



ASSESSMENT AND PREDICTION OF THE SHORELINE EVOLUTION ALONG TAM HAI TOMBOLO, QUANG NAM PROVINCE

Vu Minh Tuan¹, Luong Phuong Hau¹, Nguyen Viet Thanh^{2*}, Ho Sy Tam³

¹National University of Civil Engineering, No.55 Giai Phong Street, Hanoi, Vietnam

²University of Transport and Communications, No.3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

³Thuyloi University, No.175 Tay Son Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 14/01/2021

Revised: 20/04/2021

Accepted: 14/05/2021

Published online: 15/06/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.5.8>

*Corresponding author

Email: vietthanh@utc.edu.vn; Tel: 0912074850

Abstract. Tam Hai Tombolo with three sides facing the sea and one side bordering Truong Giang river, is also the place where the coastal erosion and accretion occur complicatedly. In this work, the combination of remote sensing, geographic information system (GIS) techniques coupled with the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) and linear regression method were applied for detecting and evaluating the historical shoreline changes between 1975 and 2019 as well as predicting the position of the future shoreline in Tam Hai tombolo. The results show a clearer and detailed picture of the erosion/accretion rates and locations in the study area in the past as well as in the future. In the period of 1975-2019, the process of erosion and accretion took place alternately. Erosion phenomenon still prevails in the North coast with an rate of -18,51 m/year, meanwhile, the South coast is mostly deposited at an rate of about +1,1 m/year. However, in the future period of 2019-2050, both the North and South coast areas of Tam Hai Tombolo are predicted to be eroded. Shoreline variability assessment with multi-time remote sensing images provides a fast and accurate tool for coastal management and protection.

Keywords: Shoreline, Remote Sensing & GIS, erosion, accretion, Tam Hai tombolo.



ĐÁNH GIÁ VÀ DỰ ĐOÁN BIẾN ĐỘNG ĐƯỜNG BỜ DỌC TOMBOLO TAM HẢI, TỈNH QUẢNG NAM

Vũ Minh Tuấn¹, Lương Phương Hậu¹, Nguyễn Việt Thanh^{2*}, Hồ Sỹ Tâm³

¹Trường Đại học Xây dựng, Số 55 Giải Phóng, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

³Trường Đại học Thủy lợi, Số 175, Tây Sơn, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 14/01/2021

Ngày nhận bài sửa: 20/04/2021

Ngày chấp nhận đăng: 14/05/2021

Ngày xuất bản Online: 15/06/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.5.8>

*Tác giả liên hệ

Email: vietthanh@utc.edu.vn; Tel: 0912074850

Tóm tắt. Tombolo Tam Hải có ba mặt giáp biển và một mặt giáp sông Trường Giang, cũng là nơi hiện tượng xói lở và bồi tụ bờ biển diễn biến rất phức tạp. Trong nghiên cứu này, sự kết hợp của kỹ thuật viễn thám, hệ thống thông tin địa lý (GIS) cùng với Hệ thống phân tích đường bờ kỹ thuật số (DSAS) và phương pháp hồi quy tuyến tính được áp dụng để trích xuất và đánh giá những thay đổi đường bờ trong quá khứ từ năm 1975 đến năm 2019 cũng như dự đoán vị trí của đường bờ trong tương lai (2030 và 2050) của Tombolo Tam Hải. Kết quả nghiên cứu đã đưa ra một bức tranh tổng thể rõ hơn về các vị trí cũng như tốc độ xói lở/bồi tụ tại khu vực trong quá khứ cũng như tương lai. Trong giai đoạn 1975-2019, quá trình xói lở và bồi tụ đan xen nhau. Hiện tượng xói lở vẫn chiếm ưu thế tuyệt đối ở bờ biển Bắc với tốc độ xói lở lên đến -18,51 m/năm, trong khi đó, bờ biển Nam được bồi tụ phần lớn với tốc độ bồi tụ khoảng +1,1 m/năm. Tuy nhiên, trong giai đoạn tương lai 2019-2050, cả hai khu vực bờ biển Bắc và Nam của Tombolo Tam Hải được dự đoán trải qua hiện tượng xói lở. Đánh giá biến động đường bờ bằng ảnh viễn thám đa thời gian cung cấp một công cụ nhanh chóng và chính xác trong công tác quản lý và bảo vệ bờ biển.

Từ khóa: Đường bờ, Viễn thám & GIS, xói lở, bồi tụ, Tombolo Tam Hải.

© 2021 Trường Đại học Giao thông vận tải

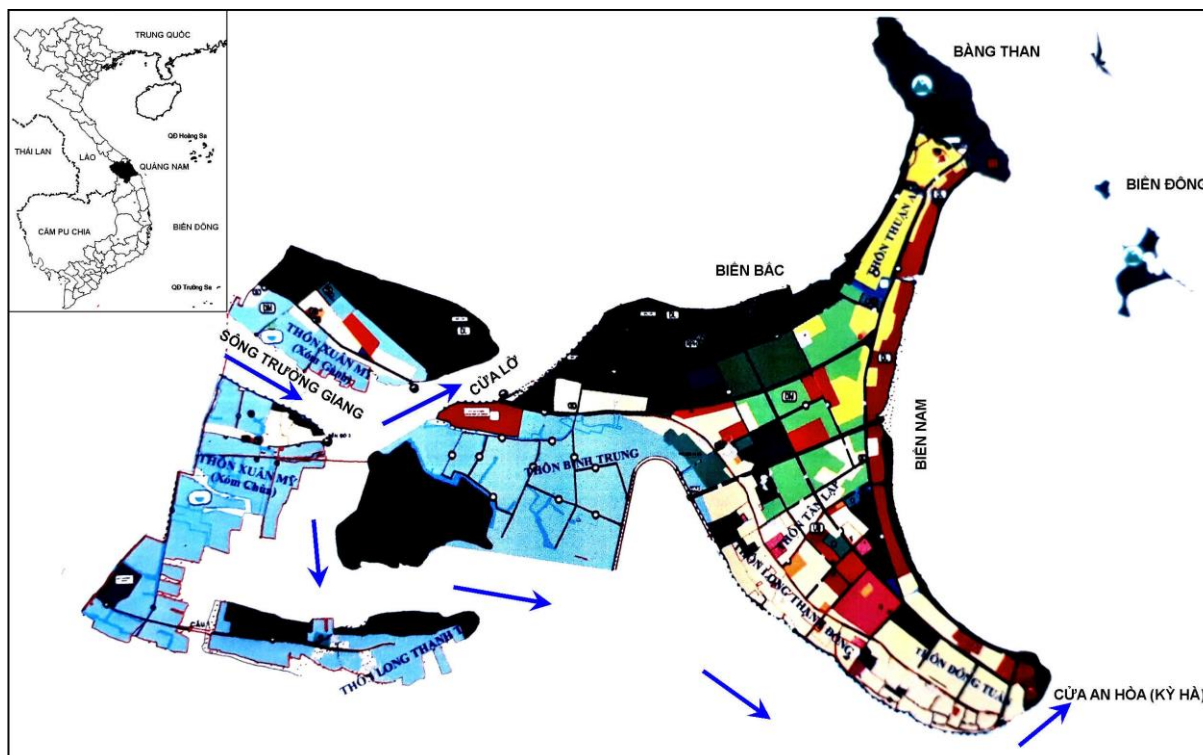
1. MỞ ĐẦU

Tam Hải là một xã đảo thuộc huyện Núi Thành, tỉnh Quảng Nam, nằm giữa hai cửa sông là cửa Lở (phía Bắc) và cửa An Hòa (phía Nam) (Hình 1). Phần lớn Tombolo Tam Hải nằm

trên doi cát nổi lớn nổi đảo cổ xưa Bàng Than. Đây là một dạng tombolo đặc biệt, một hình thái địa mạo độc đáo và hiếm có trên thế giới, doi cát được bồi tụ và phát triển phía sau đảo. Nó là kết quả của sự kết hợp của một số yếu tố, nhưng chủ yếu được hình thành do quá trình nhiễu xạ và khúc xạ sóng xung quanh đảo. Sóng lan truyền đến gần hai bên sườn hòn đảo với các góc tới khác nhau và sau đó bị chậm lại bởi hiệu ứng nước nông bao quanh nó. Hình dạng mặt sóng được tạo ra bởi chu trình chuyển động của nước này gây ra sự hội tụ của dòng vận chuyển bùn cát dọc bờ biển ở phía đối diện của hòn đảo. Các trầm tích từ các sông Trường Giang, Tam Kỳ và An Dân được dòng chảy vận chuyển ra phía sau của hòn đảo sẽ tích tụ ở đó. Hơn nữa, sự hiện diện của các bãi ngầm san hô cũng tạo điều kiện cho sự lắng đọng trầm tích. Dần dần, bùn cát tích tụ này sẽ nhiều lên, rộng hơn và phát triển về phía trong đất liền. Phần cánh phía bắc của Tombolo Tam Hải nối liền với doi cát kéo dài được hình thành từ bùn cát của cửa Đại của sông Thu Bồn. Tuy nhiên, sau các trận lũ trong lịch sử, dòng chảy với lưu tốc lớn trên sông Trường Giang đã chọc thủng doi cát này và mở ra cửa mới (cửa Lở ngày nay). Khác với các Tombolo trên thế giới, doi cát bồi tụ của Tombolo Tam Hải không nối liền đảo với lục địa, bởi sông Trường Giang chảy ngăn cách phía sau.

Với đường bờ biển dài hơn 10 km, Tombolo Tam Hải thường xuyên chịu nhiều ảnh hưởng của các tác động (sóng, thủy triều, bão...) gây nên hiện tượng xói lở và bồi tụ. Trong những năm gần đây, quá trình sạt lở và bồi tụ cửa sông và bờ biển Tam Hải xảy ra rất thường xuyên và ngày càng nghiêm trọng, ảnh hưởng rất lớn đến đời sống kinh tế - xã hội của cộng đồng dân cư địa phương. Để hạn chế và ngăn chặn hiện tượng xói lở bờ biển, cả phương pháp bảo vệ bờ mềm (mở hàn và kè ống địa kỹ thuật trong cửa Lở ở bờ biển Bắc) và cứng (kè bờ bê tông ở bờ biển Nam) đều đã được áp dụng, nhưng hiệu quả của các công trình này không cao và thậm chí đã bị hư hỏng. Từ năm 2013 đến nay, tuyến bờ biển từ thôn Tân Lập đến Thuận An (bờ biển Nam) liên tục xảy ra sạt lở (Hình 1), những đoạn kè được xây dựng nhằm chống lại triều cường cũng bị hư hỏng nặng, khiến hàng trăm hộ dân phải sống trong tình cảnh lo lắng. Trong đợt mưa bão do ảnh hưởng cơn bão số 5 năm 2019, bờ biển thôn Bình Trung và cửa biển cửa Lở bị sóng biển và triều cường đánh tan hoang, gây sạt lở, ăn sâu vào hàng chục mét, nhiều cây dương liễu chắn sóng gió bị ngã đổ cuốn ra biển, nhiều chòi canh giữ vuông tôm của người dân cũng bị sóng đánh hư hỏng... Quá trình xói lở này diễn ra liên tục trong quá khứ cũng như hiện tại và sẽ còn diễn ra trong tương lai, nhất là trong bối cảnh mực nước biển ngày một dâng cao bởi biến đổi khí hậu và ảnh hưởng của tác động con người ngày càng gia tăng. Vì vậy việc theo dõi, giám sát khu vực bờ biển và sự thay đổi của đường bờ biển là rất quan trọng. Đây được xem là nhiệm vụ rất cần thiết trong giai đoạn hiện nay, là cơ sở đúng đắn trong việc quản lý nhằm hạn chế mức thiệt hại thấp nhất và an toàn cho cuộc sống người dân cũng như trong quá trình phát triển kinh tế khu vực.

Công nghệ viễn thám và GIS là một hướng tiếp cận hiệu quả, đang được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu đánh giá hiện trạng, diễn biến xói lở - bồi tụ bờ biển, cửa sông. Viễn thám cung cấp các tư liệu ảnh qua các thời kỳ khác nhau, trong khi đó GIS giúp cho việc lưu trữ, cập nhật và sử dụng có hiệu quả các dữ liệu đã có về hiện tượng xói lở - bồi tụ. Trong bài báo này, phương pháp ảnh viễn thám và công nghệ GIS cùng với phần mềm DSAS sẽ được áp dụng để đánh giá định lượng sự thay đổi đường bờ cũng như bồi tụ và xói lở ở bờ biển Bắc và Nam Tombolo Tam Hải trong giai đoạn từ năm 1975 đến 2019 cũng như dự đoán vị trí đường bờ trong tương lai.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

2. TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Tài liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này, ảnh vệ tinh Landsat MSS, Landsat TM, Landsat ETM + và Landsat OLI từ năm 1975 đến năm 2019 đã được thu thập để trích xuất đường bờ biển; từ đó đánh giá biến động của đường bờ khu vực Tomboło Tam Hải. Việc lựa chọn hình ảnh dựa trên một số tiêu chí quan trọng, cụ thể như tất cả các hình ảnh đã được thu thập gần như cùng trong một khoảng thời gian cuối mùa khô với chất lượng tốt để loại bỏ ảnh hưởng của mực nước biển dâng do bão, sóng và thủy triều; chỉ những hình ảnh có mây che phủ dưới 10% mới được chọn [1]. Chi tiết về số liệu vệ tinh được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Danh sách các ảnh vệ tinh được sử dụng trong nghiên cứu.

Stt	Vệ tinh và Cảm biến	Ngày chụp	Thời gian chụp	Số lượng kênh	Độ phân giải (m)
1	Landsat 1-5 MSS	27/09/1975	02:24:37	4	79
2	Landsat 4-5 TM	25/09/1990	02:26:12	7	30
3	Landsat 7 ETM+	07/05/2000	02:58:39	8	15/30
4	Landsat 7 ETM+	21/09/2009	02:56:36	8	15/30
5	Landsat 8 OLI	01/09/2019	02:47:42	8	15/30

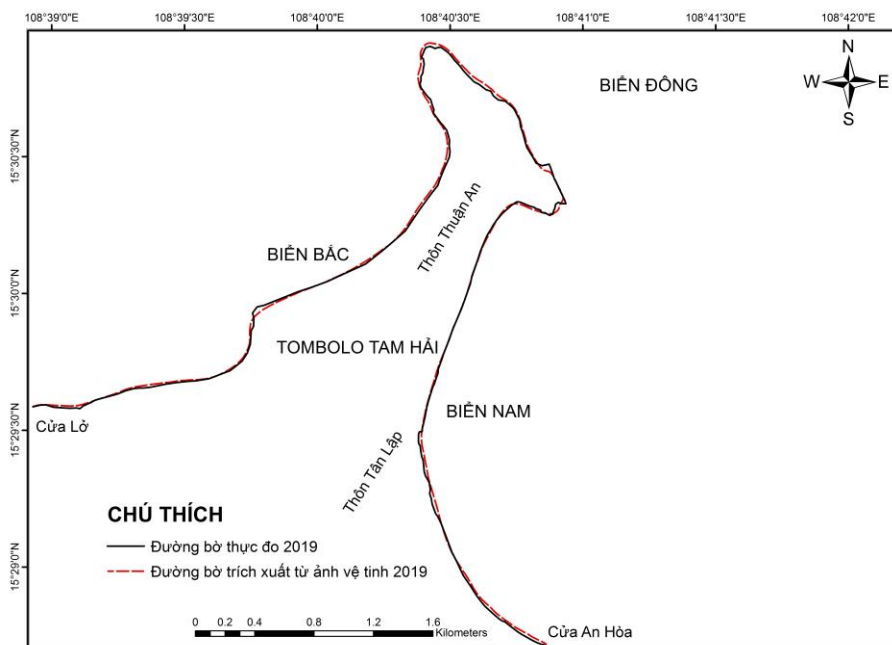
Các ảnh vệ tinh thô thường chứa nhiều khuyết tật, như biến dạng bức xạ, các sọc đen, biến dạng hình học, hiện tượng nhiễu, v.v..., do sự thay đổi về độ cao, trạng thái và vận tốc của nền tảng cảm biến [2]. Vì vậy, chúng cần được xử lý trước để nâng cao chất lượng hình ảnh như hiệu chỉnh bức xạ, hiệu chỉnh khí quyển, xóa sọc đen, làm sắc nét hoặc hiệu chỉnh hình học, trước khi được sử dụng như một bản đồ nền phục vụ trích xuất đường bờ. Các quá trình tiền xử lý ảnh viễn thám này được xử lý trên phần mềm ENVI.

2.2. Kỹ thuật sử dụng trích xuất đường bờ lịch sử

Để phân tích việc trích xuất đường bờ từ hình ảnh viễn thám, một số phương pháp đã được phát triển như phương pháp dải đơn, phương pháp ngưỡng dải kênh, phương pháp tỷ số dải hoặc kết hợp kỹ thuật ngưỡng dải kênh và tỷ số dải. Tuy nhiên, những khó khăn chính của các phương pháp này là khá tốn thời gian và lỗi xảy ra ở một số vùng ven biển nơi đường bờ di chuyển về phía nước [3]. Một cách tiếp cận khác của việc trích xuất đường bờ là tự động hóa phát hiện cạnh tương đối đơn giản hơn để thực hiện so với những cách khác [4]. Kỹ thuật này không chỉ giúp phân định ranh giới đất-nước một cách rõ ràng mà còn tiết kiệm thời gian. Trong nghiên cứu này, đường bờ chính xác thu được bằng cách sử dụng mã Matlab và kỹ thuật tăng cường cạnh phi tuyến với phép dò cạnh Canny. Phép dò cạnh Canny là phương pháp phát hiện cạnh phổ biến nhất thực hiện tốt việc tối ưu hóa định vị dò tìm và số lượng các tiêu chuẩn phản hồi [5]. Vì cạnh của hình ảnh tương ứng với sự gián đoạn của giá trị màu xám ảnh, thuật toán Canny được sử dụng để xác định các pixel trong ranh giới giữa đất-nước nếu các giá trị màu xám của chúng có sự thay đổi tương đối lớn [6]. Sau đó, các tệp đường bờ được số hóa có định dạng phù hợp để có thể phân tích thêm trong mô đun DSAS phiên bản 4.3, là một phần mở rộng của ArcGIS.

Đánh giá độ chính xác và hiệu quả của mã MATLAB sử dụng phép dò cạnh Canny trong việc trích xuất đường bờ từ ảnh viễn thám được thực hiện thông qua xem xét mức độ phù hợp giữa dữ liệu đường bờ được đo và kết quả đường bờ được trích xuất bằng một số biện pháp đơn giản và khách quan. Phương pháp phổ biến nhất mà rất nhiều nhà nghiên cứu sử dụng đó là sai số *RMSE* (Root-mean-square error), chỉ số phân tán *SI* (Scatter Index) và hệ số tương quan bội bình phương R^2 [7-14].

Khả năng dự đoán và chất lượng mã trích xuất đường bờ từ ảnh viễn thám được xác định bằng cách sử dụng phép so sánh giữa vị trí của đường bờ biển Tombolo Tam Hải được đo đặc năm 2019 bởi công ty CMB với đường bờ biển được trích xuất từ ảnh vệ tinh vào năm 2019. Kết quả xác thực được thể hiện trong Hình 2. Dễ dàng nhận thấy rằng đường bờ trích xuất gần với đường bờ thực đo. *RMSE* tổng thể cho toàn bộ bờ biển đoạn 1 (biển Bắc) là 10,62 m, hệ số tương quan R^2 đạt 0,98 và chỉ số phân tán *SI* là 0,08; trong khi đó đối với đường bờ đoạn 2 (biển Nam), các giá trị này tương ứng lần lượt là 11,1 m, 0,53 và 0,16. Các giá trị sai số chấp nhận và hợp lý; do đó, phương pháp này có thể được áp dụng để trích xuất vị trí của tất cả các đường bờ từ ảnh viễn thám lựa chọn.

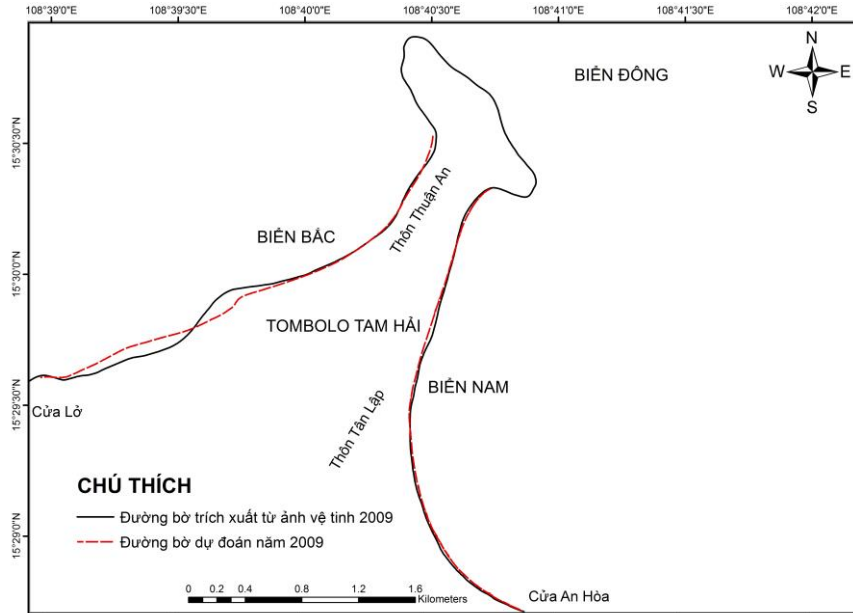


Hình 2. So sánh vị trí đường bờ thực đo và trích xuất năm 2019 ở Tomboło Tam Hải.

2.3. Kỹ thuật sử dụng dự đoán vị trí đường bờ trong tương lai

Khoảng cách giữa các đường bờ lịch sử và đường cơ sở tại mỗi mặt cắt do DSAS tính toán sẽ là đầu vào cho mã MATLAB mà các tác giả tạo ra để dự đoán vị trí của đường bờ tại mỗi mặt cắt. Mã này sử dụng phương trình hồi quy tuyến tính và chạy trong mô trường Matlab. Phương pháp hồi quy tuyến tính xác định tốc độ thay đổi vị trí đường bờ giảm thiểu sai số ngẫu nhiên tiềm ẩn và sự biến thiên ngắn hạn thông qua việc sử dụng phương pháp thống kê [15]. Phương pháp này dựa trên giả định rằng tốc độ thay đổi vị trí đường bờ theo chu kỳ quan sát được là dự đoán tốt nhất đường bờ trong tương lai. Khuyết điểm lớn nhất của nó là không xét đến quá trình vận chuyển trầm tích [16] hoặc giao thoa sóng, vì ảnh hưởng cộng dồn của tất cả các quá trình cơ bản được giả định là đã được ghi lại trong lịch sử vị trí [17]. Để ước tính vị trí đường bờ biển trong tương lai, đường cơ sở lần đầu tiên được xác định là vùng đệm của đường bờ biển vào năm 2015. Tiếp theo, các đường cắt vuông góc với đường cơ sở tại một khoảng cách dọc theo bờ biển được tạo bởi DSAS. Sau đó, các giao điểm giữa các đường cắt và đường bờ đa thời gian được tạo ra để đưa vào phương trình hồi quy tuyến tính nhằm xác định vị trí của đường bờ trong tương lai tại mỗi mặt cắt. Cuối cùng, các vị trí này được kết nối với nhau để tạo ra đường bờ biển liên tục trong tương lai [18].

Khả năng dự đoán và chất lượng mô hình được xác định bằng cách sử dụng phép kiểm tra chéo các vị trí đường bờ ước tính trong quá khứ. Cụ thể, sự thay đổi vị trí của đường bờ biển dự đoán ở Tam Hải năm 2009 đã được so sánh với đường bờ biển được trích xuất từ ảnh vệ tinh vào năm 2009. Kết quả xác thực được thể hiện trong Hình 3. Dễ dàng nhận thấy rằng đường bờ dự đoán tương đồng với xu thế của đường bờ thực tế. *RMSE* tổng thể cho đường bờ biển Bắc là 47,1 m và hệ số hồi quy của R bình phương vào khoảng 0,56. Trong khi đó, các giá trị *RMSE* và R bình phương cho đường bờ biển Nam lần lượt là 13,7 m và 0,86. Sai lệch xảy ra chủ yếu ở vị trí cửa Lở, nơi mà đường bờ biển động không ngừng và rất lớn do các tác động của động lực học sông và biển. Các giá trị sai số là chấp nhận được và tương đối hợp lý; do đó, phương pháp này có thể được áp dụng để dự đoán vị trí của các đường bờ trong tương lai.



Hình 3. Vị trí đường bờ thực tế và đường bờ dự đoán năm 2009 của tombolo Tam Hải.

2.4. Phương pháp sử dụng phân tích biến động đường bờ

Để định lượng những thay đổi của đường bờ biển dọc theo tombolo Tam Hải, nhiều phương pháp có sẵn trong mô đun DSAS, nhưng chỉ sử dụng phổ biến nhất hai phương pháp tốc độ điểm cuối-EPR và tốc độ bồi hoặc xói tuyến tính LRR. EPR được tính bằng cách chia khoảng cách dịch chuyển của đường bờ biển cho thời gian trôi qua giữa đường bờ biển lâu đời nhất và gần đây nhất. Ưu điểm chính của EPR là dễ dàng tính toán và yêu cầu tối thiểu đối với dữ liệu đường bờ biển (hai đường bờ) trong khi nhược điểm chính là trong trường hợp có nhiều hơn hai đường bờ, thông tin về ứng xử của đường bờ khi bổ sung thêm các đường bờ khác sẽ bị bỏ qua. Mặt khác, LRR có thể được xác định bằng cách khớp một đường hồi quy bình phương nhỏ nhất với tất cả các điểm thuộc đường bờ biển cho một đường cắt ngang cụ thể. Tốc độ thay đổi là độ dốc của đường. Phương pháp LRR có ưu điểm là tất cả dữ liệu đều được sử dụng, bất kể thay đổi về xu hướng hay độ chính xác, phương pháp này hoàn toàn tính toán, dựa trên các khái niệm thống kê được chấp nhận, và đặc biệt là nó rất dễ sử dụng [19]. Hai phương pháp khác nhau được sử dụng để tính toán sự thay đổi của bờ biển, cụ thể phương pháp EPR được sử dụng để tính toán những thay đổi ngắn hạn (1975-1990; 1990-2000; 2000-2009; 2009-2019) và LRR tính toán những thay đổi dài hạn (1975-2019) cũng như dự đoán về chuyển động của đường bờ trong tương lai (2030, 2050).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

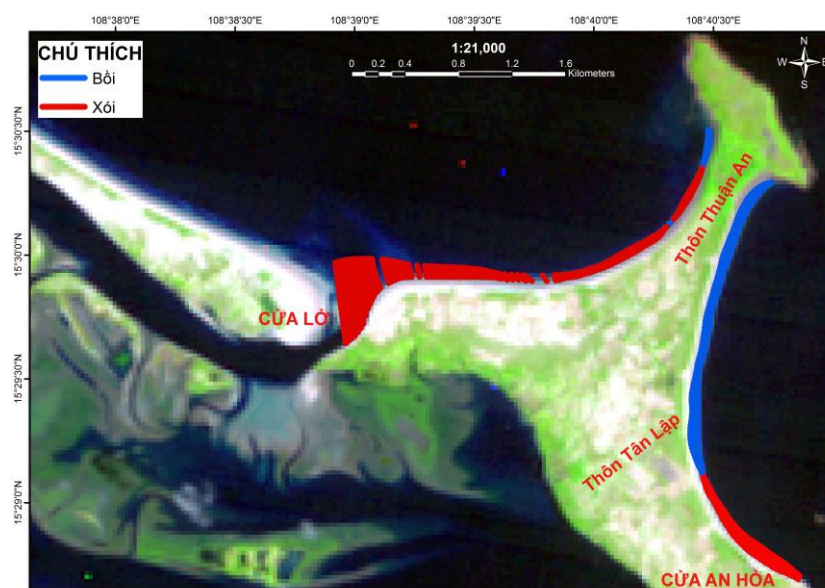
3.1. Biến đổi đường bờ theo lịch sử

Diện tích thay đổi tương đối giữa hai đường bờ năm 1975 và 1990 được thể hiện trong Hình 4. Với bờ biển Bắc của tombolo, tốc độ biến đổi đường bờ được điều tra trên 142 mặt cắt ngang và bờ biển này trải qua cả quá trình xói lở cũng như bồi tụ. Tuy nhiên, hiện tượng xói lở chiếm ưu thế tuyệt đối trong giai đoạn này với 128 mặt cắt ngang bị xói với tốc độ lớn nhất -40,65 m/năm xảy ra tại cửa Lở (Bảng 2). Tốc độ biến đổi đường bờ trung bình khoảng -6,0 m/năm. Diện tích xói lở ước tính khoảng 44,31 ha, trong khi đó diện tích bồi tụ phía sát đảo Bàn Than rất nhỏ, xấp xỉ khoảng 0,43 ha. Ngược lại với đường bờ biển Bắc, đường bờ

biển Nam chịu ảnh hưởng chính từ quá trình bồi tụ. Theo thống kê từ 174 mặt cắt ngang được khảo sát, hiện tượng bồi tụ được quan sát trên 115 mặt cắt ngang, trong khi đó chỉ có 59 mặt cắt ngang xuất hiện hiện tượng xói lở. Khu vực xói lở xuất hiện ngay sát cửa An Hòa với tốc độ xói lở lớn nhất khoảng -5,34 m/năm (Bảng 2). Dải bờ biển Nam còn lại dài gần 2900 m được bồi tụ với tốc độ lớn nhất khoảng 4,13 m/năm. Diện tích bồi tụ được ước tính khoảng 8,84 ha và diện tích xói lở dao động khoảng -5,65 ha. Nhìn chung, trong giai đoạn từ năm 1975 đến 1990, bờ biển Nam phần lớn dịch chuyển ra phía biển với tốc độ trung bình khoảng +0,49 m/năm.

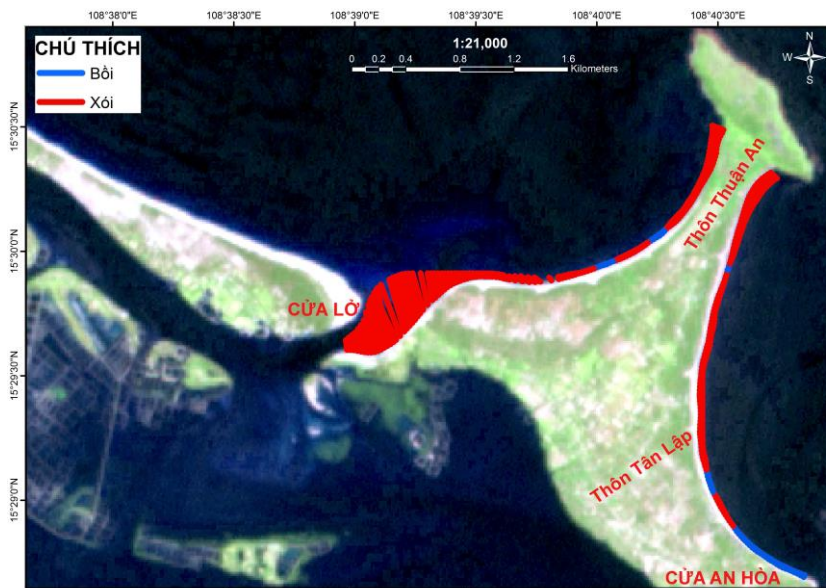
Bảng 2. Thống kê tốc độ thay đổi đường bờ tombolo Tam Hải trong giai đoạn từ 1975 đến 2019.

Đoạn	Giai đoạn	Số lượng MCN	Chiều dài đường bờ (m)	Tốc độ xói lớn nhất (m/năm)	Tốc độ bồi lớn nhất (m/năm)	Tốc độ trung bình (m/năm)	Số mặt cắt xói	Số mặt cắt bồi	Diện tích xói (ha)	Diện tích bồi (ha)
1	1975-1990	142	3600	-40,65	1,55	-6,00	128	14	-44.31	0.43
	1990-2000			-46,27	1,04	-9,33	130	12	-30.26	0.11
	2000-2009			-34,16	12,29	-1,73	60	82	-20.07	15.01
	2009-2019			-28,75	6,33	-2,36	71	71	-16.53	8.47
	1975-2019			-18,51	2,85	-5,18	71	71	-101.36	13.69
2	1975-1990	174	4400	-5,34	4,13	0,49	59	115	-5.65	8.84
	1990-2000			-7,33	1,54	-1,35	113	61	-5.09	0.68
	2000-2009			-2,75	4,03	0,55	44	130	-1.05	2.70
	2009-2019			-5,47	5,71	0,55	69	105	-4.44	5.85
	1975-2019			-1,56	1,10	0,02	81	93	-3.52	5.78



Hình 4. Biến động đường bờ tombolo Tam Hải giữa hai năm 1975 và 1990.

Trong giai đoạn từ năm 1990 đến 2000, diện tích thay đổi tương đối của đường bờ được thể hiện trong Hình 5. Tương tự như giai đoạn 1975-1990, đường bờ biển Bắc tiếp tục trải qua hiện tượng suy thoái trong giai đoạn 1990-2000 với tốc độ xói lở lớn nhất khoảng $-46,27$ m/năm xuất hiện gần cửa Lờ. Qua 142 mặt cắt ngang được sử dụng để khảo sát, kết quả cho thấy hiện tượng xói lở xuất hiện trên 130 mặt cắt ngang. Diện tích bãi biển bị mất do xói lở ước tính khoảng 30,26 ha (Bảng 2). Diện tích bờ biển bồi tụ không đáng kể. Tình trạng xói lở chiếm ưu thế tương tự cũng được quan sát phía đường bờ Nam của Tombolo với khoảng 113 mặt cắt. Trong thời kỳ này, xu thế xói lở-bồi tụ trái ngược hoàn toàn giai đoạn 1975-1990. Đoạn đường bờ gần cửa An Hòa bị xói lở giai đoạn 1975-1990 thì đã được bồi tụ trong giai đoạn 1990-2000 với tốc độ bồi lắng lớn nhất $+1,54$ m/năm. Trong khi đó, đoạn đường bờ còn lại bị xói lở và suy giảm với tốc độ $-7,33$ m/năm. Đây cũng là giai đoạn có tốc độ suy giảm lớn nhất trong khoảng thời gian nghiên cứu. Diện tích bãi biển bị xói lở ước tính gấp hơn 7 lần diện tích bồi tụ (Bảng 2).



Hình 5. Biến động đường bờ tombolo Tam Hải giữa hai năm 1990 và 2000.

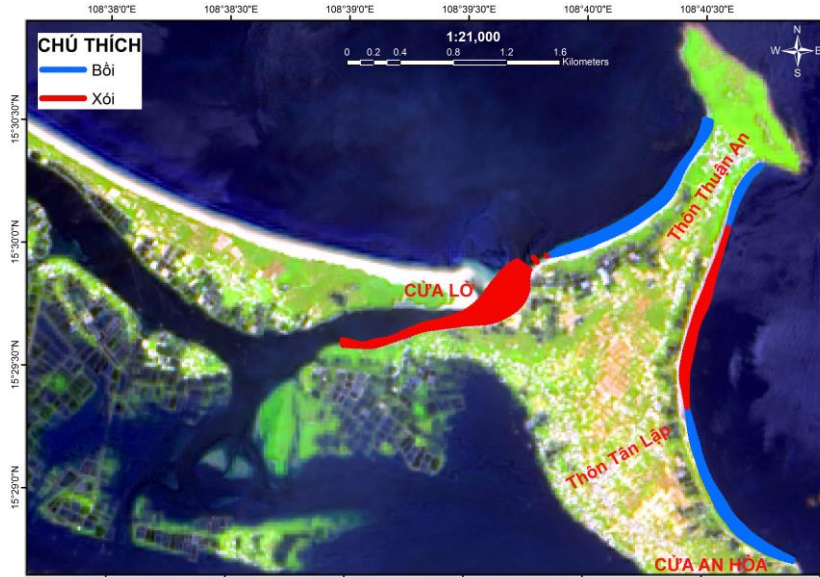
Trong giai đoạn từ năm 2000 đến 2009, bức tranh bồi tụ-xói lở thay đổi hoàn toàn khác so với giai đoạn 1990-2000 (Hình 6). Tại bờ biển Bắc, xói lở chỉ xảy ra tại khu vực cửa Lờ (thôn Bình Trung) với 60 mặt cắt ngang và tốc độ suy giảm đường bờ lớn nhất khoảng $-34,16$ m/năm. Diện tích bờ biển bị mất do xói lở khoảng $-20,07$ ha (Bảng 2). Trong khi đó, toàn bộ bãi biển kéo dài từ cuối cửa Lờ đến núi Bàn Than được bồi tụ với tốc độ lớn nhất khoảng $+12,29$ m/năm. Tổng diện tích bồi tụ của khu vực biển Bắc ước tính khoảng 15 ha. Tuy nhiên, nếu xét trên toàn đường bờ biển Bắc trong giai đoạn 2000-2009, hiện tượng xói lở vẫn chiếm ưu thế với tốc độ suy thoái đường bờ khoảng $-1,73$ m/năm. Đối với đường bờ biển Nam của tombolo Tam Hải, hiện tượng xói lở đường bờ chỉ xuất hiện ở khu vực giữa thôn Tân Lập đến thôn Thuận An với tốc độ suy giảm lớn nhất $-2,75$ m/năm. Tổng diện tích bãi biển bị mất đi do xói lở ước tính khoảng $-1,05$ ha. Để ngăn chặn hiện tượng suy thoái đường bờ và xói lở bãi biển, một kè chắn sóng biển từ thôn Tân Lập đến thôn Thuận An đã được xây dựng vào năm 2013. Trong giai đoạn 2000-2009, hiện tượng bồi tụ chiếm ưu thế ở đường bờ biển Nam và xảy ra trên 130 mặt cắt trong tổng số 174 mặt cắt ngang khảo sát. Bãi biển thôn Thuận An và

bãi biển gần cửa An Hòa đều ghi nhận sự bồi tụ. Tốc độ phát triển trung bình ra phía biển của đường bờ khoảng +0,55 m/năm (Bảng 2). Bồi tụ lớn nhất với tốc độ khoảng +4,03 m/năm xảy ra ở bãi biển thôn Thuận An.



Hình 6. Biến động đường bờ tombolo Tam Hải giữa hai năm 2000 và 2009.

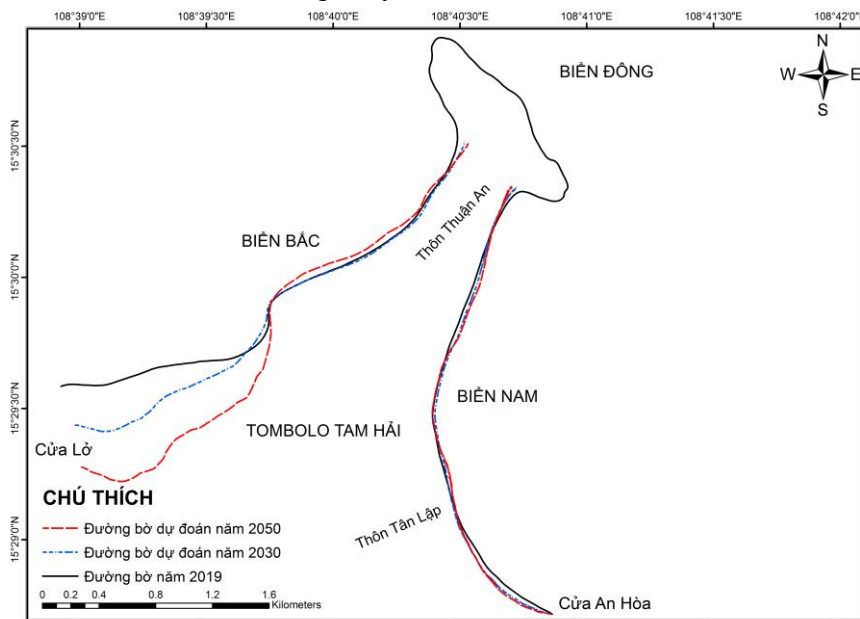
Diện tích thay đổi tương đối giữa hai đường bờ năm 2009 và 2019 được thể hiện trong Hình 7. Xu thế bồi tụ-xói lở tương tự như trong giai đoạn 2000-2009, nhưng cường độ có nhiều biến động. Qua 142 mặt cắt ngang khảo sát tại bờ biển Bắc của Tombolo Tam Hải, dễ nhận thấy rằng có đến một nửa trong số đó đang bị xói lở. Tất cả các mặt cắt bị xói lở vẫn nằm trong khu vực cửa Lở. Tốc độ suy giảm đường bờ lớn nhất ở khu vực này ghi nhận được là -28,75 m/năm. Xấp xỉ 16,53 ha diện tích bãi biển khu vực cửa Lở bị biến mất trong giai đoạn từ 2009 đến 2019. Ngược lại, khu vực bãi biển từ cuối của cửa Lở đến núi Bàn Than tiếp tục được bồi tụ với tốc độ lớn nhất +8,47 m/năm. Trong thời kỳ này, diện tích bãi biển được bồi tụ ước tính xấp xỉ 8,47 ha (Bảng 2). Nếu so sánh với giai đoạn 2000-2009, các diện tích bồi tụ và xói lở ở bờ biển Bắc đều giảm đi, giảm nhiều nhất vẫn là diện tích bồi tụ. Trái ngược lại với xu thế diễn ra ở bờ biển Bắc, cường độ bồi tụ và xói lở ở đường bờ biển Nam trong giai đoạn 2009-2019 tăng lên đáng kể so với giai đoạn trước đó. Cụ thể, hiện tượng xói lở tuy vẫn diễn ra tại khu vực bờ biển nằm giữa thôn Tân Lập và Thuận An, nhưng với tốc độ suy giảm lớn gấp đôi so với thời kỳ trước. Tốc độ xói lở ước tính khoảng -5,74 m/năm đối với khu vực này. Nguyên nhân chính của hiện tượng này là do khu vực bãi biển này nằm trực diện trong vùng tác động của sóng hướng Đông và sóng hướng Đông Bắc được truyền qua khe hở giữa hai đảo Hòn Mang và Hòn Dứa. Ngoài ra diện tích xói lở đường bờ cũng được mở rộng đến -4,44 ha (Bảng 2). Tuy vậy, nhìn chung, xu thế bồi tụ vẫn chiếm ưu thế ở bờ biển Nam với 109 mặt cắt ngang được bồi. Tốc độ tiến ra phía biển của đường bờ biển Nam vẫn duy trì trung bình xấp xỉ +0,55 m/năm.



Hình 7. Biên động đường bờ tombolo Tam Hải giữa hai năm 2009 và 2019.

3.2. Dự báo biến đổi đường bờ trong tương lai

Vị trí đường bờ của Tombolo Tam Hải vào năm 2030 và 2050 đã được dự đoán theo phương pháp hồi quy tuyến tính dựa trên các dữ liệu lịch sử, mà không xét đến các tác động của thảm họa tự nhiên như các cơn bão hoặc biến đổi khí hậu (Hình 8). Dễ dàng nhận thấy rằng đường bờ biển Nam biến động nhỏ, trong khi đó đường bờ biển Bắc tiếp tục được dự đoán là biến động rất lớn, đặc biệt là khu vực bên trong cửa Lở. Trong giai đoạn từ năm 2019 đến 2050, đường bờ cửa Lở tiếp tục bị xói và biến mất, xen kẽ vào đó là hiện tượng bồi tụ xảy ra ở bãi biển từ thôn Bình Trung đến thôn Thuận An. Thay vì tiếp tục kéo dài phát triển về hướng bãi biển thôn Bình Trung, hiện tượng xói lở lại xảy ra mạnh mẽ ở khu vực bên trong cửa sông (khu resort và khu nuôi trồng thủy sản của xã).



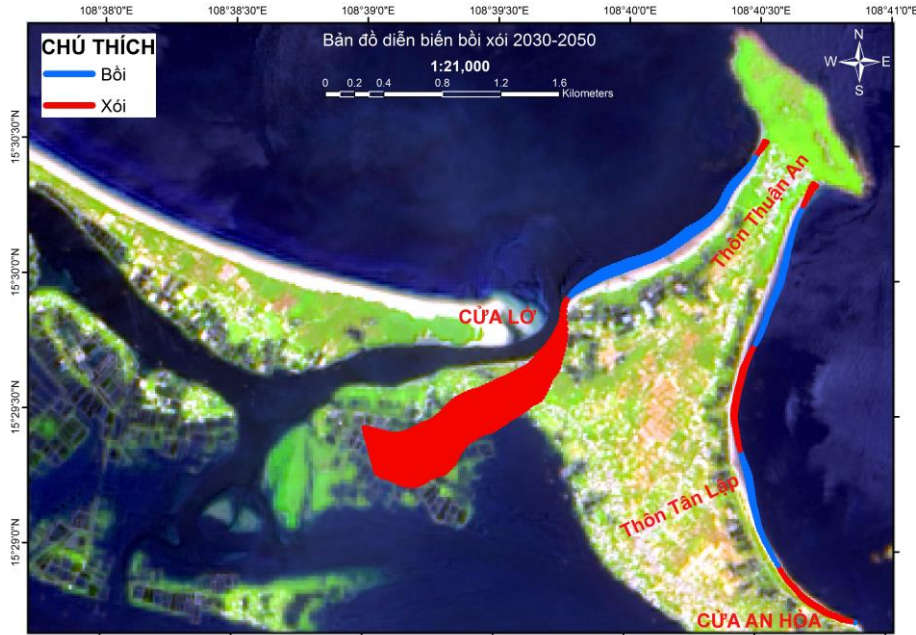
Hình 8. Vị trí đường bờ tombolo Tam Hải dự đoán trong năm 2030 và 2050.

Diện tích thay đổi tương đối giữa hai đường bờ trong giai đoạn dài từ năm 2019 đến năm 2030 được thể hiện trong Hình 9. Theo dự báo, phần lớn đường bờ biển Bắc từ 2019 đến 2030 sẽ trải qua thời kỳ suy thoái với tốc độ xói lở lớn nhất $-30,83$ m/năm xảy ra bên trong khu vực cửa Lở. Diện tích đất bãi bị mất đi do xói lở ước tính khoảng gần 29 ha (Bảng 3). Trong khi đó xu thế bồi tụ-xói lở tương đối cân bằng ở đường bờ biển Nam. Mặc dù số mặt cắt ngang được bồi tụ nhiều hơn số mặt cắt ngang bị xói, nhưng diện tích bãi biển bị xói lở hoặc bồi tụ xấp xỉ bằng nhau, khoảng xấp xỉ 3,1 ha. Trong giai đoạn này, khu vực bị xói lở tập trung gần cửa An Hòa với tốc độ suy giảm đường bờ khoảng $-3,66$ m/năm, trong khi đó khu vực bờ biển bị xói lở giữa thôn Tân Lập và thôn Thuận An giai đoạn 2009-2019 lại được bồi tụ với tốc độ phát triển lớn nhất $+2,73$ m/năm. Do đó, phải nói rằng xu hướng bồi tụ-xói lở ở đường bờ biển Nam trong giai đoạn 2019-2030 trái ngược hoàn toàn với giai đoạn 2009-2019.



Hình 9. Biến động đường bờ Tombolo Tam Hải giữa hai năm 2019 và 2030.

Trong giai đoạn tiếp theo từ năm 2030 đến 2050, diện tích thay đổi tương đối giữa hai đường bờ được thể hiện trong Hình 10. Dễ dàng nhận thấy rằng, xu hướng thay đổi đường bờ biển cả hai bên của Tombolo Tam Hải đã thay đổi rất nhiều so với giai đoạn trước đó 2019-2030. Cụ thể, hiện tượng bồi tụ đã xuất hiện trở lại ở bờ biển Bắc. Diện tích bãi được bồi tụ dự kiến kéo dài từ cuối cửa Lở đến núi Bàn Than với tốc độ phát triển khoảng $+3,23$ m/năm. Tổng diện tích bãi biển được bồi tụ ước tính xấp xỉ 6,31 ha (Bảng 3). Tuy vậy, xói lở vẫn diễn ra dữ dội ở khu vực đường bờ biển bên trong cửa Lở với tốc độ suy giảm lớn nhất khoảng $-18,37$ m/năm. Mặc dù tốc độ xói lở đường bờ trong giai đoạn này đã giảm gần một nửa so với giai đoạn trước đó, thế nhưng diện tích xói lở của đường bờ biển Bắc lại được mở rộng với tổng diện tích đất bị mất đi dự tính tăng gần lên 45 ha. Đối với đường bờ biển Nam, hiện tượng xói lở và bồi tụ diễn ra xen kẽ dọc đường bờ (Hình 10). Xói lở đường bờ gần cửa An Hòa vẫn tiếp tục diễn ra, nhưng diện tích xói lở đã bị giảm đi gần một nửa so với giai đoạn 2019-2030. Tuy nhiên, xói lở lại quay trở lại đối với khu vực bãi biển nằm giữa thôn Tân Lập và Thuận An. Tốc độ suy giảm đường bờ lớn nhất có thể diễn ra trong giai đoạn 2030-2050 được ước tính khoảng $-1,4$ m/năm (Bảng 3). Tổng diện tích bãi biển bị xói lở có thể lên tới 1,62 ha. Mặc dù vậy, xét tổng thể trên toàn tuyến đường bờ biển Nam, xu hướng bồi tụ vẫn chiếm ưu thế, được ghi nhận trên 92 mặt cắt ngang với tổng diện tích bồi ước đạt gần 2,07 ha. Tốc độ phát triển đường bờ ra phía biển lớn nhất dự kiến khoảng $+1,1$ m/năm trong giai đoạn này.



Hình 10. Biến động đường bờ Tombolo Tam Hải giữa hai năm 2030 và 2050.

Bảng 3. Dự đoán tốc độ thay đổi đường bờ Tombolo Tam Hải từ năm 2019 đến 2050.

Đoạn	Giai đoạn	Số lượng MCN	Chiều dài đường bờ (m)	Tốc độ xói lớn nhất (m/năm)	Tốc độ bồi lớn nhất (m/năm)	Tốc độ trung bình (m/năm)	Số mặt cắt xói	Số mặt cắt bồi	Diện tích xói (ha)	Diện tích bồi (ha)
1	2019-2030	158	4000	-30,83	3,09	-8,29	134	24	-28,99	0,81
	2030-2050			-18,37	3,23	-5,55	88	70	-44,99	6,31
	2019-2050			-22,21	2,08	-6,40	90	68	-72,95	5,02
2	2019-2030	173	4400	-3,66	2,73	-0,27	83	90	-3,08	3,07
	2030-2050			-1,40	1,10	0,03	81	92	-1,62	2,07
	2019-2050			-1,85	1,30	-0,06	91	82	-3,53	2,85

4. KẾT LUẬN

Dựa trên công nghệ ảnh viễn thám và công cụ DSAS kết hợp với phương pháp hồi quy tuyến tính, đường bờ hiện trạng qua các năm trong quá khứ cũng như tương tại, toàn cảnh bức tranh xói lở và bồi tụ bờ biển Tombolo Tam Hải đã được mô tả khá chi tiết. Kết quả nghiên cứu cho thấy đường bờ biển trong khu vực nghiên cứu đang trong giai đoạn biến đổi mạnh mẽ và rất phức tạp. Trong giai đoạn từ năm 1975 đến 2019, xói lở đã làm mất tổng diện tích 101,36 ha trên toàn đường bờ biển Bắc của Tombolo Tam Hải. Xu hướng này tiếp tục diễn ra trong giai đoạn tương lai 2019-2050. Nguy cơ một cánh phía bắc của tombolo này có thể biến mất vào năm 2050. Trong khi đó, đoạn đường bờ biển Nam của Tombolo Tam Hải lại chịu chi phối của quá trình bồi tụ trong giai đoạn 1975-2019 với diện tích bồi tụ khoảng 5,78 ha. Tuy nhiên, sang giai đoạn 2019-2050, đường bờ biển Nam của Tombolo có thể trải qua hiện tượng xói lở.

Kết quả nghiên cứu đã thể hiện việc trích xuất tự động và bán tự động thông tin đường bờ từ ảnh viễn thám có thể thực hiện trên một khu vực rộng lớn, tiết kiệm thời gian và công sức so với phương pháp khảo sát hiện trường. Tuy nhiên, một số thông tin đó chưa xét đến ảnh hưởng của các hiện tượng khí hậu biển, dao động của thủy triều cũng như độ dốc của bãi biển. Ngoài ra, công cụ mô hình toán hoặc khảo sát lại thực địa cần được nghiên cứu sử dụng kết hợp để đánh giá biến đổi đường bờ không chỉ trên mặt bằng mà còn cả theo cao độ.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi Chương trình hợp tác nghiên cứu song phương giữa Việt Nam và Nhật Bản, tên là “Nghiên cứu đề xuất các giải pháp chỉnh trị sông Trường Giang, huyện Núi Thành phục vụ phát triển bền vững kinh tế khu vực và vùng lân cận” (mã số: HNQT/SPĐP/16.19) và đề tài “Khảo sát và dự đoán diễn biến diễn biến đường bờ biển Tam Hải, huyện Núi Thành tỉnh Quảng Nam bằng công nghệ viễn thám và GIS”, mã số:102-2020/KHXD”. Các tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. T. Vu et al., Prediction of shoreline changes in Almanarre beach using geospatial techniques, Indian Journal of Geo-Marine Science, 49 (2020) 207-217. https://www.researchgate.net/publication/341641254_Prediction_of_shoreline_changes_in_Almanarre_beach_using_geospatial_techniques
- [2]. T. M. Lillesand, R. W. Kiefer, J. W. Chipman, Remote sensing and image interpretation, John Wiley & Sons, 2008.
- [3]. A. Alesheikh, A. Ghorbanali, N. Nouri, Coastline change detection using remote sensing, International Journal of Environmental Science & Technology, 4 (2007) 61-66. <https://doi.org/10.1007/BF03325962>
- [4]. E. A. Loos, K. O. Niemann, Shoreline feature extraction from remotely-sensed imagery, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002, <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2002.1027201>
- [5]. J. Canny, A Computational Approach to Edge Detection, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8 (1986) 679-698. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.1986.4767851>
- [6]. H. Liu, K. C. Jezek, Automated extraction of coastline from satellite imagery by integrating Canny edge detection and locally adaptive thresholding methods, International Journal of Remote Sensing, 25 (2004) 937-958. <https://doi.org/10.1080/0143116031000139890>
- [7]. C. Brière et al., Assessment of TELEMAC system performances, a hydrodynamic case study of Anglet, France, Coastal Engineering, 54 (2007) 345-356. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2006.10.006>
- [8]. M. Hsu et al., Procedure to Calibrate and Verify Numerical Models of Estuarine Hydrodynamics, Journal of Hydraulic Engineering, 125 (1999) 166-182. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:2\(166\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:2(166))
- [9]. W. Liu, M. Hsu, A. Kuo, Modelling of hydrodynamics and cohesive sediment transport in Tanshui River estuarine system, Taiwan, Marine Pollution Bulletin, 44 (2002) 1076-1088. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00160-1](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00160-1)
- [10]. Z. Liu, Hydrodynamic and Sediment Transport Numerical Modelling and Applications at Tairua Estuary, University of Waikato, New Zealand, 2014. <https://hdl.handle.net/10289/8672>
- [11]. H. S. Mashriqui, Hydrodynamic and Sediment Transport Modeling of Deltaic sediment processes, Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University, 2003.

- [12]. D. Roelvink et al., Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands, *Coastal Engineering*, 56 (2009) 1133-1152. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.08.006>
- [13]. J. Sutherland, A. H. Peet, R. L. Soulsby, Evaluating the performance of morphological models, *Coastal Engineering*, 51 (2004) 917-939. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2004.07.015>
- [14]. J. Sutherland et al., Evaluation of coastal area modelling systems at an estuary mouth, *Coastal Engineering*, 51 (2004) 119-142. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2003.12.003>
- [15]. B. C. Douglas, C. Mark, Long-Term Shoreline Position Prediction and Error Propagation, *Journal of Coastal Research*, 16 (2000) 145-152. <https://www.jstor.org/stable/4300019>
- [16]. S. Fenster Michael, R. Dolan, J. F. Elder, A New Method for Predicting Shoreline Positions from Historical Data, *Journal of Coastal Research*, 9 (1993) 147-171. <https://www.jstor.org/stable/4298075>
- [17]. R. Li et al., Spatial Modeling and Analysis for Shoreline Change Detection and Coastal Erosion Monitoring, *Marine Geodesy*, 24 (2001) 1-12. <https://doi.org/10.1080/01490410121502>
- [18]. L. D. Nguyen et al., Analysis of changes in the riverbanks of Mekong river-Vietnam by using multi-temporal remote sensing data, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Kyoto, Japan, 2010.
- [19]. E. R. Thieler et al, Digital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change, in File Report 2008-1278, U.S. Geological Survey Open, 2009.