

Phần II
**CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG –
CHỈNH TRỊ SÔNG**

SỰ THIẾU HỤT BÙN CÁT VÀ BIẾN ĐỘNG LÒNG DẪN Ở SÔNG TIỀN VÀ SÔNG HẬU ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Trần Tuấn Anh^{1,2}, Nguyễn Bình Dương¹, Lê Thanh Chương^{1,2},
Lê Mạnh Hùng^{1,2}, Nguyễn Nghĩa Hùng¹

¹ Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam

² Công ty Cổ phần Tư vấn và Xây dựng Việt Thành

TÓM TẮT

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

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

ABSTRACT

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

Key words: Vietnam Mekong Delta, mathematical model, lower riverbed, sediment.

1. MỞ ĐẦU

Đồng bằng sông Cửu Long là một trong những đồng bằng lớn nhất ở Đông Nam Á. Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) của Việt Nam có tầm quan trọng rất lớn trong sự phát triển kinh tế - xã hội của Việt Nam. Những đặc điểm độc đáo và thuận lợi như đất đai tươi tốt, nhiệt đới

và màu mỡ đã tạo cơ sở cho nền nông nghiệp trù phú, chính vì vậy ĐBSCL được coi là “vựa lúa” của Việt Nam. Với sản lượng gạo hàng năm đạt 24 triệu tấn/năm, tương đương một nửa tổng sản lượng gạo của Việt Nam, ĐBSCL có nhiệm vụ đảm bảo an ninh lương thực cho đất nước trong nhiều thập kỷ, đóng góp khoảng 17,7%

GDP quốc gia, theo báo cáo thường niên năm 2020 của Liên đoàn Thương mại và Công nghiệp Việt Nam (VCCI) và Đại học Fulbright Việt Nam [1].

Đồng bằng sông Cửu Long được hình thành từ trầm tích được đưa xuống bởi sông Mê Công từ lưu vực sông rộng 800.000 km². Trầm tích được vận chuyển chủ yếu vào mùa gió mùa (mùa mưa). Tuy nhiên, tải lượng trầm tích thời kỳ trước đây là 150 - 170 triệu tấn/năm, đã giảm 40 - 70% do các đập trên thượng nguồn giữ lại trầm tích [2], [3], [4], [5], [6], [7]. Nghiên cứu mới nhất về bùn cát ở sông Mê Công đã chỉ ra rằng hiện nay tổng lượng bùn cát về đến đồng bằng là khoảng 25 triệu tấn/năm. Việc phát triển các đập thượng nguồn (bao gồm cả xây dựng mới và phá dỡ do hết tuổi thọ công trình) thì tổng lượng bùn cát gần như không đổi trong tương lai [8]. Bên cạnh đó, nguồn cung cấp trầm tích cho Đồng bằng sông Cửu Long cũng bị giảm nghiêm trọng do khai thác cát trong sông, phổ biến ở hạ lưu sông Mê Công và ĐBSCL [9].

Đã có khá nhiều nghiên cứu chỉ ra sự thiếu hụt bùn cát tác động đến sông Tiền và sông Hậu. Tuy nhiên gần như các nghiên cứu này chỉ tập trung đánh giá biến động chế độ thủy động lực và bùn cát hoặc biến động đáy sông tại một tại một vài thời điểm và phạm vi nhất định [10], [11], [12], [13]. Và vì vậy ảnh hưởng tổng thể của sự thiếu hụt bùn cát đến hình thái sông toàn đồng bằng vẫn còn nhiều hạn chế.

Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu mô phỏng diễn biến hình thái sông trên phạm vi dòng chính của sông Tiền và sông Hậu. Với một mô hình hai chiều chi tiết và các số liệu khảo sát thực địa xuyên suốt từ thượng lưu đến cửa biển, kết quả của mô hình đã đưa ra được một bức tranh tổng thể về biến đổi hình

thái lòng dẫn sông Tiền và sông Hậu dưới yếu tố tự nhiên. Kết quả của mô hình cũng đã đặt ra vấn đề của vùng ĐBSCL đối với các vấn đề về hạ thấp lòng dẫn, lún sụt, xâm nhập mặn và nước biển dâng.

2. TÀI LIỆU CƠ BẢN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đồng bằng sông Cửu Long

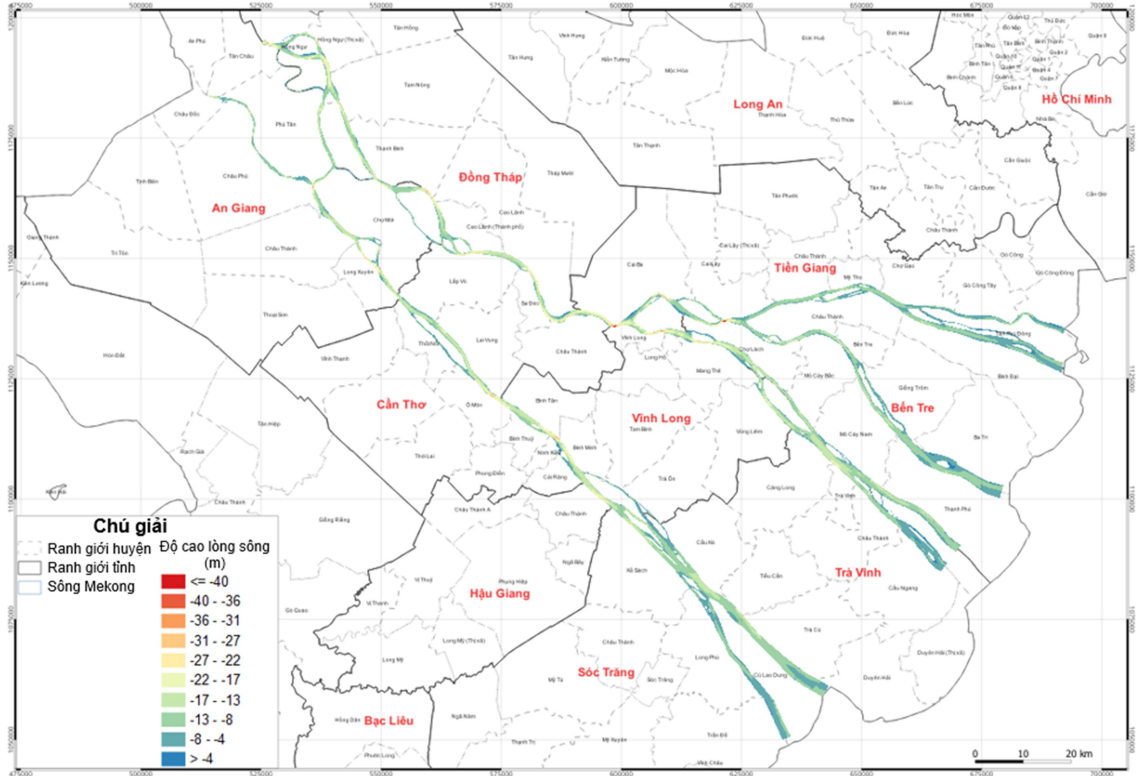
Sông Mê Công dài 4.880 km, lưu vực 795.000 km², chảy qua Trung Quốc, Myanmar, Lào, Thái Lan, Campuchia và Việt Nam rồi đổ ra Biển Đông. Lưu vực sông Mê Công được chia thành vùng thượng lưu (24% diện tích) và vùng hạ lưu (76% diện tích). Thượng nguồn sông Mê Công nằm ở Trung Quốc và Thái Lan. Hạ lưu sông Mê Công nằm ở Thái Lan, Lào, Campuchia và Việt Nam.

Nằm ở vùng hạ lưu sông Mê Công, ĐBSCL là nơi sinh sống của khoảng 17 triệu người có sinh kế phụ thuộc vào nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản. ĐBSCL là vùng trũng thấp, có cao độ mặt đất trung bình 0,7 - 1,2 m. Tổng diện tích của ĐBSCL khoảng 39.000 km², tính từ biên giới Việt Nam - Campuchia, cách các trạm đo Tân Châu và Châu Đốc vài km về phía Đông và Biển Tây Việt Nam. Mùa lũ ở ĐBSCL kéo dài từ tháng 6, đến tháng 11, trong khi mùa khô kéo dài từ tháng 12 năm trước đến tháng 5 năm sau. Tổng lượng nước năm ở sông Tiền và sông Hậu là vào khoảng 300 - 550 tỷ m³/năm [14], [15]. Trước Vàm Nao, sông Tiền vận chuyển khoảng 80% dòng chảy và bùn cát và sông Hậu vận chuyển khoảng 20% phần còn lại.

ĐBSCL là một trong những vùng đồng bằng dễ bị tổn thương nhất trên thế giới do xâm nhập mặn cùng với mực nước biển dâng và phát triển ở thượng nguồn [16]. Ngày càng có nhiều lo ngại về

tác động tiềm ẩn của việc hạ thấp lòng dẫn đến xâm nhập mặn và thay đổi nguồn

nước theo mùa đối với sản xuất lúa gạo và phát triển kinh tế xã hội ở vùng.



Hình 1. Vùng ĐBSCL và địa hình đáy sông Tiền và sông Hậu (cập nhật 2022)

2.2. Số liệu cơ bản

Các số liệu cơ bản phục vụ thiết lập mô hình bao gồm:

Tài liệu địa hình: Đã thu thập và đo đạc các tài liệu địa hình bổ sung bằng thiết bị đo sâu hồi âm đơn tia. Khoảng 7.000 hecta diện tích sông đã được đo đạc vào tháng 12 năm 2021 cho khu vực sông Tiền kéo dài từ biên giới Việt Nam - Campuchia đến hết sông Vàm Nao. Ngoài ra, hơn 500 km đoạn sông, từ cửa sông đến thượng nguồn và một số khu vực khác, đã được đo đạc vào tháng 6 và tháng 10 năm 2022. Các dữ liệu địa hình đã được hiệu chỉnh và đồng nhất với hệ cao độ Hòn Dấu.

Dữ liệu thủy văn: Các dữ liệu về thủy văn dòng chảy đã được cung cấp bởi Đài Khí tượng Thủy văn Nam Bộ. Các trạm thủy văn dọc theo dòng chính của sông Tiền và sông Hậu đã ghi lại thông tin về mực nước và lưu lượng hàng giờ (Hình 2). Đồng thời, các trạm thủy văn cấp 1 (bao gồm trạm Tân Châu, Châu Đốc, Vàm Nao, Cần Thơ và Mỹ Thuận) đã cung cấp dữ liệu về số liệu bùn cát lơ lửng cho các năm 2017 và 2022. Vị trí của các trạm thủy văn được mô tả trên Hình 2.

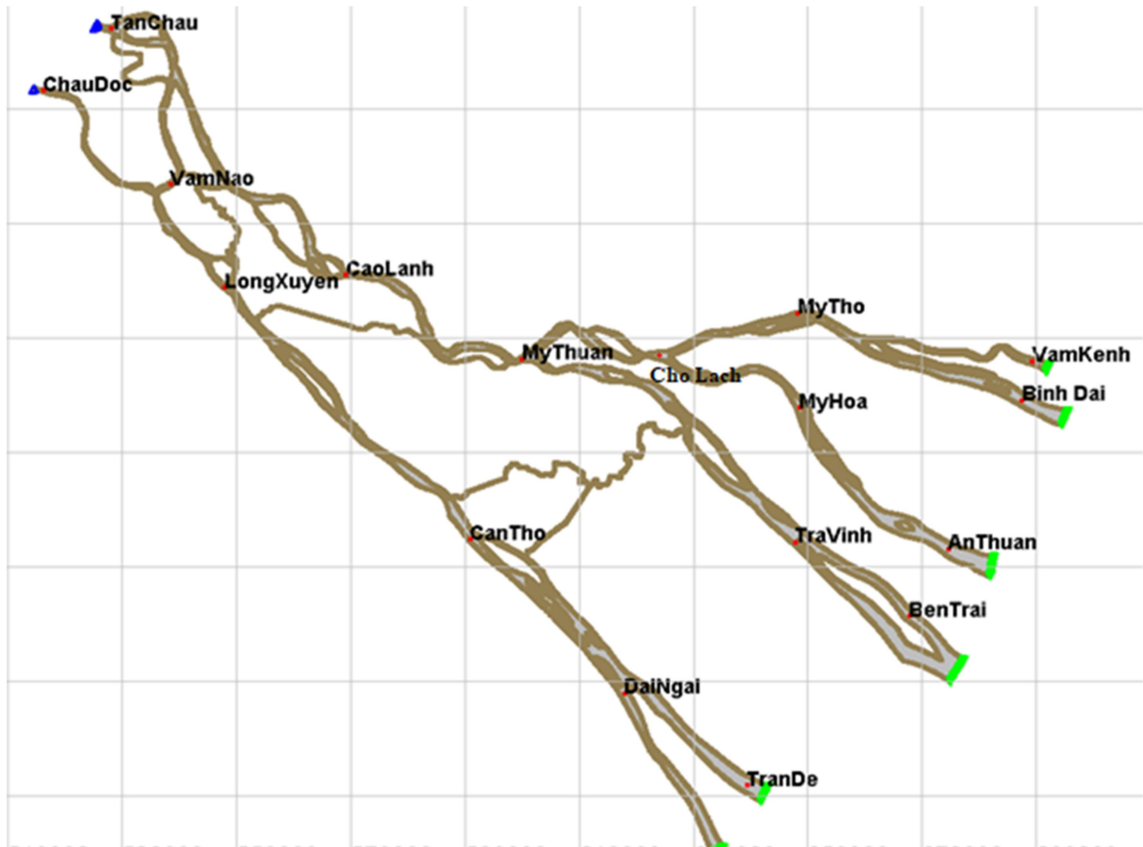
Dữ liệu bùn cát đáy: Nghiên cứu đã sử dụng dữ liệu về bùn cát đáy thu thập bằng thiết bị đo hồi âm đa tia. Các dữ liệu khảo sát đã được thực hiện trong thời gian mùa mưa và mùa khô để xác định tải

lượng bùn cát đáy tại nhiều vị trí trên sông Tiền và sông Hậu. Quá trình thu thập dữ liệu này đã phục vụ cho mô phỏng và kiểm định trong nghiên cứu.

Dữ liệu địa chấn tầng nông: Đối với việc xác định chính xác chiều dày của từng tầng bùn cát đáy, nghiên cứu đã sử dụng dữ liệu địa chấn tầng nông. Dữ liệu này đã được thu thập trên toàn bộ chiều dài sông Tiền và sông Hậu, cho phép xác

định chiều dày của tầng bùn cát đáy một cách chính xác hơn so với các nghiên cứu trước đây.

Dữ liệu mẫu bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng: Trong quá trình khảo sát, các mẫu bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng đã được thu thập dọc theo sông và trên các mặt cắt ngang khác nhau. Các dữ liệu này cung cấp thông tin chi tiết về tính chất của bùn cát trong khu vực nghiên cứu.



Hình 2. Sơ đồ lưới tính toán và các trạm thủy văn trên dòng chính ở ĐBSCL

2.3. Thiết lập, hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Chúng tôi đã phát triển mô hình nước nông và hình thái dựa trên TELEMAC-2D, kết hợp với SISYPHE để mô phỏng sự vận chuyển trầm tích và thay đổi hình thái sông ở Đồng bằng sông Cửu

Long Việt Nam. TELEMAC-2D dựa trên việc giải phương trình nước nông, được gọi là phương trình Saint-Venant bằng Phương pháp phần tử hữu hạn (FEM). SISYPHE được phát triển để giải phương trình vận chuyển trầm tích cho cả tải lượng đáy và tải lượng lơ lửng.

Mô hình chúng tôi đang sử dụng kéo dài từ Tân Châu và Châu Đốc là biên thượng nguồn đến Biển Đông tại 7 cửa sông: Cửa Tiểu, Cửa Đại, Hàm Luông, Cổ Chiên, Cung Hầu, Định An và Trần Đề, là các biên ở hạ lưu. Mô hình có tổng cộng 557.000 phân tử, với kích thước nhỏ nhất là 15 m ở các đoạn trong sông và kích thước lớn nhất là 200 m ở các đoạn cửa sông (Hình 2). Mô hình sẽ được hiệu chỉnh bằng các dữ liệu năm 2017 và kiểm định bằng dữ liệu 2022.

2.3.1. Hiệu chỉnh và kiểm định thủy văn

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

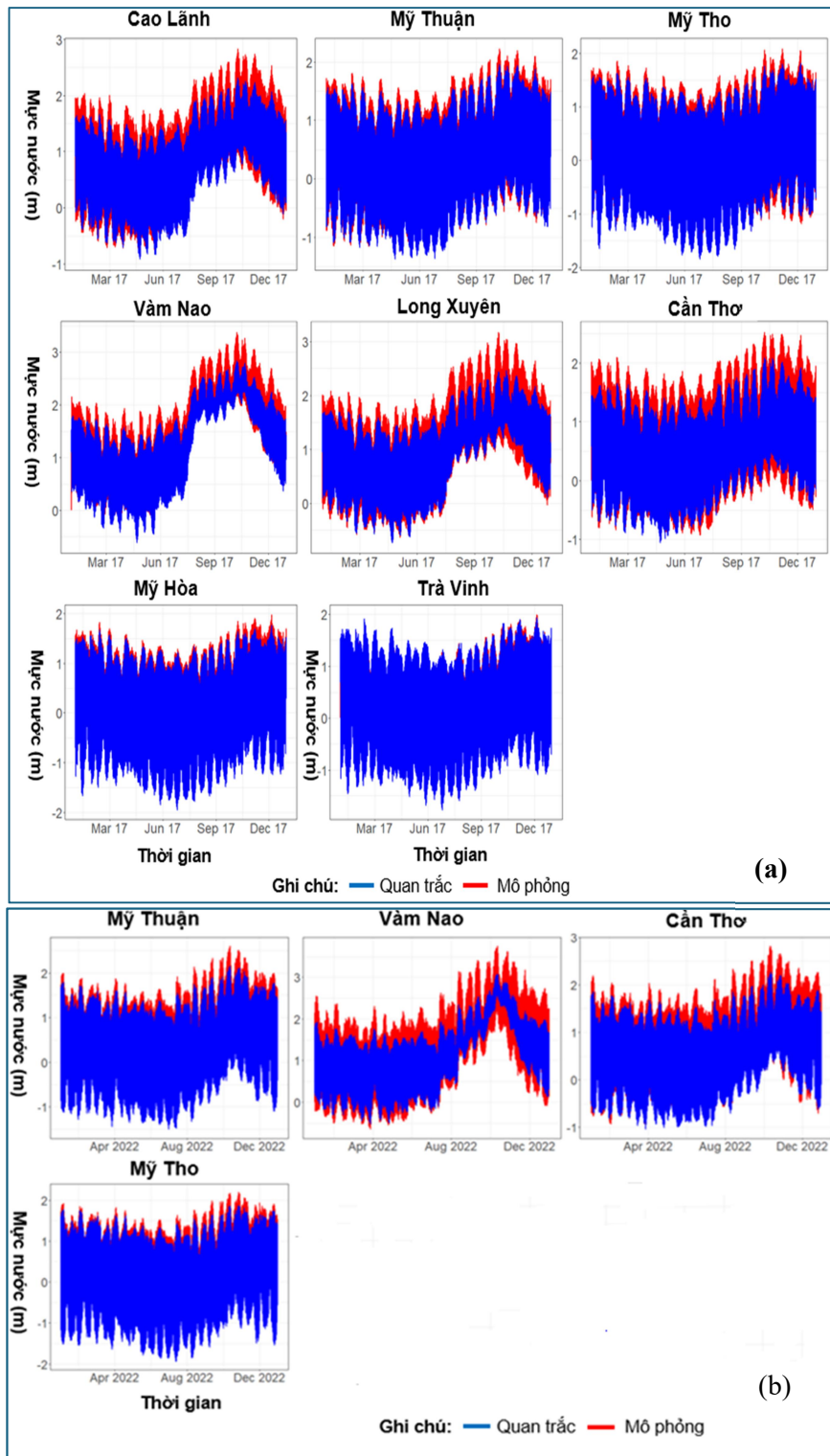
$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{num})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2} \right]$$

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

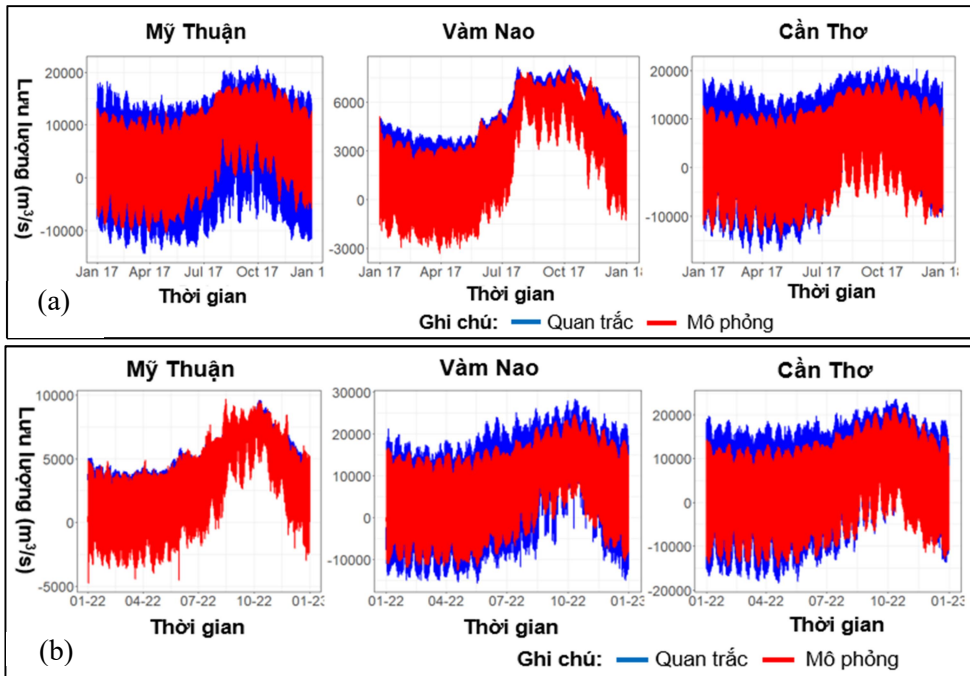
Kết quả hiệu chỉnh mô hình cho thấy: đối với mực nước, giá trị hệ số NSE lớn hơn 0,79, trong khi đối với lưu lượng, giá trị hệ số NSE vượt quá 0,76. Tại tất cả các trạm, kết quả kiểm định đều rất phù hợp với các giá trị đo được (giá trị NSE trên 0,87 đối với mực nước và trên 0,75 đối với lưu lượng).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

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

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



Hình 3. Kết quả hiệu chỉnh mực nước năm 2017 (a) – Kiểm định mực nước năm 2022 (b)



Hình 4. Kết quả hiệu chỉnh lưu lượng cho năm 2017 (a) và kiểm định cho năm 2022 (b)

2.3.2. Hiệu chỉnh và kiểm định bùn cát lơ lửng

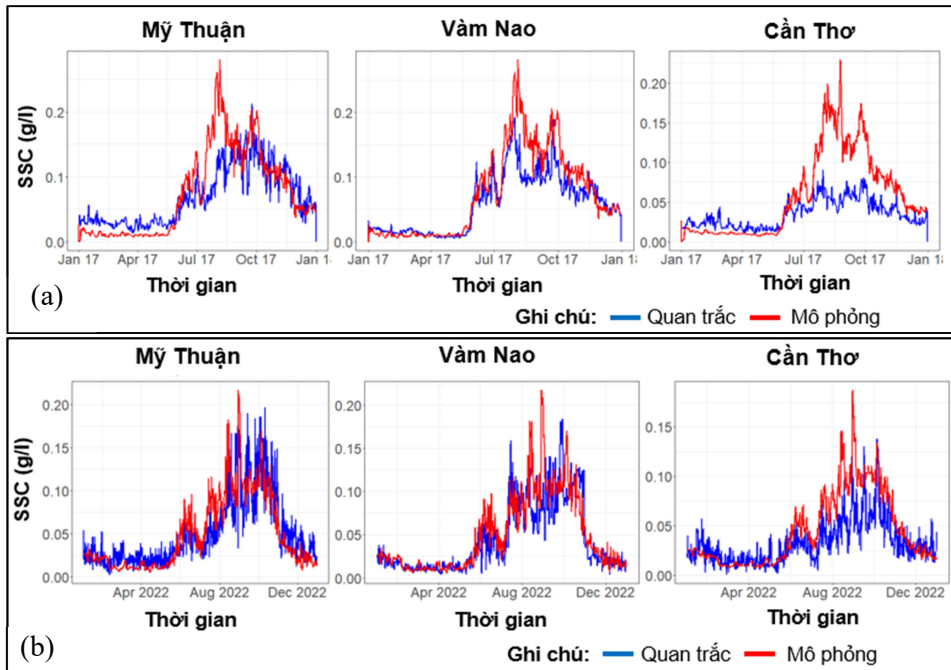
Hệ số độ sai lệch Dev được sử dụng trong hiệu chỉnh này.

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

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

Hình 5 thể hiện kết quả hiệu chỉnh và kiểm định bùn cát lơ lửng. Đáng lưu ý là việc hiệu chỉnh vận chuyển trầm tích khó hơn hiệu chỉnh thủy động lực. Đó là vì các lý do khác nhau: i) Có nhiều sai số giữa số liệu đo đạc trầm tích tại chỗ và phân tích trong phòng thí nghiệm; ii) Việc

tham số hóa quá trình vận chuyển trầm tích trong mô hình số, đặc biệt đối với trầm tích dính, vẫn chưa có đầy đủ chức năng. Ngoài ra, giá trị đo được của trầm tích tại các trạm chỉ được thu thập hai lần một ngày. Việc lấy mẫu trầm tích lơ lửng được thực hiện khi thủy triều lên và xuống. Kết quả hiệu chỉnh 2017 cho Dev tốt ở các trạm Mỹ Thuận và Vàm Nao (Dev lần lượt là 36% và 21%). Đối với kiểm định thì mô hình cho các kết quả tốt hơn (Dev nhỏ hơn 30% cho tất cả các trạm). Có thể thấy việc sử dụng các tài liệu địa hình năm 2022 đã ảnh hưởng khá lớn đến việc hiệu chỉnh mô hình cho số liệu thủy văn và bùn cát của năm 2017. Tuy nhiên kết quả kiểm định cho kết quả tốt và có độ chính xác của mô hình vận chuyển trầm tích.



Hình 5. Kết quả hiệu chỉnh bùn cát lơ lửng năm 2017 (a) và kiểm định bùn cát lơ lửng 2022 (b)

2.3.3. Hiệu chỉnh và kiểm định hình thái

Lượng trầm tích chảy vào Đồng bằng đóng vai trò chính trong việc hình thành hình thái của Đồng bằng [17], [18], [19]. Theo một nghiên cứu của Hackney và cộng sự (2020), tổng lượng trầm tích đáy chảy vào khu vực Phnom Penh khoảng 6,18 triệu tấn/năm [9].

Trong kết quả mới nhất của về tải lượng bùn cát về ĐBSCL thì tổng lượng bùn cát (cả bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng) về đến ĐBSCL là vào khoảng 25 triệu tấn/năm [8].

Các nghiên cứu gần đây đã liên tục chứng minh rằng việc khai thác cát ảnh hưởng đáng kể đến hình thái của ĐBSCL [10], [11], [20]. Trong đó các nghiên cứu đã chỉ ra rằng giai đoạn 2017 - 2020 lượng cát khai thác ở ĐBSCL ngày càng gia tăng. Số liệu phân tích ảnh vệ tinh đã dự báo rằng năm 2020, lượng cát khai thác ở ĐBSCL là khoảng 40 triệu tấn/năm [21],

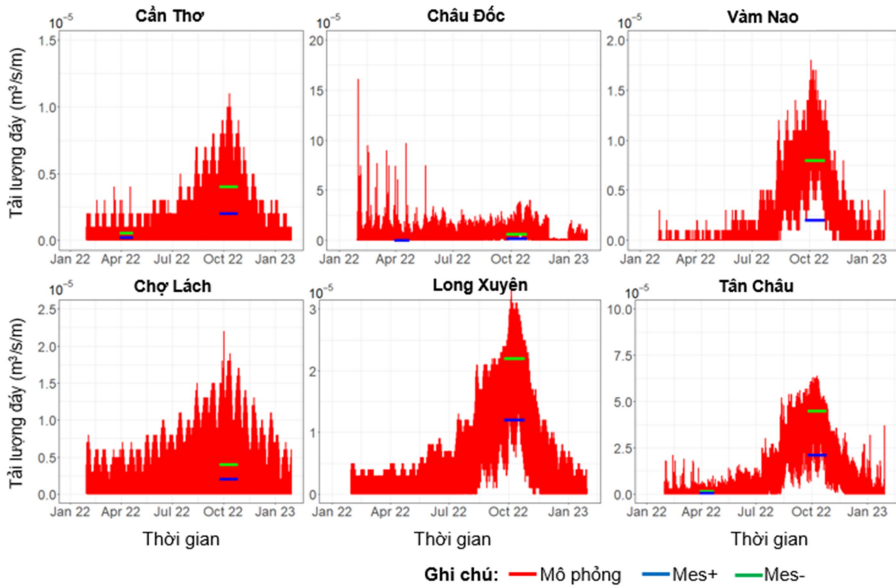
lớn hơn rất nhiều con số bùn cát lắng đọng lại ở đồng bằng.

Do đó, những thay đổi về hình thái của ĐBSCL trong những năm gần đây không chỉ chịu ảnh hưởng của dòng chảy tự nhiên mà còn do hoạt động của con người là yếu tố chính góp phần tạo ra những thay đổi này. Do đó, quá trình điều chỉnh và dự báo hình thái sông bằng cách sử dụng độ sâu của sông hoặc độ cao mặt cắt ngang sẽ gây ra những sai sót không mong muốn và có thể dẫn đến sự khác biệt về kết quả do những thay đổi do con người gây ra.

Vì vậy việc kiểm định và hiệu chỉnh biến động hình thái sẽ được xác định định tính dựa vào kết quả so sánh số liệu thực đo và xu thế biến động của tải lượng bùn cát đáy và biến đổi lòng dẫn thực đo.

Các giá trị đo đạc nằm trong phạm vi từ (Mes-) đến (Mes+), là giá trị trung bình theo thời gian trong đợt khảo sát, với

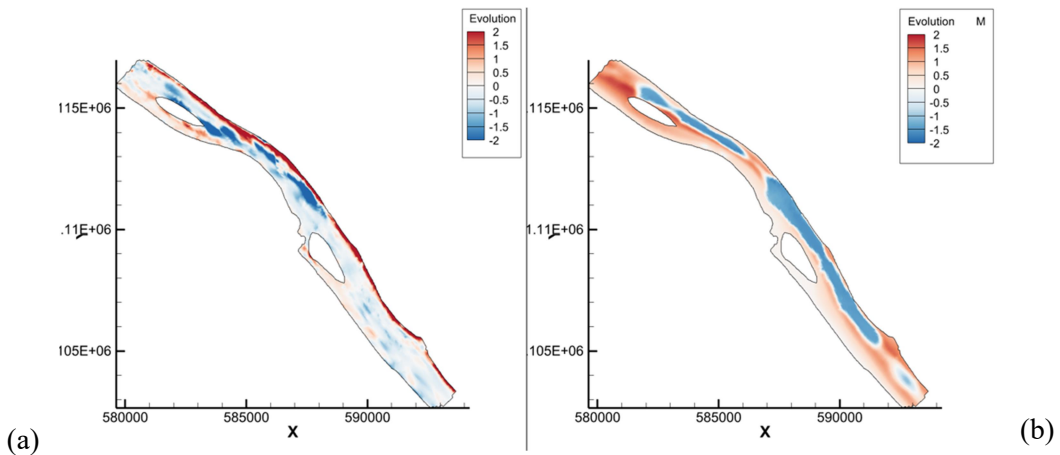
(Mes±) = giá trị đo đặc trung bình ± độ lệch chuẩn. Có thể thấy kết quả mô phỏng bùn cát đáy phản ánh tương đồng với thực tế ở ĐBSCL.



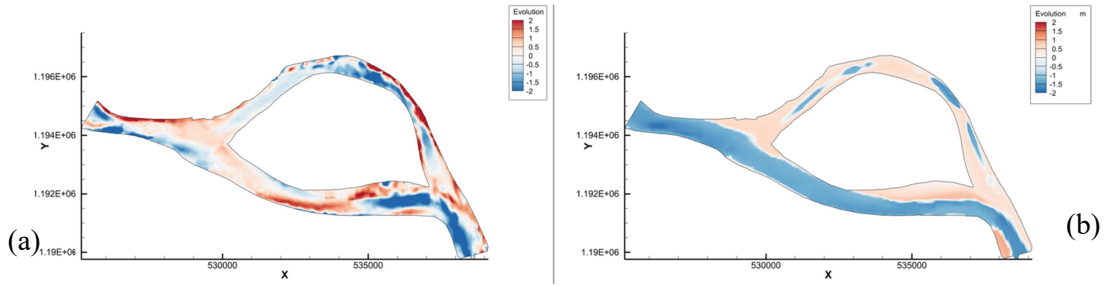
Hình 6. Kết quả kiểm định tải lượng bùn cát đáy theo công thức Meyer – Peter

Với sự hạn chế của mô hình về chiều dài thời đoạn mô phỏng, kết quả mô phỏng thay đổi hình thái cũng phần nào cho thấy mô hình có khả năng diễn toán tương đối hợp lý về mặt xu thế xói bồi và có thể sử dụng cho những dự báo đánh giá tác động của hệ thống công trình kè bảo vệ bờ. Các số liệu đo đạc địa hình tại một

số khu vực năm 2018 và 2022 đã được trích xuất và tính trung bình xói bồi cho một năm (Hình 7a và Hình 8a). Các kết quả này được dùng để so sánh với số liệu mô phỏng (Hình 7b và Hình 8b). Nhìn chung, mô hình mô phỏng tương đồng với xu thế phân bố xói bồi với thực tế.



Hình 7. Kết quả so sánh biến động đáy sông tại khu vực Tp. Cần Thơ giữa số liệu thực đo 2018 và 2022 (a) và kết quả mô phỏng mô hình (b)



Hình 8. Kết quả so sánh biến động đáy sông tại khu vực Tân Châu - Hồng Ngự giữa số liệu thực đo 2018 và 2022 (a) và kết quả mô phỏng mô hình (b)

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

3.1. Phân tích điều hòa

“Triều xuống” hay “triều lên” rất quan trọng để nghiên cứu chế độ thủy lực trong vùng thủy triều đối xứng trục như ĐBSCL, đặc biệt nếu chúng ta quan tâm đến vận chuyển trầm tích và xâm nhập mặn. Sự so sánh giữa thành phần M2 và sóng điều hòa bậc nhất M4 của nó có thể được sử dụng như một chỉ báo về mức độ bất đối xứng của thủy triều [22]. Trong đó các yếu tố được dùng để mô tả cường độ và bản chất của sự bất đối xứng thủy triều:

- i) Cường độ bất đối xứng thủy triều được định nghĩa là tỷ lệ a_{M4}/a_{M2} trong đó a_{M2} và a_{M4} lần lượt là biên độ thủy triều của M4 và M2. Thông thường, cường độ bất đối xứng là đáng kể khi tỷ lệ này lớn hơn 0,1;
- ii) Tính chất trội thủy triều được xác định là độ lệch pha giữa M4 và M2 $\Delta\phi = (2\phi_{M2} - \phi_{M4})$, trong đó ϕ_{M2} và ϕ_{M4} lần lượt là pha thủy triều của M2 và M4. Thủy triều chiếm ưu thế lũ nếu $0^0 < \Delta\phi < 180^0$ hoặc ngược lại là triều xuống.

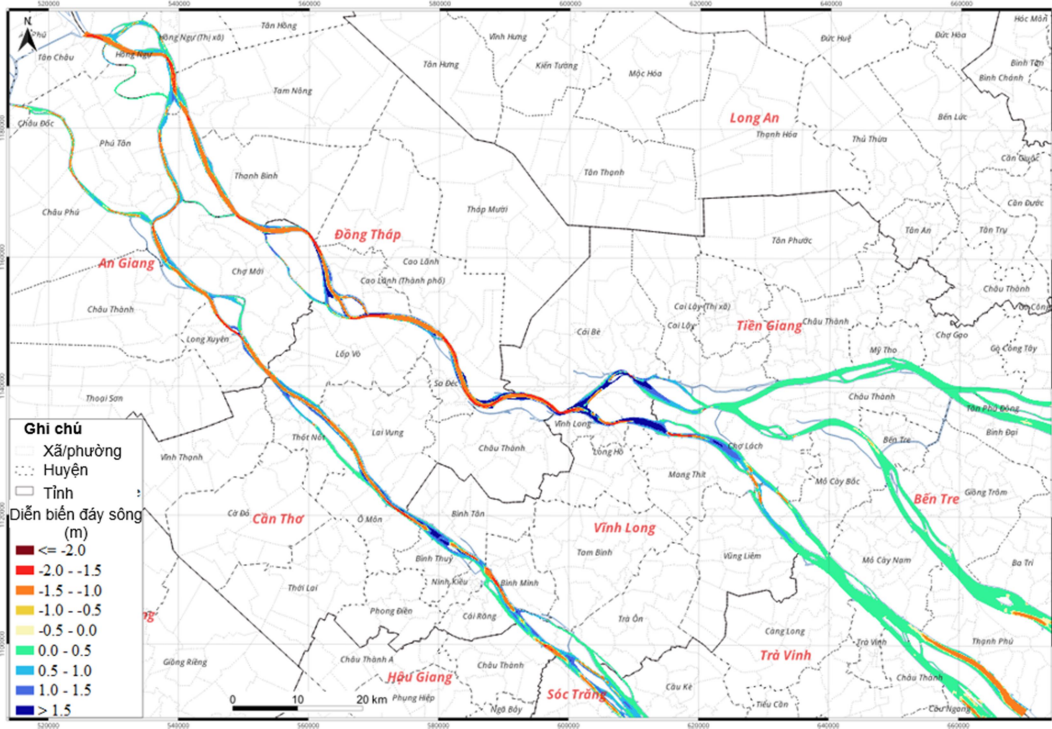
Việc phân tích sóng điều hòa thủy triều không chỉ cung cấp ước tính định lượng về biên độ và sai số của pha mà còn cho thấy bản chất vật lý của sự lan truyền thủy triều trong ĐBSCL. Phân tích thủy triều cho thấy vai trò của nhật triều K1, bán nhật triều M2 và các đỉnh triều M4 và M6 của nó trong việc trộn lẫn nhật triều và bán nhật triều cũng như làm biến dạng thủy triều không đối xứng ở ĐBSCL.

Kết quả phân tích điều hòa và thủy triều (Bảng 2) đã cho thấy sự lan truyền thủy triều nhật triều và bán nhật triều trong ĐBSCL là sự kết hợp, với độ biến dạng vừa phải bởi các sóng triều M4 và M6. Điều đó làm cho thủy triều ở ĐBSCL không đối xứng. So với năm 2022, năm 2017 có chế độ bán nhật triều M2 chiếm ưu thế. Như vậy, mực nước năm 2017 lên xuống nhanh hơn so với năm 2022. Sạt lở bờ sông năm 2017 có nguy cơ cao hơn năm 2022. Trong mùa mưa năm 2017 và 2022, toàn vùng ĐBSCL chịu ảnh hưởng của triều thấp. Điều này tạo điều kiện thoát nước mặn ra biển dễ dàng. Đặc điểm này có thể được sử dụng để quản lý việc tưới tiêu vào mùa khô ở ĐBSCL.

Bảng 2. Kết quả phân tích điều hòa và thủy triều ở ĐBSCL

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

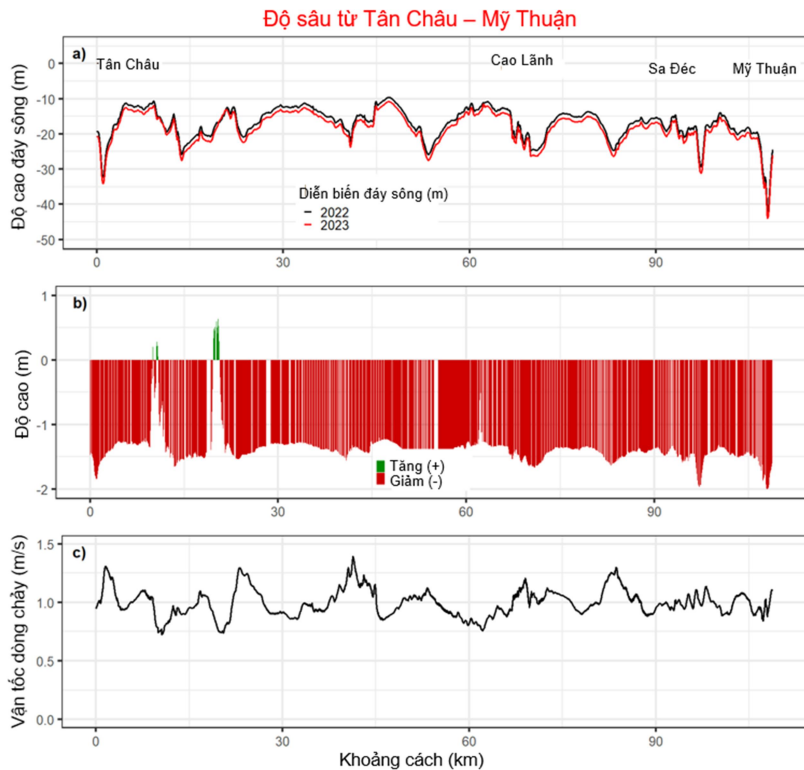
3.2. Sự thay đổi hình thái sông



Hình 9. Diễn biến đáy sông tại ĐBSCL sau một năm mô phỏng

Sự xói mòn lòng sông dọc sông Tiền và sông Hậu cung cấp góc nhìn sâu sắc về mối quan hệ giữa hình thái sông và tốc độ dòng chảy. Hình 9 mô tả kết quả so sánh sự thay đổi lòng sông Tiền và sông Hậu trong thời gian mô phỏng một năm, theo các điều kiện thủy động lực của năm

2022. Phân tích cho thấy sông Tiền, đặc biệt là đoạn từ Tân Châu đến Mỹ Thuận, có những biến động đáng kể ở lòng sông. Tuy nhiên, sau khu vực Mỹ Thuận, sông Tiền chia thành nhiều nhánh, sự biến động của lòng sông từ khu vực này đến các cửa sông là không đáng kể.



Hình 10. Biến đổi hình thái sông trên dòng chính sau mô phỏng 1 năm từ Tân Châu - cầu Mỹ Thuận: a) Đáy sông trên dòng chính năm 2022 so với mô phỏng năm 2023; b) Diễn biến dòng chính sau một năm; c) Mặt cắt dọc vận tốc trung bình theo thời gian trên dòng chính

Sông Tiền có dòng chảy không ổn định ở nhiều vị trí. Trong các đoạn từ Tân Châu đến Mỹ Thuận, vận tốc trung bình theo thời gian vượt quá $1,30 \text{ m.s}^{-1}$, dẫn đến các hố xói sâu và xói mòn, trong khi bồi tụ hiếm khi phát triển, ngoại trừ những nơi vận tốc giảm xuống dưới $0,75 \text{ m.s}^{-1}$ (xem Hình 10). Hình 10 thể hiện mặt cắt dọc của quá trình diễn biến lòng sông trên dòng chính từ Tân Châu đến Mỹ Thuận. Điều đáng chú ý là xói mòn chiếm ưu thế ở hầu

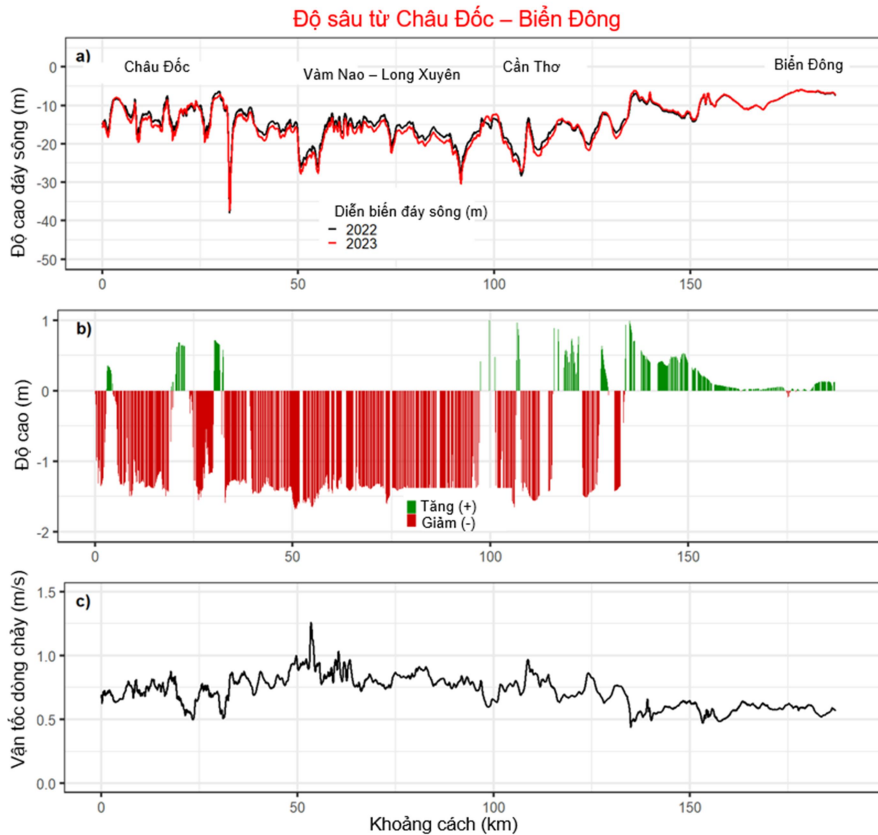
hết đoạn này, với độ sâu xói mòn thay đổi dọc theo dòng chính từ 1,50 m đến 2,0 m trong một năm. Chỉ có hai vị trí xuất hiện bồi tụ với chiều dày 0,25 - 0,50 m.

Hình 11 cho thấy sự thay đổi hình thái sông trên dòng chính từ Châu Đốc đến Biển Đông sau một năm mô phỏng. Chúng tôi lưu ý rằng vận tốc trung bình theo thời gian yếu hơn đoạn từ Tân Châu đến Mỹ Thuận trên sông Tiền, vận tốc thay đổi trong khoảng $0,50 - 1,25 \text{ m.s}^{-1}$ dọc theo

dòng chính (Hình 11c). Điều này giải thích tại sao bồi tụ xuất hiện ở đó thường xuyên hơn và xói mòn giảm nhẹ so với đoạn từ Tân Châu đến Mỹ Thuận ở sông Tiền. Các xu hướng xói mòn và bồi lắng trên dòng chính của sông Hậu có thể được chia thành hai phần riêng biệt. Đoạn đầu tiên dài khoảng 130 km, từ Châu Đốc đến Cần Thơ. Trong đoạn này, xu hướng xói mòn chính là lòng sông có độ sâu xói mòn trung

bình từ 1 đến 1,5 m. Tuy nhiên, ở một số vị trí có vận tốc dòng chảy trung bình thấp (cụ thể là đoạn sông trước ngã ba Vàm Nao), quá trình bồi lắng lại diễn ra.

Đoạn thứ hai bao gồm đoạn sông từ sau cầu Cần Thơ đến biển Đông. Ở khu vực này, tốc độ dòng chảy trung bình tương đối thấp, dưới 0,75 m/s. Do đó, xu hướng chính ở đoạn này là bồi lắng, với tốc độ bồi lắng cao, dao động từ 0,2 đến 1 m.



Hình 11. Biến đổi hình thái sông trên dòng chính từ Châu Đốc đến Biển Đông sau mô phỏng 1 năm: a) Đáy sông trên dòng chính năm 2022 so với mô phỏng năm 2023; b) Diễn biến dòng chính sau một năm; c) Mặt cắt dọc vận tốc trung bình theo thời gian trên dòng chính

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

Đoạn sông Tiền đoạn qua thành phố Hồng Ngự thuộc nhánh phía bắc sông Tiền. Tại khu vực này, sông Tiền hội tụ

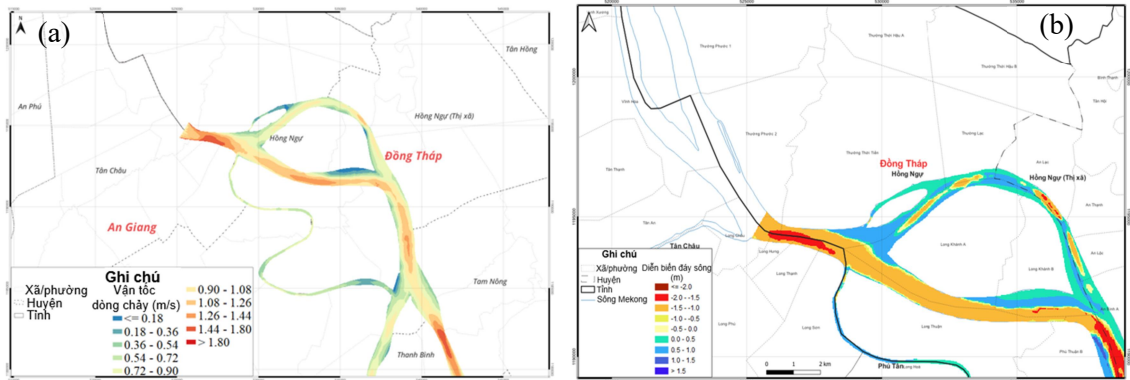
với hai con sông khác là sông Sở Thượng và sông Hồng Ngự. Dữ liệu địa hình thu thập năm 2022 tại vị trí này cho thấy sự hiện diện của các hố xói sâu. Những hố xói này là những chỗ trũng hoặc hố đào dưới lòng sông có độ sâu lên tới 35 m.

Nhánh phía bắc sông Tiền chảy qua gần thành phố Hồng Ngự, nối với sông Sở Thượng và sông Hồng Ngự. Tại khu vực Hồng Ngự, vận tốc dòng chảy trung bình theo thời gian xấp xỉ 0,8 m/s. Tuy nhiên, ở những đoạn sông cong và hẹp, vận tốc trung bình có thể vượt quá 1,0 m/s. Những khu vực này có tốc độ dòng chảy cao hơn do đặc tính hình thái của đoạn sông cong (Hình 12a).

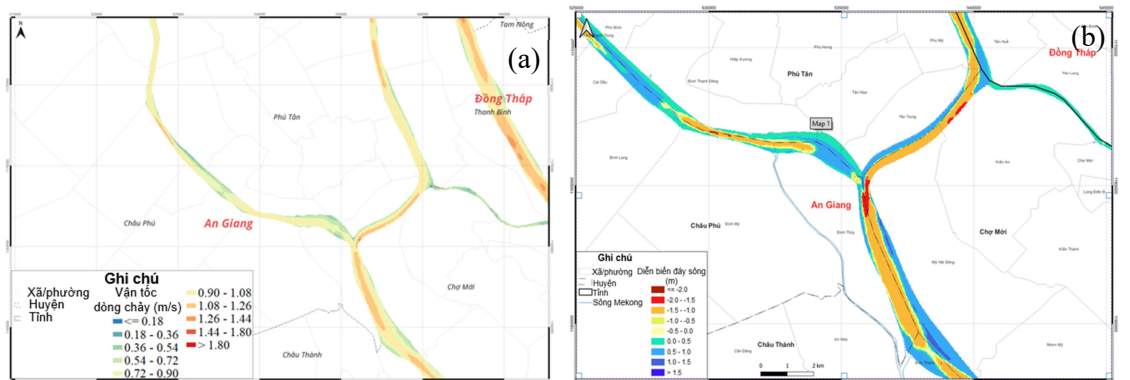
Ở đoạn sông này, lòng sông có xu hướng xói mòn và bồi tụ xen kẽ nhau. Xói mòn đề cập đến sự bào mòn của lòng sông, trong khi bồi tụ đề cập đến sự lắng đọng trầm tích, dẫn đến sự gia tăng độ

cao. Sự suy giảm lòng sông đặc biệt tập trung ở khu vực thành phố Hồng Ngự, cho thấy tình trạng xói mòn đáng kể ở khu vực này (Hình 12a).

Hình 12b minh họa sự thay đổi hình thái ở nhánh phía nam sông Tiền quanh cù lao Long Khánh. Tại khu vực này có xu hướng xói mòn dọc sông, tốc độ dòng chảy trung bình toàn vùng đạt 0,95 m/s. Tuy nhiên, khi sông càng về cuối cù lao Long Khánh (bờ bên phải sông theo hướng về phía hạ lưu), trong khi bờ trái (bờ bên trái sông khi hướng về phía hạ lưu) có xu hướng bồi tụ.



Hình 12. Trường vận tốc lớn nhất mùa lũ (10/2022) (a) và biến động đáy sông tại Tân Châu - Hồng Ngự (b)



Hình 13. Trường vận tốc lớn nhất mùa lũ (10/2022) (a) và biến động đáy sông tại Vàm Nao (b)

Toàn bộ khu vực Vàm Nao - sông Hậu phía hạ lưu có lòng dẫn sông bị hạ

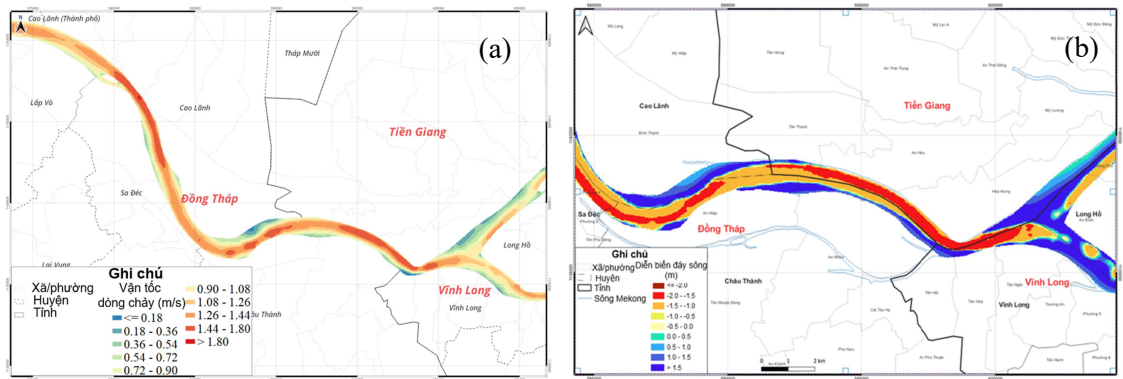
thấp với tốc độ trung bình 1,4 m/năm. Ngược lại phía thượng lưu có hiện tượng

trầm tích bồi tụ, dẫn đến độ cao trung bình đáy sông tăng khoảng 1 m/năm. Lòng dẫn ở khu vực này ngày càng nông hơn. Hạ lưu nơi hợp lưu sông Hậu và sông Vàm Nao, cụ thể từ xã Bình Thủy đến An Hòa có nhiều điểm đáng chú ý. Trong mùa lũ, dòng nước mạnh ép về phía bờ phải sông Hậu, tốc độ trung bình trên 1,3 m/s. Dòng chảy mạnh này có nguy cơ đáng kể làm tăng xói mòn lòng sông và mất gây ổn định ở bờ phải.

Theo kết quả mô phỏng 1 năm, tại đoạn sông Tiền chảy qua thành phố Sa Đéc, gần bờ phải vận tốc trung bình gần 1 m.s^{-1} , cao nhất trên $2,0 \text{ m.s}^{-1}$ vào mùa lũ.

Các kết quả tính toán cho thành phố Sa Đéc cho thấy xói lở đáng kể về phía bờ phải ở đoạn lồi sông. Xói lở ở bờ phải có thể nhìn thấy rõ, với độ sâu trên 1,5 m (Hình 14).

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



Hình 14. Trường vận tốc lớn nhất mùa lũ (10/2022) (a) và biến động đáy sông tại Mỹ Thuận (b)

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

Để mô phỏng các tác động ngắn hạn trong khoảng thời gian 10 năm, như đã nêu trong phần điều kiện đầu vào, mô hình toán học cần có chuỗi dữ liệu hàng giờ về mực nước, dòng chảy và trầm tích ở các trạm thượng lưu và hạ lưu. Về cơ bản, có thể lấy thông tin về sự biến động của chế độ thủy văn và khí hậu trong tương lai (ví dụ: 2030, 2050, 2100) từ các báo cáo do Ủy ban sông Mê Công (MRC) hoặc Bộ Tài nguyên và Môi trường cung cấp.

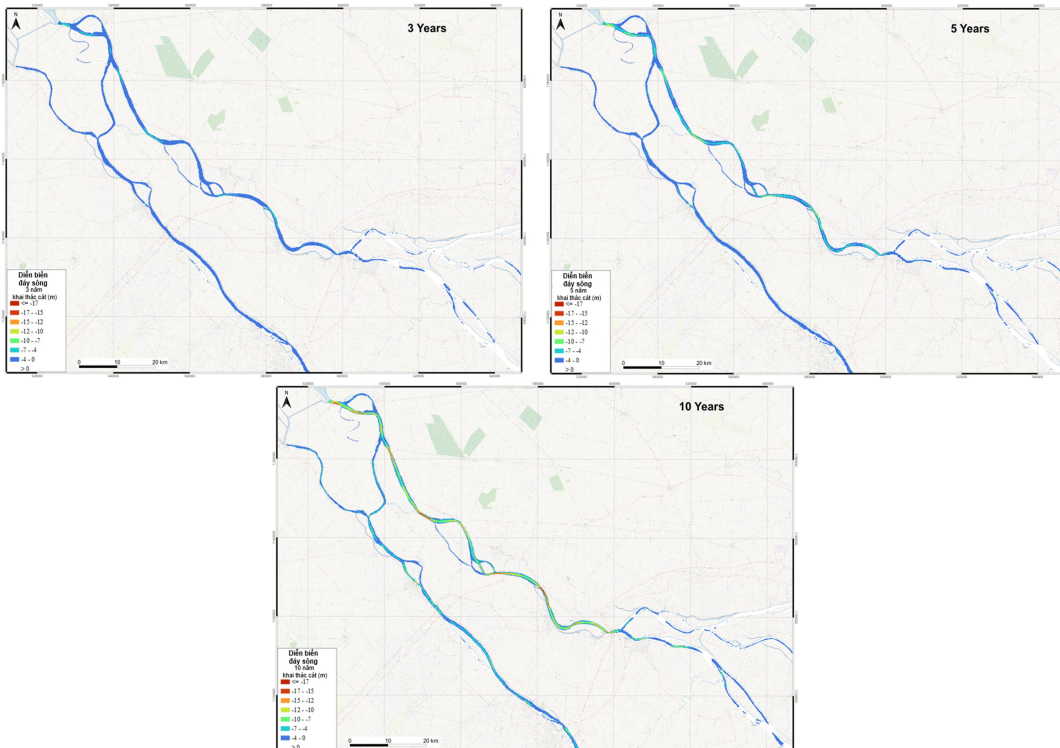
Tuy nhiên, điều quan trọng cần ghi nhớ là những thay đổi về thủy văn diễn ra từ từ và xảy ra trong một thời gian dài. Do đó, điều cần thiết là phải đối chiếu và hiệu chỉnh lại dữ liệu hiện có để phù hợp với tương lai một cách chính xác nhất có thể. Tuy nhiên, do hạn chế về mô hình toán chúng tôi chỉ mô phỏng dựa trên số liệu thực đo năm 2022 và không có xem xét đến sự thay đổi của các yếu tố biến đổi khí hậu, biến đổi thượng nguồn cũng như sự gia tăng phát triển kinh tế xã hội ở vùng ĐBSCL.

Kết quả mô phỏng cho thấy xu hướng hình thái lòng sông đã thay đổi đáng kể so với điều kiện hiện tại. Cả sông Tiền và sông Hậu đều đã hạ thấp lòng sông trung bình khoảng 2 m sau ba năm mô phỏng. Các đoạn sông Tiền từ biên giới Việt Nam - Campuchia đến khu vực cầu Mỹ Thuận bị thay đổi đáng kể. Khu vực Tân Châu đoạn nhánh phải cù lao Long Khánh, các đoạn sông cong ở Cao Lãnh, Sa Đéc và đoạn trước cầu Mỹ Thuận là những ví dụ về những khu vực có lòng sông hạ thấp nhanh. Trong vòng ba năm, dự báo những khu vực này sẽ bị hạ thấp hơn 6 m. Trong khi đó, khu vực từ cầu Mỹ Thuận ra biển Đông cũng sẽ có biến động nhưng không đáng kể.

Tương tự như vậy, sông Tiền tiếp tục là khu vực có mối lo ngại chính về biến động lòng sông sau 5 năm. Tại đó, độ

sâu lòng sông bị hạ thấp điển hình là khoảng 6 đến 7 m. Tại Tân Châu, Cao Lãnh, Sa Đéc có vị trí bị sâu thêm trên 10 m. Tương tự, mực nước lòng sông trên nhánh sông Hậu đã bị hạ thấp trung bình khoảng 3 m sau 5 năm. Long Xuyên và Ninh Kiều (Cần Thơ) là những khu vực trên sông Hậu bị hạ thấp nhiều nhất, với độ sâu lần lượt là 6 m và 8 m.

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



Hình 15. Kết quả mô phỏng biến động hình thái sông Tiền và sông Hậu lần lượt sau 3, 5 và 10 năm

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

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

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

Hiện nay, trạng thái cân bằng ở ĐBSCL đang bị phá vỡ, dẫn đến xói mòn chủ yếu xảy ra ở thượng nguồn đồng bằng

và bồi lắng chủ yếu diễn ra ở hạ lưu. Trong điều kiện tự nhiên, tốc độ xói mòn và bồi lắng sẽ thay đổi dần theo thời gian khi dòng sông dần trở lại trạng thái cân bằng. Tốc độ này được thể hiện thông qua kết quả mô phỏng liên tục trong 10 năm cho toàn vùng đồng bằng.

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

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

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

Những rủi ro này sẽ đe dọa đến hoạt động sản xuất trong các khu vực.

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

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ kinh phí bởi Chính phủ CHLB Đức thông qua Tổ chức bảo tồn thiên nhiên thế giới

WWF - Việt Nam thuộc dự án “Giảm thiểu tác động của biến đổi khí hậu và phòng chống thiên tai thông qua sự tham gia của khối công tư trong khai thác cát bền vững ở Đồng bằng sông Cửu Long” và Ngân hàng thế giới WB qua gói dự án “Dự án hỗ trợ kỹ thuật cho dự án chống chịu khí hậu tổng hợp và sinh kế bền vững vùng Đồng bằng sông Cửu Long”. Các tài liệu khảo sát, biên tập và chỉnh sửa số liệu được thực hiện bởi GS. Stephen Darby và các cộng sự thuộc Đại học Southampton, Đại học Newcastle và Đại học Hull. Nhóm tác giả xin cảm ơn Marc Goichot, Hà Huy Anh và Đỗ Huy Toàn từ WWF-Việt Nam vì những thảo luận hiệu quả và những đề xuất có giá trị để cải thiện bài viết này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] VCCI and Fullbright university, ‘Annual Economic Report 2020 – Enhancing Competitiveness for Sustainable Development’, 2020.
- [2] P. Marchesiello *et al.*, ‘Erosion of the coastal Mekong delta: Assessing natural against man induced processes’, *Cont Shelf Res*, vol. 181, 2019, doi: 10.1016/j.csr.2019.05.004.
- [3] N. Van Manh, N. V. Dung, N. N. Hung, M. Kummu, B. Merz, and H. Apel, ‘Future sediment dynamics in the Mekong Delta floodplains: Impacts of hydropower development, climate change and sea level rise’, *Glob Planet Change*, vol. 127, 2015, doi: 10.1016/j.gloplacha.2015.01.001.
- [4] M. A. Allison, C. A. Nittrouer, A. S. Ogston, J. C. Mullarney, and T. T. Nguyen, ‘Sedimentation and survival of the Mekong delta: A case study of decreased sediment supply and accelerating rates of relative sea level rise’, *Oceanography*, vol. 30, no. 3, 2017, doi: 10.5670/oceanog.2017.318.
- [5] G. M. Kondolf, Z. K. Rubin, and J. T. Minear, ‘Dams on the Mekong: Cumulative sediment starvation’, *Water Resour Res*, vol. 50, no. 6, 2014, doi: 10.1002/2013WR014651.
- [6] G. M. Kondolf *et al.*, ‘Changing sediment budget of the Mekong: Cumulative threats and management strategies for a large river basin’, *Science of the Total Environment*, vol. 625, 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.361.
- [7] G. M. Kondolf *et al.*, ‘Save the Mekong Delta from drowning’, *Science (1979)*, vol. 376, no. 6593, 2022, doi: 10.1126/science.abm5176.

- [8] F. E. Dunn and P. S. J. Minderhoud, 'Sedimentation strategies provide effective but limited mitigation of relative sea-level rise in the Mekong delta', *Commun Earth Environ*, vol. 3, no. 1, 2022, doi: 10.1038/s43247-021-00331-3.
- [9] C. R. Hackney, G. Vasilopoulos, S. Heng, V. Darbari, S. Walker, and D. R. Parsons, 'Sand mining far outpaces natural supply in a large alluvial river', *Earth Surface Dynamics*, vol. 9, no. 5, 2021, doi: 10.5194/esurf-9-1323-2021.
- [10] T. T. Kim *et al.*, 'Assessment of the impact of sand mining on bottom morphology in the mekong river in an giang province, vietnam, using a hydro-morphological model with gpu computing', *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 10, 2020, doi: 10.3390/w12102912.
- [11] C. Jordan, J. Visscher, N. V. Dung, H. Apel, and T. Schlurmann, 'Impacts of human activity and global changes on future morphodynamics within the tien river, vietnamese mekong delta', *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 8, 2020, doi: 10.3390/w12082204.
- [12] D. Van Binh *et al.*, 'Hydrodynamics, sediment transport, and morphodynamics in the Vietnamese Mekong Delta: Field study and numerical modelling', *Geomorphology*, vol. 413, 2022, doi: 10.1016/j.geomorph.2022.108368.
- [13] M. A. Allison, H. Dallon Weathers, and E. A. Meselhe, 'Bottom morphology in the Song Hau distributary channel, Mekong River Delta, Vietnam', *Cont Shelf Res*, vol. 147, 2017, doi: 10.1016/j.csr.2017.05.010.
- [14] J. D. Milliman and K. L. Farnsworth, *River discharge to the coastal ocean: A global synthesis*. 2011. doi: 10.1017/CBO9780511781247.
- [15] S. E. Darby *et al.*, 'Fluvial sediment supply to a mega-delta reduced by shifting tropical-cyclone activity', *Nature*, vol. 539, no. 7628, 2016, doi: 10.1038/nature19809.
- [16] A. Smajgl *et al.*, 'Responding to rising sea levels in the Mekong Delta', *Nat Clim Chang*, vol. 5, no. 2, 2015, doi: 10.1038/nclimate2469.
- [17] I. Overeem, J. P. M. Syvitski, and E. W. H. Hutton, 'Three-Dimensional Numerical Modeling of Deltas', in *River Deltas-Concepts, Models, and Examples*, 2011. doi: 10.2110/pec.05.83.0011.
- [18] J. P. M. Syvitski and Y. Saito, 'Morphodynamics of deltas under the influence of humans', *Glob Planet Change*, vol. 57, no. 3–4, 2007, doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.12.001.
- [19] G. J. Orton and H. G. Reading, 'Variability of deltaic processes in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size', *Sedimentology*, vol. 40, no. 3, 1993, doi: 10.1111/j.1365-3091.1993.tb01347.x.
- [20] C. Jordan *et al.*, 'Sand mining in the Mekong Delta revisited - current scales of local sediment deficits', *Sci Rep*, vol. 9, no. 1, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-53804-z.
- [21] C. R. Gruel *et al.*, 'New systematically measured sand mining budget for the Mekong Delta reveals rising trends and significant volume underestimations', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 108, 2022, doi: 10.1016/j.jag.2022.102736.
- [22] C. T. Friedrichs and D. G. Aubrey, 'Non-linear tidal distortion in shallow well-mixed estuaries: a synthesis', *Estuar Coast Shelf Sci*, vol. 27, no. 5, 1988, doi: 10.1016/0272-7714(88)90082-0.

ĐÁNH GIÁ CÁC YẾU TỐ TÁC ĐỘNG ĐẾN SỰ BIẾN ĐỔI MỨC NƯỚC KHU VỰC BIỂN TÂY ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Assessment of factors affecting water level changes in the west coast of Vietnamese Mekong Delta

Nguyễn Nguyệt Minh, Lê Thanh Chương, Lê Duy Tú, Phạm Văn Hiệp
Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam

TÓM TẮT

Hiểu biết về các quá trình gây ra sự thay đổi mực nước ven biển và tác động của nó có ý nghĩa rất lớn trong phát triển kinh tế và quản lý bền vững vùng ven biển, đặc biệt trong lĩnh vực thiết kế và xây dựng cơ sở hạ tầng - công trình bảo vệ bờ biển. Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) nói chung và khu vực ven biển Tây nói riêng là một trong những vùng kinh tế trọng điểm có đóng góp rất lớn cho nông nghiệp và nuôi trồng thủy hải sản. Song khu vực này đang phải chịu nhiều áp lực trước bối cảnh của biến đổi khí hậu và các hoạt động khai thác của con người. Hiện nay các nghiên cứu về biến động mực nước ở ĐBSCL nói chung và khu vực ven biển Tây nói riêng vẫn còn nhiều hạn chế. Do đó trong nghiên cứu này bước đầu sẽ đưa ra đánh giá tác động của một số các yếu tố góp phần vào sự thay đổi dài hạn và ngắn hạn của mực nước ven biển, dựa trên số liệu đo đạc thực tế cùng với các phương pháp phân tích thống kê, kết hợp mô hình số nhằm định lượng tương đối mức độ đóng góp của từng yếu tố và đưa ra các cảnh báo cần thiết trước tình hình thực tế.

Từ khóa: ENSO, nước dâng, sụt lún, ngập lụt vùng ven biển, nước biển dâng tương đối.

ABSTRACT

Understanding the fluctuation in water levels is crucial for the economic and sustainable development of coastal areas, especially when designing infrastructure like coastal protection works. The Mekong Delta (MD) and its west coast are vital economic regions for agriculture and aquaculture. However, they face challenges from climate change and human activities. Research on water level changes in the MK, especially the west coast is limited. This study aims to assess the impact of factors influencing long-term and short-term water level changes. It will use observations, statistical analysis, and numerical models to determine each factor's contribution and provide necessary warnings.

Keywords: ENSO, surge, subsidence, coastal inundation, relative sea-level rise.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trầm tích được bào mòn trên bề mặt lục địa được dòng chảy mang tới cửa sông, tại đây tương tác giữa các quá trình động lực sông - biển hình thành nên đồng bằng. Tùy thuộc vào cân cân giữa trầm tích được cung cấp với lượng trầm tích được sóng và dòng chảy mang đi mà đường bờ dần mở rộng hoặc ngược lại. Vùng đồng bằng thường diễn ra quá trình

sụt lún tự nhiên khi các lớp trầm tích bị nén chặt trong quá trình chôn vùi theo thời gian, bên cạnh đó vùng đồng bằng thường phân bố ở các khu vực ven biển có lớp vỏ trái đất đang chuyển động hạ thấp. Tuy nhiên nén tự nhiên và quá trình kiến tạo thường khá nhỏ, hiện tượng sụt lún đất còn có thể bị gây ra bởi các hoạt động nhân sinh. Gia tăng tải trọng do xây dựng cơ sở hạ tầng, hạ thấp mực nước ngầm do

khai thác nước ở các tầng chứa sâu, việc hạ thấp mực nước ngầm có thể dẫn đến quá trình nén và ô xy hóa các vật chất hữu cơ khi trầm tích giàu hữu cơ tiếp xúc với không khí..., tác động tổng hợp của các cơ chế này gây ra sụt lún trên bề mặt đồng bằng. Các nghiên cứu (Abidin *et al.*, 2011; Higgins *et al.*, 2013; Phien-wej *et al.*, 2006; Saito *et al.*, 2007; Teatini *et al.*, 2006) đã chỉ ra tình trạng mực nước ngầm hạ thấp liên tục có thể dẫn đến sụt lún do giảm áp suất chất lỏng trong các tầng chứa nước, các lớp sét và bột mịn chịu nén bị thoát nước và cuối cùng bị nén chặt. Sau đó các lớp dưới mặt bị nén, gây ra sụt lún đất ở bề mặt (Galloway & Burbey, 2011; Gambolati & Teatini, 2015). Sự phát triển bền vững của đồng bằng phụ thuộc vào lượng trầm tích được cung cấp bù đắp phần đường bờ bị xói lở, lún sụt và sự gia tăng mực nước biển do biến đổi khí hậu. Xu thế mực nước dâng trung bình toàn cầu là 1,7 mm/năm từ 1900 đến 2010 (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014) nhưng tăng lên khoảng 1,3 mm/năm từ 1993 đến 2015 (Dangendorf *et al.*, 2019). Theo Church *et al.* (2013), kịch bản nước biển dâng trong tương lai có thể dao động từ 5 mm/năm tới 15 mm/năm cho giai đoạn cuối thế kỷ 21. Trong khi tốc độ sụt lún của hầu hết các đồng bằng vào khoảng 1 ÷ 25 mm/năm (Jelgersma, 1996; Minderhoud *et al.*, 2017), tốc độ lún nhanh hơn so với sự tăng lên của mực nước biển trung bình liên quan đến khí hậu (MSLR mean sea-level rise). Để đánh giá tác động của mực nước biển dâng lên hệ thống ven biển cần thông tin về mực nước biển dâng tương đối (Relative Sea level rise). Đây là giá trị sụt lún hoặc nâng lên trong khu vực (Peltier, 1998) cộng với giá trị của MSLR toàn cầu, phản ánh tất cả các yếu tố tự nhiên và nhân tạo lên độ cao trắc địa của

nó. Ở quy mô khu vực, bên cạnh MSLR toàn cầu, sự phát triển của đồng bằng trong tương lai sẽ bị ảnh hưởng bởi biến động mực nước và tác động của con người ở từng khu vực cụ thể. Hiểu biết chi tiết về những thay đổi từ ngắn hạn, đến dài của mực nước là rất cần thiết để hiểu rõ hơn về các quá trình ven bờ như: biến động đường bờ, ranh giới vùng bãi triều, giao thông hàng hải, thiết kế xây dựng và quy hoạch cơ sở hạ tầng ven biển...

Biến động mực nước của khu vực ven biển chịu chi phối của rất nhiều yếu tố, biến động từ quy mô vài giây, đến quy mô thời gian địa chất. Các yếu tố chi phối đến từ nhiều nguồn khác nhau: biến động khí quyển: gió, bão, ENSO, PDO..., lực hấp dẫn hành tinh, sự nâng hạ của lớp vỏ địa chất.

Khu vực ven biển Tây ĐBSCL được biết đến như một vùng có chế độ thủy động lực ôn hòa, dao động thủy triều thấp (<1 m) (Nguyen *et al.*, 2023; Phan *et al.*, 2017; Wolanski & Nhan, 2005), chiều cao sóng có ý nghĩa trung bình < 1 m, bão xuất hiện rất ít ở khu vực vịnh Thái Lan, trung bình có khoảng 3 cơn áp thấp nhiệt đới xuất hiện ở vùng vịnh Thái Lan (giai đoạn 1951-2006) (Suphat, 2009). Bão Linda năm 1997 là cơn bão có sức tàn phá hiểm hoi (Vu, 2003), nước dâng do bão Linda tạo ra mực nước cao nhất trong khoảng thời gian 20 năm ở ĐBSCL do thời gian bão trùng với thời gian triều lên (Le *et al.*, 2007). Trong những năm gần đây, trong 3 năm liên tiếp (2019, 2022) vùng ven biển Tây đã xuất hiện mực nước cao hơn so với mực nước thiết kế đê biển Tây (+3 m) gây ra hiện tượng nước tràn qua đê ảnh hưởng tới sự an toàn của tuyến đê ngăn mặn. Mặc dù mực nước thiết kế này đã được xác định dựa trên các nghiên cứu chú trọng tới tính toán thủy triều

nhiều năm, nước dâng do bão, nước dâng do sóng, hệ số bù lún, và gia tăng mực nước do biến đổi khí hậu, được thể hiện qua tiêu chuẩn thiết kế đê biển TCVN9901 (2014). Trước thực tế đó, cần có một đánh giá để nhìn nhận lại các tác động gây ra biến đổi mực nước ở khu vực ven biển Tây ĐBSCL. Bên cạnh dao động triều, các dao động phi tuần hoàn có chu kỳ từ nhiều tháng đến nhiều năm, các tính toán về nước biển dâng tương đối, tác động của sóng chu kỳ dài,... chưa được chú trọng trong các tính toán trước đây ở khu vực ven biển ĐBSCL. Nghiên cứu này nhằm mục đích đánh giá vai trò và ước lượng tương đối mức độ đóng góp của một số các yếu tố (thủy triều, dao động mùa, dị thường do ENSO, sóng bề mặt và lún tương đối) tham gia vào sự biến động mực nước vùng ven biển Tây ĐBSCL (cụ thể là khu vực phía Nam hòn Đá Bạc, Cống Kênh Mới, huyện Trần Văn Thời tỉnh Cà Mau) dựa trên số liệu đo đạc thực tế kết hợp các phương pháp thống kê mô tả và mô hình toán.

2. CƠ SỞ DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH

Nguồn số liệu được sử dụng là chuỗi quan trắc mực nước tại các trạm thủy hải văn (bảng 1) thu thập được trong khu vực nghiên cứu (hình 1). Do hạn chế về nguồn dữ liệu trong khu vực việc phân tích tỷ lệ đóng góp của từng yếu tố trong mực nước chỉ tập trung vào số liệu tại trạm thủy văn quốc gia Sông Đốc, thông qua phân tích tính toán các đặc trưng về mốc triều chuẩn (tidal datum) từ chuỗi số liệu từng giờ trong 27 năm (1996÷2022) (~ 1,5 chu kỳ nút – nodal cycle). Các phương pháp phân tích thống kê khác nhau cũng được áp dụng trong nghiên cứu này như kỹ thuật wavelet nhằm xác định số lượng và vai trò của các chu kỳ dao động đối với chuỗi

thời gian khác nhau, đồng thời cũng chỉ ra các thời kỳ xuất hiện của các dao động đó. Phương pháp wavelet được áp dụng cho chuỗi trung bình ngày nhằm xác định các chu kỳ dài từ nhiều tháng đến nhiều năm. Sử dụng phân tích phương sai và ANOVA nhằm chỉ ra các năm có biến động khác thường, sử dụng giá trị phương sai cùng với các dao động phát hiện từ phân tích wavelet đối chiếu với các chỉ số khí hậu (ENSO) để xem xét mức độ tương quan của các yếu tố này, từ đó đi đến kết luận các yếu tố gây ra các dao động riêng lẻ và ước lượng tỷ lệ đóng góp của từng yếu tố. Ngoài ra dữ liệu mực nước tại 2 trạm còn lại được sử dụng đối chiếu tốc độ gia tăng mực nước tương đối trong khu vực.

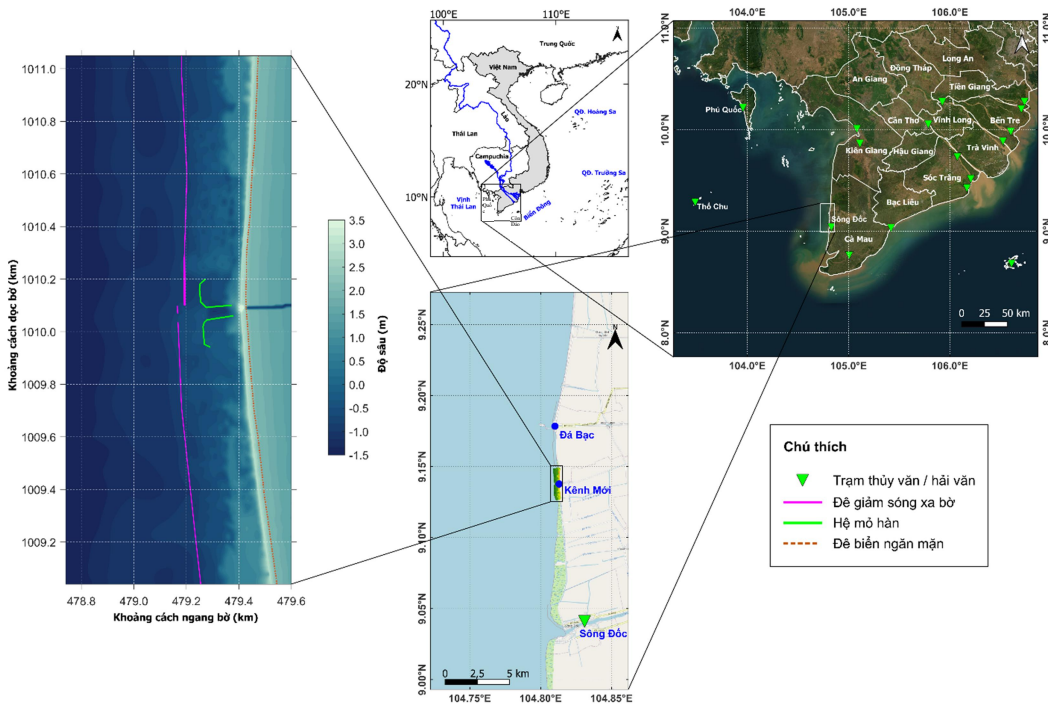
Số liệu mực nước quan trắc sử dụng trong nghiên cứu thường không ghi nhận được các tần số dao động có chu kỳ dưới 1 giờ, khu vực nghiên cứu lại không có các trạm quan trắc sóng dài hạn. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra cho các vùng ven biển trên thế giới, trên nền mực nước tổng hợp vào các thời kỳ cực đoan (triều cường, ảnh hưởng của bão, áp thấp nhiệt đới) ảnh hưởng do sóng có tác động khá lớn do ít bị tiêu tán năng lượng như trong trường hợp mực nước thấp. Sóng bao gồm sóng gió sinh ra trong khu vực và sóng lừng (swell) lan truyền từ nơi khác tới. Khu vực biển Tây ĐBSCL chiều cao sóng leo được tính theo công thức thực nghiệm (Van der Meer, 2002) từ Hướng dẫn về các công trình thủy lợi của Ủy ban cố vấn kỹ thuật về phòng chống lũ lụt Hà Lan. Việc áp dụng công thức tính toán này cho khu vực biển Tây ĐBSCL thường được các kỹ sư tính toán cho sóng có chiều cao $H_s \sim 0,5$ m, chu kỳ $T_p \sim 4$ s. Do thiếu số liệu quan trắc nên rất khó để xác định điều kiện gây ra hiện tượng đê ngăn mặn bị tràn vào hai đợt năm 2019 và 2022 vì vậy ở nghiên cứu này chúng tôi áp dụng

mô hình tính sóng phi thủy tĩnh (non-hydrostatic) Xbeach (Quataert *et al.*, 2022), nhằm mô phỏng hiện tượng sóng tràn đê ngăn mặn khu vực cống Kênh Mới. Mô hình phi thủy tĩnh cho phép sóng được mô phỏng dưới dạng các con sóng ngắn lan truyền, dựa trên hệ phương trình sóng nước nông không dừng (non-

stationary). Mô hình này giải quyết trường sóng theo thang thời gian riêng của từng sóng lẻ và do đó có khả năng mô phỏng được tiến trình phi tuyến của trường sóng chính xác hơn, mô phỏng tương tác sóng-dòng chảy cũng chính xác hơn so với cách tiếp cận mô hình trung bình pha (phase-resolved model).

Bảng 1. Thông tin một số trạm quan trắc mực nước khu vực biển Tây Đồng bằng sông Cửu Long

Trạm	Kinh độ	Vĩ độ	Chuỗi số liệu	Chế độ quan trắc	Ghi chú
Phú Quốc	103 ⁰ 57'25"	10 ⁰ 13'00"	2014 ÷ 2022	24/24	Máy đo tự ghi từ 2013
Thổ Chu	103 ⁰ 29'06"	09 ⁰ 17'07"	2014 ÷ 2022	4 obs/day	Thủ công
Sông Đốc	104 ⁰ 49'50"	09 ⁰ 02'27"	1996 ÷ 2022	24/24	Tự động



Hình 1. Phạm vi khu vực nghiên cứu

3. KẾT QUẢ

3.1. Thủy triều

Chuỗi số liệu mực nước từng giờ quan trắc tại trạm thủy văn Sông Đốc giai

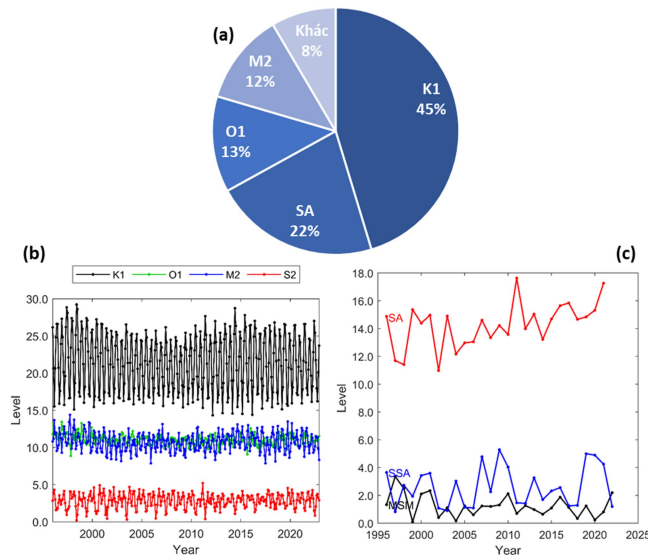
đoạn 1996 - 2022 được sử dụng để phân tích điều hòa bằng công cụ Utide (Codiga, 2011). Các môc thủy triều được tính từ các hằng số điều hòa của các sóng triều chính (Palmer *et al.*, 2023), kết quả được

trình bày trên Bảng 2. Mức nước do triều thiên văn có giá trị trung bình 60 cm với sự đóng góp chiếm ưu thế của sóng K1, chiếm hơn 45% giá trị mực nước thủy triều khu vực này trong khi sóng bán nhật triều M2 chiếm 12%. Đáng kể là sóng hàng năm SA (chu kỳ 365,25 ngày) có đóng góp 22% (Hình 2a). Hình 2b và 2c biểu thị sự biến đổi của các sóng có đóng

góp chính vào dao động thủy triều bao gồm 2 sóng nhật triều K1, O1, hai sóng bán nhật triều M2, S2, sóng hàng năm SA, nửa năm SSA, sóng hàng tháng MSM. Kết quả cho thấy sóng K1 và SA có sự dao động vào khoảng lần lượt là 5 và 3 cm. Sự biến đổi này phản ánh dao động thủy triều ở khu vực này bên cạnh sự thay đổi theo mùa.

Bảng 2. Các giá trị mốc thủy triều tính toán từ số liệu đo đạc tại trạm thủy văn Sông Đốc

Tidal Datum	Định nghĩa	Giá trị (cm)
MAX Tide	Độ cao tối đa khi thủy triều lên (rising tide).	102,0
MHWS	Mean High Water Springs: Giá trị trung bình của hai đợt nước triều lên liên tiếp trong khoảng thời gian 24h khi biên độ triều ở mức lớn nhất.	50,5
MHHW	Mean Higher High Water: Giá trị trung bình của hai đợt nước triều lớn (high tide) liên tiếp trong khoảng thời gian 24h khi biên độ thủy triều ở mức lớn nhất.	36,2
MHW	Mean High Water: Giá trị trung bình của tất cả các mực nước lớn trong một khoảng thời gian nhất định (18,6 năm).	27,3
MSL	Mean Sea Level: Độ cao trung bình quan sát được của bề mặt biển cho chuỗi thời gian dài (18,6 năm).	3,6

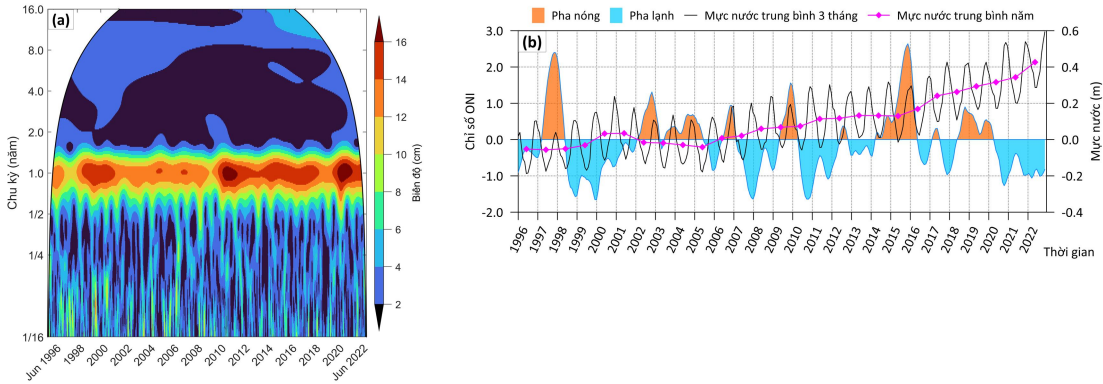


Hình 2. Tỷ lệ đóng góp của các sóng triều thành phần (a), 4 sóng nhật triều và bán nhật triều chính (b) và các sóng nửa năm và hàng năm (c) thông qua phân tích điều hòa chuỗi mực nước tại trạm Sông Đốc (1996 ÷ 2022)

3.2. Dao động dài kỳ

Bên cạnh các dao động có chu kỳ xác định như dao động thủy triều thiên văn gây ra bởi lực hấp dẫn giữa các hành tinh, dao động của mực nước biển còn được ghi nhận các thay đổi từ hàng tháng đến vài năm, có thể có hoặc không có chu kỳ lặp lại, xu hướng tuyến tính hoặc dị thường không liên tục. Biến đổi này gắn liền với các tác động của khí hậu, khí quyển được hình thành từ sự thay đổi của vị trí tương đối của hệ Trái Đất - Mặt Trời. Để hiểu rõ hơn về sự thay đổi của mực

nước tại khu vực biển Tây ĐBSCL, phân tích wavelet (Torrence & Compo, 1998) được áp dụng, kết quả thể hiện trên hình 3. Kết quả cho thấy tồn tại các dao động dài kỳ từ nhiều tháng đến nhiều năm (hình 3a, b). Dao động mùa với chu kỳ nửa năm có biên độ dao động trung bình vào khoảng 30 - 40 cm với cực tiểu quan trắc vào tháng 6 (trùng với thời gian gió mùa Tây Nam phát triển ở khu vực vịnh Thái Lan), cực đại vào tháng 12, tháng 1 năm sau (thời kỳ gió mùa Đông Bắc hoạt động mạnh).



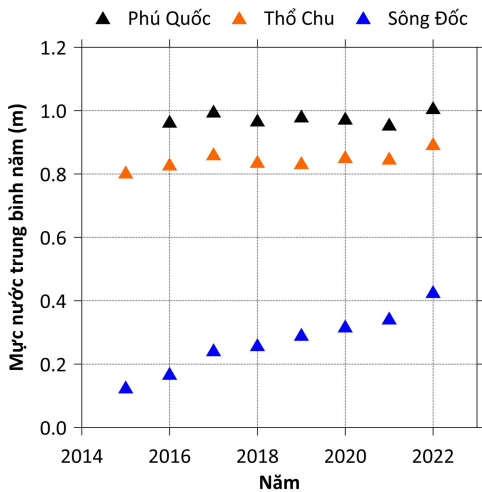
Hình 3. (a) Biến đổi wavelet chuỗi mực nước quan trắc tại trạm Sông Đốc. (b) Biến động chỉ số ONI theo các thời kỳ El Nino (giá trị dương) và La Nina (giá trị âm), mực nước trung bình năm và mực nước trung bình 3 tháng tại trạm Sông Đốc. Chỉ số Nino Đại dương (ONI) được lấy từ Trung tâm Dự báo Thời tiết và Khí hậu NOAA. Giá trị El Nino (dương) và La Nina (âm) được xác định theo 3 mức: yếu (0,5 - 1), trung bình (1 - 1,5) và mạnh (> 1,5).

Một dao động khác cũng được quan trắc thấy ở khu vực biển Tây ĐBSCL là ENSO (Hình 3a, b). Các tác động quy mô khí hậu ENSO (El Niño Southern Oscillation) liên quan tới dao động khí áp giữa 2 bờ phía Đông Thái Bình Dương và phía Tây Thái Bình Dương bao gồm El Niño và La Niña. Giám sát các điều kiện ENSO chủ yếu tập trung vào các dị thường nhiệt độ bề mặt biển của 4 vùng địa lý ở xích đạo Thái Bình Dương. Các dị thường SST bằng hoặc lớn hơn $0,5^{\circ}$ trong vùng Nino3.4 là dấu hiệu của pha ấm

ENSO (El Niño); trường hợp dị thường này nhỏ hơn hoặc bằng $-0,5^{\circ}\text{C}$ là dấu hiệu của pha lạnh (La Niña). Các bất thường Nino3.4 SST được tính trung bình trong 3 tháng tính từ tháng hiện tại, và giá trị đó được gọi là chỉ số Nino Đại Dương (ONI). Nếu ONI thể hiện ở pha ấm hoặc lạnh cho ít nhất năm giá trị liên tiếp, nó được đánh giá cho sự xuất hiện của El Niño hoặc La Niña. Trong trường hợp dị thường này nhỏ hơn $0,5^{\circ}\text{C}$ và lớn hơn $-0,5^{\circ}\text{C}$ được gọi là pha trung tính (điều kiện khí hậu trung bình). Giai đoạn 1996 ÷ 2005 cho thấy

mối tương quan rõ rệt giữa dao động mực nước và tín hiệu ENSO, với chỉ số tương quan R^2 giữa ONI và biên độ mực nước trung bình năm $\sim 0,8$. Vào thời kỳ El Niño hoạt động mạnh (Hình 3b, $ONI > 1,5$) mực nước trung bình có xu hướng hạ thấp hơn so với cùng kỳ những năm trước đó, ngược lại thời kỳ La Niña mực nước gia tăng. Kết quả tính toán dị thường độ cao mặt biển (sea surface height anomalies) từ số liệu đo đạc vệ tinh sau khi đã loại bỏ dao động mùa cũng cho thấy hiệu ứng hạ thấp mực nước biển trung bình vào thời kỳ El Niño và gia tăng mực nước vào thời kỳ La Niña. Sau năm 2008 bên cạnh ENSO còn có 1 tín hiệu khác nổi trội làm cho tương quan với chỉ số ONI giảm đi mặc dù 2016 là năm có El Niño hoạt động mạnh. Những năm tiếp theo khi cường độ El Niño và La Niña tương đối yếu, tín hiệu này vẫn thể hiện rất rõ.

3.3. Lún sụt



Hình 4. Tương quan mực nước hàng năm giữa các trạm thủy hải văn ở khu vực Biển Tây trong giai đoạn (2015 ÷ 2022)

Kết quả tính toán mực nước trung bình hàng năm tại trạm Sông Đốc cho thấy giai đoạn từ những năm 2006 trở về sau có sự gia tăng và tốc độ gia tăng mạnh mẽ kể

từ sau năm 2015, ước tính 5 cm/năm, lớn hơn rất nhiều so với tốc độ gia tăng mực nước biển (SLR) toàn cầu. Để tìm hiểu rõ hơn nguyên nhân cho sự gia tăng mực nước này, mực nước trung bình hàng năm tại hai trạm hải văn Thổ Chu và Phú Quốc được so sánh với mực nước tại Sông Đốc. 3 trạm mực nước này đều nằm trong khu vực biển phía Tây của ĐBSCL nên sẽ cùng chịu ảnh hưởng chung của sự gia tăng mực nước biển toàn cầu/khu vực nhưng kết quả cho thấy hai trạm Thổ Chu và Phú Quốc không thấy có sự gia tăng mực nước với tốc độ lớn như ở Sông Đốc (Hình 4), điều này cho thấy có thể loại bỏ yếu tố gia tăng mực nước do sự gia tăng mực nước biển toàn cầu hoặc khu vực.

Sự thay đổi mực nước trung bình còn có thể chịu tác động của chuyển động nâng hạ lớp địa chất. Vùng ĐBSCL không phải là nơi có hoạt động kiến tạo đang diễn ra mạnh mẽ, nhưng là một khu vực đang chịu tác động lún sụt do các hoạt động của con người. Để xác định sự thay đổi của quá trình sụt lún này, người ta có thể dùng vệ tinh (phương pháp InSAR). Kết quả nghiên cứu hợp tác BBK, GIZ và Viện Khoa học Địa chất và Tài nguyên Thiên nhiên Liên bang Đức từ dữ liệu của vệ tinh Sentinel 1 giai đoạn 2014 ÷ 2019 cho thấy khu vực ĐBSCL có tốc độ sụt lún trung bình 2 ÷ 4 cm/năm, khu vực Sông Đốc có tốc độ sụt lún vào khoảng 30 ÷ 60 cm/năm (nguồn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit). Năm 2017, lần đầu tiên thiết bị đo đạc sụt lún được thiết lập tại 3 vị trí thuộc tỉnh Cà Mau. Kết quả phân tích đến năm 2019 cho thấy tốc độ lún trung bình tại 3 vị trí này vào khoảng 17 ÷ 44 mm/năm (Karlsruh *et al.*, 2020). Các kết quả tốc độ sụt lún ban đầu này khá tương đồng với kết quả phân tích mực nước phản ánh.

3.3. Nước dâng do sóng

Vùng ven biển Tây ĐBSCL được đánh giá là vùng có năng lượng sóng thấp khi so sánh với khu vực phía Đông của ĐBSCL, ít ảnh hưởng trực tiếp của bão và áp thấp nhiệt đới, trước đây được dải rừng ngập mặn che chắn nên hiếm khi chịu các ảnh hưởng cực đoan của thời tiết. Chính vì vậy mà các nghiên cứu về nước dâng do gió, sóng leo chưa được chú trọng ở khu vực này.

Khu vực ven biển Tây ĐBSCL thiếu hụt trạm đo đồng thời yếu tố sóng và gió. Trạm Phú Quốc và Thổ Chu là các trạm cách bờ 115 ÷ 140 km và quan trắc theo 4 obs/ngày nên rất khó để xem xét tính đặc trưng dài hạn của sóng và gió cũng như các biến động quy mô ngắn (như ảnh hưởng của bão, áp thấp nhiệt đới...). Nghiên cứu này chúng tôi sử dụng số liệu từng giờ từ ECMWF (2019) cho vị trí cách bờ 5 km giai đoạn 1996 ÷ 2022. Kết quả phân tích cho thấy chiều cao sóng trung bình nhiều năm có giá trị < 1 m và chu kỳ sóng trung bình 3 ÷ 4 s. Sóng và gió đạt giá trị cao nhất vào các tháng 7, 8 trùng với thời kỳ gió mùa Tây Nam với hướng thịnh hành có hướng vuông góc với bờ, vào thời kỳ sóng lớn chu kỳ sóng có thể lớn hơn 5 s. Số liệu đo đạc ở trạm Phú Quốc đã ghi nhận giá trị lớn nhất về chiều cao sóng từ 2 ÷ 3 m. Số liệu đo đạc ngắn hạn cho các trạm ven bờ (cách bờ 2 km) (Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam cung cấp) cũng ghi nhận các cơn sóng có chiều cao 1,5 m và chu kỳ > 9 s vào thời kỳ gió mùa Tây Nam hoạt động mạnh kết hợp với hoàn lưu của áp thấp nhiệt đới ở khu vực biển Đông.

Mô hình mã nguồn mở Xbeach (Quataert *et al.*, 2022) được sử dụng mô phỏng quá trình lan truyền của sóng cách bờ 2 km qua đê giảm sóng dạng kết cấu

rỗng cách bờ 200 m tiếp tục tương tác với đê ngăn mặn có dạng mái nghiêng cho khu vực Cống Kênh Mới phía Nam của Hòn Đá Bạc. Mô phỏng sử dụng chế độ 2D, phi thủy tĩnh. Đê ngăn mặn được bố trí ở cao trình +2,8 ÷ +3 m theo điều kiện thực tế. Mô hình sử dụng lưới curvilinear với 263 x 501 ô lưới, kích thước lưới trung bình 2,3 ÷ 3,6 m. Mô phỏng được thực hiện dưới các kịch bản khác nhau về độ cao sóng, chu kỳ sóng, mực nước triều, vận tốc gió nhằm xác định điều kiện hội tụ đầy đủ cho trường hợp sóng tràn qua đê ngăn mặn (đê có cao trình +2,8 ÷ +3 m) đã xảy ra năm 2019, 2022. Kết quả cho thấy chỉ khi mực nước $\geq +1,6$ m, vận tốc gió ≥ 12 m/s, $H_s \geq 1,5$ m, $T_p \geq 9 \div 11$ s thì hiện tượng sóng leo mới xảy ra cho đoạn đê ngăn mặn ở khu vực Cống Kênh Mới.

4. THẢO LUẬN

Kết quả phân tích tidal datum cho thấy dao động thủy triều trung bình vào khoảng 65 cm, chiếm chưa tới 22% đóng góp vào mực nước lên tới cao trình +3 m ở khu vực Cống Kênh Mới. Qua phân tích mực nước trung bình tháng nhiều năm cho thấy dao động mùa khu vực ven biển Tây ĐBSCL có biên độ vào khoảng 35 ÷ 40 cm. Quá trình sụt lún đang diễn ra ở ĐBSCL được so sánh từ các nghiên cứu trước đây thông qua đo đạc, và ảnh vệ tinh, và trong nghiên cứu này từ phân tách mực nước cho thấy quá trình sụt lún có thể gây ra sự thay đổi mức cao độ ở khu vực Sông Đốc vào khoảng 40 ÷ 50 cm trong khi thay đổi do quá trình biến đổi khí hậu toàn cầu được tính toán vào khoảng 2,5 ÷ 3,5 cm (theo tốc độ thay đổi mực nước toàn cầu 1,3 mm/năm). Phân tích wavelet mực nước giờ nhiều năm cho thấy tác động của hiện tượng La Nina có thể làm mực nước tăng thêm 12 ÷ 15 cm tùy vào cấp độ hoạt động, trong khi ảnh hưởng của El Nino

không gây sự gia tăng mực nước nhưng tác động đến hoàn lưu gió. Tổng hợp tương đối của các yếu tố kê trên có thể tạo ra mực nước thực tế tại khu vực Công Kênh Mới ở cao trình $\geq +1,6$ m. Trên nền mực nước này kết hợp với điều kiện gió mùa Tây Nam hoạt động mạnh khi vận tốc gió ≥ 12 m/s, sóng có chiều cao $H_s \geq 1,5$ m, chu kỳ $T_p \geq 9 \div 11$ s có thể gây hiện tượng sóng tràn, làm mực nước vượt cao trình $+2,8 \div 3$ m. Thực tế vào tháng 8/2019 và tháng 7/2022 đã xảy ra mực nước tràn ở đoạn đê ngăn mặn khu vực Công Kênh Mới. Kết quả phân tích cho thấy đóng góp rất lớn của nước dâng do gió và sóng, chiếm tới hơn 46% vào sự gia tăng mực nước ở khu vực này, mặc dù đây là khu vực nước nông, bờ biển khá thoải (độ dốc bãi 1/600) và đã có đê giảm sóng cách bờ $100 \div 150$ m. Sóng ở phía ngoài khơi khi lan truyền vào bờ đã phân tán một phần năng lượng do tương tác với địa hình đáy, khi nước lớn hệ thống đê giảm sóng xa bờ được thiết kế với cao trình $+1,6$ m thường không phát huy hết khả năng của nó, mức độ giảm sóng qua hệ thống đê này vào khoảng 40% năng lượng sóng tới (SIWRR). Kết quả là với sóng 1,5 m ở khu vực cách bờ 2 km cũng có thể gây sóng tràn qua hệ thống đê ngăn mặn.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã chỉ ra các tác động và định lượng tương đối các đóng góp từ các yếu tố khác nhau tham gia vào biến đổi mực nước tại khu vực Công Kênh Mới (huyện Trần Văn Thời, Cà Mau) dựa

trên số liệu quan trắc từng giờ. Các dao động có quy mô thời gian khác nhau bao gồm dao động điều hòa của thủy triều thiên văn và các dao động do ảnh hưởng của khí hậu khí quyển với chu kỳ nửa năm (dao động mùa), dao động nhiều năm (ENSO) được làm rõ. Thông qua so sánh tương đối, giá trị sụt lún cũng được định lượng.

Dựa trên các phân tích thống kê và mô hình phi thủy tĩnh mô phỏng quá trình lan truyền sóng, tương tác với công trình gây ra hiện tượng sóng tràn. Kết quả cho thấy trong bối cảnh mực nước biển toàn cầu đang gia tăng do biến đổi khí hậu với tốc độ chỉ vài mm/năm thì sự biến đổi do quá trình sụt lún với tốc độ lớn hơn rất nhiều lần đang diễn ra ở ĐBSCL nói chung và khu vực ven biển Tây nói riêng. Dải rừng ngập mặn phía trước đê ngăn mặn ở khu vực ven biển Tây ĐBSCL đã gần như biến mất, hệ thống đê giảm sóng được bố trí cách bờ từ $100 \div 150$ m được thiết kế ở cao trình $+1,6 \div +1,8$ m khi làm việc ở mực nước xấp xỉ mặt đê (mực nước thực tế \geq cao trình đỉnh đê) thì khả năng giảm sóng không còn được đảm bảo, vì thế nguy cơ sóng tràn qua đê ngăn mặn phía trong vẫn có thể xảy ra vào thời điểm gió mùa Tây Nam hoạt động mạnh kết hợp với các hình thái xấu của thời tiết.

Nghiên cứu này chưa xem xét tới ảnh hưởng của bão và sự thay đổi của lưu lượng sông. Tần suất xuất hiện các tổ hợp cực đoan của mực nước và sự gia tăng chiều cao sóng do hệ quả của biến đổi khí hậu cũng chưa được đề cập.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Fukuda, Y., Pohan, Y. E., & Deguchi, T. (2011). Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development. *Natural Hazards*, 59(3), 1753–1771. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9866-9>.

- [2] Church, J. A., Clark, P. U., Cazenave, A., Gregory, J. M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M. A., Milne, G. A., Nerem, R. S., Nunn, P. D., Payne, A. J., Pfeffer, W. T., Stammer, D., & Unnikrishnan, A. S. (2013). Sea level change. <http://drs.nio.org/drs/handle/2264/4605>
- [3] Codiga, D. (2011). Unified tidal analysis and prediction using the UTide Matlab functions. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3761.2008>
- [4] Dangendorf, S., Hay, C., Calafat, F. M., Marcos, M., Piecuch, C. G., Berk, K., & Jensen, J. (2019). Persistent acceleration in global sea-level rise since the 1960s. *Nature Climate Change*, 9(9), 705–710. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0531-8>
- [5] ECMWF. (2019). European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. 2019, updated monthly. ERA5 Reanalysis (0.25 Degree Latitude-Longitude Grid). Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. <https://doi.org/10.5065/BH6N-5N20>. Accessed 01 Jan 2024.
- [6] Galloway, D. L., & Burbey, T. J. (2011). Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction. *Hydrogeology Journal*, 19(8), 1459–1486. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0775-5>
- [7] Gambolati, G., & Teatini, P. (2015). Geomechanics of subsurface water withdrawal and injection. *Water Resources Research*, 51(6), 3922–3955. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/2014WR016841>
- [8] Higgins, S., Overeem, I., Tanaka, A., & Syvitski, J. P. M. (2013). Land subsidence at aquaculture facilities in the Yellow River delta, China. *Geophysical Research Letters*, 40(15), 3898–3902. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/grl.50758>
- [9] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Coastal Systems and Low-Lying Areas. Trong I. P. on C. C. (IPCC) (B.t.v), *Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report: Volume 1: Global and Sectoral Aspects (Vol 1, tr 361–410)*. Cambridge University Press. <https://doi.org/DOI:10.1017/CBO9781107415379.010>
- [10] Jelgersma, S. (1996). Land Subsidence in Coastal Lowlands. Trong J. D. Milliman & B. U. Haq (B.t.v), *Sea-Level Rise and Coastal Subsidence: Causes, Consequences, and Strategies (tr 47–62)*. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-015-8719-8_3
- [11] Karlsrud, K., Tunbridge, L., Khanh, N. Q., & Dinh, N. Q. (2020). Preliminary results of land subsidence monitoring in the Ca Mau Province. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 382, 111–115. <https://doi.org/10.5194/piahs-382-111-2020>
- [12] Le, T. V. H., Nguyen, H. N., Wolanski, E., Tran, T. C., & Haruyama, S. (2007). The combined impact on the flooding in Vietnam’s Mekong River delta of local man-made structures, sea level rise, and dams upstream in the river catchment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71(1), 110–116. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.08.021>
- [13] Minderhoud, P. S. J., Erkens, G., Pham, V. H., Bui, V. T., Erban, L., Kooi, H., & Stouthamer, E. (2017). Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam. *Environmental Research Letters*, 12(6), 064006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7146>

- [14] Nguyen, T. C., Schwarzer, K., & Ricklefs, K. (2023). Water-level changes and subsidence rates along the Saigon-Dong Nai River Estuary and the East Sea coastline of the Mekong Delta. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 283. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108259>
- [15] Palmer, K., Watson, C. S., Hunter, J. R., Hague, B. S., & Power, H. E. (2023). An improved method for computing tidal datums. *Coastal Engineering*, 184, 104354. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2023.104354>
- [16] Peltier, W. R. (1998). Postglacial variations in the level of the sea: Implications for climate dynamics and solid-Earth geophysics. *Reviews of Geophysics*, 36(4), 603–689. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/98RG02638>
- [17] Phan, H. M., Reniers, A., Ye, T., & Stive, M. (2017). Response in the mekong deltaic coasta to its changing sediment sources and sinks. APA.
- [18] Phien-wej, N., Giao, P. H., & Nutalaya, P. (2006). Land subsidence in Bangkok, Thailand. *Engineering Geology*, 82(4), 187–201. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.10.004>
- [19] Quataert, E., de Bakker, A., de Ridder, M., de Goede, R., de Vet, L., & van der Lugt, M. (2022). XBeach Documentation. Release BOI-Phase3-5956.
- [20] Saito, Y., Chaimanee, N., Thanawat, J., & Syvitski, J. (2007). Shrinking Megadeltas in Asia: Sea-level Rise and Sediment Reduction Impacts from Case Study of the Chao Phraya Delta. LOICZ Inprint, 2007, 3–9.
- [21] Suphat, V. (2009). Tropical cyclone disasters in the Gulf of Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 31, 213–227. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:127044653>
- [22] Teatini, P., Ferronato, M., Gambolati, G., & Gonella, M. (2006). Groundwater pumping and land subsidence in the Emilia-Romagna coastland, Italy: Modeling the past occurrence and the future trend. *Water Resources Research*, 42(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2005WR004242>
- [23] Torrence, C., & Compo, G. P. (không ngày). *A Practical Guide to Wavelet Analysis*.
- [24] Van der Meer, J. W. (2002). Technical report wave run-up and wave overtopping at dikes.
- [25] Vu, T. T. T. (2003). Storm surge modelling for Vietnam's coast.
- [26] Wolanski, E., & Nhan, N. H. (2005). Oceanography of the Mekong River estuary.

GIẢI PHÁP CÔNG TRÌNH BẢO VỆ BỜ BIỂN TỈNH BÌNH THUẬN

Lê Thị Phương Thanh, Nguyễn Đức Vượng, Lê Mạnh Hùng
Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam

TÓM TẮT

Bờ biển Bình Thuận đang đối mặt với nguy cơ xói lở nghiêm trọng do tác động của nhiều yếu tố, trong đó có các hoạt động xây dựng quy mô lớn. Nghiên cứu này nhằm phân tích chi tiết các quá trình gây xói lở và đề xuất các giải pháp kỹ thuật phù hợp để bảo vệ bờ biển, nhằm đảm bảo sự cân bằng giữa phát triển kinh tế và bảo vệ môi trường.

Từ khóa: Bờ biển Bình Thuận, đề xuất giải pháp, bảo vệ bờ biển.

ABSTRACT

Binh Thuan's coastline is facing a severe erosion crisis due to various factors, including large-scale construction activities. This study aims to conduct a detailed analysis of the erosion processes and propose appropriate engineering solutions to protect the coastline, ensuring a balance between economic development and environmental protection.

Keywords: The coastline of Binh Thuan province, Recommend solutions, Coastal protection.

1. GIỚI THIỆU CHUNG BỜ BIỂN TỈNH BÌNH THUẬN



Hình 1. Kê Gà, Gành Sơn, Hòn Rơm và Đồi Dương [6]

Bờ biển tỉnh Bình Thuận dài 192 km, từ mũi Đá Chẹt, giáp tỉnh Ninh Thuận tới bãi bồi Bình Châu thuộc địa phận tỉnh

Bà Rịa-Vũng Tàu. Dọc chiều dài đường bờ biển tỉnh Bình Thuận có 5 cửa sông lớn: Liên Hương, Phan Rí (thuộc huyện

Tuy Phong), Phú Hải, Cà Ty (thuộc địa phận Tp. Phan Thiết) và La Gi (thuộc địa phận huyện Hàm Tân). Là tuyến thoát lũ, là những khu vực trú tránh bão, bố trí các cảng cá tạo điều kiện thuận lợi cho người dân vùng ven biển phát triển kinh tế biển. Cùng với đó là những bãi tắm tuyệt đẹp mà thiên nhiên ban tặng, đó là: Biển Kê Gà, Cam Bình La Gi, Gành Sơn, Hòn Rơm, Cổ Thạch, Bãi Rạng, Thuận Quý, Mũi Né, Đồi Dương...

Và các khu du nghỉ dưỡng ven biển Bình Thuận độc đáo, tiện ích như: Amanta Mũi Né Resort, Poshamu Resort, Romana Resort, Teracotta Resort, Sonata Resort, The Cliff Resort & Residences, Pandanus resort... Chính điều kiện tự nhiên đó mà Bình Thuận đã trở thành một trong những tỉnh có thu nhập cao về du lịch hàng năm. Năm 2023 vừa qua, tỉnh Bình Thuận đã đón hơn 8,5 triệu lượt du khách với tổng doanh thu du lịch đạt hơn 23 nghìn tỷ đồng.



Hình 2. Amanta Mũi Ne Resort, Posamu Resort, Teracotta Resort [6]

Đẹp là thế, tiềm năng như thế, thuận lợi như thế, chỉ cách Tp. Hồ Chí Minh 198 km về phía Bắc. Nhưng những thập niên gần đây bên cạnh tình trạng biến đổi khí hậu nước biển dâng là các hoạt động khai thác trên lưu vực xây dựng công trình ven biển và các hoạt động kinh tế khác, đã gây ra các quá trình tương tác giữa công trình với bãi, bờ cũng như các quá trình thủy thạch động lực và các yếu tố môi trường xung quanh. Những tương tác nêu trên là hoàn toàn tự nhiên để thiết lập một trạng

thái cân bằng mới tại khu vực công trình và vùng lân cận. Điều này đồng nghĩa với một quá trình xói lở - bồi tụ mới. Và cũng chính điều này sẽ làm mất dần vẻ đẹp, lợi thế mà thiên nhiên ban tặng cho Bình Thuận.

2. HÌNH THÁI BỜ BIỂN TỈNH BÌNH THUẬN

Bình Thuận là tỉnh ven biển cực Nam của vùng duyên hải Nam Trung Bộ, miền Trung của Việt Nam. Đới bờ biển tỉnh Bình Thuận khá thoải, chủ yếu là cát,

Như vậy, nếu dọc bờ biển tỉnh Bình Thuận có những tác động nào đó, làm mất hay thay đổi khoảng cách giữa các mồm đá (chẳng hạn xây thêm hoặc đào mất đi), khi đó dải ven biển sẽ bắt đầu một quá trình diễn biến mới, để đường bờ biển, dải ven biển tiến tới trạng thái cân bằng mới.

3. DIỄN BIẾN DẢI VEN BIỂN TỈNH BÌNH THUẬN

3.1. Diễn biến dải ven biển tỉnh Bình Thuận trước thế kỷ XXI

Nếu chúng ta nhìn lại những năm tháng trước thế kỷ XXI, đất nước ta cũng như tỉnh Bình Thuận còn gặp nhiều khó khăn, nền kinh tế còn kém phát triển. Hoạt động khai thác trên thượng nguồn các lưu vực sông cũng như biển cả mệnh mông và

dải ven biển tỉnh Bình Thuận vẫn chưa được quan tâm đầu tư. Vào khoảng thời gian này dải ven biển còn hoang sơ, mặc dù tình trạng xói bồi vẫn xảy ra, nhưng hoàn toàn do các các yếu tố khách quan tác động. Do chu kỳ thủy văn lưu vực, quy luật thủy thạch động lực vùng bờ tạo ra và đã tồn tại rất lâu dài (mùa này gây xói lở thì mùa khác lại bồi lắng và hoàn trả lại vùng bờ gần như trước đây. Trường hợp các đoạn bờ biển có bậc thềm cao, các đụn cát... khi gặp tổ hợp triều cường, sóng lớn, nước dâng do bão, chân mái sẽ bị xói, dẫn tới sạt lở, làm gãy đổ cây, được thể hiện ở Hình 5. Những tổn thương này gần như không thể khôi phục lại trong mùa, trong năm, thậm chí là một số năm, nhưng sẽ được hoàn trả lại như cũ trong nhiều năm.



Hình 5. Sạt lở bờ biển Bình Thuận do triều cường cùng sóng lớn, nước dâng do bão (hình bên trái), và giải pháp bảo vệ bằng bao cát (hình bên phải)

Đôi với các cửa sông bị bồi lấp do bùn cát được dòng chảy ven bờ đưa vào, cùng với lượng bùn cát được nước mưa bào xói trên lưu vực đọng lại vùng cửa sông, nhưng vào mùa lũ chính vụ, vận tốc dòng chảy lũ lớn sẽ cuốn bùn cát bồi lấp ra biển.

Phân tích trên đây cho chúng ta thấy, dải bờ biển tỉnh Bình Thuận những năm trước thế kỷ XXI vẫn diễn ra xói bồi theo mùa do tác động của các yếu tố khách quan. Nhưng hình thái bờ biển vẫn

giữ được ổn định tương đối theo chu kỳ năm, có khi là nhiều năm, nếu chúng ta không tác động thô bạo vào nó.

3.2. Diễn biến dải ven biển tỉnh Bình Thuận từ đầu thế kỷ XXI đến nay

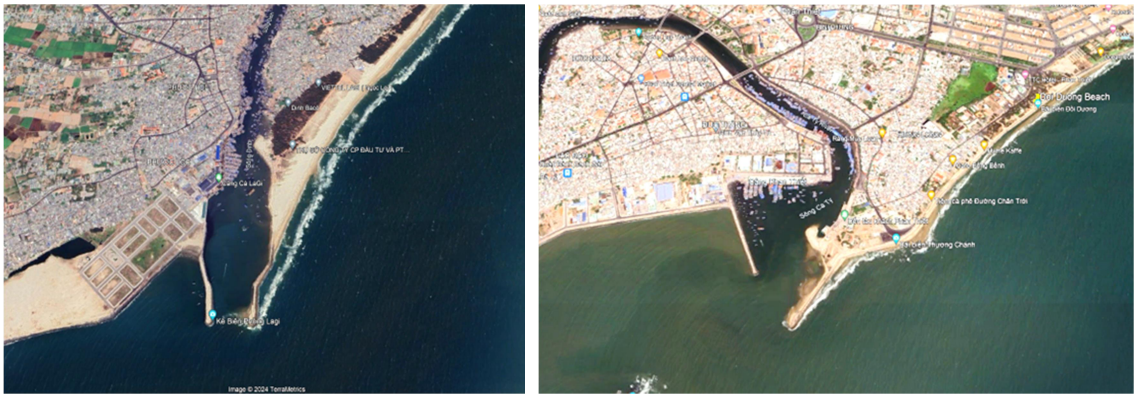
Vào những năm đầu thế kỷ XXI đến nay, hoàn cảnh kinh tế - xã hội, đời sống nhân dân cả nước cũng như tỉnh Bình Thuận đã đổi thay, phát triển rất nhanh, mạnh. Cùng với đó là hàng loạt các công trình thủy lợi thượng nguồn các sông thuộc địa phận tỉnh Bình Thuận được

đầu tư xây dựng, nhiều công trình kè lấn biển dọc bờ (Hình 6), cùng hàng loạt công

trình chỉnh trị các cửa sông hạn chế bồi, giảm sóng (Hình 7, 8).



Hình 6. Kè lấn biển vùng bờ biển tỉnh Bình Thuận (nguồn: Báo Tuổi trẻ)



Hình 7. Công trình chỉnh trị cửa La Gi và cửa Cà Ty (nguồn: Google Earth)



Hình 8. Công trình chỉnh trị cửa sông Phú Hải (nguồn: Google Earth)

Đã làm thay đổi cơ bản chế độ thủy văn thủy lực bùn cát các dòng sông, làm thay đổi điều kiện tự nhiên dọc đường bờ, đó là giữa các cung cong xoắn giới hạn các mồm đá nhô ra biển, đã có thêm nhiều

mồm cứng nhỏ nhô ra biển, đó chính là nhà máy nhiệt điện và các công trình chỉnh trị, các công trình kè lấn dòng... Chính điều này đã ngăn chặn hoặc làm đổi hướng dòng ven bờ, dòng bùn cát dọc bờ,

ngay trong các tiêu cùng cong xoắn lớn. Kết quả là quy luật thủy thạch động lực vùng ven bờ trước đây bị phá vỡ, thay vào đó là một quá trình thủy thạch động lực mới được hình thành. Điều này đồng nghĩa với tình trạng xói lở, bồi lắng dải ven biển tỉnh Bình Thuận diễn ra nhiều hơn, phức tạp hơn, đặc biệt là tại các vị trí xây dựng công trình và các khu vực lân cận đó, để hình thành một thể cân bằng mới trong tương lai.

Theo báo cáo hàng năm của Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh

Bình Thuận về tình trạng thiên tai xảy ra trên địa bàn tỉnh, Báo cáo tại Hội thảo Khoa học Giải pháp đầu tư xây dựng công trình bảo vệ bờ biển... của Ban quản lý dự án đầu tư xây dựng các công trình Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn tỉnh Bình Thuận [7] cho thấy những năm gần đây diễn biến xói bồi dọc bờ biển, cửa sông tỉnh Bình Thuận xảy ra ngày càng nhiều với quy mô lớn dần và phức tạp hơn. Dưới đây là một số hình ảnh sạt lở bờ biển, bồi lắng các cửa sông mà Ban quản lý dự án cung cấp.



Hình 9. Sạt lở bờ biển khu vực bờ biển La Gi, ảnh chụp 2020 [8]



Hình 10. Sạt lở bờ biển Hàm Tiến, ảnh chụp 2023 [7]

Còn dưới đây là một số hình ảnh cửa sông bị bồi lắng gây khó khăn cho tàu

thuyền ra vào nếu chúng ta không tiến hành nạo vét thường xuyên.



Bồi lắng cửa sông Cà Ty



Bồi lắng cửa sông Dinh

Hình 11. Hình ảnh bồi lắng các cửa sông Cà Ty, cửa sông Dinh [7]

Phân tích trên đây cùng những hình ảnh minh họa đã chỉ ra rằng diễn biến dải ven biển tỉnh Bình Thuận từ đầu thế kỷ XXI đến nay là rất phức tạp, rất mạnh trên diện rộng. Nguyên nhân chính yếu là do các yếu tố chủ quan, các tác động của con người lên các lưu vực sông, các cửa sông và dọc theo dải ven biển. Bên cạnh đó là tình trạng biến đổi khí hậu - nước biển dâng đã làm trầm trọng hơn quá trình tác động qua lại giữa các yếu tố thủy thạch động lực đang hình thành và dải ven bờ để hình thành một thế cân bằng mới.

4. ĐỀ XUẤT MỘT SỐ GIẢI PHÁP BẢO VỆ BỜ BIỂN TRÊN ĐỊA BÀN TỈNH BÌNH THUẬN

4.1. Các giải pháp bảo vệ bờ biển trên địa bàn tỉnh Bình Thuận và những bất cập

Do tình trạng sạt lở bờ xảy ra trên diện rộng, gây thiệt hại lớn tới nhà cửa của nhân dân hệ thống hạ tầng ven biển, UBND tỉnh Bình Thuận đã phê duyệt Quy hoạch công trình bảo vệ bờ biển, giai đoạn 2011-2020 tại Quyết định số 875 ngày 08/04/2011, trong đó, trên tổng chiều dài bờ biển 192 km sẽ tiến hành xây dựng 116,89 km kè bảo vệ bờ biển, chiếm 61%. Bao

gồm 85,67 km kè bảo vệ khu dân cư và cơ sở sản xuất và 31,22 km bảo vệ các khu du lịch. Ngoài ra, còn trồng rừng phòng hộ ven biển với chiều dài 49,43 km cho các khu vực sạt lở chưa nghiêm trọng. Tuy vậy, do nguồn vốn thiếu, đến nay tỉnh Bình Thuận mới xây dựng được 22,83 km kè, chỉ đạt 19,5% theo quy hoạch và các cửa sông đổ ra biển trên địa bàn tỉnh đều được xây dựng công trình chỉnh trị (theo Báo cáo số 131 ngày 17/4/2024 của Chi cục Thủy lợi tỉnh Bình Thuận). Dưới đây là một số công trình bảo vệ bờ biển đã xây dựng dọc bờ biển tỉnh Bình Thuận (Hình 12).

Nhìn chung công trình bảo vệ bờ biển trên địa bàn tỉnh Bình Thuận đã xây dựng rất đa dạng về giải pháp và các loại vật liệu sử dụng: Trong đó, có kè bảo vệ trực tiếp dạng tường đứng, dạng mái nghiêng, dạng bố trí túi mềm giữ chân mái; các công trình giảm sóng, ngăn dòng ven bờ, dòng bùn cát các loại mỏ hàn chữ I, chữ T; các loại công trình giảm sóng xa bờ... Các công trình bảo vệ bờ đã xây dựng ít nhiều đã ngăn chặn được tình trạng xói lở bờ tại khu vực cần bảo vệ. Nhưng qua thời gian sử dụng đã biểu hiện nhiều bất cập, như:

- Tác động không mong muốn đến các đoạn bờ lân cận, gia tăng xói lở bồi lắng phức tạp, khó kiểm soát;

- Dọc bờ biển là các bãi tắm, resort rất đẹp và độc lạ nhưng lại điếm vào đó những công trình bảo vệ bờ được xây

dựng không đồng nhất, không hoàn chỉnh, không ít công trình bị hư hỏng, xộc xệch rất thiếu mỹ quan. Bên cạnh đó, tình trạng nhiều bãi tắm bị hạ thấp cao trình, do nhiều công trình lấn biển quá dài đã giữ lại một khối lượng cát lớn;



a) Kè Geotube Đồi Dương 2009



b) Kè Đồi Dương thay mới 2012



c) Kè mở hàn (T) Geotube KDL Tiến Đạt



d) Kè mở hàn (I) Geotub KDL Coco



e) Kè giảm sóng Phước Lộc, LaGi



f) Mở hàn ống bê tông KDL Biển Xanh

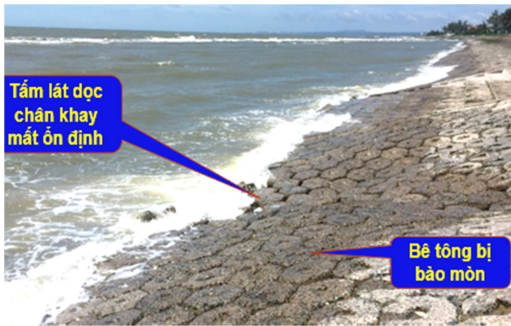
Hình 12. Một số công trình kè đã xây dựng dọc bờ biển Bình Thuận [7], [8], [9]

- Công trình biển với mục đích giảm sóng gây bồi, ngăn dòng ven bờ và bùn cát bên cạnh tuổi thọ lâu dài thì điều quan

trọng nhất là phải giữ ổn định các thông số kỹ thuật đã thiết kế. Loại công trình túi mềm Geotube bảo vệ bờ biển cho vùng bờ

cấu tạo bằng cát không thể đảm bảo được điều này, do cát trong túi được lèn chặt, sóng, dòng chảy khi thủy triều rút sẽ bào xói cát chân túi. Vì thế túi sẽ bị dịch chuyển, hạ thấp cao trình đỉnh, nhất là ở đầu mũi mỏ hàn bằng Geotube. Đây là chưa nói tới tuổi thọ vật liệu làm túi không cao, sinh vật biển bám vào dễ trơn trượt rất nguy hiểm;

- Một số công trình bảo vệ bờ đã sử dụng đá học kích thước không lớn, sau một thời gian làm việc đá bị sóng lôi đi, nằm ở những bãi tắm, rất nguy hiểm;



Hình 13. Kè bờ biển khu vực bãi tắm Đồi Dương 2024 [8]

- Kè mái nghiêng bằng vật liệu bê tông khá chắc chắn tuy nhiên chân mái cần cắm sâu xuống cao trình xói thấp nhất của bãi, dọc theo mái kè cần bố trí rãnh thoát nước và chất lượng bê tông tấm lát phải

đảm bảo cường độ cao, nếu không sóng tác động thời gian dài sẽ là đá cốt liệu trong bê tông trơ ra đi lại rất khó khăn và nguy hiểm. Xem hình ảnh kè mái nghiêng bảo vệ bờ biển Đồi Dương hiện nay, sau khi thay kè túi mềm Geotube vào năm 2012, nghĩa là mới được 12 năm làm việc.

4.2. Đề xuất một số giải pháp bảo vệ bờ biển trên địa bàn tỉnh Bình Thuận

Quan sát đường bờ biển khu vực bãi tắm Romana Cát Trắng Phú Hải sau khi xây dựng thêm các mỏ hàn với mục đích giữ cát cho bãi tắm, qua nhiều năm biến đổi đến nay đường bờ lại xuất hiện các đường cong xoắn có kích thước nhỏ hơn. Và tất nhiên cùng với sự hình thành các cung cong xoắn đó là những khu vực bị bồi xói không theo ý muốn nếu chúng ta không hiểu biết đầy đủ về nó.

Vấn đề chúng tôi muốn trao đổi ở đây là bờ biển Bình Thuận được thiên nhiên ban tặng đẹp, qua quá trình khai thác đã làm mất dần vẻ đẹp đó, nguy hiểm hơn là gây xói lở uy hiếp tới dân sinh, hạ tầng ven biển, bồi lắng gây khó khăn cho tàu thuyền ra vào nơi trú tránh bão... Vậy nhiệm vụ chúng ta ở đây là điều chỉnh lại, theo cách tôn trọng quy luật tự nhiên, không tác động thô bạo vào dải ven bờ.



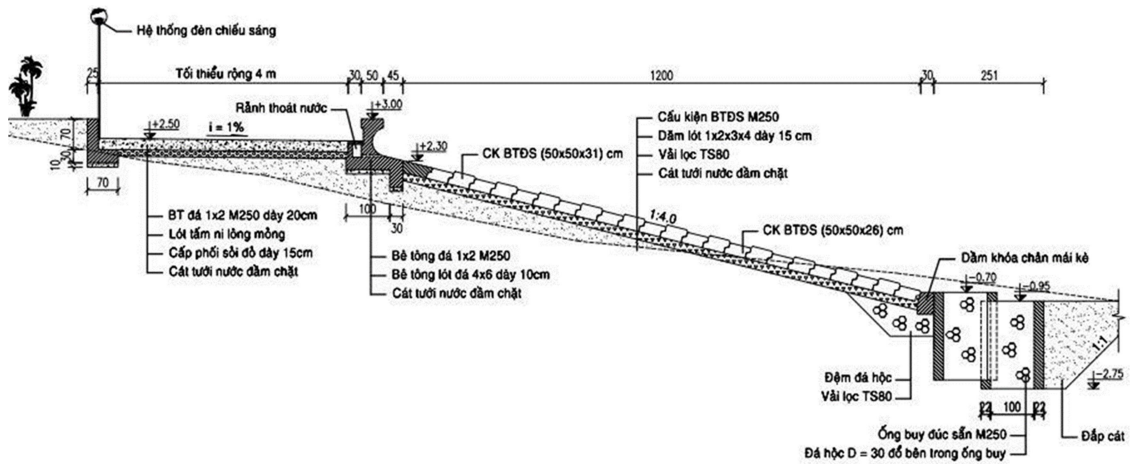
Hình 14. Hình thái đường bờ biển khu vực bãi tắm Romana - Cát Trắng - Phú Hải đang được hình thành các tiểu cung cong sau khi xây dựng các mỏ hàn lấn biển

Về giải pháp tổng thể là mô phỏng mô hình toán chế độ thủy lực, bùn cát vùng ven bờ, để bố trí tuyến bờ hợp lý nhất, ổn định nhất, ít xói bồi gây thiệt hại lớn.

Về giải pháp bảo vệ bờ biển tỉnh Bình Thuận, nên thống nhất chỉ sử dụng một dạng công trình bảo vệ bờ (trường đứng, mái nghiêng) hay công trình ngăn dòng ven bờ, ngăn dòng bùn cát (mở hàn chữ I, chữ T) hoặc công trình giảm sóng xa bờ (đê ngầm đê nhô) cho một tiểu cung cong đường bờ. Trong đó cần lưu ý, các

loại mở hàn, các loại công trình giảm sóng xa bờ chỉ nên lấn ra biển một khoảng cách nhỏ (kích thước cụ thể lấy theo tính toán mô hình toán) để dòng bùn cát vận chuyển dọc bờ theo hai mùa gió, không giữ lại khối lượng bùn cát lớn.

Với kè mái nghiêng chúng tôi đề nghị ứng dụng dạng kè Hình 15 dưới đây nhưng cấu kiện bê tông, tấm bê tông lát, ống buy giữ chân kè phải có cường độ cao trên Max 400 và độ trôn ống buy giữ chân dưới độ sâu thấp nhất cao trình bãi khoảng 0,5 m.

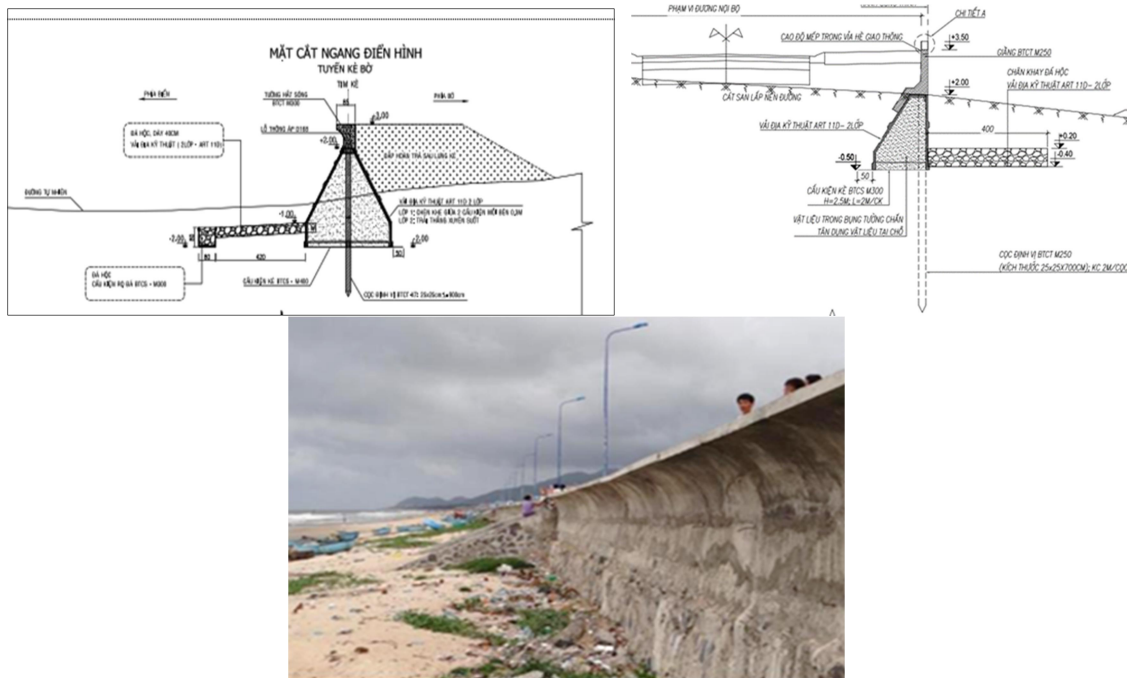


Hình 15. Kè mái nghiêng bảo vệ bờ biển với bê tông Max 400, ống buy chôn sâu dưới cao trình bãi thấp nhất 0,5 m

Với kè trường đứng chúng tôi đề nghị ứng dụng loại kè như Hình 16 của Công ty BUSADCO, trong đó cấu kiện bê tông hình thang bằng cốt phi kim, được sản xuất trong nhà máy cường độ chịu nén trên Max 400. Nhưng không dùng chân khay đá hộc bảo vệ sóng phản xạ (đá sẽ làm hỏng bãi tắm) mà chôn sâu cấu kiện dưới độ sâu thấp nhất của bãi và cọc đóng sâu đảm bảo ổn định lâu dài.

Đối với công trình mở hàn nên sử dụng loại vòm tháo lắp được Max trên 400, có khả năng tháo lắp, nối dài khi cần thiết, xem Hình 17. Tuy vậy cũng nên thay đá giữ mũi mở hàn bằng cấu kiện bê tông hay lắp 2 - 3 đoạn vòm giữ đầu.

Đối với công trình giảm sóng xa bờ nên ứng dụng các loại cấu kiện nối ghép với cường độ cao của Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Công ty Busadco..., Hình 18.



Hình 16. Kè tường đứng bảo vệ bờ biển với cọc chôn sâu và mũi hút sóng.



Hình 17. Kè mở hàn dạng chữ T ngăn cát, đá học giảm sóng



Hình 18. Cấu kiện nối ghép Max 400 có khả năng tháo lắp, di chuyển ứng dụng cho công trình giảm sóng xa bờ

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Dải ven biển tỉnh Bình Thuận cách Thành phố Hồ Chí Minh 198 km, có vị trí thuận lợi cho phát triển bãi tắm, khu du lịch nghỉ dưỡng đẹp, tiện ích.

Do phát triển nóng trong khi thiếu hiểu biết đầy đủ về quy luật diễn biến chế độ thủy thạch động lực ven bờ, đồng thời với nó là biến đổi khí hậu - nước biển dâng, là khai thác thượng nguồn lưu vực và đặc biệt là các công trình tôn tạo, lấn biển,... đã phá vỡ hình thái bờ biển tồn tại, ổn định bao đời nay. Dẫn tới xói lở, bồi lắng gây ra những tác động xấu tới đời sống, tới cảnh đẹp nơi đây mà thiên nhiên đã ban tặng.

Để khắc phục phần nào những bất cập đã xảy ra, chúng tôi đã tiến hành phân tích hình thái đường bờ biển, từ đó chỉ ra những công việc cần phải thực hiện trong thời gian tới và đề xuất một số giải pháp công trình bảo vệ bờ biển trên địa bàn tỉnh Bình Thuận, để phần nào khôi phục lại vẻ đẹp vốn có của vùng này, mà ít tác động xấu tới các khu vực lân cận. Đó là việc mô phỏng mô hình toán, rà soát lại quy hoạch và thống nhất ứng dụng một dạng công trình bảo vệ bờ cho một tiêu chuẩn công xoắn hình thái đường bờ đã tồn tại bao đời nay. Cùng với nó là việc ứng dụng các loại kè mái nghiêng, kè tường đứng, kè mỏ hàn và các loại cấu kiện lắp ghép cho công trình giảm sóng xa bờ, được thể hiện ở các hình 17, 18, 19 và 20.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Design and performance of headland bays in Chesapeake Bay, USA, February 2010, Coastal Engineering 57(2):203-212.
- [2] ThS. Phạm Trung, TS. Trần Thu Tâm, Đánh giá ảnh hưởng của các hướng sóng gió đến diễn biến hình thái đoạn bờ biển Bình Thuận, Tuyển tập kết quả khoa học & công nghệ, 2011.
- [3] ThS. Nguyễn Đức Vượng và các cộng sự, Báo cáo khoa học đề tài cấp quốc gia, “Nghiên cứu xác định nguyên nhân và đề xuất giải pháp khoa học công nghệ nhằm ổn định các cửa sông và vùng bờ biển tỉnh Bình Thuận”, KC08.18/11-15, năm 2016.
- [4] ThS. Nguyễn Đức Vượng, GS.TS. Lê Mạnh Hùng, Giải pháp Khoa học Công nghệ nhằm ổn định cửa sông và bờ biển tỉnh Bình Thuận, NXB Nông nghiệp, năm 2016.
- [5] Phạm Bá Trung, Lê Đình Mậu, Hiện trạng xói lở-bồi tụ bờ biển tỉnh Bình Thuận, Tạp chí các Khoa học Trái đất, năm 2011.
- [6] Nguyễn Văn Khoa, Báo cáo tham luận tại Hội thảo Bình Thuận, 2020.
- [7] Báo cáo tại Hội thảo Khoa học Giải pháp đầu tư xây dựng công trình bảo vệ bờ biển trên địa bàn tỉnh Bình Thuận, năm 2024. Ban quản lý dự án đầu tư xây dựng các công trình Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn tỉnh Bình Thuận.
- [8] Lê Quốc Nam, Kè tạm bảo vệ bờ biển và khu du lịch tỉnh Bình Thuận, Báo cáo Hội thảo, 22/8/2024.
- [9] Nguyễn Quang Tùng, Giới thiệu một số giải pháp công nghệ bảo vệ bờ biển tỉnh Bình Thuận, Hội thảo Bình Thuận, 22/8/2024.

**XÁC ĐỊNH NGUYÊN NHÂN GÂY NGẬP LỤT TRÊN TUYẾN ĐƯỜNG
DT719B TP. PHAN THIẾT, TỈNH BÌNH THUẬN:
THỰC TRẠNG VÀ GIẢI PHÁP**

***Identifying the Causes of Flooding on Provincial Road DT719B –
Phan Thiet City, Binh Thuan: Situation and Solutions***

**Triệu Ánh Ngọc¹, Thái Hữu Hùng¹,
Nguyễn Đình Vượng², Vũ Thị Hoài Thu³**

¹Trường Đại học Thủy lợi

²Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam

³Trường Đại học Giao thông Vận tải Tp. Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Tuyến đường tỉnh DT719B tại TP. Phan Thiết, tỉnh Bình Thuận đóng vai trò quan trọng trong kết nối giao thông khu vực ven biển, thời gian qua đã và đang gặp nhiều vấn đề nghiêm trọng về tình trạng ngập lụt do mưa lớn kéo dài. Ngập lụt không chỉ gây ảnh hưởng tới hạ tầng giao thông, mà còn tác động đến các hộ dân và diện tích trồng thanh long hai bên đường. Các trận mưa lớn từ 70 - 140 mm đã làm ngập vườn thanh long và các khu dân cư dọc tuyến đường, gây thiệt hại kinh tế đáng kể và ảnh hưởng trực tiếp đến cuộc sống của người dân. Việc nghiên cứu thực trạng ngập lụt trên tuyến đường này nhằm đưa ra các giải pháp kịp thời và hiệu quả, đảm bảo tính bền vững trong phát triển hạ tầng giao thông. Từ đó làm căn cứ đề xuất các biện pháp cải thiện hệ thống thoát nước, góp phần đổi mới công tác quản lý và đầu tư xây dựng hạ tầng nhằm ngăn chặn tái diễn tình trạng ngập lụt tương tự.

Từ khóa: Ngập lụt, Hệ thống thoát nước, hạ tầng giao thông, thiết kế bền vững.

ABSTRACT

The DT719B provincial road in Phan Thiet City, Binh Thuan Province plays a crucial role in connecting the coastal area, but it is currently facing serious flooding issues due to prolonged heavy rainfall. Flooding not only affects the transportation infrastructure but also impacts households and the dragon fruit cultivation areas along both sides of the road. The heavy rains have inundated dragon fruit gardens and residential areas along the road, causing significant economic damage and disrupting the lives of local residents. The study of the flooding situation on this road aims to propose timely and effective solutions, ensuring sustainability in infrastructure development. Additionally, the paper will focus on measures to improve the drainage system, along with recommendations for management and construction to prevent the recurrence of similar issues.

Keywords: Flooding, Drainage System, Transportation Infrastructure, Sustainable Design.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngập lụt trên các tuyến đường giao thông, đặc biệt là tuyến đường tỉnh DT719B tại TP. Phan Thiết, đang trở thành một vấn đề cấp bách cần được giải quyết. Những đợt mưa lớn kéo dài tháng

8/2024 vừa qua ở khu vực đã gây ra nhiều thiệt hại nghiêm trọng cho hạ tầng giao thông, làm gián đoạn lưu thông và ảnh hưởng tiêu cực đến các hoạt động kinh tế và du lịch. Lượng mưa đo được tại một số trạm trên địa bàn huyện Hàm Thuận Nam

từ 13h ngày 27 đến 17h ngày 28-8 như sau: xã Hàm Kiệm 93,3 mm; xã Mương Mán 78,8 mm; xã Tân Lập 70,6 mm và xã Hàm Cường 141,6 mm.

Tuyến đường tỉnh DT719B đóng vai trò chiến lược trong việc kết nối khu vực trung tâm TP. Phan Thiết với các vùng ven biển, phục vụ cho phát triển du lịch và kinh tế địa phương. Tuy nhiên, tình trạng ngập lụt nghiêm trọng đã làm suy giảm hiệu quả hoạt động của tuyến đường này, gây ảnh hưởng lớn đến đời sống người dân và nền kinh tế địa phương.

Nghiên cứu này nhằm mục đích xác định các nguyên nhân gây ngập lụt trên tuyến đường DT719B, từ đó đề xuất các giải pháp kỹ thuật và chính sách quản lý hiệu quả. Tầm quan trọng của nghiên cứu không chỉ dừng lại ở việc giải quyết vấn đề ngập lụt hiện tại, mà còn góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho các biện pháp phòng ngừa và quản lý ngập lụt trên các tuyến đường ven biển khác trong tương lai. Đối với tỉnh Bình Thuận, nơi đang có sự phát triển mạnh mẽ về kinh tế biển và du lịch, việc đảm bảo tính bền vững của hệ thống hạ tầng giao thông là một yêu cầu cấp thiết để đảm bảo sự phát triển bền vững lâu dài [3].

Vấn đề nghiên cứu tập trung vào việc xác định các nguyên nhân chính gây ngập lụt trên tuyến đường DT719B, bao gồm các yếu tố tự nhiên như lượng mưa lớn, địa hình trũng thấp và các yếu tố kỹ thuật liên quan đến thiết kế, vận hành hệ thống thoát nước. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng xem xét tác động của quá trình phát triển đô thị và xây dựng hạ tầng đến tình trạng ngập lụt, từ đó đưa ra các giải pháp nhằm cải thiện hệ thống thoát nước và hạn chế nguy cơ ngập lụt trong tương lai.

Bài báo này sẽ tập trung giải quyết

các nội dung chính sau: (1) Đánh giá hiện trạng ngập lụt trước và sau khi xây dựng tuyến đường tỉnh DT719B; (2) Phân tích các yếu tố tự nhiên và kỹ thuật dẫn đến tình trạng ngập lụt; (3) Đề xuất các giải pháp kỹ thuật nhằm cải thiện hệ thống thoát nước và giảm thiểu nguy cơ ngập lụt. Nghiên cứu này sẽ cung cấp các giải pháp khả thi và hiệu quả, đồng thời đề xuất các biện pháp quản lý phù hợp nhằm giảm thiểu tác động của ngập lụt trong tương lai, đảm bảo sự phát triển bền vững cho hệ thống hạ tầng giao thông của địa phương.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Tuyến đường tỉnh DT719B nằm tại TP. Phan Thiết, tỉnh Bình Thuận, là một trong những trục giao thông quan trọng, đóng vai trò kết nối các khu vực ven biển và góp phần thúc đẩy sự phát triển kinh tế, đặc biệt là du lịch và nông nghiệp. Tuy nhiên, địa hình phức tạp với nhiều khu vực trũng thấp khiến tuyến đường này dễ bị ảnh hưởng bởi tình trạng ngập lụt. Đặc biệt, vào mùa mưa, khi lượng nước mưa lớn từ thượng nguồn đổ về, các vùng dọc theo tuyến đường như xã Hàm Mỹ và xã Hàm Cường huyện Hàm Thuận Nam thường xuyên phải đối mặt với ngập lụt nghiêm trọng.

Trong những tháng gần đây, ngập lụt trên tuyến đường DT719B đã trở thành một vấn đề cấp bách. Nhiều nguyên nhân được phỏng đoán dẫn đến tình trạng ngập lụt này bao gồm lượng mưa lớn kéo dài, việc thoát nước kém hiệu quả, và tình trạng bồi lấp lòng sông Cát,... Điều này không chỉ ảnh hưởng đến giao thông mà còn gây thiệt hại lớn cho sản xuất nông nghiệp, đặc biệt là cây thanh long - một loại cây trồng chủ lực của địa phương.

Theo nhiều báo cáo và truyền thông đưa tin các trận ngập lụt đã ảnh hưởng đến hàng trăm hecta thanh long và nhiều nhà dân, gây thiệt hại nặng nề.



Hình 1. Vị trí hướng tuyến đường ven biển DT 719B tỉnh Bình Thuận



Hình 2. Vị trí cây cầu và cống 25×5 m tại đường tỉnh DT 719B

Nguyên nhân gây ngập lụt do lượng mưa lớn đổ về từ thượng nguồn, một số yếu tố như bồi lấp lòng sông Cát, hệ thống thoát nước yếu,... được cho là các yếu tố

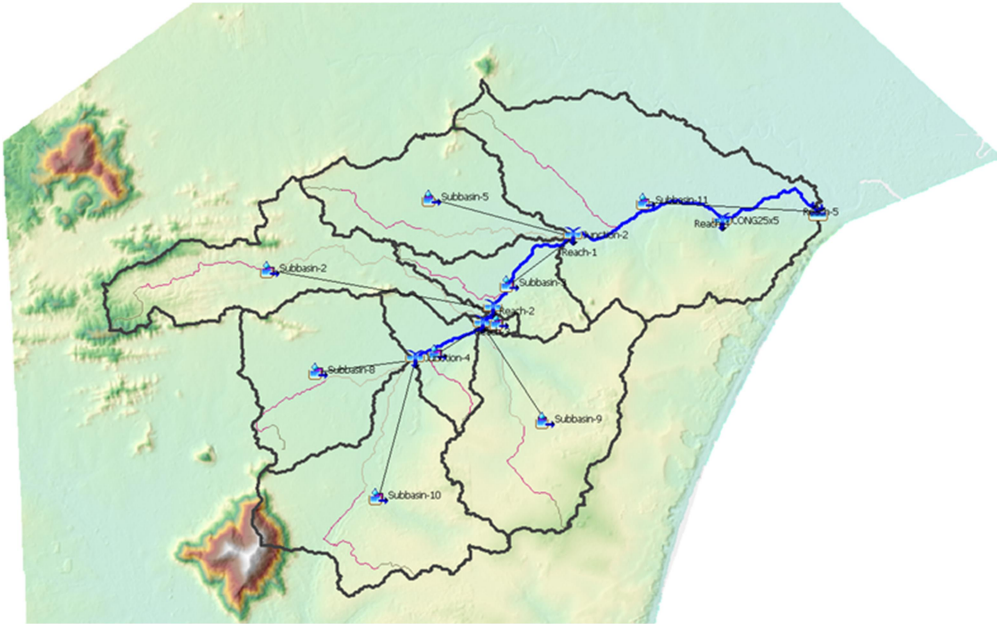
góp phần chính, trong khi công tác thiết kế cầu và hệ thống thoát nước của tuyến đường DT719B đã được xây dựng đúng theo tiêu chuẩn.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Để tính toán mô phỏng khả năng thoát nước của lưu vực nghiên cứu, bài báo này đã sử dụng kết hợp các mô hình thủy văn – thủy lực: (1) Mô hình thủy văn SWAT để tính toán phân định diện tích lưu vực trước và sau xây dựng tuyến đường, kết hợp mô hình HEC-HMS để mô phỏng dòng chảy trên lưu vực và vị trí tuyến cống ngập; (2) Mô hình thủy lực 2 chiều HEC-RAS được sử dụng để mô phỏng quá trình ngập lụt khu vực nghiên cứu [1, 2, 3, 4, 5].

(1) Phương pháp mô hình toán thủy văn

Việc xác định tổng diện tích lưu vực thoát nước tại vị trí cống trong vùng nghiên cứu là yếu tố quan trọng hàng đầu. Nhóm nghiên cứu sử dụng mô hình SWAT (Soil and Water Assessment Tool) để tính toán chính xác diện tích lưu vực, qua đó nắm bắt được phạm vi ảnh hưởng của dòng chảy và tác động của các kịch bản mưa lớn.



Hình 3. Sơ đồ lưu vực thoát nước vùng nghiên cứu

Sau khi xác định diện tích lưu vực, tiến hành tính toán đỉnh dòng chảy (Q_{max}) qua cống bằng mô hình HEC-HMS dựa trên các kịch bản mưa và thông tin về lưu lượng xả từ hồ Đu Đủ (dự kiến khoảng $6 \text{ m}^3/\text{s}$ theo dữ liệu thực tế). Do khu vực nghiên cứu không có trạm quan trắc dòng chảy và lũ lịch sử, nhóm nghiên cứu đã sử dụng bộ thông số của lưu vực tương tự trong lưu vực để tính toán dòng chảy từ mưa [5, 10, 11].

(2) Mô phỏng ngập lụt 2 chiều bằng mô hình HEC-RAS

HEC-RAS 2D sử dụng các phương trình dòng chảy nông (Shallow Water Equations - SWE) hay còn gọi là phương trình Saint-Venant 2D. Đây là các phương trình dạng bảo toàn, bao gồm phương trình bảo toàn khối lượng (liên tục) và bảo toàn động lượng. Các phương trình này mô tả sự thay đổi của mực nước và vận

tốc dòng chảy theo không gian và thời gian trong hai chiều ngang.

Phương trình bảo toàn khối lượng:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Trong đó:

h là độ sâu của dòng chảy (m).

u và v lần lượt là vận tốc theo phương x và y (m/s).

t là thời gian (s).

Phương trình bảo toàn động lượng theo phương x :

$$\frac{\partial h(u)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial h}{\partial x} + hS_{fx} \quad (2)$$

n là hệ số Manning, thể hiện độ nhám của mặt đất hoặc lòng sông.

Phương trình bảo toàn động lượng theo phương y :

$$\frac{\partial h(v)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial h}{\partial y} + hS_{fy} \quad (3)$$

g là gia tốc trọng trường (9,81 m/s²).

S_{fx}, S_{fy} là độ dốc ma sát theo các phương x và y , có thể tính theo công thức Manning:

$$S_f = \frac{n^2}{h^{4/3}} \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4)$$

Ngoài phương trình Saint-Venant 2D, mô hình HEC-RAS 2D còn tuân theo các nguyên lý bảo toàn khối lượng và bảo toàn động lượng để mô phỏng dòng chảy qua địa hình phức tạp, như qua các cống, tràn, hoặc các kênh hở. Trong HEC-RAS 2D, các yếu tố khuếch tán và phân tán của dòng chảy có thể được tính đến, đặc biệt khi dòng chảy qua các địa hình như đồng bằng ngập nước hoặc vùng ngập lụt [6, 7, 8, 9].

2.3. Tài liệu nghiên cứu

(1) Khí tượng

Số liệu khí tượng được thu thập tại các trạm lân cận từ 2010-2024 (theo báo cáo tính toán dòng chảy lũ đến hồ và kiểm tra khả năng xả lũ các hồ chứa tỉnh Bình Thuận) và trận mưa ngày 26/07 đến 29/7/2011 dùng để mô phỏng trận lũ [10].

Từ số liệu thống kê, tính toán có được kịch bản tính toán các cường độ mưa giả định như Bảng 1.

Bảng 1. Tần suất mưa 1 ngày max theo các kịch bản.

STT	1	2	3	4	5	6	7	8
KB	KB 50	KB 80	KB 100	KB 120	KB 150	KB 200	KB 250	KB 270
P%	99	76	52	33	13	2	0,3	0,1
X1 ngày max (mm)	33	63	83	103	133	183	233	253

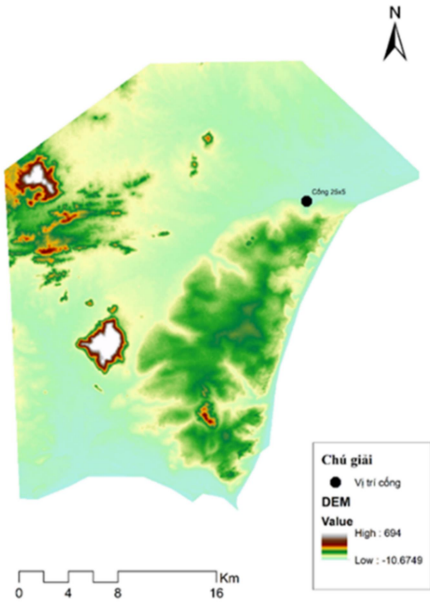
(2) Địa hình - thám phủ

Bản đồ địa hình độ phân giải DEM30x30m được sử dụng cho mô hình

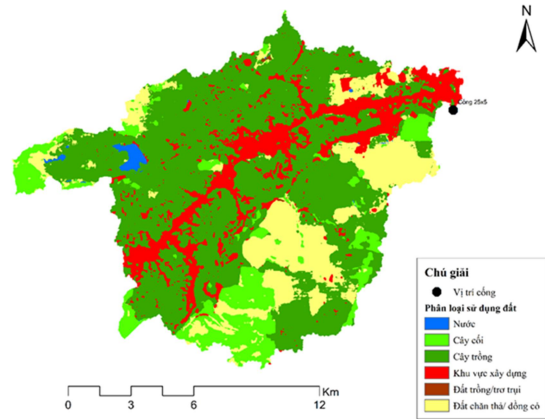
được thu thập từ ảnh vệ tinh do Cục Địa Chất Hoa Kỳ (USGS) chụp vào năm 2011 [10, 11].

Bản đồ phân loại sử dụng đất năm 2023 vùng nghiên cứu được thu thập từ Cục Địa Chất Hoa Kỳ (USGS) - sử dụng

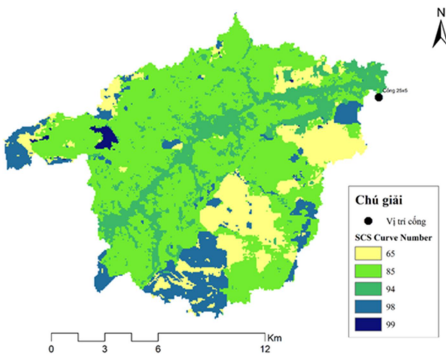
kỹ thuật ảnh vệ tinh để phân loại đất, sử dụng trong mô hình nhằm phân tích các hệ số thấm bề mặt [10, 11].



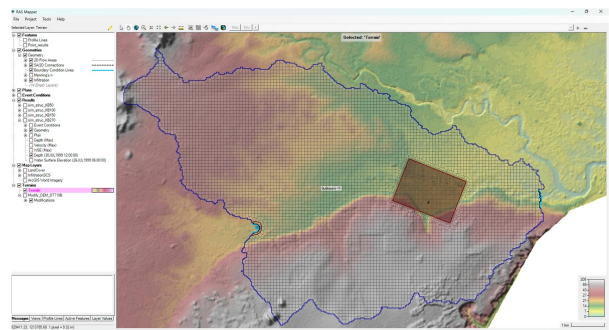
Hình 4. DEM 30x30m sử dụng cho mô hình



Hình 5. Bản đồ phân loại sử dụng đất khu vực nghiên cứu



Hình 6. Bản đồ chỉ số mức độ thấm nước khu vực nghiên cứu



Hình 7. Lưới tính toán sử dụng cho mô hình HEC-RAS 2D, lưới chi tiết tập trung ở khu vực DT719B

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả tính toán dòng chảy đến cống thoát

Từ các kịch bản mưa theo các tần suất mưa 1 ngày max kèm theo xả lũ từ hồ Đu Đủ về, kết quả tính toán dòng chảy tại cống qua đường DT719B như Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính toán Q_{max} qua cống bằng mô hình HEC-HMS

Kịch bản mưa	50 mm	80 mm	100 mm	120 mm	150 mm	200 mm	250 mm	270 mm
Q đến cống đã kể đến Q xả của hồ Đu Đủ bằng HEC-HMS	58,9	105,3	136,6	168	215,3	294,4	373,8	405,5

Theo kết quả tính toán mô phỏng cho thấy, với lượng mưa nhỏ hơn 250 mm, thì khẩu độ cống vẫn đảm bảo được lưu lượng nước thoát qua cống, như vậy việc thiết kế cống này là hoàn toàn phù hợp (Lưu lượng qua cống thiết kế $Q_{tk} = 377.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ứng với khẩu độ cống $25 \times 5 \text{ m}$).

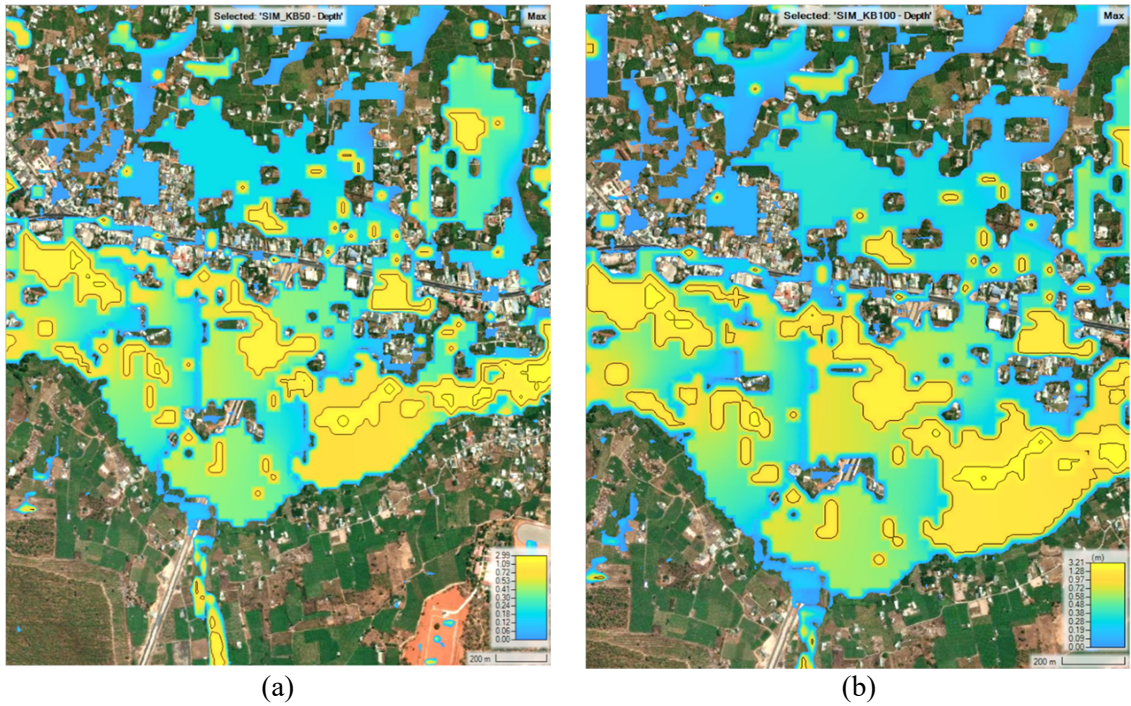
3.2. Phân tích các yếu tố tự nhiên - kết quả ngập lụt

Để đánh giá được chi tiết, chính xác nguyên nhân gây ngập, nghiên cứu này đã mô phỏng các trường hợp tính toán cho các điều kiện khí tượng khác nhau kết hợp với kịch bản trước và sau khi xây dựng tuyến đường DT719B.

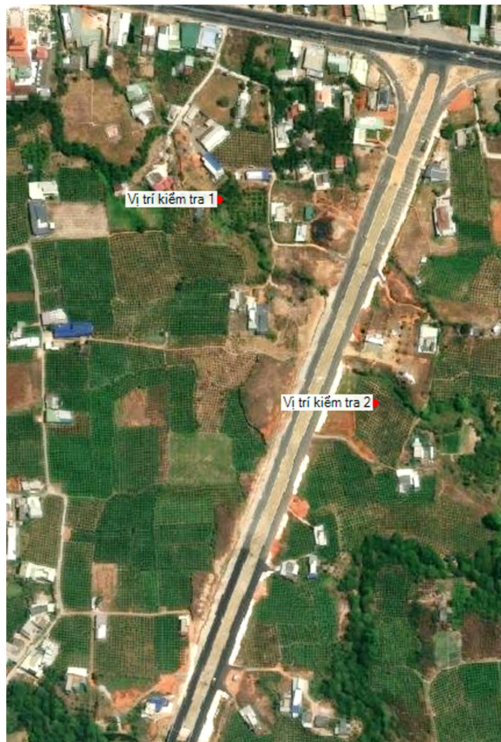
a. Kết quả mô phỏng hiện trạng khi chưa có tuyến đường DT719B

Với các điều kiện lượng mưa 50 - 100 - 150 - 270 mm, khu vực nghiên cứu ghi nhận hiện tượng ngập cục bộ từ 1 - 3 m. Tuy nhiên, nước rút tương đối nhanh, từ 1

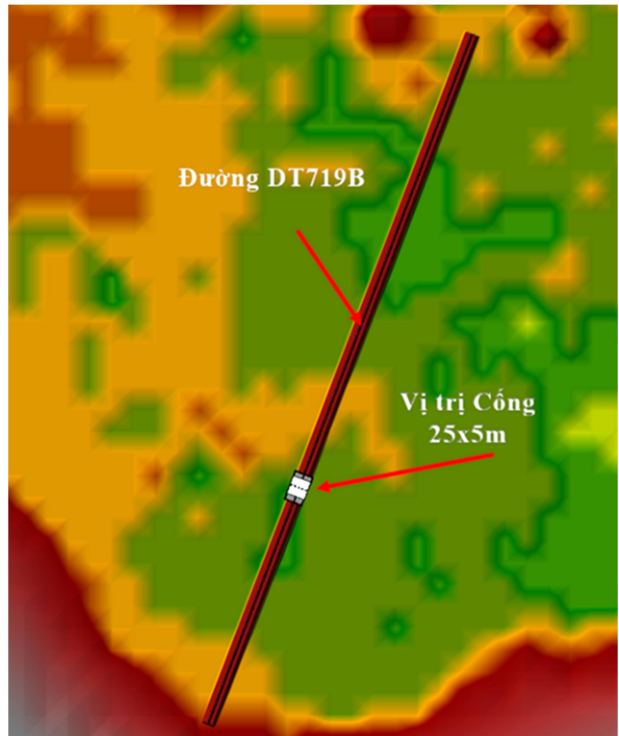
đến 2 ngày sau khi mưa đạt đỉnh, mức độ ngập giảm còn 0,4 - 2 m tùy theo cấp độ lượng mưa. Điều này cho thấy trước khi có công trình, khu vực vẫn chịu ảnh hưởng ngập cục bộ. Địa hình xung quanh khu vực nghiên cứu có cao độ từ 7 - 10 m, đây là vùng thấp nhất trong khu vực. Khi xảy ra mưa lớn, những khu vực có cao độ dưới 7,3 m thường xuyên bị ngập, hình thành các vùng trũng chứa nước. Đồng thời, địa chất khu vực thuộc loại trầm tích trung bình, làm tăng thêm khả năng ngập úng và khiến nước khó thoát. Địa hình sườn ngang có cao độ trên 8 m cũng góp phần gây ra khó khăn trong việc tiêu thoát nước khi mưa lớn xảy ra. Kết quả mô phỏng cho kịch bản trước khi xây dựng tuyến đường DT719B phù hợp với kết quả điều tra khảo sát vết lũ khu vực trước khi có DT719B thì vùng này vẫn bị ngập nhưng không sâu và thời gian rút nước rất nhanh sau khi hết mưa.



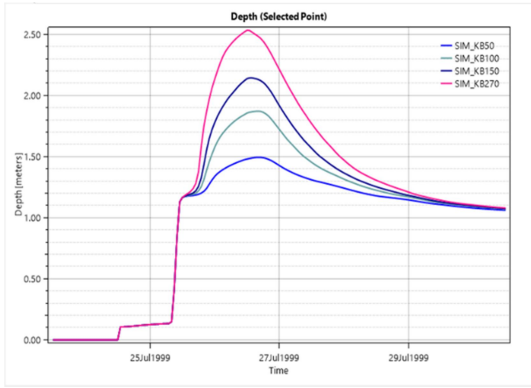
Hình 8. Kích bản ngập lớn nhất với lượng mưa 50 mm (hình a) và 100 mm (hình b) trước khi có công trình (tại vị trí cống và vùng ngập nặng sau mưa lũ)



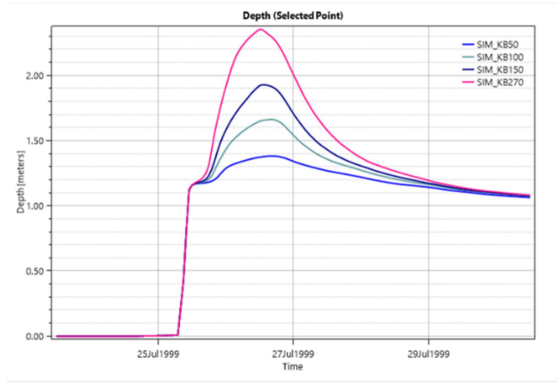
Hình 9. Vị trí trích xuất kiểm tra mức độ ngập



Hình 10. Đường DT719B và cống được mô hình hóa



(a)



(b)

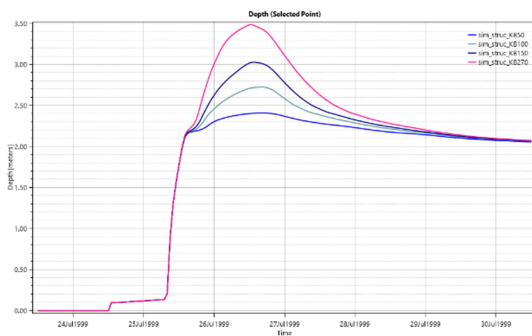
Hình 11. Kết quả ngập tại vị trí 1 (hình a) và vị trí 2 (hình b)

b. Kết quả mô phỏng sau khi có tuyến đường DT719B

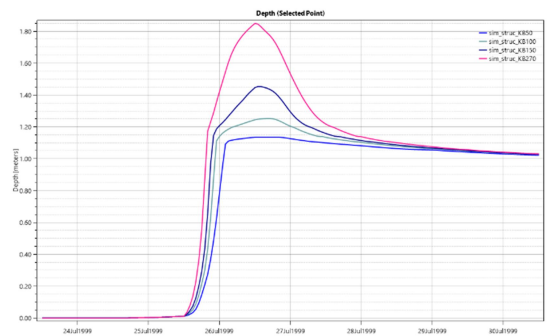
Để có thể phân tích được kết quả ngập khi có công trình, tác giả đã tiến hành mô hình hóa tuyến đường DT719B và cống khẩu độ 25 x 5 m bắc qua suối Ngang theo thực tế thi công.

Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng, mức độ ngập cục sau khi có công trình tăng lên đáng kể khi khu vực nghiên cứu bị chia cắt bởi tuyến đường DT719B. Trước khi có công trình độ sâu ngập ở vị trí 1 và vị

trí 2 gần như chỉ chênh lệch 0,3 - 0,5 m, tuy nhiên sau khi có công trình thì mức độ ngập ở vị trí 1 tăng lên cao thêm từ 0,8 - 1 m, ngược lại vị trí 2 mức độ ngập giảm xuống. Như vậy khi có đường DT719B thì mức độ ngập tăng lên ở vị trí 1. Điều này cho thấy khi tuyến đường DT719B được xây dựng vô hình dung đã làm thay đổi đặc tính lưu vực thoát nước (bị chia cắt lưu vực) và làm thay đổi hướng dòng chảy tràn bề mặt ở những vùng có địa hình nhỏ hơn 7,3 m.

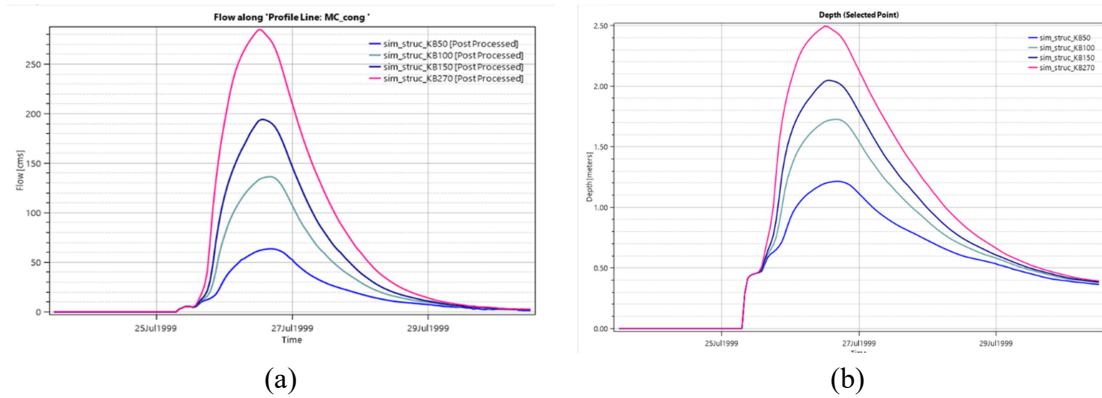


(a)



(b)

Hình 12. Kết quả ngập tại vị trí 1 (hình a) và vị trí 2 (hình b)



Hình 13. Lưu lượng mô phỏng ngập chảy qua cống (m^3/s , hình a) và mức ngập tại cống (m, hình b)

Từ các kết quả phân tích ở trên, nhóm nghiên cứu nhận định như sau:

- Với tất cả các kịch bản tính toán với điều kiện mưa 50 - 100 - 150 - 270 mm thì lưu lượng qua cống chỉ đạt giá trị lớn nhất là $284,8 m^3/s$ và độ sâu ngập lớn nhất đạt 2,5 m trong khi theo tiêu chuẩn thiết kế khẩu độ cống qua suối Ngang là $25 \times 5 m$ với lưu lượng thiết kế là $Q_{tk} = 377,2 m^3/s$ và chiều cao cống là 5m. Kết quả tính toán này cho thấy cống được thiết kế tại suối Ngang vẫn đảm bảo thoát nước tốt trong điều kiện mưa cực đoạn lên đến 270 mm.

- Tuy nhiên những vùng có địa hình với cao độ nhỏ hơn 7,3 m thì ngập cục bộ gia tăng đáng kể về độ sâu và diện tích ngập do lưu vực bị chia cắt và các vùng trũng bị đóng kín không có hướng tiêu thoát nước khi mưa lớn do tuyến đường DT719B được xây dựng.

Để phân tích chi tiết hơn, nhóm nghiên cứu cũng đã giả định các giải pháp thoát nước theo các Trường hợp (TH) như sau:

- Trường hợp 1: Xây dựng hệ thống thoát nước bổ sung dọc tuyến DT719B với khẩu độ $3 \times 3 m$ phân chia thành 2 hướng: một phần thoát về hướng Đông

Bắc và một phần dẫn ra suối Ngang

- Trường hợp 2: Thiết kế rãnh thoát nước 2 bên đường như Trường hợp 1 kết hợp bổ sung thêm ống thoát nước từ kênh ra.

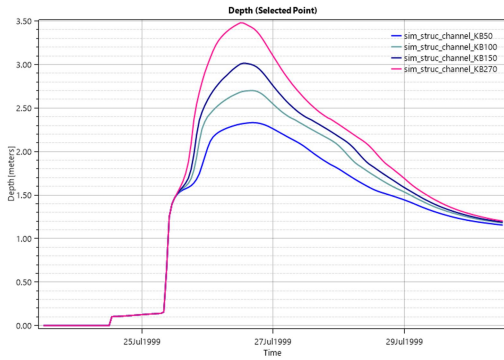
Từ các trường hợp tính toán cho thấy:

- Sau khi mưa lớn đạt đỉnh ứng với độ sâu ngập lớn nhất trong trường hợp hiện trạng ghi nhận ở mức 3,5 m tại vị trí 1, với đường cong nước rút sau khi mưa lớn xảy ra duy trì ở mức 2,35 m (hình 12a). Tại vị trí 2, độ sâu ngập đạt đỉnh là 1,8 m, và đường cong nước rút duy trì ở mức 1,2 m (hình 12b).

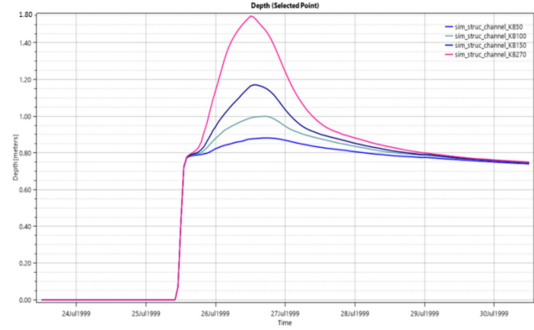
- Trường hợp TH-1: Với thiết kế giải pháp TH-1, sau khi mưa đạt đỉnh, đường cong nước rút tại vị trí 1 từ mức 2,35 m giảm dần xuống 1,3 m (hình 14a), còn tại vị trí 2 giảm từ 1,2 m xuống 0,8 m (hình 14b). Giải pháp này bao gồm hệ thống rãnh thoát nước hai bên đường DT719B, giúp tiêu thoát nước hiệu quả ngay cả khi lượng mưa lớn hơn 200 mm. Hệ thống có độ dốc về phía Tây Nam và một nhánh đổ về cống thoát nước qua suối Ngang, giúp giảm đáng kể độ sâu ngập và đẩy nhanh quá trình rút nước sau mưa, cải thiện rõ rệt khả năng thoát nước và giảm tình trạng ngập úng.

- Trường hợp TH-2: TH-2 sử dụng thiết kế tương tự TH-1 nhưng được bổ sung thêm ống thoát nước từ kênh ra. Kết quả cho thấy độ sâu ngập giảm thêm so với TH-1: tại vị trí 1, đường cong nước rút giảm từ 1,3 m xuống còn 0,73 m (hình

15a), và tại vị trí 2 giảm từ 0,8 m xuống còn 0,6m (hình 15b). Thiết kế này giúp cải thiện khả năng thoát nước đáng kể, làm giảm độ sâu ngập nhanh hơn so với TH-1, qua đó hạn chế tình trạng ngập úng một cách hiệu quả hơn.

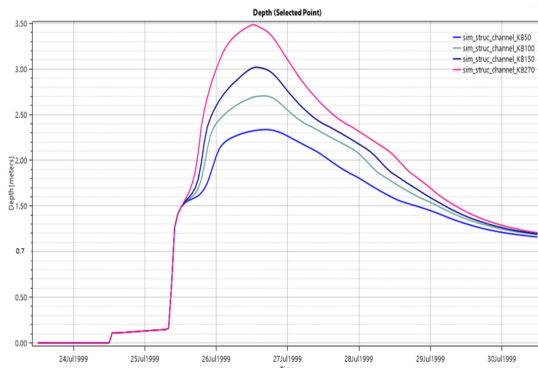


(a)

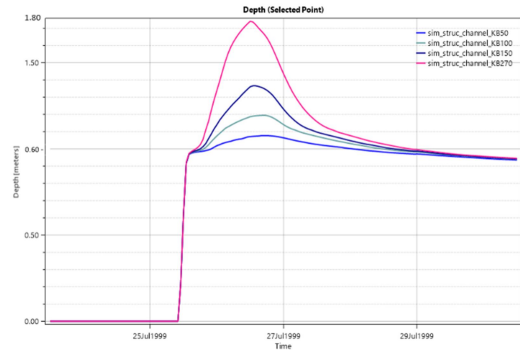


(b)

Hình 14. Kết quả độ sâu ngập theo TH-1 tại vị trí 1 (hình a) và vị trí 2 (hình b)



(a)



(b)

Hình 15. Kết quả độ sâu ngập theo TH-2 tại vị trí 1 (hình a) và vị trí 2 (hình b)

4. KẾT LUẬN – KIẾN NGHỊ

Trước khi tuyến đường DT719B được xây dựng, khu vực nghiên cứu xuất hiện ngập cục bộ khi lượng mưa vượt trên 50 mm và mức độ ngập (độ sâu ngập, thời gian ngập, diện tích ngập) sẽ tăng lên khi cường độ mưa tăng. Tuy nhiên, hiện tượng ngập này chỉ xuất hiện cục bộ và sẽ rút nhanh khi mưa kết thúc.

Khi tuyến đường DT719B được xây dựng và đi vào khai thác, kết quả mô phỏng cho thấy, lưu lượng thoát nước qua vị trí cống thoát nước qua suối Ngang vẫn hoạt động hiệu quả với khẩu độ thiết kế. Điều này khẳng định rằng, kích thước cống thoát nước được thiết kế trên suối Ngang là phù hợp, đảm bảo thoát nước tốt theo tiêu chuẩn thoát nước đường giao thông hiện hành. Tuy nhiên, hiện tượng

ngập cục bộ tăng lên đáng kể về độ sâu ngập, thời gian ngập, diện tích ngập do lưu vực thoát nước bị chia cắt và làm thay đổi hướng dòng chảy tràn bề mặt.

Khi bố trí các giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả thoát nước (hướng gom dòng chảy) như tính toán, thì hiện tượng ngập giảm đáng kể và khi gom lưu lượng các vùng trũng bị ngập cục bộ về cống thoát nước tại vị trí suối Ngang thì cống này vẫn đảm bảo tốt nhiệm vụ thoát nước.

Từ kết quả tính toán và phân tích trên, nhóm nghiên cứu nhận định khẩu độ cống thoát nước đảm bảo thoát nước tốt kể cả với trận mưa trên 200 mm. Tuy nhiên, trong tiêu chuẩn tính toán tiêu thoát nước hiện hành đã không đề cập đến việc tính toán tiêu thoát nước cho lưu vực một khi đặc tính lưu vực bị thay đổi. Chính điều này đã làm cho độ sâu ngập và thời gian ngập tăng lên đáng kể và thực tế đã xảy ra như kết quả nhóm nghiên cứu tính toán mô phỏng.

Kết quả nghiên cứu này chỉ ra rằng nguyên nhân chính gây ngập lụt tại khu vực nghiên cứu là do địa hình thấp, hình thành các vùng trũng làm nước tích tụ và khó thoát, và tình trạng này trở nên nghiêm trọng hơn sau khi có công trình.

Tuy nhiên, tình trạng ngập không xuất phát từ hệ thống công trình đường DT719B. Hệ thống thoát nước tại cống qua suối Ngang hoạt động hiệu quả, đảm bảo thoát nước tốt theo thiết kế. Điều này cho thấy thiết kế công trình đã tuân thủ tiêu chuẩn xây dựng và đáp ứng yêu cầu về thoát nước.

Từ phân tích trên cho thấy, các tiêu chuẩn thoát nước hiện hành còn bất cập. Cụ thể, tiêu chuẩn chưa tính toán đầy đủ về khả năng thu nước và thoát nước của toàn bộ lưu vực sông, suối, mà chủ yếu dựa trên các công thức kinh nghiệm và hệ số tập trung nước. Đây là hạn chế trong ngành xây dựng, khi các tiêu chuẩn hiện tại chưa hoàn toàn phản ánh được các yếu tố thủy văn phức tạp.

Nhóm nghiên cứu kiến nghị rằng, trong quá trình thiết kế công trình, đặc biệt là các công trình có liên quan đến lưu vực sông suối, cần áp dụng cách tiếp cận quản lý lưu vực tổng hợp. Điều này đòi hỏi phải tính toán kỹ lưỡng dòng chảy trên toàn bộ lưu vực sông, suối, sử dụng các tiêu chuẩn và phương pháp liên ngành như thủy lợi, thay vì chỉ dựa vào các công thức kinh nghiệm hay tiêu chuẩn thoát nước ngành xây dựng, giao thông [3, 11].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Brunner, M.I.; Slater, L.; Tallaksen, L.M.; Clark, M. Challenges in modeling and predicting floods and droughts: A review. *WIREs Water*. 2021, 8, e1520.
- [2] Cea, L.; Costabile, P. Flood Risk in Urban Areas: Modelling, Management and Adaptation to Climate Change. *A Review Hydrology* 2022, 9, 50.
- [3] Chống ngập đường cao tốc Dầu Giây – Phan Thiết, phải theo quản lý tổng hợp lũ lưu vực sông.
- [4] Dũng L. H., Huy, L. Q., Thành, P. V., Hằng, V. T., Thủy, T. T., Đại, N. V., (2024). Ứng dụng mô hình HEC-RAS mô phỏng ngập lụt cho hạ lưu sông Ba. *Tạp chí khoa học biên giới khí hậu*. Số 30, 65-75.

- [5] El-Bagoury, H., & Gad, A. (2024), Integrated Hydrological Modeling for Watershed Analysis, Flood Prediction, and Mitigation Using Meteorological and Morphometric Data, SCS-CN, HEC-HMS/RAS, and QGIS. *Water*, 16(2), 356. <https://doi.org/10.3390/w16020356>
- [6] Ngoc, T.A., Kazuki, H., Masayoshi, H., (2013). Optimizing Parameters for Two conceptual Hydrological Models using Genetic Algorithm: A Case Study in the Dau Tieng River Watershed, Vietnam. *JARQ*. Vol 43.1, 85-96.
- [7] Nguyen, K. L., Liem, N. D., Le, H. T., Nguyen, T. H., Cao, D. T., Vo, N. Q. T., Tran, T. N., Tran, N. A., & Jeong, J. (2019). Automated procedure of real-time flood forecasting in Vu Gia – Thu Bon river basin, Vietnam by integrating SWAT and HEC-RAS models. *Journal of Water and Climate Change*, 10(3), 535-551.
- [8] Teng, J.; Jakeman, A.J.; Vaze, J.; Croke, B.F.; Dutta, D.; Kim, S. Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environ. Model. Softw.* 2017, 90, 201–216.
- [9] Tom, R.O.; George, K.O.; Joanes, A.O.; Haron, A. Review of flood modelling and models in developing cities and informal settlements: A case of Nairobi city. *J. Hydrol.-Reg. Stud.* 2022, 43, 101188.
- [10] USGS Earth Explorer. Esri, I-Cubed, USDA, USGS, AEX, GeoEye, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, UPR-EGP, and the GIS User Community, ESRI. Available online.
- [11] Urban Hydrology for Small Watersheds, TR-55.

