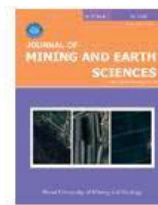




Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <https://jmes.humg.edu.vn>



Application of deep learning model and DSAS in assessing coastline changes of Da Nang Bay



Linh Tuan Giang^{1,2,*}, Chinh Thi Nguyen¹, Bac Kinh Dang¹, Cuong Quoc Nguyen³

¹ VNU University of Science, Hanoi, Vietnam

² Institute of Vietnamese Studies and Development Science, VNU, Vietnam

³ Government Office, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:
Received 28th Jul. 2025
Revised 21st Oct. 2025
Accepted 15th Dec. 2025

Keywords:

Coastal change,
Coastline,
Da Nang Bay,
UNet,
UAV.

ABSTRACT

The effects of climate change and the rapid increase of urbanization are exerting pressure on coastal areas. Meanwhile, coastal accretion and erosion are natural hazards that affect coastal communities, particularly in Da Nang Bay, where both processes are influenced by natural dynamics and anthropogenic activities. The study aims to assess coastline changes in Da Nang Bay under the influence of storms and urbanization. The authors used DSAS and the deep learning UNet model on high-resolution UAV images to analyze coastline change during the period from 2002 to 2024. The results show that the UNet model achieved an overall accuracy of 98.5% with a Kappa coefficient of 0.97, demonstrating the effectiveness of the combined UNet-DSAS approach in shoreline change analysis. The southern area of the Cu De River tends to experience severe erosion, with a maximum rate of 3.43 m/year. In contrast, the Cu De River mouth shows a tendency toward accretion, which prevented transportation there. Land reclamation has caused the Da Phuoc urban area to grow quickly, with a maximum pace of 22.78 m/year. The study showed that the UNet model improved the accuracy of coastline detection. The results provide an effective methodological framework for coastal planning and management, and offer scientific evidence to support sustainable coastal planning and protection in Da Nang Bay.

Copyright © 2026 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: linhgt@vnu.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2026.67(1).04



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <https://tapchi.humg.edu.vn>



Ứng dụng mô hình học sâu và DSAS trong đánh giá biến động đường bờ vịnh Đà Nẵng

Giang Tuấn Linh^{1,2,*}, Nguyễn Thị Chinh¹, Đặng Kinh Bắc¹, Nguyễn Quốc Cường³

¹ Trường Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam.

² Viện Việt Nam học và Khoa học phát triển, Đại học Quốc Gia Hà Nội, Việt Nam

³ Văn phòng Chính phủ, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 28/7/2025

Sửa xong 21/11/2025

Chấp nhận đăng 15/12/2025

Từ khóa:

Biến động,

Đường bờ,

UNet,

UAV,

Vịnh Đà Nẵng.

TÓM TẮT

Tốc độ đô thị hóa nhanh kết hợp với tác động của biến đổi khí hậu đang làm gia tăng áp lực lên hệ thống bờ biển tại nhiều khu vực. Trong khi đó, xói lở và bồi tụ bờ biển là những tai biến thiên nhiên tác động nghiêm trọng tới người dân, đặc biệt tại vịnh Đà Nẵng - nơi chịu tác động mạnh mẽ từ cả yếu tố tự nhiên và hoạt động nhân sinh. Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá biến động đường bờ biển khu vực vịnh Đà Nẵng dưới tác động của mực nước biển dâng trong bão và đô thị hoá. Tác giả đã ứng dụng mô hình học sâu UNet trên ảnh UAV độ phân giải cao kết hợp với công cụ DSAS để phân tích biến động đường bờ biển giai đoạn 2002-2024. Kết quả cho thấy mô hình UNet đạt độ chính xác tổng thể 98,5% với hệ số Kappa 0,97, chứng minh hiệu quả của phương pháp kết hợp UNet - DSAS trong phân tích biến động đường bờ. Khu vực phía nam sông Cu Đê có xu hướng xói lở mạnh với tốc độ cực đại 3,43 m/năm, trong khi cửa sông Cu Đê có hiện tượng bồi tụ rõ rệt, gây cản trở giao thông thủy. Đô thị Đa Phước có xu hướng bồi tụ mạnh do quá trình lấn biển, với tốc độ cực đại 22,78 m/năm. Kết quả phân tích cho thấy việc tích hợp mô hình UNet giúp nâng cao độ chính xác trong xác định đường bờ trong, mở ra hướng tiếp cận hiệu quả trong giám sát và quản lý bờ biển. Sản phẩm cung cấp cơ sở khoa học cho quy hoạch và bảo vệ bờ biển bền vững tại vịnh Đà Nẵng.

© 2026 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

*Tác giả liên hệ

E - mail: linhgt@vnu.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2026.67(1).04

1. Mở đầu

Hiện tượng xói lở luôn là một tai biến nghiêm trọng ở vùng ven biển và được các quốc gia, các tổ chức khoa học, các nhà khoa học quan tâm. Nhằm giảm thiểu thiệt hại do tai biến xói lở gây nên, công nghệ viễn thám và hệ thống thông tin địa lý (GIS) đã được sử dụng và mang lại kết quả cho công tác quản lý vùng ven biển (Ngo và nnk., 2020; Thao và nnk., 2013). Tuy nhiên, kết quả phân tích phụ thuộc rất nhiều vào nguồn dữ liệu và công cụ xử lý. Công nghệ viễn thám ngày nay với những ưu điểm về đa cảm biến, đa thời gian và độ phân giải siêu cao đang được sử dụng cùng các mô hình trí tuệ nhân tạo (Apostolopoulos và Nikolakopoulos, 2021; Dang và nnk., 2022). Nhưng hiện nay có nhiều quan điểm khác nhau về đường bờ trong và đường bờ ngoài nên công tác mô hình hóa xói lở dựa trên ảnh viễn thám và GIS vẫn còn nhiều sai sót (Boak và Turner, 2005; O'Carroll, 2010). Xói lở bờ biển trước đây đã được nghiên cứu bằng cách tách riêng đất liền và biển kết hợp với sử dụng các ảnh viễn thám có độ phân giải trung bình, chẳng hạn như Landsat, Spot và Sentinel-2 (McAllister và nnk., 2022; Vos và nnk., 2019). Với ảnh Sentinel-2, độ chính xác tốt nhất chỉ là 10 mét (m), nhưng khoảng cách giữa đường bờ biển trong và đường bờ ngoài ở những khu vực hẹp trên thực địa có thể nhỏ hơn. Do đó, có nhiều sự khác biệt trong các kết quả giải đoán và đánh giá trong các nghiên cứu trước đó. Để giải quyết vấn đề này, nhiều công cụ viễn thám có độ phân giải cao và có thể nhìn thấy bờ biển rõ ràng hơn chẳng hạn như máy bay không người lái (UAV) và WorldView-2 từ nguồn Google Earth có độ phân giải từ 0,3 m đến 1 m (Dang và nnk., 2022; Giang và nnk., 2023; Van Puijenbroek và nnk., 2017). Đây là một nguồn dữ liệu tốt để biết sự khác biệt giữa các đường bờ trong và đường bờ ngoài trên quy mô không gian rộng lớn và đa thời gian.

Trong những năm trở lại đây, với sự phát triển của công nghệ học máy sâu, một số nhà khoa học như Dang và nnk. (2022) và Giang và nnk. (2023) đã bắt đầu đi sâu vào phát triển các mô hình xác định đường bờ trong và sự biến động của chúng dưới áp lực từ mực nước biển dâng trong bão. Các nghiên cứu này cũng chỉ ra sự khác biệt giữa đường bờ trong và đường bờ ngoài. Đường bờ trong nằm gần các công trình ven biển như nhà ở, hạ tầng giao thông và các khu dân cư, do đó,

những biến động tại đây có thể gây ảnh hưởng trực tiếp đến tài sản và hệ sinh thái ven bờ. Khi xảy ra xói lở, đường bờ trong có thể bị lùi sâu vào đất liền, đe dọa an toàn công trình và làm thay đổi cấu trúc tự nhiên như đụn cát và vách đất. Đặc biệt, sóng lớn trong mùa bão có thể gia tăng mức độ xói lở tại khu vực này. Nếu không được theo dõi và có biện pháp khắc phục kịp thời, sự dịch chuyển đường bờ trong có thể dẫn đến mất đất và ảnh hưởng đến quy hoạch dài hạn. Trong khi đó, đường bờ ngoài thường biến động mạnh theo mực nước biển tạm thời, đặc biệt trong thời gian có bão. Tuy nhiên, những biến động này không phản ánh đầy đủ tác động lâu dài đến vùng ven bờ. Bên cạnh đó, phương pháp trích xuất đường bờ trong bằng mô hình trí tuệ nhân tạo ở Việt Nam chưa được nghiên cứu nhiều.

Vịnh Đà Nẵng là vùng bờ biển trọng yếu của miền Trung Việt Nam, đóng vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội và bảo vệ môi trường. Vịnh có địa hình vòng cung, kéo dài từ chân đèo Hải Vân đến khu đô thị Đa Phước, với bờ biển đa dạng như bờ cát, bờ đá, bờ kè và cửa sông, chịu tác động của cả yếu tố tự nhiên và hoạt động đô thị hóa. Khu vực này đã được nhiều nghiên cứu quan tâm. Tiêu biểu, chương trình 48.B.07.02.01 (1990) do Tô Quang Thịnh chủ trì đã xác định đường bờ năm 1930, 1965 và 1985 bằng tư liệu viễn thám. Đề tài KHCN.06.08 (2000) của Lê Phước Trình sử dụng ảnh viễn thám 1985÷1995 và lập bản đồ đường bờ năm 1965÷1995 với tỷ lệ 1:100.000, từ đó tạo ra bản đồ bồi - xói toàn quốc. Gần đây, nghiên cứu của Ngo và nnk. (2020) đã phân tích biến động bờ biển từ Sơn Trà đến Cửa Đại (1965÷2019), chia thành 30 đoạn và 8 nhóm theo mức độ bồi/xói. Tuy nhiên, ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI) và ảnh UAV độ phân giải cao trong giám sát bờ biển Đà Nẵng còn hạn chế. Trong khi đó, khu vực đang đối mặt với tình trạng xói lở, bồi tụ nghiêm trọng, ảnh hưởng đến bãi biển, cơ sở hạ tầng, môi trường, sinh kế và du lịch. Đặc biệt, bồi lấp tại cửa sông Cu Đê đã cản trở giao thông thủy và làm suy giảm nguồn lợi thủy sản.

Nghiên cứu này tích hợp các phương pháp hiện đại như phân tích ảnh UAV, công cụ DSAS và mô hình học sâu UNet để phân tích chi tiết sự thay đổi của đường bờ trong trong giai đoạn 2002÷2024. Việc ưu tiên theo dõi đường bờ trong là cần thiết để đánh giá chính xác nguy cơ xói lở và xây dựng các giải pháp ứng phó hiệu quả. Kết quả

nghiên cứu sẽ cung cấp cơ sở khoa học vững chắc cho công tác quản lý, quy hoạch và phát triển bền vững khu vực ven biển Đà Nẵng.

2. Khu vực nghiên cứu

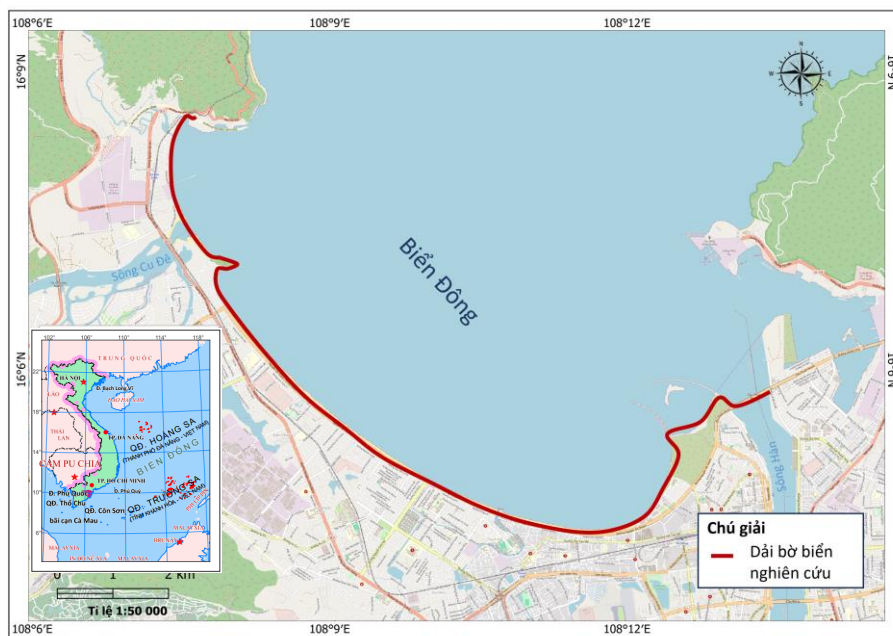
Đường bờ trong của vịnh Đà Nẵng có dạng vòng cung đặc trưng (Hình 1), với điểm nhô phía bắc được che chắn bởi chân đèo Hải Vân và điểm nhô phía nam là khu đô thị lấn biển Đa Phước. Giữa hai mũi nhô này là một dải cát hẹp, bao gồm cửa sông Cu Đê và một con lạch nhỏ ở phía bắc. Khu vực này có truyền thống đánh bắt cá lâu đời, tuy nhiên hiện đang gặp khó khăn do hiện tượng bồi lấp tại cửa sông, gây cản trở hoạt động ngư nghiệp. Đồng thời, tình trạng xói lở diễn ra thường xuyên cũng ảnh hưởng tiêu cực đến đời sống người dân và hoạt động du lịch. Về đặc điểm địa hình, đoạn bờ biển này bao gồm bốn kiểu bờ điển hình: bờ cát, bờ đá, bờ kè và bờ cửa sông, phản ánh

sự đa dạng và phức tạp trong cấu trúc địa mạo ven biển.

3. Cơ sở dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

3.1. Cơ sở dữ liệu

Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu UAV thu thập tại khu vực bờ biển miền Trung Việt Nam, cụ thể là Quảng Nam và Đà Nẵng. Dữ liệu được ghi nhận bằng thiết bị DJI Mini 3 trong ba đợt bay chụp vào các thời điểm: tháng 7/2022, tháng 6/2023 và tháng 3/2025, với độ cao bay chụp trung bình 500 m và độ phủ chồng ảnh là 80%. Các ảnh UAV sau đó được xử lý trong phần mềm Agisoft Metashape theo quy trình sáu bước, nhằm tạo ra các tập dữ liệu không gian có độ phân giải cao và hiệu chỉnh hình học một cách chi tiết (ví dụ ảnh UAV sau khi hiệu chỉnh ở Hình 2). Tổng cộng có 1.331 ảnh được sử dụng để số hóa bờ biển và vùng ven biển.



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

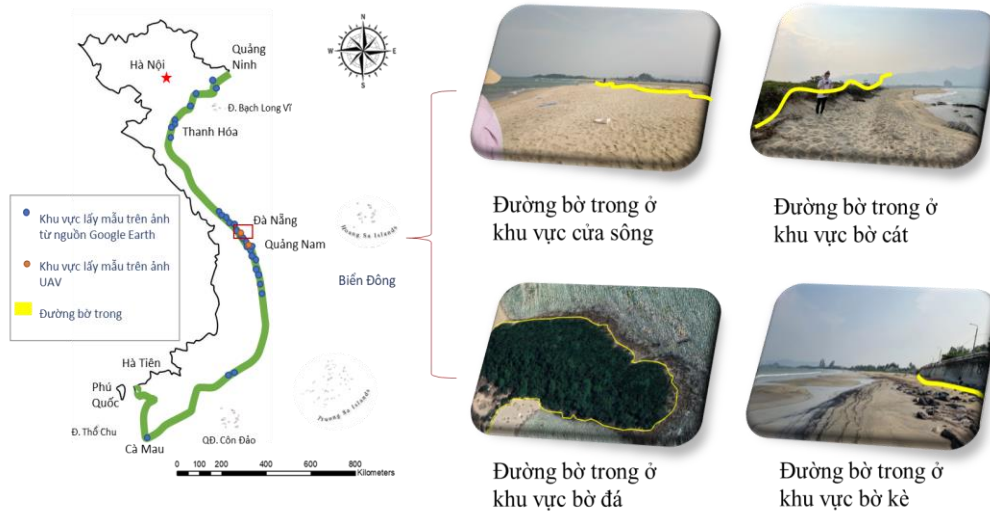


Hình 2. Một ví dụ về hình ảnh UAV được thu thập tại bờ biển tại Vịnh Đà Nẵng tháng 6 năm 2023.

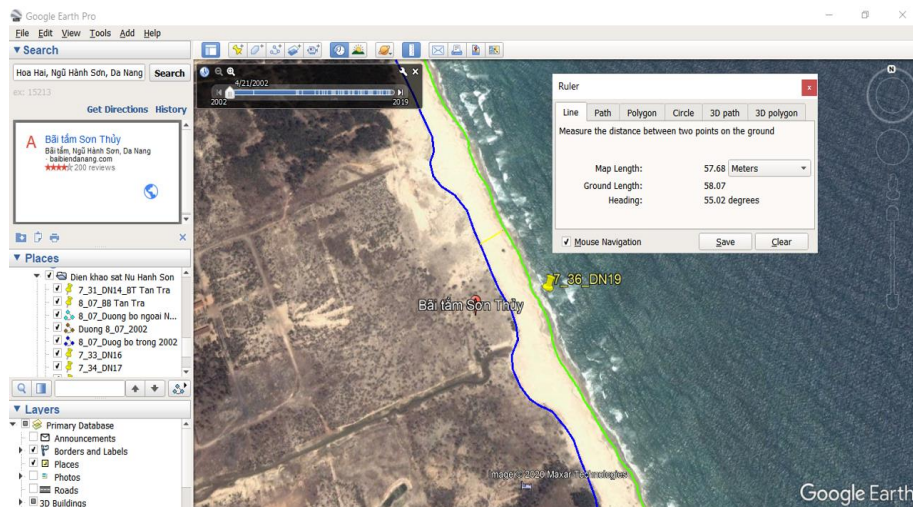
Ngoài UAV, nghiên cứu còn sử dụng ảnh từ Google Earth (GE) với độ phân giải được đồng bộ về 0,7 m được tải trực tiếp từ phần mềm Google Earth Pro (GEP). Giai đoạn 2002÷2010: ảnh QuickBird và IKONOS độ phân giải 1÷2,5 m được trích xuất từ GEP. Giai đoạn 2011÷2024 ảnh GEP độ phân giải 0,7÷1 m, trong đó các ảnh GEP giai đoạn này chủ yếu được tổng hợp từ các vệ tinh thương mại GeoEye-1, WorldView-2, và WorldView-3. Các ảnh này được sử dụng để xác định chính xác đường bờ trong và đường bờ ngoài. Tuy nhiên, ảnh từ GEP thường có sự chênh lệch về độ sáng giữa các thời điểm chụp. Do đó, để tăng khả năng học của mô hình và phản ánh sự đa dạng của dữ liệu, nhiều mẫu ảnh được thu thập qua các

năm. Ảnh được lưu thành các vùng nhỏ định dạng *.JPG với độ phân giải 4.800×2.800 pixel, tỷ lệ hiển thị 1:500. Quá trình lưu ảnh cũng loại bỏ toàn bộ giao diện nền của phần mềm, cho kết quả đầu ra là ảnh RGB thuần. Khu vực lấy mẫu thuộc vùng ven biển miền Trung, có chiều dài bờ biển hơn 400 km. Từ năm 2004 đến năm 2024 là khoảng thời gian thu thập hình ảnh. Phạm vi nghiên cứu tập trung vào dải ven biển trải dài từ đất liền ra đến biển khơi trong bán kính khoảng 2 km mỗi phía (Hình 3).

Tổng cộng có 25.034 khung hình được sử dụng để số hóa bờ biển và vùng ven biển. Các ảnh chụp trong cùng năm và ở vị trí gần nhau được ghép nối và xử lý đồng bộ để tạo thành chuỗi ảnh liên tục (Hình 4). Do ảnh GEP có thể bị biến dạng



Hình 3. Địa điểm lấy mẫu ảnh vệ tinh độ phân giải cao và ảnh UAV dọc bờ biển và đường bờ trong ở các kiểu bờ tại Vịnh Đà Nẵng.



Hình 4. Ví dụ ảnh từ Google Earth năm 2002 tại bãi tắm Sơn Thủy, Đà Nẵng.

không gian, quá trình hiệu chỉnh hình học được thực hiện căn trọng bằng phần mềm ArcGIS. Trong đó, các đặc điểm cố định như đường giao thông và công trình hạ tầng kỹ thuật được sử dụng làm mốc để hiệu chỉnh hình học, giúp đảm bảo độ chính xác không gian cho toàn bộ tập dữ liệu. Để đảm bảo độ chính xác không gian, các ảnh qua các thời kỳ được hiệu chỉnh bằng công cụ Georeferencing trong ArcGIS, sử dụng ít nhất 10 điểm kiểm soát cố định (GCPs).

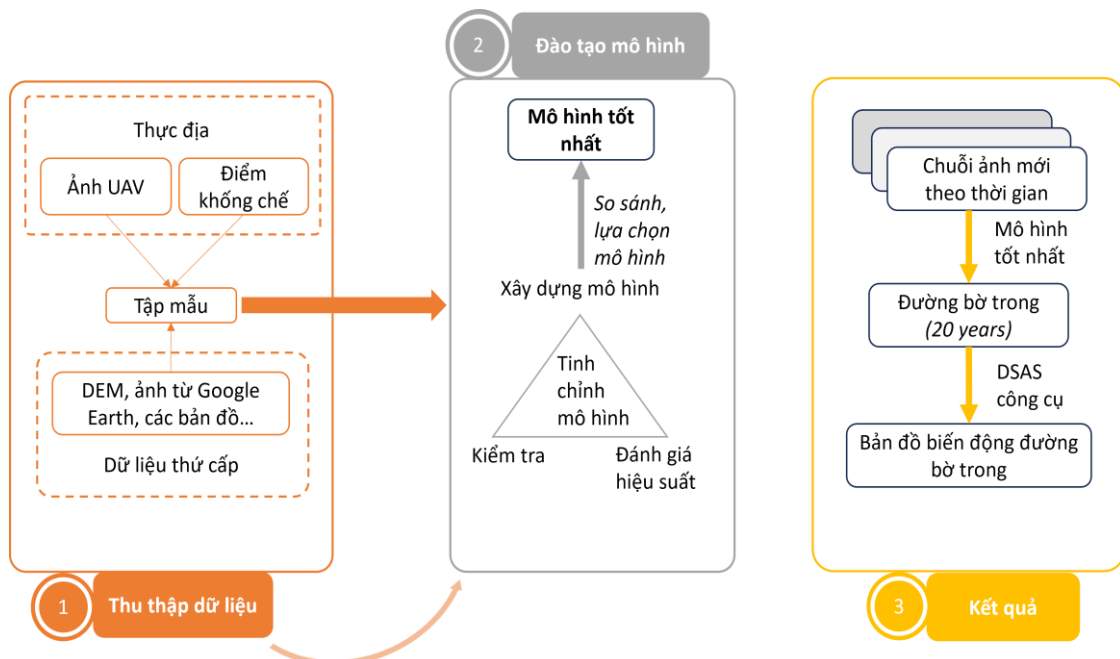
Ảnh UAV kết hợp với ảnh GEP tạo thành một bộ dữ liệu chung để thiết lập chuỗi thời gian 2002÷2024. Hai nguồn dữ liệu được chuẩn hóa hệ tọa độ WGS 84, hiệu chỉnh hình học và đồng bộ độ phân giải trước khi đưa vào mô hình UNet.

3.2. Phương pháp nghiên cứu

Đường bờ ngoài là ranh giới vật lý giữa đất liền và mặt nước biển, thường bị tác động bởi các hiện tượng thủy động lực như thủy triều, sóng và dòng chảy sông. Trong khi đó, đường bờ trong là ranh giới cực đại mà sóng tác động vào đất liền trong một năm, đóng vai trò phân tách rõ ràng giữa phần bờ và bãi. Đây là một ranh giới ổn định hơn và không bị ảnh hưởng bởi các biến động thủy triều ngắn hạn. Hơn nữa, khu vực đường bờ trong gắn với nhiều hoạt động của con người như nuôi

trồng thủy sản và phát triển hạ tầng, đồng thời đường bờ trong thể hiện được xu thế dài hạn và khả năng chống chịu. Việc đánh giá các biến đổi bờ biển do những hiện tượng thời tiết lớn như bão hay áp thấp nhiệt đới, cũng như tác động của các công trình tự nhiên và nhân tạo như kè biển, đòi hỏi phải xem xét các xu hướng dài hạn. Do đó, trong nghiên cứu này lựa chọn đường bờ trong để theo dõi biến động bờ biển.

Quy trình nghiên cứu được chia thành ba bước chính (Hình 5). Bước đầu tiên là thu thập và chuẩn bị dữ liệu, bao gồm dữ liệu thực địa và dữ liệu thứ cấp. Dữ liệu thực địa bao gồm việc thu thập ảnh UAV và thu thập các điểm khống chế mặt đất (Ground Control Points), trong khi dữ liệu thứ cấp bao gồm mô hình số độ cao (DEM), bản đồ thủy triều, bản đồ địa chất, ảnh từ Google Earth được tải trực tiếp từ GEP và các nguồn thông tin liên quan khác. Sau khi thu thập, quá trình lấy mẫu được thực hiện để chuẩn bị dữ liệu cho giai đoạn tiếp theo. Bước thứ hai là đào tạo mô hình học sâu. Tại đây, dữ liệu được sử dụng để điều chỉnh và tối ưu hóa mô hình nhằm nâng cao độ chính xác trong phân tích. Việc tinh chỉnh mô hình có thể được thực hiện lặp lại để đạt hiệu suất tốt nhất trước khi áp dụng vào dữ liệu thực tế. Việc xây dựng mô hình được thực hiện trên phần mềm ArcGIS và ngôn ngữ lập trình Python.

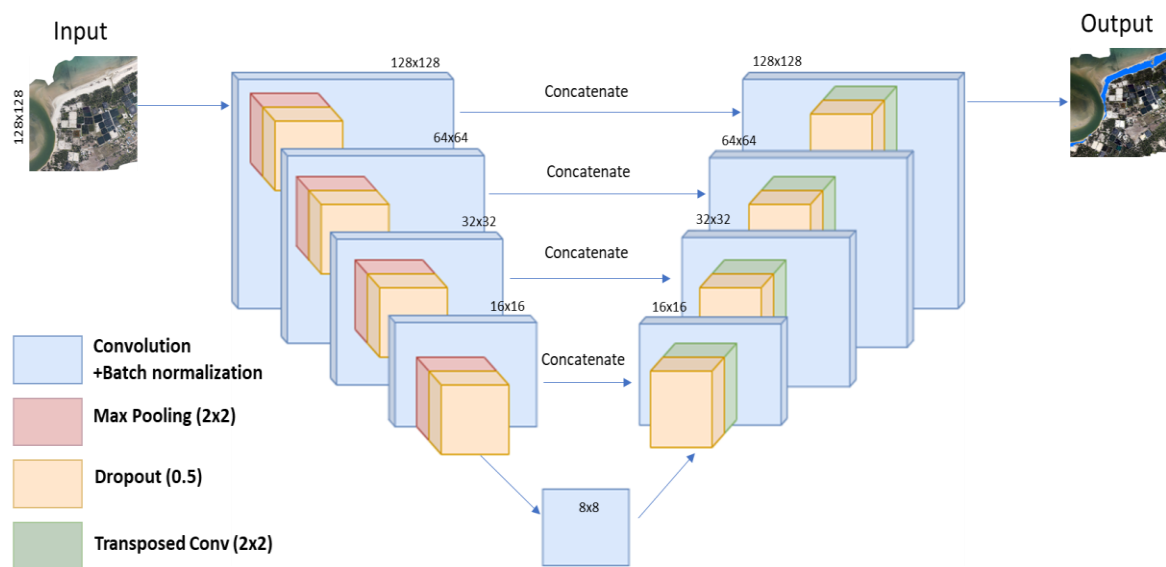


Hình 5. Quy trình các bước nghiên cứu ứng dụng mô hình học sâu và DSAS trong đánh giá biến động đường bờ.

Mô hình UNet ban đầu được phát triển để phân đoạn dữ liệu trong lĩnh vực y tế và địa chất (Ronneberger và nnk., 2015). Kiến trúc của UNet bao gồm hai nhánh chính: một nhánh mã hóa (encode) và một nhánh giải mã (decode). Nhánh mã hóa nằm ở bên trái của mô hình (Hình 6) có cấu trúc tương tự như mạng nơ-ron tích chập (CNN). Nhánh giải mã ở bên phải (Hình 6) sử dụng các thuật toán upsampling để đưa đầu ra về cùng kích thước với hình ảnh ban đầu. Trong quá trình mã hóa, lớp tích chập (CONV) sử dụng bộ lọc 3×3 để chuyển đổi kích thước dữ liệu hình ảnh. Tổng cộng có 256 bộ lọc được sử dụng. Sau mỗi lớp CONV, một bước chuẩn hóa hàng loạt (Batch Normalization) được áp dụng để giúp mô hình hội tụ ổn định hơn và tăng cường khả năng học các đặc trưng. Trong nhánh mã hóa, các lớp Pooling được sử dụng để giảm độ phân giải của ảnh trước khi chuyển sang lớp Dropout - lớp này giúp tránh hiện tượng quá khớp bằng cách ngẫu nhiên vô hiệu hóa một số nơ-ron. Trong nhánh giải mã, các lớp Conv2DTrans cùng với Dropout được sử dụng để tăng dần kích thước ảnh trở lại. Dữ liệu từ nhánh mã hóa và giải mã được kết nối qua các lớp ghép nối (Concatenate). Tổng thể, kiến trúc mô hình bao gồm 73 lớp, cụ thể: 1 lớp đầu vào (INPUT), 20 lớp tích chập (CONV), 4 lớp tích chập chuyển đổi (Conv2DTrans), 4 lớp Pooling, 19 lớp chuẩn hóa hàng loạt (Batch Normalization), 4 lớp ghép nối (Concatenate), 19 lớp kích hoạt (Activation) và 2 lớp Dropout.

Mô hình được huấn luyện trên 8041 khung ảnh, với nhiệm vụ phân loại hai vùng: giá trị "1" biểu thị khu vực nằm giữa đường bờ trong và đường bờ ngoài, trong khi giá trị "0" đại diện cho các vùng khác. Kích thước ảnh đầu vào là 256×256 để tìm ra cấu hình tối ưu cho huấn luyện. Kích thước 256×256 vừa cung cấp đủ thông tin không gian và đặc trưng hình thái để mô hình phân biệt rõ ràng giữa đất liền, biển và khu vực bờ, vừa đảm bảo mô hình không trở nên quá nặng về tính toán. Trình tối ưu hóa Adam đã được lựa chọn sau khi đánh giá hiệu suất so với các thuật toán tối ưu khác, cho thấy khả năng điều chỉnh tốt các tham số của lớp CONV và Batch Normalization.

Bước cuối cùng là ứng dụng mô hình DSAS để thành lập bản đồ biến động đường bờ trong. Các ảnh UAV, ảnh từ Google Earth có độ phân giải cao theo chuỗi thời gian được đưa vào mô hình đã huấn luyện giải đoán. Đầu ra của mô hình UNet là bản phân đoạn nhị phân (segmentation mask) thể hiện khu vực đường bờ trong. Dữ liệu này sau đó được chuyển sang định dạng vector (polyline) và nhập vào công cụ DSAS để phân tích biến động và thành lập bản đồ biến động đường bờ trong bằng công cụ trên ArcGIS. Tại đây, nghiên cứu so sánh và sử dụng các thuật toán tối ưu (EPR, LRR, và WLR) để đánh giá biến động đường bờ. Ba thuật toán tối ưu sử dụng các thuật toán, cách hồi quy khác nhau để hiểu và đánh giá được xu thế biến động đường bờ biến qua các thời kỳ. (1) EPR (End Point Rate): tốc độ biến động giữa hai mốc thời



Hình 6. Kiến trúc của các mô hình UNet được sử dụng để phát hiện bờ biển.

gian đầu và cuối. (2) LRR (Linear Regression Rate): tốc độ trung bình theo đường hồi quy tuyến tính. (3) WLR (Weighted Linear Regression): mở rộng của LRR, gán trọng số cho từng mốc tùy độ tin cậy dữ liệu. Quy trình kết hợp mô hình học sâu và DSAS này có thể được áp dụng trong nhiều lĩnh vực như phân loại bờ biển, hay giám sát sự thay đổi đường bờ.

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Độ chính xác mô hình đánh giá biến động đường bờ trong

Nghiên cứu sử dụng kết hợp hai mô hình để đánh giá biến động đường bờ gồm mô hình UNet với kích thước ảnh đầu vào là 256x256 (sau đây gọi là UNet-256) và DSAS. Mô hình UNet-256 cho thấy hiệu suất phân loại rất cao ở cả hai khu vực bờ biển và không phải bờ biển (Bảng 1). Lỗi bỏ sót ở vùng bờ biển chỉ chiếm 0,4%, trong khi ở vùng không phải bờ biển là 2,6%, cho thấy khả năng nhận diện đầy đủ các điểm thuộc vùng bờ biển. Đồng thời, lỗi ghi nhận sai cũng ở mức thấp, lần lượt là 2,5% và 0,4% đối với hai khu vực tương ứng. Độ chính xác theo lớp thực tế đạt 99,6% đối với bờ biển và 97,5% đối với vùng khác, trong khi độ chính xác theo lớp dự đoán đạt 97,4% và 99,6%. Hệ số Kappa đạt 0,97, phản ánh mức độ nhất quán rất cao giữa phân loại mô hình và thực

tế. Tổng thể, độ chính xác toàn cục của mô hình là 98,5%, cho thấy UNet-256 là một trong những cấu hình có độ tin cậy cao trong việc phân loại ranh giới và bề mặt vùng ven biển. Mô hình UNet hiểu chính xác khu vực giữa hai đường bờ. Chúng có thể phân chia khu vực với thảm thực vật phát triển thấp. Vì vậy, mô hình được sử dụng dự báo đường bờ trong và đường bờ ngoài của Vịnh Đà Nẵng.

Để tính toán tốc độ biến động đường bờ khu vực bờ biển vịnh Đà Nẵng, nghiên cứu đã thiết lập được 893 lát cắt vuông góc với các đường bờ trong được tự động giải đoán ra từ mô hình UNet-256. Khoảng cách giữa các đường là 20 m. Theo kết quả tính toán, trong khoảng 20 năm (từ 2002 đến 2024) phạm vi biến động đường bờ (giữa đường xa nhất và gần nhất) ở khu vực này đạt giá cực đại là 527,19 m và chỗ biến động ít nhất là 0 m (Bảng 2).

Theo kết quả tính toán tại Bảng 2, mức độ dao động (SCE) có giá trị trung vị là 28 m, cho thấy phần lớn đường bờ chỉ dao động trong phạm vi này trong suốt 20 năm. Kết quả của hai phương pháp LRR và WLR tương đồng nhau. Trong khi đó, thông qua tính toán biến đổi giữa vị trí đường bờ năm đầu và năm cuối, phương pháp EPR đưa ra giá trị biến động lớn hơn nhiều. Khi áp dụng phương pháp EPR, các khu vực được xác định xói lở mạnh nằm ở phía nam sông Cu Đê. Khu vực phía bắc có xu thế bồi tụ, đặc biệt là tại chân đèo Hải Vân (khoảng 16 m/năm). Tuy nhiên, nhiều nghiên

Bảng 1. Giá trị chính xác của bốn mô hình nơ-ron dựa trên đối tượng được đào tạo.

Độ chính xác	UNet-256	
	Bờ biển	Không bờ biển
Lỗi bỏ sót	0,4	2,6
Lỗi ghi nhận sai	2,5	0,4
Độ chính xác theo lớp thực tế	99,6	97,5
Độ chính xác theo lớp dự đoán	97,4	99,6
Hệ số Kappa	0,97	
Độ chính xác tổng thể	98,5	

Bảng 2. Bảng thống kê một số thông số cơ bản theo các phương pháp khác nhau giai đoạn 2002÷2024.

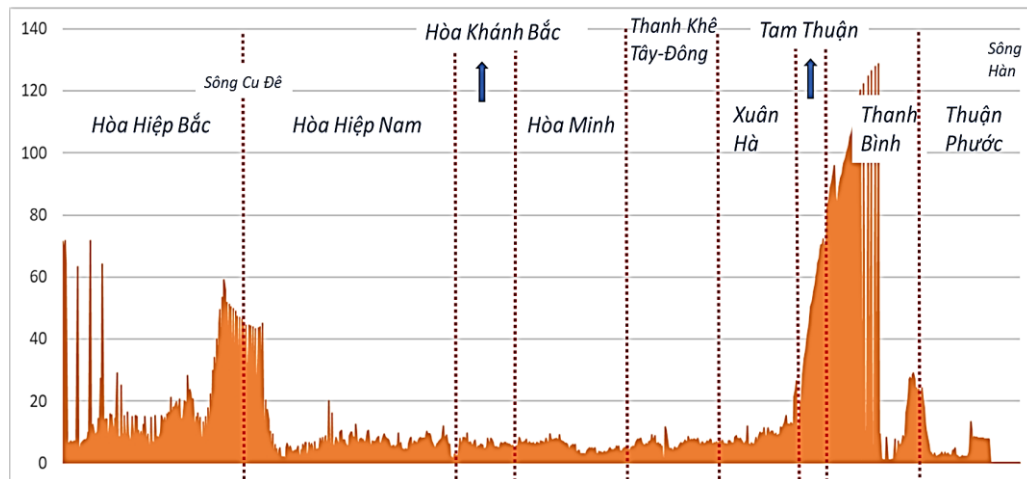
Chỉ tiêu	Giai đoạn 2002÷2024			
	SCE (m)	EPR	LRR	WLR
Max	527,19	39,5	22,78	22,78
Min	0	-3,78	-3,43	-3,43
Median	28,06	0,12	0,24	0,24
% mặt cắt xói (tốc độ xói < -0,2 m/năm)	-	31,8	16,57	16,57
% mặt cắt bồi (tốc độ bồi > 0,5 m/năm)	-	32,92	36,95	36,95
% mặt cắt ít biến động (tốc độ từ -0,2 đến 0,5 m/năm)	-	35,28	46,47	46,47

cứu đã chứng minh phương pháp này chỉ phù hợp với trường hợp có quá ít dữ liệu, mà không xem xét xu hướng biến động của đường bờ vào các thời điểm khác nhau. Do đó nghiên cứu không sử dụng phương pháp tính toán EPR để tính biến động đường bờ khu vực Vịnh Đà Nẵng.

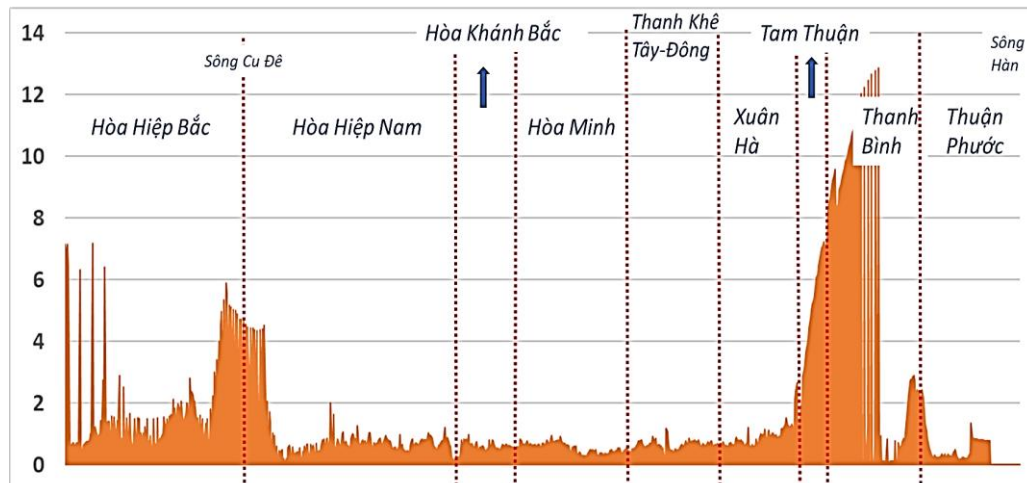
Theo kết quả phương pháp WLR và LRR, tốc độ xói lở cực đại trong khu vực đạt hơn -3,4 m/năm, trong khi quá trình bồi tụ mạnh nhất đạt khoảng hơn 22,7 m/năm. Số mặt cắt có xu thế xói lở thấp hơn - 0,2m/năm là 148/893 mặt cắt, chiếm 16,57%. Số mặt cắt được cho là có xu thế bồi hơn 0,5 m/năm là 330/893, chiếm 36,95%. Khu vực xói lở mạnh có thể kể đến là dải ven biển phía nam sông Cu Đê (khoảng 1 m/năm) và tại phía nam chân đèo Hải Vân (khoảng 0,5 m/năm). Khu vực bồi tụ mạnh quan sát thấy rõ tại doi cát ở

cửa sông Cu Đê (từ 0,2÷7 m). Khu vực bồi tụ mạnh nhất nằm ở phường Thanh Bình, nơi có đô thị Đa Phước phát triển lên tới khoảng trên 20 m/năm.

Mặc dù các thuật toán LRR và WLR cho kết quả gần giống nhau về số liệu (Hình 7 và 8), WLR được chọn là phương pháp tối ưu nhờ phản ánh được xu hướng biến động chính xác. WLR cho phép gán trọng số cho các mốc thời gian dựa trên độ tin cậy của dữ liệu, từ đó giảm ảnh hưởng của sai số và tăng độ ổn định của kết quả. Giá trị sai số bình phương có trọng số (WSE) của thuật toán WLR chỉ bằng khoảng 1/10 so với sai số tính toán từ thuật toán LRR. Điều này khẳng định WLR là công cụ đáng tin cậy để phân tích biến động đường bờ tại khu vực nghiên cứu trong giai đoạn 2002÷2024.



Hình 7. Biểu đồ đánh giá sai số của phương pháp LRR (đơn vị: m²).



Hình 8. Biểu đồ đánh giá sai số của phương pháp WLR (đơn vị: m²).

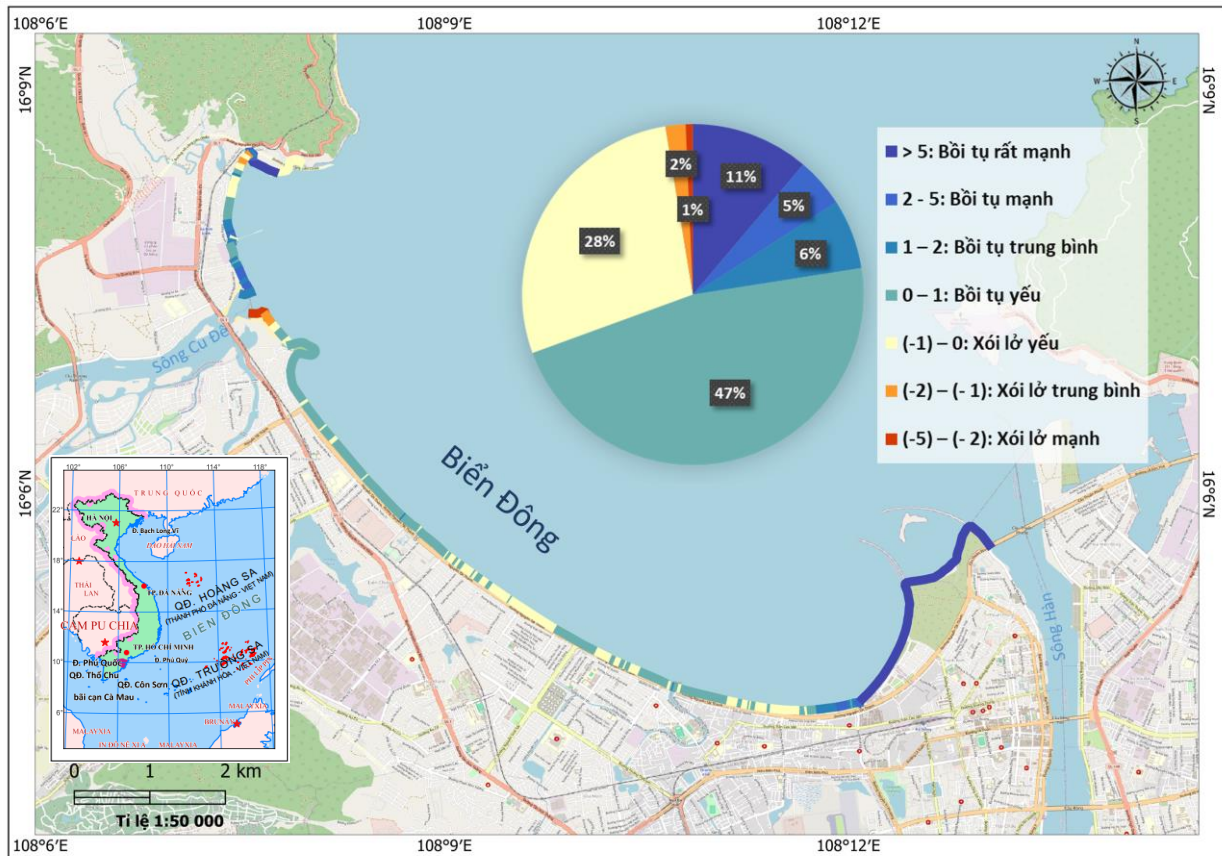
4.2. Biến động đường bờ trong khu vực vịnh Đà Nẵng

Trên cơ sở các kết quả tính toán về biến động đường bờ giai đoạn 2002 đến 2024, nghiên cứu đã tiến hành phân đoạn bờ theo các đặc trưng xói lở/bồi tụ khác nhau. Theo đó, bờ biển khu vực được phân thành 7 nhóm nguy cơ khác nhau là từ bồi tụ rất mạnh đến xói lở mạnh (Hình 8). Theo đó, nhóm đoạn bờ bồi tụ yếu chiếm ưu thế 47%, tiếp đến là đoạn bờ xói lở yếu, chiếm 28%; đoạn bờ xói lở trung bình chiếm khoảng 2%; và đoạn bồi tụ trung bình chiếm 6%. Về cơ bản, bờ biển khu vực này tương đối ổn định, mặc dù một số đoạn chịu tác động bồi tụ cực mạnh (chiếm 11%), ví dụ như cửa phía bắc sông Cu Đê.

Theo phương pháp tính toán WLR, khu vực biến động bờ biển mạnh nhất là khu vực bờ biển phía nam sông Cu Đê. Qua công tác khảo sát, người dân tại đây cho biết sóng biển khu vực này có thể tác động tới vách xói phía bên trong gần sát nhà

dân vào mùa mưa bão. Họ cũng cho biết quá trình xói lở diễn ra mạnh hơn so với bồi tụ trong những năm gần đây. Xu thế xói lở cũng được xác định tại khu vực phía nam chân đèo Hải Vân (đoạn kho xăng dầu, phía bắc cửa sông Cu Đê) (Hình 9). Tại khu vực phía nam chân đèo Hải Vân trước năm 2018, đường bờ biển đã bị xói lở nghiêm trọng, làm thu hẹp diện tích bãi biển và rừng phi lao. Cụ thể, năm 2002 khoảng cách từ đường dân sinh đến đường bờ trong là 85 m nhưng đến năm 2017 chỉ còn 76 m. Điều này cho thấy bờ biển có xu hướng xói mạnh về phía đất liền (Hình 11). Do đó, năm 2018 chính quyền khu vực này đã xây dựng bờ kè cao khoảng 3m và đổ nhiều khối đá chân bờ kè để giảm năng lượng sóng. Sau khi hoàn thành bờ kè, hiện tượng xói lở không còn xảy ra nữa có thể thấy khoảng cách từ đường dân sinh tới bờ trong (bờ kè) ổn định.

Xu hướng bồi tụ chủ yếu xảy ra tại các doi cát cửa sông Cu Đê và khu vực đô thị Đa Phước. Tại cửa sông Cu Đê, vào mùa khô, hai doi cát có thể liên kết để tạo thành một doi cát có quy mô lớn bồi



Hình 9. Bản đồ biến động đường bờ trong khu vực Vịnh Đà Nẵng giai đoạn 2002÷2024.

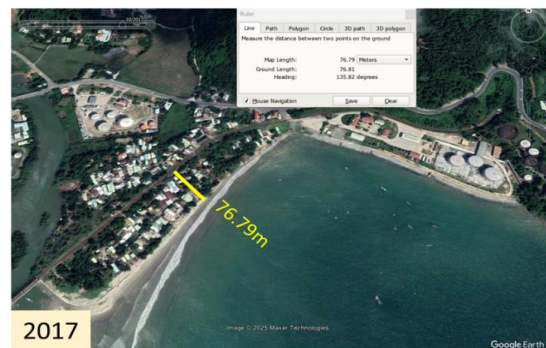
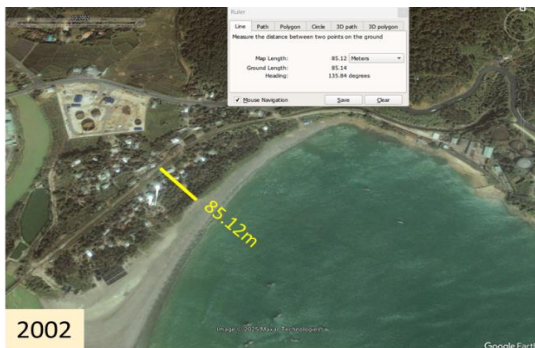
lấp cửa sông, gây trở ngại cho người dân đánh bắt hải sản. Khi đó cửa sông bị bồi lấp với hàng trăm nghìn mét khối cát khiến chính quyền phải huy động tàu thuyền khai thông luồng lạch thường xuyên. Mùa mưa, lượng nước sông lớn nên tình trạng bồi lấp giảm đi. Từ năm 2017, hoạt động nạo vét cửa sông Cu Đê được đề xuất nhằm làm thông thoáng luồng lạch, phát triển du lịch và kinh tế - xã hội. Tuy nhiên, vẫn đang trong giai đoạn nghiên cứu do lo ngại việc nạo vét có thể gây xâm thực, sạt lở bờ biển khu vực Thủy Tú, ảnh hưởng đến cầu đường sắt, đường bộ. Thêm vào đó, UBND thành phố Đà Nẵng đã phê duyệt kế hoạch phát triển du lịch đường thủy nội địa, giúp người dân xóm chài ổn định đánh bắt cá (Hình 10).

Tương đồng giữa thực tế và kết quả phân tích, khu vực bờ biển khu đô thị Đa Phước cho thấy rõ ràng quá trình lấn biển quy mô lớn tại đây. Trong khi khu vực cảng Tiên Sa và bờ biển dọc đường Nguyễn Tất Thành có xu thế ổn định với sự cân bằng giữa tác động nhân sinh và tự nhiên, khu đô thị Đa Phước đại diện cho sự can thiệp mạnh mẽ của con người vào không gian ven biển, nhằm phục vụ phát triển đô thị, hạ tầng và du lịch. Địa hình bờ biển tại đây chủ yếu là bờ nhân tạo, được

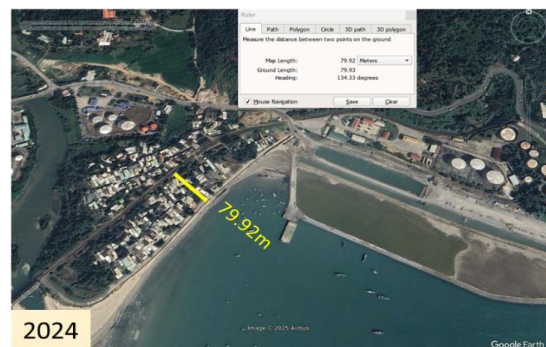
gia cố bằng hệ thống kè cứng và các công trình hạ tầng kỹ thuật ven bờ. Quá trình lấn biển đã làm biến đổi đáng kể hình thái đường bờ, tạo nên xu hướng bồi tụ nhân tạo rõ rệt với tốc độ cao, có nơi lên đến 22 m/năm. Khu vực này có đặc điểm sóng và dòng chảy ven bờ phức tạp, chịu ảnh hưởng bởi cả yếu tố tự nhiên (như gió mùa, thủy triều) và hoạt động nhân sinh (san lấp, xây dựng). Do đó, bờ biển Đa Phước cần được theo dõi chặt chẽ để đảm bảo phát triển bền vững và hạn chế rủi ro xói lở trong tương lai.

Lý giải cho hiện tượng xói lở - bồi tụ ở vịnh Đà Nẵng, khu vực chịu ảnh hưởng rõ rệt từ hình dạng vòng cung của vịnh, cùng với hướng gió, sóng, dòng chảy ven bờ và các hoạt động nhân sinh. Khu vực chân đèo Hải Vân phía bắc và cửa sông Cu Đê phía nam, chịu tác động của sóng và dòng chảy mạnh hơn, gây ra hiện tượng xói lở và bồi tụ rõ rệt. Sóng và gió Đông Nam vào mùa hè khiến khu vực phía nam chân đèo Hải Vân bị xói lở, vật chất bị cuốn đi và vận chuyển theo dòng dọc bờ đến cửa sông Cu Đê, tạo thành các doi cát. Tương tự, gió Đông Bắc vào mùa đông làm biến động dòng vật chất ở phía nam sông Cu Đê gây ra hiện tượng xói lở dải ven biển. Dòng vật chất được đưa ra ngoài

Giai đoạn trước khi có kè



Giai đoạn sau khi có kè



Hình 10. Ảnh số đo khoảng cách từ đường dân sinh đến đường bờ trong tại khu vực phía Nam chân đèo Hải Vân qua các giai đoạn trước khi xây kè và sau khi xây kè được trích xuất từ GEP.

hình thành doi cát bồi tụ ở cửa sông. Trong khi đó, khu vực giữa vịnh Đà Nẵng (khu vực thuộc phường Hòa Hiệp Nam tới Xuân Hà) ít chịu ảnh hưởng mạnh của sóng và gió do địa hình có hình dạng vòng cung đã làm giảm cường độ tác động, đồng thời quá trình xói bồi cân bằng hơn, dẫn đến sự ổn định và ít biến động rõ rệt ở vùng này (Hình 11).

Để ứng phó hiệu quả với hiện tượng xói lở - bồi tụ tại vịnh Đà Nẵng, cần triển khai đồng bộ nhiều giải pháp. Trước hết, tại các khu vực bị xói lở nghiêm trọng như phía nam sông Cu Đê và chân đèo Hải Vân, cần xây dựng và gia cố hệ thống kè bảo vệ kết hợp với các giải pháp sinh thái như trồng cây chắn sóng nhằm giảm thiểu tác động của sóng gió và ổn định đường bờ. Đồng thời, việc nạo vét cửa sông Cu Đê cần được thực hiện có kiểm soát để duy trì luồng lạch phục vụ sinh kế người dân, nhưng phải cân nhắc kỹ tác động đến môi trường và nguy cơ xâm thực các khu vực lân cận. Đối với khu đô thị Đa Phước, cần tăng cường giám sát quá trình lấn biển để đảm bảo tuân thủ quy hoạch và không làm gián đoạn dòng chảy ven bờ tự nhiên. Ngoài ra, việc ứng dụng công nghệ viễn thám và mô hình học sâu như U-Net nên được phát triển nhằm nâng cao hiệu quả quan trắc và dự báo diễn biến đường bờ. Cuối cùng, cần xây dựng một quy hoạch tổng thể cho toàn bộ vịnh dựa trên cơ sở khoa học và phân vùng động lực ven bờ, từ đó hướng tới mục tiêu phát triển bền

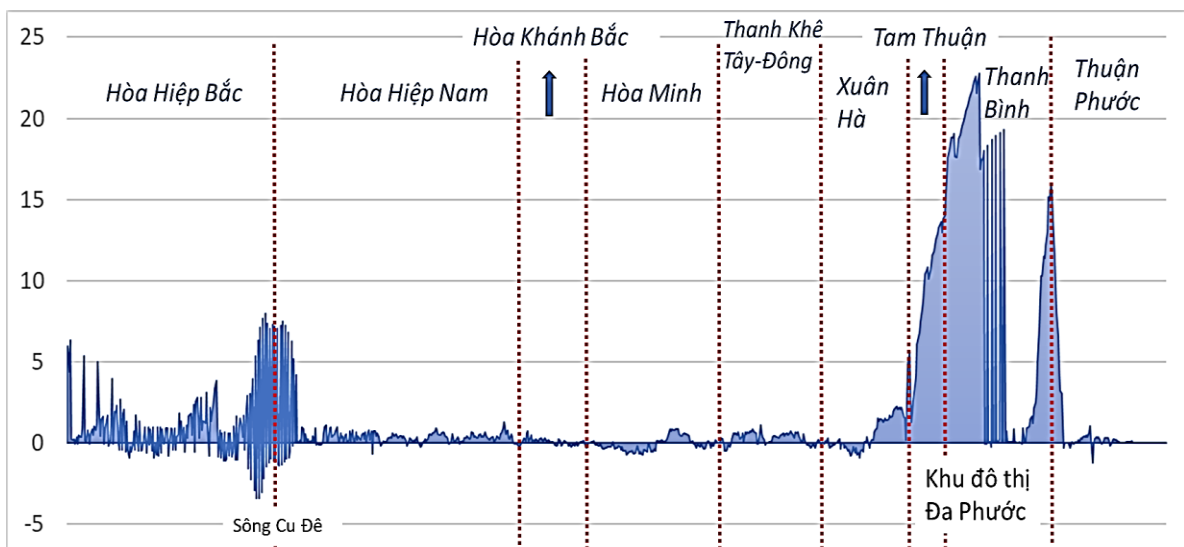
vững, hài hòa giữa kinh tế - xã hội và bảo vệ tài nguyên bờ biển.

5. Kết luận

Từ nghiên cứu biến động đường bờ biển vịnh Đà Nẵng giai đoạn 2002-2024, có thể rút ra một số kết luận chính. Biến động đường bờ diễn ra phức tạp, với 16% khu vực có xu hướng xói lở và 36% có xu hướng bồi tụ; mức biến động lớn nhất đạt 527,19 m trong 20 năm. Khu vực phía nam sông Cu Đê ghi nhận tình trạng xói lở nghiêm trọng, tốc độ cực đại -3,4 m/năm, ảnh hưởng tiêu cực đến bãi biển, cư dân và du lịch. Ngược lại, tại cửa sông Cu Đê, quá trình bồi tụ mạnh, do trầm tích từ sông và dòng ven bờ, đã gây biến đổi địa hình và cản trở giao thông thủy. Tại khu đô thị Đa Phước, lấn biển phục vụ phát triển đô thị đã tạo ra bồi tụ nhân tạo với tốc độ lên đến 22 m/năm, cho thấy rõ tác động của quy hoạch và can thiệp con người đến động lực bờ biển. Việc tích hợp mô hình học sâu UNet trong phân tích ảnh UAV và vệ tinh đã nâng cao độ chính xác trong theo dõi biến động đường bờ trong, đồng thời góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho công tác quản lý và quy hoạch bờ biển một cách bền vững trong tương lai.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số VINIF.2024.TS.112.



Hình 11. Biểu đồ biến động đường bờ trong theo phương pháp WLR (đơn vị: m/năm).

Đóng góp của tác giả

Giang Tuấn Linh - xây dựng ý tưởng khoa học, mô phỏng, xử lý số liệu; Nguyễn Thị Chinh - biên tập, rà soát và hiệu đính nội dung bài báo; Đặng Kinh Bắc và Nguyễn Quốc Cường - phương pháp nghiên cứu, phân tích số liệu.

Tài liệu tham khảo

- Apostolopoulos, D., & Nikolakopoulos, K. (2021). A review and meta-analysis of remote sensing data, GIS methods, materials and indices used for monitoring the coastline evolution over the last twenty years. *European Journal of Remote Sensing*, 54(1), 240–265. <https://doi.org/10.1080/22797254.2021.1904293>.
- Boak, E. H., & Turner, I. L. (2005). Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 214(214), 688–703. <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>
- Dang, K. B., Dang, V. B., Ngo, V. L., Vu, K. C., Nguyen, H., Nguyen, D. A., Nguyen, T. D. L., Pham, T. P. N., Giang, T. L., Nguyen, H. D., & Hieu Do, T. (2022). Application of deep learning models to detect coastlines and shorelines. *Journal of Environmental Management*, 320, 115732. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115732>.
- Giang, T. L., Bui, Q. T., Nguyen, T. D. L., Dang, V. B., Truong, Q. H., Phan, T. T., Nguyen, H., Ngo, V. L., Tran, V. T., Yasir, M., & Dang, K. B. (2023). Coastal landscape classification using convolutional neural network and remote sensing data in Vietnam. *Journal of Environmental Management*, 335, 117537. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117537>.
- McAllister, E., Payo, A., Novellino, A., Dolphin, T., & Medina-Lopez, E. (2022). Multispectral satellite imagery and machine learning for the extraction of shoreline indicators. *Coastal Engineering*, 174, 104102. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2022.104102>.
- Ngo, V. L., Dang, V. B., Dang, K. B., Ngo, C. C., Pham, T. P. N., Benjamin, B., & Giap, T. K. C. (2020). Assessment of shoreline changes for setback zone establishment from Son Tra (Da Nang city) to Cua Dai (Hoi An city), Vietnam. *Science of the Earth*, 42(2), 363–383. <https://doi.org/10.15625/0866-7187/42/4/15410>.
- O'Carroll, S. (2010). Coastal Erosion and Shoreline Classification in Stratford , Prince Edward Island. May, 96 p. www.atlanticadaptation.ca.
- Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9351, 234–241. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28.
- Thao, N. Van, Thanh, T. D., Saito, Y., & Gouramanis, C. (2013). Monitoring Coastline Change in the Red River Delta Using Remotely Sensed Data. *Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ Biển*, 13(2), 151–160. <https://doi.org/10.15625/jmst.v13i2.3518>.
- Van Puijenbroek, M. E. B., Nolet, C., De Groot, A. V., Suomalainen, J. M., Riksen, M. J. P. M., Berendse, F., & Limpens, J. (2017). Exploring the contributions of vegetation and dune size to early dune development using unmanned aerial vehicle (UAV) imaging. *Biogeosciences*, 14(23), 5533–5549. <https://doi.org/10.5194/bg-14-5533-2017>.
- Vos, K., Splinter, K. D., Harley, M. D., Simmons, J. A., & Turner, I. L. (2019). CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling and Software*, 122, 104528. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104528>.