

Đánh giá hiện trạng diễn biến và ổn định bờ sông Hậu, đoạn từ An Giang đến cửa sông

Diệp Gia Huy¹, Phạm Tấn Đạt², Trần Văn Tỷ^{2*}

¹ Học viên cao học, Khoa Kỹ thuật Thủy lợi, Trường Bách khoa, Trường Đại học Cần Thơ

² Khoa Kỹ thuật Thủy lợi, Trường Bách khoa, Trường Đại học Cần Thơ

TỪ KHÓA

Sạt lở sông
Hàng lang an toàn
Ảnh Landsat
Sông Hậu
Ổn định bờ sông

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung vào việc đánh giá diễn biến đường bờ và ổn định bờ sông Hậu đoạn từ tỉnh An Giang đến cửa sông (cửa Định An và Trần Đề). Ảnh Landsat (2000-2023) được thu thập và phân tích bằng phương pháp NDWI và công cụ QGIS và Google Earth Pro để tính tốc độ thay đổi đường bờ sông và đánh giá mức độ sạt lở và hàng lang an toàn sông. Song song đó, các số liệu về địa hình, địa chất, thủy văn cũng được thu thập để đánh giá ổn định bờ sông dưới tác động của tải trọng. Kết quả nghiên cứu cho thấy tốc độ sạt lở trung bình khoảng 3-5 m/năm tại các điểm nóng trên sông Hậu, gây mất đất canh tác và đe dọa nhà cửa của người dân ven sông. Các tỉnh dọc sông Hậu đều có tình trạng vi phạm hàng lang an toàn sông, trong đó tỉnh An Giang có mức vi phạm dài nhất, lên tới 37,87km. Ngoài ra, mức độ ổn định bờ sông tại năm vị trí khảo sát qua các tỉnh tương đối thấp. Kết quả nghiên cứu cho thấy tầm quan trọng của việc lập kế hoạch bảo vệ bờ sông và quản lý đất ven sông (hàng lang an toàn) để đảm bảo an toàn cho cộng đồng và cơ sở hạ tầng ven sông.

KEYWORDS

Riverbank erosion
Safe corridor
Landsat imagery
Hau river
Riverbank stability

ABSTRACT

This study focuses on assessing the riverbank dynamics and stability of the Hau River, from An Giang province to the river mouths (Dinh An and Tran De). Landsat images (2000-2023) was collected and analyzed using the NDWI method and QGIS tool and Google Earth Pro to calculate the rate of riverbank changes, and to assess the riverbank erosion levels and safety corridors. In parallel, topographic, geological, and hydrological data were compiled to evaluate riverbank stability under load impacts. The results reveal that the average erosion rate is about 3-5 m/year at hotspots along the Hau River, leading to the loss of agricultural land and threatening the houses of residents living near the river. All provinces along the Hau river experience of unsecured river safety corridors, of which An Giang province has been found to have the most corridor-unsecured cases, with the length up to 37.87 km. Furthermore, the riverbank stability is relatively low at the five provincial representative locations. This findings highlight the importance of riverbank protection planning and riverside area (corridor) management to ensure the safety of communities and infrastructure along the river.

1. Mở đầu

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là một vùng đồng bằng châu thổ màu mỡ được hạ lưu sông Mê Công bồi đắp qua hàng thế kỷ. Đồng bằng có hệ thống sông ngòi chằng chịt nên thể mạnh của vùng chủ yếu đến từ nguồn nông nghiệp và thủy sản dồi dào. Trong đó, sông Hậu là một trong hai nhánh sông lớn cung cấp nước và phù sa dồi dào cho vùng ĐBSCL nói chung và vùng bán đảo Cà Mau nói riêng nên có vai trò hết sức quan trọng. Với những đặc điểm về vị trí địa lý, có thể nói, sông Hậu có vai trò rất quan trọng đối với vùng ĐBSCL. Sông Hậu mang các nguồn lợi về nông nghiệp, lâm nghiệp, thủy sản, giao thông, đặc biệt là nông nghiệp (vùng cung cấp lương thực, thực phẩm quan trọng trong cả nước). Bên cạnh những giá trị kinh tế mang lại, với tập tính chung là sử dụng nước sông phục vụ sinh hoạt thường ngày, sông Hậu còn là nguồn cung cấp nước cho hàng triệu người dân sinh sống ven sông. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, tình

trạng sạt lở và mất cân bằng ổn định của các sông ở ĐBSCL nói chung, và đặc biệt là sông Hậu nói riêng ngày càng trở nên phức tạp và nghiêm trọng, ảnh hưởng đến hệ sinh thái, đời sống sinh hoạt và kinh tế trong vùng (Diệp, 2019) [1].

Theo báo cáo số 176/BC-STNMT [2] về tình hình và công tác cảnh báo các điểm sạt lở chín tháng đầu năm 2019 thì đoạn sông Hậu chảy qua tỉnh An Giang, có khoảng 23 điểm sạt lở nghiêm trọng. Trong khi đó, theo báo cáo số 445/BC-UBND [3] về việc di dời người dân đến mới an toàn do ảnh hưởng của sạt lở trên đoạn sông Tiền qua địa bàn huyện Lấp Vò, tỉnh Đồng Tháp, diện tích sạt lở lên đến 8.485 m². Qua đó, việc nghiên cứu và tìm ra giải pháp về vấn đề này ngày càng trở nên cấp bách và thiết thực.

Có nhiều nghiên cứu liên quan đến vấn đề xói lở và bồi tụ trên địa bàn ĐBSCL. Chẳng hạn như Quỳnh và ctv (2018) [4] sử dụng viễn thám và GIS phân tích biến động đường bờ sông Tiền và sông Hậu, phát hiện xu hướng xói lở và bồi lắng qua đó có những biện pháp ứng phó kịp thời. Về

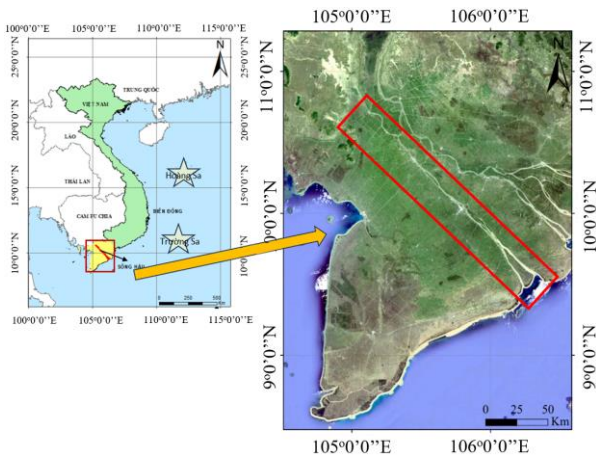
*Liên hệ tác giả: tvty@ctu.edu.vn

Nhận ngày 01/08/2024, sửa xong ngày 10/09/2024, chấp nhận đăng ngày 11/09/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.05.2024.773>

hành lang sông có Lan và ctv (2020) [5] đã nghiên cứu đề xuất quy hoạch, khai thác cảnh quan ven sông để bảo vệ môi trường và nâng cao hiệu quả sử dụng đất. Các biện pháp gia cố, kiểm tra, đánh giá an toàn công trình kè, nhấn mạnh tầm quan trọng của "hành lang an toàn sông" đã được nhóm tác giả Huế và ctv (2018) [6] nghiên cứu. Trên thế giới có rất nhiều công trình nghiên cứu như nhóm tác giả Ahmed và ctv (2010) [7] đã sử dụng NDVI và ảnh độ phân giải cao để phân tích xói lở bờ sông Nile. Rabbi và ctv (2013) [8] đã sử dụng GIS để xác định các điểm sạt lở trên sông Sirajganj. Kline và Cahoon (2010) [9] mô tả chiến lược bảo vệ hành lang sông ở Vermont, dựa trên địa mạo sông ngòi để khôi phục môi trường sống và dịch vụ hệ sinh thái ven sông.

Vì vậy xác định hành lang an toàn sông xét về hiện trạng diễn biến và ổn định bờ sông Hậu đoạn từ An Giang đến cửa sông với mong muốn nhằm đánh giá được cái nhìn tổng quan về hành lang an toàn sông trên sông Hậu (Hình 1).



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

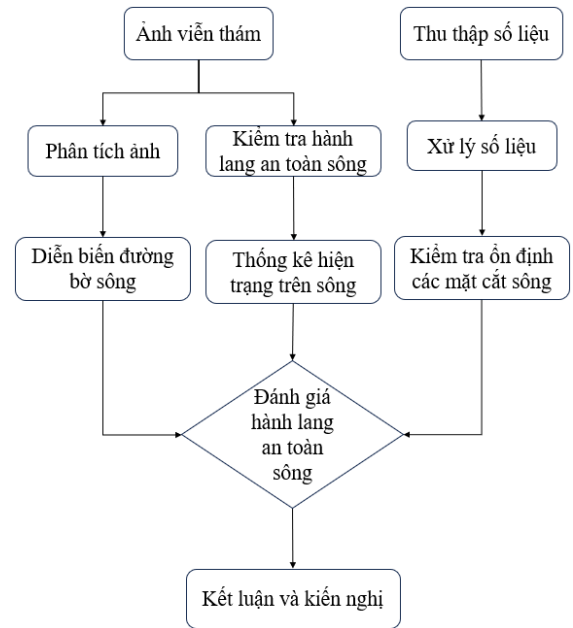
2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu tiến hành thực hiện theo các bước trong tiến trình được thể hiện ở Hình 2. Đầu tiên, các ảnh viễn thám sẽ được thu thập và chiết xuất đường bờ trên phần mềm mã nguồn mở QGIS. Sau khi phân tích được diễn biến xói/bồi tại các vị trí trên sông Hậu. Kết hợp với các số liệu sơ cấp như mực nước, các chỉ tiêu cơ lý đất...và số liệu thứ cấp được khảo sát trên các mặt cắt sông. Sử dụng mô hình mô phỏng và kết hợp với thống kê hiện trạng trên sông để kiểm tra tính ổn định tại các mặt cắt. Cuối cùng đánh giá hành lang an toàn sông Hậu.

2.1. Phân tích ảnh viễn thám

Các ảnh vệ tinh được sử dụng trong nghiên cứu này là ảnh Landsat 5, 8 và 9 được tải miễn phí từ trang chủ Cơ quan Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS). Ảnh được lựa chọn để sử dụng phải đáp ứng điều kiện về độ rõ nét và độ mây che phủ. Ban đầu, nghiên cứu được dự tính sử dụng ảnh có độ mây che phủ dưới 10 % theo (Quỳnh, 2018 [4] và Hà, 2021 [10]) nhưng do nguồn ảnh còn hạn chế nên có ảnh tỉ lệ mây khoảng 30 % nhưng

vẫn đảm bảo mây không ảnh hưởng khu vực nghiên cứu. Dữ liệu được thu thập trong Bảng 1.



Hình 2. Sơ đồ nghiên cứu.

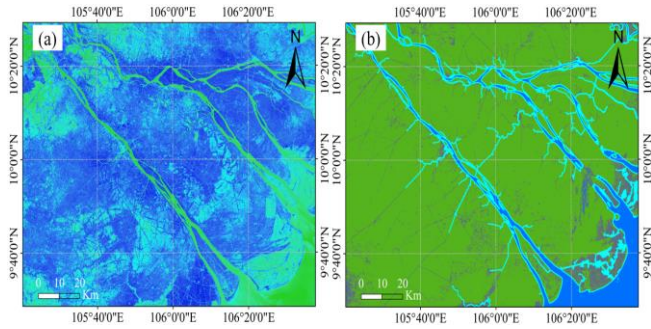
Bảng 1. Thông tin chi tiết về dữ liệu ảnh vệ tinh được thu thập từ năm 2000 đến năm 2023.

Thời gian	Vệ tinh	Cảm biến	Độ phân giải m/pixel)	Hệ tọa độ
19/03/2000	Landsat 5	TM	30	UTM
28/04/2005	Landsat 5	TM	30	UTM
18/05/2010	Landsat 5	TM	30	UTM
24/01/2015	Landsat 8	OLI/TIRS	30	UTM
06/01/2020	Landsat 8	OLI/TIRS	30	UTM
16/12/2023	Landsat 9	OLI/TIRS	30	UTM

Trong nghiên cứu này, khi tiến hành xử lý dữ liệu Landsat, chỉ số chuẩn hóa nước NDWI (Normalized Difference Water Index) được sử dụng để phân loại ngẫu nhiên nhằm phân tách hoàn toàn giữa vùng nước và vùng bờ. Những hình ảnh được phân loại dùng để trích xuất các đường bờ biến dưới dạng ảnh vector. Chỉ số NDWI sử dụng kênh quang phổ cận hồng ngoại (NIR) và kênh xanh lục (GREEN) với các giá trị nhận được luôn nằm trong khoảng -1 đến +1. Khi chỉ số mang giá trị từ 0 trở lên, pixel sẽ được xem xét phân loại là vùng nước. NDWI được tính theo công thức đề xuất của McFEETERS (1996) [11]:

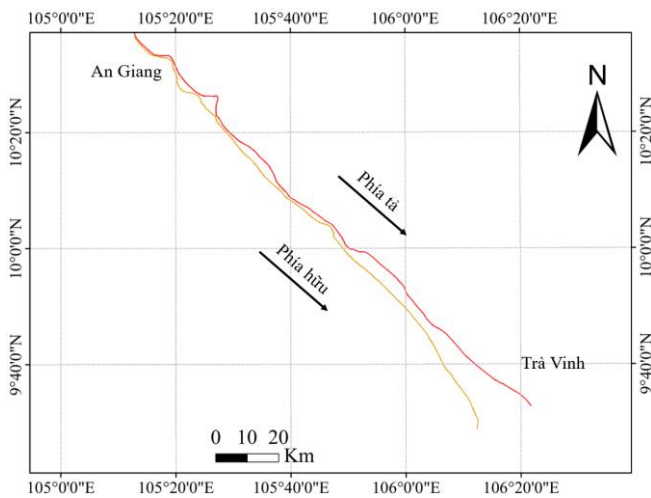
$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (1)$$

trong đó: Ảnh Landsat 5, kênh 2 (B02) là kênh xanh lục (GREEN) và kênh 4 (B04) là kênh cận hồng ngoại (NIR). Ảnh Landsat 8 có kênh hồng ngoại gần và kênh xanh lục được quy định lần lượt là kênh 5 (B05) và kênh 3 (B03).



Hình 3. Quy trình chiết xuất đường bờ từ NDWI.

Theo Hình 3, với (a) là ảnh NDWI tính theo công thức và (b) là ảnh biểu thị đường bờ được chiết xuất theo mô hình Hình 4.



Hình 4. Đường bờ sông Hậu được chiết suất với NDWI.

2.2. Tính toán tốc độ thay đổi đường bờ (LRR)

Một trong các phương pháp phổ biến trong tính toán vận tốc thay đổi đường bờ là phương pháp hồi quy tuyến tính (LRR) (Linear Regression Rate) (Mishra et al., 2023) [12]. Đặc điểm của phương pháp này dựa trên nguyên tắc thống kê sử dụng tất cả các điểm dữ liệu có sẵn trong chuỗi dữ liệu về vị trí đường bờ. Trong đó, độ dốc của đường thẳng hồi quy chính là tốc độ thay đổi đường bờ. Công thức của đường thẳng hồi quy được thể hiện như sau:

$$y = a \times t + b \quad (2)$$

trong đó: y là vị trí đường bờ (m); a là hệ số góc của đường thẳng hồi quy và là tốc độ thay đổi vị trí đường bờ (m/năm); t là thời gian (năm); b là giao điểm giữa đường thẳng hồi quy và trục tung.

Cần thiết có ít nhất hai đường bờ biên từ các mốc thời gian khác nhau để tính toán tỷ lệ thay đổi bằng DSAS qua việc cung cấp một số phương pháp tính toán thống kê.

2.3. Xác định hành lang an toàn sông

Sử dụng phần mềm Google Earth Pro kết hợp với các quy định về

hành lang an toàn tại địa phương để xác định chiều dài vi phạm hành lang an toàn sông trên sông Hậu. Qua đó, kết hợp khảo sát thực tế ngày 12/04/2024 (Hình 5).



Hình 5. Khảo sát sông Hậu tại An Giang.

a) Quy định về hành lang an toàn sông ở An Giang

Theo kết quả nghiên cứu các phương án chỉnh trị và phòng chống sạt lở bờ sông cho khu vực cù lao Châu Ma trong Dự án hỗ trợ kỹ thuật cho dự án chống chịu khí hậu tổng hợp và sinh kế bền vững vùng ĐBSCL (GEF-ICRSL) [13]. Cụ thể như sau:

- $b \geq 15$ m khi độ sâu các bờ $50 \text{ m} < h \leq 10 \text{ m}$;
- $b \geq 20$ m khi $h = 10 \text{ m} \div 15 \text{ m}$;
- $b \geq 30$ m khi $h \geq 15 \text{ m}$.

Với b, h lần lượt là chiều rộng và độ sâu của sông, kênh.

b) Quy định về hành lang an toàn sông ở Hậu Giang

Theo Quyết định số 16/2013/QĐ-UBND [14] của UBND tỉnh Hậu Giang quy định như trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Quy định hành lang an toàn tại Hậu Giang.

STT	Chiều rộng của lòng sông, kênh, rạch (m)	Chiều rộng luồng (m)	Chiều rộng phạm vi hành lang bảo vệ sông, kênh, rạch
1	> 100	85	25 m/mỗi bên
2	$70 < a \leq 100$	75	25 m/mỗi bên
3	$50 < a \leq 70$	50	20 m/mỗi bên
4	$30 < a \leq 50$	30	15 m/mỗi bên
5	$10 < a \leq 30$	15	10 m/mỗi bên
6	> 10	10	05 m/mỗi bên

c) Quy định về hành lang an toàn sông ở Sóc Trăng

Theo Quyết định số 47/2015/QĐ-UBND [15] - Quy định phạm vi bảo vệ công trình thủy lợi và đề điều trên địa bàn tỉnh Sóc Trăng năm 2015 đối với kênh chìm, sông, rạch (gọi chung là kênh):

- Kênh cấp I hoặc kênh có chiều rộng mặt kênh $B_{\text{mặt}}$ từ bằng hoặc lớn hơn 25 m ($B_{\text{mặt}} \geq 25 \text{ m}$), phạm vi bảo vệ kênh tối thiểu là 20 m;
- Kênh cấp II hoặc kênh có chiều rộng mặt kênh $B_{\text{mặt}}$ từ bằng hoặc lớn hơn 15 m đến nhỏ hơn 25 m ($B_{\text{mặt}} \geq 15 \text{ m}$ đến $< 25 \text{ m}$), phạm vi bảo vệ kênh tối thiểu là 15 m;
- Kênh cấp III hoặc kênh có chiều rộng mặt kênh $B_{\text{mặt}}$ từ bằng hoặc

lớn hơn 8 m đến nhỏ hơn 15 m ($B_{\text{mặt}} \geq 8 \text{ m}$ đến $< 15 \text{ m}$), phạm vi bảo vệ kênh tối thiểu là 10 m.

d) Công thức tính phần trăm vi phạm hành lang an toàn sông

$$\%_{\text{VP}} = \frac{L_{\text{VP}}}{L_s} \times 100 \quad (3)$$

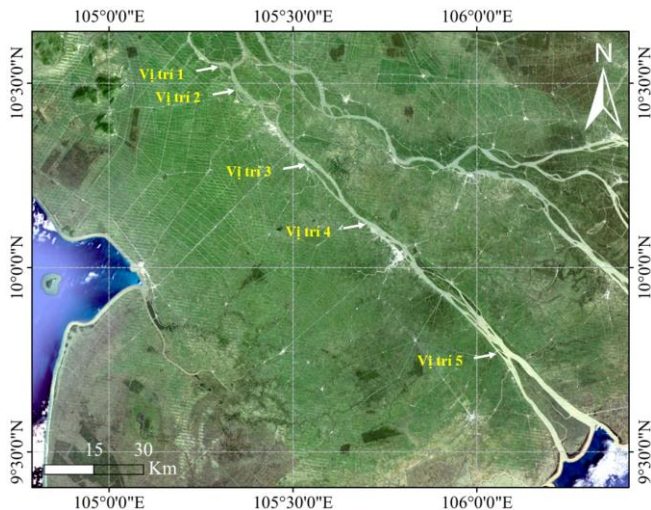
Với $\%_{\text{VP}}$ là phần trăm vi phạm hành lang an toàn sông; L_{VP} là tổng chiều dài của những đoạn sông bị vi phạm hành lang an toàn theo quy định của từng khu vực; L_s là chiều dài của đoạn bờ sông đang xét.

2.4. Kiểm tra ổn định bờ sông tại các vị trí đại diện

Các điểm khảo sát xác định nằm vị trí đại diện trong các tỉnh An Giang, Cần Thơ, Sóc Trăng được thể hiện qua Bảng 3 và Hình 6.

Bảng 3. Các điểm khảo sát.

Vị trí	Khu vực
1	Xã Bình Thủy, huyện Châu Phú, tỉnh An Giang
2	Xã Long Giang, huyện Chợ Mới, tỉnh An Giang
3	Xã Thới Thuận tại quận Thốt Nốt, thành phố Cần Thơ
4	Phường Bùi Hữu Nghĩa, Bình Thủy, Thành phố Cần Thơ
5	TT Đại Ngãi, huyện Long Phú, tỉnh Sóc Trăng



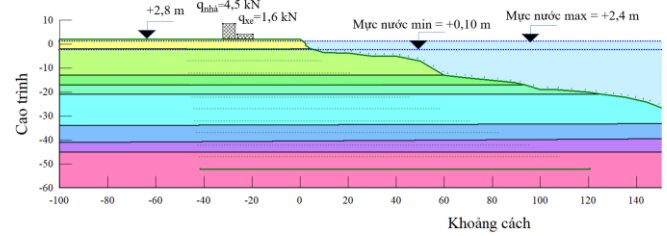
Hình 6. Các vị trí đại diện.

Các trường hợp kiểm tra ổn định bờ sông (có xét đến mực nước max với tần suất 10% và mực nước min với tần suất 90%):

- Tại An Giang: mực nước min có cao độ +,10 m, mực nước max có cao độ +2,4 m;
- Tại Cần Thơ: mực nước min có cao độ -0,2 m, mực nước max có cao độ +1,4 m;
- Tại Sóc Trăng: mực nước min có cao độ -0,8m, mực nước max có cao độ +0,6 m.

Tổng hợp có hai trường hợp tính toán hệ số ổn định (Hình 7) kết hợp với QĐ04/2008/QĐ-BXD [16] và TCVN 4054:2005 [17].

- Trường hợp 1: không tải trọng;
- Trường hợp 2: có tải trọng;



Hình 7. Minh họa trường hợp mô phỏng vị trí số 1 tại tỉnh An Giang

Công thức tính hệ số ổn định (K_{at}):

Hệ số ổn định tính theo công thức của Bishop (1955) [18]:

$$K_{at} = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \times \cos \alpha_i \times \tan \varphi_i + c_i \times L_i)}{\sum_{i=1}^n (W_i \times \sin \alpha_i)} \quad (4)$$

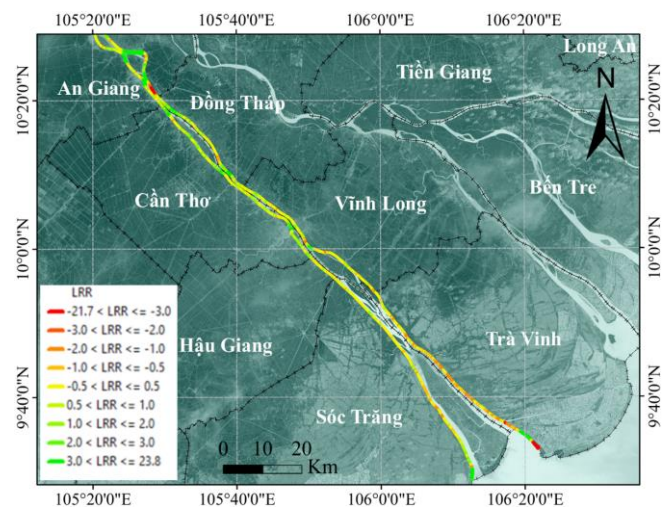
Trong đó: c_i là lực dính của mảnh/thời thứ i trong phạm vi chiều dài cung trượt; L_i là chiều dài cung trượt thứ i ; W_i là trọng lượng mảnh/thời thứ i ; α_i là góc nghiêng của mảnh/thời thứ i so với phương tại tâm trượt; φ_i là góc nội ma sát của mảnh/thời thứ i trong phạm vi chiều dài cung trượt.

Hệ số ổn định được tính toán theo sơ đồ trượt sâu với giả thiết mặt trượt trụ tròn và theo QCVN 04-05:2012/BNNT [19] cần phải bảo đảm: $[K_{at}] = 1,15$.

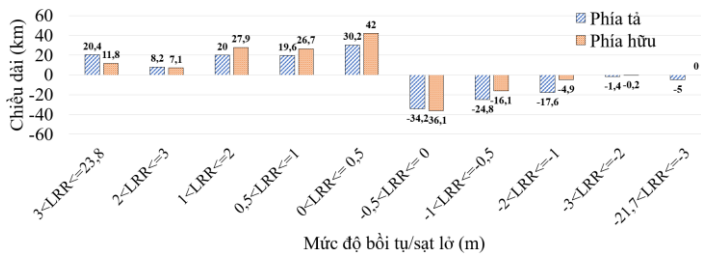
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả phân tích ảnh viễn thám

Sạt lở và bồi tụ xuất hiện xen kẽ tại các vị trí ở nhiều tỉnh khác nhau trong ĐBSCL mà sông Hậu đi qua. Trên toàn sông Hậu có khoảng 30 điểm sạt lở trọng điểm giao động từ -1 ÷ -22 m/năm; 18 điểm bồi tụ giao động từ 1 ÷ 23 m/năm theo phương pháp LRR (hồi quy tuyến tính) được thể hiện trên Hình 8 và Hình 9.



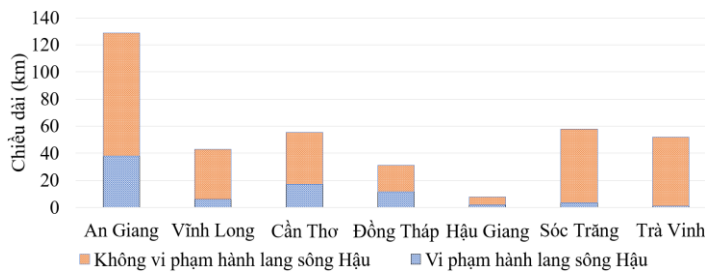
Hình 8. Bản đồ diễn biến sạt lở/bồi của sông Hậu tại ĐBSCL từ năm 2000 đến 2023.



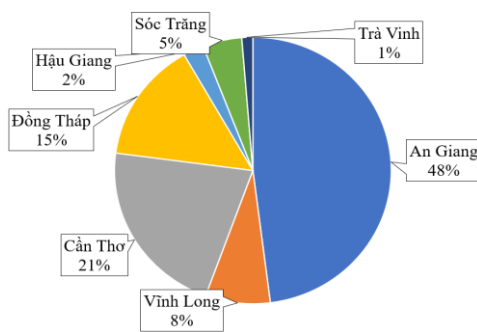
Hình 9. Biểu đồ tổng hợp chiều dài bồi tụ, sạt lở bờ sông trên sông Hậu.



Hình 12. Các điểm khảo sát vi phạm hành lang an toàn.



Hình 10. Hiện trạng hành lang an toàn sông trên sông Hậu.

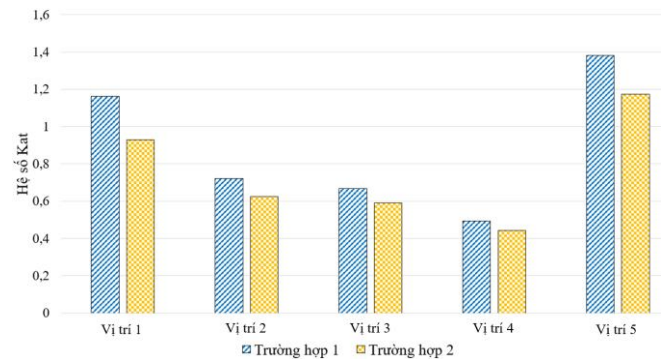


Hình 11. Biểu đồ tổng hợp hiện trạng vi phạm hành lang an toàn sông trên sông Hậu.

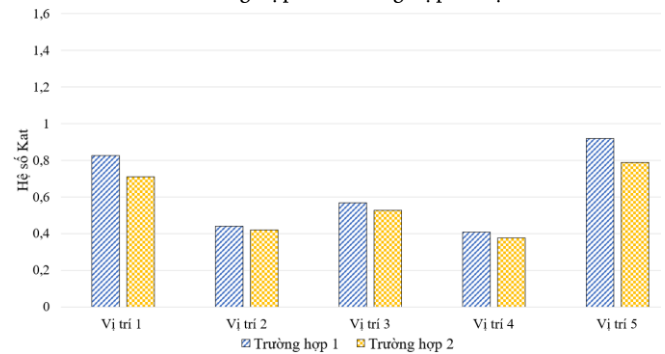
Hình 11 cho thấy mức độ vi phạm hành lang an toàn sông ở các đoạn sông khác nhau, từ thượng nguồn (An Giang) đến hạ nguồn (Sóc Trăng và Trà Vinh) (Hình 12). Một số đoạn sông có mức độ vi phạm cao, đặc biệt là các khu vực có mật độ dân cư đông đúc và hoạt động kinh tế sôi động. Các khu vực như An Giang và Cần Thơ thường xuyên bị vi phạm hành lang do mật độ dân cư cao và sự phát triển kinh tế mạnh mẽ. Các hoạt động xây dựng, lấn chiếm đất ven sông là nguyên nhân chính dẫn đến tình trạng này.

3.3. Kết quả kiểm tra ổn định bờ sông

Kết quả kiểm tra ổn định bờ sông tại năm vị trí đại diện dọc sông Hậu cho hai trường hợp theo mức nước max và min được trình bày lần lượt trên Hình 13 và Hình 14.



Hình 13. Tổng hợp các trường hợp ở mức nước max.



Hình 14. Tổng hợp các trường hợp ở mức nước min.

Qua các trường hợp kiểm tra cho thấy, địa chất dọc sông Hậu tương đối yếu với chỉ có 2 vị trí 1 và vị trí 5 thỏa $Kat > 1,15$ ở mức nước max. Tuy nhiên ở các vị trí sạt lở, địa chất yếu nên hệ số $Kat < 0,6$ trên 3 vị trí sạt lở ở mức nước max và min. Vì vậy ngoài đảm bảo hành lang an toàn cần phải có biện pháp gia cố, khắc phục các nền đất này.

4. Kết luận

Kết quả phân tích cho thấy sự phân chia khu vực trên sông Hậu chia làm 3 đoạn rõ rệt: Đoạn An Giang: Sạt lở và bồi tụ mạnh mẽ với 7 điểm sạt lở và 8 điểm bồi tụ, dao động từ -15 m/năm đến 20 m/năm, tập trung ở các khúc sông cong và cửa sông. Đoạn Đồng Tháp – Cần Thơ – Vĩnh Long: Tình trạng tương đối ổn định hơn, sạt lở và bồi tụ dao động từ -5 m/năm đến 5 m/năm, với 15 điểm sạt lở và 7 điểm bồi tụ vừa và nhỏ. Đoạn Trà Vinh – Sóc Trăng: Nhiều điểm sạt lở và bồi tụ đan xen, dao động từ -5 m đến 5 m, riêng khu vực cửa sông có thể lên đến ± 23 m/năm do ảnh hưởng từ biển Đông.

Tất cả các tỉnh tiếp giáp với sông Hậu đều có vi phạm hành lang an toàn sông. Tỉnh có chiều dài vi phạm lớn nhất là An Giang với 37,87 km. Có nhiều trường hợp điển hình trên địa bàn tỉnh An Giang có rất nhiều hộ dân sử dụng bờ sông để làm nơi sinh sống và phát triển.

Với hệ số $Kat < 1,15$ tại các vị trí khảo sát cho thấy địa chất ven sông Hậu tại ĐBSCL khá yếu và có nguy cơ mất ổn định rất cao.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Điệp, N. T. H., Minh, V. Q., Trường, P. N., Thành, L. K., & Vinh, T. L. Q. (2019). Diễn tiến tình hình sạt lở ven bờ sông Tiền và sông Hậu, vùng Đồng bằng sông Cửu Long. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, 55, 125-133.
- [2]. Sở TN&MT (2019). 176/BC-STNMT; Tình hình và công tác cảnh báo các điểm sạt lở 9 tháng đầu năm 2019; UBND tỉnh An Giang.
- [3]. UBND huyện Lấp Vò (2021). 445/BC-UBND Tình hình sạt lở đất bờ sông và công tác ứng phó kết hợp vận động người dân di dời đến nơi ở an toàn trên địa bàn huyện Lấp Vò.
- [4]. Quỳnh, H. N. N., Khôi, Đ. N., Hoài, H. C., & Bày, N. T. (2018). Ứng dụng viễn thám và GIS đánh giá biến động đường bờ sông Tiền và sông Hậu. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 691, 12-22.
- [5]. Lan, P. T. H., Thạc, T. K. & Thành, V. X. (2020). Nghiên cứu cơ sở khoa học xác định hành lang bảo vệ bờ sông phục vụ quy hoạch quản lý khai thác cảnh quan ven sông áp dụng thí điểm khu vực bán đảo Thanh Trà, sông Sài Gòn. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 68, 28-34.
- [6]. Huế, D. V., Thanh, T. V. & Bảo, Ng. H. (2018). Một số vấn đề về an toàn hệ thống công trình kè ở Đồng bằng sông Cửu Long. Tạp Chí Khoa Học Và Công Nghệ Thủy Lợi, 49, 1-8.
- [7]. Ahmed, A. A., Ibrahim, S. A. S., Onyango, O., Fadul, H. M., & Babikir, I. A. (2010). Nile River bank erosion and protection.
- [8]. Rabbi, H., Saifullah, A. S. M., Sheikh, M. S., Sarker, M. M., & Bhowmick, A. C. (2013). Recent study on river bank erosion and its impacts on land displaced people in Sirajgonj Riverine area of Bangladesh. World J Appl Environ Chem, 2(2), 36-43.
- [9]. Kline, M., & Cahoon, B. (2010). Protecting river corridors in Vermont 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 46(2), 227-236.
- [10]. Hà, N. T. T., Vệ, N. Đ., Lựu N. M. (2021). Ứng dụng hệ thống phân tích đường bờ kỹ thuật số (DSAS) và tư liệu viễn thám nghiên cứu biến động đường bờ biển khu vực cửa sông Lạch Ghép - Thanh Hóa. Viện Tài nguyên và Môi trường Biển, số tháng 11 – 2021, 220-227.
- [11]. McFEETERS, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- [12]. Mishra, M., Kar, P. K., Chand, P., Mohanty, P. K., Acharyya, T., Santos, C. A. G., ... & Behera, B. (2023). Deciphering the impact of anthropogenic coastal infrastructure on shoreline dynamics along Gopalpur coast of Odisha (India): An integrated assessment with geospatial and field-based approaches. Science of The Total Environment, 858, 159625.
- [13]. Nghiên cứu các phương án chỉnh trị và phòng chống sạt lở bờ sông cho khu vực cù lao Châu Ma, (2024). 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 (GEF-ICRSL).
- [14]. Quyết định số 16/2013/QĐ-UBND (2013). Hoạt động trong phạm vi hành lang bảo vệ sông, kênh, rạch; hành lang bảo vệ luồng giao thông đường thủy nội địa trên địa bàn tỉnh Hậu Giang.
- [15]. Quyết định số 47/2015/QĐ-UBND năm 2015. Quy định phạm vi bảo vệ công trình thủy lợi và đề điều trên địa bàn tỉnh Sóc Trăng.
- [16]. Quyết định 04/2008/QĐ-BXD, ngày 03 tháng 4 năm 2008. Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về Quy hoạch xây dựng.
- [17]. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 4054 : 2005 Đường ô tô – Yêu cầu thiết kế.
- [18]. Bishop, A. W., 1955. The use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. Géotechnique Volume 5 Issue 1, March 1955, pp. 18-22.
- [19]. Quy chuẩn Việt Nam QCVN 04-05:2012/BNNPTNT, 2012. Công trình thủy lợi - các quy định chủ yếu về thiết kế.