

Bài báo khoa học

Ứng dụng phương pháp AHP và công nghệ GIS xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở bờ sông khu vực bán đảo Cà Mau

Đoàn Quang Trí^{1*}, Nguyễn Văn Nhật¹, Quách Thị Thanh Tuyền¹

¹ Trung tâm Thông tin và Dữ liệu khí tượng thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; doanquangtrikttv@gmail.com; vannhat.tv@gmail.com; tuyetkttv@gmail.com

*Tác giả liên hệ: doanquangtrikttv@gmail.com; Tel.: +84-988928471

Ban Biên tập nhận bài: 5/3/2024; Ngày phản biện xong: 9/4/2024; Ngày đăng bài: 25/7/2024

Tóm tắt: Bán đảo Cà Mau là một trong những khu vực chịu ảnh hưởng nặng nề nhất của hạn hán, việc khai thác nước ngầm quá mức cũng là một trong những nguyên nhân dẫn tới nguy cơ sạt lở bờ sông ngày càng trầm trọng. Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) để đánh giá trọng số các yếu tố ảnh hưởng kết hợp với công nghệ hệ thống thông tin địa lý (GIS) để chồng xếp lớp bản đồ các yếu tố ảnh hưởng chính từ đó xây dựng bản đồ phân vùng cảnh báo nguy cơ sạt lở bờ sông của khu vực nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu chỉ ra các yếu tố chính ảnh hưởng đến sạt lở bờ sông khu vực nghiên cứu trong thời kỳ hạn hán bao gồm: khoảng cách mực nước đến bờ sông, thổ nhưỡng, độ dốc bờ sông, hiện trạng sử dụng đất và bốc thoát hơi nước mùa khô. Trọng số của các yếu tố này được đánh giá dựa trên việc tổng hợp các tài liệu liên quan cũng như tham khảo ý kiến của các chuyên gia. Kết quả cho thấy hiện tượng sạt lở bờ sông có nguy cơ xảy ra cao tại các huyện Đầm Dơi, U Minh, Trần Văn Thời, thành phố Cà Mau và các sông, kênh rạch thuộc Cần Thơ, Hậu Giang và Sóc Trăng. Bản đồ phân vùng cảnh báo nguy cơ sạt lở cung cấp cái nhìn tổng quan về các khu vực có nguy cơ sạt lở bờ sông cao, là tài liệu tham khảo hỗ trợ các nhà quản lý xây dựng kế hoạch phát triển bền vững kinh tế - xã hội ở bán đảo Cà Mau.

Từ khóa: Phương pháp AHP; GIS; Bản đồ phân vùng sạt lở bờ sông; Bán đảo Cà Mau.

1. Giới thiệu

Hiện nay trên thế giới đã và đang có nhiều nghiên cứu liên quan đến vấn đề sạt lở do hạn hán nhất là trước tình hình biến đổi khí hậu làm cho các hiện tượng thời tiết cực đoan ngày càng xảy ra phổ biến và nghiêm trọng [1–4]. Nghiên cứu [5] chỉ ra việc bổ sung nước trên hoặc dưới bề mặt trái đất tạo ra những thay đổi về ứng suất có thể gây ra trượt lở đất và đứt gãy cả ổn định và không ổn định. Nghiên cứu sử dụng phương pháp đo giao thoa radar (InSAR) và mô hình thủy văn 1D đơn giản để mô tả 8 năm trượt ổn định của trận lở đất Mud Creek, California, Mỹ. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự gia tăng áp suất chất lỏng lỗ rỗng xảy ra trong quá trình chuyển đổi từ hạn hán lịch sử sang lượng mưa kỷ lục gây ra sự gia tăng lớn về vận tốc và dẫn đến hiện tượng trượt cục bộ, vượt qua các cơ chế ổn định trước đây đã hạn chế gia tốc sạt lở đất. Nghiên cứu tập trung độ dốc xung quanh sông, do đó tính nhạy cảm sạt lở đất được phân tích bởi các yếu tố sông liên quan đến đặc điểm dòng chảy. Ranh giới của khu vực nghiên cứu dọc theo sông và sườn núi được xác định bằng hình ảnh vệ tinh. Ngoài ra, độ dốc của bờ sông, độ dốc lòng dẫn, độ uốn khúc của sông, bán kính cong và chất đất (như độ sáng, độ xanh, độ ẩm) được chọn là các yếu tố gây trượt lở đất. Phương pháp hồi quy logistic đã được sử dụng để thiết lập mô hình mô phỏng tính nhạy cảm sạt lở đất [6]. Kết quả cho thấy trong các yếu tố sông ngòi, thì độ uốn khúc của sông và bán kính cong có trọng số lớn trong mô hình. Nghiên cứu [7] đã nâng cao hiểu biết về các yếu tố địa hình ảnh hưởng

đến sự ổn định của các bờ hạ lưu sông Murray: Xác định các khu vực có nguy cơ sạt lở bờ sông cao; và trình bày cơ sở có thể được sử dụng để xác định các vị trí dễ bị sạt lở bờ sông trên một đoạn dài của dòng sông sử dụng công cụ là ArcGIS và SVSlope kết hợp điều tra khảo sát thu thập số liệu. Nghiên cứu [8] đã chỉ ra rằng sự thay đổi mực nước hồ chứa là một yếu tố quan trọng gây ra sạt lở mái bờ, tức là sạt lở bờ. Trong nghiên cứu này, các phân tích thấm không bão hòa - bão hòa được thực hiện để mô phỏng sự thay đổi của áp lực nước lỗ rỗng ở mái dốc bờ chịu sự thay đổi của mực nước hồ chứa. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự dao động mực nước hồ chỉ ảnh hưởng đến phần phía trước mái taluy bờ mà ít ảnh hưởng đến phần sau mái taluy. Việc đánh giá tác động của hạn hán kéo dài đến cấu trúc của đê bằng đất ở California [9] cho thấy một số cơ chế làm suy yếu kết cấu đất gây ảnh hưởng đến cấu trúc đất do hạn hán: Suy giảm độ bền đất, các vết khô nứt do thiếu nước, sụt lún và xói mòn, tạo khe nứt sâu làm mềm đất và quá trình oxy hoá hữu cơ của đất. Những nghiên cứu dựng mô hình toán [10–12], sử dụng không gian địa lý GIS [13,14], viễn thám [15,16], quan trắc giám sát [17] để đánh giá tác động của xói lở bờ sông [18], khu vực cửa sông ven biển cũng đã được nghiên cứu và đạt được những kết quả nhất định.

Tại Việt Nam cũng có nhiều nghiên cứu liên quan đến vấn đề sạt lở bờ sông: nghiên cứu [19–21] đã xác định nguyên nhân sạt lở bờ sông tỉnh Trà Vinh và Sóc Trăng sử dụng phương pháp điều tra và đo đạc thực địa và lập bảng câu hỏi phỏng vấn người dân và chính quyền khu vực sạt lở. Kết quả chỉ ra bốn nguyên nhân chính đó là giao thông thủy, tác động của sóng và thủy triều, nạo vét lòng sông và đắp nền đường, địa chất yếu và một số nguyên nhân phụ khác như lượng phù sa giảm do các đập ở thượng nguồn, khai thác cát, mực nước ngầm hạ thấp và sụt lún mặt đất. Nghiên cứu [22] đã phân tích ảnh hưởng của các yếu tố địa chất thủy văn và gia tăng sức chịu tải đến ổn định bờ sông Chà Và, tỉnh Vĩnh Long. Ảnh vệ tinh được sử dụng để đánh giá mức độ sạt lở bờ sông và mức độ đô thị hóa ven sông. Hệ số an toàn được sử dụng để phân tích mức độ ổn định bờ sông. Kết quả phân tích cho thấy vận tốc dòng chảy là một trong những nguyên nhân gây xói lở bờ sông. Kết quả nghiên cứu sạt lở bờ sông Tiền bằng mô hình toán hai chiều MIKE 21 kết hợp với phần mềm Geo-Slope để tính toán độ ổn định của bờ sông Tiền, đoạn qua huyện Long Hồ tỉnh Vĩnh Long cho thấy bờ sông tại đoạn này có hệ số ổn định nhỏ và dễ xảy ra sạt lở [23]. Nghiên cứu [24] đã tiến hành khảo sát điều tra thực địa các điểm sạt lở thường xuyên trên lưu vực sông Sê San từ đó đo đạc quan trắc các điểm sạt lở, đồng thời áp dụng các công cụ viễn thám và hệ thống thông tin địa lý GIS để phân tích nghiên cứu các hiện tượng diễn biến lòng sông. Chuỗi các ảnh vệ tinh Landsat TM, Landsat ETM+, SPOT được sử dụng để phân tích tính toán diễn biến hình thái sông từ năm 1973 đến nay, từ đó phân tích sự thay đổi diễn biến hình thái trong quá khứ, so sánh với các điểm hiện trạng sạt lở để tìm ra các đoạn sông diễn biến mạnh. Nghiên cứu đã xây dựng bản đồ hiện trạng sạt lở và bản đồ cảnh báo nguy cơ sạt lở trên lưu vực sông Sê San thuộc lãnh thổ Việt Nam. Nghiên cứu [25] sử dụng các phương trình, thuật giải các bài toán thủy động lực, diễn biến địa hình đáy sông cũng như sạt lở bờ, ứng dụng các thuật toán trên hệ thống tính toán hiệu năng cao để giải quyết bài toán xói lở. Nghiên cứu sử dụng mô hình dự báo sạt lở bờ sông dựa trên mô hình tính toán hiệu năng cao dùng GPUs (*Graphical Processing Units*) kết hợp dựa trên mô hình thực nghiệm với phương pháp sử dụng là phương pháp đo đạc mực nước, tốc độ, lưu lượng dòng chảy, mẫu phù sa, bùn cát lơ lửng, mẫu địa chất nhằm tìm được bộ thông số thích hợp tạo các điều kiện đầu vào cho tính toán. Ngoài ra, đề tài kết hợp phân tích ảnh viễn thám và GIS để tính toán diễn biến đường bờ qua các thời kỳ tại từng khu vực. Nghiên cứu [26] đã tập trung vào việc nhận diện các nhân tố có khả năng gây ra tác động tới sạt lở, trên cơ sở đó phân tích, xác định các nhân tố chính là nguyên nhân gây ra sạt lở cho 04 loại hình sạt lở, với số điểm sạt lở nhỏ dần: chất tải mép bờ (xây nhà lấn chiếm bờ), ngã ba sông (có chế độ dòng chảy phức tạp, hoạt động con người sôi động), đoạn sông cong, đoạn sông gần biển (có dòng chảy thủy triều lớn, giao thông vận tải, tàu cao tốc đi lại nhiều). Nghiên cứu đã nhận diện được những nhân tố có khả năng gây ra và thúc đẩy quá trình sạt lở ở hai khu vực tỉnh Bạc Liêu và Cà Mau dưới nhiều hướng tiếp cận. Sạt lở bờ

sông, kênh, rạch là hệ quả của nhiều tác động với các hoạt động khác nhau. Bên cạnh phân tích các nhân tố cụ thể gây sạt lở như: sạt lở chủ yếu tập trung ở khu vực đông dân cư với chất gia tải lớn đè nặng lên nền đất yếu, đoạn ngã ba sông có chế độ thủy động lực phức tạp, những đoạn sông gần biển, khu vực cửa sông có tác động của sóng gió ãa lớn và cuối cùng là những đoạn sông cong có mật độ cao tàu thuyền đi lại cho một số vị trí sạt lở nghiêm trọng tại hai tỉnh Bạc Liêu và Cà Mau. Một số nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP để nghiên cứu vấn đề liên quan đến sạt lở, có thể kể đến như nghiên cứu [27, 28] đã ứng dụng phương pháp AHP để đánh giá nguy cơ sạt lở đất cũng như nguy cơ xói lở bờ sông cho khu vực nghiên cứu, các vị trí sạt lở được kiểm chứng trong thực tế thông qua điều tra thực địa, so sánh với kết quả tính toán từ mô hình toán và theo phương pháp viễn thám và GIS. Nghiên cứu [29] đã nghiên cứu ứng dụng GIS và phương pháp AHP để thành lập bản đồ nguy cơ trượt lở cho huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang với kết quả xây dựng được bản đồ trượt lở tỷ lệ 1:50000.

Có thể nhận thấy cho đến nay đã có nhiều nghiên cứu liên quan đến sạt lở bờ sông trên thế giới, tại Việt Nam cũng như khu vực bán đảo Cà Mau [30–32]. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào ứng dụng phương pháp AHP và công nghệ GIS để xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở bờ sông do hạn hán khu vực bán đảo Cà Mau. Với đặc điểm khu vực nghiên cứu cũng như điều kiện số liệu còn hạn chế cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, việc lựa chọn công nghệ GIS kết hợp phương pháp AHP để giải quyết bài toán là hợp lý, có khả năng đem lại kết quả nghiên cứu có độ chính xác và đáng tin cậy.

Nghiên cứu xây dựng bản đồ phân vùng rủi ro sạt lở bờ sông do hạn hán kéo dài xem xét dưới các nhân tố tác động (khoảng cách mực nước đến bờ sông, thổ nhưỡng, độ dốc bờ sông, sử dụng đất và bốc thoát hơi nước mùa khô). Nghiên cứu sử dụng phương pháp AHP kết hợp với công nghệ GIS để xây dựng bản đồ phân vùng rủi ro do hạn hán cho khu vực bán đảo Cà Mau. Mục đích của nghiên cứu: (1) Ứng dụng phương pháp AHP để xác định trọng số yếu tố của các nhân tố ảnh hưởng do tác động của hạn hán đến sạt lở; (2) ứng dụng công nghệ GIS để chồng chập và xác định khu vực phân vùng rủi ro. Bản đồ phân vùng rủi ro sạt lở sẽ là tài liệu tham khảo quan trọng hỗ trợ cho công tác quản lý, quy hoạch, khắc phục sự cố sạt lở đang có xu hướng gia tăng ở khu vực bán đảo Cà Mau.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

Cà Mau là tỉnh cực Nam của Tổ quốc, có tọa độ địa lý từ 8°34' đến 9°33' vĩ độ Bắc, từ 104°43' đến 105°25' kinh độ Đông, có ba mặt tiếp giáp với biển, phía Đông giáp với biển Đông, phía Tây và Nam giáp với vịnh Thái Lan, phía Bắc giáp với tỉnh Bạc Liêu và Kiên Giang (Hình 1). Cà Mau có diện tích tự nhiên 522.119 ha, chiếm 13,13% diện tích đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) và bằng 1,58% diện tích cả nước. Đường bờ biển dài 254 km, trong đó bờ biển Tây 147 km và bờ biển Đông 107 km. Tình trạng sạt lở bờ sông, sụt lún nghiêm trọng và số lượng các vị trí sạt lở gia tăng trong mùa khô đang xảy ra phổ biến trên địa bàn tỉnh Cà Mau [33–35]. Nghiên cứu đã tập trung xác định các yếu tố ảnh hưởng chính đến sạt lở bờ sông, sử dụng



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu.

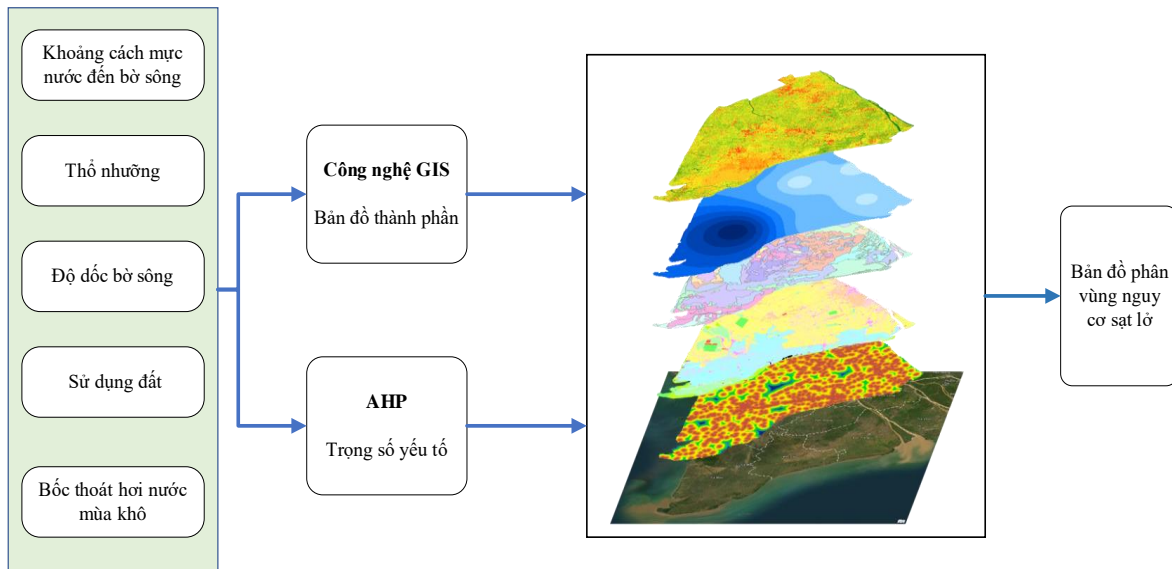
phương pháp AHP để xác định trọng số các yếu tố ảnh hưởng và ứng dụng công nghệ GIS để biên tập bản đồ vị trí nguy cơ xảy ra sạt lở bờ sông cho tỉnh Cà Mau.

2.2. Số liệu sử dụng

Các số liệu được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm lớp bản đồ thể hiện 05 yếu tố ảnh hưởng chính - các yếu tố lựa chọn là những yếu tố ảnh hưởng nhiều đến sạt lở bờ sông do hạn hán khu vực nghiên cứu được lựa chọn dựa vào việc tổng hợp và phân tích kết quả các nghiên cứu trước đây đã thực hiện cùng với việc khảo sát ý kiến các chuyên gia. Các yếu tố lựa chọn bao gồm:

Khoảng cách mực nước đến bờ sông (Mức nước sử dụng là mức nước trung bình mùa kiệt xuất từ kết quả mô hình MIKE 11 mô phỏng hệ thống thủy lực khu vực nghiên cứu kế thừa từ luận án “Nghiên cứu tác động của các loại nguồn xả thải đến chất lượng nước vùng Bán đảo Cà Mau” [36]; khoảng cách mực nước tới bờ là hiệu số cao trình mực nước trong sông vào thời kỳ hạn hán và cao trình bờ sông); thổ nhưỡng; độ dốc bờ sông, hiện trạng sử dụng đất; bốc thoát hơi nước mùa khô.

Nghiên cứu sử dụng phương pháp AHP để đánh giá trọng số các yếu tố ảnh hưởng và công nghệ GIS để chồng xếp các lớp bản đồ yếu tố ảnh hưởng theo trọng số đã xác định được, từ đó xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở bờ sông khu vực nghiên cứu. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu được thể hiện trên hình 2.

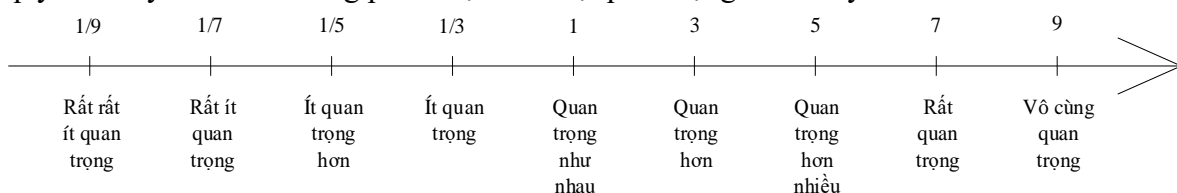


Hình 2. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

2.3. Phương pháp đánh giá nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp phân tích thứ bậc AHP

AHP là phương pháp phân tích thứ bậc được Saaty [37] nghiên cứu và phát triển. Phương pháp này giúp người thực hiện đưa ra quyết định để lựa chọn một phương án phù hợp nhất trên cơ sở xác định và phân tích các yếu tố ảnh hưởng, tác động đến một vấn đề cần giải quyết. Saaty đã đưa ra bảng phân loại mức độ quan trọng của các yếu tố với nhau.



Hình 3. Thang điểm so sánh mức độ quan trọng của các yếu tố [37].

Sự nhất quán trong so sánh các cặp là rất cần thiết. Tỷ số nhất quán (*Consistency Ratio - CR*) được dùng để xác định mức độ không nhất quán của các nhận định trong phương pháp AHP. Quá trình tính toán chỉ số nhất quán được thực hiện qua các bước sau:

- Xác định vector tổng trọng số bằng cách nhân ma trận so sánh cặp ban đầu với ma trận so sánh cặp ban đầu với ma trận trọng số của các yếu tố ảnh hưởng.

- Xác định vector nhất quán bằng cách chia vector tổng trọng số cho trọng số của các yếu tố đã được xác định trước đó.

- Tính giá trị riêng lớn nhất (λ_{max}) bằng cách lấy giá trị trung bình của vector nhất quán.

Chỉ số nhất quán (*Consistency Index - CI*) là chỉ số đo lường mức độ chệch hướng nhất quán và được xác định theo công thức:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{1}$$

Trong đó λ_{max} là giá trị trung bình của vector nhất quán; n là số tiêu chí.

Tỉ số nhất quán CR được tính theo công thức sau:

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{2}$$

Trong đó RI là chỉ số ngẫu nhiên và phụ thuộc vào số yếu tố được so sánh với nhau và được xác định như bảng 1.

Bảng 1. Chỉ số ngẫu nhiên RI [37].

N	1	2	3	4	5	6
RI	0	0	0,25	0,89	1,11	1,25
N	7	8	9	10	11	12
RI	1,35	1,4	1,45	1,49	1,52	1,54

Nếu giá trị CR nhỏ hơn 10% thì kết quả có thể chấp nhận được, ngược lại nếu CR lớn hơn hoặc bằng 10% thì phải xem xét lại các bước trước đó [37–39]. Sau khi có trọng số của từng yếu tố ảnh hưởng nhất định, sử dụng công cụ GIS để tiến hành đánh giá phân vùng cho điểm cho từng yếu tố cụ thể và tính toán cho điểm tổng bằng cách chồng ghép các bản đồ thành phần.

Tổng hợp các tài liệu sạt lở bờ sông khu vực nghiên cứu cho thấy nguyên nhân chính do quá trình khai thác nước ngầm trong thời gian dài ngoài ra còn có các yếu tố ảnh hưởng khác đến sạt lở bờ sông như: lưu lượng dòng chảy đến khu vực nghiên cứu, bốc thoát hơi tiềm năng, đặc điểm địa chất, thổ nhưỡng, đặc điểm khai thác và sử dụng nước ngầm. Bảng 2 là các chỉ tiêu lựa chọn để đánh giá nguy cơ sạt lở bờ sông.

Bảng 2. Các chỉ tiêu lựa chọn trong đánh giá nguy cơ sạt lở bờ sông.

TT	Chỉ tiêu lựa chọn	Nguồn dữ liệu sử dụng
1	Khoảng cách mực nước đến bờ sông	Bản đồ địa hình, bản đồ mạng lưới sông suối, tỷ lệ 1:10.000
2	Tài liệu thổ nhưỡng	Trung tâm Quy hoạch và điều tra TNN quốc gia
3	Độ dốc bờ sông	Bản đồ địa hình, tỷ lệ 1:10.000 (Cục Đo đạc, bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam)
4	Hiện trạng sử dụng đất	Bản đồ sử dụng đất khu vực nghiên cứu, tỷ lệ 1:10.000 Tính toán theo công thức kinh nghiệm Penman-Monteith [40]
5	Bốc thoát hơi nước mùa khô	Số liệu tính toán sử dụng số liệu khí tượng (nhiệt độ, độ ẩm tương đối, gió) thuộc các trạm KTTV cơ bản trong khu vực (2000-2022)

2.3.2. Phương pháp chồng chập các yếu tố ảnh hưởng bằng kỹ thuật GIS để xây dựng bản đồ sạt lở bờ sông

a) Phương pháp chồng chập bản đồ

Hệ thống tin địa lý GIS cho phép xây dựng các phân tích không gian, quản lý, tích hợp và chồng ghép các lớp thông tin. Mô hình phân tích thứ bậc AHP sẽ hỗ trợ cho GIS, tổng hợp

các thông tin, gán các trọng số phù hợp nhất cho các yếu tố đã được lựa chọn. Sau khi đã phân cấp và tính trọng số của các yếu tố thì việc tích hợp chung sẽ đưa ra kết quả các vị trí có khả năng sạt lở bờ sông.

Các thông tin được chuẩn hoá và gán trọng số theo các mức độ quan trọng khác nhau. Công thức có dạng như sau:

$$C = W_1 \times Y_{T1} + W_2 \times Y_{T2} + W_3 \times Y_{T3} + W_4 \times Y_{T4} + W_5 \times Y_{T5} \quad (3)$$

Trong đó C là chỉ số đặc trưng vị trí có khả năng sạt lở; W_1, W_2, W_3, W_4, W_5 là trọng số phụ thuộc vào mức độ quan trọng của các yếu tố ảnh hưởng; $Y_{T1}, Y_{T2}, Y_{T3}, Y_{T4}, Y_{T5}$ là các yếu tố ảnh hưởng (khoảng cách mực nước đến bờ sông, tài liệu thổ nhưỡng, độ dốc bờ sông, hiện trạng sử dụng đất; bốc thoát hơi nước mùa khô).

Từ kết quả xác định chỉ số C này sẽ thành lập bản đồ vị trí có nguy cơ xảy ra sạt lở; bản đồ này sẽ được kiểm chứng với số liệu thực tế. Nếu kết quả không phù hợp với số liệu thực tế thì kiểm tra lại số liệu đưa vào GIS bao gồm số lượng các yếu tố, trọng số từng yếu tố.

b) Chuẩn hoá các chỉ tiêu đánh giá

Các chỉ tiêu đánh giá phải được chuẩn hoá theo một thang điểm chung để có thể so sánh được với nhau. Quá trình này sẽ chia các lớp trong mỗi thông số thành 5 cấp nhạy cảm với quá trình sạt lở bờ sông là: rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao. Về nguyên tắc, thang đánh giá đối với từng thông số được thực hiện bằng cách tính mật độ điểm sạt lở bờ sông đã điều tra được trên từng lớp thông số yếu tố, dựa trên mật độ này sẽ tính toán, phân loại theo 5 cấp trên. Yếu tố hiện trạng sạt lở bờ sông được sử dụng trong đánh giá mức độ chuẩn hoá và độ chính xác của bản đồ nguy cơ sạt lở bờ sông khu vực nghiên cứu.

Bảng 3. Thang điểm chuẩn hoá.

Nhóm đối tượng	Mức độ nhạy cảm	Điểm đánh giá
Nhóm 1	Rất cao	5
Nhóm 2	Cao	4
Nhóm 3	Trung bình	3
Nhóm 4	Thấp	2
Nhóm 5	Rất thấp	1

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Xác định các chỉ tiêu chuẩn hoá

Dựa vào thang điểm chuẩn hoá trên, nghiên cứu tiến hành chuẩn hoá 05 chỉ tiêu được lựa chọn, kết quả thể hiện trong các bảng 4-8. Các lớp bản đồ sau khi chuẩn hoá được thể hiện trong các hình 4a-4e.

Bảng 4. Mức độ nhạy cảm yếu tố khoảng cách mực nước đến bờ sông.

Khoảng cách (m)	Mức độ nhạy cảm	Điểm
>4,5	Rất cao	5
3,5-4,5	Cao	4
2,5-3,5	Trung bình	3
1,5-2,5	Thấp	2
<1,5	Rất thấp	1

Bảng 6. Mức độ nhạy cảm yếu tố độ dốc bờ sông.

Độ dốc (%)	Mức độ nhạy cảm	Điểm
>35	Rất cao	5
25-35	Cao	4
15-25	Trung bình	3
5-15	Thấp	2
<5	Rất thấp	1

Bảng 5. Mức độ nhạy cảm yếu tố thổ nhưỡng.

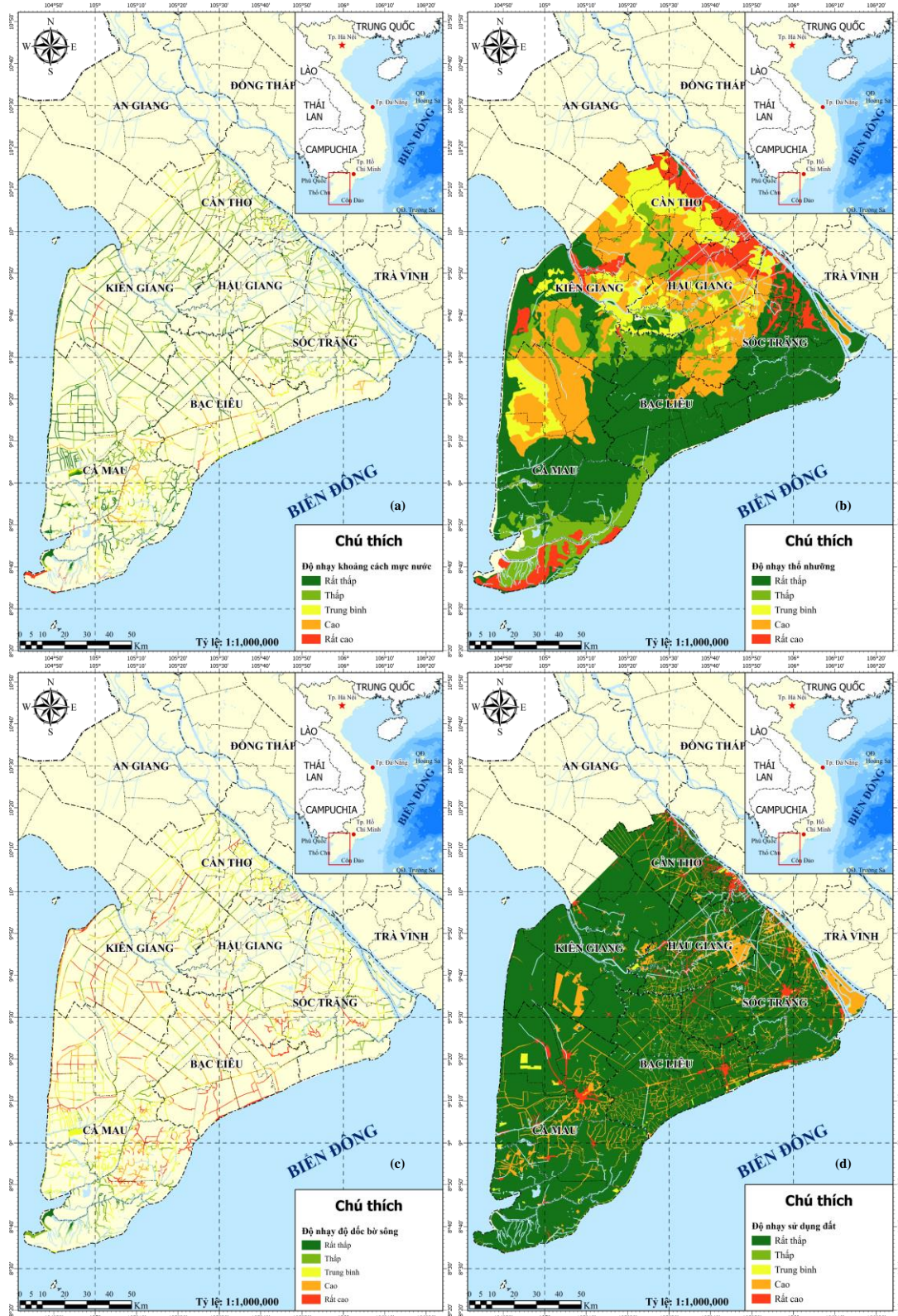
Loại đất	Mức độ nhạy cảm	Điểm
Phèn	Rất thấp	1
Đất phèn nhiễm mặn	Thấp	2
Đất than bùn	Trung bình	3
Đất cát, có tầng Gley	Cao	4
Phù sa	Rất cao	5

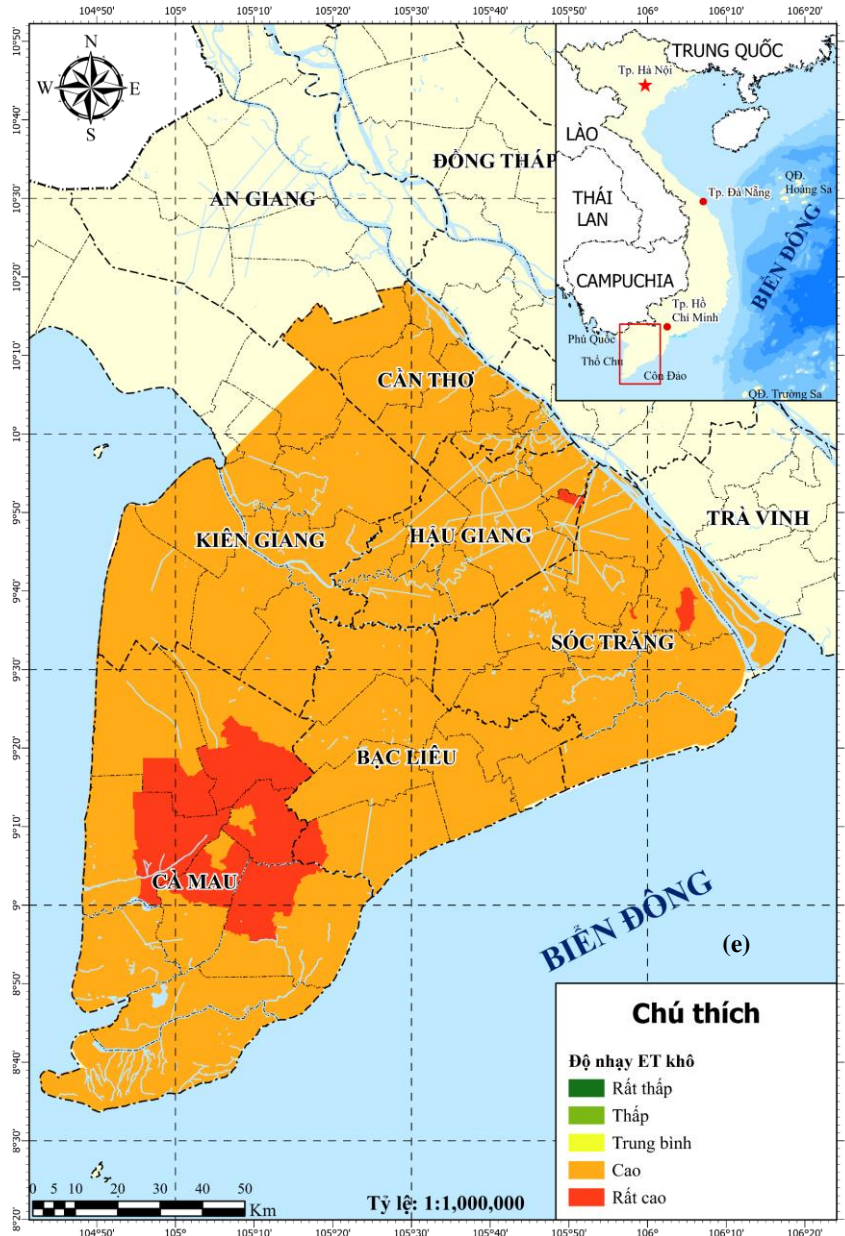
Bảng 7. Mức độ nhạy cảm yếu tố sử dụng đất.

Loại sử dụng	Mức độ nhạy cảm	Điểm
Đất nông nghiệp	Rất thấp	1
Đất làm muối	Thấp	2
Đất nuôi trồng thủy sản	Trung bình	3
Đất chưa sử dụng	Cao	4
Đất giao thông, nhà ở	Rất cao	5

Bảng 8. Mức độ nhạy cảm yếu tố bốc hơi mùa khô.

Lượng bốc hơi mùa khô (mm/tháng)	Mức độ nhạy cảm	Điểm
< 350	Rất thấp	1
338-350	Thấp	2
50-362	Trung bình	3
362-375	Cao	4
> 375	Rất cao	5





Hình 4. Các yếu tố ảnh hưởng đến sạt lở bờ sông: (a) Khoảng cách mực nước sông đến bờ; (b) Thổ nhưỡng; (c) Độ dốc bờ sông; (d) Sử dụng đất; (e) Bốc thoát hơi nước mùa khô.

3.2. Trọng số các chỉ tiêu đánh giá

Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP thiết lập ma trận tính toán như Bảng 9.

Bảng 9. Ma trận so sánh các chỉ tiêu đánh giá.

Tỷ lệ	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Khoảng cách mực nước đến bờ (a)	1	1/4	1/3	1	2
Bốc thoát hơi (b)	4	1	2	2	4
Thổ nhưỡng (c)	3	1/2	1	1/2	1
Độ dốc bờ sông (d)	1	1/2	2	1	2
Sử dụng đất (e)	1	1/4	1	1	1

Việc tính toán trọng số được thực hiện khi chia từng giá trị trong mỗi cột của ma trận cho tổng số giá trị trong cột đó, kết quả sẽ ra trọng số trong khoảng từ 0 đến 1 thể hiện trong Bảng 10.

Bảng 10. Ma trận trọng số các yếu tố đánh giá.

Yếu tố	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	W _i
Khoảng cách mực nước đến bờ (a)	0,105	0,100	0,052	0,200	0,200	0,131
Bức thoát hơi (b)	0,421	0,400	0,316	0,400	0,400	0,387
Thổ nhưỡng (c)	0,316	0,200	0,158	0,100	0,100	0,175
Độ dốc bờ sông (d)	0,105	0,200	0,316	0,200	0,200	0,204
Sử dụng đất (e)	0,053	0,100	0,158	0,100	0,100	0,102

Chỉ số nguy cơ sạt lở khu vực nghiên cứu được tính theo công thức (4):
 Nguy cơ sạt lở (C) = (H_{min} × 0,131) + (E_T × 0,378) + (Thổ nhưỡng × 0,175) + (Độ dốc × 0,204) + (Sử dụng đất × 0,102) (4)
 Bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở đất thể hiện như trong hình 5.



Hình 5. Bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở khu vực bán đảo Cà Mau.

Bảng 11. Thống kê diện tích các vùng có cấp độ nguy cơ khác nhau.

Cấp độ nguy cơ	Chỉ số nguy cơ sạt lở	Diện tích (ha)	Tỷ lệ %
Vùng nguy cơ rất thấp	≤ 2	30.582	13,6
Vùng nguy cơ thấp	≤ 3	72.668	32,3
Vùng nguy cơ trung bình	$\leq 3,5$	76.288	34,0
Vùng nguy cơ cao	≤ 4	40.803	18,2
Vùng nguy cơ rất cao	> 4	4.304	1,9

Kết quả phân tích bảng 11 cho thấy hiện nay nhiều kênh rạch, sông suối thuộc khu vực bán đảo Cà Mau có nguy cơ sạt lở bờ sông tương đối cao với mức rất thấp là trên 13%, nguy cơ thấp trên 30%, mức trung bình là 34%, nguy cơ cao là trên 18% và nguy cơ rất cao chiếm 1,9% diện tích có khả năng xảy ra sạt lở bờ sông. Dựa trên kết quả tính toán xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở khu vực bán đảo Cà Mau và kết hợp với số liệu báo cáo khảo sát thực tế cho thấy kết quả xác định những khu vực nguy cơ cao xảy ra sạt lở như huyện Trần Văn Thời tính đến ngày 19/3/2024, trên địa bàn 09 xã, thị trấn vùng ngọt đã xảy ra sạt lở, sụt lún, tổng số 131 tuyến, có 555 vị trí, với tổng chiều dài 14.623 m, trong đó: đường bê tông dài 10.754 m (đường bê tông 1,5 m dài 6.226 m, đường bê tông 2,0 m dài 124 m, đường bê tông 2,5 m dài 86 m, đường bê tông 3,0 m dài 4.318 m), đường đất đen dài 3.869 m; ước tính thiệt hại khoảng 19.535 triệu đồng. Đầm Dơi, U Minh, Trần Văn Thời, thành phố Cà Mau và các sông, kênh rạch thuộc Cần Thơ, Hậu Giang và Sóc Trăng là các khu vực được xác định phân vùng nguy cơ cao đến rất cao xảy ra sạt lở bờ sông, kênh. Kết quả nghiên cứu được thể hiện qua bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở bờ sông có thể đưa ra cái nhìn trực quan và tổng quát những khu vực có nguy cơ sạt lở cao. Bản đồ phân vùng rủi ro do sạt lở bờ sông là tài liệu giúp các nhà quản lý tham khảo trong công tác xây dựng kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội khu vực bán đảo Cà Mau.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã đưa ra các bước thực hiện để xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở bờ sông dựa trên việc chồng xếp các yếu tố ảnh hưởng đến sạt lở bờ sông khu vực nghiên cứu thời kỳ hạn hán kéo dài. Các yếu tố ảnh hưởng được phân tích và đánh giá trọng số dựa theo phương pháp phân tích thứ bậc AHP. Nghiên cứu đã đạt được một số kết quả chính sau:

- Xác định được các nhân tố chính và trọng số các yếu tố thành phần mang những giá trị định lượng đã loại bỏ được một phần chủ quan trong đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố. Kết quả chồng xếp xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở bờ sông đã được kiểm chứng lại với các vị trí và khu vực xảy ra sạt lở bờ sông trong thực tế là khá phù hợp.

- Bản đồ phân vùng nguy cơ xảy ra sạt lở bờ sông khu vực nghiên cứu đã xác định được những khu vực có nguy cơ cao đến rất cao xảy ra sạt lở là tài liệu tham khảo hiệu quả hỗ trợ cho công tác phòng chống thiên tai ở các tỉnh, huyện, xã từ đó cảnh báo người dân có các biện pháp di dời khẩn cấp.

Kết quả đầu ra của nghiên cứu sẽ là sản phẩm của hệ thống dự báo, cảnh báo nguy cơ sạt lở bờ sông dựa trên các yếu tố ảnh hưởng cho khu vực nghiên cứu.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: Đ.Q.T., N.V.N., Q.T.T.T.; Xử lý số liệu: N.V.N., Q.T.T.T.; Tính toán, xây dựng bản đồ: Đ.Q.T., N.V.N.; Viết bản thảo bài báo: Đ.Q.T., N.V.N., Q.T.T.T.; Chỉnh sửa bài báo: Đ.Q.T., Q.T.T.T.

Lời cảm ơn: Bài báo là kết quả của đề tài cấp bộ: “Nghiên cứu cơ sở khoa học và xây dựng hệ thống cảnh báo nguy cơ sạt lở, sụt lún do hạn hán và khai thác nước ngầm cho khu vực bán đảo Cà Mau”, mã số TNMT.2023.06.12 thuộc Chương trình khoa học và công nghệ trọng điểm cấp bộ về dự báo, cảnh báo thiên tai khí tượng thủy văn phục vụ công tác phòng chống thiên tai giai đoạn 2021-2025, mã số TNMT.06/21-25.

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

Tài liệu tham khảo

1. Bai, J.; Li, J.; Ran, H.; Zhou, Z.; Dang, H.; Zhang, C.; Yu, Y. Influence of varied drought types on soil conservation service within the framework of climate change: insights from the Jinghe River Basin, China. *J. Arid Land* **2024**, *16*, 220–245. <https://doi.org/10.1007/s40333-024-0070-7>.
2. Dandapat, A.K.; Panda, P.K.; Sankalp, S.; Jothimani, M. Quantifying soil erosion in drought-impacted Central Odisha, India, through geospatial mapping with RUSLE. *Appl. Environ. Soil Sci.* **2024**, 7250088. <https://doi.org/10.1155/2024/7250088>.
3. Cebulski, J. Impact of river erosion on variances in colluvial movement and type for landslides in the Polish Outer Carpathians. *Catena* **2022**, *217*, 106415. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106415>.
4. Li, L.; Robinson, L.F.; Li, G.K.; Hedding, D.W.; Xian, F.; Xu, Z.; Li, L.; Ouyang, S.; Li, T.; Li, G. Multi-isotopic constraints on the impacts of landslide on weathering and erosion in an active mountain range. *Earth Planet. Sci. Lett.* **2024**, *626*, 118527.
5. Handwerger, A.L.; Huang, M.H.; Fielding, E.J.; Booth, A.M.; Bürgmann, R. A shift from drought to extreme rainfall drives a stable landslide to catastrophic failure. *Sci. Rep.* **2019**, *9*, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38300-0>.
6. Chang, C.T.; Chan, H.C. Landslide susceptibility analysis of riverbank - a case study in upstream of Tai-An River. Proceeding of the 20th EGU General Assembly, EGU2018, Proceedings from the conference held 4-13 April, 2018 in Vienna, Austria, 2018, pp.11709.
7. Jaksa, M.; Kuo, Y.L.; Liang, C.; Ostendorf, B. Risk management of riverbank collapse along the lower river Murray. Goyder Institute for Water Research, Technical Report Series No. 16/6, 2016, pp. 46.
8. Kim, Y.S.; Wang, Y.M. Landslide analysis of river bank affected by water level fluctuation I. *J. Korean Geosynth. Soc.* **2010**, *9(3)*, 77–85.
9. Vahedifard, F.; Robinson, J.D.; AghaKouchak, A. Can protracted drought undermine the structural integrity of California's earthen levees. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* **2016**, *142(6)*, 02516001.
10. Wu, Y.; Chen, J. Modeling of soil erosion and sediment transport in the East River Basin in southern China. *Sci. Total Environ.* **2012**, *441C*, 159–168.
11. Tri, D.Q.; Thai, T.H.; Linh, N.T.M. Application of 2D modeling in simulation the erosion of dykes on Thach Han river basin in Vietnam. *Lowland Technol. Int.* **2018**, *20(02)*, 393–400.
12. Entahabu, H.H.; Minale, A.S.; Birhane, E. Modeling the impact of land use/ land cover change on soil erosion: in Suluh River Basin, Northern Ethiopia. *J. Degraded Min. Lands Manage.* **2023**, *10(4)*, 4749–4759. doi:10.15243/jdmlm.2023.104.4749.
13. Patil, A.S.; Panhalkar, S.S. Assessment of soil erosion and its correlation with landslide incidents using geospatial techniques. *Disaster Adv.* **2024**, *17(1)*, 11–22.
14. Mallick, R.H.; Bandyopadhyay, J.; Halder, B. Impact assessment of river bank erosion in the lower part of Mahanadi River using geospatial sciences. *Sustainable Horiz.* **2023**, *8*, 100075.
15. Das, S.; Gayen, S.K. Assessment of bank erosion, accretion and lateral migration using remote sensing and GIS: A study on the Sankosh River of Himalayan Foothills. *J. Indian Soc. Remote Sens.* **2024**, *52*, 271–290. <https://doi.org/10.1007/s12524-024-01819-z>.
16. Muzahid, C.; Popy, S.; Islam, R.; Emon, M.; Reja, M.; Rahman, M.; Hoque, J.; Rabbani, M.; Raiyan, S. Quantifying River Bank Erosion and Accretion Patterns

- along the Gorai River in Kushtia, Bangladesh: A Geospatial Analysis Utilizing GIS and Remote Sensing Techniques. *J. Geogr. Inf. Syst.* **2024**, 16, 70–88. doi: 10.4236/jgis.2024.161006.
17. Doi, I.; Matsuura, S.; Osawa, H.; Shibasaki, T.; Tosa, S. Effects of coastal erosion on landslide activity revealed by multi-sensor observations. *Earth Surf. Processes Landforms* **2020**, 45(10), 2291–2299.
 18. Van Tho, N. Coastal erosion, river bank erosion and landslides in the Mekong Delta: Causes, effects and solutions. In: Duc Long, P., Dung, N. (eds) *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development. Lecture Notes in Civil Engineering*, 2020, 62, pp. 957–962. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2184-3_125.
 19. Hiệp, H.V.; Trí, H.H.; Công, N.T.; Truyên, N.G. Nghiên cứu nguyên nhân sạt lở bờ sông: Trường hợp nghiên cứu tỉnh Trà Vinh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 741, 19–28.
 20. An, N.T.; Tỷ, T.V.; Trí, L.H.; Hồng, H.T.C. Nghiên cứu nguyên nhân gây sạt lở bờ sông Nhu Gia tại địa bàn huyện Mỹ Tú, tỉnh Sóc Trăng. Hội thảo Khoa học quốc tế Phát triển xây dựng bền vững trong điều kiện biến đổi khí hậu khu vực đồng bằng sông Cửu Long, 2021, tr. 209–215.
 21. Hương, N.T.; Thiện, N.Đ.; Dũng, T.Đ.; Văn, C.T.; Quang, C.N.X. Đánh giá nhận thức của người dân về sạt lở bờ sông liên quan đến tác động của hoạt động khai thác cát tại Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 758, 46–59.
 22. Tỷ, T.V.; Tiến, P.H.; Thịnh, L.V.; Hồng, H.T.C.; Thắng, C.N.; Duy, Đ.V.; An, N.T.; Anh, L.Q.; Liêm, N.T. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến ổn định bờ sông: trường hợp nghiên cứu tại đoạn sông Chà Và, tỉnh Vĩnh Long. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2022**, 58(5A), 14–21.
 23. Chính, L.K.; Phùng, N.K. Nghiên cứu tính toán sạt lở bờ sông Tiền đoạn qua huyện Long Hồ tỉnh Vĩnh Long bằng mô hình toán. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 641, 38–45.
 24. Quân, N.A. Kết quả nghiên cứu xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở bờ sông Sê San - Thuộc lãnh thổ Việt Nam. *Tạp chí Khoa học và công nghệ thủy lợi* **2016**, 31, 1–9.
 25. Phùng, N.K. Báo cáo tổng kết Đề tài cấp quốc gia “Xây dựng mô hình dự báo sạt lở bờ sông dựa trên công nghệ tính toán hiệu năng cao sử dụng GPUs kết hợp thực hiện dựa trên mô hình thực nghiệm và ứng dụng cho một số đoạn sông Đồng bằng sông Cửu Long”. Viện Khoa học và Công nghệ Tính toán, 2017–2021.
 26. Hoàng, T.B.; Thanh, L.T.P. Phân tích nguyên nhân gây sạt lở bờ sông trên địa bàn tỉnh Bạc Liêu và Cà Mau. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2018**, 43, 1–7.
 27. Kiệt, V.A.; Chanh, B.V. Ứng dụng phương pháp AHP để chi tiết cấp độ rủi ro do sạt lở ở tỉnh Khánh Hoà. *Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2023**, 25, 42–53.
 28. Lan, P.T.H; Long, N.L; Minh, Đ.Q. Nghiên cứu phương pháp phân tích cấp bậc (AHP) đánh giá nguy cơ xói lở bờ sông vùng hạ du hệ thống sông Đồng Nai. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật thủy lợi và Môi trường* **2020**, 70, 17–24.
 29. Ngọc, Đ.M; Thủy, Đ.T; Đức, Đ.M. Ứng dụng GIS và phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) thành lập bản đồ nguy cơ trượt lở huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang, Việt Nam. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2016**, 32, 206–215.
 30. Huệ, V.H. Phân tích, xác định nguyên nhân và đề xuất giải pháp công trình chống sạt lở bờ sông Vàm Cỏ Tây. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 754, 79–100.
 31. Huynh, P.T. Dự đoán khả năng sạt lở đất ở Việt Nam bằng các thuật toán học máy. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 751, 78–90.

32. Hiệp, H.V.; Trí, H.H.; Công, N.T.; Truyền, N.G. Nghiên cứu nguyên nhân sạt lở bờ sông: trường hợp nghiên cứu tỉnh Trà Vinh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 741, 19–28.
33. Trục tuyến: <https://nhandan.vn/vung-ngot-ca-mau-lien-tuc-sut-bi-lun-sat-lo-dat-post796949.html>.
34. Trục tuyến: <https://baocantho.com.vn/bao-dong-sut-lun-sat-lo-dat-o-ca-mau-a171000.html>.
35. Trục tuyến: <https://tuoitre.vn/ca-mau-dang-sat-lo-qua-mau-20240322194356717.htm>.
36. Phong, N.Đ. Nghiên cứu tác động của các loại nguồn xả thải đến chất lượng nước vùng Bán đảo Cà Mau. Luận án tiến sỹ kỹ thuật Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2023, tr. 193.
37. Saaty, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Serv. Sci.* **2008**, 1, 83–98.
38. Saaty, T.L. Rank generation, preservation, and reversal in the analytic hierarchy process. *Decis. Sci.* **1987**, 18, 157–177.
39. Saaty, T.L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Manage Sci.* **1986**, 32, 841–855.
40. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration—guidelines for computing crop water requirements. In FAO Irrigation and Drainage Paper 56; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 1998; ISBN 978-92-5-104219-9.

Applying an analytic hierarchy process and a geographic information system establishing riverbank failure risk zoning maps at Ca Mau Peninsula

Doan Quang Tri^{1*}, Nguyen Van Nhat¹, Quach Thi Thanh Tuyet¹

¹Information and Data Center, Vietnam Meteorological and Hydrological Administration; doanquangtriktvt@gmail.com; vannhat.tv@gmail.com; tuyetkttv@gmail.com

Abstract: Ca Mau Peninsula is one of the areas most severely affected by drought. Excessive exploitation of groundwater is one of the causes leading to the increasingly serious higher risk of riverbank failure. The study uses the analytical hierarchy process (AHP) method to evaluate the weights of influencing factors combined with geographic information system (GIS) technology to overlay the map layers of the main influencing factors and establish the risk of riverbank failure map of the study area. Study results show that the main factors affecting riverbank failure by drought include: distance of water level to riverbank, soil, riverbank slope, land use, and evaporation in the dry season. The weights of these factors are evaluated based on the synthesis of relevant documents as well as consultation with experts. The results show that riverbank failure is at high risk of occurring in Dam Doi, U Minh, Tran Van Thoi districts, Ca Mau city and rivers and canals in Can Tho, Hau Giang, and Soc Trang. The riverbank failure risk zoning map provides an overview of areas with a high risk of riverbank failure, and is a reference document to support managers in building plans for sustainable economic-society development in Ca Mau Peninsula.

Keywords: AHP; GIS; Riverbank failure risk zoning maps; Ca Mau Peninsula.