

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

Mai Trọng Luân, Trần Đăng Trung

Viện Sinh thái và Bảo vệ công trình

Tóm tắt: Ảnh hưởng của biến đổi khí hậu ngày càng hiện hữu tới đới bờ biển Việt Nam, điều này được thể hiện ngoài thực tế thông qua sự gia tăng các tác động tiêu cực tới vùng ven bờ như hiện tượng nước biển dâng, ngập lụt ven biển, sạt lở bờ biển, gia tăng cường độ, tần suất mưa bão. Để chủ động ứng phó với biến đổi khí hậu, trên thế giới cũng như tại Việt Nam đã xây dựng các kịch bản ứng phó với biến đổi khí hậu. Tuy nhiên, công tác này chỉ tập chung đánh giá chi tiết mức độ gia tăng về giá trị các tham số vật lý mà chưa phân tích qua lại cũng như khả năng thích ứng của vùng bờ đối với biến đổi khí hậu. Vì vậy, để có một góc nhìn tương tác giữa quá trình biến đổi khí hậu và khả năng thích ứng của vùng bờ, vào cuối thế kỉ XX các nhà khoa học trên thế giới đã đưa ra những mô hình đánh giá mức độ tổn thương và khả năng thích ứng của vùng bờ đối với biến đổi khí hậu thông qua chỉ số tổn thương bờ biển (CVI – Coastal Vulnerability Index). Chỉ số này đã được các nước tiên tiến trên thế giới (như Mỹ, Pháp, Canada...) áp dụng và đánh giá cho từng vùng bờ cụ thể dựa trên ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và các điều kiện đặc trưng về tự nhiên, xã hội. Bài báo này kế thừa các kết quả nghiên cứu trên thế giới, đồng thời tiến hành phân tích lựa chọn các tham số và xây dựng thang chỉ số phù hợp với điều kiện thực tiễn nhằm đánh giá mức độ tổn thương cũng như khả năng thích ứng của đới bờ biển Cà Mau đối với biến đổi khí hậu. Việc đánh giá này được thực hiện một cách tổng thể trên toàn dải ven biển tỉnh Cà Mau, xem xét chi tiết cả ba nhóm chính bao gồm 1) đặc điểm tự nhiên như địa chất, địa hình, đặc điểm thủy thạch động lực, 2) đặc điểm phát triển kinh tế xã hội, cơ sở hạ tầng và 3) đặc điểm hiện trạng đa dạng sinh học ven bờ.

1. MỞ ĐẦU

Phương pháp chỉ số tổn thương bờ biển (CVI) đã được phát triển từ những năm cuối của thế kỉ XX, đầu tiên phải kể đến là công bố của Gornitz, nnk (1990) [9] 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 [10, 11, 12, 13, 14] bằng việc bổ sung thêm 6 tham số thuộc nhóm yếu tố khí hậu biển. Năm 2000, căn cứ và 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) (Thieler, 2000, Thieler and

Hammer-Klose, 1999, 2000) [21, 22, 23]. Trong nghiên cứu Đánh giá tính dễ bị tổn thương từ các nguy cơ xói mòn của các hạt ven biển Hoa Kỳ, Boruff và cộng sự (2005) [2,3] 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) [6,7]. 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 [8]. Một vài quốc gia phát triển đã sử dụng phương pháp đánh giá tổn thương bờ biển như: Canada (Shaw et al., 1998) [20], Australia (Abuodha & Woodroffe, 2006) [1],

Ngày nhận bài: 30/11/2022

Ngày thông qua phản biện: 20/12/2022

Ngày duyệt đăng: 16/02/2023

Tây Ban Nha (Ojeda – Zujaret et al., 2008) [17], Thổ Nhĩ Kỳ (Ozyurt & Ergin, 2010) [18]... 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 đặc 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 đã có những công trình nghiên cứu dựa trên chỉ số CVI để xác định mức độ dễ bị tổn thương bờ biển như công trình nghiên cứu của PGS.TS Vũ Văn Phái, nnk, 2019[19] đã sử dụng chỉ số mức độ dễ bị tổn thương bờ biển để nghiên cứu đề tài “Đánh giá biến động đường bờ biển các tỉnh Nam Bộ dưới tác động của biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng”, đề tài thuộc Chương trình khoa học và công nghệ phục vụ Chương trình mục tiêu Quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu giai đoạn 2011 – 2015. PGS.TS Nguyễn Hiệu với đề tài nghiên cứu “Biến đổi bờ biển tỉnh Thừa Thiên Huế dưới ảnh hưởng của nước biển dâng do biến đổi khí hậu” cũng đã áp dụng chỉ số tổn thương CVI để nghiên cứu mức độ dễ bị tổn thương bờ biển Thừa Thiên Huế [15]. 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... thực hiện mục tiêu sử dụng hợp lý tài nguyên thiên nhiên.

Cà Mau có bờ biển dài 254 km, chiếm 7,8% chiều dài bờ biển Việt Nam; trong đó 107 km bờ biển Đông, 147 km bờ biển Tây. Phân tích tổng quan hình thái cho thấy, bờ biển Cà Mau mang tính đặc thù của cả vùng biển Đông (Vịnh Bắc Bộ), và biển Tây (Vịnh Thái Lan). Trong bối cảnh biến đổi khí hậu, nước biển dâng hiện nay, hiện tượng xói lở tổn thương vùng bờ xảy

ra phổ biến trên toàn dải ven biển Cà Mau. Từ những nghiên cứu trên, việc áp dụng và xác định được nguy cơ của mực nước biển dâng lên khu vực đới bờ ven biển Cà Mau bằng phương pháp đánh giá CVI là cần thiết, giúp các nhà quản lý định hướng giải pháp và sắp xếp nguồn lực nhằm bảo vệ, phát triển bền vững các hoạt động phát triển kinh tế xã hội cũng như khai thác, sử dụng hợp lý tài nguyên thiên nhiên vùng ven biển Cà Mau.



Hình 1: Khu vực nghiên cứu

2. PHƯƠNG PHÁP VÀ CƠ SỞ DỮ LIỆU

2.1. Phương pháp luận

Dựa trên kết quả tổng quan các nghiên cứu trên thế giới cũng như nghiên cứu tại Việt Nam cho thấy để xây dựng được bản đồ chỉ số tổn thương vùng bờ cho khu vực ven biển Cà Mau cần phải tiến hành theo các bước như sau (1) Xác định nhóm chỉ số, các chỉ và thang điểm tương ứng (2) Phân tích, xây dựng công thức tính toán chỉ số tổn thương và thang điểm tổng hợp; (3) Áp dụng công nghệ GIS xây dựng bản đồ chỉ số tổn thương vùng bờ; (4) Tổng hợp phân tích kết quả xác định chỉ số tổn thương vùng bờ

2.1.1. Xác định nhóm chỉ số, chỉ số và thang điểm sử dụng trong nghiên cứu

Đề có căn cứ cho việc lựa chọn, xác định nhóm chỉ số, chỉ số và thang điểm phù hợp cho vùng đánh giá, cần phân tích, tổng hợp các kết quả nghiên cứu điển hình đã được công bố. Chỉ số CVI được Gornitz et al xây dựng và phát triển năm 1990 [9] với 07 tham số vật lý bao gồm địa hình (relief), loại đá (rock type), cảnh quan (landform), dịch chuyển kiến tạo thẳng đứng (vertical tectonic movement), thay đổi đường bờ, mực triều trung bình và độ cao sóng trung bình. Sau đó chỉ số CVI này được điều chỉnh bởi Gornitz et al (1994) bằng việc bổ sung thêm sáu tham số khí hậu biển [13] bao gồm các thông số về tần suất, cần độ áp thấp nhiệt đới và bão. Dựa trên nền tảng của Gornitz, bộ chỉ số này được Thieler và Hammer Klose, 1999 [21] điều chỉnh còn 6 tham số chính bao gồm a) địa chất, địa mạo; b) độ dốc bãi biển, c) mức độ dâng nước biển trung bình năm; d) tốc độ xói lở bờ biển, e) biên độ thủy triều, f) Chiều cao sóng trung bình năm. Nghiên cứu này đã được tổ chức USGS (tổ chức Khảo sát địa chất Hoa Kỳ) áp dụng tính toán cho toàn dải bờ biển Hoa Kỳ năm 2000. Trong cả ba nghiên cứu này, các chỉ số nêu trên đều được phân loại và sắp xếp theo thang điểm từ 1 đến 5 tương đương với các mức từ rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao. Ở một cách tiếp cận khác mang tính tổng quát và có sự tương tác cao hơn, phải kể đến công bố của Cutter 1996 [5] xây dựng mô hình chỉ số tổn thương kết hợp tính dễ bị tổn thương từ các hệ thống lý sinh và xã hội để tạo ra tính dễ bị tổn thương cụ thể cho một địa điểm và thời gian cụ thể. Trong mô hình này, rủi ro (được định nghĩa là nguồn nguy hiểm, xác suất, hậu quả) và sự giảm thiểu rủi ro (được định nghĩa là cải tiến quy hoạch, cấu trúc và công nghệ) tương tác với nhau để xác định khả năng xảy ra nguy hiểm ban đầu cho một địa điểm. Tính dễ bị tổn thương lý sinh được tạo ra bởi sự dịch chuyển của tiềm năng nguy hiểm thông qua các đặc điểm vật lý, chẳng hạn như độ cao, vị trí và vùng lân cận của mối đe dọa, bao gồm bối cảnh địa lý. Từ kết quả tham khảo này, có thể thấy rằng, các công bố của

Gornitz et al (1990, 1994) cũng như Thieler và Hammer Klose, 1999 [21] mặc dù có mô tả chi tiết về tham số vật lý kèm theo đó là thang điểm phân chia rõ ràng nhưng lại chưa xét đến sự tương tác với các tham số về phát triển kinh tế, xã hội cũng như đa dạng sinh học. Chính vì vậy, ở những công bố Custer 2003 [7] và Boruff et al 2005 [3] đã đưa thêm chỉ số kinh tế xã hội vào chỉ số tổn thương, chỉ số này được kí hiệu là (CsoVI). Theo đó, chỉ số tổn thương xã hội là một thuật toán phụ thuộc không gian, bao gồm các biến về kinh tế - xã hội như: tình trạng phát triển kinh tế - xã hội, cơ cấu dân số theo độ tuổi, giới tính, quá trình đô thị hóa, hiện trạng phát triển dân số, cơ sở hạ tầng, cấu trúc gia đình, dịch vụ y tế... Theo hướng tiếp cận trên, Boruff và cộng sự (2005) [3], (Cutter, 1996) [5] đã áp dụng mô hình đánh giá nguy cơ chi tiết tại địa phương để lấy chỉ số vị trí dễ bị tổn thương (PVI) bằng cách sử dụng tổng hợp điểm CVI và CSoVI, sau đó phân loại điểm PVI thành các hạng thấp, trung bình và cao. Phân tích phương sai (ANOVA) đã xác định sự khác biệt đáng kể (ở mức độ tin cậy 95%) cho mỗi chỉ số này ở các bờ biển khác nhau. Những sai khác này giải thích dựa trên các dữ liệu kinh tế - xã hội đã được xem xét một cách tổng thể.

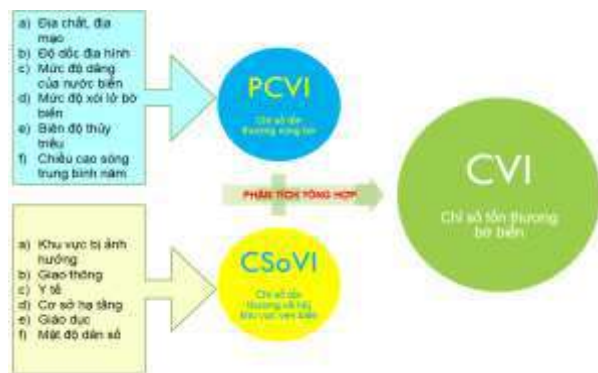
Đánh giá tổng quan có thể thấy, việc xác định chỉ số tổn thương vùng bờ thông thường được xác định gồm ba nhóm tham số chính (1) Nhóm chỉ số vật lý bao gồm yếu tố địa chất, địa mạo, độ dốc địa hình, mức độ dâng của nước biển, mức độ xói lở bờ biển, biên độ thủy triều và chiều cao sóng trung bình năm (PCVI); (2) Nhóm tham số xã hội bao gồm hoạt động dân sinh như các hoạt động nuôi trồng, đánh bắt, du lịch khai thác vùng biển, mật độ dân số, hệ thống cơ sở hạ tầng (CsoVI); (3) Nhóm tham số hệ sinh thái ven bờ bao gồm các loại hệ sinh thái tự nhiên vùng bờ như rừng ngập mặn, hệ sinh thái san hô, cỏ biển và các hệ sinh thái khác (CBoVI).

Qua việc tổng hợp các tài liệu nghiên cứu về chỉ

số tổn thương bờ biển bao gồm các công bố về tham số vật lý, kể đó là các công bố đưa thêm tham số xã hội có thể nhận thấy việc áp dụng bộ chỉ số tổn thương bờ biển cần được áp dụng linh hoạt tùy thuộc vào đặc thù vùng, đặc biệt khi xem xét tích hợp thêm bộ tham số xã hội và bộ tham số sinh học. Đối với phạm vi vùng nghiên cứu có tính đồng nhất cao về hiện trạng phân bố hệ sinh thái thì việc đưa thêm các tham số sinh học không mang ý nghĩa so sánh đánh giá, tương như vậy đối với bộ tham số xã hội cũng cần có đánh giá sơ bộ trước khi tiến hành tính toán áp dụng. Song song với đó cần xem xét đến nguồn dữ liệu để phục vụ quá trình tính toán, đánh giá làm căn cứ cho việc lựa chọn, xây dựng khung tham số sao cho sát nhất với điều kiện của từng vùng.

Trong bài báo này, căn cứ vào hệ cơ sở dữ liệu hiện có cùng với việc xem xét tính tương đồng theo không gian của cả ba nhóm yếu tố nêu trên nhận thấy rằng. Đối với nhóm tham số sinh học (CboVI), khu vực ven biển Cà Mau có hệ sinh thái RNM phân bố đều trên toàn dải ven biển Cà Mau do vậy việc đưa nhóm chỉ số này sẽ không mang ý nghĩa so sánh đánh giá. Đối với nhóm tham số xã hội (CsoVI) có sự khác biệt khi thống kê theo phân cấp hành chính huyện. Đối với nhóm tham số vật lý (PCVI) tùy vào các tham số chi tiết sẽ có sự khác biệt khi đánh giá trên toàn dải ven biển. Vì vậy, chúng tôi đề xuất sử dụng hai nhóm tham số chính để tính toán chỉ số tổn thương bờ biển là nhóm chỉ số vật lý (PVI) và nhóm chỉ số

xã hội (CsoVI). Và tiến hành tính toán theo 2 cấp. Cấp độ 1 - Chỉ sử dụng những nhóm chỉ vật lý PCVI bao gồm 6 chỉ số a) địa chất, địa mạo; b) độ dốc bãi biển, c) mức độ dâng nước biển trung bình năm; d) tốc độ xói lở bờ biển, e) biên độ thủy triều, f) Chiều cao sóng trung bình năm; (Cấp độ 2) sử dụng đồng thời hai nhóm chỉ số bao gồm nhóm 1 (PCVI) chỉ số vật lý bao gồm 6 chỉ số nêu trên và nhóm chỉ số xã hội (CsoVI) bao gồm các tham số a) cơ sở hạ tầng ven biển; b) Mật độ dân cư ven biển. Sơ đồ sử dụng biến số phục vụ tính toán chỉ số tổn thương vùng bờ Cà Mau được thể hiện tại hình 2 bên dưới.



Hình 2: Sơ đồ lựa chọn các tham số tính toán chỉ số tổn thương bờ biển Cà Mau

Về việc lựa chọn thang điểm để đánh giá mức độ tổn thương bờ biển đối với từng tham số chi tiết, bài báo kế thừa kết quả nghiên cứu của Thieler và Hammer Klose 1999 [21], Custer 2003 [7], Boruf et al 2005 [3] và đề xuất thang điểm như tại bảng 1 bên dưới.

Bảng 1: Bảng tổng hợp thang điểm theo các biến trong công thức tính toán CVI khu vực nghiên cứu

STT	Biến	Thang điểm - Mức tổn thương				
		1	2	3	4	5
		Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao
1	Địa mạo	Rocky; cliffs coastal; fiords;	Medium cliffed; indented coastal	Low cliffs, glacial drift, alluvial plains	Cobble beach, estuary, lagoon	Mud flats, deltas, mangrove, coral reefs

STT	Biến	Thang điểm - Mức tổn thương				
		1	2	3	4	5
		Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao
2	Slope (%)	>11.5	11.5 - 5.5	5.5 - 3.5	3.5 - 2.2	<2.2
3	Sea rise (mm/năm)	<1.8	1.8 - 2.5	2.5 - 3.0	3.0 - 3.4	>3.4
4	Shore change (m/năm)	>2.0	1.0 - 2.0	-2	0.9	<-2.0
5	Tide range (m)	>6.0	4.1 - 6.0	2.0 - 4.0	1.0 - 1.9	<1.0
6	Hs (m)	<0.55	0.55 - 0.85	0.85 - 1.05	1.05 - 1.25	>1.25
7	Đối tượng bị ảnh hưởng	Khu đất trống	Đồng cỏ, thực phủ phi NN	Khu vực khai thác, NTTS	Công trình	Dân cư, khu du lịch
8	Giao thông	Kém phát triển	Giao thông thưa thớt	Phát triển tập trung, chưa phân bố đều	Tương đối phát triển, phân bố rộng	Mạng lưới giao thông phát triển
9	Y tế (số trạm y tế, bệnh viện)	0	1	2	3	5
10	Cơ sở hạ tầng	Kém phát triển	Phát triển không đồng bộ	Phát triển tập trung một số khu vực	Khá phát triển	Phát triển
11	Giáo dục (số trường học)	0	1-3	4-6	6-12	>12
12	Mật độ dân số (người/ha)	<1	01-Oct	Oct-50	50-100	>100

2.1.2. Xây dựng công thức tính chỉ số và thang điểm tổng hợp

Cũng giống như việc lựa chọn các tham số đầu vào cho tính toán chỉ số tổn thương. Việc xây

dựng công thức tính toán chỉ số tổn thương tổng hợp cũng đã được Gornitz 1990 [9] đề xuất với hệ thống các công thức tính toán như tại bảng 2 bên dưới.

Bảng 2: Các công thức tính toán chỉ số tổn thương tổng hợp

Trung bình của tích các tham số (Product mean)	$CVI_1 = \frac{(X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4 \times \dots \times X_n)}{n}$
Trung bình của tích các tham số (1) (Modified product mean 1)	$CVI_2 = \frac{\left(X_1 \times X_2 \times \frac{1}{2}(X_3 + X_4) \times X_5 \times \frac{1}{2}(X_6 + X_7) \right)}{n - 2}$
Trung bình tổng bình phương (Average sum of squares)	$CVI_3 = \frac{(X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + X_4^2 + \dots + X_n^2)}{n}$
Trung bình của tích các tham số (2) (Modified product mean 2)	$CVI_4 = \frac{(X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4 \times \dots \times X_n)}{5^{n-4}}$
Căn bậc hai của trung bình nhân (Square root of Product mean)	$CVI_5 = \sqrt{CVI_1} = \sqrt{\frac{(X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4 \times \dots \times X_n)}{n}}$
Tổng các phép nhân (Sum of multiplications)	$CVI_6 = 4X_1 + 4X_2 + 2(X_3 + X_4) + 4X_5 + 2(X_6 + X_7)$

Căn cứ vào các công thức trên, Thieler & Hammar -Klose, 1999 đã đề xuất sử dụng công thức tính toán chỉ số tổn thương tổng hợp với các tham số vật lý như sau:

$$CVI = \sqrt{\frac{(X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4 \times X_5 \times X_6)}{6}}$$

Theo đó các biến số lần lượt là (X₁) Địa mạo; (X₂) Độ dốc địa hình; (X₃)Mức độ dâng của nước biển; (X₄) Mức độ xói lở bờ biển (X₅) Biên độ thủy triều; (X₆) Chiều cao sóng trung bình năm.

Vì vậy, cũng căn cứ theo các công thức được nêu ở bảng trên và kết quả tính toán đã được Tổ chức khảo sát địa chất Hoa Kỳ (USGS) áp dụng tính toán trên toàn dải bờ biển Hoa Kỳ bài báo lựa chọn công thức trên để tính toán chỉ số tổn thương vùng bờ với cả hai nhóm chỉ số tổn thương vật lí (PVI) và chỉ số tổn thương xã hội (CsoVI). Sau khi tính toán được giá trị tổn thương riêng biệt đối với hai nhóm chỉ số trên, chỉ số tổn thương tổng hợp tiếp tục được tính

toán dựa trên công thức này với hai tham số là PVI và CsoVI cụ thể như sau:

$$CVI = \sqrt{\frac{(PVI \times CSoVI)}{2}}$$

Trong báo cáo tính toán chỉ số tổn thương ven bờ Tây nước Mỹ [25, 26] đã tiến hành tính toán với sáu công thức được đề cập ở bảng 2 từ đó phân tích và đề xuất sử dụng công thức CVI₅ áp dụng tính toán chỉ số tổn thương cho bờ Tây nước Mỹ, kèm theo đó báo cáo này đã đề xuất bảng phân chia mức độ tổn thương theo 3 mức độ thấp (<11); trung bình (từ 11 đến 22) và cao (> 22). Dựa trên kết quả nghiên cứu này, để có căn cứ cho việc so sánh đánh giá mức độ tổn thương vùng bờ khu vực nghiên cứu với các nghiên cứu đã thực hiện, bài báo đề xuất sử dụng thang chia như trên đồng thời tương ứng với thang phân chia đã đề xuất chi tiết ở bảng 1 xây dựng thêm thang phân chia theo phương pháp thống kê theo giá trị phần trăm tương ứng với dải giá trị từ thấp tới cao cụ thể như bảng 3 bên dưới.

Bảng 3: Đề xuất thang phân chia chỉ số tổn thương bờ biển cho vùng nghiên cứu

Mức độ	CVI ₅	%	Giá trị	Phân khoảng
Rất cao	51.03	100%	50.62	> 51
Cao	26.13	75%	37.97	38-51
Trung bình	11.02	50%	25.31	25-38

thấp	3.27	25%	12.66	13-25
Rất thấp	0.41	0%	0.00	< 13

2.2. Cơ sở dữ liệu

Để thực hiện bài báo này, tập thể tác giả đã tiến hành thu thập dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau, bao gồm dữ liệu từ Viện nghiên cứu chuyên ngành, dữ liệu được Bộ Tài nguyên và Môi trường thành lập, công bố qua các thời

kì. Đặc biệt, đối với dữ liệu xói lở bờ biển dài hạn được thu thập từ ảnh vệ tinh và phân tích bằng phần mềm Arcgis 10.3. Chi tiết loại dữ liệu và nguồn dữ liệu tương ứng với các tham số đầu vào được mô tả chi tiết ở bảng 4 bên dưới.

Bảng 4: Tổng hợp nguồn dữ liệu đầu vào phục vụ tính toán chỉ số tổn thương vùng bờ biển Cà Mau

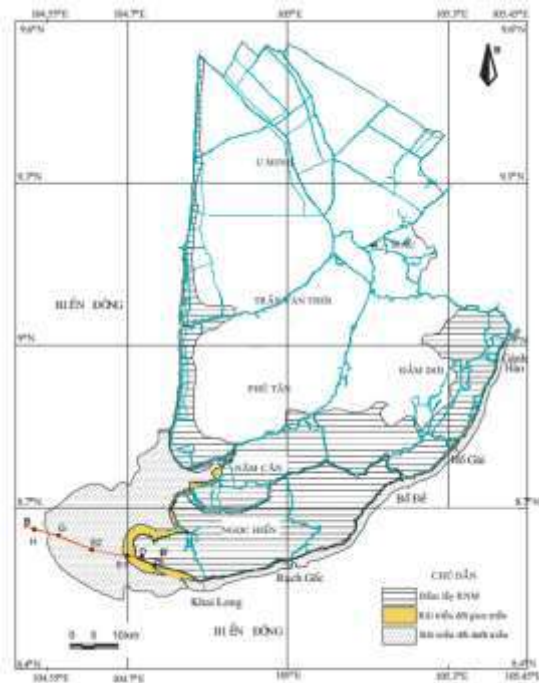
STT	Biến	Loại dữ liệu	Nguồn
Nhóm PVI			
1	Địa mạo	Bản đồ địa chất địa mạo Cà Mau tỉ lệ 1/250.000	Bộ Tài nguyên & Môi trường, 1996
2	Độ dốc địa hình (%)	Bản đồ địa hình đáy biển tỉ lệ 1/50.000, bản đồ địa hình trên cạn tỉ lệ 1/10.000	Bộ Tài nguyên & Môi trường, 2012
3	Mức độ dâng của nước biển (mm/năm)	Kịch bản biến đổi khí hậu 2016 Số liệu thực đo dài hạn tại trạm Ông Đốc, trạm Gành Hào, Cà Mau	Bộ Tài nguyên & Môi trường, 2018
4	Mức độ xói lở bờ biển (m/năm)	Ảnh vệ tinh Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8 và Sentinel 2A từ năm 1989 đến 2020	https://earthexplorer.usgs.gov/ USGS
5	Biên độ thủy triều (m)	Quyết định 1790 công bố điểm đặc trưng thủy triều ven biển Việt Nam	Bộ Tài nguyên & Môi trường, 2018
6	Chiều cao sóng trung bình năm (m)	Kết quả tính toán trường sóng đề tài ViWat	Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam
Nhóm CSoVI			
7	Đối tượng bị ảnh hưởng	Cơ sở dữ liệu, niên giám thống kê, báo cáo tình hình kinh tế xã hội tỉnh Cà Mau	Bộ Tài nguyên & Môi trường, 2012 Cổng thông tin điện tử tỉnh Cà Mau,
8	Giao thông		
9	Y tế (số trạm y tế, bệnh viện)		
10	Cơ sở hạ tầng		

STT	Biến	Loại dữ liệu	Nguồn
11	Giáo dục (số trường học)		
12	Mật độ dân số (người/ha)		

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tham số vật lý

a) Đặc điểm địa chất, địa mạo



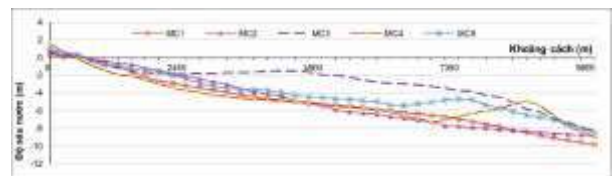
Hình 3: Đặc điểm địa chất, địa mạo dải ven biển Cà Mau

Đặc điểm địa chất, trầm tích bãi triều ven biển Cà Mau được xác định qua các phân tích thành phần độ hạt, cấu trúc trầm tích, vi cổ sinh (diatom và foraminifera), tàn tích động thực vật và tuổi tuyệt đối ^{14}C . Kết quả tổng hợp cho thấy, ở khu vực bờ Biển Đông từ Gành Hào đến Khai Long, trầm tích bãi triều triều có chiều dày khoảng 1,5-2,0m. Thành phần chủ yếu là sét-

bột xám xanh, xám sáng mềm nhão, chen kẹp bởi các lớp sét-bột-cát có chiều dày khoảng 8-20cm, cấu trúc trầm tích đặc trưng thường là phân lớp triều và phân lớp song song. Từ Khai Long đến cửa Cái Đồi Vàm trầm tích bãi triều cấu tạo bởi sét, sét - bột xám xanh, xám sáng phớt nâu nhão mềm, chiều dày khoảng 0,8-1,2m. Ở khu vực bờ biển tây, đặc biệt là mũi Cà Mau, trầm tích bãi triều có thành phần chủ yếu là sét, sét-bột màu xám sáng, xám xanh chứa nhiều di tích sò ốc. Sét-bột chiếm khoảng 85-90% [16]. Qua các phân tích chi tiết ở trên có thể thấy rằng đặc điểm trầm tích ven biển Cà Mau khá tương đồng chủ yếu là bãi bùn có hệ sinh thái rừng ngập mặn ven biển. Vì vậy, mức độ tổn thương đối với tham số này là 5 trên toàn bộ dải ven biển Cà Mau.

b) Độ dốc bãi biển

Độ dốc bãi biển được xác định dựa trên số liệu địa hình trên cạn tỉ lệ 1/10.000 và số liệu địa hình đáy biển tỉ lệ 1/500 do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2012. Căn cứ và hai nguồn dữ liệu này, tiến hành đồng bộ hóa và xây dựng bản đồ địa hình đới bờ trên toàn dải Cà Mau.



Hình 4: Mặt cắt đặc trưng ven bờ biển Cà Mau



Hình 5: Địa hình đới bờ ven biển Cà Mau



Hình 6: Bản đồ độ dốc bờ biển Cà Mau

Kết quả xem xét mặt cắt đặc trưng cũng như tính toán độ dốc bờ biển sử dụng công cụ Slope trên Arcgis 10.3 cho thấy độ dốc bờ biển Cà Mau khá đều, khi xem xét dữ trên bảng giá trị tham số cho thấy toàn dải ven biển đạt mức độ tổn thương 5 với tham số độ dốc bãi biển.

c) Xói lở bờ biển

Hiện tượng xói lở bờ biển khu vực nghiên cứu ngày càng diễn ra trầm trọng. Thực tế cho thấy,

trong mấy năm gần đây, hiện tượng xói lở diễn ra chủ yếu ở bờ phía Đông, tại khu vực biển Tây hiện tượng xói lở xảy ra chủ ý tại khu vực huyện Phú Tân, Trần Văn Thời, U Minh. Để đánh giá mức độ xói lở bờ biển sử dụng ảnh viễn thám từ năm 1989 đến 2020, trên nền tảng Arcgis 10.3 tính toán chỉ số MNDWI nhằm xác định mép nước tại các thời điểm ảnh. Dữ liệu ảnh được thu thập miễn phí tại <https://earthexplorer.usgs.gov/>



Hình 7: Ảnh Sentinel 2A mã cảnh ảnh SE06012020 ngày 6/1/2020



Hình 8: Kết quả tính toán chỉ số NDWI trên ảnh Sentinel 2A ngày 6/1/2020

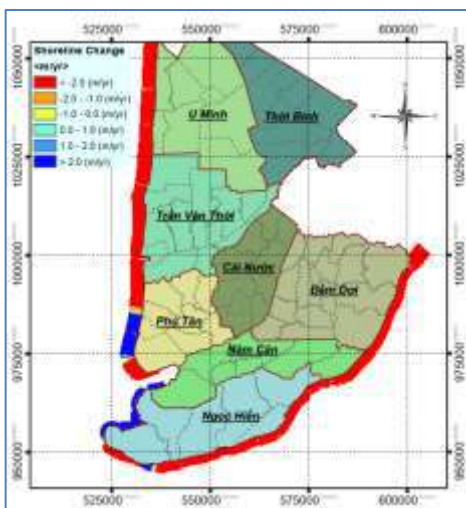
Sự phản xạ của nước trong kênh phổ hồng ngoại thường gần ngưỡng 0. Đặc biệt, sự phản xạ của nước trong kênh phổ hồng ngoại sóng ngắn (kênh 5 của Landsat có bộ cảm của TM, ETM+) càng gần mức 0 hơn. Chính điều này là cơ sở cho chỉ số khác biệt nước điều chỉnh MNDWI. Công thức tính toán chỉ số MNDWI được sử

dụng như công thức bên dưới với ρ_{GREEN} là kênh xanh lục, ρ_{SWIR1} là kênh hồng ngoại sóng ngắn SWIR1.

$$MNDWI = \frac{\rho_{GREEN} - \rho_{SWIR1}}{\rho_{GREEN} + \rho_{SWIR1}}$$

Sau khi phân tách xong được dữ liệu đường bờ,

việc tính toán tốc độ thay đổi đường bờ được tính toán bằng công cụ Landsat Toolbox trong ArcGIS trên cơ sở ứng dụng mô đun DSAS (Digital Shoreline Analysis System). Quy trình tính toán đường bờ được thực hiện theo các bước sau: (1) Xác định đường chuẩn (Baseline) và các đường tính toán (Shoreline); (2) Tạo các tuyến mặt cắt vuông góc với bờ (transect); (3) Tính toán tốc độ thay đổi đường bờ. Kết quả xu thế bồi xói và tốc độ bồi xói bờ biển vùng nghiên cứu được thể hiện trong hình 8 ở bên. Có thể thấy, so với thực tế kết quả phân tích ảnh thể hiện đúng quy luật, đồng thời lượng hóa rõ tốc độ bồi xói theo năm làm căn cứ cho việc xác định chỉ số tổn thương. Từ bản đồ tốc độ bồi xói tại hình 9 có thể nhận định rằng, toàn dải ven biển Cà Mau trong thời gian gần đây có tốc độ xói rất mạnh tương ứng với thang điểm 5



Hình 9: Tốc độ xói lở bờ biển khu vực nghiên cứu thời kỳ 1989 -2021

Chỉ có một phần dải ven biển thuộc huyện Phú Tân và huyện Ngọc Hiển hiện có xu thế bồi do ảnh hưởng của cửa sông Bảy Hạp và được bồi đắp bởi trầm tích vận chuyển từ phía bờ Đông chuyển sang. Dải bờ biển này tương ứng với mức độ tổn thương 1. Toàn bộ kết quả này đã được định lượng hóa làm cơ sở cho việc tính toán xác định chỉ số tổn thương bờ biển Cà Mau.

d) Biên độ dao động thủy triều

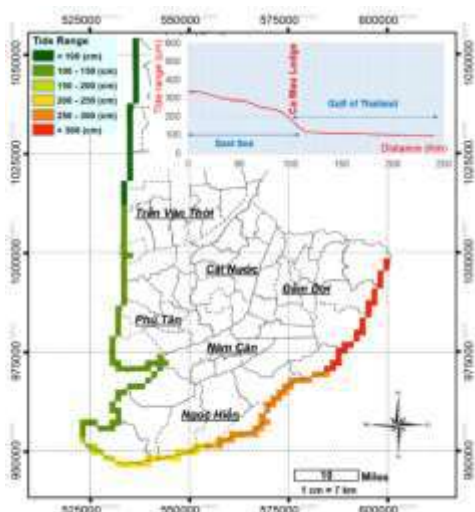
Tide is a phenomenon of which causes sea level to continuously change over time as the resultant

from gravitational attractions from the sun and moon.³⁰ From tidal observations, a few water levels can be derived such as the mean sea level (MSL), mean high tide and mean low tide. Within these water levels there exist several more specific terms. For example there are a number of mean high tides such as Mean High Water Spring (MHWS) and Mean Higher High Water (MHHW) and a number of mean low tides, for instance the Mean Low Water Neap (MLWN) and Mean Lower Low Water (MLLW). Tidal range is the difference between any of these corresponding high tides and low tides. During full moon and new moon, the greatest tidal range occurs due to maximum difference between high tides and low tides.

Thủy triều phụ thuộc hoàn toàn vào lực hấp dẫn của mặt trăng, và các vật thể chuyển động có quỹ đạo quanh trái đất. Vì vậy, để xác định được biên độ dao động thủy triều, cần phải có chuỗi số liệu thủy triều với chiều dài tối thiểu 18,6 năm, đây là độ dài tối thiểu để xác định được hết mức độ ảnh hưởng của các sóng dài kì. Việc xác định biên độ thủy triều có thể được thực hiện dựa trên số liệu thực đo dài kì, hoặc số liệu được mô hình hóa trong điều kiện được hiệu chỉnh kiểm định tốt. Đối với số liệu thực đo, để tính toán được biên độ thủy triều cần tiến hành phân tích điều hòa (theo phương pháp bình phương tối thiểu) để xác định bộ hằng số điều hòa, căn cứ vào bộ hằng số điều hòa phân tích được tiến hành dự báo lại thủy triều với độ dài chuỗi không nhỏ hơn 18.6 năm. Căn cứ vào chuỗi dự báo, tiến hành các phép thống kê đặc trưng theo tháng, năm để xác định biên độ thủy triều. Đối với phương pháp mô hình hóa, dựa trên mô hình đã được hiệu chỉnh kiểm định, tiến hành tính toán dao động mực nước thủy triều với thời gian tương tự như trên sau đó tiến hành thống kê tại các điểm đặc trưng ven bờ làm cơ sở xác định biên độ thủy triều. Trong hai phương pháp này, mỗi một phương pháp đều có ưu nhược điểm khác nhau. Phương pháp mô hình cho góc nhìn tốt hơn về sự phân bố theo không gian, còn phương pháp phân tích điều hòa sẽ đạt tính chính xác cao hơn do việc phân tích chuỗi số liệu thực đo dài kì sẽ thể hiện được tính địa phương tốt hơn.

Trong bài báo này, tác giả kế thừa kết quả của

dự án “Xây dựng đường mực nước triều ven biển Việt Nam” do Bộ tài nguyên và Môi trường thực hiện, công bố năm 2018. Đây là một dự án lớn, có quy mô tổng thể, đồng thời tính toán chi tiết cho dải ven biển Việt Nam. Kết quả được thể hiện theo các điểm đặc trưng thủy triều ven biển. Trong dự án này, biên độ thủy triều được xác định theo cả hai phương pháp là phương pháp thống kê và phương pháp mô hình hóa. Kết quả đã được Bộ tài nguyên và Môi trường công bố năm 2018 theo Quyết định 1790/BTNMT. Theo quyết định này, dải ven biển Cà Mau có các điểm đặc trưng triều bởi 368 điểm có mã số từ 5404 tới 5771. Dựa trên kết quả này, tác giả sử dụng đã xây dựng bản đồ phân bố dao động thủy triều toàn dải bờ biển Cà Mau như hình 10 bên dưới.



Hình 10: Bản đồ phân bố biên độ dao động thủy triều ven biển Cà Mau

Từ kết quả xây dựng bản đồ phân bố biên độ dao động thủy triều có thể nhận thấy rằng, ven biển Cà Mau mang đặc thù của cả Biên Đông và Vinh Thái Lan. Theo đó phía bờ Đông Cà Mau mang đặc thù thủy triều biên đông có biên độ dao động lớn hơn 3m. Giá trị lớn nhất khoảng 3,4m. Theo chiều từ Bắc xuống Nam biên độ triều giảm dần về phía Nam tới mũi Cà Mau giá trị biên độ đạt khoảng 2,0m. Tương tự như vậy, tại bờ Tây, biên độ thủy triều giảm dần theo chiều từ Nam lên Bắc. Từ mũi Cà Mau tới điểm giáp ranh giới Kiên Giang biên độ thủy triều giảm từ 2,0 me xuống còn 0,95m. Có thể thấy rằng biên độ thủy triều ven biển Cà Mau có sự chênh lệch rất lớn kéo theo

đó là sự khác biệt về chỉ số tổn thương ứng với tham số này cũng có sự thay đổi lớn theo quy luật giảm dần từ bờ Đông sang bờ Tây. Theo kết quả này, khi so sánh với bảng chỉ số tổn thương cho thấy chỉ số tổn thương bờ biển Cà Mau ứng với tham số dao động mực nước sẽ biến động từ 3 đến 5.

Khu vực chịu giá trị tổn thương lớn nhất là khu vực bờ Tây Cà Mau, với mức độ tổn thương là 5, giá trị này giảm dần khi sang bờ Đông với mức độ tổn thương là 3.

e) Mực nước dâng do biến đổi khí hậu

Mực nước biển dâng do biến đổi khí hậu, được hiểu là mực nước biển dâng do hiện tượng gia tăng nhiệt độ dẫn tới sự tan băng gây nước dâng trên toàn cầu. Tuy nhiên, thực tế cho thấy sự gia tăng mực nước biển có thể do nhiều nguyên nhân khác nhau như gia tăng cường độ bão hoặc áp thấp nhiệt đới, thay đổi chế độ khí áp dẫn tới gia tăng mực nước.



Hình 11: Sơ đồ trạm thủy triều thực đo thời kỳ (1980-2020) sử dụng để phân tích, đánh giá mực nước biển dâng

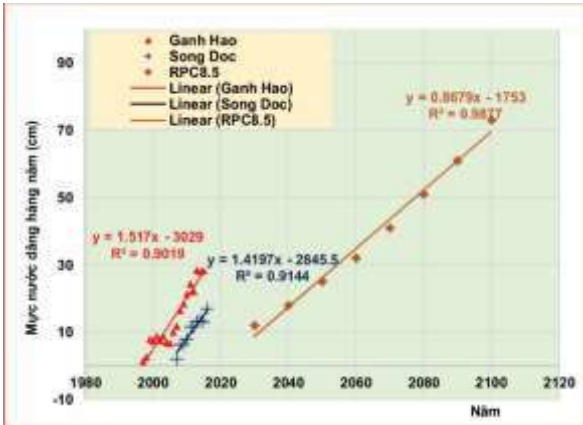
Việc gia tăng mực nước làm gia tăng chỉ số tổn thương ven bờ được thể hiện qua việc gia tăng nguy cơ ngập lụt đới ven bờ, cùng với đó mực nước cao tạo thuận lợi cho sóng tiến sâu vào bờ gây xói lở nghiêm trọng vùng ven bờ. Mức độ dâng nước biển thường được xác định dựa trên số liệu thực đo trung bình tháng (được ghi bằng triều kí, hoặc thu thập dữ liệu vệ tinh). Trong bài báo này, tác giả sử dụng số liệu thực đo dài kỳ tại hai trạm Gành Hào và Ông Đốc, trong đó trạm Gành Hào đặc trưng cho mực nước tại biển Đông và trạm Ông Đốc đặc trưng cho mực nước tại biển Tây. Sơ đồ trạm đo được thể hiện tại hình 10 ở bên

Ngoài ra, để có thêm dữ liệu kiểm chứng, căn cứ vào kịch bản biến đổi khí hậu do Bộ tài nguyên và Môi trường công bố năm 2016, tác giả lựa chọn kịch bản biến đổi khí hậu RCP 8.5

để làm căn cứ xem xét, theo đó số liệu nước dâng theo báo cáo này được thể hiện tại bảng 5 cụ thể như sau:

Bảng 5: Số liệu mực nước biển dâng do biến đổi khí hậu theo kịch bản RPC 8.5

Năm	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Mực nước biển dâng	12	18	25	32	41	51	61	73



Hình 12: Tổng hợp xu thế nước biển dâng theo số liệu thực đo tại trạm Ông Đốc, Gành Hào và kịch bản biến đổi khí hậu RCP 8.5

Dựa vào số liệu thực đo dài kỳ và số liệu mực nước biển dâng do biến đổi khí hậu theo kịch bản RPC 8.5, bài báo xây dựng đường xu thế mực nước dâng nhằm xác định tốc độ mực nước dâng theo

năm. Kết quả xác định xu thế được thể hiện tại hình vẽ 12 ở bên. Theo kết quả tổng hợp ở đồ thì nhận thấy, theo phân bố không gian tốc độ mực nước dâng tại trạm Gành Hào (Khu vực biển Đông Cà Mau) có tốc độ lớn hơn so với tốc độ nước dâng tại trạm sông Đốc (đại diện cho khu vực biển Tây Cà Mau), tuy nhiên mức độ chênh lệch không quá lớn.

Kết quả tổng hợp về xu thế và tốc độ dâng nước biển kèm theo đó là mức thang điểm tổn thương bờ biển tương ứng được thể hiện chi tiết tại bảng 6 bên dưới. Theo kết quả được tổng hợp cho thấy, so với số liệu thực đo, tốc độ mực nước biển dâng được xác định trong kịch bản biến đổi khí hậu RPC 8.5 có xu hướng thấp hơn. Đối với cả 3 nguồn dữ liệu nêu trên đều cho kết quả mức độ tổn thương bờ biển Cà Mau đối với cả vùng biển Đông và biển Tây là 5.

Bảng 6: Tổng hợp kết quả xác định tốc độ dâng nước biển theo năm và chỉ số tổn thương bờ biển tương ứng từ các nguồn dữ liệu theo phương pháp bình phương tối thiểu

STT	Nguồn dữ liệu	Phương trình xu thế	Hệ số R ²	Tốc độ tăng mm/yr	Chỉ số tổn thương
1	Trạm Gành Hào	$y = 1.517x - 3029$	0.9019	151,7	5
2	Trạm Ông Đốc	$y = 1.4197x - 2845.5$	0.9144	141,9	5
3	RCP 8.5	$y = 0.8679x - 1753$	0.9877	86,79	5

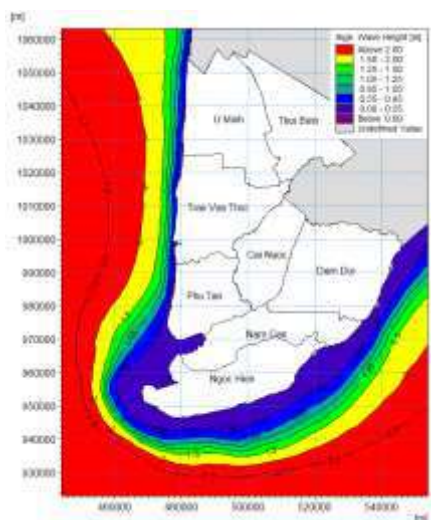
f) Chế độ sóng

Sóng là sản phẩm nội sinh được hình thành do tác động của gió lên bề mặt biển. Sóng tác động tới đới bờ, gây xói lở bờ biển theo nguyên lý cơ học. Sóng tác động cơ học vào trầm tích bờ, gây

bờ rời trầm tích, dòng chảy ven được hình thành ứng suất sóng tác động với địa hình đáy vận chuyển trầm tích đi nơi khác gây xói lở bờ biển. Một tác động khác của sóng ảnh hưởng tới đới bờ đó là gây ra mực nước dâng, có thể làm gia tăng mức độ ngập lụt ven bờ, tuy nhiên đây

không phải tác động chủ đạo ảnh hưởng trực tiếp tới chỉ số tổn thương ven bờ. Đặc trưng vật lý của sóng được thể hiện qua nhiều tham số, tuy nhiên đối với bài toán tổn thương bờ biển, các nghiên cứu đều thống nhất sử dụng chỉ số H_s (Chiều cao sóng có nghĩa) trung bình năm.

Trong bài báo này, tác giả kế thừa kết quả tính toán sóng được xây dựng từ đề tài “Nghiên cứu giải pháp mềm bảo vệ bờ vùng cửa sông, ven biển bán đảo Cà Mau”. Theo kết quả này, số liệu sóng được tính toán sử dụng modul SW trong phần mềm Mike 21. Mô hình được xây dựng sử dụng số liệu địa hình 10.000, 1/50.000, 1/250.000 được thu thập tại Bộ Tài nguyên và Môi trường, số liệu trường gió đầu vào sử dụng trường gió tái phân tích ERA-Interim, là bộ số liệu tái phân tích của trung tâm dự báo thời tiết hạn vừa Châu Âu (ECMWF), trước khi được áp dụng tính toán mô hình này đã được hiệu chỉnh kiểm định với số liệu sóng thực đo bằng máy Awac các thời kỳ năm 2017 và 2019 cho chỉ số Nash đối với tham số H_s $Nash = 0.76$ đối với thời kỳ 2017 và $Nash = 0.79$ đối với thời kỳ năm 2019. Kết quả mô phỏng trường H_s một năm, được trung bình hóa trên toàn vùng tính toán cho kết quả phân bố trường H_s trung bình như thể hiện tại hình 13 ở bên.



Hình 13: Trường H_s trung bình năm khu vực ven biển Cà Mau

Từ kết quả tính toán ở trên có thể thấy rằng, trường H_s trung bình năm tại vùng biển Cà Mau tương đối đồng đều. Theo quy luật lan truyền sóng, chiều cao sóng H_s sẽ giảm dần khi tiến

vào bờ, tùy từng điều kiện địa hình cụ thể mà chiều cao sóng sẽ khác nhau. Việc tổng hợp các kết quả đã công bố ở trên, cần chưa chỉ ra cơ sở cho việc lựa chọn vị trí xác định chiều cao sóng H_s làm đầu vào cho việc tính toán chỉ số tổn thương. Vì vậy, trong bài báo này, căn cứ vào kết quả tính toán, phân tích chế độ sóng ảnh hưởng tới bờ biển được nêu trong báo cáo mô hình toán thuộc đề tài “Nghiên cứu giải pháp mềm bảo vệ bờ vùng cửa sông, ven biển bán đảo Cà Mau”[26]. Tác giả lựa chọn giá trị chiều cao sóng H_s tại vị trí có độ sâu trung bình mà tại đó chiều cao sóng có khả năng tác động tới đáy (dept clause), theo đó đường đồng mức địa hình tương ứng để đạt điều kiện này tương đương với cao trình -3,2 đến -3,5 (hệ cao độ Nhà nước). Vị trí này cách mép nước biển trung bình nhiều năm từ 3,2km đến 4,2km. Theo lập luận này có thể nhận thấy rằng, chiều cao sóng H_s trung bình năm tương ứng tại mỗi vị trí đường bờ đều có giá trị lớn hơn 1,25m trên toàn dải bờ biển Cà Mau. Vì vậy, đối với tham số chiều cao sóng H_s trung bình năm giá trị tổn thương đạt thang điểm 5 trên toàn vùng nghiên cứu.

3.2. Tham số xã hội

Dựa vào tiêu chí của Boruff và cộng sự (2005); Cutter và cộng sự (2003) cùng với kết quả khảo sát các yếu tố xã hội trong khu vực nghiên cứu đã xác định được các đối tượng dễ bị tổn thương khi nước biển dâng. Theo đó các đối tượng xã hội được chia làm 5 nhóm với mức điểm từ 1 – 5 tương ứng với 5 mức nguy cơ tổn thương: rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao. Khác với việc xác định nhóm tham số vật lý, tham số xã hội được xác định dựa trên kết quả thống kê theo đơn vị hành chính cấp huyện. Do vậy, các phân tích so sánh với thang điểm tổn thương cũng được đối chiếu theo đơn vị hành chính cấp huyện cụ thể như sau:

a) Đối tượng bị ảnh hưởng:

Thể hiện đặc điểm sử dụng đất khu vực nghiên cứu, đồng thời thể hiện được một số đặc điểm kinh tế cơ bản của khu vực. Giá trị, chất lượng và mật độ sử dụng đất cung cấp một chỉ số về tình trạng nền kinh tế của cộng đồng, và những

tồn thất có thể xảy ra, theo đó yếu tố này được phân chia cụ thể thành các nhóm đối tượng như sau: Khu đất trồng, nước mặt, rừng ngập mặn; Đất nông nghiệp, đồng cỏ, thực phủ phi nông nghiệp, thực phủ chưa thành rừng; Khu vực khai thác, nuôi trồng thủy sản; Công trình; Dân cư, khu du lịch. Dựa trên bản đồ sử dụng đất của tỉnh Cà Mau, đối chiếu với thang điểm nêu trên cho thấy chỉ có khu vực huyện Ngọc Hiển và một phần đường bờ biển huyện Phú Tân có khai thác nuôi trồng thủy sản ven biển, đặc biệt khu vực Ngọc Hiển có thêm hoạt động du lịch tại khu vực mũi Cà Mau, do đó hai khu vực này có thang điểm tổn thương là 3, còn lại các khu vực khác có thang điểm tổn thương là 1.

b) Giao thông:

Việc hư hỏng hệ thống công rãnh, cầu cống, giao thông là những yếu tố tiềm ẩn gây ra thiệt hại do gánh nặng tài chính để xây dựng lại, đặc biệt đối với các khu vực cộng đồng dân cư có thu nhập thấp. Nền tảng giao thông tại khu vực càng phát triển, thì thiệt hại gặp phải khi chịu ảnh hưởng từ các tổn thương sẽ càng lớn. Căn cứ vào bản đồ mật độ giao thông khu vực ven biển, được phân theo cấp độ hành chính huyện nhận thấy rằng hệ thống cơ sở giao thông ven biển tương đối tương đồng trên tất cả các huyện ven biển, theo thang điểm nêu ở bảng 2, với mật độ cơ sở hạ tầng nêu trên bài báo đề xuất mức tham điểm tổn thương xã hội đạt giá trị 3

c) Y tế:

Việc các cơ sở y tế bị hư hỏng ngoài việc gây thiệt hại về tài chính, cũng như gánh nặng xây dựng lại cơ sở vật chất, còn dẫn đến thiếu các

trang thiết bị y tế phục vụ nhu cầu của cộng đồng. Thang tính điểm số cơ sở y tế được dựa trên tổng số lượng thực tế các cơ sở y tế trên địa bàn thuộc phạm vi nghiên cứu. Vì vậy căn cứ vào bản đồ phân bố các trạm y tế (theo các cấp) tại Cà Mau theo cấp hành chính huyện bài báo đề xuất thang điểm chỉ số tổn thương cụ thể theo từng huyện như tại bảng 7 bên dưới.

d) Cơ sở hạ tầng:

Cơ sở hạ tầng nói chung là nền tảng cơ bản để xây dựng và phát triển nền kinh tế - xã hội, những nguy cơ tổn hại cơ sở hạ tầng gây thiệt hại về kinh tế - xã hội cũng như đời sống dân cư, gây gánh nặng tài chính cho chính quyền và người dân trong việc phục hồi, xây mới.

e) Giáo dục:

Giáo dục gắn liền với tình trạng kinh tế xã hội, với trình độ học vấn cao hơn sẽ mang lại thu nhập suốt đời cao hơn. Tuy nhiên để đầu tư xây dựng các cơ sở trường học đòi hỏi kinh phí lớn do vậy các nguy cơ thiệt hại về cơ sở vật chất trường học cũng gây ra những thiệt hại lớn về kinh tế- xã hội cho cộng đồng dân cư. Thang tính điểm được dựa trên căn cứ về số trường học của toàn tỉnh Cà Mau, bao gồm các khối trường từ Mầm non đến THPT.

f) Mật độ dân số:

Được căn cứ dựa theo dân số và diện tích thực tế của các khu vực nghiên cứu. Mật độ dân số cao là một trong những yếu tố thể hiện sự phát triển về kinh tế-xã hội của khu vực nghiên cứu, đồng thời mật độ dân số thấp lại thể hiện khu vực nghiên cứu sẽ chịu ít thiệt hại hơn do những tác động từ các tổn thương có thể gặp phải.

Bảng 7: Tổng hợp kết quả xác định mức độ tổn thương theo các chỉ số thuộc nhóm tham số tổn thương xã hội (CsoVI) theo phân cấp hành chính huyện

STT	Tham số	Thang điểm - Mức tổn thương					
		Đàm Doi	Năm Căn	Ngọc Hiển	Phú Tân	Trần Văn Thời	U Minh
1	Đối tượng bị ảnh hưởng	1	1	3	3	1	1
2	Giao thông	3	3	3	3	3	3
3	Y tế	4	3	2	2	4	4
4	Cơ sở hạ tầng	3	3	3	3	3	3
5	Giáo dục	5	3	3	3	5	4

STT	Tham số	Thang điểm - Mức tổn thương					
		Đầm Doi	Năm Căn	Ngọc Hiển	Phú Tân	Trần Văn Thời	U Minh
6	Mật độ dân số (người/ha)	2	2	2	2	2	2

3.3. Kết quả tính toán chỉ số tổn thương

Như đã trình bày ở trên, trong bài báo này tiến hành tính toán chỉ số tổn thương ở 2 cấp độ theo đó cấp độ thứ nhất lập bản đồ chỉ số tổn thương độc lập với hai nhóm tham số bao gồm nhóm tham số vật lý (PCVI) và nhóm tham số xã hội (CsoVI). Việc tính toán độc lập này nhằm mục đích xem xét mức độ tổn thương đối bờ một các độch lập theo điều kiện tự nhiên và theo điều kiện xã hội. Tiếp theo đó, để chỉ số tổn thương đối bờ bám sát hơn so với thực tế, đồng thời xem xét tính tương tác giữa điều kiện tự nhiên và điều kiện phát triển kinh tế xã hội bài báo tiến hành tổng hợp hai nhóm tham số này lại với nhau và đánh giá chỉ số tổn thương chung trên toàn dải bờ biển.

Về mặt giá trị so sánh, đánh giá chỉ số tổn thương vùng bờ. Để có căn cứ phân tích luận điểm này như đã trình bày ở phần phương pháp. Việc xây dựng tham điểm so sánh được xác định theo hai cách từ đó hình thành hai thang điểm khác nhau với mục đích đánh giá toàn diện hơn, nhiều góc độ hơn về chỉ số tổn thương vùng bờ Cà Mau. Thang phân chia một được kế thừa và tham khảo báo cáo đánh giá chỉ số tổn thương phía bờ Tây nước Mỹ với ba cấp thang phân chia này được thiết lập nhằm làm sáng tỏ mức độ tổn thương vùng bờ biển Cà Mau với các vùng biển đã được áp dụng tính toán đánh giá trên thế giới, thang phân chia số hai với 5 cấp được xây dựng theo phương pháp thống kê đề xuất giá trị phân chia ở các điểm 25%, 50%, 75% và 100% trên toàn dải giá trị từ nhỏ nhất đến lớn nhất, thang phân chia này được xây

dựng nhằm mục đích đánh giá chi tiết mức độ tổn thương vùng bờ Cà Mau trong bối cảnh thực tế tại khu vực nghiên cứu. Các kết quả chi tiết cho từng nhóm tham số, và chỉ số tổn thương tổng hợp, cũng như các nhận định chi tiết về chỉ số tổn thương tại vùng biển Cà Mau được trình bày chi tiết ở các mục bên dưới.

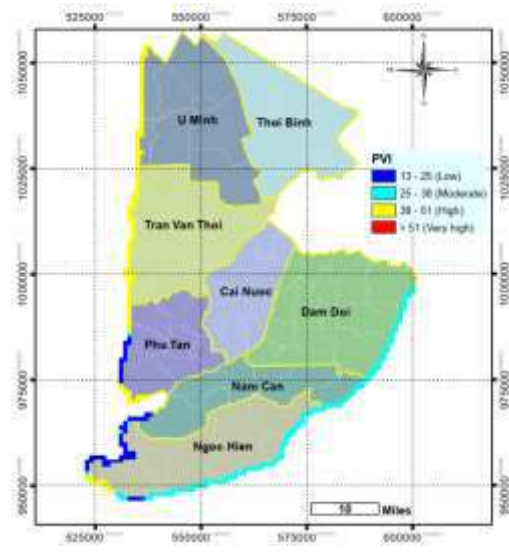
a) Chỉ số tổn thương vật lý (PCVI)

Chỉ số tổn thương vật lý thể hiện khả năng thích ứng tự nhiên của vùng bờ phụ thuộc vào đặc điểm tự nhiên của vùng nghiên cứu. Kết quả tính toán chỉ số tổn thương dựa vào sáu tham số vật lý được Thieler & Hammar -Klose, 1999 áp dụng tính toán cho bờ biển nước Mỹ cho thấy rằng.

Khi xem xét với thang điểm được áp dụng trong báo cáo tính toán chỉ số tổn thương bờ Tây nước Mỹ với 3 cấp độ cho thấy mức độ tổn thương bờ biển Cà Mau thuộc nhóm tổn thương cao. Toàn dải bờ biển phía Đông thuộc các huyện Đầm Dơi, Năm Căn, Ngọc Hiển đều có chỉ số tổn thương cao ngoại trừ đoạn bờ biển (3km) thuộc huyện Ngọc Hiển có chỉ số tổn thương trung bình. Tương tự như vậy với toàn dải bên biển phía Tây mức độ tổn thương cũng nằm trong nhóm cao bao gồm các huyện U Minh, Trần Văn Thời và một phần huyện Phú Tân. Kết quả chi tiết được thể hiện trên bản đồ hình 14a bên dưới. Kết quả đo đạc tổng hợp chiều dài đường bờ biển theo từng mức độ tổn thương vật lý được thể hiện tại bảng 8. Từ bảng này có thể thấy rằng trên toàn dải bờ biển Cà Mau vùng có chỉ số tổn thương cao chiếm tới 80%, chỉ số tổn thương trung bình là 18 % và chỉ số thấp là 2%.



Hình 14a: Bản đồ chỉ số tổn thương vật lý vùng bờ theo thang điểm 3 cấp (PCVI)



Hình 14b: Bản đồ chỉ số tổn thương vật lý vùng bờ theo thang điểm 5 cấp (PCVI)

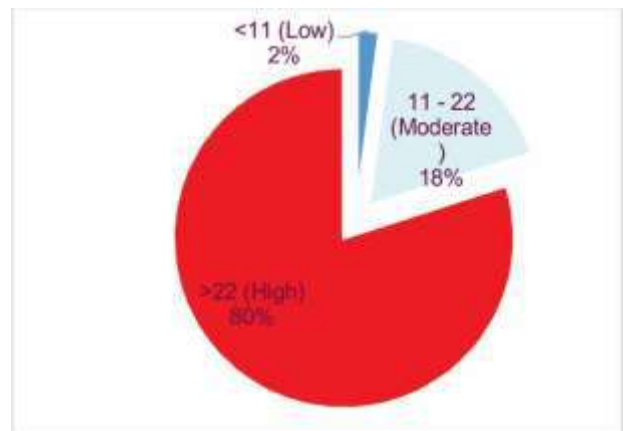
Bảng 8: Thống kê mức độ tổn thương vật lý theo chiều dài bờ biển tương ứng với thang số một (3 cấp)

Mức độ tổn thương	Chiều dài bờ biển (km)	%
<11 (Low)	4.6	2.08
11 - 22 (Moderate)	40.0	17.92
>22 (High)	178.6	80.00

Từ kết quả thống kê tại bảng 8 có thể thấy rằng khi áp dụng thang chỉ số 3 cấp theo báo cáo tính toán chỉ số tổn thương bờ Tây nước Mỹ cho thấy trên toàn dải bờ biển Cà Mau vùng có chỉ số tổn thương cao chiếm tới 80%, chỉ số tổn thương trung bình là 18 % và chỉ số thấp là 2%. Vì vậy, nếu theo thang chia này có thể nhận định đối với nhóm tham số vật lý dải ven biển Cà Mau thuộc nhóm chịu tổn thương cao so với các nước trên thế giới. Bởi theo kết quả tính toán có tới 80% chiều dài đường bờ biển có chỉ số tổn thương vật lý cao

Tương tự với cách tiếp cận trên, nhận định tổng quan về mức độ tổn thương ven biển Cà Mau theo thang chia 5 cấp thấy rằng, toàn dải ven biển phía Đông Cà Mau bao gồm các huyện Đầm Dơi, Năm Căn và Ngọc Hiển có mức độ tổn thương trung bình, bờ biển phía biển phía Tây Ngọc biển và phía Nam huyện Phú Tân do được bồi đắp bởi cửa sông bầy Hạp nên có mức độ tổn thương thấp. Một phần mũi Cà Mau và

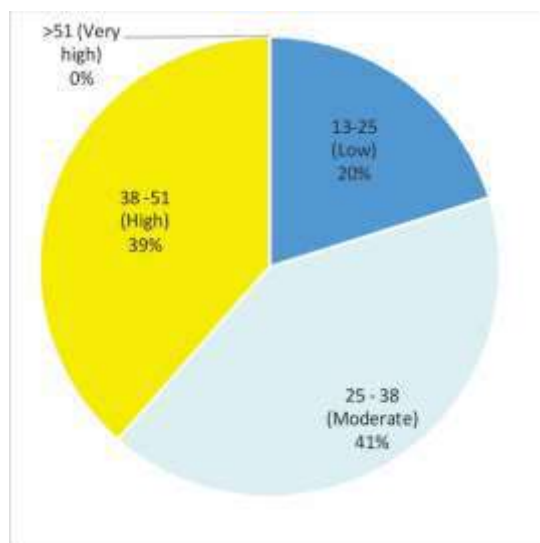
tòa bộ bờ biển huyện U Minh, Trần Văn Thời và bờ biển phía bắc huyện Phú Tân có chỉ số tổn thương cao. Toàn dải bờ biển không có vị trí nào có chỉ số tổn thương rất cao, hoặc rất thấp. Chi tiết, mức độ tổn thương theo phân cấp hành chính huyện được thể hiện trên hình 14b.



Hình 15: Đồ thị tổng hợp mức độ tổn thương trên toàn dải bờ biển Cà Mau theo thang 3 cấp

Bảng 9: Thống kê mức độ tổn thương vật lý theo chiều dài bờ biển tương ứng với thang số một (5 cấp)

Mức độ tổn thương	Chiều dài bờ biển (km)	%
>13 (Very low)	0.0	0.00
13-25 (Low)	45.0	20.15
25 - 38 (Moderate)	92.2	41.32
38 -51 (High)	86.0	38.52
>51 (Very high)	0	0



Hình 16: Đồ thị tổng hợp mức độ tổn thương trên toàn dải bờ biển Cà Mau theo thang 3 cấp

Từ kết quả thống kê chi tiết chiều dài bờ biển theo các mức độ tổn thương (5 cấp) nhận thấy rằng trên toàn dải bờ biển Cà Mau có 39% có giá trị tổn thương cao, 41% có giá trị tổn thương trung bình và 20% có giá trị tổn thương thấp. Không tồn tại vị trí có giá trị tổn thương rất thấp hoặc rất cao. Tỷ lệ phần trăm đường bờ theo giá trị tổn thương được thể hiện rõ tại đồ thị hình 16. Vì vậy, nếu theo thang chia này có thể thấy rằng vùng ven biển Cà Mau có chỉ số tổn thương tương đối cao với tỷ lệ tổn thương cao và tổn thương trung bình xấp xỉ nhau, với 39% tổn thương cao, 41% tổn thương trung bình, chênh nhau 2%.

Đánh giá chi tiết về chiều dài đường bờ theo phân cấp huyện nhận thấy, đường bờ có chỉ số tổn thương cao dài 86km tập trung ở phía bờ Tây tại các huyện U Minh, Trần Văn Thời và Phú Tân, chiều dài đường bờ biển có chỉ số tổn thương trung

bình là 92km tập trung ở phía bờ Đông tại các huyện Đầm Dơi, Năm Căn, Ngọc Hiển.

Từ các kết quả phân tích nêu trên có thể nhận xét rằng, khi xem xét độc lập chỉ số tổn thương vật lý với cả hai thang phân cấp, dải bờ biển Cà Mau có mức độ tổn thương ở mức tương đối cao và cao so với các nghiên cứu đã được công bố. Mức độ tổn thương vật lý cao thường tập trung tại vùng biển phía Đông, phía Tây và một phần tại mũi Cà Mau. Chỉ có một đoạn bờ biển ngắn thuộc huyện Ngọc Hiển, và phía Nam huyện Phú Tân có mức độ tổn thương trung bình thấp, do khu vực này hiện nay vẫn được bồi đắp bởi phù sa từ sông Bảy Hạp, đồng thời với đó lượng phù sa chuyên từ bờ Đông sang cũng được tích tụ tại khu vực này.

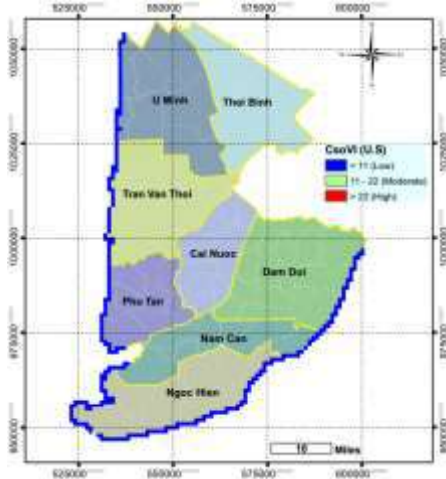
Khi so sánh giữa hai thang phân chia mức độ tổn thương nhận thấy, thang chia được xác định theo phương pháp thống kê dựa trên số liệu tính toán thực tế cho mức độ chi tiết và thể hiện được bản chất vật lý của quá trình tốt hơn. Ngược lại, thang chia ba cấp lại cho ý nghĩa về mặt đối sánh với công bố nước ngoài làm cơ sở cho việc nhận định mức độ tổn thương của khu vực nghiên cứu.

b) Chỉ số tổn thương xã hội (CsoVI)

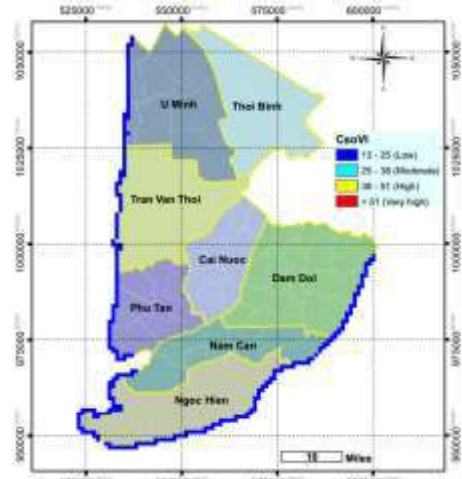
Cũng giống chỉ số tổn thương vật lý, mức độ tổn thương xã hội cũng được xem xét theo cả hai thang chỉ số với thang 3 cấp và thang 5 cấp. Kết quả tính toán cho thấy rằng, đối với điều kiện phát triển kinh tế xã hội hiện trạng tại Cà Mau cho mức độ tổn thương thấp đối với cả hai thang điểm trên toàn bộ dải ven biển Cà Mau. Mức độ chênh lệch về cơ sở hạ tầng, giao thông, y tế và trường học theo phân cấp hành chính cấp huyện chưa đủ lớn tạo ra sự khác biệt về mức

độ tổn thương giữa các huyện trên toàn dải ven biển Cà Mau. Chi tiết bản đồ mức độ tổn thương

xã hội được thể hiện tại hình 17a và 17b bên dưới.



Hình 17a: Bản đồ chỉ số tổn thương xã hội vùng bờ theo thang điểm 3 cấp (CSoVI)

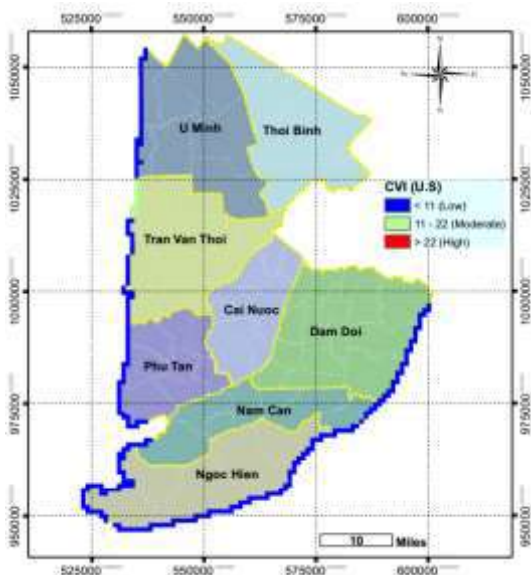


Hình 17b: Bản đồ chỉ số tổn thương xã hội vùng bờ theo thang điểm 5 cấp (CSoVI)

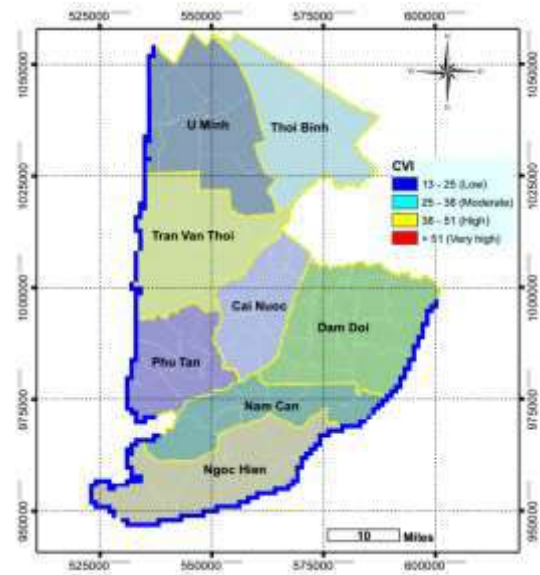
c) Chỉ số tổn thương tổng hợp

Qua phân tích độc lập mức độ tổn thương vật lý và mức độ tổn thương xã hội ven bờ biển Cà Mau nhận thấy rằng, ứng với điều kiện tự nhiên hiện trạng, cho chỉ số tổn thương vật lý ở nhóm tương đối cao và cao so với các nghiên cứu đã được công bố. Tuy nhiên, về mặt xã hội kết quả tính toán cho thấy mức độ tổn thương ở mức thấp

với cả hai thang điểm. Điều này được hiểu rằng, với hiện trạng cơ sở hạ tầng phát triển kinh tế như tại Cà Mau chưa đủ phát triển để gia tăng mức độ tổn thương ứng với điều kiện biến đổi khí hậu hiện tại. Do vậy, việc tổng hợp hai nhóm chỉ số này vừa mang tính tham khảo, vừa mang tính đánh giá tổng quan khả năng thích ứng ven bờ Cà Mau với biến đổi khí hậu. Kết quả tổng hợp chi tiết được thể hiện tại hình vẽ 18a và 18b bên dưới.



Hình 18a: Bản đồ chỉ số tổn thương tổng hợp vùng bờ theo thang điểm 3 cấp (CVI)



Hình 18b: Bản đồ chỉ số tổn thương tổng hợp vùng bờ theo thang điểm 5 cấp (CVI)

Kết quả tính toán chỉ số tổn thương tổng hợp cho thấy toàn dải ven biển Cà Mau có mức độ tổn thương thấp đối với cả hai thang phân cấp tổn thương, Duy nhất có một dải bờ biển khoảng 9km thuộc phía Bắc huyện Trần Văn Thời có mức độ tổn thương trung bình với thang

điểm 3 cấp. Có thể nhận định rằng, khi tổng hợp hai nhóm chỉ số cho thấy nhóm chỉ số tổn thương xã hội chiếm tỉ trọng lớn nhóm chỉ số tổn thương vật lý. Chi tiết mức độ tổn thương bờ biển tổng hợp được thể hiện ở bảng 10 và bảng 11 bên dưới.

Bảng 10: Thống kê mức độ tổn thương tổng hợp theo chiều dài bờ biển tương ứng với thang phân chia (3 cấp)

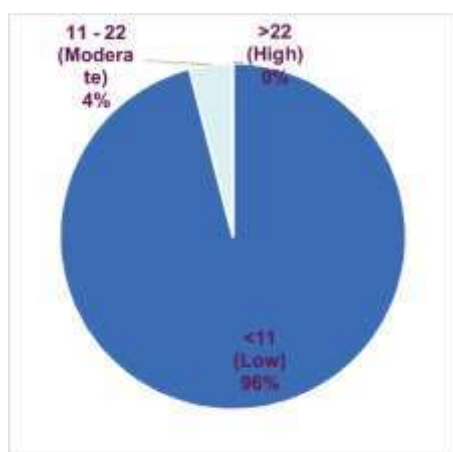
Mức độ tổn thương	Chiều dài bờ biển (km)	%
<11 (Low)	214.1	95.92
11 - 22 (Moderate)	9.1	4.08
>22 (High)	0.0	0

Bảng 11: Thống kê mức độ tổn thương tổng hợp theo chiều dài bờ biển tương ứng với thang phân chia (5 cấp)

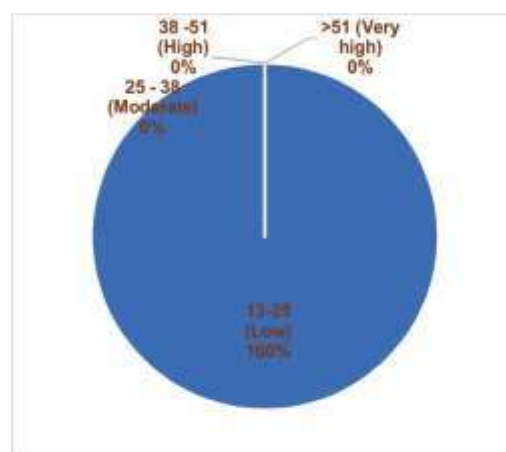
Mức độ tổn thương	Chiều dài bờ biển (km)	%
>13 (Very low)	0.0	0.00
13-25 (Low)	223.2	100
25 - 38 (Moderate)	0.0	0
38 -51 (High)	0.0	0
>51 (Very high)	0.0	0

Qua các bảng tổng hợp trên nhận thấy rằng, đối với thang điểm 5 cấp tất cả dải bờ biển có mức độ tổn thương tổng hợp thấp, đối với thang điểm 3 cấp có khoảng 4% trên tổng chiều dài đường bờ biển có chỉ số tổn thương trung bình. Tuy nhiên,

sự sai khác giữa hai cách phân chia này trong chỉ số tổn thương tổng hợp không mang ý nghĩa thực tiễn, không đủ cơ sở để so sánh cũng như đánh giá về quy luật phân bố mức độ tổn thương ven biển Cà Mau.



Hình 19a: Đồ thị tổng hợp mức độ tổn thương vùng bờ theo thang điểm 3 cấp (CVI)



Hình 19b: Đồ thị tổng hợp mức độ tổn thương vùng bờ theo thang điểm 5 cấp (CVI)

Nhìn chung có thể kết luận rằng, đối với vùng nghiên cứu việc tính toán giá trị tổn thương tổng

hợp được xem xét là một cơ sở để tham khảo, kết quả này không mang tính định hướng. Bởi

các yếu tố xã hội có tính tùy biến cao, mức độ tương tác nội hàm lớn và phức tạp. Có sự biến động nhanh theo thời gian. Do vậy, việc phân tích yếu tố này cần chi tiết, có sự đánh giá qua lại dựa trên cơ sở dữ liệu đủ lớn, đủ dài mới có thể đưa ra kết quả chính xác về mức độ tổn thương xã hội. Khi yếu tố này được phân tích kỹ việc tổ hợp hai chỉ số tổn thương xã hội và tổn thương vật lý mới mang ý nghĩa định hướng, phát triển. Vì vậy, đối với Cà Mau kiến nghị sử dụng chỉ số tổn thương vật lý làm chỉ số chính để định hướng phát triển.

4. KẾT LUẬN

Qua tổng hợp, nghiên cứu lý thuyết về mức độ tổn thương bờ biển có thể nhận thấy chỉ số tổn thương bờ biển phụ thuộc vào 3 nhóm yếu tố chính bao gồm (1) nhóm chỉ số vật lý, (2) nhóm chỉ số xã hội và (3) nhóm chỉ số sinh học. Tuy nhiên đối với vùng biển nghiên cứu, trong bối cảnh hiện trạng chỉ nên áp dụng nhóm chỉ số vật lý làm cơ sở xây dựng bản đồ chỉ số tổn thương bờ biển.

Kết quả tính toán mức độ tổn thương bờ biển đối với nhóm chỉ số vật lý cho thấy bờ biển Cà Mau có chỉ số tổn thương ở mức cao so với các nghiên cứu đã được công bố, theo cả hai thang điểm được áp dụng. Với tổng chiều dài bờ biển có mức độ tổn thương cao là 80% với thang 3 cấp tương đương với 178km chiều dài bờ biển và 39% với thang 5 cấp tương đương với 86km chiều dài bờ biển. Mức độ tổn thương cao nhất

tại bờ biển phía Tây thuộc huyện U Minh, Trần Văn Thời, tiếp đó là đường bờ thuộc huyện Đầm Dơi, Năm Căn và phía Đông huyện Ngọc Hiển.

Kết quả tính toán mức độ tổn thương bờ biển đối với nhóm chỉ số xã hội và mức độ tổn thương tổng hợp cho thấy kết quả mức độ tổn thương vùng nghiên cứu thấp và trải trên toàn bộ dải ven biển Cà Mau. Mức độ tổn thương trung bình chỉ tồn tại ở dải bờ biển huyện Trần Văn Thời với chiều dài khoảng 9,1km, khi xem xét với thang 3 cấp.

Qua đây cũng có thể nhận thấy, việc phân chia cấp tổn thương có ý nghĩa rất quan trọng. Đối với nghiên cứu này thang 3 cấp có ý nghĩa so sánh mức độ tổn thương của vùng nghiên cứu với các vùng khác đã công bố, thang 5 cấp có ý nghĩa thể hiện chi tiết mức độ khác biệt trên toàn dải bờ biển nghiên cứu theo đó kết quả tính toán đối với thang chia chi tiết (5 cấp) đã nổi rõ được vùng cần ưu tiên giải pháp ứng phó với biến đổi khí hậu là vùng biển Tây Cà Mau khu vực bờ biển thuộc huyện U Minh, huyện Trần Văn Thời.

Ngoài ra, khi xem xét chi tiết các tham số ảnh hưởng tới mức độ tổn thương bờ biển Cà Mau cho thấy nhóm chỉ số xã hội có tính tương đồng cao, trong nhóm chỉ số vật lý yếu tố địa chất, sóng, nước dâng do biến đổi khí hậu, độ dốc bãi biển có tính tương đồng trên toàn dải bờ biển, các chỉ số biên độ thủy triều, mức độ xói lở bờ biển biến động mạnh theo không gian.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] 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.
- [2] 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).
- [3] 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
- [4] Christian Henckes, GIZ, 2017. *Bảo vệ tổng hợp vùng ven biển Đồng bằng Sông Cửu Long*. Cần Thơ, 2017, 15p.
- [5] Cutter, S.L., 1996. Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 20(4), 529–539.
- [6] 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.
- [7] 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.

- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Gornitz V.M., White T.W. and Cushman R.M., 1991. *Vulnerability of the U.S. to future sea-level rise*. In *Proceedings of Seventh Symposium on Coastal and Ocean Management*. Long Beach, CA (USA), 1991, pp. 2354-2368.
- [11] Gornitz V.M., 1991a. *Development of a global coastal hazard database: Annual technical report*. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.
- [12] 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.
- [13] 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
- [14] 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.
- [15] Hieu N., Hieu D. T., Canh P. X., Ha T. P., 2014. *Biến đổi bờ biển tỉnh Thừa thiên huế dưới ảnh hưởng của nước biển dâng do biến đổi khí hậu*. 25 năm Việt Nam học theo định hướng liên ngành, pp. 589-608.
- [16] Lap N. V., Oanh T. T. K., 2011. *Đặc điểm trầm tích bãi triều và thay đổi đường bờ biển khu vực ven biển tỉnh Cà Mau, châu thổ sông Cửu Long*. *Journal of Earth Sciences* 34(1). pp. 1-9.
- [17] Ojeda, E., Guillén, J., 2008. *Shoreline dynamics and beach rotation of artificial embayed beaches*. *Mar. Geol.* 253 (1–2), 51–62.
- [18] 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
- [19] Phai 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*. Vietnam National University, Hanoi, 319p
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Thieler, E.R. and Hammer-Klose, E.S., 2000b. *National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the US Gulf of Mexico Coast*. Woods Hole, MA: United States Geological Survey (USGS), Open File Report 00-179, 1p.
- [24] Vietnam Ministry of Natural Resources and Environment, *Tổng quan các thách thức đối với đồng bằng sông cửu long*, Report, 18p
- [25] Vietnam Ministry of Science and Technology, 2016. *Kết quả nghiên cứu khoa học và công nghệ ứng phó với biến đổi khí hậu giai đoạn 2011 - 2015, định hướng nghiên cứu tiếp theo vùng đồng bằng sông Cửu Long*. Report, 16p.
- [26] Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2021. *Nghiên cứu giải pháp mềm bảo vệ bờ vùng cửa sông, ven biển bán đảo Cà Mau*.