

Bài báo khoa học

Một số nhận định ban đầu về nguyên nhân gây mất ổn định bờ sông ở huyện Châu Thành tỉnh Hậu Giang

Lâm Tấn Phát¹, Đinh Văn Duy², Cao Trung Hiếu¹, Nguyễn Thái An², Kim Lavane³, Trần Văn Tỷ^{2*}

¹ Học viên cao học, Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ;

phatm4220016@gstudent.ctu.edu.vn; hieum4220005@gstudent.ctu.edu.vn

² Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ; dvduy@ctu.edu.vn; tvty@ctu.edu.vn;

anb1908310@student.ctu.edu.vn

³ Khoa MT&TNTN, Trường Đại học Cần Thơ; klavane@ctu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: tvty@ctu.edu.vn; Tel.: +84-939501909.

Ban Biên tập nhận bài: 10/7/2022; Ngày phản biện xong: 23/8/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

Tóm tắt: Sự mất ổn định bờ sông không chỉ gây thiệt hại lớn về tính mạng và tài sản của cư dân sống trong khu vực bị sạt lở mà còn gây ra những thiệt hại gián tiếp đến môi trường. Đã có nhiều nghiên cứu ở khu vực các sông lớn như sông Tiền và sông Hậu để tìm ra những nguyên nhân mất ổn định. Tại các sông rạch nhỏ sạt lở vẫn diễn ra và thiệt hại gây ra vẫn rất lớn nhưng lại chưa có nhiều nghiên cứu cho các trường hợp này. Do đó nghiên cứu này được thực hiện để phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến ổn định mái bờ sông Mái Dầm và rạch Xẻo Chòi tại huyện Châu Thành, tỉnh Hậu Giang. Nghiên cứu sử dụng ảnh viễn thám Google Earth giai đoạn từ năm 2006 đến năm 2019 để đánh giá hiện trạng xây dựng và sạt lở ven sông. Phương pháp phân tích thứ bậc (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) được sử dụng để xác định mức độ tác động của các yếu tố gây mất ổn định bờ sông. Sau đó tiến hành khảo sát thực địa để kiểm chứng kết quả AHP, từ đó tính toán ổn định bờ sông. Kết quả khảo sát và phân tích cho thấy địa chất là yếu tố tác động mạnh nhất trong các yếu tố, kết hợp với việc xây dựng lấn chiếm hành lang bảo vệ sông rạch tạo ra tải trọng làm giảm hệ số ổn định của mái bờ. Bên cạnh đó, độ cong và lưu tốc dòng chảy cũng là nguyên nhân gây xói lở và biến dạng lòng sông, dẫn đến tăng độ dốc mái bờ, ảnh hưởng đến ổn định bờ sông. Kết quả nghiên cứu sau khi áp dụng phương pháp AHP và khảo sát thực địa có thể mở rộng áp dụng cho các khu vực khác thuộc Đồng bằng sông Cửu Long để phân tích ổn định của bờ sông.

Từ khóa: Ảnh viễn thám; Mất ổn định mái bờ sông; AHP; Các yếu tố tác động; Hậu Giang.

1. Mở đầu

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) bắt đầu hình thành cách nay hơn 7000 năm và đến 2000 năm gần đây mới có hình dạng như ngày nay. Do đó, nền địa chất của khu vực này khá yếu và có nguồn gốc từ trầm tích sông, biển và đầm lầy [1]. Tuy đồng bằng có lịch sử non trẻ nhưng đến nay đã có khoảng 17,3 triệu cư dân (số liệu năm 2021) đang sinh sống chiếm 17,9% cả nước Việt Nam [2]. Khi cơ sở hạ tầng chưa phát triển, tập quán sinh sống của cư dân ĐBSCL là xây nhà ven sông để thuận tiện di chuyển bằng tàu thuyền nhỏ trong sinh hoạt hàng ngày [3]. Theo thời gian cư dân sinh sống ven sông càng nhiều, cùng với việc xây dựng thêm nhà cửa kiên cố và đường dân sinh ven bờ. Với cấu tạo địa chất ĐBSCL chủ yếu là đất sét với tính

chất cơ lý kém, ảnh hưởng từ tải trọng các công trình dân sinh đến ổn định mái bờ là rất lớn. Những báo cáo gần đây cho thấy số lượng các điểm sạt lở của ĐBSCL đang gia tăng rất nhanh [1, 4].

Hầu hết các nghiên cứu trên thế giới và Việt Nam về hiện tượng sạt lở bờ sông ngoài việc đề cập đến vị trí phân bố của mái dốc trượt thì cũng tập trung tìm ra cơ chế, mô tả đặc điểm địa hình, điều kiện địa chất thủy văn, đánh giá các yếu tố tác động, các yếu tố tự nhiên, nhân tạo tác động đến động lực và quy luật phát sinh, phát triển sạt lở [5-8]. Trong thập kỷ qua có rất nhiều nghiên cứu để tìm ra nguyên nhân gây mất ổn định dẫn đến sạt lở bờ sông như: địa chất, hình thái dòng chảy, lưu tốc, xây dựng cơ sở hạ tầng ven sông [9-13]. Trong đó có việc ứng dụng phương pháp phân tích thứ bậc (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) và GIS để đánh giá tác động của các yếu tố ảnh hưởng đến sạt lở đang là hướng nghiên cứu mới, mang đến cái nhìn tổng quát hơn về hiện tượng sạt lở đồng thời đưa ra cảnh báo về nguy cơ sạt lở thông qua bản đồ nguy cơ của khu vực nghiên cứu. Phương pháp AHP tổng hợp được các ý kiến tham vấn từ chuyên gia trong lĩnh vực giúp tăng tính khách quan cho nghiên cứu [14].

Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến ổn định mái bờ sông, rạch bằng phương pháp AHP và khảo sát thực địa làm nền tảng để xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở cho khu vực huyện Châu Thành, tỉnh Hậu Giang sau này.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là huyện Châu Thành, tỉnh Hậu Giang có lãnh thổ nằm trong tọa độ từ 9°30'35" đến 10°19'17" vĩ Bắc và từ 105°14'03" đến 106°17'57" kinh Đông với hệ thống sông rạch dày đặc [15]. Trong đó sông Mái Dầm (vị trí A ở Hình 1) là một nhánh sông lớn từ sông Hậu đổ vào Hậu Giang, đi qua khu vực thị trấn Mái Dầm với nhiều đoạn uốn cong gây sạt lở nghiêm trọng [16]. Đường bờ khu vực nhà máy giấy Lee & Man Việt Nam đã được bảo vệ bằng hệ thống kè dự ứng lực khá kiên cố. Tuy nhiên đoạn sông từ cầu Mái Dầm đến cầu Phú Hữu không được bảo vệ nên hiện tượng sạt lở vẫn đang diễn ra dọc đường bờ. Trung tâm huyện Châu Thành là khu vực chợ Ngã Sáu, nơi giao nhau của 6 con sông, rạch, trong đó có đoạn rạch Xẻo Chòi (vị trí B ở Hình 1) là điểm nóng sạt lở của khu vực.

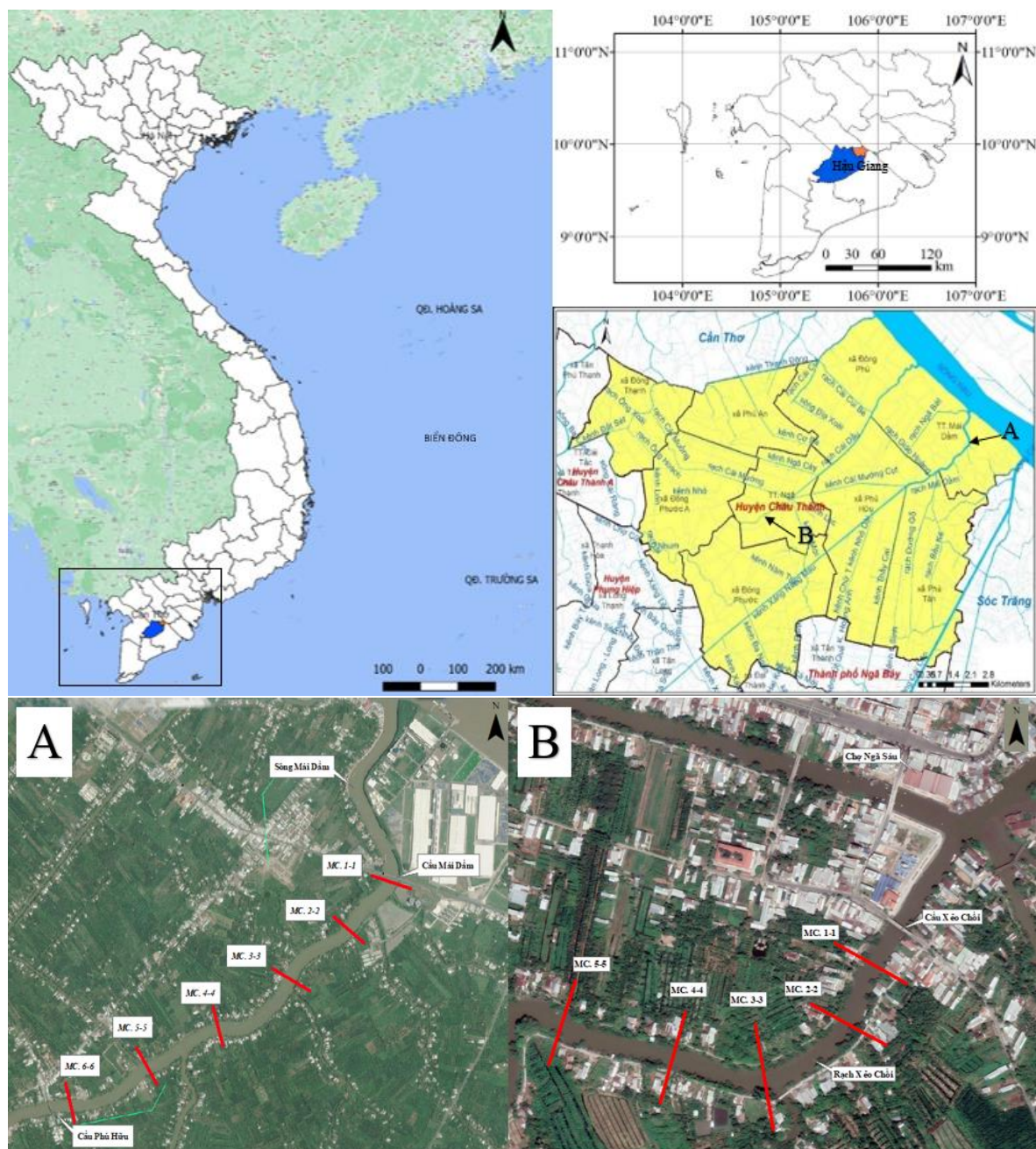
2.2. Phân tích ảnh viễn thám

Để đánh giá hiện trạng xây dựng ven bờ ở khu vực nghiên cứu, tác giả sử dụng ảnh viễn thám của Google để phân tích. Phương pháp phân tích ảnh viễn thám được mô tả như trong sơ đồ trên Hình 2.

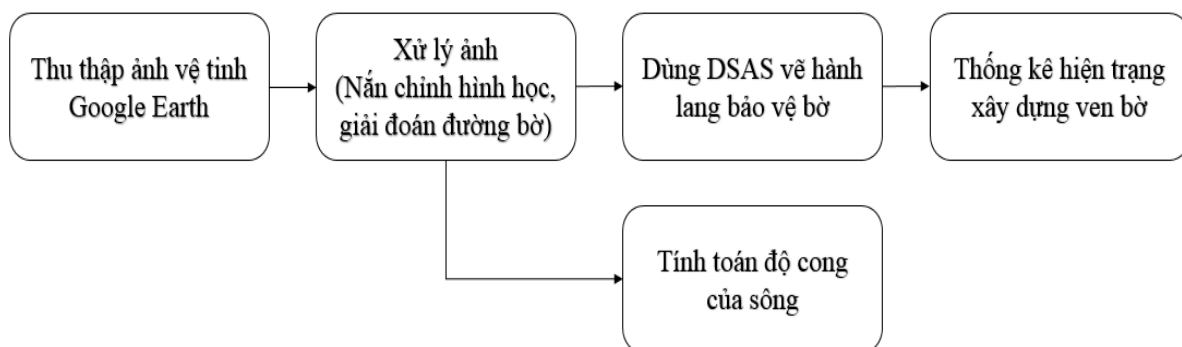
Ảnh vệ tinh Google Earth thuộc sở hữu của công ty Google LLC trụ sở tại Hoa Kỳ, có thể tải xuống miễn phí tại phần mềm Google Earth Pro. Các ảnh vệ tinh chất lượng cao với độ phân giải 0,3 m được tải và sử dụng để phân tích diễn biến đường bờ sông 2 vị trí Sông Mái Dầm (A) và Rạch Xẻo Chòi (B) thuộc khu vực nghiên cứu. Các ảnh Google Earth đã thu thập được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Số liệu ảnh Google Earth.

Thời gian	Vị trí	Nguồn ảnh	Độ phân giải (m)	Hệ tọa độ
12/04/2006	A	Maxar Technologies	0,3	UTM
26/12/2013	B	CNES/Airbus	0,3	UTM
09/02/2015	A và B	CNES/Airbus	0,3	UTM
28/02/2017	B	CNES/Airbus	0,3	UTM
15/02/2019	A và B	Maxar Technologies	0,3	UTM



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.



Hình 2. Sơ đồ các bước thực hiện phân tích ảnh viễn thám.

Các ảnh Google Earth được tải về không có cùng khung hình học nên phải được nắn chỉnh hình học bằng công cụ Registration trong bộ công cụ Map trên phần mềm ENVI trước khi tiến hành chiết xuất đường bờ. Các điểm không chế được sử dụng để tiến hành nắn chỉnh hình học các ảnh. Sai số trung bình bình phương (RMSE) được sử dụng để đánh giá độ chính xác của việc nắn chỉnh ảnh theo công thức:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (1)$$

Trong đó y_i là tọa độ điểm không chế thứ i ; $\bar{y}_i$ là giá trị ước đoán bằng mô hình hồi quy tuyến tính tại điểm không chế thứ i .

Phương pháp chiết xuất đường bờ của ảnh Google Earth và sai số của phương pháp này được tham khảo trong nghiên cứu của [17-19]. Nghiên cứu này sử dụng định nghĩa đường bờ là ranh giới giữ mặt nước với phần đất ven bờ hoặc cây cối nên không xét đến ảnh hưởng của dao động mực nước đến vị trí đường bờ.

2.2.1. Thống kê hiện trạng xây dựng trên hành lang bảo vệ sông, rạch

Khu vực sông Mái Dầm và rạch Xẻo Chòi có chiều rộng lần lượt khoảng 80 m và 35 m, căn cứ theo quyết định của Ủy ban nhân dân tỉnh Hậu Giang về hành lang bảo vệ sông, rạch [20] thì phạm vi bảo vệ sông Mái Dầm là 25 m và rạch Xẻo Chòi là 15 m từ đường bờ có mực nước lũ cao nhất. Trong nghiên cứu này tác giả tổng hợp đường bờ các năm 2006, 2015, 2019 tại sông Mái Dầm và các năm 2013, 2015, 2017, 2019 tại rạch Xẻo Chòi để tìm ra đường baseline bằng công cụ DSAS trong ARCMAP 10.4, từ đó vẽ được hành lang bảo vệ bờ là một đường polyline cách đường baseline một khoảng bằng phạm vi bảo vệ quy định. Sau đó lọc ra các đối tượng là công trình xây dựng và lộ dân sinh từ đường bờ trở vào đến hành lang bảo vệ bờ trong các ảnh thuộc khu vực nghiên cứu như Hình 2. Tiến hành thống kê diện tích của các công trình trên qua các năm, từ đó tính được mật độ xây dựng từng năm theo công thức:

$$M\bar{D}XD = \frac{S_{CT} + S_{LDS}}{S} \quad (2)$$

Trong đó S_{CT} và S_{LDS} lần lượt là diện tích các công trình nhà dân và lộ dân sinh xây dựng trong hành lang bảo vệ (m^2); S là diện tích hành lang bảo vệ trong khu vực nghiên cứu (m^2).



2.2.2. Tính toán độ cong của sông rạch

Tỷ số độ cong (L/L') giữa chiều dài uốn khúc của sông (L) trên chiều dài đoạn thẳng nối giữa hai đầu sông (L') được đề cập trong nghiên cứu của Dave Rosgen [21] là yếu tố đánh giá xu hướng biến đổi dòng chảy của các con sông. Để tính được độ dài L của khu vực sông rạch nghiên cứu tác giả sử dụng ảnh Google Earth đã được thu thập rồi tiến hành vẽ đường trực của sông cách đều hai bờ sông. Độ dài L' được xác định dễ dàng hơn, đó là đường thẳng nối hai điểm đầu và cuối của đường L như Hình 3.



Hình 3. Phân tích mật độ cong rạch Xẻo Chồi trên ảnh Google Earth.

2.3. Phương pháp Analytical Hierarchy Process (AHP)

Thomas L. Saaty (1972) đã đề xuất phương pháp ra quyết định được biết với tên gọi là quy trình phân tích thứ bậc AHP nhằm hỗ trợ việc ra quyết định đa tiêu chuẩn phức tạp [22]. Phương pháp AHP cho phép người ra quyết định tập hợp được kiến thức của những chuyên gia trong lĩnh vực nghiên cứu của mình, tổng hợp lại được các dữ liệu khách quan và chủ quan trong một khuôn khổ thứ bậc logic. Phương pháp này đưa ra đánh giá về cả hai mặt định tính và định lượng: Định tính qua sự sắp xếp thứ bậc và định lượng qua sự mô tả các đánh giá qua các con số có thể dùng để mô tả nhận định của người được tham vấn về các vấn đề được đề cập. Ngày nay, AHP được sử dụng rất phổ biến trong các lĩnh vực quản lý tài nguyên đất đai, thương mại.

Qua quá trình lược khảo tài liệu, tác giả chọn ra sáu yếu tố chính ảnh hưởng đến sự ổn định mái bờ sông, rạch. Từ đó tiến hành khảo sát ý kiến của các chuyên gia trong lĩnh vực thủy lợi đợt 1 để đánh giá sơ bộ mức độ tác động của từng yếu tố đã nêu. Sau đó tiến hành chọn lọc và giữ lại những yếu tố quan trọng để tạo thành ma trận quản lý theo chiều dọc lẫn chiều ngang dưới sự phân cấp tiêu chuẩn của trọng số. Từ đó tính toán được mức độ ưu tiên giữa các yếu tố, giả sử ta có X_n yếu tố cần giả định thì một ma trận được giả thuyết như sau:

$$\begin{matrix} & X_1 & X_2 & & X_n \\ \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{n,n} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

Trong đó a_{ij} là mức độ đánh giá giữa chỉ tiêu thứ i so với thứ j : $a_{ij} > 0$; $a_{ij} = 1/a_{ji}$; $a_{ii} = 1$. Ví dụ như yếu tố X_1 quan trọng hơn yếu tố X_2 thì $a_{12} > 1$ và $a_{21} < 1$ và ngược lại. Nếu X_1 và X_2 quan trọng như nhau thì $a_{12} = a_{21} = 1$. Để điền vào ma trận trên, người ta dùng thang đánh giá từ 1-9 như trong Bảng 2.

Ở bước này, khảo sát đợt 2 được tiến hành nhờ các chuyên gia cho điểm các yếu tố trong ma trận so sánh đã lập gồm: Địa chất; Hình thái dòng chảy; Vận tốc dòng chảy và tải trọng công trình ven bờ sông. Các ma trận so sánh của các chuyên gia được tổng hợp lại để xác định trọng số cho từng yếu tố.

Bảng 2. Các trị số so sánh cặp thông minh của Saaty [23].

Mức độ quan trọng	Giá trị số	Giải thích
Quan trọng như nhau	1	Hai tiêu chí có đóng góp ngang nhau
Quan trọng hơn một ít	3	Có sự ưu tiên vừa phải cho một tiêu chí
Quan trọng hơn nhiều	5	Có sự ưu tiên mạnh cho một tiêu chí
Quan trọng hơn rất nhiều	7	Một tiêu chí rất quan trọng so với tiêu chí kia
Quan trọng hơn rất nhiều lần	9	Được ưu tiên ở mức độ cao nhất có thể

Cho mỗi yếu tố là một trọng số, đó cũng chính là mức độ quan trọng của từng yếu tố tác động mạnh như thế nào đến quá trình sạt lở, tổng của tất cả trọng số là 100% hay 1. Gọi w_{ii} là trọng số của yếu tố thứ i . w_{ii} được tính theo công thức sau:

$$w_{ii} = \frac{a_{ii}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \quad (4)$$

Kiểm tra tính nhất quán: Phương pháp AHP cho phép mâu thuẫn giữa các giữa yếu tố, nhưng phải có giới hạn của mâu thuẫn đó trong ý kiến của tập hợp. Ma trận về ý kiến của các chuyên gia có thể được xác định bằng tỉ số nhất quán (Consistency Ratio - CR):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

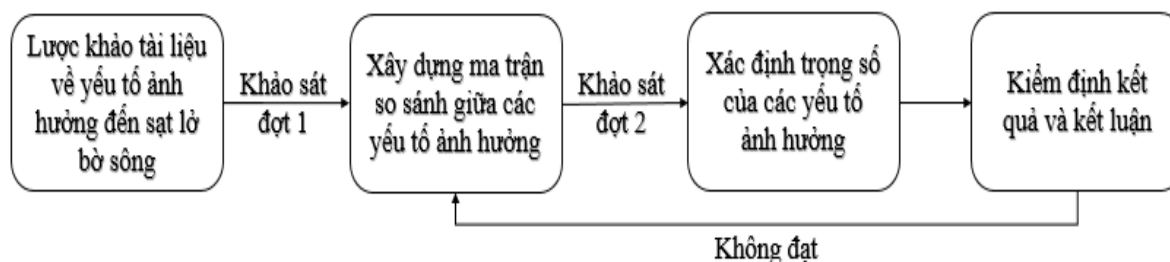
Trong đó RI (*Random Index*) là chỉ số ngẫu nhiên được xác định từ bảng cho sẵn; CI (Consistency Index) là chỉ số nhất quán với $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$; $\lambda_{\max}$ là giá trị riêng của ma trận so

sánh với: $\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{\sum_{n=1}^4 w_{1n}}{w_{11}} + \frac{\sum_{n=1}^4 w_{2n}}{w_{22}} + \frac{\sum_{n=1}^4 w_{3n}}{w_{33}} + \frac{\sum_{n=1}^4 w_{4n}}{w_{44}} \right)$

Bảng 3. Các chỉ số ngẫu nhiên ứng với số lượng các yếu tố (RI) theo Berrittella [24].

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

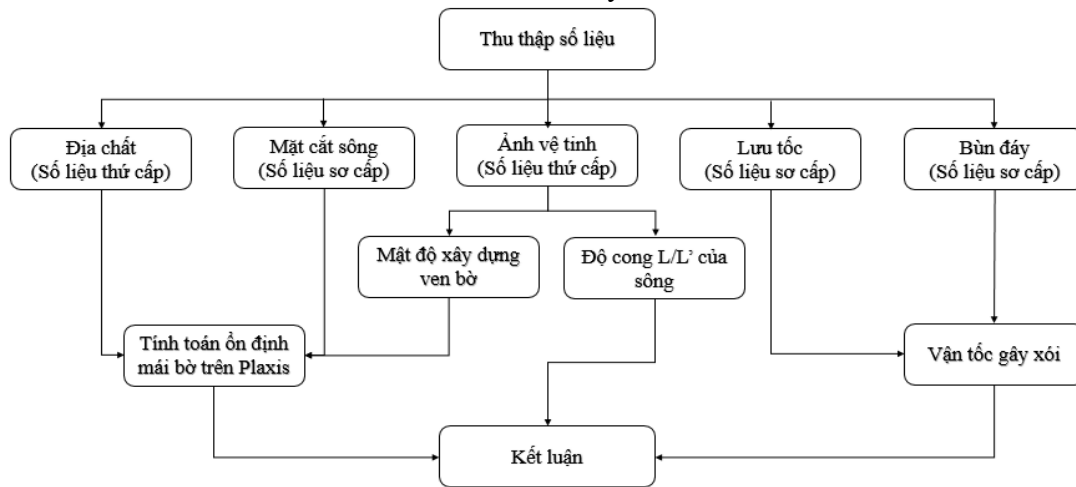
Tỷ số nhất quán CR phải nhỏ hơn 10%, nếu lớn hơn thì sự kết quả tham vấn chưa được xem là ngẫu nhiên và cần thực hiện lại. Trình tự các bước tiến hành phương pháp AHP được tóm tắt và thể hiện ở Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ cấu trúc các bước tiến hành phương pháp AHP.

2.4. Khảo sát thực địa

Sau khi có kết quả đánh giá sự tác động của các yếu tố của các chuyên gia theo phương pháp AHP, khảo sát thực địa được tiến hành để kiểm định lại giả thuyết. Các bước thực hiện khảo sát thực địa và tính toán ổn định được trình bày thành sơ đồ như Hình 5.



Hình 5. Sơ đồ cấu trúc các bước tiến hành khảo sát thực địa.

2.4.1. Thu thập số liệu

Các số liệu thứ cấp như địa chất của khu vực nghiên cứu, thống kê tình hình sạt lở của khu vực được thu thập từ các nguồn thể hiện ở Bảng 4.

Bảng 4. Số liệu và nguồn số liệu.

TT	Tên số liệu	Thời gian/Địa điểm	Nguồn
1	Địa chất	Năm 2018, khu vực sông Mái Dầm, Ngã Sáu, huyện Châu Thành	Sở TN&MT tỉnh Hậu Giang
2	Số liệu sạt lở	Năm 2019-2021	Tổng cục phòng chống thiên tai

Số liệu địa chất được tham khảo từ nguồn của Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Hậu Giang [16], kết quả khảo sát địa chất khu vực sông Mái Dầm và rạch Xẻo Chòi được trình bày ở Bảng 5.

Bảng 5. Số liệu địa chất khu vực nghiên cứu.

Khu vực	Lớp đất	Chiều dày h (m)	Dung trọng tự nhiên γ_{tn} (kN/m ³)	Dung trọng bão hòa γ_{sat} (kN/m ³)	Lực dính C (kN/m ²)	Góc nội ma sát ϕ (°)
Mái Dầm	Lớp 1 (OH)	11,0	14,219	14,922	8,434	3,350
	Lớp 2 (CL1)	12,0	18,612	19,316	19,809	15,250
	Lớp 3 (CL2)	2,0	19,896	20,385	28,635	17,567
Xẻo Chòi	Lớp 1 (OH)	11,0	15,003	15,307	7,649	4,683
	Lớp 2 (CH1)	12,0	18,425	18,739	19,025	17,050
	Lớp 3 (CL1)	4,0	18,602	18,916	17,260	15,883

2.4.2. Đo đo mặt cắt ngang kết hợp đo vận tốc dòng chảy

Phương pháp đo mặt cắt ướt sông được xác định theo Tiêu chuẩn ngành 14TCN 141-2005 [25]. Trong đó, máy siêu âm cầm tay Hondex PS-7 trên Hình 6 được sử dụng để đo độ sâu. Độ sâu được đo từ mặt nước đến đáy sông tại các thủy trực và khoảng cách giữa các thủy trực là 5-10 m tính từ mép bờ phải. Ghi nhận và chỉnh lý số liệu cho phù hợp để vẽ mặt cắt sông.



Hình 6. Thiết bị đo độ sâu (Hondex PS-7) và vận tốc (Midas-ECM).

Trong nghiên cứu này, thiết bị được sử dụng để đo vận tốc dòng chảy là MIDAS-ECM (Hình 6 - thiết bị đo vận tốc tự ghi có thể đo được vận tốc dòng chảy theo hai phương. Vận tốc được đo tại các thủy trực đã đo về mặt cắt.

2.4.3. Thu mẫu bùn cát

Để xác định cấp phối hạt bùn cát ven bờ sông cần thu thập các mẫu và lưu trữ trong các hộp nhựa, sau đó chuyển đến phòng thí nghiệm để xác định cấp phối theo phương pháp rây sàng và lắng đọng như Hình 7. Vị trí lấy mẫu tại các vị trí đoạn sông bị uốn cong và những địa điểm thường xảy ra xói/sạt lở. Trên một mặt cắt sông, các vị trí lấy mẫu bùn cát được xác định như sau: vị trí 01: cách bờ phải 5 m và vị trí 02: cách bờ trái 5 m.



Hình 7. Thu mẫu bùn đáy và làm thí nghiệm thành phần hạt.

2.4.4. Vận tốc không xói

Vận tốc không xói là vận tốc cho phép lớn nhất mà dòng chảy đạt tới trị số ấy không gây ra sự xói lở lòng sông rạch. Vận tốc không xói cho phép phụ thuộc vào tính chất cơ lý của đất nơi tuyến kênh đi qua, lượng ngậm phù sa và tính chất phù sa của dòng chảy trong kênh. Theo TCVN 4118:2012, vận tốc không xói được xác định dựa vào kích thước hạt trung bình (d_{50}) và trình bày ở Bảng 6.

Bảng 6. Vận tốc không xói theo TCVN 4118:2012.

Kích thước hạt đất trung bình (d_{50}) (mm)	Vận tốc không xói (m/s)
0,005 - 0,050	0,190 - 0,260
0,050 - 0,250	0,260 - 0,400
0,250 - 1,000	0,400 - 0,700

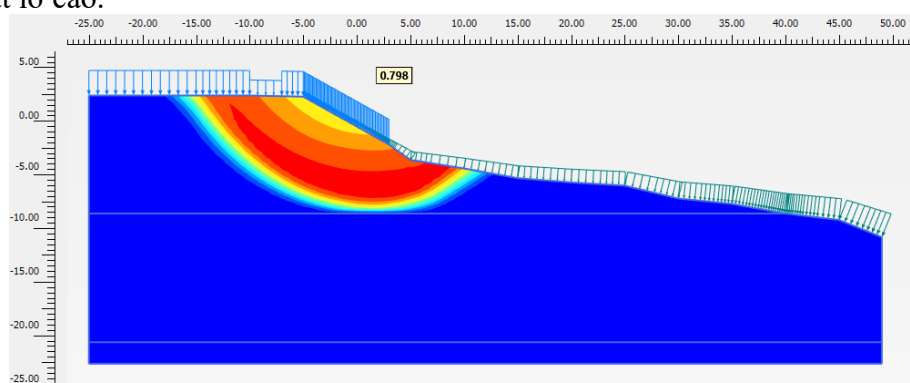
2.5. Tính toán hệ số ổn định mái bờ

Các dữ liệu về địa chất; mặt cắt sông; mực nước sông; mực nước ngầm và tải trọng của các công trình ven như đường dân sinh và nhà ở của cư dân được đưa vào mô hình phần tử hữu hạn để tính toán sự ổn định của mái bờ. Cụ thể theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737:2012 [26], tải trọng nhà cấp 4 và đường dân sinh được tính toán và khai báo vào mô hình phần tử hữu hạn lần lượt là $P_1 = 0,85 \text{ T/m}$ và $P_2 = 0,5 \text{ T/m}$. Qua khảo sát thực tế rút ra các trường hợp tính toán là: (TH1) Mái bờ sông không có công trình; (TH2) Có nhà cấp 4 lấn xuống lòng sông; (TH3) Có nhà cấp 4 ở phía trong đường dân sinh; (TH4) Có cả nhà 4 lấn xuống lòng sông và ở phía trong đường dân sinh. Sau khi khai báo các đặc trưng về hình học; địa chất; mực nước sông; mực nước ngầm và tải trọng tác giả tính được hệ số ổn định FS theo phương pháp suy giảm sức kháng cắt [27-29] với:

$$FS = \sum M_{sf} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_r} = \frac{c}{c_r} \quad (6)$$

Trong đó c và φ lần lượt là lực dính và góc nội ma sát ở trạng thái bình thường (tham khảo số liệu địa chất khu vực nghiên cứu đã thu thập), c_r và φ_r là lực dính và góc nội ma sát suy giảm vừa đủ lớn để duy trì trạng thái cân bằng. Việc giảm các thông số c và φ được kiểm soát bởi tổng số nhân $\sum M_{sf}$, tham số này được tăng lên theo quy trình từng bước cho đến khi xảy ra trạng thái mất ổn định. Giá trị $\sum M_{sf}$ cuối cùng đạt được trước khi trạng thái mất ổn định xảy ra là chính là hệ số an toàn của mái bờ FS.

Trong phương pháp suy giảm sức kháng cắt: Nếu $FS > 1$ thì mái bờ ở trạng thái ổn định; $FS = 1$ thì mái bờ đến giới hạn mất ổn định; $FS < 1$ thì mái bờ ở trạng thái mất ổn định dẫn đến nguy cơ sạt lở cao.



Hình 8. Sơ đồ tính toán ổn định.

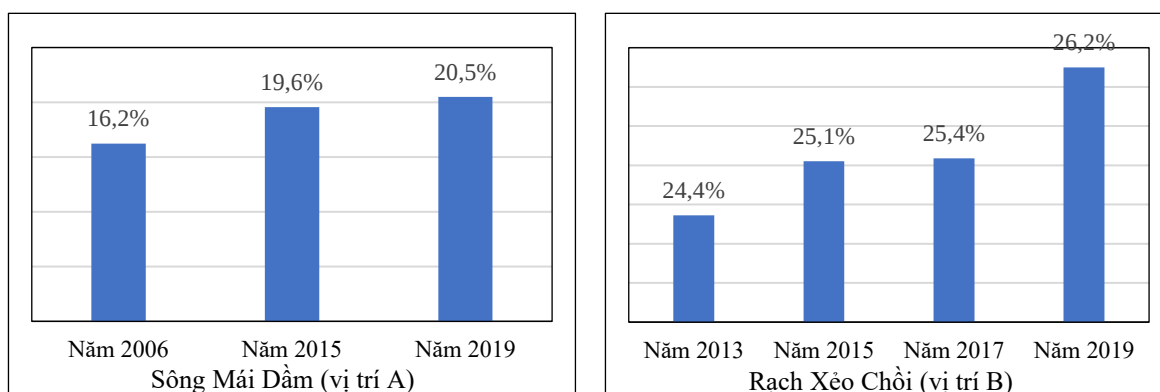
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả phân tích ảnh viễn thám

Mật độ xây dựng trên hành lang bảo vệ bờ được thể hiện ở Hình 9 cho thấy quá trình xây dựng ở sông Mái Dầm từ năm 2006 đến năm 2019 diễn ra không quá nhanh, mật độ xây dựng tăng thêm 4,3% trong 13 năm (từ 16,2% lên 20,5%). Trường hợp mật độ xây dựng ở rạch Xẻo Chòi cũng không thay đổi đáng kể từ năm 2013 đến năm 2019 chỉ tăng thêm 1,8% (từ 24,4% lên 26,2%). Tuy nhiên mật độ xây dựng trên hành lang bảo vệ hai khu vực này rất cao đến 20,5% và 26,2%, làm tăng tải trọng lên mái bờ dẫn đến nguy cơ mất ổn định và sạt lở.

Kết quả tính toán độ cong dòng chảy cho hai vị trí A và B được thể hiện ở Bảng 6 cho thấy độ cong của sông Mái Dầm không lớn, tỉ số $L/L' = 1,05$. Trong khi đó đoạn rạch Xẻo Chòi trong khu vực nghiên cứu có độ rất lớn, với tỉ số $L/L' = 1,22$. Tham khảo nghiên cứu của Dave Rosgen [21] tại các con sông có nền đất sét và bùn, với độ dốc nhỏ hơn 0,02 - tương tự ĐBSCL, nếu

tỷ số độ cong giữa chiều dài uốn khúc của sông trên chiều dài đoạn thẳng nối giữa hai đầu sông $L/L' > 1,2$ thì có hiện tượng xói bên bờ lõm và bồi bên bờ lồi. Như vậy với kết quả độ cong tại rạch Xẻo Chòi, ta có thể dự báo được mặt cắt (MC) 2-2 của rạch Xẻo Chòi có khả năng bị khoét sâu vào bờ trái (bên lõm).



Hình 9. Kết quả phân tích mật độ xây dựng trên hành lang bảo vệ bờ tại khu vực nghiên cứu.

Bảng 6. Kết quả tính toán độ cong dòng chảy.

Vị trí	Chiều dài L (m)	Chiều dài L' (m)	Tỉ số L/L'
Sông Mái Dầm (A)	2764,63	2629,36	1,05
Rạch Xẻo Chòi (B)	685,00	562,15	1,22

3.2. Kết quả khảo sát chuyên gia cho phương pháp AHP

Trong đợt khảo sát thứ nhất để xác định các yếu tố tác động mạnh đến quá trình sạt lở bờ sông, tác giả đã khảo sát 55 chuyên gia trong lĩnh vực quản lý, nghiên cứu, thiết kế và thi công công trình thủy lợi. Các chuyên gia đồng tình rất cao với sáu yếu tố được đề xuất trong cuộc khảo sát và để định lượng mức độ ảnh hưởng của sáu yếu tố đã nêu, tác giả đã nhờ các chuyên gia cho điểm từ 1 đến 6 cho mỗi yếu tố với (1 - ảnh hưởng mạnh nhất và 6 - ảnh hưởng yếu nhất). Sau đó tiến hành tính tổng điểm cho từng yếu tố, kết quả được trình bày trong Bảng 7.

Bảng 7. Tổng hợp điểm số của các yếu tố khảo sát đợt 1.

Yếu tố	Tổng điểm	Mức độ tác động
Địa chất	167	1
Hình thái dòng chảy sông, rạch	173	2
Lưu tốc của dòng chảy	176	3
Thủy triều và mưa	184	4
Tải trọng công trình ven bờ	185	5
Giao thông thủy	196	6

Trên cơ sở cuộc khảo sát thứ nhất, tác giả chọn ra bốn yếu tố đặc hữu tác động đến quá trình sạt lở sông rạch huyện Châu Thành, tỉnh Hậu Giang là: (1) Địa chất; (2) Hình thái dòng chảy; (3) Lưu tốc của dòng chảy; (4) Tải trọng ven bờ sông, rạch. Yếu tố “Thủy triều và mưa” thay đổi theo mùa và làm thay đổi mực nước trên sông cũng như mực nước ngầm trong đất dẫn đến sự thay đổi giữa trạng thái bão hòa và không bão hòa của lớp đất trong biên dao động mực nước. Sự thay đổi trạng thái này kéo theo sự suy giảm các chỉ tiêu cơ lý duy trì trạng thái ổn định của mái bờ [1]. Do đó yếu tố thủy triều tác động gián tiếp đến sự ổn định của mái bờ (thông qua thay đổi địa chất) nên khi đánh giá trọng số cho từng yếu tố, yếu tố “Thủy triều và mưa” đã được lược. Tiếp theo là tiến hành thiết lập ma trận so sánh giữa các yếu tố đã chọn theo phương pháp AHP và tiếp tục nhờ các chuyên gia cho điểm từng yếu tố trong ma trận trên. Kết quả khảo sát từ 44 chuyên gia đã cho ra ma trận so sánh sự tác động của bốn yếu tố đã đề cập trong Bảng 8.

Bảng 8. Ma trận các giá trị khảo sát và trọng số của 4 yếu tố khảo sát.

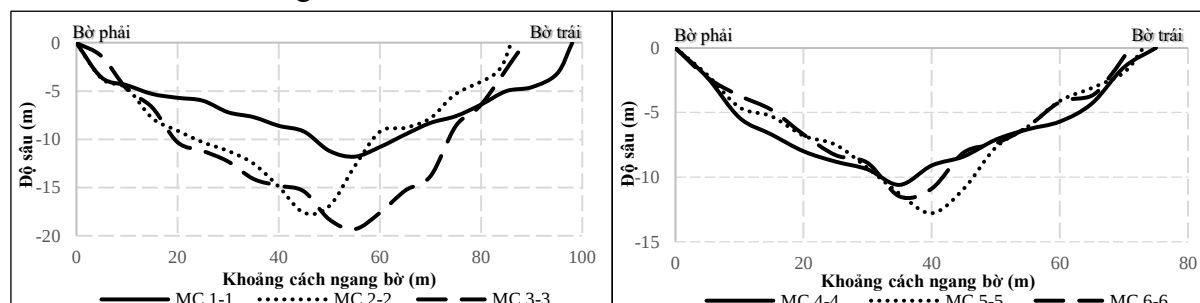
	Địa chất	Hình thái dòng chảy	Lưu tốc	Tải trọng ven bờ	Trọng số	Phần trăm
Địa chất		1,43	2,05	2,04	0,371*	37,1%
Hình thái dòng chảy	0,70		1,66	1,45	0,271	27,1%
Lưu tốc	0,49	0,60		1,28	0,187	18,7%
Tải trọng ven bờ	0,49	0,69	0,78		0,171	17,1%

*Trọng số lớn nhất

Kiểm tra tính nhất quán của ma trận với các giá trị $\lambda_{\max} = 4,034$; $CI = 0,011$; Tỷ số nhất quán $CR = 0,012 < 0,1$, ta có kết quả khảo sát đáp ứng sự nhất quán. Với trọng số đã xác định bên trên ta xác định được mức độ tác động của bốn yếu tố đến quá trình sạt lở bờ sông. Địa chất là yếu tố tác động mạnh nhất tới quá trình mất ổn định mái bờ với trọng số là 37,1%, kế đến hình thái dòng chảy hay độ cong của con sông được đánh giá là 27,1%, cuối cùng là lưu tốc và tải trọng với trọng số tương đương nhau lần lượt là 18,7% và 17,1%.

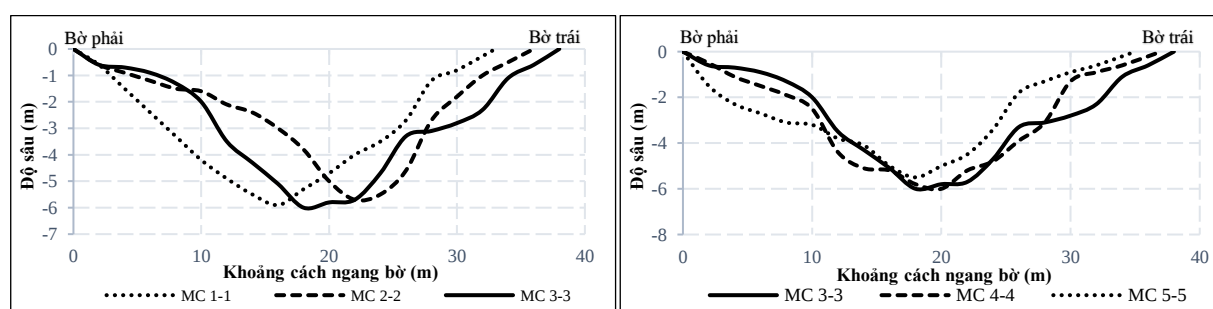
3.3. Phân tích mặt cắt lòng sông

Kết quả khảo sát sáu mặt cắt ở sông Mái Dầm trình bày ở Hình 10 cho thấy MC 1-1 có chiều rộng lớn hơn các mặt khác, nguyên nhân do các mố trụ cầu Mái Dầm xây dựng sát bờ tạo ra các xoáy nước khoét sâu vào bờ. Nhìn chung các MC ngang ở sông Mái Dầm có độ dốc mái khá cao, khi kết hợp với tải trọng công trình ven bờ có thể tạo ra cung trượt sát bờ sông rất nguy hiểm. Các đoạn cong của sông ở MC 3-3 và 4-4 cho thấy sự bất đối xứng giữa hai mái bờ sông với một bờ khá thoải và bờ còn lại có độ dốc lớn hơn. Tại MC 3-3, bờ phải có độ dốc $i = 35\%$ trong khi đó bờ trái có độ dốc $53,75\%$ lớn hơn 1,5 lần so với bờ phải. Tương tự tại MC 4-4 với bờ trái có độ dốc $i = 27,69\%$ còn bờ phải là 31% . Độ dốc càng lớn dẫn đến sự mất ổn định tại mái bờ đó càng cao.



Hình 10. Mặt cắt ngang sông Mái Dầm.

Các mặt cắt ở rạch Xẻo Chòi trình bày ở Hình 11 cho thấy MC 2-2 rất bất đối xứng với 4 MC còn lại. Bờ trái của MC 2-2 có độ dốc lớn hơn bờ phải rất nhiều (độ dốc $i = 41,67\%$ so với $28,52\%$ tại bờ phải) điều này làm tăng nguy cơ sạt lở ở bờ trái MC 2-2.

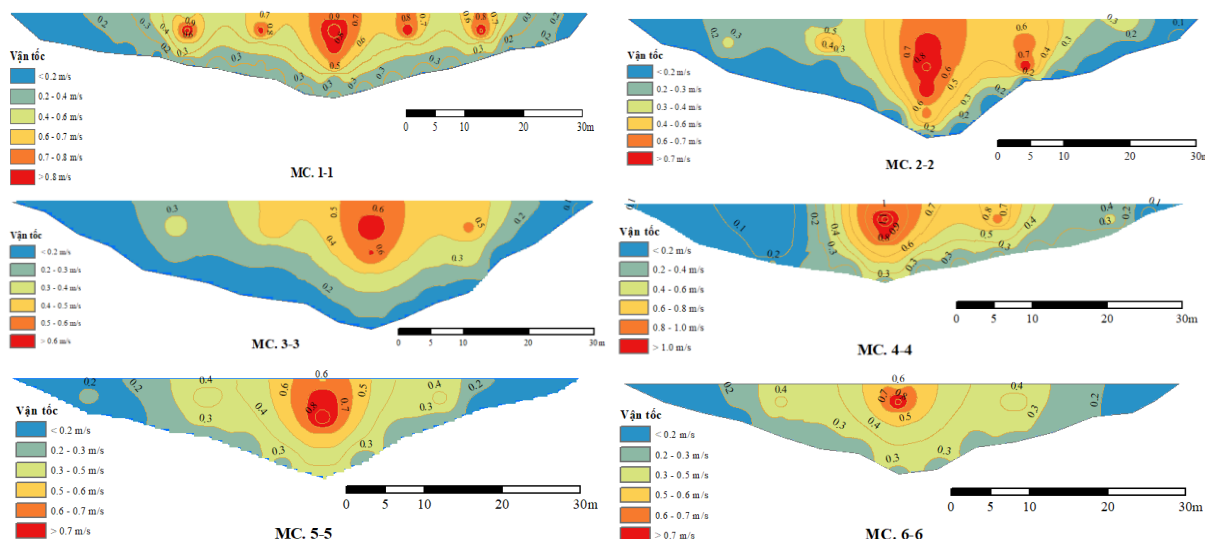


Hình 11. Mặt cắt ngang rạch Xẻo Chòi.

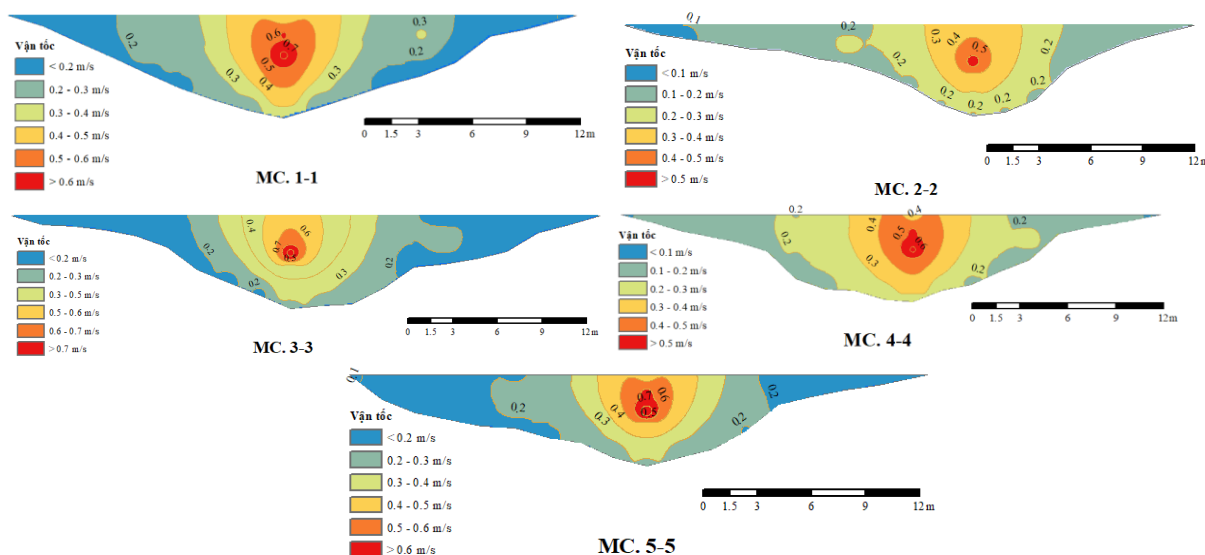
3.4. Phân tích vận tốc dòng chảy và vận chuyển bùn cát

Biểu đồ lưu tốc ở sáu MC đã khảo sát ở sông Mái Dầm thể hiện trên Hình 12, có thể thấy lưu tốc lớn nhất tập trung ở giữa dòng ngoài trừ MC 1-1 và MC 3-3. Trong đó MC 1-1 có bốn trụ cầu Mái Dầm bắt qua gây ra các xoáy nước gần bờ. Khi so sánh vị trí lưu tốc lớn nhất của MC 3-3 so với MC lân cận là 2-2 và 4-4 ta thấy sự lệch tâm làm cho vận tốc lớn nhất gần bờ trái MC 3-3 hơn.

Tại 4 MC 1-1, 3-3, 4-4 và 5-5 ở rạch Xẻo Chòi có biểu đồ lưu tốc thể hiện ở Hình 12 tương đối đối xứng, lưu tốc lớn nhất tập trung ở giữa rạch. Đoạn cong ở MC 2-2 biểu đồ có lưu tốc lớn nhất lệch về phía bờ trái so với hai MC gần kề là 1-1 và 3-3 làm dòng chảy gần bờ trái có lưu tốc lớn.

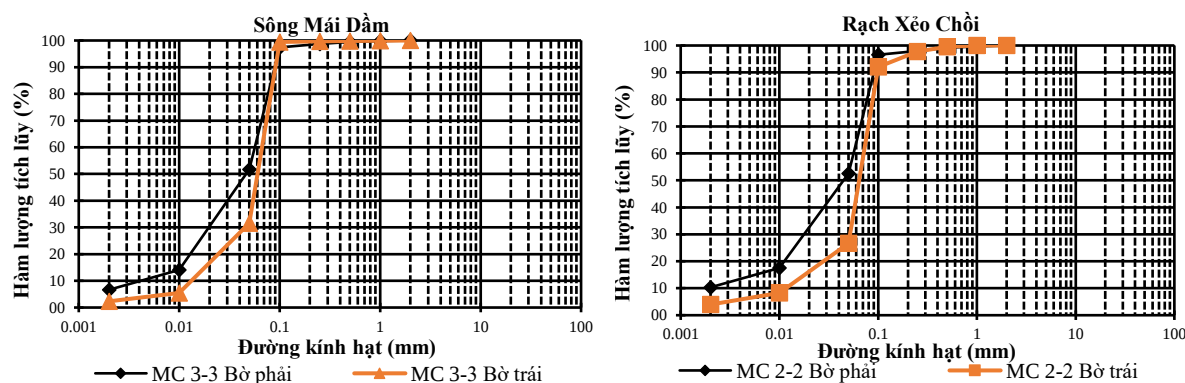


Hình 12. Phân bố lưu tốc dòng chảy tại các mặt cắt sông Mái Dầm.



Hình 13. Phân bố lưu tốc dòng chảy tại các mặt cắt rạch Xẻo Chòi.

Vận tốc tại thời điểm khảo sát vẫn nằm trong khoảng cho phép để không xảy ra hiện tượng xói (Bảng 9). Khi so sánh cấp phối hạt ở hai bờ của hai MC như thể hình trên Hình 13, thành phần hạt trung bình (d_{50}) của bờ trái lớn hơn bờ phải. Đây có thể do ảnh hưởng của lưu tốc lớn lệch về phía bờ trái đã cuốn các hạt có kích thước nhỏ đi trước, để lại các hạt có kích thước lớn, quá trình này diễn ra lâu dài và tạo cho mái bờ trái có độ dốc hơn mái bờ phải.



Hình 14. Cấp phối hạt tại các ở MC có độ cong lớn.

Bảng 9. Kích cỡ hạt, vận tốc không xói và vận tốc thực đo.

Vị trí	Mặt cắt	d_{50} (mm)	V_{kx} (m/s)	V (m/s)
Sông Mái Dầm	MC 3-3, bờ phải	0,046	0,19 - 0,26	< 0,20
Sông Mái Dầm	MC 3-3, bờ trái	0,061	0,26 - 0,40	0,20 - 0,30
Rạch Xẻo Chòi	MC 2-2, bờ phải	0,044	0,19 - 0,26	0,10 - 0,20
Rạch Xẻo Chòi	MC 2-2 bờ trái	0,063	0,26 - 0,40	0,10 - 0,20

3.5. Phân tích ổn định bờ sông

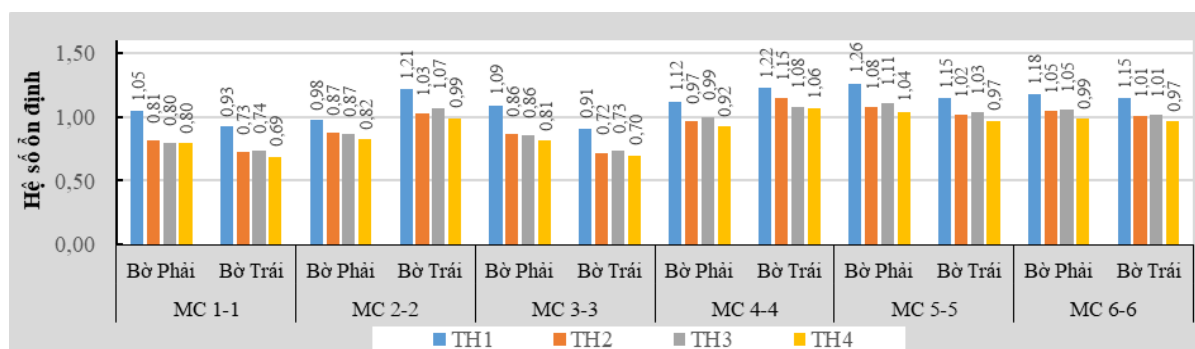
Kết quả tính toán hệ số ổn định FS tại sáu MC ở sông Mái Dầm trong bốn trường hợp được thể hiện trên Hình 15.

TH1: Mái bờ tự nhiên không có tải trọng, hệ số ổn định FS dao động từ $0,91 \div 1,26$ chứng tỏ tính chất cơ lý đất của mái bờ rất thấp và đang mất ổn định dù chưa chịu thêm tác động nào.

TH2: Có tải trọng nhà cấp 4 lần xuống lòng sông, hệ số ổn định bắt đầu suy giảm ($FS = 0,72 \div 1,15$), các MC 1-1, 2-2, 3-3 gần như mất ổn định và có nguy cơ sạt lở rất cao.

TH3: Có tải trọng nhà cấp 4 ở phía trong đường dân sinh, hệ số ổn định cũng tương tự TH2 với ($FS = 0,73 \div 1,11$) xuất hiện nhiều trường hợp $FS < 1,00$.

TH4: Có cả tải trọng nhà 4 lần xuống lòng sông và ở phía trong đường dân sinh hệ số ổn định rất thấp ($FS = 0,68 \div 1,06$). Các mặt cắt đều có $FS < 1,00$ bờ sông mất ổn định nghiêm trọng và nguy cơ sạt lở rất cao.



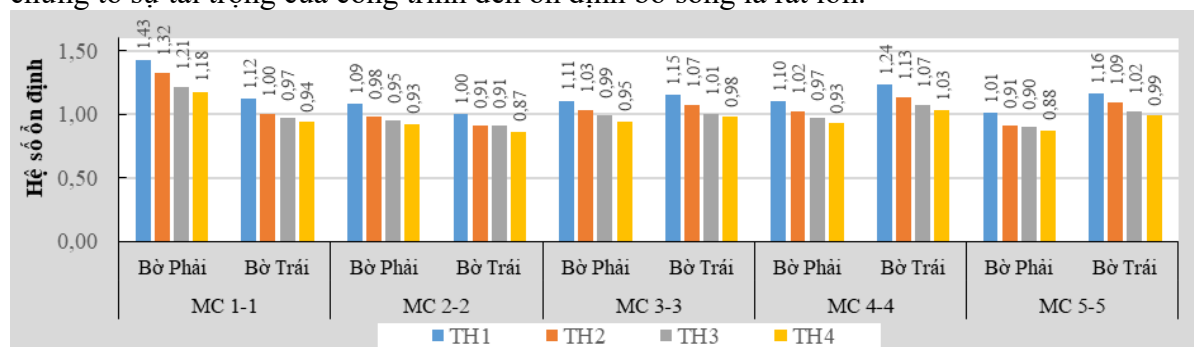
Hình 15. Hệ số ổn định các mặt cắt ở sông Mái Dầm.

Trường hợp ở rạch Xẻo Chòi được thể hiện trên Hình 16 cho thấy hệ số ổn định FS cao hơn ở sông Mái Dầm:

TH1: $FS = 1,00 \div 1,43$ nên bờ sông tương đối ổn định. Tuy địa chất khu vực yếu nhưng nếu không chịu bất cứ tải trọng nào thì tính ổn định của mái bờ vẫn đảm bảo.

TH2 và TH3: $FS = 0,90 \div 1,32$ xuất hiện nhiều MC có $FS < 1,00$ tại đoạn sông cong (MC 2-2 và 5-5).

TH4: Hệ số ổn định suy giảm đáng kể ($FS = 0,87 \div 1,18$) và đa số $FS < 1,00$ ở các MC, chứng tỏ sự tải trọng của công trình đến ổn định bờ sông là rất lớn.



Hình 16. Hệ số ổn định các mặt cắt ở rạch Xẻo Chòi.

Khu vực rạch Xẻo Chòi có hệ số ổn định cao hơn sông Mái Dầm, do rạch tương đối hẹp, lưu tốc không quá lớn và mái bờ không dốc như sông Mái Dầm. Tuy nhiên dưới tác dụng của tải trọng công trình ven bờ thì hệ số ổn định đều rất thấp, cảnh báo nguy cơ sạt lở bờ sông cao đe dọa đến cư dân sống trong các công trình xây dựng lấn chiếm hành lang bảo vệ. Tại các vị trí dòng chảy có độ cong lớn như MC 3-3 sông Mái Dầm và MC 2-2 rạch Xẻo Chòi, mái bờ có độ dốc lớn hơn các mặt cắt bình thường nên hệ số FS nhỏ hơn. Điều này cho thấy địa chất là một trong những yếu tố có tác động mạnh đến ổn định bờ sông. Tuy nhiên, yếu tố hình thái dòng chảy cong của sông nghiên cứu có khả năng tạo ra độ dốc cho mái bờ, dẫn đến mất ổn định cục bộ bờ sông.

4. Kết luận

Mật độ xây dựng trên hành lang bảo vệ sông, rạch còn cao (hơn 20% diện tích) gây ra áp lực không nhỏ cho mái bờ. Do chưa có giải pháp di dời các công trình để giảm bớt nguy cơ sạt lở cũng như đảm bảo an toàn cho tài sản và tính mạng của người dân được đề xuất. Các ảnh vệ tinh Google Earth có độ phân giải cao ($0,3 \times 0,3$ m/pixel) có thể chiết xuất được các công trình và đường bờ sông với sai số thấp hơn rất nhiều việc sử dụng ảnh Landsat hoặc Sentinel. Tuy nhiên các công trình xây dựng thấp tầng cũng như đường bờ sông có thể bị các cây cao với tán rộng che khuất dẫn đến sai số trong việc chiết xuất các thành phần trong ảnh. Số lượng ảnh miễn phí do Google cung cấp tương đối ít, không liên tục như hai loại ảnh vệ tinh khác đã đề cập. Bên cạnh đó các ảnh có thể xuất hiện mây che phủ khu vực nghiên cứu dẫn đến không chiết xuất được các đối tượng cần thiết.

Kết quả của phương pháp AHP kết hợp khảo sát thực địa đã mang lại cái nhìn tổng quát về quá trình sạt lở cũng như sự tác động của các yếu tố thành phần trong đó. Từ số liệu địa chất của khu vực đã thu thập cho thấy thành phần chủ yếu là đất sét ở trạng thái bão hòa với tính chất cơ lý kém là nguyên nhân chính gây ra sự mất ổn định với trọng số tác động được đánh giá là 37,1%. Lưu tốc lớn nhất của dòng chảy tập trung ở giữa dòng tuy nhiên tại các đoạn dòng chảy uốn cong, lưu tốc lớn có xu hướng di chuyển vào phía bờ (MC 3-3 sông Mái Dầm và MC 2-2 rạch Xẻo Chòi) làm xói lở lòng sông cũng tác động không nhỏ đến quá trình mất ổn định. Các trọng số đã xác định từ phương pháp AHP là cơ sở xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở cho khu vực nghiên cứu dưới sự tác động của các yếu tố đã khảo sát. Trong nghiên cứu này vận tốc dòng chảy chỉ được đo đạc trong thời gian ngắn (ngày 21 và 25/06/2022); do đó, cần được đo đạc thêm và đặc biệt trong mùa lũ để xác định được vận tốc lớn nhất để đánh giá được tác động của vận tốc dòng chảy đến xói lở bờ sông rạch.

Nhìn chung hệ số ổn định của mái bờ của khu vực nghiên cứu không cao, với sông Mái Dầm là rất thấp dù chưa chịu tác dụng của tải trọng cũng đã mất ổn định ($FS < 1,0$). Tại rạch

Xèo Chòi, mái bờ tự nhiên hệ số ổn định cao hơn nhưng nếu có thêm công trình trên đó (TH2-TH4) thì vẫn mất ổn định và nguy cơ sạt lở rất cao.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.V.T., D.V.D.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.V.T., D.V.D., L.T.P.; Xử lý số liệu: T.V.T., D.V.D., L.T.P.; Lấy mẫu: D.V.D., L.T.P., C.T.H., N.T.A.; Phân tích mẫu: K.L.; D.V.D., L.T.P.; Viết bản thảo bài báo: T.V.T., D.V.D., L.T.P.; Chỉnh sửa bài báo: T.V.T., K.L.

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. Hoài, H.C.; Bảy, N.T.; Khôi, Đ.N. Phân tích nguyên nhân gây gia tăng xói lở bờ sông ở đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 703, 42-50.
2. Toàn, H.T.; Bình, N.T.; Đăng Trí, V.P. Tiềm năng phát triển nông - lâm - thủy sản và kinh tế biển tỉnh Kiên Giang trong bối cảnh Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp Chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2022**, 58(3), 115-125. doi: 10.22144/ctu.jvn.2022.065.
3. Búa, P.V. Tìm hiểu đặc điểm dân cư và tâm lý người dân Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2010**, 13, 11-19.
4. Khanh, P.T.; Quân, N.H.; Toàn, T.Q. Đánh giá các thay đổi dòng chảy trên dòng chính sông Mê Công và các giải pháp đảm bảo an ninh nguồn nước vùng ĐBSCL. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2022**, 738, 34-48. doi:10.36335/VNJHM.2022(738).34-48.
5. Hossain, M.S.; Haque, M.A. Stability Analyses of Municipal Solid Waste Landfills with Decomposition. *Geotech. Geol. Eng.* **2009**, 27, 659. doi:10.1007/s10706-009-9265-0.
6. Watson, A.J.; Basher, L.R. Stream bank erosion: a review of processes of bank failure, measurement and assessment techniques, and modelling approaches. *Landcare ICM Rep.* **2006**, 2005-2006/01, pp. 35.
7. Griffiths, D.V.; Lane, P.A. Slope stability analysis by finite elements. *Geotechnique* **1999**, 49(3), 387-403.
8. Zhao, L.; You, G. Rainfall affected stability analysis of Maddingley Brown Coal eastern batter using Plaxis 3D. *Arab. J. Geosci.* **2020**, 13, 1071.
9. Bằng, L.H.; Thịnh, L.V.; Trí, L.H.; Duy, Đ.V.; Tỷ, T.V. Nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố địa chất, thủy văn đến ổn định bờ sông Cái Vừng, huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 731, 16-25. doi: 10.36335/VNJHM.2021(731).16-25.
10. An, N.T.; Thanh, P.Q.; 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. *SCD* **2021**, 209-215.
11. Hoàn, T.P. Đánh giá thực trạng và nguyên nhân xói lở bờ sông Tiền đoạn chảy qua tỉnh Đồng Tháp. *Tạp chí Khoa học Tự nhiên và Công Nghệ* **2015**, 20(12), 61-67.
12. An, Đ.T. Xây dựng mô hình số mô phỏng biến đổi hình thái sông có địa hình đáy dốc. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2021**, 727, 82-94. doi: 10.36335/vnjhm.2021(727).82-94.
13. Tú, L.H.; Duy, Đ.V.; Trí, L.H.; An, N.T.; Minh, H.V.T.; Tỷ, T.V. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến thay đổi diện tích cù lao Long Khánh, huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 732, 1-12. doi: 10.36335/VNJHM.2021(732).1-12.
14. 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. *Khoa học*

kỹ thuật thủy lợi và môi trường **2020**, 70, 17-24.

15. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Hậu Giang. Nghiên cứu tổng quan hệ thống sông ngòi, chế độ dòng chảy, vận chuyển bùn cát ở DBSCL và chi tiết cho Hậu Giang. **2019**.
16. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Hậu Giang. Báo cáo chuyên đề Phân tích, đánh giá thực trạng và xác định nguyên nhân gây sạt lở bờ sông, kênh chính trên địa bàn tỉnh Hậu Giang. **2019**.
17. Tình, T.V.; Phong, D.H. Sử dụng ảnh viễn thám và GIS nghiên cứu biến động đường bờ biển khu vực mũi Cà Mau. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 684, 35-40.
18. Tiến, N.N.; Cường, Đ.H.; Ưu, Đ.V.; Sáo, N.T.; Tuấn, T.A.; Nam, L.Đ. Phân Tích Biến Động Đường Bờ Khu Vực Bờ Biển Cửa Sông Hậu Bằng Tư Liệu Viễn Thám. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2018**, 17(4), 386-392. doi:10.15625/1859-3097/17/4/8858.
19. Thuận, N.N. Đánh giá hiệu quả của các công trình kè giảm sóng tại bờ biển Tây tỉnh Cà Mau. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 732, 93-105. doi: 10.36335/vnjhm. (732).93-105.
20. Ủy ban nhân dân tỉnh Hậu Giang. Quy định về 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. **2013**.
21. Rosgen, D.L. A practical method of computing streambank erosion rate. Proc. Seventh Fed. Interag. Sediment. Conf. March 25 through 29, **2001**, Reno, NV, 2001, pp. 9-18.
22. Saaty, T.L. Operations research: Some contributions to mathematics. *Science* **1972**, 178(4065), 1061-1070. doi: 10.1126/science.178.4065.1061.
23. Assad, A.A.; Gass, S.I. (ed.). Profiles in Operations Research. International Series in Operations Research and Management Science, Springer, number 978-1-4419-6281-2, **2011**, 147, 577-591. doi: 10.1007/978-1-4419-6281-2.
24. Berrittella, M.; Certa, A.; Enea, M.; Zito, P. An Analytic Hierarchy Process for the Evaluation of Transport Policies to Reduce Climate Change Impacts. *SSRN Electron. J.* **2011**, 1, pp. 25. doi:10.2139/ssrn.962379.
25. Bộ Nông nghiệp và phát triển nông thôn. Tiêu chuẩn ngành 14TCB 141-2005 Quy phạm đo vẽ mặt cắt, bình đồ địa hình công trình thủy lợi. **2005**.
26. Bộ Xây dựng. Tiêu chuẩn quốc gia 2737-2020 Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế. **2020**, tr. 1-110.
27. Cheng, Y.M.; Lansivaara, T.; Wei, W.B. Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods. *Comput. Geotech.* **2007**, 34(3), 137-150. doi:10.1016/j.compgeo.2006.10.011.
28. Tu, Y.; Liu, X.; Zhong, Z.; Li, Y. New criteria for defining slope failure using the strength reduction method. *Eng. Geol.* **2016**, 212, 63-71. doi: 10.1016/j.enggeo.2016.08.002.
29. Yuan, W.; Bai, B.; Li, X.C.; Wang, H.B. A strength reduction method based on double reduction parameters and its application. *J. Cent. South Univ.* **2013**, 20(9), 2555-2562. doi:10.1007/s11771-013-1768-4.

Initial assessment on the causes of riverbank instability in Chau Thanh district, Hau Giang province

Lam Tan Phat¹, Dinh Van Duy², Cao Trung Hieu¹, Nguyen Thai An², Kim Lavane³, Tran Van Ty^{2,*}

¹ Master student, College of Engineering Technology, Can Tho University, phatm4220016@gstudent.ctu.edu.vn; hieum4220005@gstudent.ctu.edu.vn

² College of Engineering Technology, Can Tho University; dvduy@ctu.edu.vn; tvty@ctu.edu.vn; anb1908310@student.ctu.edu.vn

³ College of Environment and Natural Resources, Can Tho University; klavane@ctu.edu.vn

Abstract: Riverbank instability not only causes great loss of life and property of residents living in the erosion area but also causes indirect damage to the environment. There have been many studies on large rivers such as Tien and Hau rivers to find out the causes of riverbank instability. In small rivers and canals, the instability of riverbanks still occurs and the damage caused large damage, but limited studies were investigated for these cases. Therefore, this study was conducted to analyze the factors affecting the stability of the riverbanks in Mai Dam river and Xeo Choi canal in Chau Thanh district, Hau Giang province. Google Earth remote sensing images from 2006 to 2019 were used to assess the current status of riverside construction and erosion. The Analytic Hierarchy Process (AHP) was used to determine the impact levels of factors that cause riverbank instability. A field survey was then conducted to verify AHP results, thereby riverbank stability was calculated. The survey and analysis results show that geology is the most affecting factor among the factors, and in combination with the encroaching construction of riversides to protection buffer areas, it creates the surcharge load reducing the stability coefficient of the riverbank. Besides, the curvature and flow velocity are also the causes of riverbed erosion and deformation, leading to an increase in the stiff slope which affects riverbank stability. Research results using the AHP method and field survey can be extended to other areas in the Mekong Delta to analyze riverbank stability.

Keywords: Remote sensing images; Riverbank instability; AHP; Affecting factors; Hau Giang.