, các hạt bùn cát của lòng dẫn bị tách rời và dịch chuyển đi nơi khác [12].

Xói lở bờ sông do sóng gió hay sóng tàu gây ra có khối lở bé nhưng diễn ra liên tục nên ảnh hưởng không nhỏ tới xói lở bờ.

- Gia tải lên mép bờ sông gây xói lở bờ do:

+ Xây dựng nhà cửa, cơ sở hạ tầng, chất hàng hóa v.v...;

+ Lũ xuống triều rút làm tăng trọng lượng khối đất bờ hay giảm áp lực đẩy nổi;

+ Mưa làm bão hòa khối đất bờ và phát sinh áp lực thấm....

- Hình thái sông ảnh hưởng tới xói lở bờ [13]:

+ Địa hình đáy sông, thể sông khống chế, chi phối và tạo nên kết cấu dòng chảy của MC. ngang sông ảnh hưởng tới xói lở bờ, cũng như toàn bộ dòng chảy;

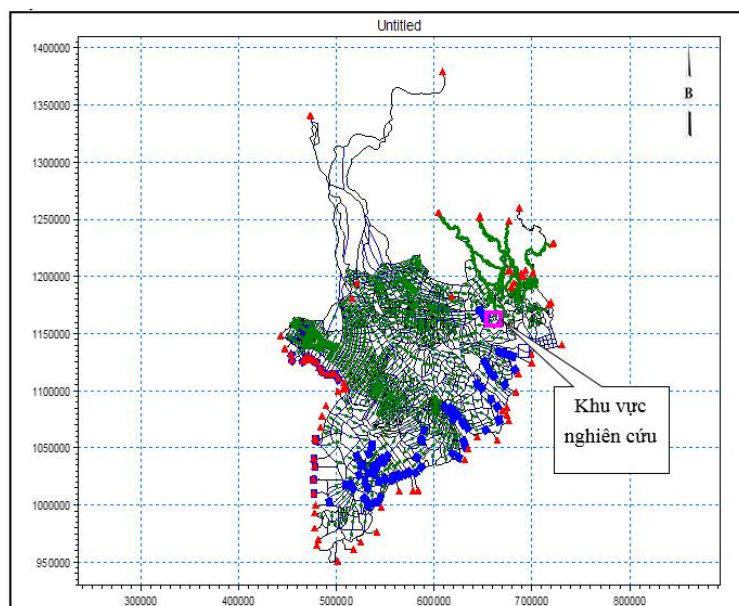
+ Hình dạng đoạn sông ảnh hưởng tới xói lở bờ, đoạn sông cong, dòng chủ lưu tập trung vào bờ lõm sông gây gia tăng khả năng lưu chuyển bùn cát dẫn đến sạt lở [13].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Thiết lập mô hình MIKE 11 và kết quả tính toán

3.1.1. Thiết lập mô hình thủy lực MIKE 11 cho hệ thống sông

Toàn bộ hệ thống sông kênh trong khu vực được mô hình bằng phần mềm MIKE 11 và được đưa vào mạng lưới sông rạch của toàn bộ vùng ĐBSCL và Đông Nam Bộ. Đây là mạng lưới đã được lập từ trước, đã được sử dụng để tính toán trong nhiều nghiên



Hình 15. Sơ đồ tính toán thủy lực khu vực nghiên cứu [16].

cứu và đề tài nghiên cứu với độ tin cậy cao, trong đó có nhiều nghiên cứu đã và đang trong quá trình xây dựng. Mạng lưới sông rạch được mô hình hóa cụ thể như sau: Các sông kênh rạch được số hoá 1.415 nhánh sông; thể hiện bởi khoảng hơn 68.900 MC. Mô hình thủy lực MIKE 11 toàn ĐBSCL và Đông Nam bộ (Hình 15).

Tại khu vực nghiên cứu, xác định được 43 loài cây ngập mặn thuộc 22 họ, trong đó họ Đước chiếm nhiều nhất với 5 loài chủ yếu (Bảng 1). Trong số đó, có 23 loài cây ngập mặn thực thụ thuộc 11 họ và 20 loài cây tham gia ngập mặn. Tại vùng rừng ngập mặn huyện Bình Đại xác định được 17 loài cây thực vật ngập mặn, ít hơn so với khu vực rừng ngập mặn Thạnh Phú 5 loài. Số loài cây tham gia rừng ngập mặn ở khu vực Thạnh Phú là 20 loài, nhiều hơn số loài cây tham gia rừng ngập mặn ở huyện Bình Đại. Số loài cây ngập mặn ở Thạnh Phú trong nghiên cứu có khác về số lượng so với nghiên cứu công bố năm 2020 và 2022 của [17–18] công bố 14 loài cây ngập mặn thực thụ và 9 loài tham gia rừng ngập mặn và [19] công bố 21 loài ngập mặn và 27 loài tham gia.

3.1.2. Hiệu chỉnh, kiểm định mô hình

Năm được chọn để hiệu chỉnh mô hình là năm có đủ số liệu thực đo trên hệ thống sông đang xét và cũng là năm có lũ khá lớn so với chuỗi quan trắc trên toàn hệ thống. Điều đó sẽ đảm bảo tính đặc trưng cho hệ thống và đảm bảo độ chính xác cho mô hình khi áp dụng với các dạng lũ đơn giản hơn. Căn cứ vào tiêu chí lựa chọn, dựa vào số liệu thực đo thu thập được, mô hình được hiệu chỉnh theo các số liệu thực đo vào các tháng mùa lũ từ tháng 7 ÷ tháng 11/2000. Sau khi hiệu chỉnh mô hình, phải dùng chuỗi quan trắc độc lập với chuỗi đã dùng trong hiệu chỉnh để kiểm định mô hình. Trong giai đoạn kiểm định không thay đổi các tham số thủy lực đã chọn trong giai đoạn hiệu chỉnh. Nếu kết quả kiểm định cho thấy sai số nằm trong phạm vi chấp nhận được, mô hình đáp ứng được nhu cầu cho dự báo. Mô hình được hiệu chỉnh tháng 7 ÷ tháng 11/2000; kiểm định tháng 07 ÷ tháng 11/2011 và tháng 6/2019 (theo số liệu khảo sát thủy văn tại Rạch Chanh thuộc phạm vi nghiên cứu).

3.1.3. Các kịch bản và tính toán kết quả

Khu vực nghiên cứu chịu ảnh hưởng bởi lũ trên ĐBSCL và triều biển Đông ảnh hưởng vào thông qua sông Soài Rạp - Vàm Cỏ. Lũ năm 2000 trên vùng ĐBSCL là một trong những trận lũ lớn, điển hình ảnh hưởng đến khu vực nghiên cứu. Các kịch bản tính toán và các kết quả tính toán theo các kịch bản được thể hiện trên Bảng 7-8.

Bảng 7. Các kịch bản tính toán.

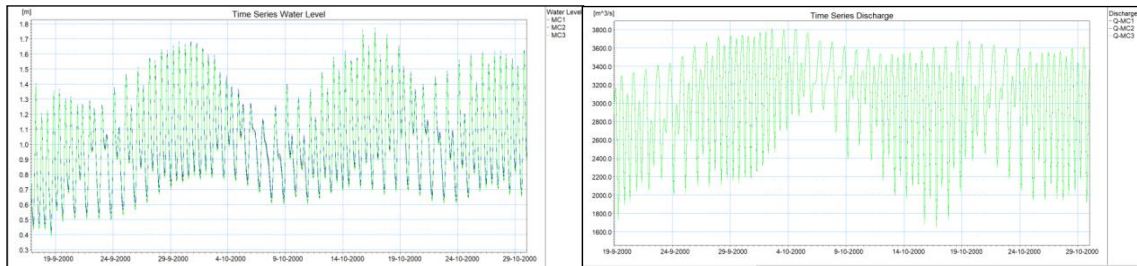
Tên kịch bản (KB)	Nội dung tính toán
KB.1	Lũ 2000 trong điều kiện hiện trạng
KB.2	Lũ 2000 trong điều kiện xét đến NBD 2050
KB.3	Lũ 2000 trong điều kiện xét đến NBD 2100



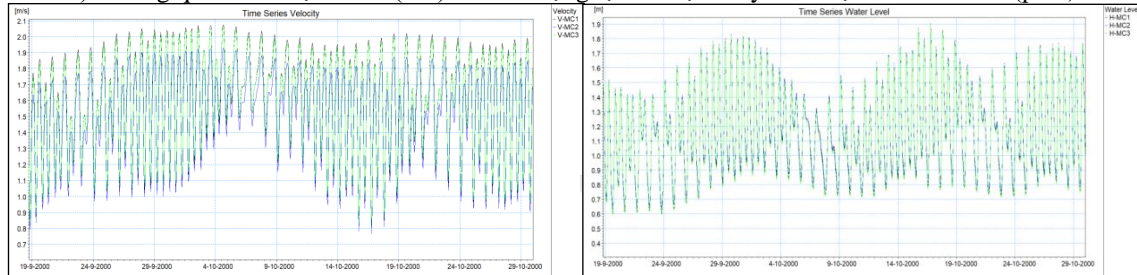
Hình 16. Sơ họa vị trí trích kết quả mô hình thủy lực.

Bảng 8. Kết quả tính toán các KB [4].

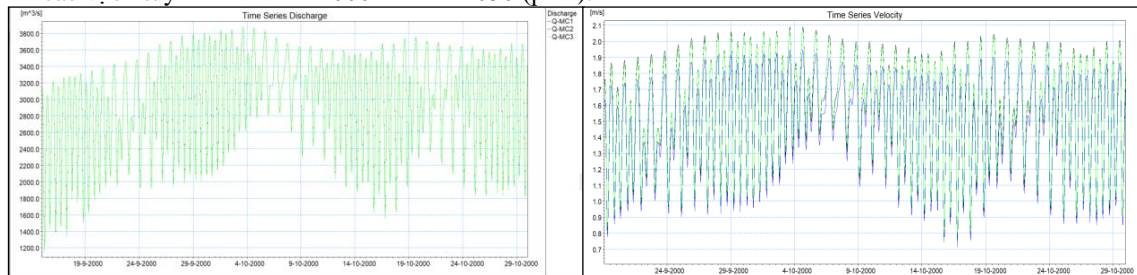
Tên kịch bản	Vị trí	H _{max} (m)	Q _{max} (m ³ /s)	V _{max} (m/s)
KB.1	Đầu tuyến kè	1,77	3806,2	2,07
	Giữa tuyến kè	1,77	3807,1	1,93
	Cuối tuyến kè	1,77	3807,9	2,05
KB.2	Đầu tuyến kè	1,92	3878,3	2,09
	Giữa tuyến kè	1,91	3879,5	1,95
	Cuối tuyến kè	1,91	3880,7	2,08
KB.3	Đầu tuyến kè	2,11	3920,6	2,07
	Giữa tuyến kè	2,10	3921,8	1,94
	Cuối tuyến kè	2,10	3922,6	2,07



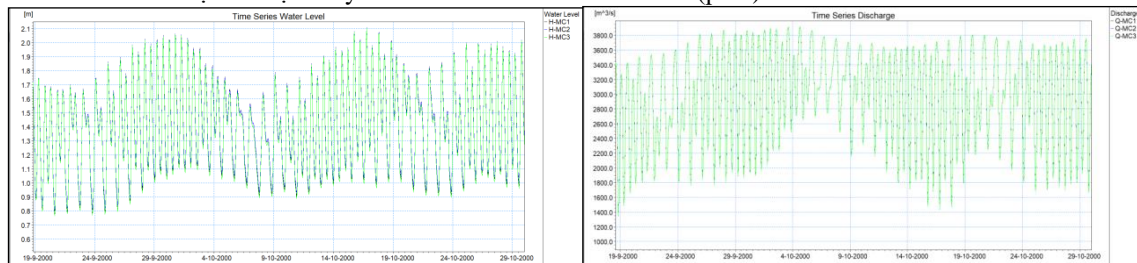
a) Đường quá trình mực nước (trái) và lưu lượng tại các vị trí tuyến kè kịch bản lũ 2000 (phải).



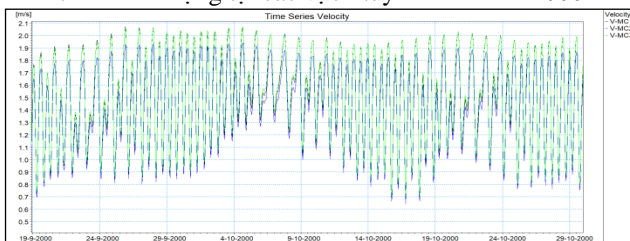
b) Đường quá trình lưu tốc tại các vị trí tuyến kè KB lũ 2000 (trái) và Đường quá trình mực nước tại các vị trí tuyến kè KB. lũ 2000+BĐKH2050 (phải).



c) Đường quá trình lưu lượng tại các vị trí tuyến kè KB. lũ 2000+BĐKH2050 (trái) và Đường quá trình lưu tốc tại các vị trí tuyến kè KB lũ 2000+BĐKH2050 (phải).



d) Đường quá trình mực nước tại các vị trí tuyến kè KB. lũ 2000+BĐKH2100 (trái) và Đường quá trình lưu lượng tại các vị trí tuyến kè KB lũ 2000+BĐKH2100 (phải).



e) Đường quá trình lưu tốc tại các vị trí tuyến kè KB. lũ 2000 và BĐKH 2100.

Hình 17. Đường quá trình mực nước, lưu lượng và lưu tốc ở các KB.

Trong thời gian ảnh hưởng bởi lũ thượng lưu trên ĐBSCL lưu lượng dòng chảy luôn theo chiều dương, chứng tỏ dòng chảy lũ từ thượng lưu về chiếm ưu thế, tuy nhiên vẫn còn ảnh hưởng bởi thủy triều nhưng biên độ triều dao động nhỏ hơn các tháng không có lũ.

Theo kết quả tính toán thủy lực, mực nước, lưu lượng lớn nhất tại vị trí nghiên cứu:

Trường hợp ứng với trận lũ 2000: $H_{\max} = +1,77$ m, $Q_{\max} = 3.807,99$ m³/s, $V_{\max} = 1,93 \div 2,07$ m/s;

Trường hợp xét đến BĐKH&NBD 2050: $H_{\max} = +1,92$ m, $Q_{\max} = 3.880,69$ m³/s, $V_{\max} = 1,95 \div 2,09$ m/s;

Trường hợp xét đến BĐKH&NBD 2100, $H_{\max} = +2,11$ m, $Q_{\max} = 3.922,64$ m³/s, $V_{\max} = 1,94 \div 2,07$ m/s.

Lưu lượng gần như không thay đổi dọc theo tuyến [14]. Lưu tốc đầu tuyến và cuối tuyến lớn hơn lưu tốc ở giữa tuyến là do MC rút sông khu vực giữa tuyến rộng hơn.

Mực nước lớn nhất theo kết quả tính toán thủy lực nhỏ hơn mực nước theo kết quả tính toán thủy văn, có thể do các nguyên nhân truyền dòng chảy lũ, triều nên sự gia tăng mực nước triều do BĐKH&NBD vào khu vực nghiên cứu nhỏ hơn. Để thiên về an toàn kiến nghị lựa chọn mực nước thiết kế công trình đã đề xuất tại mục 2.1.6.

3.2. Kết quả tính toán từ MIKE 21

3.2.1. KB. tính toán: Tính toán cho hai phương án (PA)

(1) PA.1: Dòng chảy triều bình thường tháng 7/2000; (2) PA.2: Dòng chảy lũ tháng 9 ÷ 10 (lũ 2000).

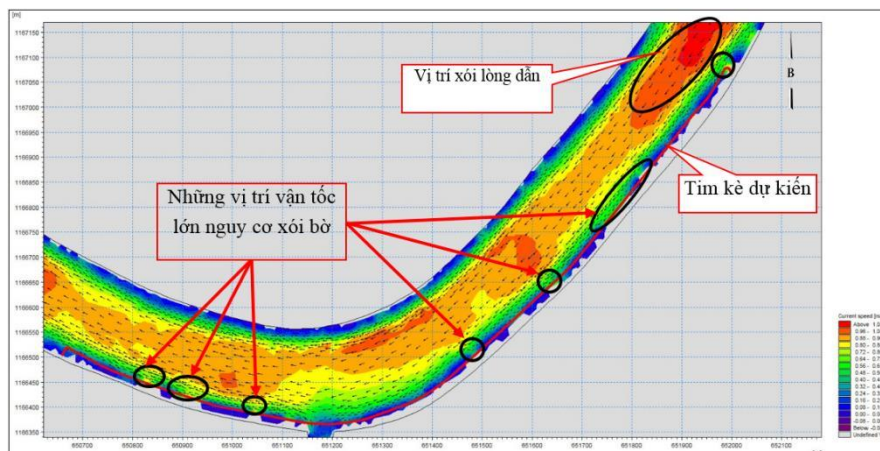
3.2.2. Phân tích kết quả tính toán

Chế độ dòng chảy khu vực nghiên cứu khá phức tạp do nằm tại vị trí đoạn cong của sông VCT. Dòng chảy chịu ảnh hưởng trực tiếp bởi lũ thượng nguồn và triều biển Đông.

*PA. 1: Dòng chảy triều bình thường tháng 7/2000

Trường hợp địa hình lòng sông hiện trạng:

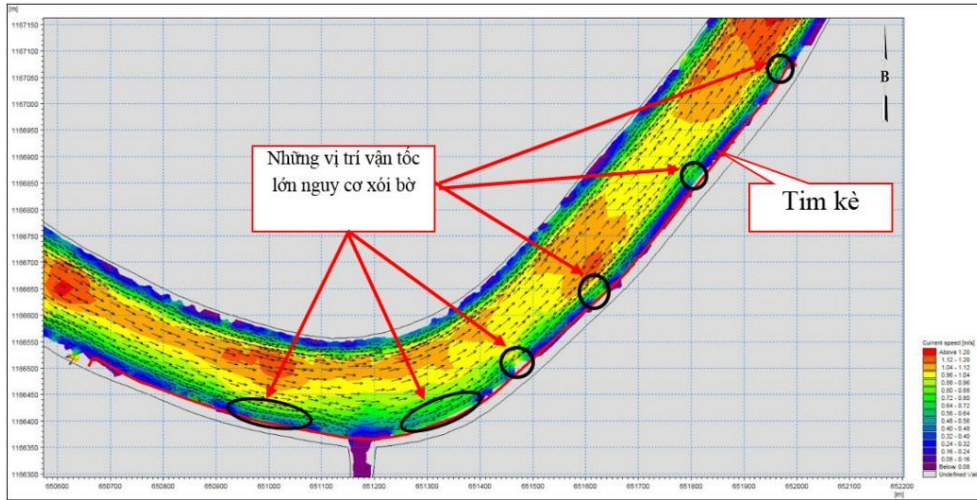
Tại khu vực nghiên cứu, chế độ dòng chảy triều ảnh hưởng mạnh nhất vào khoảng 6 ÷ 7 giờ từ thời điểm bắt đầu triều lên hoặc bắt đầu xuống. Tại thời gian này do khu vực nghiên cứu nối tiếp điểm cong hẹp của sông VCT. nên dòng triều chịu ảnh hưởng lưu tốc lớn. Lưu tốc có thể đạt từ 1 ÷ 1,5 m/s, lớn xảy ra tại vị trí co hẹp dòng chảy như hình 18. Lưu tốc lớn gây xói lòng dẫn và có nguy cơ gây sạt lở đường bờ.



Hình 18. Lưu tốc dòng chảy triều lên lớn nhất khu vực kè với lòng sông hiện trạng.

Thời gian triều lên, dòng chảy triều lớn có xu hướng thúc mạnh vào đoạn phía thượng nguồn bờ hữu đoạn sông cong trong phạm vi khoảng 400 m tính từ rạch Cần Đốt về phía thượng lưu. Phía hạ lưu từ rạch Cần Đốt đến đường Phan Văn Lại cũng xuất hiện rải rác các

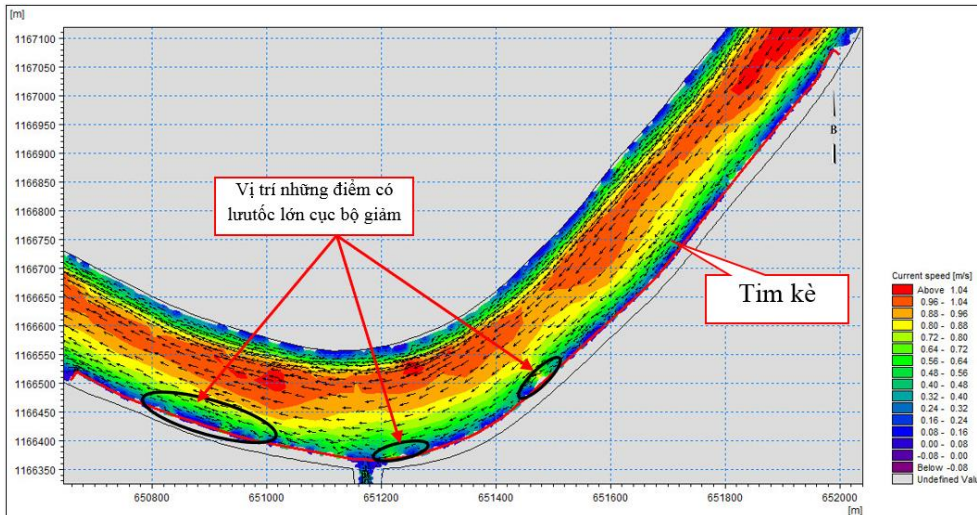
vị trí có lưu tốc lớn. Tại các vị trí cục bộ, lưu tốc ven bờ lớn khoảng $0,8 \div 1,0$ m/s, có xu hướng moi bờ đất làm tăng nguy cơ xói bờ cho bờ sông này. Phía bờ đối diện (bờ lồi) dòng chảy êm hơn, có xu hướng đồng đều dọc theo bờ sông. Lưu tốc ven bờ khoảng $0,1 \div 0,3$ m/s.



Hình 19. Lưu tốc dòng chảy triều xuống lớn nhất khu vực kè với lòng sông hiện trạng.

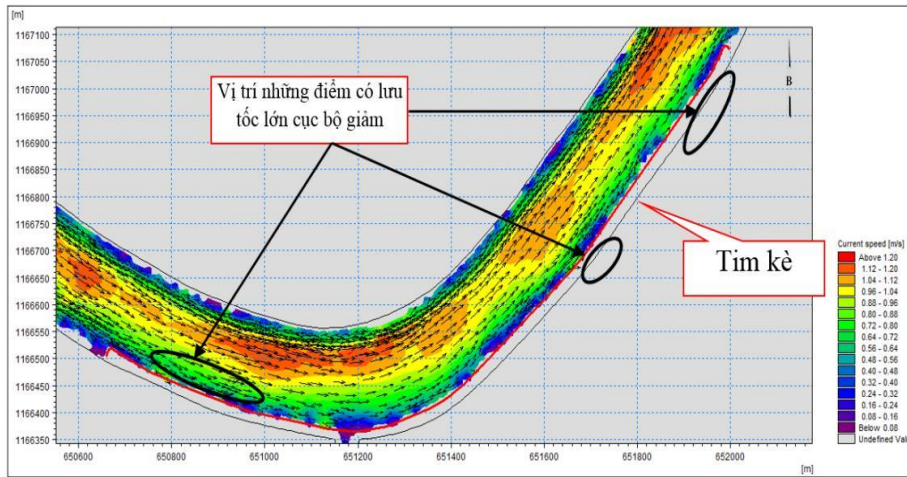
Thời gian triều xuống, lưu tốc lớn hơn thời kỳ triều lên, V_{max} đạt khoảng 1,2 m/s. Dòng chảy thủy triều rút từ hướng thượng nguồn về, ảnh hưởng mạnh mẽ đến đoạn sông cong và phía hạ lưu khoảng 1,1 km đến khu vực đường Phan Văn Lại. Do tính chất đoạn sông cong nên dọc theo phạm vi từ rạch Góc đến đường Phan Văn Lại xuất hiện những vị trí có lưu tốc lớn cục bộ, có xu hướng làm xói lở bờ (Hình 20). Lưu tốc ven bờ từ $0,8 \div 1,04$ m/s, giữa lòng sông đạt khoảng 1,2 m/s. Tương tự như thời kỳ triều lên, phía bờ đối diện (bờ lồi) dòng chảy êm hơn và có xu hướng đồng đều dọc theo bờ sông. Lưu tốc dòng chảy ven bờ khoảng $0,1 \div 0,4$ m/s.

Trường hợp xây dựng kè:



Hình 20. Lưu tốc triều lên lớn nhất khu vực kè với lòng sông hiện trạng kết hợp kè.

Kết quả cho thấy sau khi xây dựng tuyến kè trường hợp triều lên, lưu tốc lớn cục bộ tại những điểm bờ có nguy cơ gây xói lở giảm từ $0,86 \div 0,46$ m/s. Số lượng các điểm có lưu tốc lớn cục bộ giảm đi, lưu tốc ven bờ có xu hướng đều hơn do tuyến kè lựa chọn trơn thuận. Khi có tuyến kè lưu tốc lớn nhất thời kỳ triều lên gần như không đổi so với lúc chưa có kè, V_{max} đạt 1,04 m/s. Như vậy tuyến kè không làm co hẹp dòng chảy và gần như không làm gia tăng mực nước khu vực.



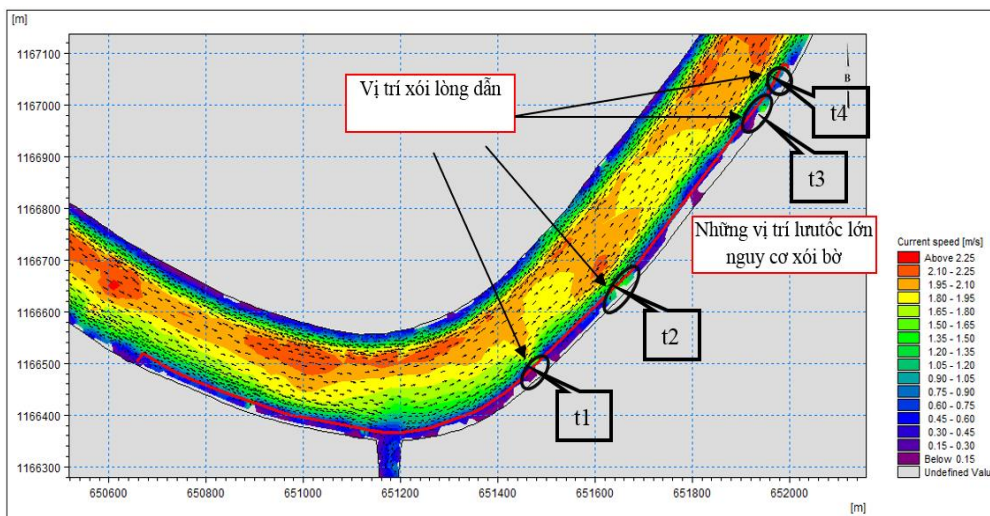
Hình 21. Lưu tốc triều xuống lớn nhất khu vực kè với lòng sông hiện trạng kết hợp kè [4].

Trường hợp triều xuống khi xây dựng tuyến kè, lưu tốc tại những điểm lớn cục bộ giảm từ khoảng $0,95 \div 0,79$ m/s tại những vị trí có nguy cơ xói bờ. Lưu tốc trên đoạn sông gần như không thay đổi so với thời gian chưa xây dựng kè.

*PA. 2: Dòng chảy lũ tháng 9 \div 10 (lũ 2000)

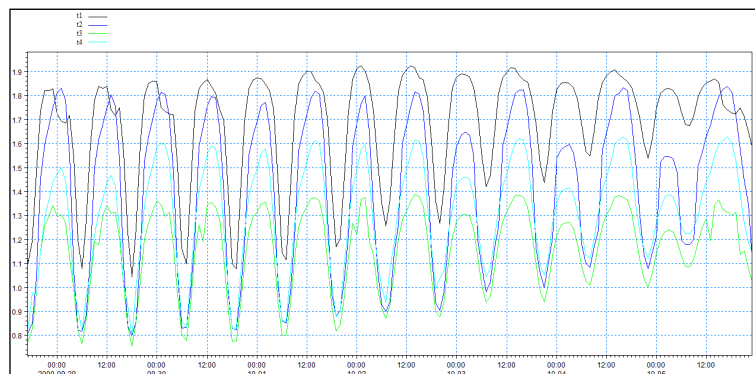
Trường hợp địa hình lòng sông hiện trạng:

Trong thời gian ảnh hưởng bởi lũ thượng lưu trên ĐBSCL lưu lượng dòng chảy luôn theo chiều dương, điều này chứng tỏ dòng chảy lũ từ thượng lưu về chiếm ưu thế, tuy nhiên vẫn còn ảnh hưởng bởi thủy triều nhưng biên độ triều dao động nhỏ hơn các tháng không có lũ.



Hình 22. Lưu tốc lũ lớn nhất khu vực kè với lòng sông hiện trạng.

Trong thời kỳ tiêu lũ, dòng chảy lũ lớn hướng về phía hạ lưu thúc mạnh vào đoạn hạ lưu bờ lởm gây ra những vị trí có lưu tốc lớn cục bộ. Lưu tốc ven bờ lớn nhất đạt khoảng $1,4 \div 1,9$ m/s và có nguy cơ cao gây sạt lở nghiêm trọng khu vực bờ (Hình 23).

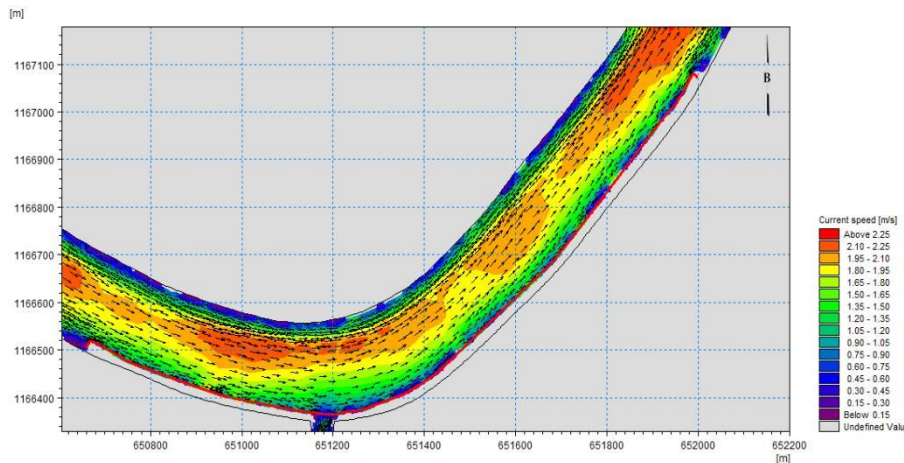


Hình 23. Biểu đồ lưu tốc lũ lớn nhất khu vực kè với lòng sông hiện trạng [3].

Bảng 9. Bảng giá trị lưu tốc lớn nhất thời kỳ lũ lớn tại các điểm cục bộ.

Điểm	t.1	t.2	t.3	t.4
V_{max} (m/s)	1,92	1,81	1,39	1,61

PA xây dựng kè: Sau khi tuyến kè được xây dựng, lưu tốc tại vùng bờ có xu hướng giảm và chảy êm hơn so với bờ hiện trạng do tuyến kè lựa chọn là đường tròn thuận. Thỉnh thoảng xuất hiện một số vị trí lưu tốc ven bờ đạt khoảng $1,2 \div 1,5$ m/s. Tuy nhiên, với PA kết cấu kè lựa chọn là bê tông thì lưu tốc này được đảm bảo. Lưu tốc lớn nhất trên đoạn sông sau khi xây dựng tuyến kè đạt 2,25 m/s, chủ yếu ở giữa lòng sông (Hình 24). Như vậy, tuyến kè xây dựng không làm co hẹp dòng chảy không ảnh hưởng đến khả năng thoát lũ của lòng sông.



Hình 24. Lưu tốc lũ lớn nhất với lòng sông hiện trạng kết hợp kè.

3.2.3. Phân bố tốc độ dòng chảy theo MC ngang

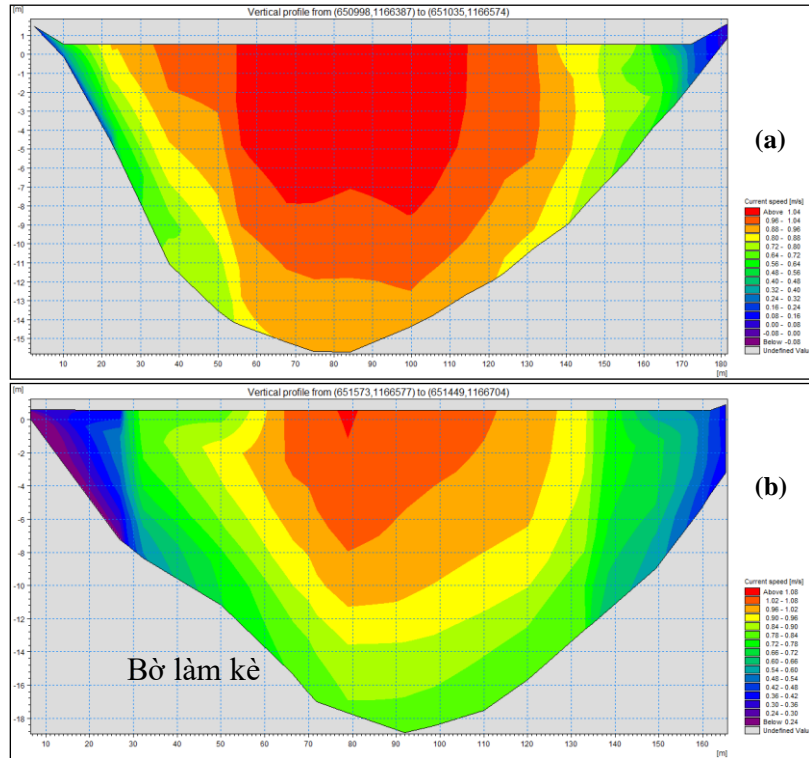
Để đánh giá tốc độ dòng chảy trên MC ngang khu vực nghiên cứu khai thác kết quả từ mô hình dòng chảy ba chiều xét trên các MC sông đại diện khu vực nghiên cứu như Hình 25.

- +MC.1: đoạn sông cong phía thượng nguồn (từ rạch Góc đến rạch Cần Đốt);
- +MC.2: đoạn sông cong phía hạ nguồn (từ rạch Cần Đốt đến đường Phan Văn Lại).



Hình 25. Các vị trí tính toán lưu tốc trong mô hình.

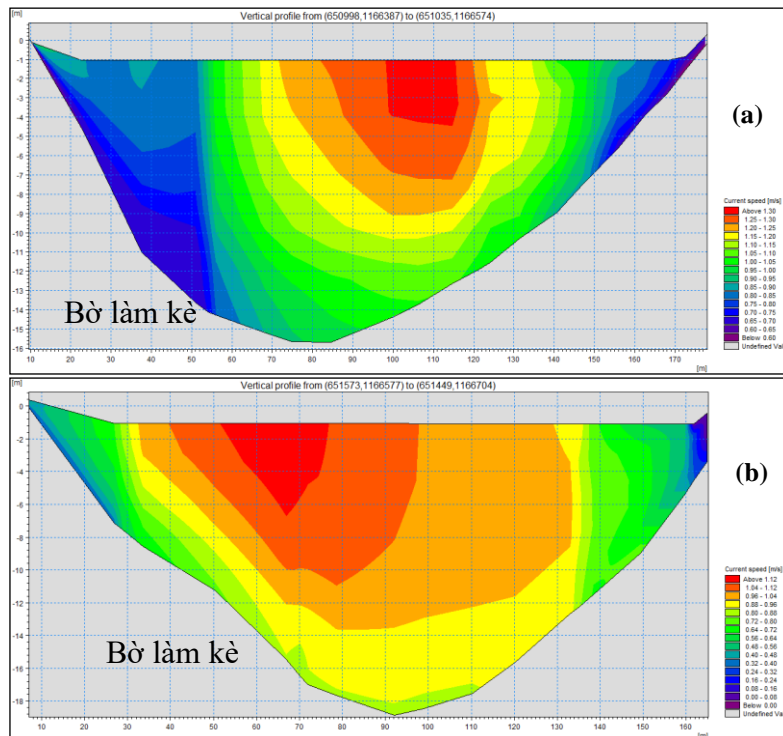
Vào thời kỳ triều lên: Lưu tốc phân bố theo xu hướng lớn nhất ở giữa lòng sông phía trên mặt và thấp dần về phía hai bờ sông và đáy sông. Lưu tốc lớn nhất trên mặt sông đạt trên 1,04 m/s. Lưu tốc dưới đáy sông khu vực ven bờ từ $0,6 \div 0,7$ m/s, khu vực giữa lòng từ $0,90 \div 1,04$ m/s. Phân bố lưu tốc có xu hướng lớn hơn phía bờ lõm của đoạn sông cong (khu vực xây dựng kè) (Hình 26).



Hình 26. Phân bố lưu tốc lớn nhất của (a) MC.1, (b) MC. 2 thời điểm triều lên.

Lưu tốc phân bố theo xu hướng lớn nhất ở giữa lòng sông phía trên mặt và thấp dần về phía hai bờ sông và đáy sông. Lưu tốc lớn nhất trên mặt sông đạt trên 1,08 m/s. Lưu tốc dưới đáy sông khu vực ven bờ từ 0,4 ÷ 0,5 m/s, khu vực giữa lòng từ 1,00 ÷ 1,08 m/s.

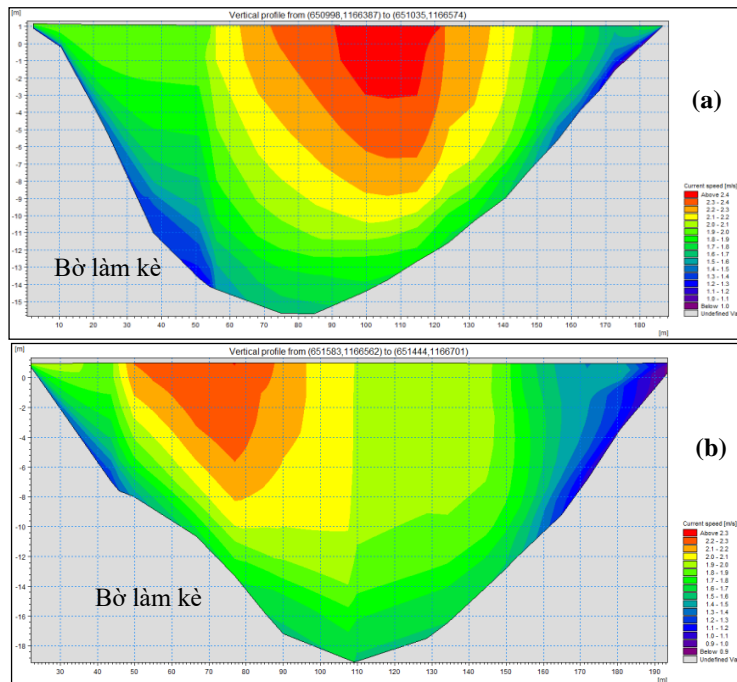
Vào thời kì triều xuống: Lưu tốc phân bố theo xu hướng lớn nhất ở giữa lòng sông phía trên mặt và thấp dần về phía hai bờ sông và đáy sông. Lưu tốc lớn nhất trên mặt sông trên 1,3 m/s. Lưu tốc dưới đáy sông khu vực ven bờ ở khoảng từ 0,8 ÷ 0,9 m/s, khu vực giữa lòng từ 1,2 ÷ 1,3 m/s (Hình 27).



Hình 27. Phân bố lưu tốc lớn nhất của (a) MC.1, (b) MC. 2 thời điểm triều xuống.

Lưu tốc phân bố theo xu hướng lớn nhất ở giữa lòng sông phía trên mặt và thấp dần về phía hai bờ sông và đáy sông. Lưu tốc lớn nhất trên mặt sông đạt trên 1,12 m/s. Lưu tốc dưới đáy sông khu vực ven bờ ở khoảng từ 0,6 ÷ 0,7 m/s, khu vực giữa lòng ở khoảng từ 1,0 ÷ 1,12 m/s. Phân bố dòng chảy có xu hướng lệch về phía bờ lồi của đoạn sông cong vào thời kỳ triều xuống.

Vào thời kì lũ lớn nhất: Lưu tốc phân bố lớn nhất ở giữa lòng sông phía trên mặt và thấp dần về hai phía bờ sông và đáy sông. Lưu tốc lớn nhất trên mặt sông đạt trên 2,4 m/s. Lưu tốc dưới đáy sông khu vực ven bờ ở khoảng từ 1,6 ÷ 1,7 m/s, khu vực giữa lòng ở khoảng từ 1,6 ÷ 1,8 m/s. Lưu tốc phân bố theo xu hướng lớn nhất ở giữa lòng sông phía trên mặt và thấp dần về phía hai bờ sông và đáy sông. Lưu tốc lớn nhất trên mặt sông đạt trên 2,3 m/s. Lưu tốc dưới đáy sông khu vực ven bờ từ 1,7 ÷ 1,8 m/s, giữa lòng từ 1,5 ÷ 1,7 m/s. Phân bố dòng chảy tại MC. 2 có xu hướng lệch về phía bờ lồi của đoạn sông cong vào thời kỳ lũ xuống (Hình 28).



Hình 28. Phân bố lưu tốc lớn nhất của (a) MC. 1, (b) MC. 2 thời điểm lũ lớn nhất.

3.3. Giải pháp công trình ứng phó sạt lở bờ sông VCT

Công trình kè phòng, chống sạt lở bờ sông VCT đoạn từ Rạch Góc đến đường Phan Văn Lại, TP. Tân An có tổng chiều dài toàn tuyến công trình là 1.674 m.

Hình thức kè: Khu vực xây dựng kè nằm trong khu vực TP. Tân An nên yêu cầu thẩm mỹ cao. Vì vậy đề xuất lựa chọn kết cấu kè tường đứng kết hợp mái nghiêng bằng kết cấu cừ bê tông cốt thép (BTCT) dự ứng lực (DUL) hoặc tường chữ L trên nền cọc BTCT, bởi vì kết cấu kè toàn bộ mái nghiêng sẽ tăng thêm diện tích chiếm đất 1 ha đất ở đô thị và giảm mỹ quan khi đoạn bờ từ đỉnh kè xuống khoảng 3 m nước thường xuyên rút xuống lộ bùn và cây cối mọc lên mái. Giải pháp kè tường đứng kết hợp mái nghiêng đồng bộ cho toàn tuyến trong khu vực đã được xây dựng.

Cao trình đỉnh kè: Theo kết quả tính toán và phân tích trong thuyết minh thiết kế cơ sở, đồng thời phù hợp cao trình đỉnh kè trên sông VCT thuộc TP. Tân An. Cao trình đỉnh kè được lựa chọn là +2,50 m.

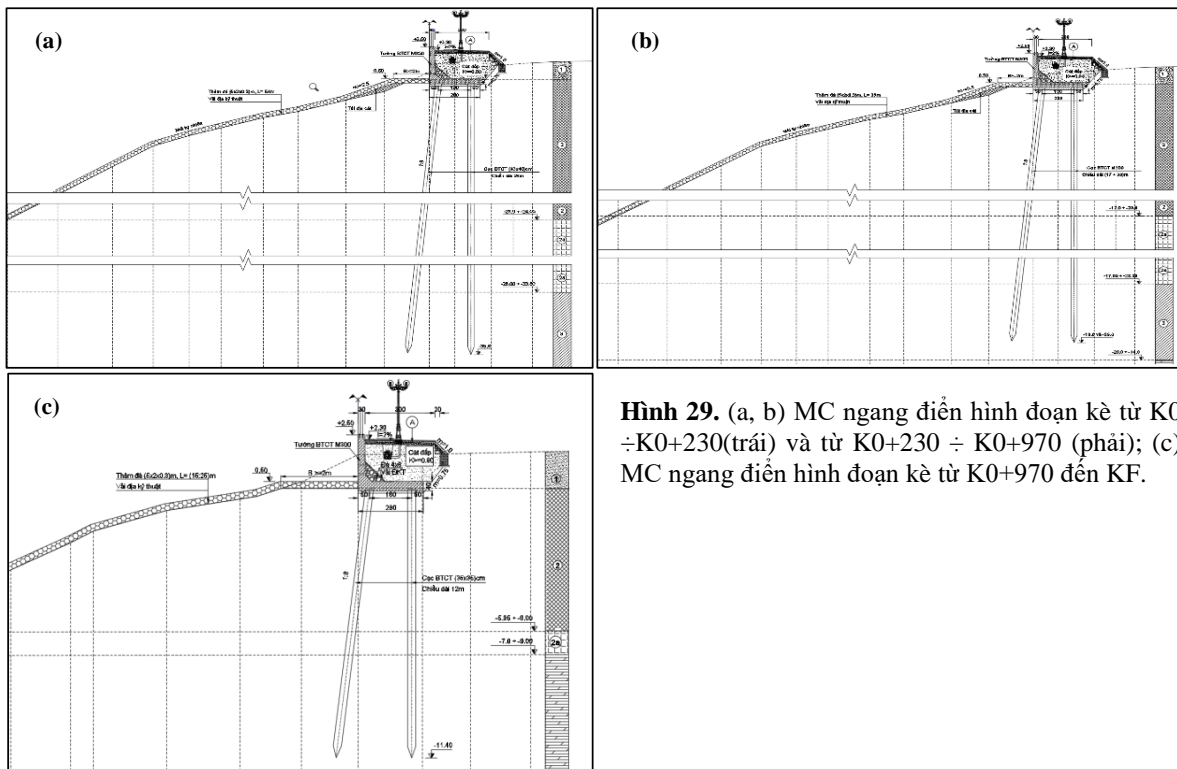
3.3.1. PA.1: Tường kè đứng chữ L trên nền cọc BTCT kết hợp mái nghiêng

a) Kết cấu tường kè: Đỉnh kè bằng tường góc BTCT M300 trên nền cọc BTCT M300. Kết cấu tường góc BTCT: Bản mặt tường BTCT dày 30 cm, cao 2,0 m (từ cao trình +2,5 ÷

+0,5); bản đáy tường BTCT dày 40 cm, rộng 2,8 m, phía dưới bản đáy là lớp bê tông lót đá 4x6 dày 10 cm.

b) Gia cố nền: Chiều dày lớp bùn, đất dẻo mềm từ 5 ÷ 32 m nên chia làm nhiều đoạn bố trí chiều dài cọc khác nhau. Gia cố nền bằng cọc vuông 40x40 cm BTCT M300, chiều dài cọc L=36 m (K0 ÷ K0+230), cọc 35x35 L=30 m (K0+230 ÷ K0+360), L=24 m (K0+360 ÷ K0+525), L=24 m (K0+583 ÷ K0+730), L=19 m (K0+730 ÷ K0+800), L=17 m (K0+800 ÷ K0+970) và L=12 m (K0+970 ÷ K1+674). Căn cứ vào kết quả tính toán, kết cấu cọc lựa chọn dựa vào khả năng chịu tải, chuyển vị nền và độ mảnh cọc. Đoạn K0 ÷ K0+230: gia cố thêm 02 hàng cừ dứa, tận dụng làm đê quay khi thi công để tăng ổn định mái phía sông.

c) Gia cố chống xói chân kè: Thảm đá dày 30 cm kết hợp lót vải địa kỹ thuật, những vị trí lòng kênh tự nhiên bị xói sâu sử dụng túi địa cát đắp bù tạo mái trước khi trải thảm đá.



Hình 29. (a, b) MC ngang điển hình đoạn kè từ K0 ÷ K0+230(trái) và từ K0+230 ÷ K0+970 (phải); (c) MC ngang điển hình đoạn kè từ K0+970 đến KF.

Phạm vi gia cố thảm đá: Căn cứ vào kết quả tính toán thủy văn, thủy lực và lưu tốc không xói của nền gia cố thảm đá đến đáy lòng sông khu vực nền đất yếu đến vị trí mái dốc $m \geq 3,0$ theo TCVN 8419: 2010 (đối với lưu tốc < 2 m/s) [15].

Trong điều kiện thông thường lưu tốc thủy triều lên và xuống lưu tốc ven bờ luôn nhỏ hơn lưu tốc cho phép của nền nên không gây xói lở. Lưu tốc trường hợp lũ tương ứng 2% lớn hơn lưu tốc không xói nền cho phép từ 4 ÷ 20% (chủ yếu giữa đáy lòng sông). Tuy nhiên, trường hợp này tần suất xảy ra rất thấp không riêng vị trí kè mà toàn bộ sông VCT khu vực TP. Tân An, cũng như tốc độ bồi lắng của dòng chảy nên đề xuất không gia cố toàn bộ lòng sông.

3.3.2. PA. 2: Tường cừ đứng BTCT DUL kết hợp mái nghiêng

Đoạn kè K0 ÷ K0+970 nếu sử dụng PA tường cừ BTCT DUL có chi phí thường khá cao so với PA kè tường góc (Chữ L trên nền cọc BTCT) và không phù hợp với chiều dày lớp bùn quá lớn vì chiều dài cừ có giới hạn và không thể đóng xiên. Trường hợp vẫn sử dụng cho vùng đất bùn dày thì phải bổ sung bản giảm tải trên nền cọc BTCT hoặc hệ thống neo, khi đó chi phí xây dựng cho đoạn kè K0 ÷ K0+970 theo PA tường cừ BTCT DUL được ước tính 156,8 tỷ đồng. Trên cùng tuyến nếu so sánh với chi phí xây dựng kè tường góc được ước tính 60,8 tỷ đồng có sự chênh lệch về chi phí xây dựng quá lớn.

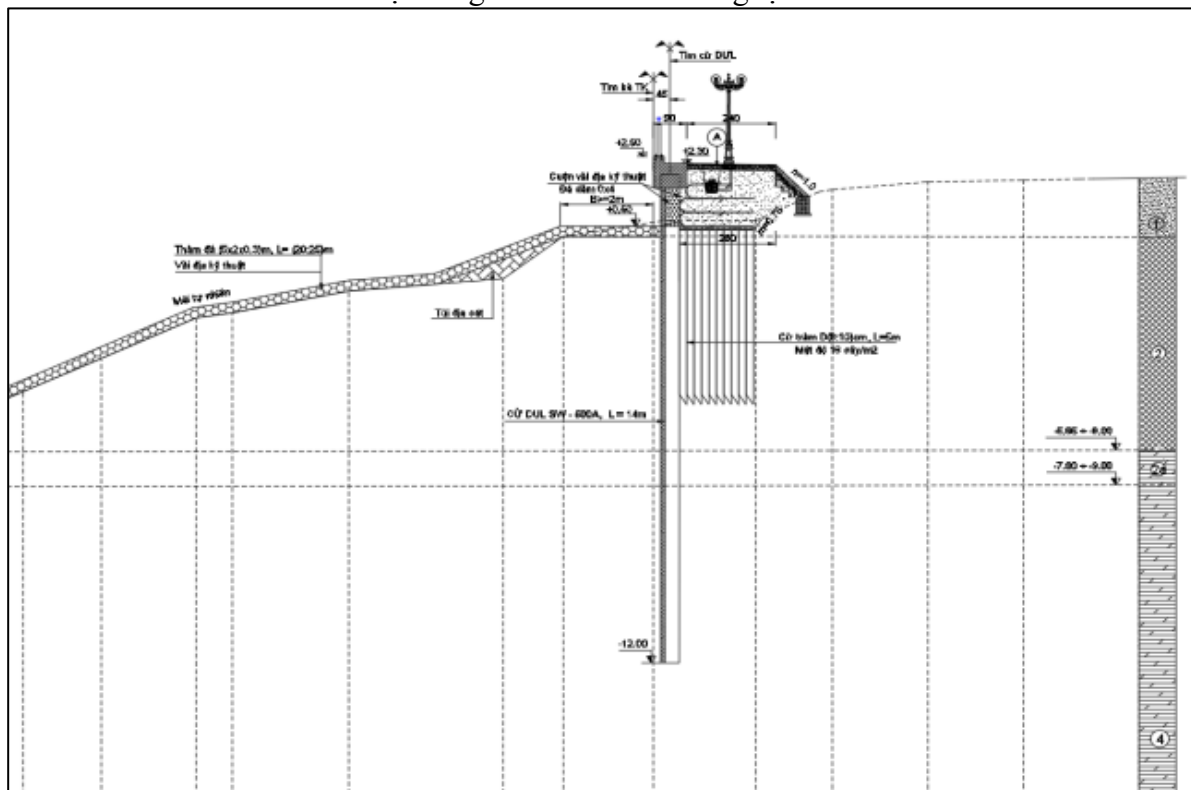
Đối với những vùng có địa chất lớp bùn mỏng từ 3 ÷ 7 m thì giải pháp cừ BTCT DUL tương đối khả thi. Khi đó có thể so sánh chi phí về xây lắp, biện pháp thi công và tiến độ thi công để lựa chọn giải pháp phù hợp.

Vì vậy đoạn kè từ K0 ÷ K0+970 có chiều dày lớp bùn và dẻo mềm từ 7 ÷ 32 m vẫn chọn PA kè tường góc chữ L trên nền cọc BTCT. Đoạn kè từ K0+970 ÷ K1+674 chọn giải pháp cừ BTCT DUL để so sánh với PA kè tường góc chữ L trên nền cọc BTCT.

Kết cấu kè: Dầm đỉnh kè BTCT trên nền cừ BTCT DUL SW500A dài 14 m, dầm đỉnh kè có cao trình +2,50, trên dầm đỉnh kè bố trí lan can.

Gia cố nền: Dưới vỉa hè đắp cát từng lớp kết hợp cuộn vải địa kết cấu dạng tường đất có cốt nhằm giảm áp lực ngang tác dụng vào tường trên nền cừ tràm [19]. Cát đầm chặt với hệ số đầm nén $K \geq 0,90$. Gia cố cừ dừ từ K0 ÷ K0+230 tương tự như PA.1

Gia cố chống xói chân kè: Gia cố chống xói chân kè bằng thảm đá dày 30 cm kết hợp lót vải địa kỹ thuật [16], những vị trí lòng kênh tự nhiên bị xói sâu sử dụng túi địa cát đắp bù tạo mái trước khi trải thảm đá. Phạm vi gia cố thảm đá: tương tự PA.1.



Hình 30. MC. ngang điển hình đoạn kè từ K0+970 đến K1+674.

3.3.3. Lựa chọn PA kết cấu công trình

Qua những phân tích so sánh có thể đưa ra kết luận như sau:

PA. 2 tuy có giá trị xây dựng cao hơn (5,9%) nhưng có những lợi thế về mặt thẩm mỹ, thi công nhanh hơn phù hợp với công trình cấp bách, ít gây nức nhà dân phù hợp cho khu vực phường 6 đông đúc dân cư, đáp ứng yêu cầu chỉnh trang đô thị, phù hợp với định hướng lên đô thị loại I của thành phố.

PA. 1 giá trị xây dựng thấp hơn PA. 2, kết cấu truyền thống, có nhiều kinh nghiệm thi công. Tuy nhiên đơn giản, yếu tố thẩm mỹ không được cao và thời gian thi công lâu, trong quá trình thi công có thể gây rung chấn, nức nhà dân nhất là khu vực phường 6 nhà cửa đông đúc và lớp bùn mỏng dễ gây rung chấn.

Từ phân tích trên đề nghị áp dụng kết cấu PA. 2: Kết cấu kè tường góc BTCT (K0 ÷ K0+970) kết hợp kè tường cừ DUL (K0+970÷K1+674).

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu chỉ ra nguyên nhân gây ra sạt lở khu vực nghiên cứu là do đất yếu (lớp bùn khá dày $8 \div 29$ m), tương tác giữa dòng chảy và lòng dẫn, sóng va đập bờ sông (do gió và tàu thuyền), gia tải lên mép bờ sông, hình thái sông cong dòng chủ lưu áp sát bờ sông:

- + Lưu tốc thực tế lớn hơn vận tốc khởi động của bùn cát cấu tạo lòng dẫn;
- + Dòng chảy hướng vào bờ ảnh hưởng tới cơ chế xói lở;
- + Dòng chảy có lưu tốc, lưu lượng lớn gấp nhiều lần mùa kiệt. Mùa mưa đất ngập lâu trong nước sẽ bị giảm tính chất cơ lý đất bề mặt, gia tăng trọng lượng bản thân khối đất lở gây xói lở;
- + Dòng chảy giảm hàm lượng chất lơ lửng,
- + Tác động của áp lực sóng, mái bờ sông bị phá vỡ kết cấu;
- + Gia tải lên mép bờ sông;
- + Mưa làm bão hòa khối đất bờ và phát sinh áp lực thấm....
- + Hình thái sông cong ảnh hưởng tới xói lở bờ:
- Trên cơ sở tính toán kỹ thuật, tính kinh tế và yếu tố mỹ quan, môi trường đề xuất lựa chọn PA.2, kết hợp kết cấu kè BTCT trên nền cọc và tường cừ DUL BTCT.

Kiến nghị: (1) Do thể sông cong, cần nghiên cứu chỉnh trị dòng chảy không áp sát bờ bằng biện pháp công trình như kè mở hàn...; (2) Thường xuyên theo dõi bình đồ lòng sông để có giải pháp ứng phó kịp thời; (3) Khuyến cáo người dân không gia tải lên mép bờ sông, không xây dựng công trình lấn ra sông, neo đậu tàu thuyền có trọng tải lớn...

Hạn chế nghiên cứu: Chưa đánh giá định lượng việc hạ thấp lòng dẫn lưu vực sông VCT; chưa đánh giá chi tiết việc giảm các chỉ tiêu cơ lý đất của đất ven sông khu vực nghiên cứu và chưa định lượng việc giảm hàm lượng chất lơ lửng trên sông VCT.

Hướng phát triển nghiên cứu: Đánh giá định lượng việc hạ thấp lòng dẫn lưu vực sông VCT; đánh giá chi tiết việc giảm các chỉ tiêu cơ lý [17] đất của đất ven sông khu vực nghiên cứu và định lượng việc giảm hàm lượng chất lơ lửng trên sông VCT.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ kết quả “Nghiên cứu kè phòng, chống sạt lở bờ sông VCT đoạn từ Rạch Góc đến đường Phan Văn Lại TP. Tân An, T. Long An” do Cty.TNHH. tư vấn XD. Cao Khoa thực hiện năm 2022.

Lời cam đoan: Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa từng được công bố, không sao chép các nghiên cứu trước đây.

Tài liệu tham khảo

1. Huệ, V.H. Đánh giá ổn định bờ sông Cỏ Chiên, tỉnh Vĩnh Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 2023, 752, 12–28.
2. Huệ, V.H. Giải pháp công trình khắc phục sạt lở cồn Thanh Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 2023, 754, 26–43.
3. Dự án: Kè phòng, chống sạt lở bờ sông VCT. đoạn từ Rạch Góc đến đường Phan Văn Lại TP. Tân An, T. Long An. Công ty TNHH. tư vấn XD. Cao Khoa, 2022.
4. Hùng, L.M.; Sản, Đ.C. Xói lở bờ sông Cửu Long và giải pháp phòng tránh cho các khu vực trọng điểm. Nhà xuất bản Nông Nghiệp, TP. HCM, 2002.
5. Bích, L.N. và cs. Điều tra biến đổi lòng dẫn hệ thống sông Cửu Long, hạ du sông Đồng Nai - Sài Gòn và định hướng giải pháp kỹ thuật phòng chống sạt lở giảm nhẹ thiên tai trên sông Cửu Long, 1995-1998.
6. Hùng, L.M. và cs. Nghiên cứu dự báo xói lở-bồi lắng lòng dẫn và đề xuất các biện pháp phòng chống cho hệ thống sông ở ĐBSCL. Báo cáo đề tài cấp nhà nước KC.08.15. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, 2004.
7. Lareal, P. và cs. Công trình trên đất yếu trong điều kiện Việt Nam. Công trình hợp tác Việt - Pháp FST No 4282901, 1989.
8. Hậu, L.P. Nghiên cứu các giải pháp KHCN cho hệ thống công trình chỉnh trị sông

- trên các đoạn trọng điểm vùng đồng bằng Bắc Bộ và Nam Bộ. Đề tài KC08-14/06-10, 2010.
9. Chương, L.T. Đánh giá thực trạng sạt lở bờ sông Tiền đoạn chảy qua địa phận tỉnh Tiền Giang khu vực đầu cồn Tân Phong huyện Cai Lậy và đề xuất giải pháp phòng chống, khắc phục. Viện KHTL miền Nam, 2014.
 10. Hùng, L.M. Nghiên cứu ảnh hưởng hoạt động khai thác cát đến thay đổi lòng dẫn sông Cửu Long (sông Tiền, sông Hậu) và đề xuất quản lý, quy hoạch khai thác cát, ĐTĐL.2010T/29. Viện KHTL miền Nam, 2010-2013.
 11. Linh, D.D. và cs. Mô phỏng khả năng giảm sóng của kè cọc ly tâm bằng mô hình Flow-3D. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng* **2023**, 13(04). <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2023.537>.
 12. Khoa, H.Đ. Quan trắc diễn biến đường bờ Cù lao Dung bằng công nghệ phân tích ảnh viễn thám. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng* **2023**, T.13S.02.
 13. Kixêlep, P.G. và cs. Sổ tay tính toán thủy lực. Nhà xuất bản Nông nghiệp Hà Nội, 1984.
 14. TCVN 8419:2010. Công trình thủy lợi - Thiết kế công trình bảo vệ bờ sông để chống lũ.
 15. Ân, C.N. Nền móng. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TP HCM, 2002.
 16. Whitlow, R. Cơ học đất (Tập 1, 2). Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 1999.
 17. Hậu, L.P. Động lực học dòng sông, Trường đại học Xây dựng Hà Nội, 1992.
 18. Đề tài cấp Nhà nước “Nghiên cứu các giải pháp Khoa học - Công nghệ để điều chỉnh và ổn định các đoạn sông có cù lao đang diễn ra biến động lớn về hình thái trên sông Tiền, sông Hậu” Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam.
 19. Trí, Đ.Q. Ứng dụng mô hình Mike 11 mô phỏng và tính toán xâm nhập mặn cho khu vực Nam bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, 671, 39–46.
 20. TCVN 9902:2016. Công trình Thủy lợi - yêu cầu thiết kế đê sông (Bảng 2).
 21. Quỳnh, H.N.N.; Khôi, Đ.N.; Hoài, H.C.; Bẩy, N.T. Ứng dụng viễn thám và Gis đánh giá biến động đường bờ sông Tiền và sông Hậu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 690, 12–22.
 22. TCXDVN 285:2002. Công trình thủy lợi - Các quy định chủ yếu về thiết kế.

Construction solutions prevents erosion on Vam Co Tay riverbank

Van Huu Hue^{1*}

¹ Mien Tay Construction University; huuhuevan@gmail.com

Abstract: Currently, the riverbank instability leads to erosion occurring in many places in the Mekong Delta for many different reasons, including the riverbank erosion of the Vam Co Tay River section from Rach Goc to Phan Van Lai Street, Tan An City, Long An Province. The article studies the mainstream close to the riverbank, contribute to clarify the causes of instability in order to protect the political, cultural, and socio-economic center of the Tan An City. The study conducted surveys and evaluated geology, flow velocity, riverbed morphology, and riverbed maps in combination with survey and statistical methods, Plaxis, Geo 5, and Mike 11, Mike 21 software; from there, the study identify the main causes of riverbank instability such as river morphology, mainstream close to the riverbank, riverbank loading, transferring mud and sand and propose structural solutions to protect the study area.

Keywords: The mainstream close to the riverbank; Stabilize Vam Co Tay riverbank; Riverbank stabilization; Erosions in Mekong Delta.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu diễn biến đường bờ và quá trình xói lở - bồi tụ dải ven biển thành phố Đà Nẵng

Ninh Thu Trang¹, Nguyễn Quang Minh², Nguyễn Thái Sơn³, Nguyễn Minh Hải⁴, Nguyễn Anh Ngọc^{4*}

¹ Tổng công ty Thành An, Bộ Quốc Phòng; ninhthutrang.789@gmail.com

² Viện Hải văn và Môi trường; nguyenquangminh2110@gmail.com

³ Viện Địa lý; nguyenthaison99@gmail.com

⁴ Trung tâm Hải văn; haimsigol@gmail.com; anhngoc150986@gmail.com

*Tác giả liên hệ: anhngoc150986@gmail.com; Tel: +84-983983086

Ban Biên tập nhận bài: 12/8/2023; Ngày phản biện xong: 29/9/2023; Ngày đăng bài: 25/10/2023

Tóm tắt: Nghiên cứu đã ứng dụng các công nghệ viễn thám, nền tảng *Google Earth Engine* (GEE), Hệ thống tin địa lý (GIS) và công cụ DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) để thành lập bản đồ diễn biến đường bờ biển và phân tích cường độ xói lở - bồi tụ dải ven biển Đà Nẵng. Các chỉ số về nước: AWEIsh; AWEInsh; NDWI, MNDWI 1, MNDWI 2 và thuật toán phân ngưỡng Otsu cho phép xác định chính xác đường bờ ở từng thời điểm ảnh. Tính toán bồi xói cho bờ biển TP Đà Nẵng được chia thành ba giai đoạn gồm: 1965 ÷ 1995; 1995 ÷ 2005 và 2005 ÷ 2020. Kết quả nghiên cứu cho thấy trong các giai đoạn này, bờ biển Đà Nẵng đều có hiện tượng bồi xói xen kẽ, khu vực bồi tụ mạnh nhất ở cửa sông Hàn với tốc độ trung bình khoảng 15 m/năm. Quá trình xói lở chỉ xuất hiện trong giai đoạn gần đây ở bãi biển phía Bắc và phía Nam của thành phố với tốc độ thấp, khoảng 1,2 m/năm nhưng đã ảnh hưởng trực tiếp đến cảnh quan bãi biển và phát triển cơ sở hạ tầng. Do đó, cần thực hiện nghiên cứu chi tiết về nguyên nhân gây xói lở để phục vụ thiết thực cho công tác quản lý, phát triển kinh tế biển, phòng tránh thiên tai và bảo vệ môi trường.

Từ khóa: Chỉ số nước; Otsu; GEE; DSAS; GIS; Xói lở - bồi tụ.

1. Giới thiệu

Dải ven biển Thành phố (TP) Đà Nẵng là khu vực đang bị ảnh hưởng bởi quá trình xói lở bờ biển như một số nơi ở quận Sơn Trà, quận Ngũ Hành Sơn. Gần đây, theo điều tra của Sở Tài nguyên và Môi trường Thành phố Đà Nẵng thì đoạn bờ biển nằm ở phía Đông dọc theo tuyến đường Hoàng Sa - Võ Nguyên Giáp - Trường Sa có chiều dài khoảng 16 km đã xuất hiện hiện tượng xói lở [1–2], xói lở bờ biển tại đây thường xuất hiện vào những ngày có thời tiết cực đoan như bão, áp thấp nhiệt đới không khí lạnh hoạt động mạnh gây sóng to, gió mạnh và nước dâng trong bão, áp thấp nhiệt đới, trùng với thời kỳ hoạt động mạnh của gió mùa Đông Bắc ảnh hưởng trực tiếp đến bờ biển Đà Nẵng. Đến mùa khô thì bãi cát lại được bồi trở lại, do đó có thể nhận định bờ biển Đà Nẵng đến thời điểm hiện nay tuy xuất hiện hiện tượng xói lở nhưng vẫn tương đối ổn định. Tuy nhiên, ven biển Đà Nẵng là nơi phát triển du lịch mạnh nhất trên cả nước, do đó cần phải có sự nghiên cứu hiện trạng và lịch sử diễn biến xói lở đường bờ biển TP Đà Nẵng để làm nguồn dữ liệu cung cấp thông tin, cơ sở khoa học giúp các nhà quản lý đưa ra các biện pháp nhằm giám sát và bảo vệ tài nguyên vùng ven biển. Để phục vụ các mục tiêu phát triển kinh tế xã hội và phòng chống thiên tai, nhiều công trình nghiên cứu sự biến động đường bờ với các phương pháp khác nhau đã được thực hiện ở dải ven biển nước ta.

Việc thực hiện phương pháp nghiên cứu truyền thống chủ yếu dựa trên kết quả điều tra, khảo sát thực địa thường không giải quyết triệt để được bài toán ở quy mô lớn và tốn kém chi phí. Trong nghiên cứu giám sát, đánh giá diễn biến đường bờ, xói lở bồi tụ ven biển, trên Thế giới đã có nhiều thành tựu với những công nghệ, phương pháp hiện đại được áp dụng như công nghệ viễn thám, mô hình toán, AI,... và cho ra những kết quả đáng tin cậy [3–7]. Ở Việt Nam, các công nghệ, phương pháp nói trên cũng được các nhà khoa học đưa vào áp dụng ở một số khu vực bị xói lở trọng điểm như: Hải Hậu, Quảng Bình, Quảng Nam, Cà Mau... và bước đầu đã có hiệu quả nhất định trong đánh giá và cảnh báo xói lở. Các nghiên cứu cũng chỉ ra rằng tư liệu ảnh viễn thám đa thời gian được sử dụng có hiệu quả trong thành lập bản đồ hiện trạng đường bờ biển, cho kết quả đáng tin cậy. Ưu điểm của công nghệ viễn thám là diện tích phủ rộng, dữ liệu ảnh phong phú, thời gian chụp lặp lại tại một khu vực có thể trong vài ngày cho kết quả chính xác, tiết kiệm thời gian và chi phí. Các kết quả nghiên cứu trước đây [3–21] còn một số hạn chế như: chưa xử lý mực nước biển tại các thời điểm bay chụp ảnh, chưa xây dựng quy trình đồng bộ tự động phân tích ảnh từ các nền tảng GEE và các phần mềm GIS.

Nghiên cứu này đã xây dựng được một quy trình dựa trên công nghệ viễn thám, thuật toán phân ngưỡng Otsu, nền tảng Google Earth Engine (GEE), hệ thông tin Địa lý (GIS) và công cụ DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) [22] nhằm tự động hóa, phân tích nhanh trong công việc đánh giá diễn biến đường bờ và cường độ xói lở - bồi tụ dải ven biển thành phố Đà Nẵng. Kỹ thuật viễn thám trên nền tảng GEE kết hợp với thuật toán Otsu cho phép phân tích không gian trên điện toán đám mây giúp quá trình thành lập bản đồ đường bờ biển chính xác và tối ưu. Ngoài ra, tính mới trong nghiên cứu này còn được thể hiện trong việc cập nhật, xử lý cao độ triều tại các thời điểm bay chụp ảnh, đưa đường bờ biển về hệ quy chuẩn theo cao độ mực nước triều thấp nhất trung bình nhiều năm một cách tự động, đó đó đảm bảo được mục tiêu đánh giá một cách chính xác nhất diễn biến đường bờ biển TP. Đà Nẵng. Trong tương lai, quy trình này có thể kết hợp với mô hình toán để nâng cao độ chi tiết trong nghiên cứu cảnh báo xói lở - bồi tụ.

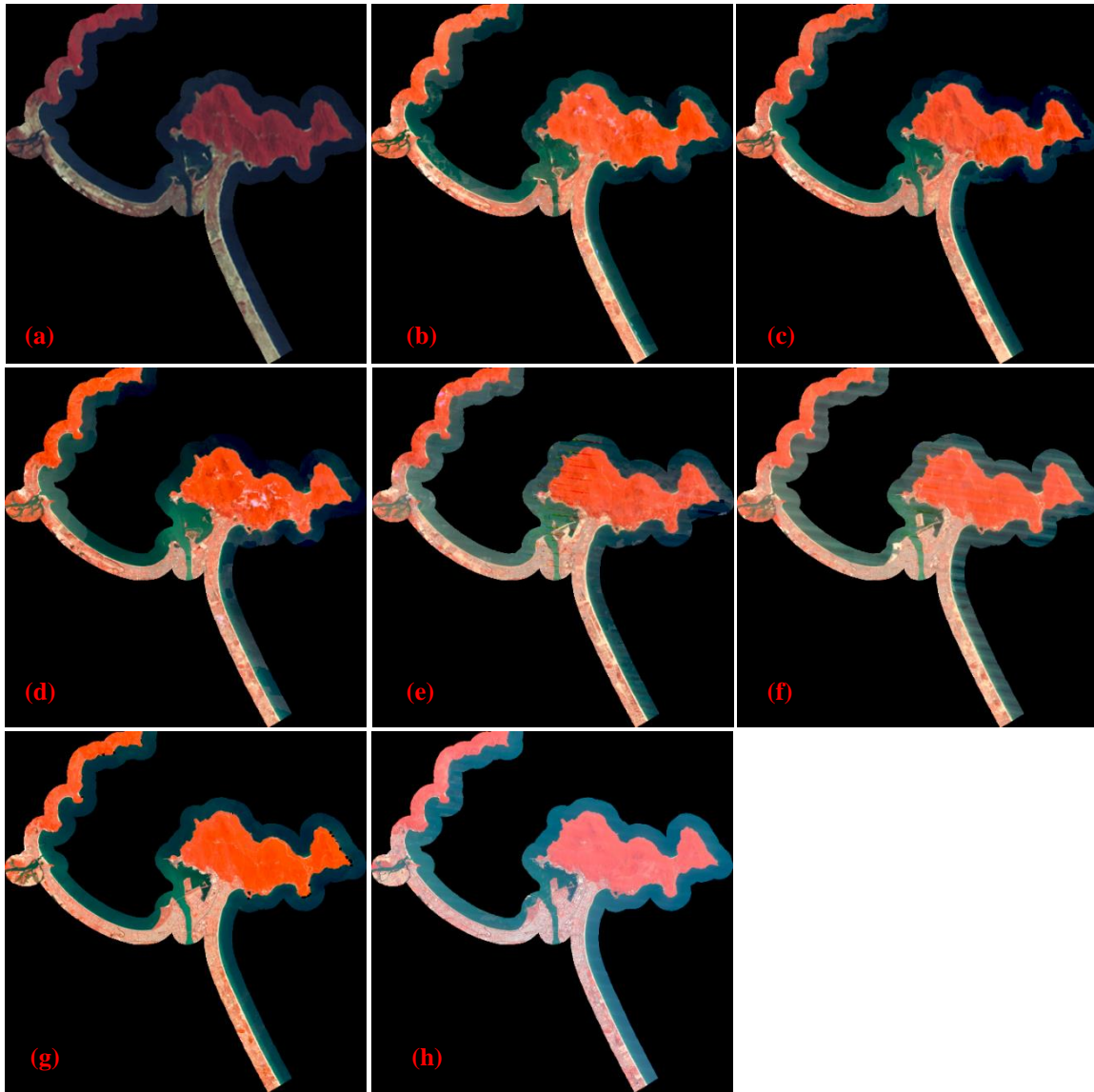
2. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu sử dụng

Nghiên cứu sử dụng bản đồ địa hình năm 1965, ảnh vệ tinh Landsat 2 MSS, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM, Landsat 8 OLI, Landsat 9 OLI-2 và Sentinel 2A, Sentinel 2B để xây dựng bản đồ diễn biến đường bờ biển Đà Nẵng.

- Bản đồ địa hình năm 1965: Bình đồ khu vực dải ven biển TP Đà Nẵng nằm trên 3 tờ bản đồ địa hình UTM 1:50.000 có số hiệu là: 6641 - II; 6641 - III và 6640 - I do Cục Bản đồ quân đội Mỹ (AMS) xây dựng và xuất bản năm vào năm 1965, các bản đồ UTM tái bản sau năm 1978 do Cục Bản đồ của Việt Nam thực hiện. Các bản đồ này có hệ tọa độ Indian Datum 1960, Zone 49 được chuyển đổi về hệ tọa độ VN 2000, Zone 49 và tiến hành số hóa đường bờ biển để thuận lợi cho việc phân tích lịch sử diễn biến đường bờ biển Đà Nẵng.

- Ảnh vệ tinh: lựa chọn ảnh của 8 thời điểm (các năm: 1979, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 và 2020) để đánh giá hiện trạng và lịch sử diễn biến đường bờ biển. Trong đó sử dụng kỹ thuật lọc, cắt ảnh bằng GEE để lựa chọn khu vực nghiên cứu, cụ thể là dải ven biển Đà Nẵng. Các ảnh viễn thám nói trên đều được chọn vào thời điểm tháng 7, tại thời điểm này dải ven biển Đà Nẵng ảnh hưởng nhỏ nhất về thủy triều và mực nước biển dâng do gió mùa, do đó đảm bảo tính hiệu quả cao trong việc xác định đường bờ biển.



Hình 1. (a) Ảnh Landsat 2 MSS ngày 24/07/1979; (b) Ảnh Landsat 5 TM ngày 07/07/1990; (c) Ảnh Landsat 5 TM 05/07/1995; (d) Ảnh Landsat 7 ETM 02/07/2000; (e) Ảnh Landsat 5 TM 16/07/2005; (f) Ảnh Landsat 5 TM 06/07/2010; (g) Ảnh Landsat 8 OLI 10/07/2015; (h) Ảnh Sentinel 2A MSI 22/07/2020.

- Dữ liệu về cao độ mực nước triều: Đường bờ được xác định tại các thời điểm bay chụp chỉ là các đường bờ tương đối do khu vực ven biển chịu ảnh hưởng của chế độ thủy triều. Vì vậy, việc xác định giá trị thủy triều các thời điểm bay chụp sẽ quy đồng được đường biên bờ biển về tuyệt đối so với mực nước triều thấp nhất trung bình nhiều năm, đảm bảo được tính chính xác khi đánh giá cường độ xói lở - bồi tụ dải ven biển. Các giá trị triều này được triết xuất từ mô hình triều toàn cầu thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Thông số ảnh vệ tinh và chế độ triều thời điểm bay chụp tại Đà Nẵng (giờ Việt Nam).

Row-Path	Ảnh		Chế độ triều				
	Date	Sensor	Image name	Giờ chụp	Triều (Max) h (m)	Triều (min) h (m)	Cao độ triều ước tính
049 - 134	24/07/1979	MMS	1975	09:41			-0,094
	07/07/1990	TM	1990	09:37	0,18	-0,63	-0,092
	05/07/1995	TM	1995	09:21	-0,12	-0,58	0,045
049 - 125	02/07/2000	ETM	2000	09:43	0,36	-0,66	-0,137
049 - 124	16/07/2005	TM	2005	09:54	0,06	-0,45	-0,014
	06/07/2010	TM	2010	09:58	-0,03	-0,53	-0,014
	10/07/2015	OLI	2015	10:05	0,1	-0,46	-0,03

Row-Path	Ảnh		Chế độ triều				
	Date	Sensor	Image name	Giờ chụp	Triều (Max) h (m)	Triều (min) h (m)	Cao độ triều ước tính
Sentinel	22/07/2020	MSI	2020	10:07	0,19	-0,35	-0,256

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Sử dụng các chỉ số nước

Theo hướng ứng dụng viễn thám quang học, một loạt các chỉ số tính toán từ ảnh vệ tinh quang học đã được phát triển phục vụ triết tách các vùng nước mặt như NDWI, MNDWI, AWEI. Gao (1996) đã phát triển chỉ số NDWI (Normalized Difference Water Index) bằng cách sử dụng hệ số phản xạ phổ của dải sóng màu xanh lá cây (kênh 2) và cận hồng ngoại (kênh 4) của Landsat TM [23]. Tác giả [24] đã hiệu chỉnh chỉ số NDWI để tăng cường khả năng tách biệt mặt nước với các khu vực công trình xây dựng trên ảnh và đặt tên chỉ số mới MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*), trong đó kênh SWIR (hồng ngoại sóng ngắn) được sử dụng để thay thế NIR (cận hồng ngoại). Tác giả [25] sau nhiều nghiên cứu ở các khu vực khác nhau đã đưa ra chỉ số AWEI (Automated Water Extraction Index) bằng việc xây dựng phương trình trên các kênh Blue, Green, NIR, SWIR 1, SWIR 2. Các chỉ số nước được tính theo các công thức trong bảng 2.

Bảng 2. Các chỉ số được sử dụng để triết xuất đường bờ nước.

Chỉ số	Công thức tính toán	Ứng dụng
NDWI - Chỉ số khác biệt nước được chuẩn hóa	$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$	Triết xuất đường bờ nước
MNDWI - Chỉ số khác biệt nước chuẩn hóa cải thiện	$MDWI 1 = (Green - SWIR1) / (Green + SWIR1)$ $MDWI 1 = (Green - SWIR2) / (Green + SWIR2)$	Triết xuất đường bờ nước
AWEI - Chỉ số tách nước tự động	$AWEI_{sh} = Blue + 2,5*(NIR+SWIR1) - 0,25*SWIR2$	Triết xuất đường bờ nước

2.2.2. Xử lý triều của Muray

Độ chính xác của các vị trí đường bờ biển triết xuất từ ảnh vệ tinh phụ thuộc vào cao độ triều tại thời điểm bay chụp ảnh, như vậy, việc ước tính chiều cao triều (y) tại thời điểm thu nhận ảnh (t). H_{max} là đơn vị khi độ cao khi triều ở đỉnh, H_{min} là độ cao khi thủy triều thấp nhất, ΔT khoảng thời gian giữa triều cao nhất và thấp nhất và Δt khoảng thời gian giữa của thủy triều cao hoặc thấp nhất và thời điểm thu lại ảnh vệ tinh, độ cao thủy triều lúc thu nhận ảnh để triết xuất đường bờ biển có thể được ước tính bằng cách sử dụng phương trình sau [26]:

$$y = \frac{H_{max} + H_{min}}{2} \pm \frac{H_{max} - H_{min}}{2} \cos \frac{\pi \Delta t}{\Delta T} \quad (1)$$

Dấu trừ được sử dụng trong trường hợp trước khi thu nhận ảnh là triều thấp.

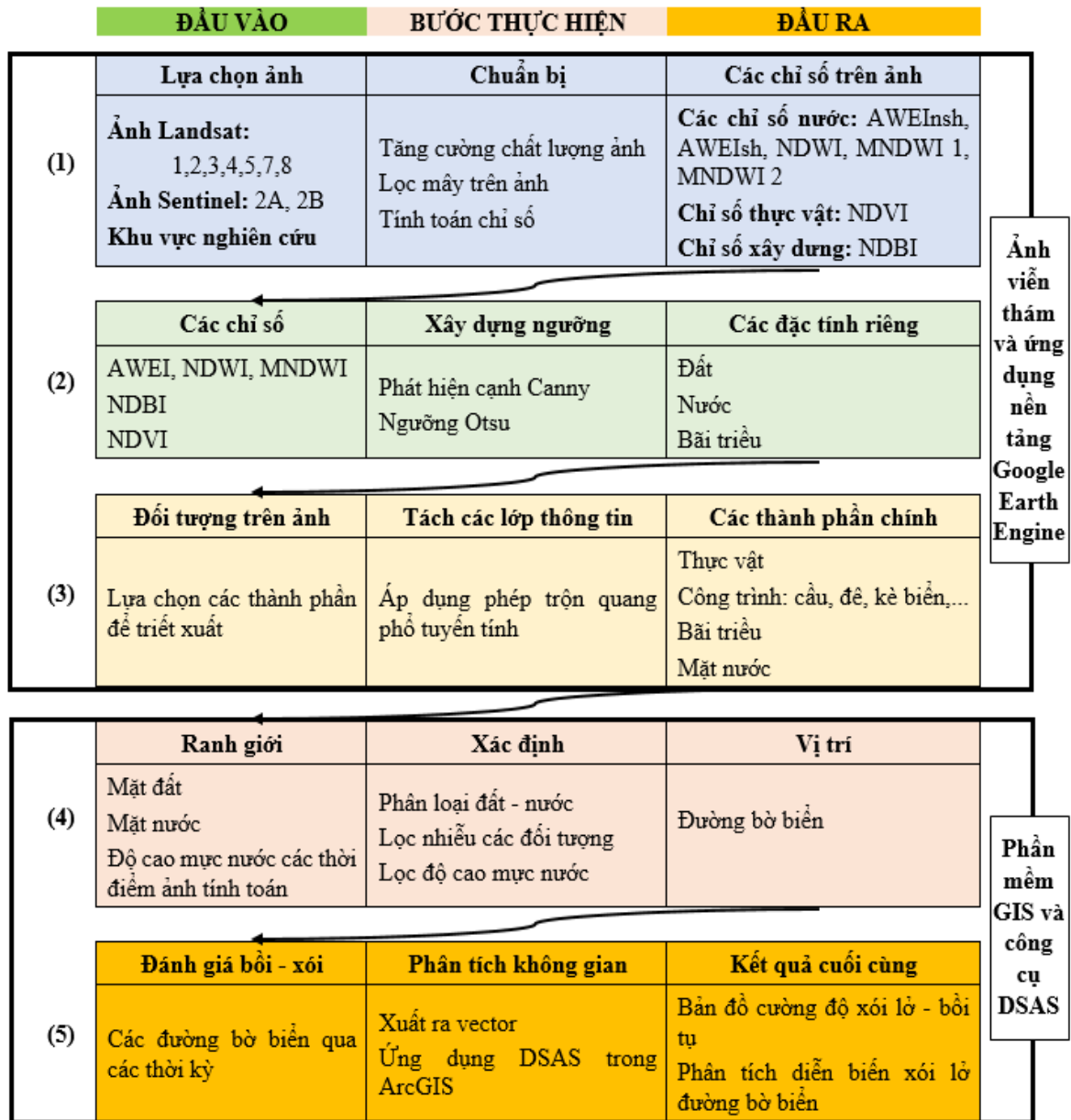
Đường bờ theo định nghĩa phải được quy chiếu về một mức thủy triều nào đó, kết quả hiệu chỉnh sẽ phụ thuộc vào độ dốc khu vực ven biển tại thời điểm thu nhận ảnh và các điều kiện thời tiết khác. Bảng 1 cho thấy độ cao triều ước tính cho những hình ảnh vệ tinh qua các năm tại thời điểm bay chụp. Có thể thấy vùng ven biển Đà Nẵng tại các thời điểm bay chụp, chế độ triều có sự tương đồng khá cao thuận lợi cho việc xác định đường bờ biển.

2.3. Quy trình nghiên cứu

Quy trình nghiên cứu thành lập bản đồ diễn biến đường bờ biển thành phố Đà Nẵng được tóm tắt theo sơ đồ (Hình 2). Trong đó, các bước thực hiện như sau:

Bước 1: Xây dựng và tính toán các chỉ số nước trên nền tảng GEE và các ảnh viễn thám từ năm 1972 đến nay, tập trung vào các ảnh năm 1979, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020. Tăng cường chất lượng ảnh nhằm loại bỏ các yếu tố gây nhiễu trên ảnh, bao gồm tăng

độ nét và lọc ảnh. Đối với ảnh có lượng mây cao ở ven biển tiến hành lọc mây trên ảnh bằng thuật toán xử lý mây dựa trên ý tưởng thay thế những pixels có chứa mây và bóng mây trên ảnh. Cuối cùng tiến hành đưa các chỉ số về nước: AWEIsh; AWEInsh; NDWI, MNDWI 1, MNDWI 2, NDBI, NDVI đã được mô tả ở trên vào trong GEE để tiến hành các bước tiếp theo.



Hình 2. Quy trình các bước nghiên cứu.

Bước 2: Từ các chỉ số trên, sử dụng thuật toán đưa ra chỉ số ngưỡng Otsu cho từng đối tượng có đặc tính riêng gồm đất, nước và bãi triều trong từng ảnh ở thời điểm khác nhau dựa vào giá trị điểm ảnh của ảnh đầu vào nhằm thay thế cho việc sử dụng ngưỡng cố định [27].

Bước 3: Lựa chọn các đối tượng để triết xuất thông tin. Các đối tượng chính được lựa chọn để triết xuất thông tin trên ảnh là: lớp nước, lớp đất và bãi cát ven biển.

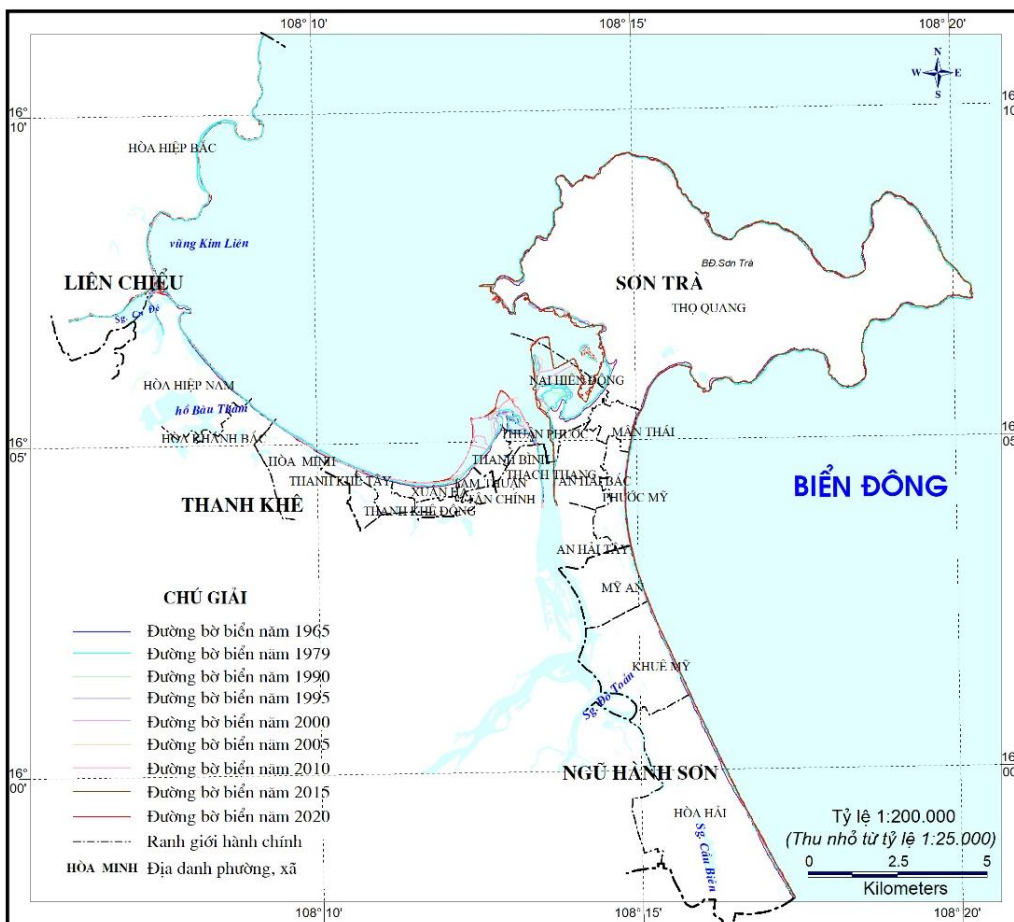
Bước 4: Hiệu chỉnh đường bờ biển theo thủy triều của Muray để xác định vị trí chính xác của đường bờ nước theo cao độ mực nước triều thấp nhất trung bình nhiều năm. Ngoài ra, sử dụng phần mềm ArcGIS để lọc các khu vực bị cho là mặt nước hoặc mặt đất có giá trị nhỏ (< 100 m²) để lọc nhiễu thông tin các đối tượng sau khi xử lý trên ảnh viễn thám.

Bước 5: Trích xuất bề mặt nước dạng vector trong ArcGIS kết hợp công cụ DSAS để phân tích lịch sử diễn biến xói lở đường bờ biển. Cuối cùng, sử dụng các kết quả trên để tính toán, phân tích cường độ xói lở - bồi tụ đường bờ biển thành phố Đà Nẵng theo các giai đoạn.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Bản đồ diễn biến đường bờ biển TP Đà Nẵng

Áp dụng quy trình thực hiện 5 bước và các phương pháp nghiên cứu, bản đồ diễn biến đường bờ biển Đà Nẵng từ năm 1965 đến 2020 đã được thành lập và thể hiện ở hình 3. Kết quả nghiên cứu cho thấy nhìn chung dải bờ biển thành phố Đà Nẵng qua các thời kỳ tương đối ổn định. Chi tiết hơn, chỉ có khu vực cửa sông Hàn thuộc Thuận Phước, Nại Hiên Đông biến động khá rõ nét với xu hướng chủ đạo là bồi tụ; hiện tượng xói lở bắt đầu xuất hiện rải rác nhưng cần được theo dõi, giám sát thường xuyên, đặc biệt là bãi biển đầu phía bắc và phía nam; bờ nam cửa sông Cu Đê.



Hình 3. Bản đồ diễn biến đường bờ biển TP Đà Nẵng giai đoạn 1965-2020.

3.2. Cường độ xói lở - bồi tụ TP Đà Nẵng theo các giai đoạn

Phân tích bản đồ địa hình và các ảnh viễn thám được thu thập nhiều năm từ năm 1965 đến nay cho phép chia thành 3 giai đoạn đánh giá cường độ xói lở - bồi tụ tương ứng với các hoạt động nhân sinh có ảnh hưởng đến khu vực ven biển.

- Giai đoạn 1 (từ năm 1965 đến năm 1995): Bờ biển biến động chủ yếu do các yếu tố tự nhiên, tác động của con người hầu như không đáng kể do nền kinh tế Việt Nam mới bắt đầu mở cửa.

- Giai đoạn 2 (từ năm 1995 đến năm 2005): Bắt đầu phát triển kinh tế và du lịch ở Đà Nẵng với một số ít các công trình xây dựng ven biển.

- Giai đoạn 3 (từ năm 2005 đến năm 2020): Các hoạt động kinh tế, du lịch, dịch vụ phát triển sôi động, nhiều công trình dân sinh ở khu vực cửa sông, ven biển Đà Nẵng đã hình thành như: cầu Thuận Phước bắc qua sông Hàn, công trình hạ tầng tại bán đảo Sơn Trà và Công viên biển Phạm Văn Đồng, kè phía bắc cửa sông Hàn và các khu nghỉ dưỡng ven biển,...

Nghiên cứu đã ứng dụng công cụ DSAS và chia khoảng cách trên toàn bộ chiều dài bờ biển TP Đà Nẵng là 100 m/mặt cắt để tính toán cường độ xói lở - bồi tụ.

3.2.1. Xói lở - bồi tụ dải ven biển thành phố Đà Nẵng giai đoạn 1965 - 1995

Nghiên cứu đã đánh giá về cường độ xói lở - bồi tụ dải ven biển TP. Đà Nẵng theo các cấp xói lở dựa trên công trình [28]. Giai đoạn này dải ven biển Đà Nẵng phần lớn được bồi tụ, đặc biệt là ở cửa sông Hàn được bồi mạnh nhất, tốc độ bồi lớn nhất theo mặt cắt đạt đến 12,64 m/năm. Kết quả tính toán được thể hiện trên bảng 2 và hình 4.



Hình 4. Cường độ xói lở - bồi tụ dải ven biển Đà Nẵng giai đoạn 1965-1995.

Bảng 2. Đặc trưng tốc độ xói lở - bồi tụ bờ biển theo ranh giới hành chính của thành phố Đà Nẵng giai đoạn 1965-1995.

TT	Quận	Phường	Số lượng mặt cắt tính toán	Bồi - Xói lớn nhất (m/năm)	Bồi - Xói nhỏ nhất (m/năm)	Bồi - Xói trung bình (m/năm)
1		Hòa Hiệp Bắc	112	6,17	-1,67	0,356
2	Liên Chiểu	Hòa Hiệp Nam	23	6,28	-5,09	2,706
3		Hòa Khánh Bắc	8	1,41	0,75	1,079
4		Hòa Minh	19	2,59	0,31	1,058
5	Thanh Khê	Thanh Khê Tây	8	1,72	0,66	1,331
6		Thanh Khê Đông	11	2,92	1,24	2,256
7		Xuân Hà	20	4,50	2,78	3,559
8	Hải Châu	Tam Thuận	7	4,92	3,47	4,460
9		Thanh Bình	12	2,33	-0,09	0,923
10		Thuận Phước	9	5,65	0,86	3,259
11	Sơn Trà	Nại Hiên Đông	27	12,64	-0,09	2,493
12		Thọ Quang	385	8,50	-1,71	0,603
13		Mân Thái	13	2,06	0,33	1,388
14	Ngũ Hành Sơn	Phước Mỹ	27	1,52	-0,01	0,851
15		Mỹ An	17	1,37	-0,15	0,876
16		Khuê Mỹ	29	2,04	0,55	1,180
17		Hòa Hải	66	3,13	-0,12	1,857

Ở quận Liên Chiểu, bờ biển biến động mạnh ở cửa sông Cu Đê, phía bờ bắc cửa sông có quá trình bồi tụ mạnh, nơi mạnh nhất đạt đến 6,17 m/năm, ngược lại bờ nam cửa sông Cu Đê xảy ra xói lở bờ với tốc độ mạnh nhất là -5,09 m/năm. Nhìn chung, đường bờ biển quận Liên Chiểu trong giai đoạn này bồi tương đối ổn định với tốc độ trung bình khoảng 1,1 m/năm.

Toàn bộ chiều dài bờ biển quận Thanh Khê với 4 phường Thanh Khê Tây, Thanh Khê Đông, Xuân Hà và Tam Thuận đều được bồi tương đối mạnh trong giai đoạn này với nơi bồi thấp nhất là 0,66 m/năm và nơi được bồi cao nhất là 4,92 m/năm.

Quận Hải Châu trong thời đoạn này cũng được bồi tương đối mạnh, chiếm gần như toàn bộ bờ biển. Nơi bồi mạnh nhất là đoạn bờ biển phía bắc cửa sông Hàn với tốc độ bồi mạnh nhất ở đây là 5,65 m/năm.

Tại quận Sơn Trà, khu vực bồi mạnh nhất ở phía nam sông Hàn thuộc phường Nại Hiên Đông với tốc độ bồi lên đến 12,64 m/năm, đồng thời cũng là nơi bờ biển được bồi mạnh nhất trong giai đoạn này. Ngoài ra, đường bờ biển khu vực cảng Tiên Sa cũng được bồi ra tương đối mạnh, tốc độ bồi mạnh nhất là 8,5 m/năm.

Quận Ngũ Hành Sơn đường bờ biển cũng chủ yếu được bồi mạnh, xói lở chỉ xuất hiện cục bộ tại một số đoạn bờ biển nhỏ. Tốc độ bồi xói trung bình khoảng 1,3 m/năm trên toàn bờ biển của quận.

Nhìn chung, trong giai đoạn 1965 - 1995 bờ biển Đà Nẵng được bồi tương đối mạnh, tốc độ bồi xói trung bình là 1,01 m/năm, tương đương với chiều rộng bờ biển được bồi ra khoảng 30,3 m.

3.2.2. Xói lở - bồi tụ dải ven biển thành phố Đà Nẵng giai đoạn 1995 - 2005

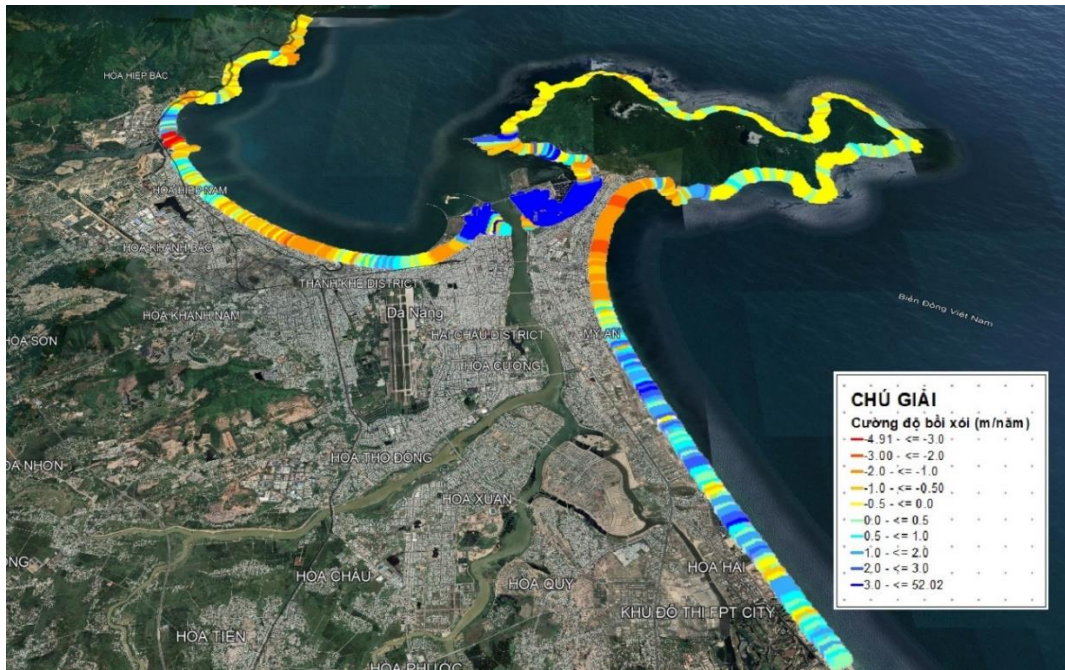
Giai đoạn này dải ven biển có sự bồi tụ và xói lở xen kẽ. Khu vực xói mạnh nhất ở bờ phía nam cửa sông Cu Đê, ngược lại, khu vực bồi mạnh nhất lại ở cửa phía nam sông Hàn với tốc độ bồi lớn nhất đạt đến 72,1 m/năm. Kết quả tính toán cường độ xói lở - bồi tụ ở bờ biển Đà Nẵng bằng công cụ DSAD được thể hiện trên bảng 3 và hình 5.

Bảng 3. Đặc trưng tốc độ xói lở - bồi tụ bờ biển theo ranh giới hành chính của thành phố Đà Nẵng giai đoạn 1995-2005.

TT	Quận	Phường	Số lượng mặt cắt tính toán	Bồi - Xói lớn nhất (m/năm)	Bồi - Xói nhỏ nhất (m/năm)	Bồi - Xói trung bình (m/năm)
1	Liên Chiểu	Hòa Hiệp Bắc	111	2,60	-3,67	-0,277
2		Hòa Hiệp Nam	43	1,11	-4,91	-0,423
3		Hòa Khánh Bắc	9	0,19	-0,83	-0,328
4		Hòa Minh	19	-0,20	-2,08	-0,986
5		Thanh Khê Tây	9	-0,84	-1,93	-1,559
6	Thanh Khê	Thanh Khê Đông	11	0,42	-1,87	-0,650
7		Xuân Hà	19	1,91	-0,29	0,541
8		Tam Thuận	7	-0,32	-1,87	-1,109
9	Hải Châu	Thanh Bình	12	30,92	-1,83	3,991
10		Thuận Phước	9	47,62	-0,89	9,272
11		Nại Hiên Đông	24	52,02	-1,03	18,375
12	Sơn Trà	Thọ Quang	406	35,54	-2,86	1,404
13		Mân Thái	13	-1,30	-1,98	-1,684
14		Phước Mỹ	28	0,01	-2,92	-1,429
15	Ngũ Hành Sơn	Mỹ An	16	2,58	-0,92	0,479
16		Khuê Mỹ	29	3,29	-0,38	1,620
17		Hòa Hải	64	3,11	-0,95	0,823

Ở quận Liên Chiểu, bờ biển xói tương đối mạnh ở chân đèo Hải Vân và cửa sông Cu Đê, bãi cát biển chân đèo Hải Vân bị xói lên đến 1,71 m/năm. Tuy nhiên nơi xói mạnh nhất trong thời đoạn này ở phía bờ nam cửa sông Cu Đê (phường Hòa Hiệp Nam) với tốc độ cao nhất - 4,91 m/năm. Nhìn chung, quận Liên Chiểu trong thời đoạn này có xu thế xói lở, tốc độ bồi xói trung bình trên cả chiều dài bờ biển khoảng - 0,38 m/năm.

Toàn bộ chiều dài bờ biển quận Thanh Khê trong thời đoạn này xuất hiện bồi xói xen kẽ nhưng xu thế xói lở vẫn cao hơn so với bồi tụ. Đặc biệt ở phường Thanh Khê Tây và Thanh Khê Đông có những nơi xói lở bờ biển lên gần 2 m/năm. Nhìn chung, quận Thanh Khê trong thời đoạn này có tốc độ bồi xói trung bình trên cả chiều dài bờ biển khoảng - 0,36 m/năm.



Hình 5. Cường độ xói lở - bồi tụ dải ven biển Đà Nẵng giai đoạn 1995-2005.

Ngược lại, quận Hải Châu trong thời đoạn này lại được bồi tương đối mạnh trên hầu hết đường bờ biển. Nơi bồi mạnh nhất là đoạn bờ biển phía bắc cửa sông Hàn (phường Thuận Phước) với tốc độ bồi mạnh nhất lên đến 47,62 m/năm.

Tại quận Sơn Trà, phường Nại Hiên Đông và Thọ Quang phía nam cửa sông Hàn tiếp tục được bồi mạnh nhất, tốc độ bồi mạnh nhất ở đây lên đến 52,02 m/năm. Ngược lại, phường Mân Thái và Phước Mỹ lại có xu hướng bị xói lở, nơi xói bờ biển mạnh nhất lên tới -2,92 m/năm.

Quận Ngũ Hành Sơn giai đoạn này có đường bờ biển bồi xói xen kẽ nhưng bồi tụ bờ biển chiếm chủ đạo, xói lở chỉ xảy ra ở một số đoạn bờ biển cục bộ. Nơi được bồi tụ mạnh nhất thuộc phường Khuê Mỹ lên tới 3,29 m/năm. Tốc độ bồi xói trung bình trên chiều dài bờ biển toàn quận đạt tới 0,98 m/năm.

Như vậy, trong giai đoạn 1995-2005, bờ biển Đà Nẵng vẫn có xu hướng bồi cao hơn xói, xói lở bờ biển xảy ra chủ yếu ở hai quận phía bắc của thành phố. Tốc độ bồi xói trung bình bờ biển là 1,37 m/năm.

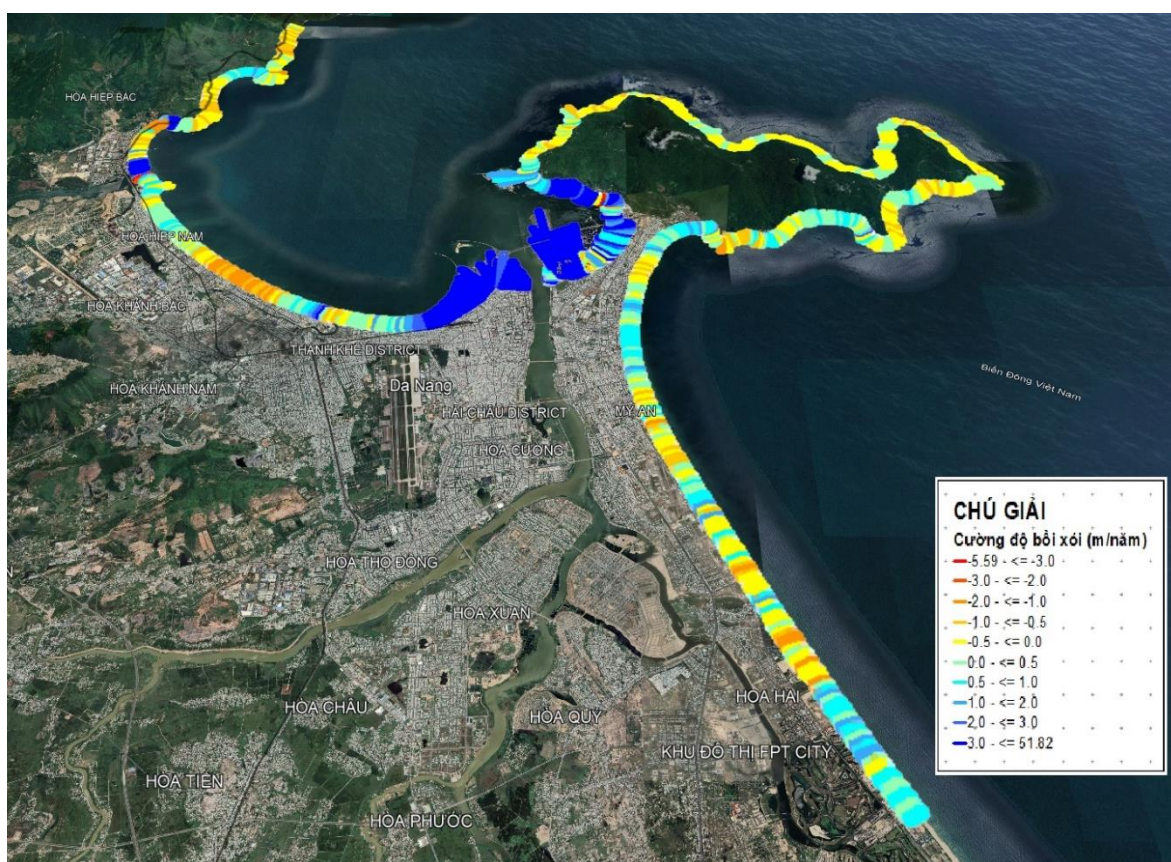
3.2.3. Xói lở - bồi tụ dải ven biển thành phố Đà Nẵng giai đoạn 2005-2020

Giai đoạn 2005-2020, dải ven biển có sự bồi tụ và xói lở xen kẽ. Khu vực xói mạnh nhất ở bờ phía nam cửa sông Cu Đê, ngược lại, khu vực bồi mạnh nhất lại ở cửa phía nam sông Hàn với tốc độ bồi lớn nhất đạt đến 51,82 m/năm thể hiện ở hình 6 và bảng 4.

Bảng 4. Đặc trưng tốc độ xói lở - bồi tụ bờ biển theo ranh giới hành chính của thành phố Đà Nẵng giai đoạn 2005-2020.

TT	Quận	Phường	Số lượng mặt cắt tính toán	Bồi - Xói lớn nhất (m/năm)	Bồi - Xói nhỏ nhất (m/năm)	Bồi - Xói trung bình (m/năm)
1		Hòa Hiệp Bắc	112	13,02	-1,78	0,404
2	Liên Chiểu	Hòa Hiệp Nam	41	0,94	-5,59	-0,079
3		Hòa Khánh Bắc	10	-0,01	-1,28	-0,723

TT	Quận	Phường	Số lượng mặt cắt tính toán	Bồi - Xói lớn nhất (m/năm)	Bồi - Xói nhỏ nhất (m/năm)	Bồi - Xói trung bình (m/năm)
4		Hòa Minh	19	0,03	-1,43	-0,924
5		Thanh Khê Tây	9	1,26	0,12	0,479
6	Thanh Khê	Thanh Khê Đông	11	3,59	-0,55	0,473
7		Xuân Hà	19	5,27	-0,07	1,238
8		Tam Thuận	6	15,6	6,71	10,88
9	Hải Châu	Thanh Bình	13	39,55	13,18	29,285
10		Thuận Phước	9	20,33	2,80	9,338
11		Nại Hiên Đông	27	51,82	-0,74	10,984
12	Sơn Trà	Thọ Quang	384	18,96	-3,15	0,579
13		Mân Thái	13	0,40	-0,65	-0,215
14		Phước Mỹ	27	1,28	-0,26	0,501
15	Ngũ Hành Sơn	Mỹ An	17	0,58	-1,32	-0,144
16		Khuê Mỹ	29	1,51	-0,97	-0,003
17		Hòa Hải	65	1,72	-1,29	0,164



Hình 6. Cường độ xói lở - bồi tụ dải ven biển Đà Nẵng giai đoạn 1995-2005.

Ở quận Liên Chiểu, bờ biển tiếp tục biến động mạnh ở cửa sông Cu Đê với sự dịch chuyển luồng. Bờ phía bắc được bồi tụ mạnh với tốc độ cao nhất lên đến 13,02 m/năm, ngược lại, bờ phía nam có hiện tượng xói lở với tốc độ cao nhất là -5,59 m/năm. Xói lở bờ biển chiếm ưu thế ở phường Hòa Hiệp Nam, Hòa Khánh Bắc và Hòa Minh tuy nhiên tốc độ bồi xói trung bình trên cả chiều dài bờ biển của quận Liên Chiểu khoảng 0,11 m/năm.

Toàn bộ chiều dài bờ biển quận Thanh Khê trong thời đoạn này xuất hiện bồi là chủ yếu, xói lở bờ biển ở một số đoạn bờ mang tính cục bộ. Nơi được bồi nhiều nhất thuộc phường Xuân Hà và Tam Thuận, đặc biệt khu vực gần cửa sông Hàn có mặt cắt được bồi lên tới 15,6 m/năm. Theo tính toán, tốc độ bồi xói trung bình trên cả chiều dài bờ biển của quận Thanh Khê trong thời đoạn này khoảng 2,44 m/năm.

Quận Hải Châu trong thời đoạn này vẫn được bồi tương đối mạnh trên toàn bộ bờ biển của quận. Xã Thanh Bình có tốc độ bồi trên toàn bộ bờ biển đạt từ 13,18 ÷ 39,55 m/năm. Tốc

độ bồi xói trung bình trên cả chiều dài bờ biển của quận Hải Châu trong thời đoạn này khoảng 19,79 m/năm.

Tại quận Sơn Trà, khu vực phía nam sông Hàn vẫn là nơi được bồi mạnh nhất trên toàn bộ bờ biển Đà Nẵng, tốc độ bồi mạnh nhất ở đây lên đến 52,02 m/năm. Phường Mân Thái và Phước Mỹ lại có xu hướng bị bồi xói xen kẽ, tuy nhiên tốc độ xói lở không cao, tối đa là -0,65 m/năm.

Ở quận Ngũ Hành Sơn, đường bờ biển trong giai đoạn này được bồi xói xen kẽ nhưng chiều dài bờ biển bị xói lở đã xuất hiện nhiều hơn so với các giai đoạn trước mặc dù tốc độ xói lở không lớn, cao nhất chỉ -1,32 m/năm. Đây cũng là vấn đề nên bắt đầu được quan tâm. Nhìn chung, tốc độ bồi xói trung bình trên chiều dài bờ biển toàn quận chỉ là -0,17 m/năm.

Như vậy, trong giai đoạn từ 2005 - 2020, bờ biển Đà Nẵng vẫn có xu hướng bồi cao hơn xói, xói lở bờ biển xảy ra chủ yếu ở bãi biển phía bắc và phía nam của thành phố. Tốc độ bồi xói trung bình bờ biển khá cao, đạt đến 1,36 m/năm.

4. Kết luận

Nghiên cứu áp dụng quy trình xử lý từ ảnh viễn thám trên nền tảng GEE kết hợp với phân loại đường bờ theo ngưỡng Otsu để xây dựng Bản đồ diễn biến đường bờ biển thành phố Đà Nẵng với độ tin cậy cao. Đồng thời, áp dụng công cụ DSAS để phân tích chi tiết và chính xác cường độ xói lở - bồi tụ trên toàn bộ dải ven biển của thành phố Đà Nẵng. Kết quả nghiên cứu cho thấy đường bờ biển thành phố Đà Nẵng qua các thời kỳ tương đối ổn định.

Dựa trên kết quả triết xuất và bản đồ diễn biến đường bờ biển từ năm 1965 đến năm 2020, tính toán bồi xói cho bờ biển Đà Nẵng được chia theo ba giai đoạn. Kết quả ghi nhận trong ba giai đoạn, quá trình xói lở - bồi tụ đường bờ xảy ra xen kẽ. Bồi tụ là quá trình chủ đạo, đặc biệt là ở hai bên cửa sông Hàn. Quá trình xói lở bắt đầu xuất hiện thời gian gần đây ở bãi biển phía bắc và phía nam Đà Nẵng với tốc độ không cao, tuy nhiên điểm xói lở lại xuất hiện ở khu vực bãi tắm và phát triển du lịch.

Kết quả nghiên cứu có ý nghĩa thiết thực, phục vụ công tác quản lý, quy hoạch và khai thác kinh tế biển, phòng chống thiên tai và bảo vệ môi trường. Tính toán định lượng quá trình xói lở - bồi tụ bờ biển, cửa sông là cơ sở khoa học để đề xuất các giải pháp phòng chống, bảo vệ bờ biển, ổn định cửa sông hiệu quả. Tuy nhiên, một mặt còn hạn chế của nghiên cứu xói lở - bồi tụ dải ven biển bằng công nghệ Viễn thám là còn phụ thuộc vào chất lượng, thời điểm bay chụp nên không có tính liên tục. Do đó, để dự báo xu thế diễn biến đường bờ cũng như quá trình xói lở, bồi tụ bờ biển cần có thêm các nghiên cứu ứng dụng tổ hợp phương pháp khác nhau như khảo sát, đo đạc, viễn thám và GIS và mô hình toán.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.T., N.Q.M.; Xử lý số liệu: N.T.S., N.A.N., N.M.H.; Viết bản thảo bài báo: N.T.S., N.Q.M.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.T.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành được tài trợ bởi Ủy ban nhân dân Thành phố Đà Nẵng.

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. Trực tuyến: <https://nld.com.vn/thoi-su/nhieu-khu-vuc-tren-bo-bien-da-nang-bi-xoi-lo-nang-20210113174901829.htm>
2. Trực tuyến: <https://danangfantasticity.com/tin-tuc/du-lich-da-nang-nhung-chang-duong-phat-trien.html#:~:text=Trong%20giai%20C4%91o%E1%BA%A1n%20t%E1%BB%AB%201997,s%E1%BB%91%20l%C6%B0%E1%BB%A3ng%20v%C3%A0%20ch%E1%BA%A5t%20l%C6%B0%E1%BB%A3ng.>

3. Thieler, E.R.; Martin, D.; Ergul, A. The digital shoreline analysis system, version 2.0: shoreline change measurement software extension for ArcView. US Geological Survey Open-File Report. 2023, 3, 076.
4. Zhao, B.; Guo, H.; Yan, Y.; Wang, Q.; Li, B. A simple waterline approach for tidelands using multi-temporal satellite images: A case study in the Yangtze Delta. *Estuarine. Coastal Shelf Sci.* **2008**, 77, 134–142.
5. Alesheikh, A.A.; Ghorbanali, A.; Nouri, N. Coastline change detection using remote sensing. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **2007**, 4(1), 61–66.
6. Gonçalves, G.; Nuno, D.; Ercilia, S.; Luís, P.; Isabel, F. Detecting changes on coastal primary sand dunes using multi-temporal Landsat imagery. *SPIE Remote Sens.* **2014**, 924420–924420.
7. Palazzo, F.; Baiocchi, V.; Frate, F.D.; Giannone, F.; Dominici, D.; Latini, D.; Lelo, K.; Remondiere, S. Remote sensing as a tool to monitor and analyse abruzzo coastal changes: preliminary results from the ASI cosmocoast project. Proceeding of the 5th EARSeL Workshop on Remote Sensing of the Coastal Zone, 2011, pp. 79–88.
8. Din Hashmi, S.G.M.; Ahmad, S.R. GIS-based analysis and modeling of coastline erosion and accretion along the coast of Sindh Pakistan. *J. Coast Zone Manage.* **2018**, 21(1), 1000455. Doi:10.4172/2473-3350.1000455.
9. Long, V.H.; Giang, N.V.; Hoàn, T.P.; Hoà, P.V. Ứng dụng công nghệ xử lý ảnh viễn thám trên nền tảng điện toán đám mây (GEE) trong theo dõi biến động đường bờ sông–thí điểm tại sông Cừ Long. *Tạp chí Khoa học* **2019**, 16(6), 38–49.
10. Đoàn, Đ.Đ. Đánh giá biến động bờ biển khu vực cửa sông Thu Bồn bằng công nghệ viễn thám-GIS. *Tạp chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường* **2009**, 25, 5–20.
11. Bình, N.Q.; Dương, V.N. Xây dựng bản đồ diễn biến đường bờ bằng công nghệ ảnh viễn thám, áp dụng cho vịnh Đà Nẵng. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng* **2018**, 3(124), 1–5.
12. Duy, Đ.V.; Đăng, K.H. Quan trắc diễn biến đường bờ Cù Lao Dung bằng công nghệ phân tích ảnh viễn thám. *Tạp chí Vật liệu & Xây dựng* **2023**, 13(2), 54–58.
13. Hà, N.T.T. Ứng dụng hệ thống phân tích đường bờ kỹ thuật số (DSAS) và tư liệu viễn thám nghiên cứu biến động đường bờ biển khu vực cửa sông Lạch Ghép-Thanh Hóa. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2021**, 68, 1–9.
14. Acharya, T.D.; Subedi, A.; Lee, D.H. Evaluation of Water Indices for Surface Water Extraction in a Landsat 8 Scene of Nepal. *Sensors* **2018**, 18, 2580.
15. Thành, N.T. Phân tích và đánh giá diễn biến xói lở và bồi tụ ở khu vực tỉnh Quảng Nam bằng ảnh viễn thám và GIS. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 737, 15–25.
16. Mầu, L.Đ. Đặc điểm biến đổi đường bờ tại khu vực Cửa Đại (Hội An) từ năm 1965 đến năm 2003. Tuyển tập nghiên cứu biển, Tập XV, 2006, tr. 38–48.
17. Dũng, V.T. Ứng dụng ảnh vệ tinh đánh giá diễn biến đường bờ biển, tỉnh Bình Định. Diss. Trường Đại học Bách khoa-Đại học Đà Nẵng, 2018.
18. Cương, V.Đ.; Hùng, N.T.; Hùng, N.V.; Luân, N.T. Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS nghiên cứu diễn biến xói lở, bồi tụ vùng bờ biển, cửa sông tỉnh Thừa Thiên Huế. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2018**, 48, 1–11.
19. Diễm, P.K.; Minh, V.Q.; Điệp, N.T.H.; Đen, Đ.V. Đánh giá tình hình sạt lở, bồi tụ khu vực ven biển tỉnh Cà Mau và Bạc Liêu từ 1995-2010 sử dụng viễn thám và công nghệ GIS. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2013**, 26, 35–43.
20. Luân, N.T.; Sơn, N.H.; Tùng, T.T. Nghiên cứu biến động vùng cửa sông Cái, Nha Trang qua các tư liệu viễn thám (giai đoạn 1999-2013). *Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2014**, 45, 18–23.
21. Bình, P.D.H.; Thảo, H.T.; Bình, N.T. Đánh giá biến động cửa sông Tiên Châu, tỉnh Phú Yên bằng công nghệ viễn thám. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 722, 77–88.

22. Tiên, N.N.; Cường, Đ.H.; Ưu, Đ.V.; Sáo, N.T.; Tuấn, T.A.; Nam, L.Đ. Phân tích biến động đường bờ khu vực bờ biển cửa sông Hậu bằng tư liệu viễn thám. *VN J. Marine Sci. Technol.* **2017**, *17(4)*, 386–392.
23. Trục tuyến: <https://code.earthengine.google.com/>.
24. Gao, B. NDWI A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. *Remote Sens. Environ.* **1996**, *58*, 257–266.
25. Xu, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.* **2006**, *27*, 3025–3033.
26. Feyisa, G.L.; Meilby, H.; Fensholt, R.; Proud, S.R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* **2014**, *140*, 23–35.
27. Murray, N.J.; Phinn, S.R.; Clemens, R.S.; Roelfsema, C.M.; Fuller, R.A. Continental Scale Mapping of Tidal Flats across East Asia Using the Landsat Archive. *Remote Sens.* **2012**, *4(11)*, 3417–3426.
28. Otsu, N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* **1979**, *9(1)*, 62–66. Doi:10.1109/TSMC.1979.4310076.
29. Cự, N.V. và cs. Sạt lở bờ biển miền Trung Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, 2003.

Study on coastline evolution and erosion - accretion process of coastal area in Da Nang City

Ninh Thu Trang¹, Nguyen Quang Minh², Nguyễn Thái Sơn³, Nguyen Minh Hai⁴, Nguyen Anh Ngoc^{4*}

¹ Thanh An Corporation, Ministry of Defence; ninhthutrang.789@gmail.com

² Institute of Oceanography and Environment; nguyenquangminh2110@gmail.com

³ Institute of Geography; nguyenthaison99@gmail.com

⁴ Center for Oceanography; haimesigol@gmail.com; anhngoc150986@gmail.com

Abstract: A remote sensing technology in combination with Google Earth Engine (GEE), Geographic Information System (GIS) and Digital Shoreline Analysis System (DSAS) was applied in this research in order to create a map of coastline changes and analyze erosion-accretion rates in coastal areas of Da Nang. Water indices such as AWEIsh; AWEInsh; NDWI, MNDWI 1, MNDWI 2 and Otsu thresholding algorithms facilitate the accurate determination of the coastline position in each moment of imaging. The calculations of coastal erosion and accretion were made in three different periods: 1965 ÷ 1995; 1995 ÷ 2005 and 2005 ÷ 2020. Research results show that during these periods, alternating accretion and erosion occurred along the coast of Da Nang. The problem of erosion has arisen recently only on the northern and southern beaches at a low rate but has directly affected the local tourist attraction and infrastructure. Therefore, more detailed researches on the causes of coastal erosion is necessary for the purpose of management and development of the marine economy, natural disasters prevention, and environmental protection.

Keywords: Water index; Otsu; GEE; DSAS; GIS; Erosion - Accretion.

Table of content

- 1** Tuan, N.D.; Anh, D.P. Assessment of eutrophication status of some inner lakes in Hai Ba Trung District, Hanoi City. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 754, 1–8.
- 9** Phuong, P.V.T.; Hanh, P.T.H.; Long, B.T. Application of remote sensing, GIS to assess the rate and range of coastal erosion in the Mekong River Delta, from Tien Giang to Soc Trang Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 754, 9–25.
- 26** Hue, V.V. Construction solutions overcomes erosions in Thanh Long Island. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 754, 26–43.
- 44** Trung, N.D.; Duc, N.A.; Viet, N.T.; Tung, N.B. Research on developing a set of urban water scarcity index suitable for Da Nang City. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 754, 44–58.
- 59** Chung, T.B.; Phuong, T.A.; Hang, T.T.D.; Anh, N.N.; An, H.T.; Campbell, S.B. Using high-resolution satellite rain data in flow simulation for a data - Scarce river basin. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 754, 59–70.
- 71** Cuong, T.Q.; Son, D.H.; Tuan, L.X. Diversity of mangrove vegetation and effects of sea level rise in on mangroves in Thanh Phu District and Binh Dai District, Ben Tre Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 754, 71–78.
- 79** Hue, V.H. Construction solutions prevents erosion on Vam Co Tay Riverbank. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 754, 79–100.
- 101** Trang, N.T.; Minh, N.Q.; Son, N.T.; Hai, N.M.; Ngoc, N.A. Study on coastline evolution and erosion - accretion process of coastal area in Da Nang City. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 754, 101–113.