

Bài báo khoa học

Áp dụng phương pháp phân tích hệ số ổn định bằng phần mềm Geoslope để xác định nguyên nhân mất ổn định đê biển trên địa bàn tỉnh Kiên Giang

Nguyễn Tiên Tài^{1*}, Bùi Trường Sơn², Nguyễn Thị Nụ², Trần Đức Luận³

¹ Xã Thạnh Hòa, Huyện Giồng Riềng, tỉnh Kiên Giang; taibqldagr@gmail.com

² Trường Đại học Mở - Địa chất; buitruongson@humg.edu.vn; nguyenthinu@humg.edu.vn

³ Trung tâm Tư vấn khảo sát thiết kế công trình Quốc phòng - Bộ Tư Lệnh Công Binh; tranducluanhd@gmail.com

*Tác giả liên hệ: taibqldagr@gmail.com; Tel.: +84-917668289

Ban Biên tập nhận bài: 3/1/2025; Ngày phản biện xong: 24/2/2025; Ngày đăng bài: 8/6/2025

Tóm tắt: Kiên Giang có chiều dài bờ biển khoảng 200 km, thường xuyên bị xói lở và đe dọa tới sự phát triển kinh tế, xã hội của địa phương. Với nhiều giải pháp bảo vệ đã được đưa ra, nhưng bờ biển vẫn tiếp tục bị xói lở, do đó cần phải xác định chính xác được các nguyên nhân gây mất ổn định đê biển. Bài báo sử dụng phương pháp phân tích số liệu từ năm 2000÷2024 và phương pháp phân tích hệ số ổn định trên phần mềm Geoslope, sử dụng các kịch bản mô phỏng đê biển khác nhau, từ đó xác định hệ số ổn định và bình luận, diễn giải nguyên nhân gây mất ổn định đê biển tỉnh Kiên Giang. Kết quả mô phỏng đối sánh với điều tra thực địa cho thấy, hệ số ổn định của đê biển bị giảm từ 1,429 xuống dưới 1,20 làm đê biển mất ổn định. Từ đó, đã xác định được các nguyên nhân chính gây mất ổn định đê biển ở Kiên Giang là do vật liệu thân đê là đất yếu, đất đắp đê được lấy từ rãnh phía biển cạnh chân đê, rừng ngập mặn bị mất và chiều cao đê chưa đáp ứng được yêu cầu bảo vệ nước biển tràn qua khi sóng lớn tại một số vị trí. Đây là cơ sở khoa học để đưa ra các giải pháp phòng chống phù hợp.

Từ khóa: Nguyên nhân; Mất ổn định; Đê biển; Tỉnh Kiên Giang.

1. Mở đầu

Xói lở bờ biển là một vấn đề nhức nhối đối với các quốc gia, khu vực có biển. Kiên Giang cũng không nằm ngoài vấn đề đó. Với đường bờ biển kéo dài, có nhiều khu du lịch và cảnh đẹp, nhưng hiện tượng xói lở bờ biển đang diễn ra nghiêm trọng, làm mất đất, mất đai rừng ngập mặn. Chính vì thế, việc nghiên cứu xói lở và đề ra giải pháp phòng chống để giảm thiểu thiệt hại là hết sức cấp bách.

Trên thế giới, hiện tượng xói lở bờ biển được nhận định chính là sự thiết lập lại trạng thái cân bằng mới [1]. Hiện tượng này diễn ra ở khắp các bờ biển trên thế giới và gây ra bởi 15 nguyên nhân khác nhau [2-4]. Hiện tượng xói lở bờ biển xảy ra tại Mỹ với 90% ở các bãi biển [5], phổ biến ở Úc tại một số nơi như: Adelaide, Port Philip, Ettalong Landy Robisions [6], phổ biến tại Châu Âu với hơn 20.000 km bờ biển phải đối mặt với hiện tượng xói lở [7], xảy ra tại Châu Phi ở Dubai, Togo với một số nơi có tốc độ nhanh, mạnh, vài mét mỗi năm [8], xảy ra tại Châu Á với các nước Đông Nam Á có tốc độ xói lở rất mạnh, kể cả Trung Quốc [9]. Để nghiên cứu hiện trạng, nguyên nhân gây nên xói lở, các phương pháp nghiên cứu khác nhau đã được sử dụng. Phân tích xói lở bằng các mô hình đánh giá xói lở bờ biển [10], từ đó phân tích, đánh giá các nguyên nhân gây nên xói lở bao gồm sóng do gió, dòng chảy ven bờ di chuyển cát ra khỏi bờ và lắng đọng ở nơi khác. Bằng việc sử dụng tổ hợp các

phương pháp bao gồm sử dụng mô hình sóng, dữ liệu địa hình, độ sâu có độ phân giải cao với các kịch bản nước biển dâng khác nhau, hiện tượng xói lở bờ biển tại Te Tai Tokerau, Northland, New Zealand đã được phân tích làm sáng tỏ các nguyên nhân [11], đồng thời tại khu vực nghiên cứu đã chịu ảnh hưởng nặng nề theo các kịch bản mô phỏng, có khoảng 8% địa điểm khảo cổ ở bờ biển có nguy cơ bị xói lở khoảng 20cm và 19% địa điểm bị đe dọa xói lở khoảng 1m tại thời điểm năm 2040. Thông qua việc sử dụng ảnh vệ tinh từ Google Earth và quá trình xử lý hình ảnh, số hóa, tính toán bằng công cụ GIS và viễn thám [12], hiện tượng xói lở bờ biển tại Sri Lanka là do tổ hợp nguyên nhân bao gồm các yếu tố tự nhiên và nhân tạo, đồng thời quá trình xói lở diễn ra tăng dần và làm suy yếu ngành du lịch và nền kinh tế của đất nước.

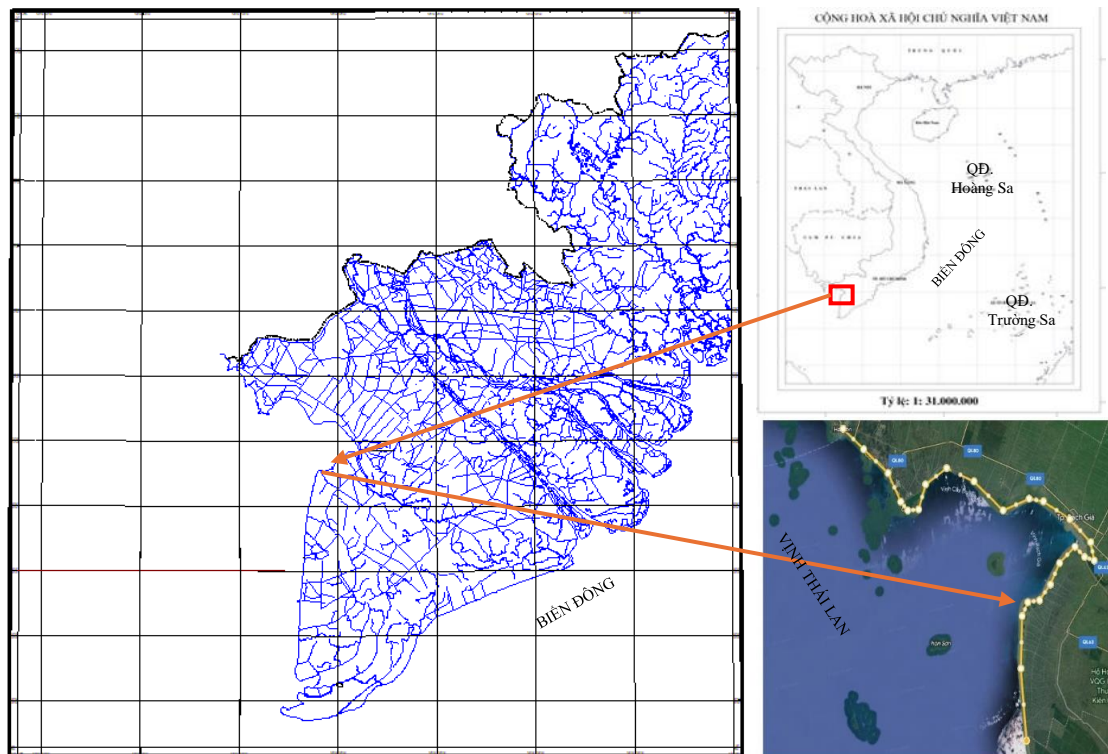
Ở Việt Nam, hiện tượng xói lở bờ biển đã được các tác giả nghiên cứu bằng các phương pháp khác nhau. Xói lở tại Việt Nam cũng có nét tương đồng với các nơi trên thế giới và cũng có thể do 15 nguyên nhân tự nhiên và con người tác động [13]. Xói lở bờ biển diễn ra ở nhiều nơi đặc biệt ở Nam Bộ [14, 15], tại đồng bằng sông Cửu Long có chiều dài xói lở bờ biển là 147 km với tốc độ xói lở thay đổi từ 5 đến 45 m/năm [16], một trong những chịu ảnh hưởng nặng nề nhất là Bến Tre [17–19]. Để phân tích làm sáng tỏ hiện trạng cũng như nguyên nhân gây nên hiện tượng xói lở, các tác giả đã sử dụng nhiều phương pháp nghiên cứu khác nhau. Bằng công cụ ảnh viễn thám giai đoạn 1965 đến 2010, diễn biến đường bờ thay đổi từ Thành phố Hồ Chí Minh đến Kiên Giang đã được phân tích, đánh giá và nhận định [20] xói lở, bồi tụ dải ven biển là một quá trình tự nhiên phức tạp, là hệ quả tương tác giữa nhiều yếu tố tự nhiên và tác động của con người, trong đó chỉ ra đường bờ biển cấu tạo từ đất yếu, đặc điểm của hướng gió với tốc độ gió cùng với tác động của sóng và chế độ thủy triều, đặc điểm rừng ngập mặn bị suy thoái và sự thay đổi chế độ thượng lưu làm giảm dòng bùn cát ra biển. Bằng phương pháp điều tra thực tế, phân tích ảnh vệ tinh và chồng ghép bản đồ đã chỉ ra tốc độ xói lở tại khu vực Gò Công là $10 \div 20$ m/năm [21] và là khu vực bị xói lở mạnh nhất tại đồng bằng sông Cửu Long, rừng ngập mặn cũng đang bị suy thoái rất mạnh. Nguyên nhân gây lên điều này là do sự xâm thực của biển, chặt phá rừng để canh tác nông nghiệp. Khi sử dụng phương pháp tổng hợp, phân tích nguồn tài liệu lịch sử, kế thừa từ các tài liệu trước, xử lý ảnh viễn thám và hệ thống tin địa lý GIS, ứng dụng mô hình tính toán Swat, Mike 11, Mike 21, nghiên cứu trên mô hình thực tế [22] đã đánh giá diễn biến xói lở, suy thoái rừng ngập mặn dải ven biển hạ du sông MeKong. Kết quả chỉ ra các khu vực bị xói lở, nguyên nhân gây ra xói lở gồm các yếu tố tự nhiên và tác động của con người, từ đó đề xuất các giải pháp bảo vệ bờ. Bằng việc sử dụng ảnh viễn thám landsat và sentinel -2 [23] đã đánh giá được hiện trạng bờ biển tại các thời điểm khác nhau, từ đó đánh giá tốc độ thay đổi đường bờ biển và dự báo xu thế biến đổi đường bờ biển tỉnh Quảng Nam. Theo Cơ quan Hợp tác phát triển Đức [24] đã đề cập đến thực trạng xói lở bờ biển trong điều kiện biến đổi khí hậu và khuyến cáo các giải pháp bảo vệ bờ cho các tỉnh tại đồng bằng sông Cửu Long trong đó có tỉnh Kiên Giang.

Như vậy, có thể thấy, đã có nhiều tác giả nghiên cứu về hiện tượng xói lở bờ biển ở các khu vực khác nhau, tuy nhiên tính chất và mức độ xói lở phụ thuộc vào các yếu tố tự nhiên và con người, đặc biệt là cấu trúc đường bờ và đặc điểm sóng tại mỗi khu vực. Các nguyên nhân gây mất ổn định đê biển mới chủ yếu đề cập mang tính chất phân tích, chưa sử dụng các mô hình tính toán cụ thể để phân tích các nguyên nhân. Phương pháp phân tích hệ số ổn định mái dốc bằng phần mềm Geoslope được một số tác giả đã sử dụng để phân tích ổn định bờ sông [25, 26] và các kết quả đều cho thấy tính ưu việt, mô phỏng được sự mất ổn định của mái dốc khi chịu tác động của các điều kiện đầu vào. Tại đoạn bờ biển tỉnh Kiên Giang, tốc độ xói lở và mức độ xói lở vẫn đang diễn ra với mức độ khá nghiêm trọng. Chính vì vậy, mục tiêu của bài báo là kết hợp phương pháp điều tra thực địa, phân tích nguyên nhân sơ bộ và đề xuất xây dựng mô hình mô phỏng các kịch bản trên phần mềm Geoslope cho đê biển tại Kiên Giang, từ đó phân tích các nguyên nhân mất ổn định đường bờ biển. Đây là cơ sở khoa học để đề ra các giải pháp phòng chống xói lở bờ biển tại khu vực tỉnh Kiên Giang.

2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập số liệu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Tỉnh Kiên Giang đang bị xói lở nghiêm trọng dọc bờ biển và khoảng 50% đai rừng ngập mặn bảo vệ bờ biển cũng bị xói lở [27], gây tác hại nghiêm trọng đến sự phát triển kinh tế xã hội của toàn tỉnh. Toàn tỉnh Kiên Giang (Hình 1) có tổng chiều dài 3 tuyến đê là 155 km, chưa có đoạn nào đủ chuẩn theo quy định và có công trình bảo vệ an toàn cho đê. Một số tuyến đê chính của tỉnh Kiên Giang có thể được kể đến như sau:



Hình 1. Sơ họa bờ biển tỉnh Kiên Giang.

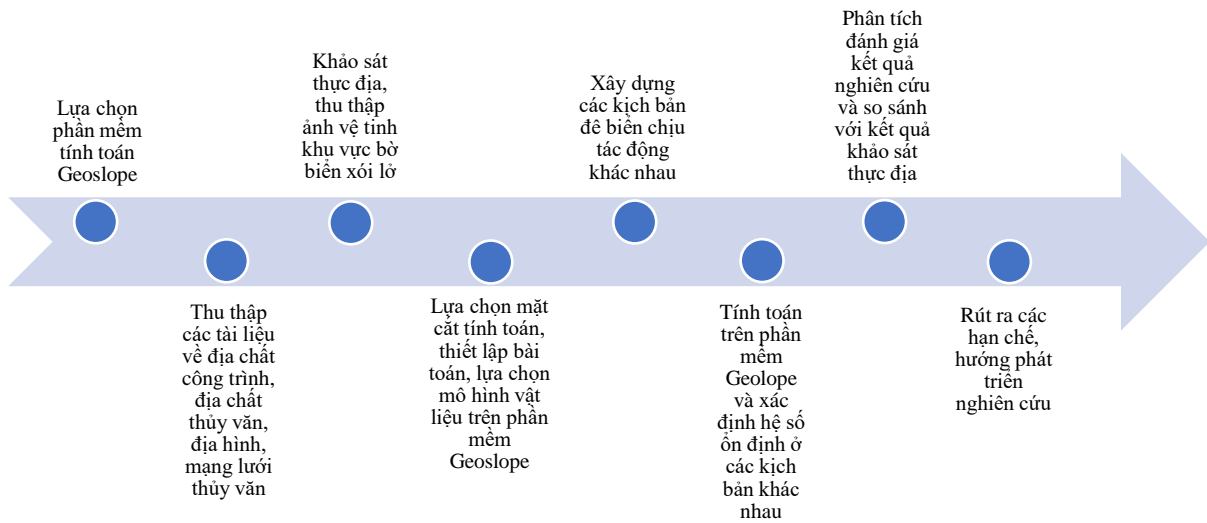
Tuyến đê từ Chùa Hang - Rạch Giá được đầu tư xây dựng trong giai đoạn 2000÷2008. Đê được đắp đất tại chỗ, mặt đê rộng 6 m, cao 2 m, hành lang bảo vệ đê 10 m, trên tuyến xây dựng 25 cống khẩu độ từ 5 m đến 22,5 m để ngăn mặn và thoát lũ ra biển. Từ 2006 đến nay, trên toàn tuyến đê Chùa Hang - Rạch Giá bị sạt lở đến 5 ÷ 6 km, nặng nhất là khu vực nằm trên địa bàn huyện Hòn Đất (Đoạn kênh 286 - Vàm Rầy sạt lở trên 600 m; đoạn Giồng Kè - T5 sạt lở hoàn toàn trên 500 m). Hệ quả của việc đê bị sạt lở là nước mặn tràn, ngấm sâu vào đất sản xuất, gây khó khăn trong sản xuất nông nghiệp.

Tuyến đê đi qua Thành phố Rạch Giá dài 12 km. Tuyến đê đồng thời cũng là tuyến đường ven biển (khu lấn biển). Tuyến đê này đầu tư xây dựng và đã được gia cố mặt đê bằng các miếng bê tông. Đối với đoạn qua địa bàn thành phố Rạch Giá, có trên 4 km bờ biển được bảo vệ bằng các công trình kè bê tông cốt thép, kết hợp gia cố mái bờ bằng tấm lát bê tông. Tuy nhiên, tuyến đê biển này vẫn xảy ra hàng chục điểm sạt lở cục bộ do mất rừng phòng hộ.

Tuyến đê từ Xẻo Rô (An Biên) đến Tiểu Dừa (Vân Khánh Tây, huyện An Minh) dài 70 km. Tuyến đê này được đầu tư xây dựng trong giai đoạn 1999 ÷ 2005. Đê được đắp từ đất tại chỗ, mặt đê rộng 6 m, cao 2 m; xây dựng 17 cống khẩu độ từ 5 m đến 10 m để ngăn mặn và thoát lũ ra biển, tuy nhiên các cống này chưa đáp ứng được nhu cầu đa mục tiêu. Tuyến đê này sạt lở từ năm 2006 đến nay, trong đó đoạn Xẻo Rô - kênh Chông Mỹ sạt lở gần 8 km được đầu tư xây dựng bằng biện pháp gia cố mặt đê bằng bê tông M300, có 6 cầu trên tuyến kết hợp làm đường giao thông, cắm cột lý trình trên đê, hiện chưa hoàn thành. Tuyến đê Xẻo Vạt - Tiểu Dừa bị sạt lở gần 25 km.

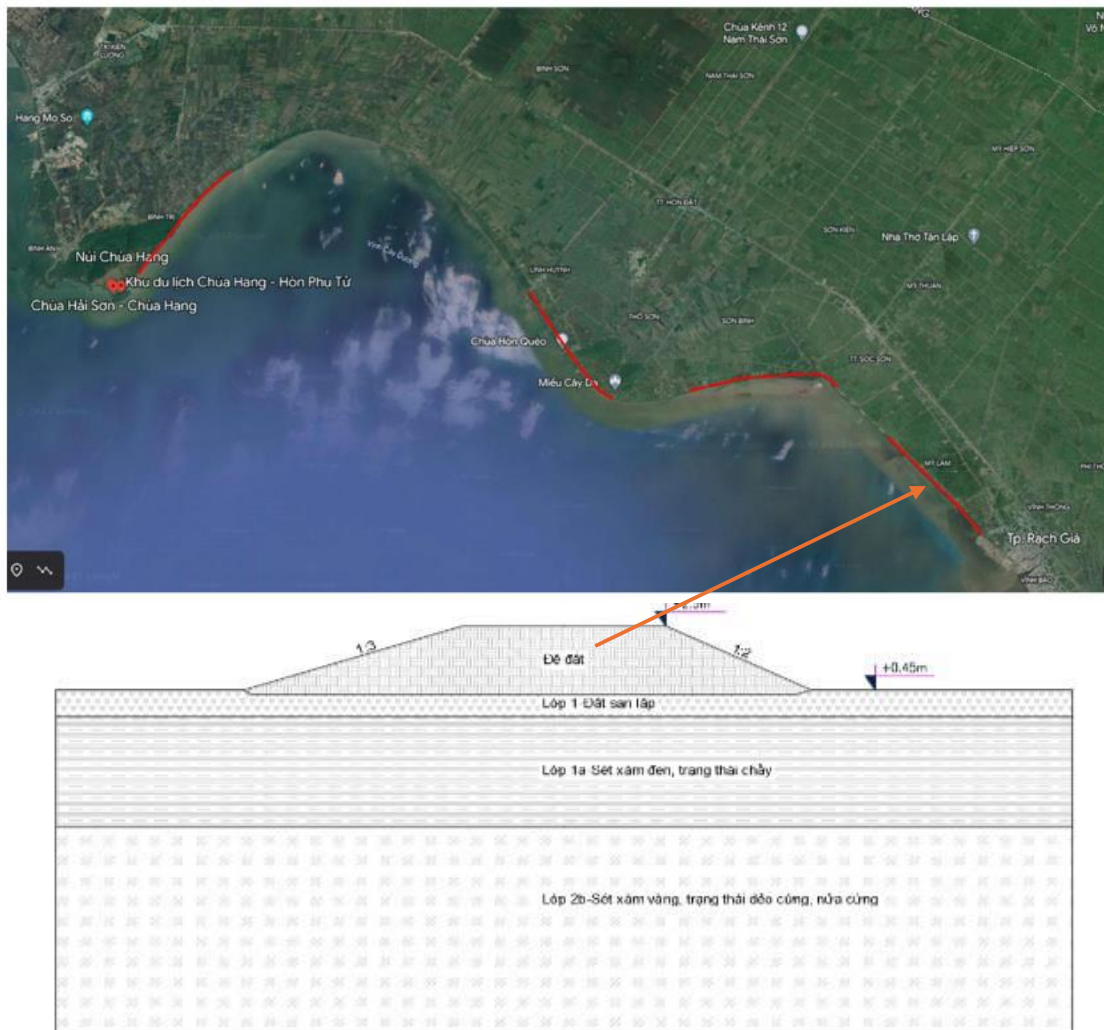
2.2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập số liệu

Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu được tóm tắt theo sơ đồ hình 2.



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

Theo sơ đồ cấu trúc nghiên cứu (Hình 2), lựa chọn một mặt cắt đê trên địa bàn huyện Hòn Đất thuộc tuyến đê từ Chùa Hang (KM0) đến Rạch Giá (KM63). Đê biển ở đây bị sạt lở



Hình 3. Sơ họa vị trí tính toán và mặt cắt nền đê biển thiết kế ban đầu tại huyện Hòn Đất (không biểu diễn mực nước biển). Các đoạn đê là các vị trí bị xói lở.

ngghiêm trọng do nhiều nguyên nhân khác nhau, chủ yếu là do vật liệu đắp đê không phù hợp và việc lấy đất đắp đê từ phía biển cạnh chân đê tạo thành rãnh trước chân đê.

Để phân tích nguyên nhân gây mất ổn định đê biển theo phương pháp hệ số ổn định tại tỉnh Kiên Giang, bài báo sử dụng mô đun SLOPE/W trong phần mềm GEO - SLOPE, phần mềm địa kỹ thuật của Canada bằng phương pháp cân bằng giới hạn LEM và sử dụng phương pháp BISHOP để tính toán hệ số ổn định. Mái dốc bị mất ổn định khi hệ số ổn định FOS < 1. Phương pháp hệ số ổn định được áp dụng xác định khả năng mất ổn định tại các vị trí cụ thể. Từ kết quả nghiên cứu, tiến hành luận giải và so sánh với kết quả điều tra thực địa từ đó luận giải nguyên nhân gây mất ổn định đê biển tại tỉnh Kiên Giang. Các thông số đầu vào của mô hình được thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Thông số đầu vào các lớp đất cho phần mềm GEO-SLOPE.

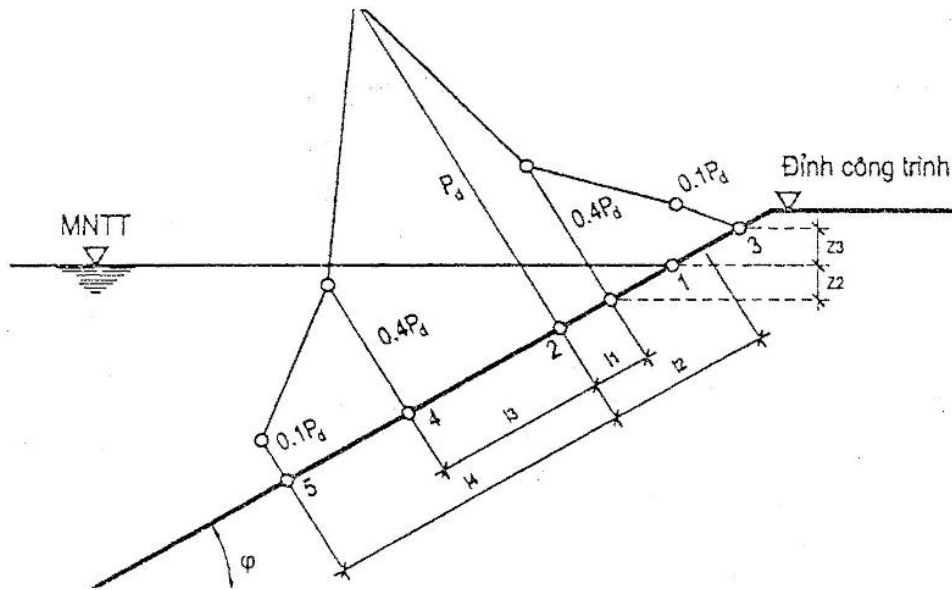
Lớp đất	Lớp số 1 (Layer 1)	Lớp số 1a (Layer 1a)	Lớp số 2b (Layer 2b)	Đất đắp đê (Fill soil)	Đá bảo vệ chân đê (Rock)
Mô tả	Đất san lấp	Sét xám đen, trạng thái chảy	Sét xám vàng, trạng thái dẻo cứng	Sét lẫn hữu cơ	Đá học
Cao độ đỉnh lớp m	+0,45	-0,45	-4,15	+2,0	-
Mô hình	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Undrained (Phi = 0)	Mohr - Coulomb
Chiều dày lớp đất (m)	0,9	3,7	7,0	-	-
Khối lượng thể tích, γ (kN/m ³)	18,5	15	18,3	17,5	22
Lực dính kết, C (kPa)	0	12,9	14	20	0
Góc nội ma sát ϕ độ	30	0	22	0	35

Để làm sáng tỏ hơn các nguyên nhân khác nhau gây sạt lở đê biển ở Kiên Giang, các mô hình tính toán sẽ được thiết lập, xác định hệ số ổn định của mái dốc đê với các kịch bản khác nhau như trong bảng 2. Lưu ý rằng trên địa bàn huyện Hòn Đất đê biển chủ yếu là đê đất và mái đê không có biện pháp bảo vệ hay gia cường (vải địa kỹ thuật, bê tông bảo vệ mặt đê...). Các phân tích này đánh giá đúng hiện trạng của đê biển làm cơ sở để đề xuất giải pháp công trình phi công trình để nâng cao độ ổn định của đê biển. Các tác động của sóng biển, dòng hải lưu đến đường bờ được mô phỏng ở kịch bản 3, sự phá hoại rừng ngập mặn ở kịch bản 4.

Bảng 2. Các kịch bản phân tích ổn định đê biển.

	Thân đê	Chân đê (chống xói)	Rãnh dọc phía biển	Mục tiêu đánh giá
Kịch bản 1: Đê ở trạng thái bình thường	Đê đất, mái đê không gia cố, chưa bị xói mặt đê	Được bảo vệ bằng đá	Không có rãnh dọc phía biển	Thay đổi chỉ tiêu cơ lý của lớp đất đắp đê Đánh giá ảnh hưởng của lớp đất đắp thân đê
Kịch bản 2: Có rãnh dọc phía biển gần chân đê	Đê đất, mái đê không gia cố, chưa bị xói mặt đê	Được bảo vệ bằng đá	Có rãnh dọc phía biển cách chân đê 5m	Đánh giá ảnh hưởng của rãnh dọc đến ổn định của đê
Kịch bản 3: Áp lực do sóng biển	Đê đất, mái đê không gia cố, chưa bị xói mặt đê	Không được bảo vệ	Không có rãnh dọc phía biển	Đánh giá ảnh hưởng áp lực của sóng biển đến ổn định đê
Kịch bản 4: Mái đê bị xói	Đê đất, mái đê không gia cố, mặt đê bị xói do sóng biển	Không được bảo vệ	Không có rãnh dọc phía biển	Đánh giá ổn định của đê khi bị xói bởi sóng biển

Trong kịch bản 3 cần phải tính toán áp lực sóng lên mái đê. Việc tính toán áp lực sóng lên mái đê thực hiện theo TCVN 9901:2014, với chiều cao sóng thường dao động từ 0,5 đến 23 và có thể cao hơn trong thời điểm có bão. Kết quả tính toán áp lực gây ra bởi sóng đê được thể hiện ở Bảng 3.



Hình 4. Biểu đồ áp lực sóng lên mái đê [26].

Bảng 2. Kết quả tính áp lực gây ra bởi sóng vào bờ đê tính theo TCVN 9901:2014.

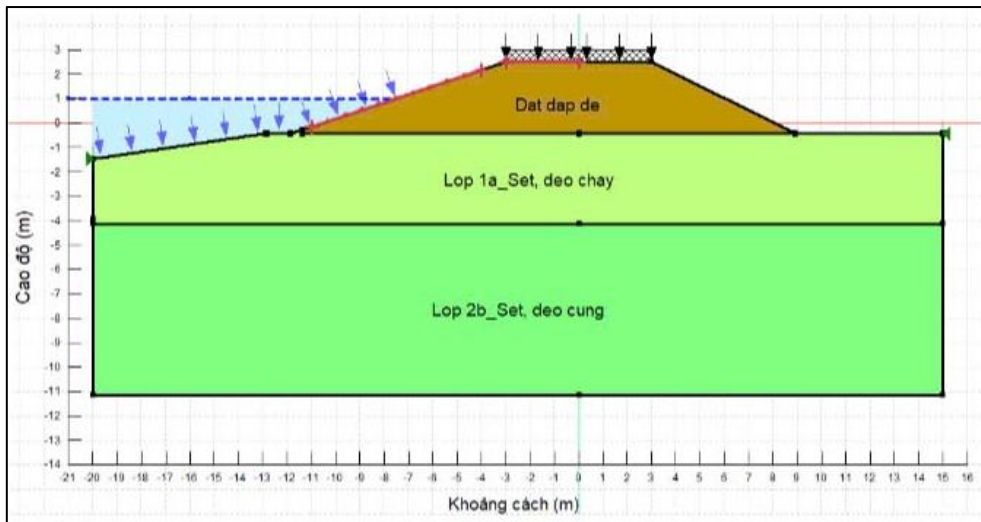
I. Thông số đầu vào		
Thông số	Giá trị	Đơn vị
Chiều cao sóng H_s	2	m
Chiều dài sóng L_s	30	m
Gia tốc trọng trường g	9,81	m/s^2
Khối lượng riêng của nước biển Δ	1,025	T/m^3
Hệ số hiệu chỉnh phục thuộc vào độ thoải của sóng k_t	1,15	
Hệ số áp lực sóng tương đối lớn nhất trên mái dốc P_{rel}	2,1	
Góc mái dốc $\cot\varphi$	3	
II. Kết quả đầu ra		
Thông số	Giá trị	Đơn vị
Áp lực sóng tính toán lớn nhất: $p_d = k_s \times k_t \times p_{rel} \times \Delta \times g \times H_s$		
- k_t tra bảng theo tiêu chuẩn TCVN 9901:2014		
- p_{rel} hệ số áp lực sóng tương đối lớn nhất trên mái dốc tại điểm 2 lấy theo TCVN 9901:2014	49,7	kPa
- Hệ số k_s		
$k_s = 0,85 + 4,8 \frac{H_s}{L_s} + \cot \varphi \left(0,028 - 1,15 \frac{H_s}{L_s} \right)$	1,024	
$Z_2 = A + \frac{1}{\cot^2 \varphi} \left[1 - \sqrt{2 \cot^2 \varphi + 1} \right] (A + B)$	1,00	m
$A = H_s \left(\frac{0,47 + 0,023 \frac{L_s}{H_s}}{\cot^2 \varphi} \right) \frac{1 + \cot^2 \varphi}{\cot^2 \varphi}$	1,81	
$B = H_s \left(\frac{0,95 - (0,84 \cot \varphi - 0,025) \frac{L_s}{H_s}}{\cot^2 \varphi} \right)$	1,60	
Tung độ Z_3 ứng với chiều cao sóng leo lên mái dốc. Trên các đoạn mái dốc nằm cao hơn hoặc thấp hơn điểm 2 phải lấy các tung độ P (đơn vị là kPa) của biểu đồ áp lực sóng ở các khoảng cách (đơn vị là m).	1,2	m
$L_\varphi = \frac{L_s \cot \varphi}{\sqrt[4]{\cot^2 \varphi - 1}}$	53,51	m
$P = 0,40 \times p_d$ tại vị trí:		

$L_1 = 0,0125L\varphi$	0,67	m
$L_2 = 0,0265L\varphi$	0,40	m
P = 0,10×p _d tại vị trí:		
$L_3 = 0,0325L\varphi$	1,42	m
$L_4 = 0,0075L\varphi$	1,74	m

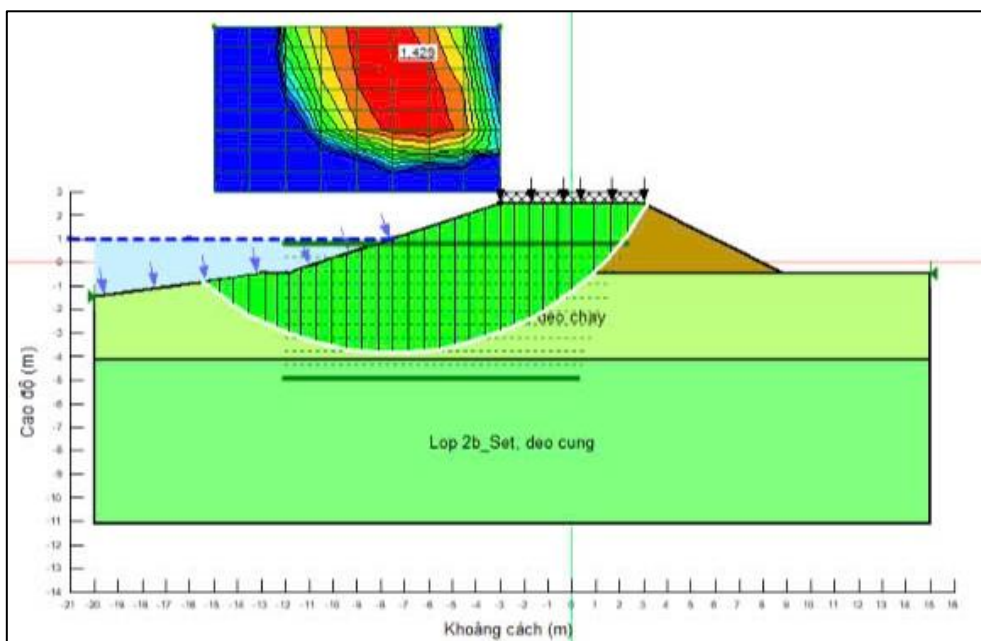
3. Kết quả và thảo luận

Như mục tiêu ban đầu các kịch bản khác nhau để phân tích ổn định của đê biển, qua đó tìm ra nguyên nhân chính gây sạt lở đê biển. Kết quả các kịch bản và phân tích bình luận được thể hiện dưới đây.

- Kịch bản 1: Phân tích ổn định của đê biển ở giai đoạn ban đầu, khi mới được xây dựng với giả thiết các biện pháp bảo vệ đê khỏi sóng biển (rừng ngập mặn) đang hiệu quả, mặt đê chưa bị phá hoại. Mô hình tính toán trên phần mềm Geoslope được thể hiện tại hình 4. Hoạt tải giao thông trên mặt đê được giả thiết là 1 T/m². Hình 5 thể hiện hệ số an toàn của mặt trượt trong tính toán ổn định đê.



Hình 4. Mô hình phân tích ổn định đê theo kịch bản 1.



Hình 5. Phân tích ổn định đê theo kịch bản 1.

Từ kết quả phân tích cho thấy, với trường hợp đê được xây dựng theo tiêu chuẩn đê đất cấp IV, với độ dốc mái tối thiểu ($m = 1:3$ với phía biển, $m = 1:2$ với phía đồng), đất đắp đê được lấy từ vật liệu sét và việc đầm nén trong quá trình đắp đê tốt. Các giải pháp chống sóng biển có hiệu quả thì hệ số ổn định của đê biển là 1,429. Có thể thấy thân đê đắp không cao nên tương đối ổn định, hệ số trượt tổng thể lớn hơn hệ số an toàn yêu cầu trong thiết kế. Điều này chứng tỏ nếu đất đắp đê được đắp đúng quy trình, với nền đắp đê không lớn, thì thân đê là ổn định (đang xét với kịch bản 1 khi thân đê không bị xói do sóng biển).

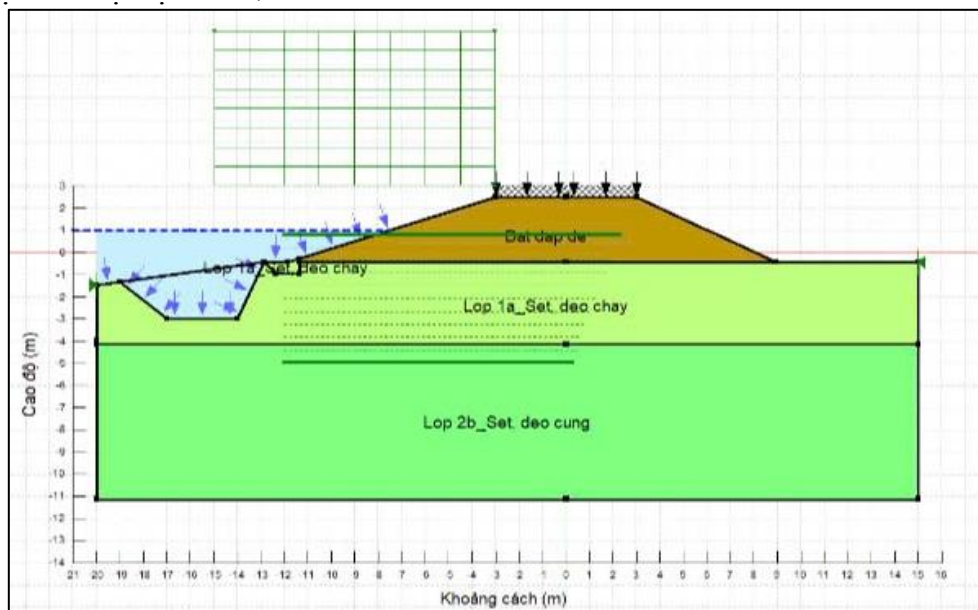
Như đã phân tích ở trên, thực tế việc đắp đê bằng vật liệu lấy từ phía đồng hoặc phía biển sẽ bị lẫn nhiều hữu cơ, hơn nữa đất đắp là đất bùn, sét nên việc kiểm soát độ chặt trong quá trình đắp đê thường không được tốt. Để phân tích ảnh hưởng của quá trình đắp đê đến độ ổn định của đê biển, giả thiết thay đổi sức kháng cắt (C) của vật liệu đất đắp đê. Kết quả được thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Phân tích hệ số ổn định với các giá trị C khác nhau.

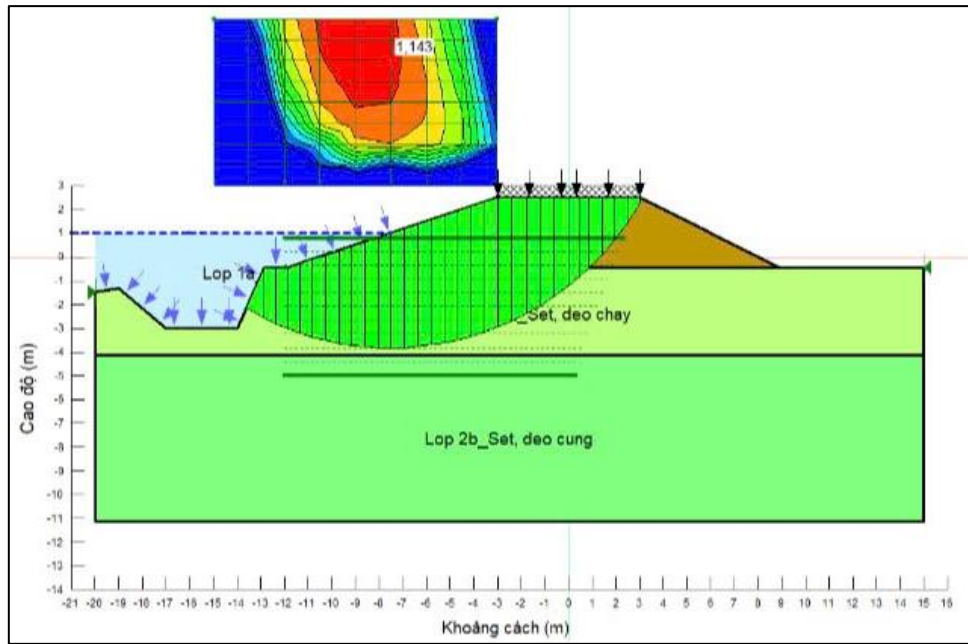
TT	C (kPa)	Hệ số ổn định
1	20	1,429
2	18	1,387
3	15	1,325
4	12	1,263
5	10	1,222
6	8	1,180
7	9	1,139

Từ kết quả của bảng 3 cho thấy, khi giá trị sức kháng cắt của lớp đắp đê giảm thì hệ số ổn định của đê cũng giảm theo. Điều này cho thấy rằng việc cần thiết phải kiểm soát tốt vật liệu đắp đê (đất dính tốt, không chứa chất hữu cơ) và quá trình đầm chặt trong quá trình đắp đê để tăng khả năng chống cắt của lớp đất đắp đê.

- Kịch bản 2: Qua quan sát thực tế ở một số tuyến đê tại huyện Hòn Đất, quá trình đắp đê lấy đất từ phía biển sát chân đê tạo thành các rãnh sâu gần chân đê. Điều này có thể là một trong những nguyên nhân chính gây sạt lở đê biển. Có thể phân tích trường hợp này theo kịch bản 2. Mô hình Geoslope theo kịch bản 2 được thể hiện tại hình 6 và kết quả của kịch bản này được thể hiện tại hình 7.



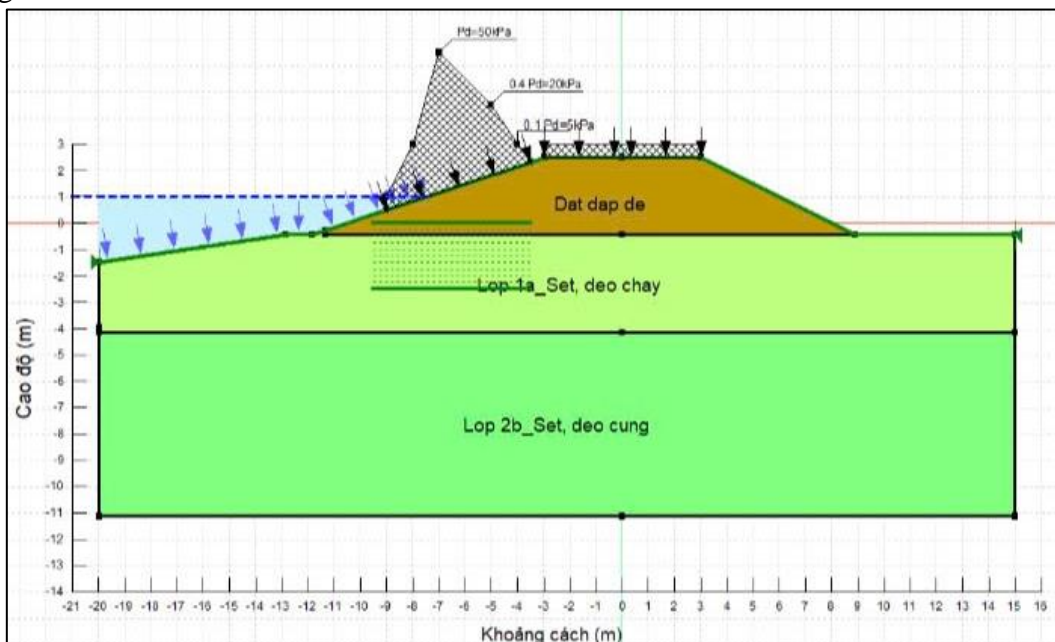
Hình 6. Mô hình phân tích ổn định đê theo kịch bản 2.



Hình 7. Phân tích ổn định đê theo kịch bản 2.

Kết quả phân tích cho thấy hệ số ổn định của đê khi có rãnh sâu gần chân đê giảm rõ rệt từ 1,429 trong điều kiện thường xuống còn 1,143. Với hệ số ổn định thấp, thân đê rất dễ bị sạt trượt. Điều này chứng tỏ việc lấy đất đắp đê tạo rãnh dọc gần chân đê cũng là một trong những nguyên nhân gây ra tình trạng sạt lở đê biển.

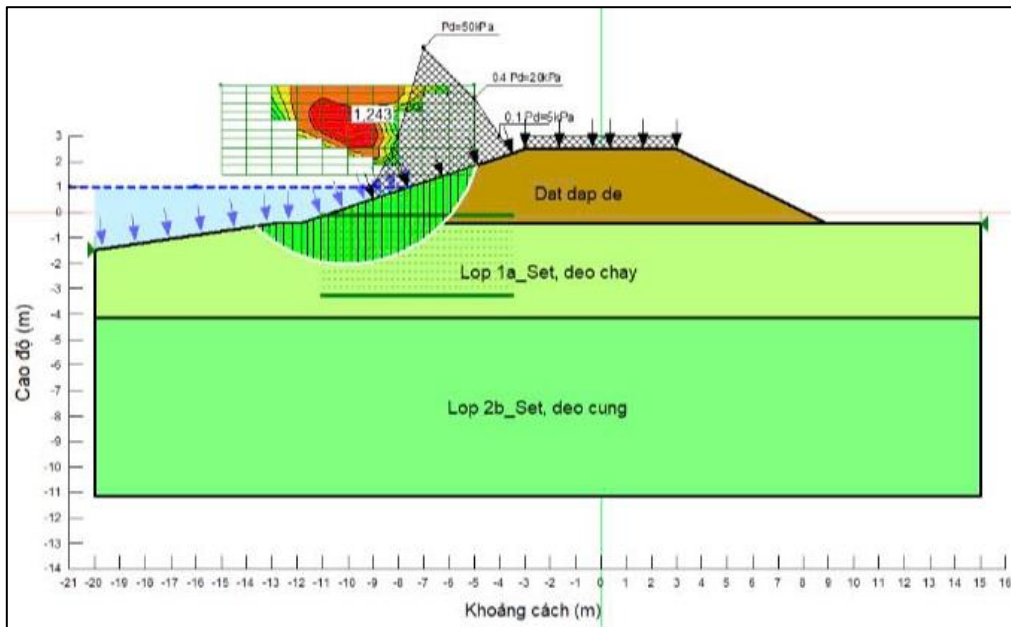
- Kịch bản 3: Áp lực sóng vào bờ đê sẽ được mô phỏng để đánh giá tác động của sóng biển đến ổn định bờ đê. Mô hình của đê biển khi chịu tác động của sóng biển được thể hiện trong hình 8.



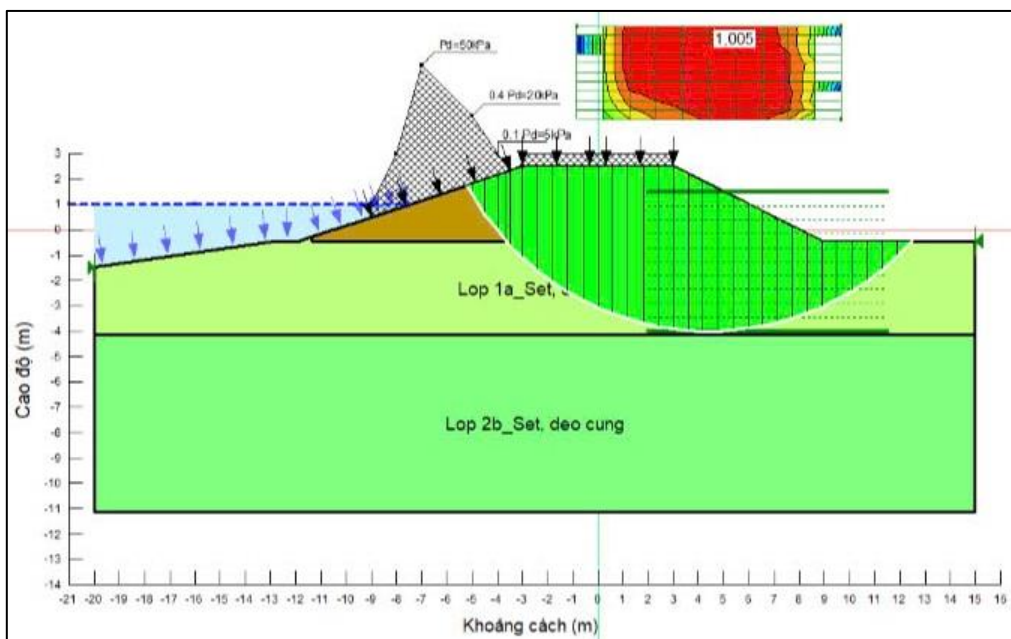
Hình 8. Mô phỏng áp lực sóng biển tác động vào thân đê.

Kết quả ổn định mái phía biển của đê khi chịu tác dụng của áp lực sóng là 1,243 (Hình 9), bán kính cung trượt nguy hiểm nhất nhỏ hơn các trường hợp trên (kịch bản 1 và 2) cho thấy sóng biển không là nguyên nhân trực tiếp gây mất ổn định mái phía biển của đê tuy nhiên rất dễ gây sạt lở bờ đê từ đó gây xói lở bờ đê và giảm hệ số ổn định mái đê (sẽ xem xét trong kịch bản 4).

Sóng biển sẽ làm tăng áp lực bên trong đê và có thể gây mất ổn định bờ đê phía trong đê. Kết quả phân tích ổn định của bờ đê phía trong đê được thể hiện trong hình 10. Từ kết quả phân tích cho thấy dưới tác động của sóng lớn (cao 2 m) rất dễ gây sạt trượt mái phía trong đê. Hệ số ổn định mái phía trong đê là 1,005. Điều này cho thấy tầm quan trọng của việc bảo vệ đê biển tránh chịu tác động trực tiếp của sóng biển.



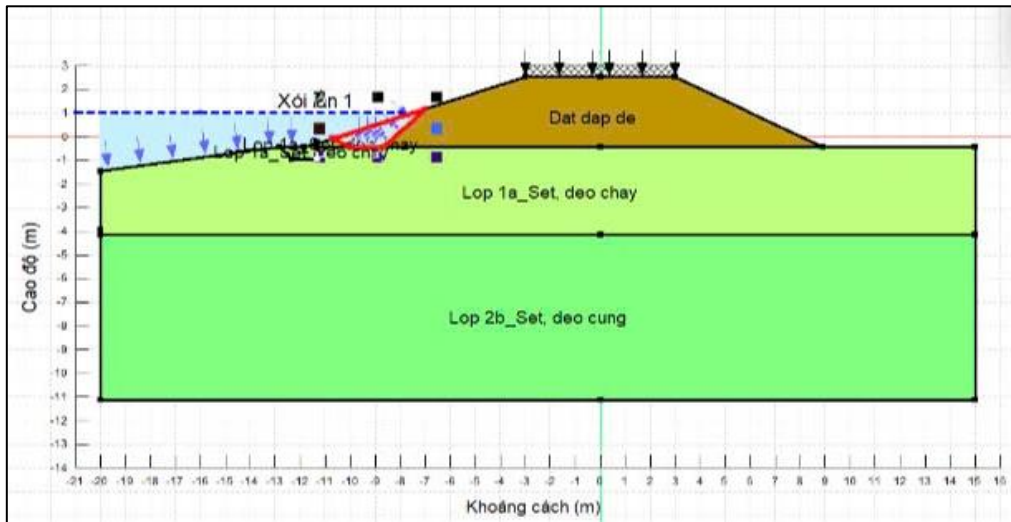
Hình 9. Hệ số ổn định mái đê phía biển, hệ số ổn định 1,243.



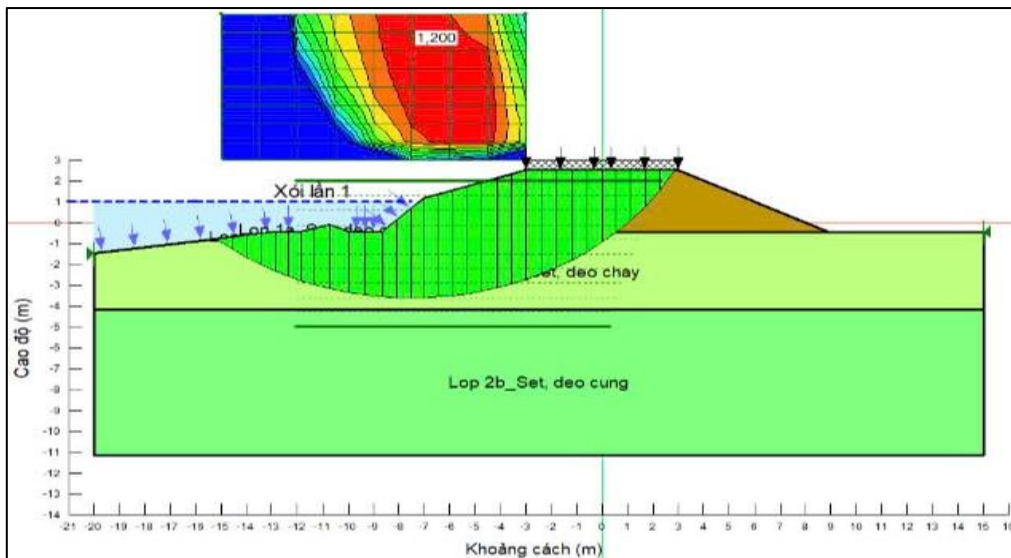
Hình 10. Hệ số ổn định mái đê phía trong đê, hệ số ổn định 1,005.

- Kịch bản 4: Hai kịch bản đầu tiên đều trong điều kiện lý tưởng khi thân đê được bảo vệ hoàn toàn khỏi tác động của sóng biển, tức hành lang rừng ngập mặn phòng hộ còn được giữ nguyên, giảm thiểu tối đa tác động của sóng biển vào đê. Tuy nhiên, thực tế khảo sát cho thấy, rất nhiều đoạn rừng ngập mặn bị phá hỏng hoàn toàn và cũng chưa có biện pháp thay thế bảo vệ đê. Khi sóng biển đánh vào thân đê sẽ làm sạt lở từ mái đê và dẫn tới việc sạt lở lớn thậm chí sụp đổ hoàn toàn đê biển. Để làm rõ vấn đề này, các mô hình phân tích khác

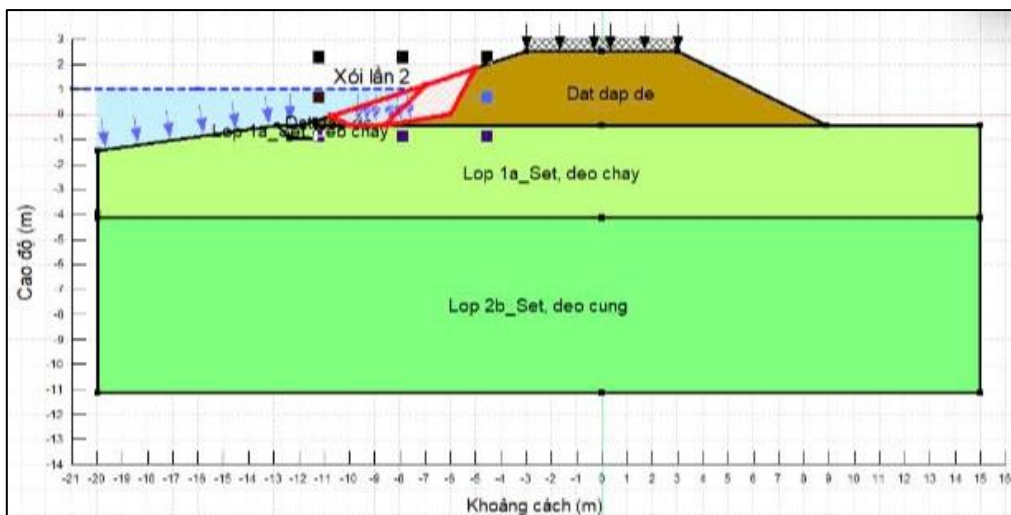
được lập. Tại đây phần mái đê phía biển sẽ chủ động bị khoét sâu tương ứng với việc mái đê bị xói lở bởi sóng biển. Các kết quả nghiên cứu được trình bày ở các hình 11–13.



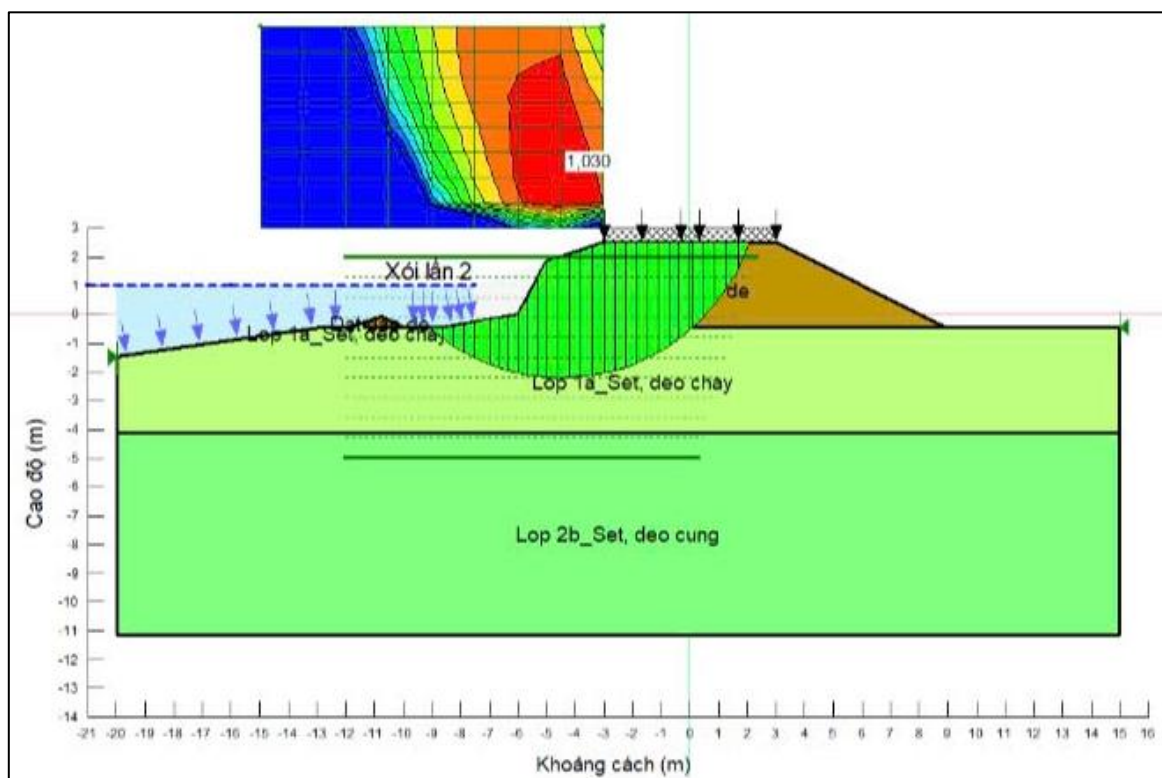
Hình 11. Mô hình phân tích ổn định đê khi bị xói lần 1.



Hình 12. Phân tích ổn định đê khi bị xói lần 1, hệ số ổn định 1.20.



Hình 13. Mô hình phân tích ổn định đê khi bị xói lần 2.



Hình 14. Phân tích ổn định đê khi bị xói lở 2, hệ số ổn định 1,03.

Như kịch bản 4 cho thấy một trong những nguyên nhân chính khiến đê biển bị phá hoại đó là rừng ngập mặn bị phá, làm cho sóng biển đánh trực tiếp vào đê. Có thể thấy đê biển bị xói mòn dần và gây mất ổn định thân đê. Khi bị xói lở thân đê hệ số ổn định của đê giảm từ 1,429 (ở trạng thái không bị phá hoại - kịch bản 1) xuống 1,20 khi xói lở 1 và 1,03 khi xói lở 2. Rừng ngập mặn bị phá hủy, thu hẹp có nhiều nguyên nhân. Có thể kể đến một số nguyên nhân chính sau: khai thác, chặt phá rừng ngập mặn trái phép; sóng biển lớn gây xói lở bờ biển, tàn phá rừng ngập mặn; tình trạng ô nhiễm môi trường bờ biển... Như vậy một trong những biện pháp hữu hiệu có thể bảo vệ đê biển là khôi phục rừng ngập mặn hoặc các giải pháp công trình giảm thiểu tác động của sóng biển vào thân đê. Tổng hợp kết quả phân tích hệ số ổn định ở 4 kịch bản được trình bày ở bảng 4.

Bảng 4. Hệ số ổn định của đê biển ứng với các kịch bản khác nhau.

Các kịch bản	Hệ số ổn định	Hệ số ổn định theo quy phạm
Kịch bản 1: - Đê ở trạng thái bình thường	1,429	1,2
- Đất đắp đê có sức kháng cắt nhỏ	1,139	1,2
Kịch bản 2: Có rãnh dọc phía biển gần chân đê	1,143	1,2
Kịch bản 3: Áp lực do sóng biển	1,243/1,005	1,2
Kịch bản 4: Mái đê bị xói	Xói lở 1: 1,200	1,2
	Xói lở 2: 1,003	1,2

Từ những kết quả đánh giá ở trên cho thấy do đê có chiều cao thấp nên khả năng phá hủy đê do tự trượt bờ đê là rất thấp. Sự phá hoại bờ đê chủ yếu xảy ra khi có sự tác động của yếu tố sóng biển dưới các hình thức:

- Sóng biển bào xói thân đê từ phía biển hoặc do sóng tràn làm bào xói thân đê ở phía đồng. Quá trình này dẫn đến xói lở đất thân đê và làm phá hủy đê;
- Do sóng biển bào xói phần chân đê dẫn đến trượt bờ đê và gây phá hủy đê.

4. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu có thể rút ra một số kết luận sau:

- Phương pháp hệ số ổn định trên phần mềm Geoslope có thể sử dụng để mô phỏng các kịch bản nền đê chịu các tác động khác nhau trong điều kiện tĩnh và từ đó phân tích được sự suy giảm hệ số ổn định và phân tích được nguyên nhân gây mất ổn định đê biển.

- Khi đê mới được xây dựng, giải pháp bảo vệ đê biển còn hiệu quả, mặt đê chưa phá hoại thì hệ số ổn định lớn hơn yêu cầu thiết kế ($1,429 > 1,2$). Khi đất càng yếu thì hệ số ổn định giảm xuống $1,139 < 1,2$. Điều này phản ánh nguyên nhân gây mất ổn định là do đất bùn yếu có sức kháng cắt nhỏ gây mất ổn định nền đê.

- Khi đào tạo thành rãnh ở gần thân đê thì hệ số ổn định giảm từ 1,429 xuống 1,143, gây mất ổn định. Điều này cho thấy, đất đắp đê được lấy từ phía biển cạnh chân đê, tạo thành các rãnh dọc gần thân đê gây mất ổn định cho đê và đặc biệt hạn chế sự suy giảm năng lượng sóng khi đập vào thân đê.

- Khi áp lực sóng tác động vào đê, hệ số ổn định vẫn là 1,243 chưa gây mất ổn định đê biển. Tuy nhiên, sóng biển sẽ làm tăng áp lực ở phía trong đê và hệ số ổn định giảm xuống còn 1,005 gây mất ổn định.

- Khi rừng ngập mặn bị phá hoại, chiều cao thấp, hệ số ổn định bị giảm dần xuống 1,20 khi xói lần 1 và 1,03 khi xói lần 2. Rừng ngập mặn mất là một trong những nguyên nhân chính khiến sóng biển làm xói lở bờ đê và làm mất ổn định đê. Ngoài lý do mất rừng ngập mặn thì bản thân mái đê cũng chưa được bảo vệ bằng các biện pháp phù hợp. Chiều cao đê chưa đáp ứng được yêu cầu bảo vệ nước biển tràn qua khi sóng lớn tại một số vị trí. Bởi vậy, tại những vị trí này cần có giải pháp nâng cao thân đê phù hợp.

- Hạn chế của nghiên cứu là mới phân tích ổn định của đê biển tại các vị trí cụ thể, chưa phân tích được theo diện trải dài của đê biển thể hiện điều kiện thủy động lực học ven biển theo suốt chiều dài đê biển.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.T., N.T.N., B.T.S., T.Đ.L.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.T.N.; Xử lý số liệu: N.T.T.; Viết bản thảo bài báo: N.T.N., N.T.T., B.T.S., T.Đ.L.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.N., N.T.T., B.T.S., T.Đ.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. Anthony, E.J. Beach erosion. In: Finkl C.W.; Makowski C. (eds) Encyclopedia of Coastal Science. *Encycl. Earth Sci. Ser. Springer Cham*. 2019.
2. Bird, E. Coastal geomorphology: An introduction. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK, (Second Edition), 2008, pp. 411.
3. Bird, E.; Lewis, N. Beach renourishment. Springer Cham, 2015, pp. 137.
4. Barilla, G.C.; Barbaro, G.; Foti, G.; Mancuso, P.; Fiamma, V.; Malesinska, A.; Puntorieri, P.; Mandalari, M. Coastal erosion hazard and vulnerability: Case study of Porticello, South Calabria, Italy. *Sustainable Water Resour. Manage.* **2021**, *250*, 181–193.
5. Pilkey, O.H.; Thieler, E.R. Erosion of the United State shoreline. Quaternary coast of the United State: Marine and lacustrine systems. SEPM Special Publication, 1992, pp. 48.
6. Seashore Engineering. Assessment of coastal erosion hotspots in Western Australia. Prepared for the Departments of Planning and Transport. Report SE052-01-Rev1, 2019.
7. European Commission. Living with coastal erosion in Europe - Sediment and space for sustainability. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004.

8. Heger, P.H.; Vashold, L. Disappearing coasts in the Maghreb: Coastal erosion and its cost. Maghreb Technical Notes Series, World Bank Groups, 2021, 04(25).
9. Wong, H. Coastal erosion and its remediation in six Southeast Asian countries. Second China-ASEAN Academy on Ocean Law and Governance Haikou, Hainan, 2016.
10. Durusaju, H.P.; Nandyala, D.K. Coastal erosion studies - A review. *Int. J. Geosci.* **2014**, 5, 341–345.
11. Benjamin, D.J.; Collings, B.; Dickson, M.E.; Ford, M.; Hikuroa, D.; Bickler, S.H.; Ryan, E. Regional implementation of coastal erosion hazard zones for archaeological applications. *J. Cult. Heritage* **2024**, 67, 430–442.
12. Senevirathna, E.M.T.K.; Edirisooriyaa, K.V.D.; Uluwadugeb, S.P.; Wijerathna, K.B.C.A. Analysis of causes and effects of coastal erosion and environmental degradation in Southern Coastal Belt of Sri Lanka. Special Reference to Unawatuna Coastal Area. *Procedia Eng.* **2018**, 212, 1010–1017.
13. Phương, N.T.M.; Tình, N.T.H. Tổng quan về xói mòn bãi biển. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Đại học Duy Tân* **2022**, 3(52), 3–13.
14. Hồng, L.X.; Ninh, P.V. Cường độ và tốc độ xói lở bờ biển Việt Nam. *Tap chí Các Khoa học về Trái đất* **1994**, 4, 174–177.
15. Thanh, T.Đ. Tác động của sóng, bão đối với các công trình bờ biển Bắc Bộ và giải pháp phòng tránh. *Tap chí Các khoa học về trái đất* **2008**, 30(4), 555–565.
16. Hồng, L.X.; An, M.T.; Hòa, H.C. Đặc điểm hiện trạng bồi tụ, xói lở bờ biển và cửa sông từ Vũng Tàu đến Hà Tiên. *Tap chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2004**, 4, 73–81.
17. Huệ, V.H. Giải Pháp công trình phòng chống xói lở bờ biển Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 767, 32–44.
18. Chiên, T.P.; Dũng, N.V.; Chinh, N.Đ.; Kiên, L.A.; Sơn, N.V.; Thành, M.H.; Vũ, D.H.; Tân, L.V.; Lũy, T.B. Nghiên cứu ảnh hưởng của bố trí không gian đê giảm sóng đối với chế độ thủy động lực học tại bờ biển huyện Ba Tri tỉnh Bến Tre. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 768, 54–64.
19. Phạm, H.T.H.; Bui, L.T. Mechanism of erosion zone formation based on hydrodynamic factor analysis in the Mekong Delta coast, Vietnam. *Environ. Technol. Innov.* **2023**, 30, 103094.
20. Hùng, L.M.; Khang, N.D.; Chương, L.T. Xói lở bồi tụ bờ biển Nam Bộ từ thành phố Hồ Chí Minh đến Kiên Giang - Nguyên nhân và các giải pháp bảo vệ. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2011**, 2, 2–9.
21. Khang, N.D.; Hùng, L.M. Thực trạng xói lở bờ biển, suy thoái rừng phòng hộ và xu thế diễn biến đường bờ khu vực ven biển Gò Công Đông, tỉnh Tiền Giang. Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2012.
22. Hoàng, T.B.; Thanh, L.T.P. Diễn biến xói lở bờ, suy thoái rừng ngập mặn và định hướng giải pháp phòng chống cho dải ven biển hạ du đồng bằng sông MeKong. *Tap chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi* **2017**, 39, 1–10.
23. Đông, N.H.; Thảo, Đ.T.P.; Hòa, D.T.T.; Hiền, T.T. Kết hợp sử dụng ảnh vệ tinh viễn thám Landsat và Sentinel -2 trong giám sát biến động bờ biển khu vực tỉnh Quảng Nam. *Tap chí Khoa học Tài Nguyên và Môi trường*, **2017**, 8, 16–26.
24. Cơ quan Hợp tác phát triển Đức (GIZ). Công cụ hỗ trợ ra quyết định Bảo vệ vùng ven biển đồng bằng sông Cửu Long (CPMD), 2018.
25. Khuyên, N.H.; Nụ, N.T.; Sơn, B.T. Phân tích khả năng mất ổn định đường bờ sông Tiền qua huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 755, 13–24.

26. Giang, N.M.; Hoa, N.T.T.; Dâu, T.Đ.; Giang, L.S. Xây dựng mô hình toán số kết hợp mô phỏng diễn biến lòng dẫn và sạt lở bờ sông, áp dụng cho sông Đồng Nai đoạn Cù Lao Rùa. *Tạp chí Khoa học trường Đại học Cần Thơ* **2022**, 58(6A), 68–76.
27. Heiland, M. Phục hồi đê biển tại Kiên Giang, Việt Nam. 2009.
28. TCVN 9901: 2014 - Công trình thủy lợi-Yêu cầu thiết kế đê biển.

Application slope stability analysis by Geoslope to determine the reason of unstability of coastal dyke in Kien Giang province

Nguyen Tien Tai^{1*}, Bui Truong Son², Nguyen Thi Nu², Tran Duc Luan³

¹ Thanh Hoa commune, Giong Rieng district, Kien Giang province, Investment; taibqldagr@gmail.com

² Hanoi University of Mining and Geology; buitruongson@humg.edu.vn; nguyenthinu@humg.edu.vn

³ Center for Consulting, Surveying and Designing National Defense Projects, Military Engineering Command; tranducluanhd@gmail.com

Abstract: Kien Giang has a coastline of 200km, which frequently erodes and threatens the local economic and social development. Although many protection solutions have been proposed, the coastline continues to erode, so it is necessary to accurately determine the causes of sea dike unstability. The article uses data analysis methods from 2000÷2024 and stability coefficient analysis methods on Geoslope software, using different sea dike simulation scenarios, thereby determining the stability coefficient and commenting, explaining the causes of sea dike instability in Kien Giang province. Simulation results compared with field surveys show that the stability coefficient of the sea dike is reduced, causing the sea dike to become unstable. From there, the main causes of sea dike instability in Kien Giang were analyzed as soft soil, embankment soil was taken from the seaward trench next to the dike foot, mangrove forests were lost, and the dike height did not meet the requirements to protect seawater from overflowing when there were big waves at some locations. This is the scientific basis for proposing prevention solutions.

Keywords: Reason; Unstability; Coastal dike; Kien Giang province.