

Đánh giá nguy cơ tổn thương đới bờ biển khu vực Sóc Trăng - Bạc Liêu

Nguyễn Thị Nhân^{1,*}, Lê Đình Nam¹, Phạm Thị Thu Hằng¹, Bùi Thị Bảo Anh¹,

Trần Tuấn Dương¹, Trần Hoàng Yến¹, Phạm Đức Hùng¹, Nguyễn Thùy Linh¹

¹*Viện Các Khoa học Trái đất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST)*

*Email tác giả liên hệ: ntnhan@ies.vast.vn

<https://doi.org/10.67484/mgc.22>

Tóm tắt: Vùng ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu là một trong những khu vực có vai trò quan trọng đối với phát triển kinh tế - xã hội vùng Đồng bằng sông Cửu Long, đồng thời cũng là khu vực chịu tác động mạnh của biến đổi khí hậu, nước biển dâng và quá trình xói lở bờ biển. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp chỉ số tổn thương bờ biển (Coastal Vulnerability Index - CVI) để đánh giá mức độ tổn thương đới bờ trên cơ sở tích hợp sáu yếu tố thành phần gồm: địa mạo bờ biển, biến động đường bờ, độ dốc bờ biển, mực nước biển dâng, biên độ triều trung bình và chiều cao sóng. Kết quả cho thấy khu vực nghiên cứu có sự phân hóa rõ rệt về mức độ tổn thương. Trong tổng chiều dài khoảng 127,7 km đường bờ biển, có 50,82 km thuộc nhóm tổn thương cao và rất cao (39,70%), 39,66 km thuộc nhóm tổn thương trung bình (30,98%), 20,54 km thuộc nhóm tổn thương thấp (16,05%) và 16,68 km thuộc nhóm tổn thương rất thấp (13,27%). Các khu vực có mức độ tổn thương cao tập trung chủ yếu tại ven biển thị xã Vĩnh Châu (Sóc Trăng), khu vực Đông Hải và Gành Hào (Bạc Liêu), nơi có địa hình thấp, độ dốc nhỏ, tốc độ xói lở lớn và chịu tác động mạnh của sóng gió mùa. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học phục vụ công tác quản lý tổng hợp vùng bờ, thiết lập hành lang bảo vệ bờ biển và xây dựng các giải pháp thích ứng với biến đổi khí hậu và nước biển dâng tại khu vực ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu.

Từ khóa: Chỉ số tổn thương bờ biển (CVI); xói lở bờ biển; biến đổi khí hậu; nước biển dâng; Sóc Trăng - Bạc Liêu.

Ngày nhận bài: 11/06/2026 Ngày sửa lại: 04/07/2026 Ngày chấp nhận đăng: 05/07/2026 Ngày xuất bản: 30/08/2026

Assessment of Coastal Zone Vulnerability Risks in the Area from Soc Trang to Bac Lieu

Nguyen Thi Nhan^{1,*}, Le Dinh Nam¹, Pham Thi Thu Hang¹, Bui Thi Bao Anh¹,

Tran Tuan Duong¹, Tran Hoang Yen¹, Pham Duc Hung¹, Nguyen Thuy Linh¹

¹*Institute of Earth Sciences, Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)*

* Corresponding Author Email: ntnhan@ies.vast.vn

Abstract: The coastal zone of Soc Trang and Bac Lieu provinces is one of the most important socio-economic regions in the Mekong Delta. However, in recent decades, this area has been increasingly affected by climate change, sea-level rise, and coastal erosion. This study applies the Coastal Vulnerability Index (CVI) method to assess coastal vulnerability based on the integration of six key factors, including coastal geomorphology, shoreline change rate, coastal slope, sea-level rise, mean tidal range, and wave height. The results reveal a clear spatial variation in coastal vulnerability along the study area. Of the total coastline length of approximately 127.7 km, about 50.82 km is classified as having high and very high vulnerability (39.70%), 39.66 km as moderate vulnerability (30.98%), 20.54 km as low vulnerability (16.05%), and 16.68 km as very low vulnerability (13.27%). Areas with high vulnerability are mainly concentrated along the coast of Vinh Chau Town (Soc Trang Province), Dong Hai District, and Ganh Hao estuary (Bac Lieu Province), where low-lying terrain, gentle coastal slopes, significant shoreline erosion, and strong wave action are dominant. The findings provide a scientific basis for integrated coastal zone management, coastal protection planning, and the development of climate change adaptation strategies in the Soc Trang-Bac Lieu coastal region.

Keywords: Coastal Vulnerability Index (CVI); Coastal erosion; Climate change; Sea-level rise; Soc Trang-Bac Lieu coast.

Submission received: 11/06/2026

Revised: 04/07/2026

Accepted: 05/07/2026

Published: 30/08/2026

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng, bờ biển Việt Nam bị biến đổi rất mạnh, các hiện tượng như nước biển dâng, suy giảm nguồn cung cấp trầm tích, thay đổi chế độ thủy động lực, đặc biệt là xói lở, đang diễn ra ngày càng rõ rệt, làm gia tăng mức độ tổn thương của đới bờ gây ra nhiều tổn thất về tài sản và ảnh hưởng đến sự phát triển kinh tế - xã hội của các tỉnh ven biển nói riêng và của cả nước nói chung.

Phương pháp chỉ số tổn thương bờ biển (CVI- Coastal Vulnerability Index) đã được phát

triển từ những năm cuối của thế kỉ XX, đầu tiên phải kể đến là công bố của Gornitz, nnk (1990) [1] với 7 tham số vật lý liên quan đến đặc điểm tự nhiên đới bờ. Chỉ số này tiếp tục được điều chỉnh bởi Gornitz, nnk [2-6] bằng việc bổ sung thêm 6 tham số thuộc nhóm yếu tố khí hậu biển. Năm 2000, căn cứ vào bộ chỉ số này, tổ chức Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS) đã điều chỉnh và áp dụng cho việc đánh giá mức độ dễ bị tổn thương khu vực bờ biển trên toàn khu vực bờ biển của Mỹ (United States) [7-9]. Trong nghiên cứu đánh giá tính dễ bị tổn thương từ các nguy cơ xói mòn của các khu vực ven biển Hoa Kỳ, Boruff và cộng sự (2005 [10, 11] đã đề xuất một cách tiếp cận mới trong đó dựa vào chỉ số dễ bị tổn thương xã hội (SoVI) với các biến kinh tế xã hội được phát triển bởi Cutter và cộng sự (2000, 2003) [12, 13]. Edward J. Anthony và nnk (2015) đã đưa ra mối liên kết giữa xói lở ở đồng bằng sông Cửu Long với các hoạt động của con người [14]. Một vài quốc gia phát triển đã sử dụng phương pháp đánh giá tổn thương bờ biển như: Canada [15] Australia [16], Tây Ban Nha [17], Thổ Nhĩ Kỳ [18]... Năm 2019, Zheng đã nghiên cứu đánh giá mức độ tổn thương của bờ biển Xiamen (Trung Quốc) do xói [20], chỉ số đa tiêu chí dựa trên hai nhóm tiêu chí tự nhiên và kinh tế - xã hội đã được áp dụng. Nhóm tiêu chí tự nhiên gồm có đặc tính của bờ biển (hình thái bờ biển, cao độ và độ dốc bãi biển, các hệ sinh thái tự nhiên) và các yếu tố tác động đến bờ biển (chiều cao sóng, số cơn bão). Chỉ số kinh tế - xã hội gồm có cơ sở hạ tầng ven biển (đường giao thông, các công trình dân dụng) và khả năng ứng phó thiên tai (các hoạt động của dân cư, nguồn vốn). Cách đánh giá trong nghiên cứu của Zheng khá toàn diện khi xem xét cả đặc điểm tự nhiên và điều kiện kinh tế - xã hội vùng bờ xong đòi hỏi phải có nhiều dữ liệu đánh giá. Từ kết quả áp dụng thực tế tại các vùng biển trên thế giới có thể nhận định, bộ chỉ số CVI đã có nhiều sự điều chỉnh, hoàn thiện theo thời gian và hiện là một công cụ đắc lực giúp các nhà khoa học định lượng được mức độ tổn thương, phạm vi tổn thương bờ biển từ đó xây dựng cơ sở dữ liệu giúp các nhà quản lý định hướng các giải pháp bảo vệ và phát triển vùng bờ.

Tại Việt Nam, một số nghiên cứu liên quan đến mức độ dễ bị tổn thương của bờ biển do ảnh hưởng của sạt lở bờ biển, biến đổi khí hậu, nước biển dâng diễn hình như: Đinh Thái Hưng (2009) [21] đã nghiên cứu xây dựng phương pháp tiếp cận đánh giá tính dễ bị tổn thương cho bờ biển Việt Nam, trong đó có sử dụng phương pháp của Gornitz et (1994). Năm 2016, Bộ Tài nguyên và Môi trường đã ban hành Thông tư 29/2016/TT-BTNMT quy định kỹ thuật thiết lập hành lang bảo vệ bờ biển, trong đó có hướng dẫn đánh giá mức độ dễ bị tổn thương do ảnh hưởng của sạt lở bờ biển, biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho một khu vực ven biển. Theo đó, mức độ dễ bị tổn thương là trung bình cộng của tám tiêu chí, bao gồm biên độ triều trung bình (m), tốc độ sạt lở hoặc bồi tụ (m/năm), địa chất, địa mạo, thảm phủ bề mặt, mức độ bảo vệ chống lại năng lượng sóng thịnh hành, các hoạt động của con người, bão, áp thấp nhiệt đới (số lượng cơn/năm). Về cơ bản, cách đánh giá mức độ dễ bị tổn thương của Bộ Tài nguyên và Môi trường bao gồm đặc điểm tự nhiên và điều kiện kinh tế - xã hội vùng bờ xong chưa toàn diện như của Zheng (2019). Năm 2019, Vũ Văn Phái [22] đã sử dụng chỉ số mức độ dễ bị tổn thương bờ biển để nghiên cứu biến động đường bờ biển các tỉnh Nam Bộ dưới tác động của biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng. Nguyễn Hiệu [23] **Error! Reference source not found.** đã áp dụng chỉ số tổn thương CVI để nghiên cứu mức độ dễ bị tổn thương bờ biển Thừa Thiên Huế; Lê T. T. Hiền (2014) [24] **Error! Reference source not found.** và Nguyễn Thị Thế Nguyên (2020) [25] **Error! Reference source not found.** đã sử dụng CVI để thành lập bản đồ dự báo tổn thương bờ biển Bình Thuận. Năm 2022, Đặng Kinh Bắc đã tính toán chỉ số CVI cho khu vực bờ biển Sơn Trà - Cửa Đại thông qua các biến số liên quan đến đặc trưng bờ biển, động lực bờ biển và kinh tế - xã hội [26] **Error! Reference source not found.** Gần đây là những nghiên cứu của Mai Trọng Luân, Trần Đăng Trung, 2023 [27] **Error! Reference source not found.** đã nghiên cứu biến động đường bờ và nguy cơ tổn thương dải ven biển tỉnh Cà Mau bằng dữ liệu viễn thám đa thời kỳ kết hợp GIS.

Các nghiên cứu về tổn thương và dự báo mức độ tổn thương đã và đang đóng góp đáng kể trong việc quản lý, khai thác bền vững tài nguyên, hình thành các chương trình ưu tiên và bảo tồn, hoạch định chính sách, định hướng quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội, làm cơ sở cho đánh

giá môi trường chiến lược và quy hoạch cơ sở hạ tầng. Tuy nhiên, các đánh giá tổng hợp về nguy cơ tổn thương đới bờ đều thực hiện trên diện rộng và vẫn còn nhiều hạn chế, đặc biệt là trong việc tích hợp các yếu tố tự nhiên và nhân sinh. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá nguy cơ tổn thương chi tiết đới bờ biên khu vực Sóc Trăng - Bạc Liêu nhằm xác định mức độ tổn thương và các yếu tố chi phối, làm cơ sở cho công tác quản lý và quy hoạch phát triển bền vững cho địa phương.

Các nghiên cứu về đánh giá tổn thương đới bờ đã chứng minh hiệu quả của chỉ số CVI trong việc nhận diện các khu vực có nguy cơ cao trước tác động của xói lở, nước biển dâng và biến đổi khí hậu. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu trước đây được thực hiện trên phạm vi rộng, tập trung vào đánh giá hiện trạng hoặc dự báo biến động đường bờ, trong khi các nghiên cứu đánh giá chi tiết nguy cơ tổn thương cho từng đoạn bờ cụ thể ở khu vực ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu còn rất hạn chế. Đặc biệt, khu vực này nằm ở trung tâm vùng bờ phía Đông Đồng bằng sông Cửu Long, nơi đang chịu tác động đồng thời của suy giảm nguồn cung cấp bùn cát từ thượng nguồn sông Mê Kông, nước biển dâng, gia tăng hoạt động khai thác tài nguyên và các công trình chỉnh trị ven biển. Mặc dù đã xuất hiện nhiều điểm nóng xói lở nghiêm trọng trong những năm gần đây, vẫn chưa có nghiên cứu nào xây dựng được bức tranh tổng hợp về mức độ tổn thương đới bờ trên toàn tuyến bờ biển Sóc Trăng - Bạc Liêu dựa trên bộ dữ liệu cập nhật và hệ thống chỉ tiêu phù hợp với điều kiện địa phương. Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu CVI tại Việt Nam chủ yếu sử dụng các chỉ tiêu tự nhiên hoặc đánh giá ở quy mô khái quát, chưa làm rõ sự phân hóa không gian của nguy cơ tổn thương trên từng đoạn bờ cũng như mối liên hệ giữa đặc điểm địa mạo, động lực biển và xu thế biến động đường bờ. Điều này gây khó khăn cho việc xác định các khu vực ưu tiên trong quản lý, thiết lập hành lang bảo vệ bờ biển và triển khai các giải pháp thích ứng với biến đổi khí hậu.

Nghiên cứu này tiến hành đánh giá nguy cơ tổn thương đới bờ biển Sóc Trăng - Bạc Liêu thông qua việc tích hợp các tham số đặc trưng về địa chất - địa mạo, động lực biển, biến động đường bờ và các yếu tố khí hậu - hải văn trong khung phương pháp chỉ số tổn thương bờ biển. Qua đó xây dựng được cơ sở dữ liệu đồng bộ và cập nhật cho toàn bộ dải bờ biển Sóc Trăng - Bạc Liêu; đánh giá mức độ tổn thương ở độ phân giải không gian chi tiết theo từng đoạn bờ, cho phép nhận diện chính xác các khu vực trọng điểm có nguy cơ cao; làm rõ vai trò chi phối của các yếu tố địa mạo, xói lở - bồi tụ và động lực biển đối với sự phân hóa nguy cơ tổn thương và cung cấp cơ sở khoa học trực tiếp phục vụ thiết lập hành lang bảo vệ bờ biển, quy hoạch không gian ven biển và quản lý tổng hợp vùng bờ trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại Đồng bằng sông Cửu Long.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu sử dụng

Nghiên cứu sử dụng tổng hợp các nguồn dữ liệu địa chất, địa mạo, địa hình, viễn thám và khí tượng hải văn nhằm đánh giá nguy cơ tổn thương đới bờ biên khu vực Sóc Trăng - Bạc Liêu. Các nguồn dữ liệu chính bao gồm:

- Bản đồ địa chất và địa mạo khu vực ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu phục vụ xác định đặc điểm địa chất, địa mạo bờ biển.
- Dữ liệu mô hình số độ cao (DEM) được sử dụng để tính toán độ dốc bờ biển và độ cao địa hình vùng ven bờ.
- Ảnh viễn thám Landsat đa thời kỳ kết hợp ảnh SPOT-5 độ phân giải cao phục vụ phân tích biến động đường bờ biển.
- Số liệu khảo sát thực địa và các kết quả điều tra hiện trạng xói lở - bồi tụ khu vực nghiên cứu.
- Số liệu khí tượng hải văn gồm chế độ sóng, thủy triều và mực nước biển dâng được thu thập từ các trạm quan trắc và các nghiên cứu đã công bố.
- Các dữ liệu được chuẩn hóa và tích hợp trong môi trường GIS nhằm xây dựng cơ sở dữ liệu phục vụ tính toán các chỉ số thành phần và thành lập bản đồ nguy cơ tổn thương đới bờ.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Xây dựng các chỉ số thành phần

Đánh giá nguy cơ tổn thương đới bờ được thực hiện dựa trên phương pháp chỉ số tổn thương bờ biển do Thieler và Hammar-Klose (2000) đề xuất[28]. Phương pháp này cho phép tích hợp các yếu tố đặc trưng về địa chất - địa mạo, động lực biển và xu thế biến động đường bờ nhằm xác định mức độ tổn thương tương đối của từng đoạn bờ biển.

Trong nghiên cứu này, sáu yếu tố thành phần được lựa chọn bao gồm: Đặc điểm địa mạo bờ biển (a); Xu hướng biến động đường bờ (b); Độ dốc bờ biển (c); Tốc độ thay đổi mực nước biển tương đối (d); Biên độ triều trung bình (e) và Chiều cao sóng trung bình (f). Mỗi yếu tố được phân cấp thành 5 mức tổn thương từ rất thấp đến rất cao, tương ứng với giá trị từ 1 đến 5. Việc phân cấp được thực hiện dựa trên điều kiện tự nhiên khu vực nghiên cứu, kế thừa phương pháp của Thieler và Hammar-Klose (2000) cùng các nghiên cứu đã công bố tại Việt Nam.

2.2.2. Tính toán chỉ số tổn thương bờ biển (CVI)

Chỉ số tổn thương bờ biển (CVI) được xác định theo công thức:

$$CVI = \sqrt{\frac{a \times b \times c \times d \times e \times f}{6}}$$

Trong đó:

- a: Đặc điểm địa mạo bờ biển;
- b: Xu hướng biến động đường bờ;
- c: Độ dốc bờ biển;
- d: Tốc độ thay đổi mực nước biển tương đối;
- e: Biên độ triều trung bình;
- f: Chiều cao sóng trung bình.

Giá trị CVI được tính toán cho từng mặt cắt vuông góc với đường bờ biển. Sau khi tính toán, các giá trị CVI được sắp xếp theo thứ tự tăng dần và phân chia thành năm cấp tổn thương gồm: rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao. Kết quả cuối cùng được tích hợp trong môi trường GIS để xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ tổn thương đới bờ biển khu vực Sóc Trăng - Bạc Liêu.

2.2.3. Thành lập bản đồ nguy cơ tổn thương đới bờ

Các lớp dữ liệu thành phần được chuẩn hóa, nội suy và tích hợp trong môi trường GIS. Kết quả tính toán chỉ số CVI được biểu diễn trên bản đồ nhằm xác định sự phân hóa không gian của mức độ tổn thương dọc theo bờ biển Sóc Trăng - Bạc Liêu. Trên cơ sở đó, các khu vực có nguy cơ tổn thương cao và rất cao được nhận diện để phục vụ công tác quản lý tổng hợp vùng bờ, thiết lập hành lang bảo vệ bờ biển và đề xuất các giải pháp thích ứng với biến đổi khí hậu.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả tính các chỉ số thành phần xác định mức độ ảnh hưởng của sạt lở bờ biển

3.1.1. Đặc điểm địa mạo bờ biển

Trong phương pháp chỉ số tổn thương bờ biển (CVI), địa mạo bờ biển là một trong những yếu tố quan trọng phản ánh khả năng chống chịu tự nhiên của đới bờ trước tác động của sóng, thủy triều, nước biển dâng và các quá trình động lực ven bờ. Những khu vực có địa hình thấp, vật liệu cấu tạo bờ rời và dễ bị biến đổi thường được đánh giá có mức độ tổn thương cao hơn so với các khu vực có địa hình ổn định và khả năng chống chịu tốt.

Khu vực ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu thuộc phần trẻ của đồng bằng châu thổ sông Mê Kông, được hình thành chủ yếu trong Holocen muộn dưới tác động tổng hợp của các quá trình sông, biển và thủy triều. Các dạng địa mạo chủ yếu bao gồm bề mặt tích tụ sông - biển bằng phẳng, các doi cát ven biển, bãi triều bùn sét và hệ thống rừng ngập mặn phân bố dọc theo đường bờ. Thành phần vật chất cấu tạo chủ yếu là bùn, sét và cát mịn, có độ gắn kết thấp, dễ bị tái phân bố dưới tác động của sóng và dòng chảy ven bờ [29] **Error! Reference source not found.**

Dạng địa mạo phân bố rộng nhất trong khu vực nghiên cứu là bề mặt tích tụ sông - biển bằng phẳng tuổi Holocen muộn. Đơn vị địa mạo này có độ cao phổ biến dưới 2 m, địa hình tương

đồi bằng phẳng và được cấu tạo chủ yếu bởi trầm tích bột sét do hệ thống sông Mê Kông mang ra và được thủy triều tái phân bố. Đặc điểm địa hình thấp cùng vật liệu trầm tích mềm yếu làm cho khu vực này dễ bị tác động bởi xói lở bờ biển và ngập lụt khi xảy ra nước biển dâng hoặc triều cường, do đó được đánh giá có mức độ tổn thương từ trung bình đến cao.

Dọc theo một số đoạn bờ biển còn xuất hiện các doi cát ven biển kéo dài gần song song với đường bờ hiện nay. Đây là sản phẩm của quá trình vận chuyển và tích tụ trầm tích dưới tác động của sóng và dòng chảy dọc bờ. Mặc dù đóng vai trò như các dải chắn tự nhiên bảo vệ vùng phía trong, các doi cát có tính ổn định không cao và dễ bị biến đổi dưới tác động của động lực biển, đặc biệt trong điều kiện thiếu hụt nguồn cung cấp bùn cát. Vì vậy, các khu vực này được xếp vào nhóm có mức độ tổn thương trung bình.

Bãi triều bùn sét phân bố phổ biến tại khu vực ven biển Bạc Liêu và một số đoạn ven biển Sóc Trăng. Đây là dạng địa mạo có địa hình thấp, độ dốc nhỏ và được cấu tạo bởi vật liệu hạt mịn có độ liên kết yếu. Khi rừng ngập mặn bị suy giảm hoặc bãi triều bị thu hẹp, sóng có thể tác động trực tiếp vào chân bờ, làm gia tăng tốc độ xói lở và gây mất ổn định đường bờ. Do đó, các khu vực bãi triều bùn sét thường được đánh giá thuộc nhóm có mức độ tổn thương cao đến rất cao.

Ngược lại, các khu vực có rừng ngập mặn phát triển tương đối tốt đóng vai trò như một lớp đệm sinh thái tự nhiên, góp phần làm giảm năng lượng sóng, giữ lại bùn cát và ổn định đường bờ. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng rừng ngập mặn có khả năng làm suy giảm đáng kể tác động của sóng và hạn chế quá trình xói lở bờ biển. Vì vậy, những đoạn bờ còn duy trì được đai rừng ngập mặn liên tục thường được đánh giá có mức độ tổn thương thấp hơn so với các khu vực đã bị suy thoái hoặc mất rừng.

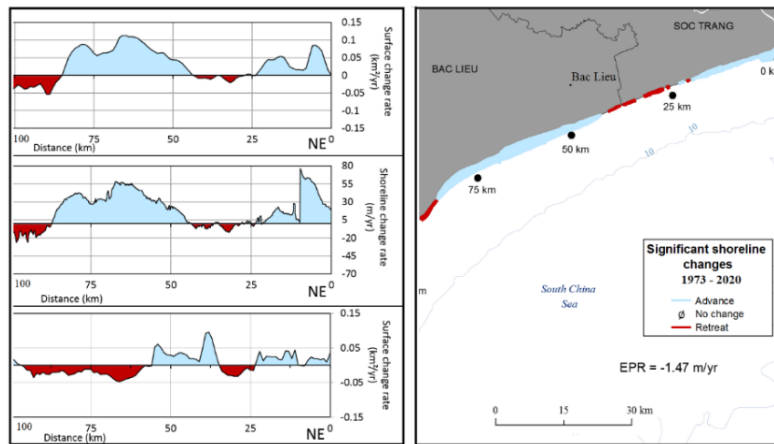
Nhìn chung, đặc điểm địa mạo khu vực nghiên cứu phản ánh rõ tính chất của một đồng bằng ven biển trẻ với địa hình thấp, vật liệu trầm tích dễ rời và chịu tác động mạnh của các quá trình động lực biển. Theo cách tiếp cận của chỉ số CVI, các khu vực bãi triều bùn sét đang xói lở được xếp vào nhóm có mức độ tổn thương rất cao; các bề mặt tích tụ sông - biển và doi cát ven biển thuộc nhóm tổn thương trung bình đến cao; trong khi các khu vực có rừng ngập mặn phát triển tốt được xếp vào nhóm tổn thương thấp.

3.1.2. Biến động đường bờ biển

Biến động đường bờ biển là một trong những chỉ tiêu quan trọng phản ánh mức độ ổn định của đới bờ và được sử dụng trực tiếp trong tính toán chỉ số tổn thương bờ biển (CVI), các khu vực có tốc độ xói lở lớn thường được đánh giá có mức độ tổn thương cao hơn do nguy cơ mất đất, suy giảm hệ sinh thái ven biển và gia tăng tác động của nước biển dâng.

Biến động đường bờ khu vực ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu được xác định từ chuỗi ảnh viễn thám Landsat và SPOT-5 giai đoạn 1973 - 2020. Các đường bờ được số hóa từ ảnh viễn thám đa thời kỳ kết hợp với ranh giới ngoài của thảm thực vật ven biển nhằm bảo đảm tính nhất quán trong xác định vị trí đường bờ. Sau đó, công cụ Digital Shoreline Analysis System (DSAS) được sử dụng để tính toán tốc độ thay đổi đường bờ theo phương pháp End Point Rate (EPR).

Kết quả phân tích cho thấy đường bờ khu vực nghiên cứu có xu hướng biến động không đồng đều theo không gian (Hình 1). Giá trị tốc độ thay đổi đường bờ trung bình của toàn khu vực đạt -1,47 m/năm, phản ánh xu thế xói lở chiếm ưu thế trong giai đoạn nghiên cứu.



Hình 1. Biến động đường bờ ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu giai đoạn 1973-2020

Các đoạn bờ có xu hướng bồi tụ tập trung chủ yếu tại khu vực ven biển Sóc Trăng, đặc biệt từ Cù Lao Dung đến khu vực cửa Mỹ Thanh. Tại đây, tốc độ bồi tụ dao động từ vài mét đến trên 20 m/năm, một số vị trí đạt giá trị cao hơn do quá trình tích tụ bùn cát mạnh dưới tác động của nguồn vật liệu từ hệ thống sông Mê Kông và vận chuyển trầm tích dọc bờ.

Ngược lại, các đoạn bờ xói lở tập trung chủ yếu tại khu vực ven biển Bạc Liêu, đặc biệt từ khu vực Nhà Mát, Vĩnh Trạch Đông, Long Điền Tây đến cửa Gành Hào. Nhiều đoạn bờ ghi nhận tốc độ xói lở từ -5 đến -15 m/năm, trong đó khu vực cửa Gành Hào là điểm nóng xói lở với tốc độ suy giảm đường bờ lớn nhất toàn vùng nghiên cứu. Đây cũng là khu vực thường xuyên xảy ra sạt lở bờ biển, ảnh hưởng trực tiếp đến hệ thống đê biển, rừng ngập mặn và các công trình hạ tầng ven bờ.

Đối chiếu với bản đồ phân bố không gian cho thấy các khu vực xói lở mạnh thường trùng với những đoạn bờ có địa hình thấp, nền bãi triều bùn sét mềm yếu và chịu tác động trực tiếp của sóng gió mùa Đông Bắc. Trong khi đó, khu vực ven biển Vĩnh Châu và một số đoạn bờ phía Đông Bắc có xu hướng bồi tụ hoặc tương đối ổn định nhờ điều kiện tích tụ trầm tích thuận lợi.

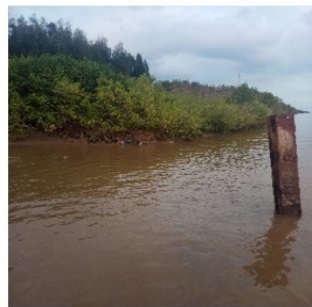
Kết quả khảo sát thực địa năm 2018 cũng ghi nhận nhiều đoạn bờ biển xuất hiện hiện tượng xói lở chân bờ, suy giảm diện tích rừng ngập mặn và hư hỏng các công trình bảo vệ bờ, đặc biệt tại khu vực Gành Hào, Vĩnh Trạch Đông và Nhà Mát (Hình 2). Sự suy giảm vai trò bảo vệ của rừng ngập mặn làm gia tăng mức độ tác động của sóng và dòng chảy ven bờ lên đường bờ biển.



Đê kè Gành Hào, huyện Đông Hải (Bạc Liêu) bị sóng đánh gây sạt lở nghiêm trọng



Bờ biển Bạc Liêu bị xói lở nghiêm trọng



Diện tích rừng ngập mặn đang bị thu hẹp dần do xói lở bờ biển Bạc Liêu



Xói lở mạnh tại khu vực Nhà máy điện gió Bạc Liêu (xã Vĩnh Trạch Đông)

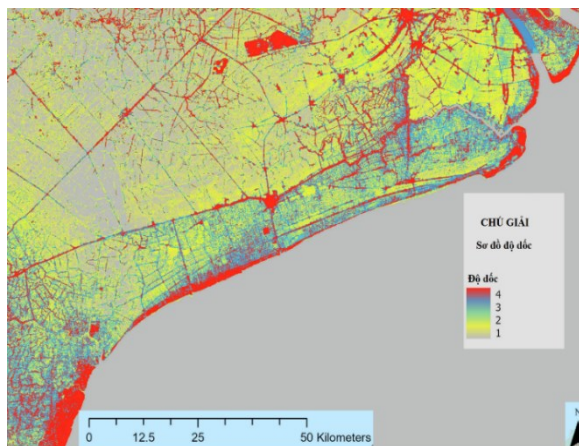
Hình 2. Một số hình ảnh hiện trạng xói lở bờ biển khu vực Bạc Liêu và Sóc Trăng (ảnh khảo sát năm 2018)

Nhìn chung, biến động đường bờ là một trong những yếu tố chi phối mạnh nhất đến mức độ tổn thương đối bờ khu vực nghiên cứu. Theo thang phân cấp CVI, các đoạn bờ có tốc độ xói lở lớn được xếp vào nhóm có mức độ tổn thương cao đến rất cao, trong khi các khu vực ổn định hoặc có xu hướng bồi tụ được xếp vào nhóm tổn thương thấp hơn.

3.1.3. Độ dốc bờ biển

Độ dốc bờ biển là một trong những nhân tố liên quan đến khả năng chống chịu của địa hình ven biển trước các tác động của nước biển dâng, triều cường và ngập lụt ven biển. Những khu vực có địa hình bằng phẳng, độ dốc nhỏ thường dễ bị ngập trên diện rộng khi mực nước biển dâng hoặc xuất hiện các hiện tượng thời tiết cực đoan, do đó được đánh giá có mức độ tổn thương cao hơn so với các khu vực có địa hình dốc.

Trong nghiên cứu này, độ dốc địa hình được xác định từ dữ liệu mô hình số độ cao Copernicus DEM GLO-30 với độ phân giải không gian 30 m. Dữ liệu DEM được xử lý trên nền tảng Google Earth Engine (GEE), trong đó độ dốc được tính toán bằng hàm *Terrain.slope* và chuyển đổi sang đơn vị phần trăm (%). Kết quả sau đó được phân cấp thành 5 mức tổn thương phục vụ tính toán chỉ số CVI gồm: rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao.



Hình 3. Sơ đồ độ dốc bờ biển khu vực Sóc Trăng - Bạc Liêu

Kết quả thành lập bản đồ độ dốc (Hình 3) cho thấy địa hình khu vực ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu có đặc trưng tương đối bằng phẳng, phù hợp với đặc điểm của vùng đồng bằng châu thổ trẻ thuộc hệ thống sông Mê Kông. Tuy nhiên, mức độ phân hóa độ dốc vẫn thể hiện khá rõ giữa các khu vực ven biển, cửa sông và nội đồng.

Các khu vực có độ dốc rất thấp đến thấp (nhóm tổn thương cao và rất cao) phân bố tập

trung dọc theo dải bãi triều ven biển, khu vực rừng ngập mặn, vùng đất ngập nước ven bờ và các khu vực thấp trũng phía trong đồng bằng. Đây là những khu vực có khả năng bị ảnh hưởng mạnh bởi ngập lụt do triều cường và nước biển dâng. Đặc biệt, dải ven biển từ Vĩnh Châu đến Đông Hải và khu vực cửa Gành Hào xuất hiện các vùng có địa hình thấp kéo dài, làm gia tăng mức độ nhạy cảm trước các quá trình xói lở và ngập ven biển.

Ngược lại, các khu vực có độ dốc trung bình đến cao (nhóm tổn thương thấp và rất thấp) phân bố cục bộ tại các giồng cát ven biển, đê biển, khu dân cư tập trung và một số khu vực có địa hình nhân sinh. Các khu vực này có khả năng hạn chế sự lan truyền của nước biển vào đất liền tốt hơn so với các vùng địa hình thấp xung quanh.

Căn cứ vào kết quả phân cấp độ dốc, phần lớn diện tích khu vực nghiên cứu thuộc nhóm độ dốc thấp đến trung bình, phản ánh tính dễ bị tổn thương tương đối cao của vùng ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu trước tác động của nước biển dâng và các hiện tượng khí tượng thủy văn cực đoan. Do đó, độ dốc địa hình được xác định là một trong những yếu tố góp phần đáng kể làm gia tăng nguy cơ tổn thương của đới bờ trong khu vực nghiên cứu.

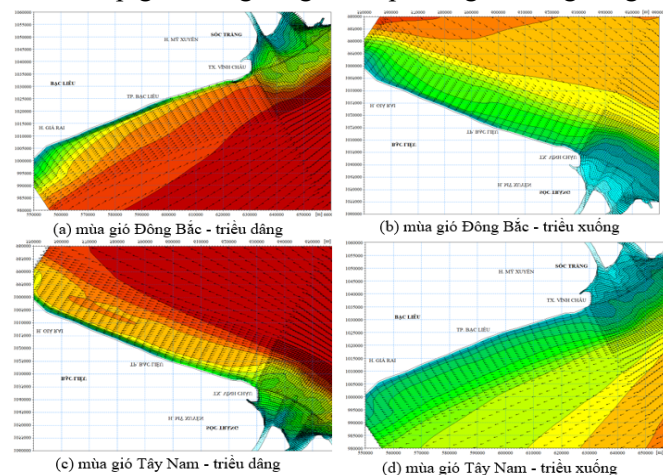
3.1.4. Chế độ sóng

Sóng biển là một trong những yếu tố động lực quan trọng chi phối quá trình vận chuyển bùn cát, biến động đường bờ và mức độ tổn thương của đới bờ ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu. Trường sóng khu vực nghiên cứu được hình thành từ sự tương tác giữa sóng biển Đông lan truyền vào bờ, sóng do gió địa phương sinh ra, địa hình đáy biển, chế độ thủy triều và các quá trình biến đổi sóng như khúc xạ, nhiễu xạ và sóng vỡ. Kết quả mô phỏng cho thấy trường sóng khu vực ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu có sự khác biệt rõ rệt giữa mùa gió Đông Bắc và mùa gió Tây Nam (Hình 4).

Trong mùa gió Đông Bắc, sóng biển khơi có hướng chủ đạo từ Đông và Đông Nam truyền vào khu vực nghiên cứu. Do ảnh hưởng của địa hình đáy biển và quá trình khúc xạ khi tiến vào vùng nước nông, hướng sóng có xu hướng vuông góc với các đường đẳng sâu. Đây là thời kỳ xuất hiện các đợt sóng có năng lượng lớn nhất trong năm, với chiều cao sóng ngoài khơi phổ biến từ 1.0 - 1.2 m và giảm dần khi truyền vào vùng ven bờ. Sóng mùa Đông Bắc đóng vai trò quan trọng trong quá trình xói lở bờ biển, đặc biệt tại các khu vực có bãi triều hẹp hoặc thiếu đai rừng ngập mặn bảo vệ. Tác động của sóng kết hợp với triều cường làm gia tăng khả năng phá hủy chân bờ và thúc đẩy quá trình lùi bờ tại nhiều khu vực ven biển Bạc Liêu và Sóc Trăng.

Trong mùa gió Tây Nam, trường sóng có cường độ yếu hơn đáng kể. Sóng chủ yếu có hướng Tây Nam và được hình thành từ sự kết hợp giữa sóng do gió địa phương và sóng lừng từ ngoài khơi truyền vào. Chiều cao sóng ngoài khơi phổ biến khoảng 0.5 - 1.0 m, nhỏ hơn khoảng một nửa so với mùa gió Đông Bắc. Kết quả mô phỏng cho thấy chiều cao sóng giảm nhanh khi tiến vào khu vực ven bờ. Tại các bãi bồi ngầm ven biển Sóc Trăng, sóng có chiều cao dưới 1 m thường bị phá vỡ ở vùng nước nông có độ sâu nhỏ hơn 3 m. Đối với các đợt sóng lớn hơn 1 m, hiện tượng sóng vỡ xảy ra tại khu vực chân châu thổ ngầm cách bờ khoảng 10 -15 km, nơi địa hình đáy biển thay đổi đột ngột. Đây là một trong những nguyên nhân làm giảm năng lượng sóng truyền vào bờ và góp phần hạn chế hiện tượng xói lở tại khu vực ven biển Sóc Trăng.

Ngược lại, tại khu vực Gành



Hình 4. Trường sóng khu vực ven biển Sóc Trăng – Bạc Liêu trong các điều kiện mùa gió và pha triều khác nhau: (a) mùa gió Đông Bắc – triều dâng; (b) mùa gió Đông Bắc – triều xuống; (c) mùa gió Tây Nam – triều dâng; (d) mùa gió Tây Nam – triều xuống.

Hào (Bạc Liêu), địa hình đáy biển tương đối thoải và không tồn tại đới địa hình ngầm chắn sóng tương tự, do đó năng lượng sóng truyền vào bờ lớn hơn và hiện tượng xói lở bờ biển xảy ra mạnh hơn.

Nhìn chung, chế độ sóng khu vực nghiên cứu chịu ảnh hưởng mạnh bởi đặc điểm địa hình đáy biển, dao động thủy triều và chế độ gió mùa. Trong tính toán chỉ số tổn thương bờ biển (CVI), chiều cao sóng trung bình được sử dụng như một biến đầu vào phản ánh tác động của năng lượng sóng đến sự ổn định của đường bờ. Các khu vực chịu ảnh hưởng của sóng có chiều cao lớn được đánh giá có mức độ tổn thương cao hơn so với các khu vực có chế độ sóng yếu.

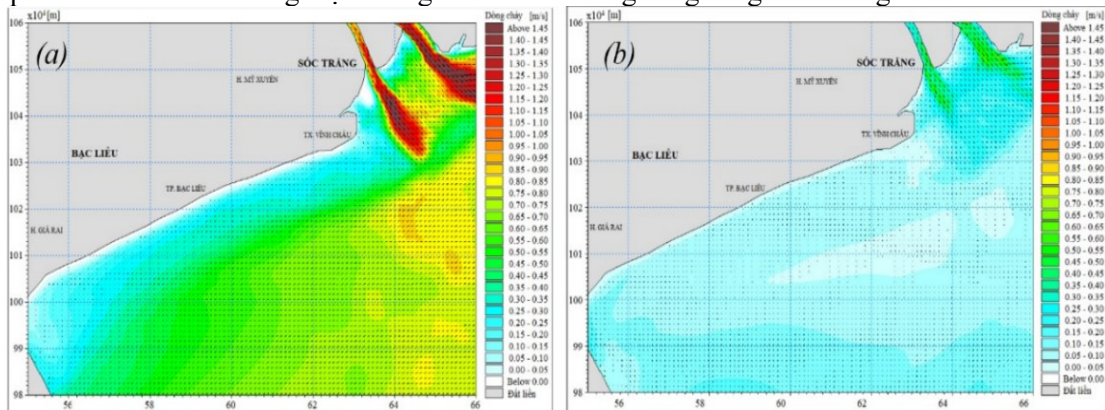
3.1.5. Biên độ dao động thủy triều và đặc điểm dòng chảy triều

Khu vực ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu chịu ảnh hưởng trực tiếp của chế độ bán nhật triều không đều thuộc biển Đông. Dao động thủy triều không chỉ làm thay đổi mực nước ven bờ mà còn chi phối trường dòng chảy, quá trình vận chuyển bùn cát và sự ổn định của đường bờ biển. Trong phương pháp chỉ số tổn thương bờ biển (CVI), biên độ triều được sử dụng như một chỉ tiêu phản ánh khả năng phân tán năng lượng sóng và mức độ tác động của các quá trình động lực biển lên đới bờ. Kết quả mô phỏng trường dòng chảy triều cho thấy chế độ thủy động lực khu vực nghiên cứu có sự khác biệt rõ rệt giữa mùa mưa và mùa khô.

Trong mùa mưa, tốc độ dòng chảy tầng mặt trung bình dao động từ 0.6 - 0.7 m/s. Tốc độ lớn nhất xuất hiện tại khu vực cửa sông, đạt khoảng 1.8 - 2.2 m/s trong các pha triều xuống khi dòng chảy sông kết hợp với dòng triều tạo nên dòng chảy tổng hợp mạnh nhất. Tại khu vực ngoài khơi, tốc độ dòng chảy trung bình chỉ dao động từ 0.3 - 0.4 m/s và hướng dòng chảy tương đối ổn định hơn so với khu vực ven bờ.

Trong pha triều lên, sự tương tác giữa khối nước biển và dòng chảy từ hệ thống sông Hậu làm cho tốc độ dòng chảy tại khu vực cửa sông giảm đáng kể. Hướng dòng chảy thay đổi rõ rệt theo phương Bắc - Nam, trong đó khu vực ven bờ thường xuất hiện dòng chảy song song với đường bờ. Đến khu vực phía Nam tỉnh Bạc Liêu, hướng dòng chảy có xu hướng lệch dần về phía Tây.

Đối với tầng đáy, trường dòng chảy chủ yếu chịu tác động của thành phần dòng triều và ảnh hưởng của ma sát đáy. Tốc độ dòng chảy tầng đáy nhỏ hơn tầng mặt khoảng 0.2 - 0.3 m/s, với giá trị trung bình từ 0.25 - 0.35 m/s. Trong pha triều xuống, tốc độ dòng chảy tầng đáy đạt khoảng 0.8 - 0.9 m/s, trong khi pha triều lên đạt khoảng 0.6 - 0.7 m/s. Hướng dòng chảy tầng đáy ít phân tán hơn so với tầng mặt nhưng vẫn có xu hướng song song với đường bờ biển.



Hình 5. Đặc trưng dao động mực nước triều mùa mưa (a) và mùa khô (b).

Vào mùa khô, do lưu lượng nước sông giảm và chịu tác động chủ yếu của gió mùa Đông Bắc, cường độ dòng chảy nhìn chung nhỏ hơn so với mùa mưa. Tốc độ dòng chảy tầng mặt trung bình dao động từ 0.5 - 0.6 m/s, trong khi tốc độ cực đại tại khu vực cửa sông đạt khoảng 1.4 - 1.6 m/s. Ngoài khơi, tốc độ dòng chảy phổ biến từ 0.3 - 0.4 m/s. Hướng dòng chảy thịnh hành trong pha triều lên là hướng Đông Nam, trong khi pha triều xuống có xu hướng Tây Bắc. Dọc theo vùng ven bờ, dòng chảy vẫn chủ yếu phân bố song song với đường bờ biển.

Nhìn chung, sự kết hợp giữa chế độ thủy triều, dòng chảy sông và tác động của gió mùa

tạo nên trường dòng chảy ven biển phức tạp, đóng vai trò quan trọng trong quá trình vận chuyển bùn cát dọc bờ. Các khu vực có dòng chảy mạnh, đặc biệt tại các cửa sông và những đoạn bờ chịu tác động trực tiếp của dòng ven bờ, thường có nguy cơ biến động đường bờ lớn hơn. Đây là một trong những nguyên nhân góp phần giải thích sự phân bố không đồng đều của các khu vực xói lở và bồi tụ dọc ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu.

3.1.6. Mực nước biển dâng

Mực nước biển dâng là một trong những tác nhân quan trọng làm gia tăng mức độ tổn thương của đới bờ thông qua việc mở rộng phạm vi ngập lụt, gia tăng xói lở bờ biển, suy thoái hệ sinh thái ven biển và làm gia tăng nguy cơ xâm nhập mặn. Trong nghiên cứu này, yếu tố mực nước biển dâng được xem xét trên cơ sở các kết quả đánh giá nguy cơ ngập lụt do nước biển dâng đối với hai tỉnh Sóc Trăng và Bạc Liêu theo các kịch bản từ 50 cm đến 200 cm.

Kết quả tổng hợp cho thấy nguy cơ ngập lụt gia tăng nhanh theo các kịch bản nước biển dâng. Đối với tỉnh Sóc Trăng, tỷ lệ diện tích có nguy cơ ngập đạt 4.96% ở kịch bản nước biển dâng 50 cm, tăng lên 21.19% ở kịch bản 70 cm và đạt 53.61% khi mực nước biển dâng 100 cm. Trong kịch bản cực đoan 200 cm, diện tích ngập có thể chiếm tới 92.38% diện tích toàn tỉnh. Các khu vực chịu ảnh hưởng mạnh nhất gồm thị xã Ngã Năm, huyện Mỹ Tú và huyện Thạnh Trị với tỷ lệ ngập trên 95% ở kịch bản 100 cm.

Bảng 1. Tỷ lệ diện tích có nguy cơ ngập theo các kịch bản nước biển dâng khu vực tỉnh Sóc Trăng *Error! Reference source not found.*

Đơn vị hành chính	Diện tích (ha)	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm	90 cm	100 cm	200 cm
Huyện Châu Thành	23.729	2.83	6.64	27.29	50.83	68.09	82.65	99.79
Huyện Cù Lao Dung	33.423	1.08	1.29	11.23	12.07	12.69	13.77	78.85
Huyện Kế Sách	35.298	3.15	4.53	14.88	23.02	24.68	38.18	88.14
Huyện Long Phú	45.904	0.45	1.35	5.61	10.52	13.23	31.91	86.57
Huyện Mỹ Tú	36.935	10.96	30.96	51.24	72.22	93.33	97.75	99.96
Huyện Mỹ Xuyên	56.409	2.01	3.09	5.43	11.53	28.58	48.30	97.57
Thị xã Ngã Năm	24.259	28.43	60.04	83.68	96.05	97.30	96.54	99.89
TP Sóc Trăng	7.304	1.02	2.29	4.71	8.21	19.39	53.70	98.27
Huyện Thạnh Trị	28.935	7,94	23,48	40,64	61,14	87,61	97,17	99,95
Thị xã Vĩnh Châu	56.262	0,79	0,83	2,45	4,86	5,95	11,50	86,62
Toàn tỉnh	322.330	4,96	11,30	21,19	31,16	39,36	53,61	92,38

Tương tự, tại tỉnh Bạc Liêu, tỷ lệ diện tích ngập tăng từ 3.65% ở kịch bản 50 cm lên 14.54% ở kịch bản 70 cm và đạt 48.60% ở kịch bản nước biển dâng 100 cm. Trong trường hợp nước biển dâng 200 cm, diện tích ngập có thể đạt tới 95.29% diện tích toàn tỉnh. Các huyện Hồng Dân và Phước Long được xác định là những khu vực chịu ảnh hưởng nghiêm trọng nhất với tỷ lệ diện tích ngập lần lượt đạt 90.78% và 73.45% tại kịch bản 100 cm.

Bảng 2. Tỷ lệ diện tích có nguy cơ ngập theo các kịch bản nước biển dâng khu vực tỉnh Bạc Liêu

Đơn vị hành chính	Diện tích (ha)	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm	90 cm	100 cm	200 cm
Thị xã Giá Rai	35.506	1.43	3.01	7.54	15.48	31.27	48.71	98.88
Huyện Hòa Bình	36.735	2.28	4.78	6.97	11.74	18,87	33.96	96.15
Huyện Hồng Dân	44.050	10.70	22.48	41.24	59.51	72.66	90.78	95.79
Huyện Phước Long	42.346	4.32	9.07	20.95	37.25	54.56	73.45	99.40
TP Bạc Liêu	15.920	0.67	1.40	2.64	4.99	8.81	14.80	84.63
Huyện Vĩnh Lợi	25.267	1.54	3.23	6.58	12.71	23.88	43.83	97.87
Huyện Đông Hải	56.111	1.68	3.54	5.09	7.12	10.45	17.98	90.81
Toàn tỉnh	252.600	3.65	7.65	14.54	23.37	33.78	48.60	95.29

Kết quả trên cho thấy khu vực ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu có mức độ nhạy cảm cao đối với tác động của nước biển dâng do đặc điểm địa hình thấp, bằng phẳng và chịu ảnh hưởng trực tiếp của chế độ triều biển Đông. Đặc biệt, khi mực nước biển dâng đạt 100 cm, khoảng một nửa diện tích tự nhiên của cả hai tỉnh có nguy cơ bị ngập, kéo theo nguy cơ gia tăng xói lở bờ

biển, suy giảm diện tích đất sản xuất và thu hẹp hệ sinh thái rừng ngập mặn ven biển.

3.2. Kết quả tính toán chỉ số tổn thương bờ biển (CVI)

3.2.1. Phân cấp các yếu tố thành phần

Để đánh giá mức độ tổn thương đới bờ khu vực Sóc Trăng - Bạc Liêu, sáu yếu tố thành phần được lựa chọn bao gồm: địa mạo bờ biển, biến động đường bờ, độ dốc bờ biển, tốc độ thay đổi mực nước biển tương đối, biên độ dao động thủy triều và chiều cao sóng trung bình. Đây là những yếu tố phản ánh tổng hợp đặc điểm địa hình, điều kiện địa mạo và tác động của các quá trình động lực biển đối với sự ổn định của đới bờ.

Các yếu tố thành phần được chuẩn hóa theo thang điểm từ 1 đến 5, tương ứng với năm mức độ tổn thương từ rất thấp đến rất cao. Giá trị điểm càng lớn thể hiện mức độ tổn thương càng cao. Việc phân cấp được kế thừa từ phương pháp của Thieler và Hammar-Klose (2000), đồng thời hiệu chỉnh phù hợp với điều kiện tự nhiên khu vực ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu.

Kết quả phân cấp cho thấy các yếu tố địa mạo bờ biển, biến động đường bờ và độ dốc địa hình có sự phân hóa rõ rệt trên toàn tuyến bờ biển Sóc Trăng - Bạc Liêu. Trong khi đó, các yếu tố khí tượng hải văn như sóng, thủy triều và mực nước biển dâng có mức độ biến đổi không gian nhỏ hơn nhưng đóng vai trò quan trọng trong việc làm gia tăng hoặc giảm mức độ tổn thương của từng đoạn bờ.

Sau khi chuẩn hóa, các lớp thông tin thành phần được tích hợp trong môi trường GIS để tính toán chỉ số tổn thương bờ biển (CVI) cho toàn bộ khu vực nghiên cứu. Giá trị CVI được sử dụng để phân vùng nguy cơ tổn thương đới bờ thành năm cấp gồm: rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao.

Bảng 3. Phân cấp các yếu tố thành phần sử dụng trong tính toán chỉ số tổn thương bờ biển

Yếu tố	Rất thấp (1)	Thấp (2)	Trung bình (3)	Cao (4)	Rất cao (5)
Địa mạo bờ biển	Rừng ngập mặn phát triển tốt	Bãi bồi ổn định có thảm thực vật	Bề mặt tích tụ sông - biển	Đoi cát ven biển, bãi triều hẹp	Bãi triều bùn sét đang xói lở
Biến động đường bờ (m/năm)	> 2.0	1.0 - 2.0	-1.0 đến 1.0	-2.0 đến -1.0	< -2.0
Độ dốc bờ biển (%)	> 1.20	0.90 - 1.20	0.60 - 0.90	0.30 - 0.60	< 0.30
Mực nước biển dâng (mm/năm)	< 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	> 4
Biên độ triều trung bình (m)	> 4.0	3.0 - 4.0	2.0 - 3.0	1.0 - 2.0	< 1.0
Chiều cao sóng trung bình (m)	< 0.5	0.5 - 0.8	0.8 - 1.1	1.1 - 1.4	> 1.4

3.2.2 Kết quả tính toán mức độ tổn thương đới bờ

Kết quả tính CVI cho thấy trong 72 km bờ biển khu vực Sóc Trăng có 30.94 km đường bờ có khả năng tổn thương cao và rất cao, 21.68 km đường bờ tổn thương trung bình; 9.04 km tổn thương thấp và 10.34 km bờ tổn thương rất thấp.

Đường bờ từ Cù Lao Dung qua An Thạnh đến cửa Mỹ Thanh bờ biển chủ yếu có khả năng tổn thương trung bình tới thấp, chỉ có một số đoạn ngắn tại ngay các vị trí cửa sông (cửa Trần Đề, cửa Mỹ Thanh) cho kết quả bờ biển tổn thương rất thấp. Khu vực thị xã Vĩnh Châu bắt đầu thấy dấu hiệu xói lở mạnh, tại đoạn đường bờ Vĩnh Hải, khoảng 3.5 km bờ biển có khả năng tổn thương rất cao, 3 km tiếp theo đường bờ có mức độ tổn thương cao, tới 2.8 km xuống Lạc Hòa đường bờ lại tổn thương rất cao và chạy dọc khoảng 12 km về phía Nam (đoạn thuộc xã Khánh Hòa, Vĩnh Hiệp) đường bờ vẫn có khả năng tổn thương cao. Như vậy, có thể thấy, bờ biển tỉnh Sóc Trăng từ Cù Lao Dung đến thị trấn Vĩnh Châu, xói bồi xen kẽ nhau, nhưng từ Vĩnh Châu đến giáp ranh tỉnh Bạc Liêu bị xói lở mạnh, hằng năm đường bờ biển bị lấn vào khoảng khá nhiều (~250 m). Xói lở cũng xảy ra khá mạnh mẽ ở khu vực giáp ranh giữa Sóc Trăng và Bạc Liêu, mức độ tổn thương đới bờ từ trung bình đến rất cao, xen kẽ tùy từng đoạn bờ.

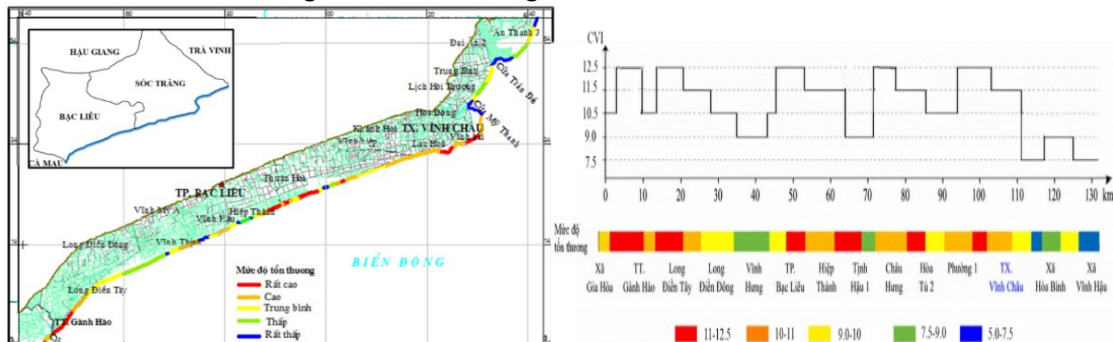
Trong 56 km bờ biển khu vực Bạc Liêu có khoảng 34 km đường bờ đang bị xói lở chiếm 3/5 tổng chiều dài bờ biển của tỉnh, trong đó: 8.03 km đường bờ có khả năng tổn thương rất cao 12.15 km bờ tổn thương cao; 17.98 km bờ tổn thương trung bình; 11.5 km tổn thương thấp và 6.34 km bờ tổn thương rất thấp. Mặc dù khu vực này đã có biện pháp xây dựng các kè chống sạt lở dài 3500 m (kè Gành Hào) nhưng do đặc điểm địa chất địa mạo và với tốc độ ảnh hưởng lớn của biến đổi khí hậu (triều cường, sóng to, gió lớn, mực nước biển dâng...) nên hiện tượng xói lở vẫn diễn ra và phá hủy trực tiếp các bờ kè.

Kết quả đánh giá tổn thương cho thấy, đới bờ biển Bạc Liêu thay đổi rất phức tạp, từ thấp đến trung bình và cao: khu vực giữa Hiệp Thành và Vĩnh Hậu bờ biển có mức độ tổn thương trung bình. Các mặt cắt vuông góc với bờ biển ở khu vực cuối Vĩnh Hậu đến đầu Vĩnh Thịnh chủ yếu có mức độ tổn thương thấp, có một vài đoạn ngắn có mức độ tổn thương trung bình và cao. Khu vực Long Điền Đông bờ biển chủ yếu có mức độ tổn thương thấp, chỉ có một số đoạn ngắn thuộc Vĩnh Thạnh, Long Điền Tây bờ biển có khả năng tổn thương cao. Bờ biển có mức độ tổn thương rất cao tại khu vực Gành Hào, đoạn giáp với cửa Gành Hào.

Bảng 4. Bảng thang bậc và mức độ tổn thương các chỉ số

Thang bậc	Chỉ số	Mức độ tổn thương
1	$5.0 < CVI \leq 7.5$	Tổn thương rất thấp
2	$7.5 < CVI \leq 9.0$	Tổn thương thấp
3	$9.0 < CVI \leq 10.0$	Tổn thương trung bình
4	$10.0 < CVI \leq 11.0$	Tổn thương cao
5	$11.0 < CVI \leq 12.5$	Tổn thương rất cao

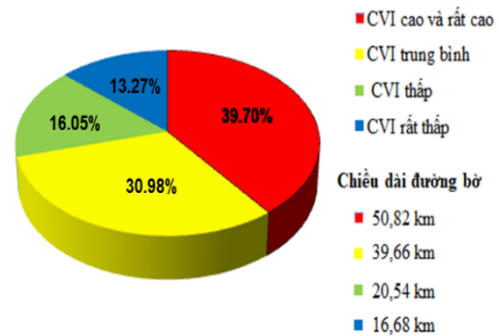
Mức độ tổn thương đới bờ khu vực nghiên cứu được thể hiện như Hình 7.



Hình 7: Sơ đồ phân vùng nguy cơ tổn thương khu vực đới bờ biển Sóc Trăng - Bạc Liêu

3.3. Thảo luận

Kết quả đánh giá chỉ số tổn thương bờ biển (CVI) cho thấy khu vực ven biển Sóc Trăng – Bạc Liêu có sự phân hóa rõ rệt về mức độ tổn thương. Các khu vực có mức độ tổn thương cao và rất cao tập trung chủ yếu tại ven biển thị xã Vĩnh Châu (Sóc Trăng), khu vực Nhà Mát, Vĩnh Trạch Đông, Đông Hải và Gành Hào (Bạc Liêu). Đây cũng là những khu vực đã và đang ghi nhận hiện tượng xói lở bờ biển diễn ra mạnh trong nhiều năm gần đây. Đối chiếu với kết quả phân tích biến động đường bờ giai đoạn 1973–2020 cho thấy phần lớn các đoạn bờ có tốc độ xói lở lớn đều nằm trong vùng có giá trị CVI cao và rất cao. Điều này cho thấy kết quả phân vùng tổn thương



Hình 6. Biểu đồ phân loại chiều dài bờ tổn thương khu vực Sóc Trăng - Bạc Liêu

có mức độ phù hợp tương đối tốt với hiện trạng biến động bờ biển thực tế. Đặc biệt, khu vực Gành Hào và Đông Hải là những điểm nóng xói lở đã được ghi nhận qua nhiều đợt khảo sát thực địa cũng như các nghiên cứu trước đây về xói lở bờ biển Đồng bằng sông Cửu Long.

Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy địa mạo bờ biển, biến động đường bờ và độ dốc địa hình là các yếu tố có ảnh hưởng lớn đến mức độ tổn thương đới bờ. Các khu vực có địa hình thấp, độ dốc nhỏ, bãi triều bùn sét rộng và đang chịu tác động của quá trình xói lở thường có giá trị CVI cao hơn so với các khu vực có địa hình ổn định hoặc đang trong xu thế bồi tụ. Điều này phù hợp với nguyên lý đánh giá tổn thương đới bờ của Thieler và Hammar-Klose (2000), trong đó các yếu tố địa hình và động lực bờ biển đóng vai trò quan trọng trong việc xác định mức độ nhạy cảm của khu vực ven biển trước tác động của biến đổi khí hậu và nước biển dâng. Bên cạnh đó, kết quả phân tích mực nước biển dâng cho thấy phần lớn diện tích ven biển Sóc Trăng và Bạc Liêu có nguy cơ ngập đáng kể khi mực nước biển tăng trong tương lai. Đây là yếu tố làm gia tăng mức độ tổn thương của các khu vực có địa hình thấp, đặc biệt là vùng bãi triều, rừng ngập mặn và các khu dân cư ven biển. Sự kết hợp giữa nước biển dâng, xói lở bờ biển và suy giảm diện tích rừng ngập mặn có thể làm tăng đáng kể nguy cơ tổn thương trong những thập niên tới.

Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn còn một số hạn chế nhất định. Một số dữ liệu thành phần như trường sóng, mực nước biển dâng và dao động thủy triều được xây dựng trên cơ sở số liệu tổng hợp và kết quả mô phỏng khu vực nên chưa phản ánh đầy đủ sự biến đổi theo không gian và thời gian ở quy mô chi tiết. Ngoài ra, chỉ số CVI là phương pháp đánh giá tương đối, phản ánh mức độ dễ bị tổn thương của đới bờ chứ không phải tốc độ xói lở hoặc mức độ thiệt hại thực tế. Do đó, kết quả nghiên cứu cần được xem như công cụ hỗ trợ đánh giá và phân vùng ưu tiên quản lý hơn là công cụ dự báo trực tiếp diễn biến đường bờ.

Mặc dù còn tồn tại một số hạn chế, phương pháp CVI cho phép tích hợp đồng thời nhiều yếu tố tự nhiên ảnh hưởng đến đới bờ, góp phần xác định các khu vực trọng điểm cần ưu tiên bảo vệ và quản lý. Kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng làm cơ sở khoa học cho việc thiết lập hành lang bảo vệ bờ biển, quy hoạch sử dụng đất ven biển và xây dựng các giải pháp thích ứng với biến đổi khí hậu tại khu vực Sóc Trăng – Bạc Liêu.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã áp dụng phương pháp chỉ số tổn thương bờ biển (Coastal Vulnerability Index - CVI) để đánh giá mức độ tổn thương đới bờ khu vực ven biển Sóc Trăng - Bạc Liêu trên cơ sở tích hợp sáu yếu tố thành phần gồm: địa mạo bờ biển, biến động đường bờ, độ dốc bờ biển, mực nước biển dâng, biên độ triều trung bình và chiều cao sóng trung bình.

Kết quả tính toán cho phép phân chia mức độ tổn thương đới bờ thành năm cấp gồm: rất thấp ($5,0 < CVI \leq 7,5$), thấp ($7,5 < CVI \leq 9,0$), trung bình ($9,0 < CVI \leq 10,0$), cao ($10,0 < CVI \leq 11,0$) và rất cao ($11,0 < CVI \leq 12,5$). Kết quả cho thấy mức độ tổn thương có sự phân hóa rõ rệt theo không gian dọc bờ biển khu vực nghiên cứu.

Đối với khu vực Sóc Trăng, tổng chiều dài đường bờ có mức độ tổn thương cao và rất cao đạt 30,94 km; mức tổn thương trung bình đạt 21,68 km; mức tổn thương thấp đạt 9,04 km và mức tổn thương rất thấp đạt 10,34 km. Các khu vực có mức độ tổn thương cao tập trung chủ yếu tại thị xã Vĩnh Châu và khu vực giáp ranh với tỉnh Bạc Liêu, nơi đang chịu tác động mạnh của quá trình xói lở bờ biển.

Đối với khu vực Bạc Liêu, chiều dài đường bờ có mức độ tổn thương rất cao và cao lần lượt là 8,03 km và 12,15 km; mức tổn thương trung bình đạt 17,98 km; mức tổn thương thấp đạt 11,50 km và mức tổn thương rất thấp đạt 6,34 km. Các khu vực có mức độ tổn thương cao và rất cao phân bố chủ yếu tại khu vực Gành Hào, Đông Hải, Vĩnh Trạch Đông và Nhà Mát, phù hợp với các điểm nóng xói lở đã được ghi nhận trong thực tế. Tổng hợp cho toàn khu vực nghiên cứu, khoảng 50,82 km đường bờ (39,70%) thuộc nhóm có mức độ tổn thương cao và rất cao; 39,66 km (30,98%) thuộc nhóm tổn thương trung bình; 20,54 km (16,05%) thuộc nhóm tổn thương thấp và 16,68 km (13,27%) thuộc nhóm tổn thương rất thấp.

Kết quả nghiên cứu đã xác định được các khu vực trọng điểm có nguy cơ tổn thương cao trước tác động tổng hợp của xói lở bờ biển, nước biển dâng và các quá trình động lực ven bờ. Đây

là cơ sở khoa học quan trọng phục vụ công tác quản lý tổng hợp vùng bờ, thiết lập hành lang bảo vệ bờ biển, quy hoạch sử dụng không gian ven biển và xây dựng các giải pháp thích ứng với biến đổi khí hậu cho khu vực Sóc Trăng - Bạc Liêu.

Cam kết của các tác giả

Tất cả các tác giả có tên trong bài báo cam kết sự đồng thuận và không có xung đột lợi ích trong công bố khoa học tại bài báo này.

Tài liệu tham khảo

- [1] Gornitz, V. M., 1990. Vulnerability of the East coast, U.S.A. to future sea-level rise. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 9, pp. 201- 237.
- [2] Gornitz V.M., White T.W. and Cushman R.M., 1991. Vulnerability of the U.S. to future sealevel rise. In Proceedings of Seventh Symposium on Coastal and Ocean Management. Long Beach, CA (USA), 1991, pp. 2354-2368.
- [3] Gornitz V.M., 1991a. Development of a global coastal hazard database: Annual technical report. Oak Ridge National Laboratory, *Oak Ridge, Tennessee*, U.S.
- [4] Gornitz V. M. and White T. W., 1992. A coastal hazards database for the U.S. East coast. ORNL/CDIAC-45, NDP-043 A. *Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee*, U.S. August 1992.
- [5] Gornitz, V.M. and White, T.W., 1994. A Coastal Hazards Data Base for the US Gulf Coast. Oak Ridge, Tennessee: *Oak Ridge National Laboratory*, 112p.
- [6] Kondolf, G.M., Rubin, Z.K., Minear, J.T. (2014). Dams on the Mekong: Cumulative sediment starvation. *Water Resources Research*, 50(6), 5158–5169.
- [7] Ta, T.K.O., Nguyen, V.L., Tateishi, M., Kobayashi, I., Saito, Y. (2002). Holocene delta evolution and sediment discharge of the Mekong River, southern Vietnam. *Quaternary Science Reviews*, 21(16–17), 1807–1819.
- [8] Gornitz, V.M.; Beaty, T.W., and Daniels, R.C., 1997. A Coastal Hazards Data Base for the US West Coast. Oak Ridge, Tennessee: *Oak Ridge National Laboratory*, 162p.
- [9] Thieler, E.R. and Hammer-Klose, E.S., 1999. National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the US Atlantic Coast. Woods Hole, MA: *United States Geological Survey (USGS)*, Open File Report 99-593, 1p.
- [10] Thieler, E.R. and Hammer-Klose, E.S., 2000a. National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the US Pacific Coast. Woods Hole, MA: *United States Geological Survey (USGS)*, Open File Report 00-178, 1p.
- [11] Thieler, E.R., Hammar-Klose, E.S. (2000). National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: Preliminary results for the U.S. Atlantic coast. *U.S. Geological Survey*, Open-File Report 00-179.
- [12] Boruff, B.J.; Cutter, S.L., and Emrich, C.T., 2002. Historic assessment of the socio-economic vulnerability of United States coastal counties. *Vulnerability Assessment Techniques (VAT) III Workshop* (Wilbey, St. Michael, Barbados).
- [19] Boruff, B.J.; Cutter, S.L., and Emrich, C.T., 2005. Erosion Hazard Vulnerability of US Coastal Counties. *Journal of Coastal Research*, Vol. 21, No. 5, 2005. <https://doi.org/10.2112/04-0172.1>.
- [13] Cutter, S.L.; Mitchell, J.T., and Scott, M.S., 2000. Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers*, 90(4), 713–737. <https://doi.org/10.1111/0004-5608.00220>.
- [14] Cutter, S.L.; Boruff, B.J., and Shirley, W.L., 2003. Indicators of social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(1), 242–261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8401002>.
- [15] Edward J. Anthony, Guillaume Brunier, Manon Besset, Marc Goichot, Philippe Dussouillez, Van Lap Nguyen, 2015, Linking rapid erosion of the Mekong River delta to human activities. Scientific Report, *Journal Nature*, 12p. <https://doi.org/10.1038/srep14745>.
- [16] Shaw, J., Taylor, R.B., Forbes, D.L., Ruz, M.-H., Solomon, S., 1998. Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise. *Bull. Geol. Surv. Can.* 505, 1–79.
- [17] Abuodha, P.A.O., Woodroffe, C.D., 2010. Assessing vulnerability to sea-level rise using a coastal sensitivity index: a case study from southeast Australia. *J. Coast. Conserv.* 14, 189–205. <https://doi.org/10.1007/s11852-010-0096-6>.

- [18] Ojeda, E., Guillén, J., 2008. Shoreline dynamics and beach rotation of artificial embayed beaches. *Mar. Geol.* 253 (1–2), 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.03.003>.
- [19] Ozyurt, G., Ergin, A., 2010. Improving Coastal Vulnerability Assessments to Sea-Level Rise: A New Indicator-Based Methodology for Decision Makers. *J. Coast. Res.* 26 (2), 265–273. <https://doi.org/10.2112/08-1078.1>.
- [20] Zheng-Tao Zhu, Feng Cai, Shen-Liang Chen, Dong-Qi Gu, Ai-Ping Feng, Chao Cao, Hong-Shuai Qi, and Gang Lei (2019), Coastal Vulnerability to Erosion Using a Multi-Criteria Index: A Case Study of the Xiamen Coast, *Sustainability*, 11, 93 – 113. <https://doi.org/10.3390/su11010093>.
- [21] Đinh Thái Hưng, Trần Thị Diệu Hằng, Phạm Văn Sỹ, Vũ Xuân Hùng, Phạm Trần Hải Dương, Nguyễn Hữu Toàn (2009), Nghiên cứu xây dựng phương pháp tiếp cận đánh giá tính dễ bị tổn thương cho bờ biển Việt Nam, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 2/2009, 44 - 49.
- [22] Phái V. V., 2018. Đánh giá biến động đường bờ biển các tỉnh Nam Bộ dưới tác động của biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng. Đại học Quốc gia Hà Nội, 319p.
- [23] Hiếu N., Bào Đ. V., Cảnh P. X., Hà T. P., 2014. Biến đổi bờ biển tỉnh thừa thiên huế dưới ảnh hưởng của nước biển dâng do biến đổi khí hậu. Kỷ yếu 25 năm Việt Nam học theo định hướng liên ngành, pp. 589-608.
- [24] Lê Thị Thu Hiền, Hà Quang Hải, 2014. Thành lập bản đồ dự báo tổn thương bờ biển Bình Thuận. *Tạp chí Phát triển KH&CN*, Tập 16, số M3 - 2013.
- [25] Nguyễn Thị Thế Nguyên, Cao Thị Ngọc Ánh. Nghiên cứu đánh giá mức độ dễ bị tổn thương do ảnh hưởng của sạt lở bờ biển, ứng phó với biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho dải bờ biển tỉnh Bình Thuận. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* số 71 (12/2020).
- [26] Đặng Kinh Bắc, Ngô Chí Cường, Ngô Văn Liêm, Đặng Văn Bào. Đánh giá mức độ dễ bị tổn thương bờ biển Sơn Trà – Cửa Đại. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, Vol. 38, No. 3 (2022) 55-65. <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4849>.
- [27] Mai Trọng Luân, Trần Đăng Trung. Đánh giá tính dễ bị tổn thương vùng biển Cà Mau làm cơ sở cho việc xác định giải pháp công trình bảo vệ bờ thuận tự nhiên. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* số 76 - 2023.
- [28] Lưu Thành Trung và nnk, Nghiên cứu địa mạo và một số tai biến địa chất liên quan ở đới bờ biển Sóc Trăng - Cà Mau. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ cơ sở, Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam, 150 trang, 2013.
- [29] Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2020). Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng phiên bản cập nhật năm 2020.

[Article © 2026 by Magazine of Geodesy - Cartography is licensed under CC BY 4.0](#)

