



Original Article

# Application of Artificial Intelligence for Monitoring Shoreline Changes in the Central Coast of Vietnam

Dang Kinh Bac\*

*VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*

Received 07 September 2023

Revised 14 November 2023; Accepted 28 February 2024

**Abstract:** The identification and monitoring of coastline and shoreline plays an important role in coastal erosion assessment. The deep learning models can be a potential tool to detect the coastlines and shorelines in Vietnam using ultra-high resolution satellite images. The aims of the study are: i) To propose a set of indicators to determine the coastlines and shoreline; ii) To build deep machine learning models that automatically interpret the coastlines and shorelines on ultra-high resolution remote sensing images; and iii) To apply developed deep learning (DL) models to monitor coastal erosion in central Vietnam. Eight DL models were implemented based on four artificial intelligence network structures, including U-Net, U2-Net, U-Net3+, and DexiNed. Satellite images collected through Google Earth Pro software were used as input for all models. As a result, the U-Net model has been effectively applied to coasts in Cu De, Lai Giang, and Bien Lo estuaries. The output results were used to calculate the rate of erosion/accretion in these areas. Additionally, the study indicated that coastline is a suitable criterion in assessing coastal erosion under the impact of sea level rise during storms. On the other hand, shoreline is a suitable criterion in assessing tidal fluctuations or instantaneous movements of wave currents during the year.

**Keywords:** Shoreline, Coastline, Deep learning, Optimization, Erosion, Accretion.

\* Corresponding author.

*E-mail address:* [dangkinhbac@hus.edu.vn](mailto:dangkinhbac@hus.edu.vn)

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5012>

# Ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong giám sát biến động bờ biển Trung Bộ

Đặng Kinh Bắc\*

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,  
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 07 tháng 9 năm 2023

Chỉnh sửa ngày 14 tháng 11 năm 2023; Chấp nhận đăng ngày 28 tháng 02 năm 2024

**Tóm tắt:** Việc xác định và giám sát đường bờ trong và ngoài đóng một vai trò quan trọng trong đánh giá xói lở bờ biển trên toàn thế giới. Mô hình học máy sâu có thể trở thành một công cụ hữu ích để phát hiện đường bờ trong và ngoài ở Việt Nam bằng cách sử dụng ảnh vệ tinh có độ phân giải siêu cao và các phương pháp phân đoạn đối tượng khác nhau. Mục tiêu của nghiên cứu là: i) Đề xuất bộ chỉ thị xác định đường bờ trong và ngoài; ii) Xây dựng các mô hình học máy sâu tự động hóa giải đoán đường bờ trong và ngoài trên ảnh viễn thám độ phân giải siêu cao; và iii) Áp dụng các mô hình học máy sâu (DL) để giám sát xói lở bờ biển miền Trung Việt Nam. Theo đó, 8 mô hình DL đã được thực hiện dựa trên bốn cấu trúc mạng, bao gồm U-Net, U2-Net, U-Net3+ và DexiNed. Các ảnh vệ tinh thu thập thông qua phần mềm Google Earth Pro được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho tất cả các mô hình. Theo đó, mô hình U-Net đã áp dụng hiệu quả cho 5 khu vực trọng điểm. Kết quả đầu ra cũng đã được sử dụng trong tính toán được tốc độ xói lở/bồi tụ tại bờ biển Cu Đê, Biền Lữ và Lại Giang. Ngoài ra, nghiên cứu cũng chỉ ra đường bờ trong phù hợp trong đánh giá xói lở bờ biển. Trong khi đường bờ ngoài phù hợp để đánh giá dao động thủy triều hoặc chuyển động tức thời của dòng chảy sóng trong năm.

**Từ khóa:** Đường bờ trong, Đường bờ ngoài, Học máy sâu, Tối ưu hóa, Xói lở, Bồi tụ.

## 1. Mở đầu

Biến động đường bờ là quá trình diễn ra hết sức phức tạp, xảy ra dưới tác động của dòng hải lưu, sóng và gió lên bề mặt đất liền [1, 2]. Xói lở bờ biển xảy ra chủ yếu trong các đợt triều cường, kèm theo sóng và gió lớn trong bão. Dưới tác động của biến đổi khí hậu và đô thị hóa, quá trình biến động bờ biển càng trở nên phức tạp [3]. Tới nay, vấn đề giám sát xói lở bờ biển đã nhận được rất nhiều sự quan tâm đặc biệt đến từ các quốc gia khác nhau trên toàn thế giới [4, 5]. Trong 30 năm qua, 70% đường bờ trên toàn thế giới cầu

trở nên phức tạp do bị xói lở một cách nghiêm trọng [6]. Kể từ năm 1970, nhiều bờ biển ở Hoa Kỳ có tốc độ xói trung bình từ 0,6 đến 0,9 m/năm, đặc biệt ở khu vực bờ biển phía đông, với tốc độ xói lên tới 2,6-3,1 m/năm [7]. Quá trình xói lở xảy ra gần 20.000 km bờ biển ở Châu Âu [8]. Do đó, các công nghệ giám sát mực nước biển dâng cần được cải tiến liên tục để có thể quan sát sự thay đổi ở cả đường bờ trong và ngoài tại các quốc gia ven biển [9]. Việc đánh giá sự thay đổi cho phép đánh giá chính xác xu hướng của xói lở bờ biển và mực nước biển dâng theo thời gian thực.

\* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: dangkinhbach@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5012>

Về cơ sở dữ liệu, công nghệ viễn thám ngày nay với những ưu điểm như đa cảm biến, đa thời gian và đa độ phân giải siêu cao đã được sử dụng trong các mô hình học máy [10, 11]. Trong các dự án nghiên cứu đánh giá xói lở bờ biển, viễn thám và hệ thống tin địa lý (GIS) đã được ứng dụng hiệu quả và mang lại kết quả cho công tác quản lý vùng ven biển. Tuy nhiên, do nhận thức liên quan đến các chỉ thị đường bờ trong/ngoài còn khác nhau nên việc dự đoán xói lở dựa trên ảnh viễn thám và GIS còn nhiều sai số [12, 13]. Kết quả giải đoán phụ thuộc nhiều vào nguồn dữ liệu và phần mềm xử lý. Các nghiên cứu trước đây thường tách riêng đất liền và biển nói chung để đánh giá quá trình xói lở bờ biển kết hợp với việc sử dụng ảnh viễn thám có độ phân giải tầm trung bình (như ảnh Landsat, Spot và Sentinel-2). Độ chính xác cao nhất cũng chỉ là 10 m với ảnh Sentinel-2, tương đương với khoảng cách giữa đường bờ biển trong và ngoài ngoài thực địa. Do đó, kết quả giải đoán/đánh giá biến động bờ biển của các nghiên cứu trước đây có nhiều điểm khác biệt. Để cải thiện vấn đề này, rất nhiều cảm biến viễn thám cung cấp độ phân giải cao có thể quan sát đường bờ trong và ngoài một cách rõ ràng hơn như ảnh máy bay không người lái (UAV) và WorldView-2 thu từ nguồn Google Earth với độ phân giải từ 0,3 m đến 1 m [14, 15]. Đây là nguồn dữ liệu hữu ích cho việc phân biệt đường bờ trong và ngoài trên quy mô không gian lớn và đa thời gian.

Về công nghệ xử lý, việc xác định đường bờ trong và ngoài, cũng như phân tích sự biến động của chúng qua thời gian vẫn chủ yếu dựa vào các công cụ truyền thống như phần mềm ArcGIS, Envi 5.1, eCognition và DSAS [16]. Những công cụ này không thể tạo ra các mô hình tự động phân tích hay xử lý lượng dữ liệu lớn, theo thời gian dài, một cách liên tục, hoặc theo thời gian thực [17]. Thêm vào đó, việc giải đoán đường bờ trong và ngoài vẫn phụ thuộc vào các chuyên gia có kiến thức chuyên ngành, đặc biệt trên ảnh độ phân giải cao. Với sự phát triển của công nghệ máy học sâu, con người có thể đào tạo/huấn luyện máy tính hiểu được sự khác biệt giữa đường bờ trong và ngoài với những vật thể xung quanh. Kiến thức này làm cho máy tính có thể

phát hiện đường bờ trong và ngoài tại thời điểm thu nhận ảnh viễn thám; từ đó cung cấp các mô hình giám sát sự thay đổi bờ biển nhanh chóng trong thời gian thực. Do đó, việc phát triển một mô hình tự động hóa xác định đường bờ và đánh giá biến động bờ biển là cần thiết trong thời đại hiện nay. Hiện nay, nhiều mô hình học sâu được ứng dụng trong các lĩnh vực y tế, địa lý và môi trường như mô hình Support Vector Machines (SVM); Convolution Neural Network (CNN); Unet, U2net, Unet3+ và DexiNed). Tuy nhiên, bên cạnh kiến thức liên quan đến viễn thám và học máy sâu, các nhà phát triển cần có chuyên môn về địa mạo bờ biển, cảnh quan và hệ sinh thái để xác định đường bờ trong và ngoài trên thực địa trước khi có dữ liệu mẫu đầu vào để đào tạo máy học. Do đó, một bộ tiêu chí xác định đường bờ trong và ngoài là cần thiết, không chỉ giúp ích cho việc xác định đường bờ trong và ngoài ngoài thực địa, mà còn trực tiếp trên ảnh vệ tinh độ phân giải cao, làm cơ sở dữ liệu quan trọng trong phát triển mô hình học máy. Xuất phát từ nhu cầu đó, mục tiêu của nghiên cứu này là: i) Xây dựng các mô hình học máy sâu tự động hóa giải đoán đường bờ biển (bờ trong và bờ ngoài) từ ảnh viễn thám độ phân giải cao; và ii) Xác định được hiện trạng biến động đường bờ do xói lở, bồi tụ cửa sông gây nên tại một số khu vực trọng điểm và đề xuất được giải pháp áp dụng mô hình học máy cho giám sát cho một số kiểu bờ biển khác nhau ở Trung Bộ.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Cơ sở lý luận ứng dụng viễn thám độ phân giải cao và trí tuệ nhân tạo trong đánh giá biến động bờ biển

Tại phần lớn khu vực ven biển, dữ liệu không gian đường bờ trong quá khứ thường bị hạn chế. Do đó, các nghiên cứu thường lựa chọn sử dụng dữ liệu miễn phí, chất lượng không cao. Đường bờ trong quá khứ được giải đoán từ các nguồn dữ liệu khác nhau, phục vụ cho các nghiên cứu cụ thể. Khả năng bổ sung dữ liệu từ các nguồn khác gặp nhiều khó khăn, do sự khác biệt về kiểu dữ liệu, độ phân giải không gian và thời gian.



Hình 1. Quy trình phát triển mô hình học máy trong phân loại và đánh giá biến động đường bờ.

Ảnh viễn thám độ phân giải cao cung cấp hình ảnh chi tiết và sắc nét về bờ biển, cho phép theo dõi các thay đổi địa hình và môi trường ven biển một cách chính xác. Thêm vào đó, trí tuệ nhân tạo, đặc biệt là các thuật toán học máy và xử lý ảnh, giúp tự động phân tích dữ liệu từ hình ảnh viễn thám, nhận diện biên đổi và dự báo xu hướng biến động trong tương lai.

Kết hợp ảnh viễn thám và trí tuệ nhân tạo cung cấp khả năng đánh giá toàn diện về biến động bờ biển. Nó không chỉ giúp xác định sự thay đổi ngay lập tức mà còn cung cấp cái nhìn về tiềm năng và xu hướng dài hạn của bờ biển. Thông qua việc phân tích dữ liệu lớn và tự động, cung cấp thông tin hữu ích cho quản lý môi trường, giúp đưa ra quyết định có trách nhiệm và hiệu quả trong việc bảo vệ và quản lý bờ biển trước những biến đổi do tác động của thời tiết, biến đổi khí hậu và hoạt động con người.

Theo quy trình được thể hiện trong Hình 1, quá trình phân loại đường bờ trong và ngoài được chia làm ba bước. Bước 1 được thực hiện ở cả nội nghiệp và ngoại nghiệp để xác định các

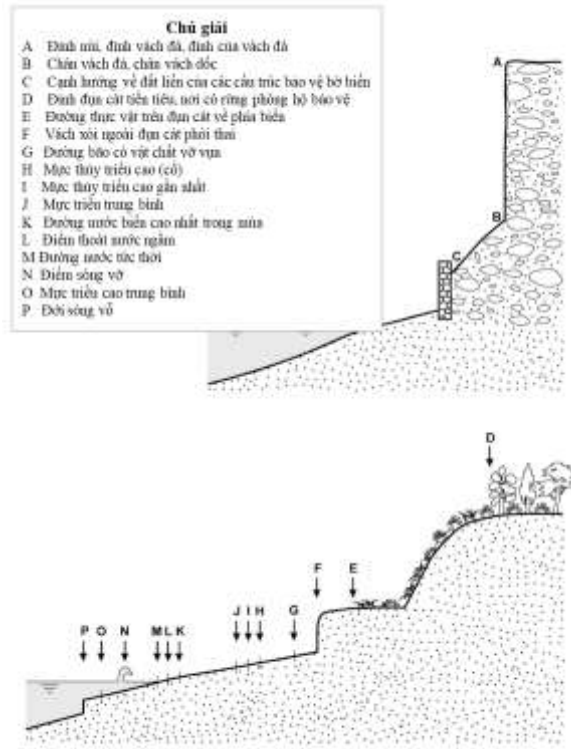
chỉ thị đường bờ trong và ngoài phù hợp với từng loại bờ biển. Các điểm mẫu thực địa được xác định và xử lý để tạo mẫu trên ảnh viễn thám, phục vụ phát triển mô hình học máy. Bước 2 là đào tạo và phát triển mô hình máy học sâu truyền thống và nâng cao phục vụ phân loại đường bờ trong và ngoài. Khi mô hình đạt được độ chính xác cao, mô hình sẽ được kiểm chứng và thử nghiệm với nguồn dữ liệu ảnh WorldView mới thu từ Google Earth trong bước 3. Kết quả nghiên cứu được sử dụng để thành lập bản đồ đường bờ và biên đổi đường bờ ở bước cuối.

## 2.2. Phương pháp địa mạo trong xây dựng bộ chỉ thị xác định đường bờ

Việc xác định đường bờ trong và bờ ngoài thường gây nhiều khó khăn cho các nhà khoa học, nhất là khi cơ sở dữ liệu không được thu thập chính xác và đầy đủ [18, 19]. Theo đó, đường bờ ngoài (shoreline) là đường giao nhau giữa mặt nước với bãi biển nằm ở vị trí mực nước cao trung bình nhiều năm. Tại các vị trí bờ biển dốc đứng thì bờ trong và bờ ngoài có thể trùng

nhau. Đường bờ trong (coastline) là ranh giới tác động cao nhất của sóng trong năm (thường là sóng bão) với đất liền, hoặc đơn giản hơn, là đường ranh giới giữa bờ và bãi. Ở vùng biển mở, bờ trong thường trùng với ranh giới chân đụn cát ngoài cùng. Chỉ thị cho xác định vị trí đường bờ trong có thể sử dụng “đường thực vật” hoặc “vách xói lở” [12]. Trong khi đường bờ trong có xu hướng ổn định, đường bờ ngoài được xác định có tính chất tạm thời. Thang thời gian được lựa

chọn để xác định các loại đường bờ này phụ thuộc vào mục đích của các nghiên cứu. Ví dụ, các nghiên cứu về đất ngập nước có thể cần lấy mẫu vị trí đường bờ liên tục khoảng 10 lần/giây. Trong khi các nghiên cứu phân tích sự biến đổi lâu dài của đường bờ biển có thể yêu cầu lấy mẫu 10 đến 20 năm/lần [20, 21]. Vì vậy, ranh giới giữa đất và nước thường được sử dụng để xác định đường bờ tức thời.



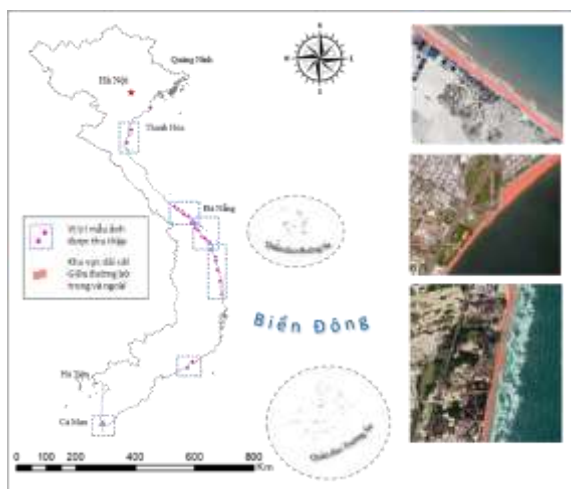
Hình 2. Chỉ thị đường bờ lấy mẫu ngoài thực địa và tên các ảnh vệ tinh độ phân giải cao. Đường bờ trong từ A đến C và D đến F. Đường bờ ngoài gồm điểm từ G đến P.

Dựa vào 45 chỉ thị đường bờ biển được đề cập bởi Boak và Turner (2005), nhóm nghiên cứu chuẩn hóa, lựa chọn ra 16 chỉ thị phù hợp với đặc điểm tự nhiên và kinh tế - xã hội tại Việt Nam, đặc biệt tại dải ven biển miền Trung. Hai loại bờ biển phổ biến, bao gồm bờ biển có vách đá và bờ biển cát. Các chỉ thị đường bờ trong và ngoài được xác định khác biệt ở hai loại bờ biển, tùy thuộc vào đặc trưng thủy triều, sử dụng đất và dòng chảy hải dương tại một thời điểm nhất

định [12]. Ví dụ, thủy triều mức nước biển trung bình (N, O và P của Hình 2) đã được các quốc gia sử dụng làm tiêu chuẩn để xác định đường bờ ngoài. Dữ liệu này thường hữu ích trong việc thành lập bản đồ địa hình, ứng dụng trong ngành nuôi trồng thủy hải sản ven biển. Theo đó các chỉ thị đường bờ được phân làm hai nhóm. Nhóm đầu gắn với các chỉ thị xác định đường bờ trong, từ điểm A, B, và C ở bờ biển có vách đá, và điểm D, E và F ở bờ biển cát của Hình 2.

Nhóm thứ hai gắn liền với các dấu hiệu xác định đường bờ ngoài, từ điểm G đến điểm P thuộc Hình 2. Ngoài ra, các đặc điểm theo mùa cũng ảnh hưởng tới vị trí của đường bờ biển [22]. Ví dụ, có thể thấy đường bờ di chuyển 15 tới 20 mét trên bãi biển có độ dốc nhẹ do tác động của sóng, thủy triều hay là gió trong thời gian ngắn [23]. Nó gây ra những thay đổi về hình dạng ven biển, dẫn đến thay đổi động lực sóng vào bờ và sóng dọc bờ. Các hiện tượng thời tiết cực đoan như bão, lốc trong thời gian ngắn cũng sẽ trở thành những yếu tố quan trọng khi đánh giá xu thế biến động đường bờ biển trong dài hạn. Do đó các thị đường bờ trong được xác định dựa trên ranh giới ngoài cùng của thực vật và các công trình nhân tạo ví dụ như các công trình kè. Trong Hình 2, có thể nhìn thấy đường bờ trong được xác định tại các điểm A, B, và C ở khu vực vách đá và điểm D và E ở bờ biển cát.

### 2.3. Phương pháp điều tra, khảo sát thực địa



Hình 3. Vị trí lấy mẫu dọc theo bờ biển Việt Nam trên các ảnh vệ tinh độ phân giải cao.

Dựa vào các chỉ thị đường bờ trong và ngoài, tác giả đã thực hiện khảo sát thực địa dọc dải ven biển miền Trung vào các tháng 3/2019, 11/2021, và 4/2022. Nhiệm vụ của chuyến đi là xác định chính xác đường bờ trong và ngoài, khoảng cách giữa đường bờ trong và ngoài, và các khu vực bị xói lở so với kết quả giải đoán từ ảnh trong Google Earth trước khi đi thực địa

(vị trí lấy mẫu ở Hình 3). Kết quả giải đoán sau thực địa sẽ được nhân rộng cho các năm khác trong quá khứ để giải đoán đường bờ trên ảnh WorldView trên phần mềm Google Earth.

### 2.4. Phương pháp viễn thám, lập bản đồ và hệ thống thông tin địa lý (GIS)

Mẫu đầu vào được chuẩn bị theo ba bước. Bước đầu, để xác định chính xác đường bờ trong và ngoài, ảnh WorldView-2 được thu thập với độ phân giải là 0,7 m trực tiếp từ phần mềm Google Earth Pro (GEP), với tỉ lệ tương đương là 1:500. Ảnh được lưu trong các vùng nhỏ ở định dạng \*.JPG với độ phân giải 4.800x2.861 để tối đa hóa đường bờ biển trong các năm khác nhau thông qua phần mềm GEP. Hình ảnh đầu ra có dải màu RGB, sau khi loại bỏ phần thông tin nền.

Ảnh lấy từ phần mềm này có các mức độ sáng khác nhau [24-27]. Do đó, để nhận dạng đường bờ trong và ngoài cần có một số lượng lớn mẫu thu thập, giúp máy tính có thể hiểu được cấu trúc và sự đa dạng của dữ liệu ảnh. Năm tỉnh/thành phố được tập trung lấy mẫu ảnh gồm: Huế, Đà Nẵng, Quảng Nam, Quảng Ngãi và Bình Định. Một vài mẫu được thu thập ở các tỉnh phía Bắc và phía Nam Việt Nam, chẳng hạn như bờ biển ở tỉnh Nam Định, Thái Bình và Cà Mau (Hình 3).

Quá trình xói lở được ghi nhận tại các vùng được chọn trong suốt 20 năm. Tổng cộng chiều dài bờ biển được thu thập mẫu lên tới hơn 500 km và thời gian thu thập ảnh từ năm 2010 đến năm 2021. Không gian tập trung khoảng 2 km từ đất liền ra bờ biển và 2 km từ bờ biển ra biển. Sau khi trích xuất các ảnh năm xa bờ, 12.517 ảnh được đưa vào số hóa đường bờ trong và ngoài (bước 2). Những ảnh nằm gần nhau và được chụp trong cùng một năm được đưa vào xử lý tổng hợp để tạo thành một hình ảnh liên tục. Vì các ảnh có độ phân giải cao được thu thập bằng phần mềm GEP có các lỗi về không gian, nên việc hiệu chỉnh hình học cần được làm cẩn thận và được thực hiện thông qua việc quan sát các địa vật cố định như đường hay các công trình xây dựng dân dụng. Trong nghiên cứu này, các đặc

điểm hình học đã được hiệu chỉnh dựa trên việc sử dụng dữ liệu StreetView ở phần mềm ArcGIS.

Sau khi hoàn thiện dữ liệu ảnh, dữ liệu mẫu giải đoán được biên tập qua bước thứ 3 - số hóa đường bờ trong và ngoài, dựa trên các chi thị được định nghĩa ở mục 3.1. Theo đó, đường bờ ngoài được xác định là ranh giới âm ướt sâu nhất xuất hiện ở trong đất liền có mực nước biển (điểm H thuộc Hình 2). Trong đó các đoạn đường bờ trong và ngoài ở khu vực bờ đá được xác định trùng với mép phía đất liền của công trình bảo vệ bờ (Điểm C thuộc Hình 2). Ở những vách đá không có các công trình kè bờ, điểm C trùng với điểm B. Việc lựa chọn này có thể cung cấp thông tin tốt hơn để đánh giá chính xác quá trình xói lở tại các vách đá. Trong quá trình số hóa, chuyên khảo sát thực địa được thực hiện nhằm: i) Xác định vị trí đường bờ trong và ngoài trên thực địa và so sánh chúng với kết quả từ giải đoán ảnh; ii) Đo đạc và tính toán khoảng cách giữa các đường bờ trong và ngoài; và iii) Xác định các vị trí có hiện tượng bồi tụ và xói lở gần đây. Điểm này được giải thích chi tiết hơn trong phần 5. Sau khi số hóa dạng đường, đường bờ trong và ngoài được ghép thành một vùng kín và chuyển thành dạng raster. Dữ liệu này được gọi là “mặt nạ” và là đầu vào cho các mô hình học máy. Trong trường hợp đó, khu vực giữa đường bờ trong và ngoài có giá trị là 1, còn các khu vực xung quanh có giá trị là 0. Khi dữ liệu mặt nạ và ảnh hoàn tất, toàn bộ cơ sở dữ liệu được đưa vào các mô hình học sâu. Máy tính phân tích và tìm hiểu các đặc điểm của khu vực giữa hai đường bờ và các khu vực xung quanh.

## 2.5. Phương pháp mô hình hóa

### 2.5.1. Xây dựng cấu trúc mô hình học máy

Mô hình học máy sâu (DL) hiện nay được phát triển với nhiều loại cấu trúc và kỹ thuật khác nhau [28]. Tác giả xem xét bốn kiến trúc học sâu được phát triển trong 5 năm qua để đào tạo một mô hình phù hợp và hiệu quả nhất cho phân loại đường bờ trong và ngoài. Chi tiết các mô hình và luận giải đã được trình bày trong nghiên cứu Đặng Kinh Bắc và nnk (2022) [30]. Mạng nơ ron có ba chiều. Ngoài chiều ngang và dọc của ảnh,

số lượng kênh ảnh quang phổ dùng để giải đoán quyết định độ sâu của ảnh. Để chọn được kích thước tốt nhất của ảnh mẫu, tác giả so sánh chất lượng các kích thước khác nhau: 256x256x3 và 512x512x3 (tương ứng với rộng, dài và sâu). Kích thước của ảnh càng nhỏ có thể giúp mô hình xác định được các đối tượng chi tiết trên thực tế như từng khóm cây hay lều/trại, trong khi ảnh lớn chỉ có thể nhận diện được các đối tượng có quy mô to như mái nhà hay hàng cây. Liên quan đến cấu trúc mô hình, tác giả đề xuất thử nghiệm bốn loại cấu trúc tiên tiến U-Net, U2-Net, U-Net3+ và DeXiNed cho việc trích xuất đường bờ trong và ngoài.

Tất cả các mô hình học sâu đều được phát triển bằng API Keras và Tensorflow. Độ chính xác được đánh giá trong suốt quá trình đào tạo. Phương pháp đào tạo DL được giới hạn trong 500 vòng lặp (hay epochs - lặp lại dữ liệu đào tạo) nhưng nó có thể dừng nếu hệ số hội tụ đủ sâu.

### 2.5.2. Phương pháp đánh giá chất lượng mô hình

Trong quá trình phát triển các mô hình DL, dữ liệu được kiểm tra độ chính xác để tránh trường hợp quá khớp với dữ liệu đầu vào (hay gọi là “overfitting”) hoặc chưa khớp (hay gọi là “underfitting”). Mô hình học sâu tốt nhất là khi phần giải đoán bờ biển khớp với dữ liệu mẫu và dữ liệu đánh giá. Hai giá trị để đánh giá hiệu suất của các mô hình là tổng độ chính xác và giá trị hàm mất mát. Đầu tiên, độ chính xác của tất cả mô hình đào tạo được thu thập ở từng epoch trong suốt quá trình đào tạo. Tiếp đến, việc lựa chọn các trọng số lý tưởng là cần thiết để giảm thiểu sự mất mát thông tin trong quá trình luyện mô hình. Trọng số, hình ảnh mẫu và kết quả đầu ra được dán nhãn đều ảnh hưởng tới hàm mất mát. Ngoài ra, các trọng số được tối ưu có thể giúp giảm lượng thông tin bị mất mát. Từ đó cải thiện độ chính xác của kết quả giải đoán bờ biển trong tương lai. Theo quy trình này, sau tất cả các bộ dữ liệu mẫu được đưa vào và so sánh với kết quả đầu ra trong từng bước. Giá trị mất mát trung bình được tính toán theo công thức sau:

$$J = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^n \mathcal{L}^{(x)} \quad (1)$$

Với  $n$  số lượng dữ liệu mẫu để đào tạo thu thập được, và  $L(x)$  là giá trị mất mát cho đào tạo một ảnh con trong suốt quá trình đào tạo.

### 2.6. Giải đoán và đánh giá biến động đường bờ mới

Tất cả các mô hình nhận dạng đường bờ trong và ngoài có thể sử dụng để giải đoán trên các ảnh mới. Để hiểu rõ hơn về sự thay đổi bờ biển ở miền Trung Việt Nam, nhóm tác giả đã sử dụng công cụ DSAS trong ArcGIS để so sánh sự thay đổi bờ biển tại 3 khu vực trọng điểm tại miền Trung Việt Nam. Sau khi tách đường bờ biển trong và ngoài trên ảnh đa thời gian ở GGE dựa trên mô hình học sâu tốt nhất, chúng sẽ chạy qua công cụ DSAS. Việc thu thập và tiền xử lý dữ liệu hình ảnh đầu vào từ cơ sở dữ liệu Google Earth Pro cho các mô hình được thực hiện như đã giải thích trong phần 3.1. Mô hình DL được đào tạo đã sử dụng các ảnh đầu vào mới và dùng các tham số để tạo nên một ma trận thể hiện vị trí khu vực bờ bãi giữa 2 đường bờ. Ngoài ra, mô hình sử dụng các ma trận không gian được đào tạo để chuyển đổi các ảnh mới của GGE thành các ma trận không gian thích hợp và tạo ra các bản đồ bờ biển cuối cùng. Từ đó, việc bổ sung thêm các dữ liệu để đào tạo hay các mẫu là điều không cần thiết sau khi mô hình cuối cùng được hoàn thành.

## 3. Kết quả nghiên cứu

### 3.1. Hiệu suất xử lý của mô hình học máy

Dựa trên 4 kiến trúc DL, 2 tùy chọn kích thước đầu vào gồm 256x256 và 512x512 đã được thay đổi để chọn ra kích thước phù hợp cho quá trình đào tạo mô hình. Tám mô hình DL đã được đào tạo. Các mô hình sử dụng kích thước đầu vào 512x512 có độ chính xác cao hơn và mức độ mất mát dữ liệu ít hơn khoảng 10% so với các mô hình sử dụng kích thước 256x256. Như vậy, dữ liệu ảnh đầu vào với kích thước 512x512 giúp các mạng học máy hiểu được sự khác biệt giữa đất liền, đại dương và không gian giữa chúng. Các mô hình U-Net, U-Net3+ và

DeXiNed cho thấy mức độ khả quan trong công tác bóc tách dữ liệu đường bờ. Sự khác biệt về độ chính xác giữa hai mô hình U-Net là không rõ ràng nhưng giá trị mất mát của mô hình này sử dụng kích thước 512x512 là thấp nhất trong tám mô hình được đào tạo. Việc sử dụng kích thước đầu vào 256x256 chỉ hiệu quả với cấu trúc U2-net (khoảng 92%). Trong khi độ chính xác của U2-Net sử dụng kích thước đầu vào 512x512 chỉ đạt khoảng 54%.

Năm trong số tám mô hình được đào tạo có độ chính xác cao hơn 90%. Trong đó hai trong năm mô hình dựa trên cấu trúc U-Net có kết quả độ chính xác cao hơn 98%. Các giá trị hàm mất mát của ba mô hình còn lại đều cao hơn 0,5. Việc tích hợp giữa cấu trúc U-Net3+ hoặc DeXiNed với việc sử dụng ảnh kích thước đầu vào là 256x256 đã làm cho giá trị của hàm mất mát tăng lên cao hơn 2,0. Trong khi đó, thông tin mất trong quá trình huấn luyện chỉ đạt 0,16 đến 0,39 khi sử dụng cấu trúc U-Net.

### 3.2. Mô hình học máy tốt nhất cho trong nhận diện đường bờ trong và ngoài

Bốn mô hình DL với độ chính xác cao hơn 92% đã được chọn để so sánh. Trong hơn 13 giờ, hai mô hình U-Net đã được đào tạo tới 500 epoch. Độ chính xác và giá trị mất mát đã hoàn toàn hội tụ. Trong khi đó, sau 50 epochs và 100.000 bước của mô hình 512x512, mạng U-Net3+ được hoàn thiện sau 30 giờ, độ chính xác và giá trị mất mát vẫn biến động và không rõ ràng. Những giá trị này giảm từ epoch thứ 45. Giá trị dao động này cũng được quan sát tại mô hình 512x512 DeXiNed. Độ chính xác thực và giá trị mất mát cho thấy mô hình bắt đầu overfitting ở giai đoạn đầu của quá trình, và bắt đầu hội tụ sau epoch thứ 40.

Theo như kết quả giải đoán vùng giữa đường bờ trong và ngoài, hai mô hình 512x512 U2-Net và 512x512 U-Net3+ bị nhầm lẫn với vùng cát ở khu vực đất liền, đặc biệt là trong kết quả của mô hình 512x512 U-Net3+. Ngoài ra, mô hình 512x512 U2-Net và 256x256 DeXiNed không thể tách biệt được khu vực có bọt biển với vùng cần xác định. Mặc dù khu vực giữa đường bờ trong và ngoài được giải đoán bằng hai mô hình



DeXiNed tốt hơn, nhưng khu vực này vẫn bị nhầm với một số khu vực đất trống phía trong đất liền. Hai mô hình U-Net đều giải đoán hiệu quả dải đất cả hai đường bờ này. Các mô hình có thể phân tách khu vực đụn cát tiền tiêu với khu vực có ít thực vật (muông biển) xuất hiện mờ trên ảnh. Kết quả từ mô hình 512x512 U-Net là ít lỗi hơn so với các mô hình khác. Vì vậy, mô hình 512x512 U-Net được chọn để dự đoán đường bờ trong ở 5 khu vực trọng điểm tại miền Trung Việt Nam, và được trình bày trong phần tiếp theo.

3.3. Ứng dụng mô hình đánh giá biến động đường bờ tại một số khu vực trọng điểm

Với việc áp dụng mô hình 512x512 U-Net, đường bờ tại 3 khu vực trọng điểm đã được bóc tách từ ảnh WorldView2 thu thập từ nguồn Google Earth. Do đường bờ ngoài thông thường chỉ được sử dụng trong giám sát thủy triều hoặc mực nước biển động trong ngày, đường bờ trong được tập trung nghiên cứu trong phần này nhằm làm rõ tính chất xói lở/bồi tụ của địa hình trong thực tế. Ba khu vực trọng điểm được lựa chọn gồm: i) Cửa sông Cu Đê (thành phố Đà Nẵng); ii) Bờ biển Lở (Thừa Thiên Huế); và iii) Cửa sông Lại Giang (Bình Định). Các khu vực này đều là những vùng làng chài lâu đời. Tuy nhiên, trong những năm gần đây thường phải đối mặt với các vấn đề như xói lở/bồi tụ bờ biển, thay đổi địa hình do tác động của thời tiết, biến đổi khí hậu và hoạt động con người. Việc đánh giá sự biến đổi tại đây có thể cung cấp thông tin cần thiết cho quản lý môi trường, để đưa ra các biện pháp phòng ngừa và quản lý rủi ro, cũng như hỗ trợ quyết định về việc bảo vệ và phục hồi môi trường cho các địa phương. Trong nghiên cứu này, thời gian thu thập dữ liệu ảnh tại các khu vực này phụ thuộc vào cơ sở dữ liệu được cập nhật trong phần mềm Google Earth Pro.

Dựa trên phân cấp mức độ xói lở bờ biển của Himmelstoss (2018), bờ biển ba khu vực trọng điểm được chia ra các đoạn khác nhau theo các mức bồi tụ (>0,5 m/năm), ổn định (từ xói 0,5 m/năm đến bồi 0,5 m/năm), và các mức xói (0,5-1,5; 1,5-3,0 và >3,0 m/năm). Tuy nhiên, do đặc trưng khu vực nghiên cứu và với việc sử dụng ảnh độ phân giải cao, khiến độ chi tiết kết

quả tăng cao, các khu vực trọng điểm có mức độ xói lở tập trung khá cao ở mức từ 0 đến 0.2m/năm nên tác giả đã bổ sung thêm một cấp độ xói lở yếu nhất trong khoảng này.

3.3.1. Đánh giá biến động đường bờ khu vực cửa sông Cu Đê, thành phố Đà Nẵng



No	Màu sắc	Khoảng biến động (m/năm)	Mức độ biến động	Số liệu	
				Độ dài (km)	Phần trăm (%)
1		> 0,5	Bồi tụ	1,73	25,2
2		(-0,2)-0,5	Tương đối ổn định	0,65	9,5
3		(-0,2)-(-1,5)	Xói lở yếu	1,12	16,4
4		(-1,5)-(-3,0)	Xói lở trung bình	0,34	5,0
5		(-3,0)-(-5,0)	Xói lở mạnh	0,12	1,8
6		(-5,0)-(-10,0)	Xói lở rất mạnh	0,20	2,9
7		< -10,0	Xói lở siêu mạnh	0,30	4,3
Tổng				4,47	100

Hình 4. Bản đồ phân cấp mức độ biến động đường bờ trong vùng cửa sông Cu Đê giai đoạn 2010 - 2021.

Để đánh giá chính xác quá trình biến động bờ biển tại khu vực cửa sông Cu Đê, nghiên cứu đã xác định 12 thể hệ đường bờ từ năm 2010 đến

2021 (Hình 4). Qua so sánh với thực tế và thống kê thiệt hại tại biển tại khu vực nghiên cứu, nghiên cứu đã sử dụng phương pháp tính toán hồi quy tuyến tính có trọng số (WLR) trong công cụ DSAS để tính toán thay đổi đường bờ trong qua thời gian.

Kết quả tính toán cho thấy khu vực biến động mạnh nhất được quan sát tại khu vực bờ biển phía Nam và trên thực tế khi đi khảo sát người dân đã cho biết rằng: “khu vực này khi mùa mưa bão đến thì có thể ngập đến vách xói phía bên trong của bờ”. Hiện tượng xói tại khu vực này nhiều hơn bồi, dòng vật chất thường được dòng dọc bờ di chuyển đi lên phía Bắc bồi tụ cho khu vực doi cát.

Xu hướng xói lở cũng xảy ra tại khu vực phía trong hai bên rai cát và khu vực phía Nam chân đèo Hải Vân. Tại khu vực phía trong doi cát cho thấy biến động không quá mạnh với xu thế xói là chủ yếu. Quá trình xói tại đây diễn ra thường xuyên do có doi cát chặn lại dòng chảy. Còn tại khu vực phía Nam chân đèo Hải Vân, khu vực này đã xây dựng kè năm 2018, nhưng thời gian trước đó tại đây đã xảy ra hiện tượng xói lở gây thu hẹp diện tích bãi biển cùng với đó diện tích rừng phi lao.

Vào năm 2012, khoảng cách từ đường dân sinh đến đường bờ trong được đo là vào 93 m nhưng cho đến năm 2018 thì khoảng cách đo được lại chỉ còn 75 m. Điều đó cho thấy bờ biển tại khu vực này có xu hướng biển ăn sâu vào trong đất liền gây mất đất và xói. Chính vì quá trình xói diễn ra nhanh vào năm 2018, địa phương đã cho xây dựng bờ kè chắn cao khoảng 3 m và để thêm rất nhiều các khối đá tại khu vực chân bờ kè, làm giảm bớt năng lượng sóng đánh vào chân đường bờ. Tại thời điểm thực địa 2022, bờ kè đã được xây dựng hoàn tất và hiện tượng xói tại khu vực này đã không còn. Tuy nhiên khu vực thường xuyên chịu tác động của sóng cùng với các cơn bão đổ bộ vào Đà Nẵng. Công tác xây kè chắn có thể ngăn chặn được các đợt sóng đánh vào bờ nhưng cũng có thể dẫn đến quá trình sóng khoét sâu phía dưới đáy. Do đó, chính quyền và người dân cần sớm nghĩ đến phương án giải quyết thỏa đáng.

Xu hướng bồi tụ trong khu vực nghiên cứu chủ yếu nằm ở phía hai rai cát cửa sông Cu Đê với lượng bồi tụ lớn. Số liệu tính toán cho thấy hai bên rai cát đều có xu hướng bồi tụ rõ rệt. Rai cát phía Bắc có xu thế bồi tụ mạnh hơn so với phía Nam. Hai doi cát cửa sông Cu Đê được hình thành từ dòng dọc bờ đưa vật liệu khu vực hai phía cửa sông, hòa với vật liệu mà sông đưa ra. Trên thực tế, tình trạng cát bồi lấp cửa sông Cu Đê xảy ra theo mùa. Mùa khô, cửa sông bị lấp đầy dữ dội, gần như lấp hẳn cửa sông với hàng trăm nghìn mét khối cát. Mùa mưa, do lượng nước sông Cu Đê chảy ra mạnh nên tình trạng bồi lấp cũng giảm. Đặc biệt vào mùa khô, doi cát hai bên gặp nhau, cửa sông bị cát biển bồi lấp tạo thành một cồn cát khổng lồ chặn lại tại cửa sông. Điều này đã gây nên trở ngại cho người dân làm nghề đánh bắt hải sản quanh khu vực này. Khi cửa sông bị đóng kín đồng nghĩa với việc người dân không thể mang thuyền ra khơi đánh bắt.

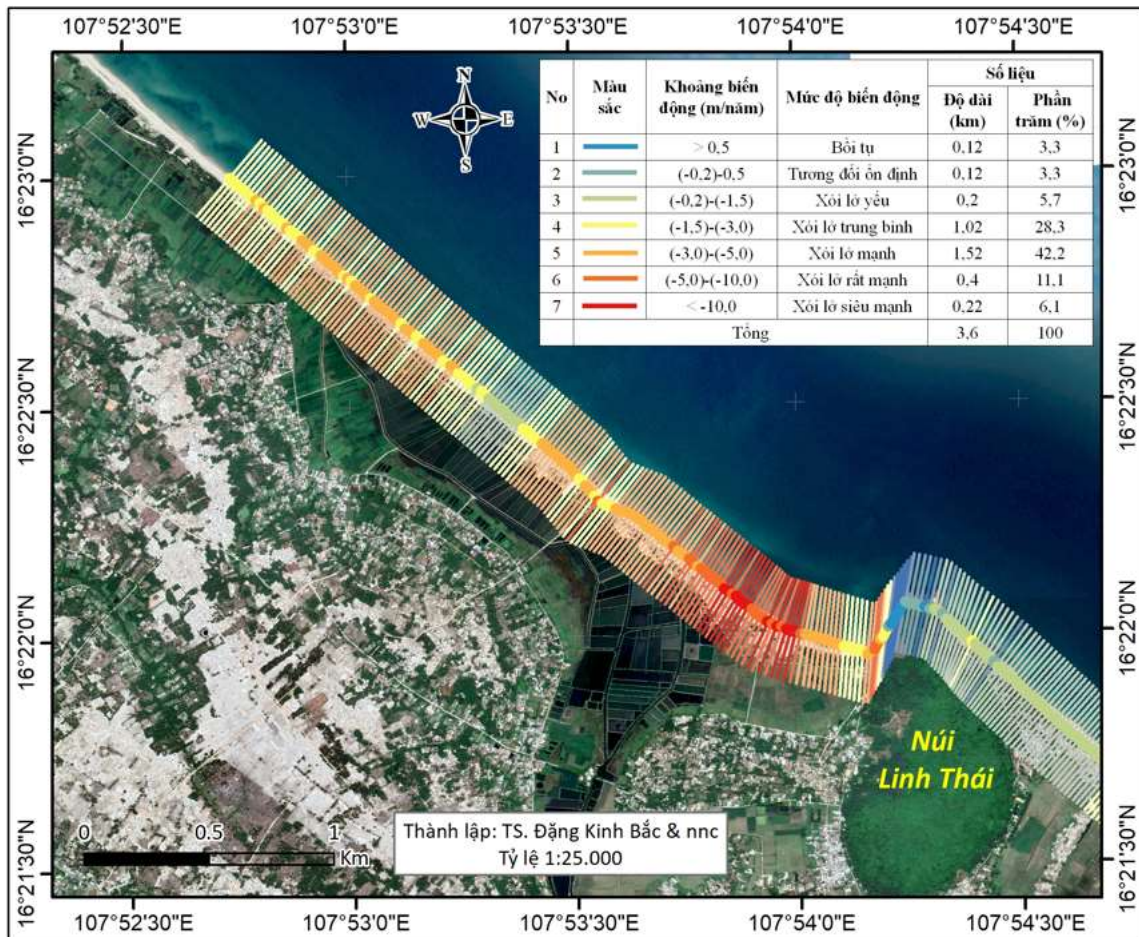
Dựa trên kết quả tính toán biến động đường bờ theo phương pháp WLR và LRR, khu vực bờ biển Lở đều có xu thế biến động xói lở mạnh. Kết quả phân mức biến động của khu vực bờ biển Lở được biểu diễn ở Hình 5. Khi xét phương pháp WLR, bờ biển Vinh Hải có khoảng xói dao động từ -0,3 m/năm đến -12,48 m/năm, đặc biệt lớn nhất trong khoảng -3 m/năm đến -5 m/năm. Xét phương pháp LRR, bờ biển này có khoảng dao động từ 3,4 m/năm đến -7,0 m/năm và chủ yếu là xói từ -2 m/năm đến -3,5 m/năm, đây là mức xói lở vừa phải. Trong khi đó, khu vực bãi đá Linh Thái với cả hai phương pháp tính toán đều cho thấy khoảng dao động từ 0,6 m/năm đến -0,5 m/năm thuộc vào mức biến động tương đối ổn định là hợp lý.

Đường bờ trong khu vực bờ biển Lở có mức biến động trung bình dao động từ -3 m/năm đến -5 m/năm. Hiện tượng biến động xói lở chiếm ưu thế. Cụ thể là biển Vinh Hải có xu thế xói lở mạnh chiếm 42,2% trong mức biến động của toàn khu vực (76/180 lát cắt), đây là mức biến động chiếm nhiều nhất tại khu vực bờ biển Lở. Tiếp theo là mức xói lở vừa phải với 51/180 lát cắt, chiếm 28,3%. Mức biến động ổn định và bồi tụ tập trung quanh khu vực Bãi đá Linh Thái,

chiếm 6,7% trong mức độ biến động của khu vực bờ biển Lở.

Trên thực tế, khu vực biển Vinh Hải là nơi mà có hiện tượng xói lở mạnh, có thể xói đến -4 m/năm và hiện tượng bồi là ít xuất hiện. Do đó kết quả tính toán theo phương pháp tính toán LRR với việc xuất hiện khu vực bồi tụ lớn là không hợp lý. Thực tế đã cho thấy một số đoạn bờ biển tại bờ biển Vinh Hải bị san phẳng nên sóng biển tràn qua tuyến tỉnh lộ 21, đe dọa vườn trồng hoa màu và ao hồ nuôi trồng thủy sản của người dân. Nhiều điểm xói lở đã ăn sâu vào khu dân cư, uy hiếp nhà cửa của các hộ dân. Trong những năm gần đây, bờ biển Vinh Hải bị xuống cấp, nhất là vào mùa mưa bão. Đất sản xuất cách bờ 100 m, nước tràn vào khu dân cư lân cận.

Hiện nay, hiện trạng xói lở cũng xảy ra tại khu vực bãi biển Vinh Hải khi khu vực này kiên tục bị xói lở dài hơn 4 km, sâu vào 7-10 m. Hằng năm đến mùa mưa bão thì bờ biển Vinh Hải lại bị sóng đánh dữ dội làm mất đi rất nhiều diện tích đất. Những năm gần đây, xói lở ngày càng nghiêm trọng được ghi nhận bởi Tổng cục Phòng chống thiên tai vào năm 2016 do ảnh hưởng của bão, triều cường và sóng to đã làm xói lở nghiêm trọng và khiến rất nhiều người dân mất nhà cửa. Năm 2017, bờ biển xói lở vào khu dân cư và tạo thành cửa biển rộng 50 m. Sau đó, Ủy ban nhân dân huyện Phú Lộc đã chi hơn 2,5 tỷ đồng làm kè mềm dài hơn 300 m chống xói lở bờ biển nhưng bị sóng đánh gãy, lộ nửa thân đập.



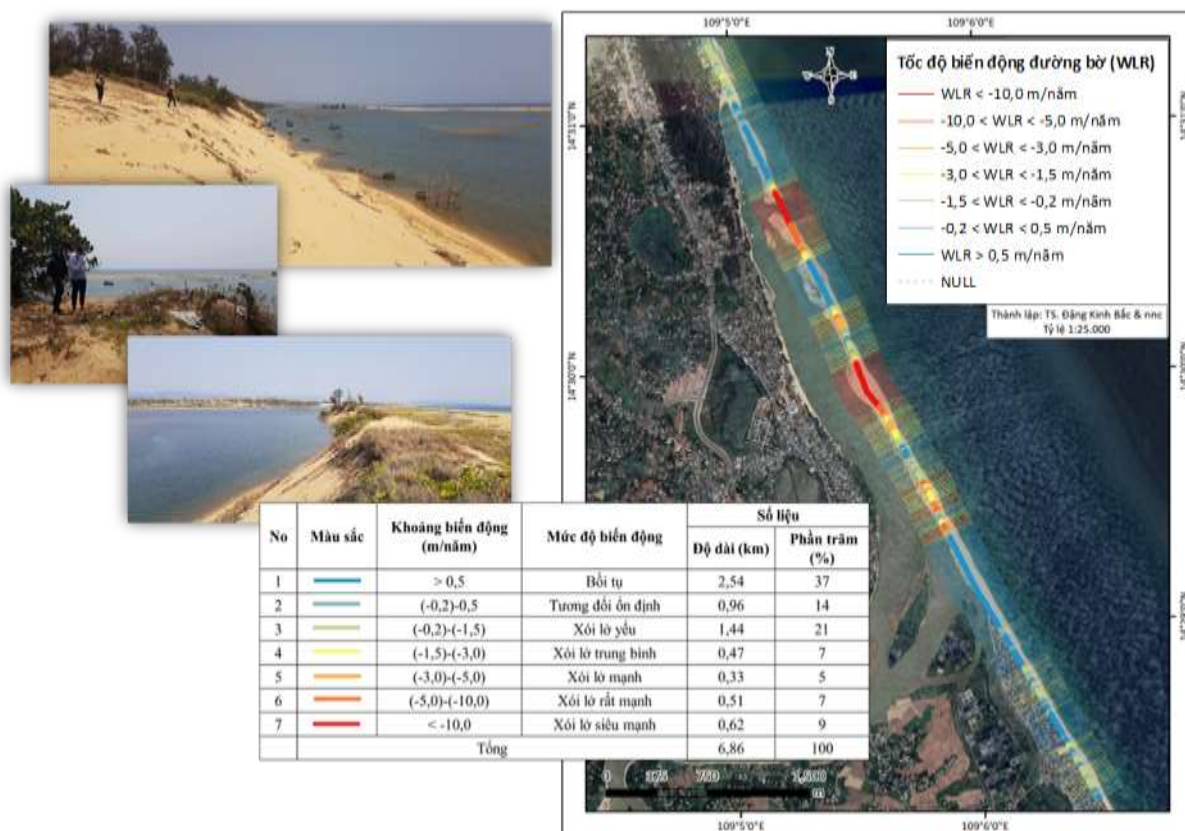
Hình 5. Bản đồ phân cấp mức độ biến động đường bờ trong khu vực biển Lở, Thừa Thiên Huế giai đoạn 2010 - 2021.3.2. Đánh giá biến động đường bờ khu vực bờ biển Lở, Thừa Thiên Huế.

### 3.3.3. Đánh giá biến động đường bờ khu vực cửa sông Lại Giang, tỉnh Bình Định

Nghiên cứu xác định khu vực Lại Giang gồm 2 kiểu đường bờ là bờ cát và bờ cửa sông. Chỉ thị xác định đường bờ trong thuộc kiểu bờ cát và bờ cửa sông là các vách dốc hoặc thảm thực vật hướng về phía biển.

Nghiên cứu đã thiết lập 342 lát cắt vuông góc với đường cơ sở và các đường bờ dọc khu vực bờ biển cửa sông Lại Giang, với khoảng cách giữa các đường là 20 m. Phương pháp tính toán

được sử dụng phù hợp trong đánh giá biến động trong nghiên cứu là phương pháp tính toán LRR do phương pháp này có sự biến động giống với thực tế đã ghi nhận và độ sai số không quá lớn. Theo kết quả tính toán trong 12 năm (từ 2010 đến 2022) phạm vi biến động đường bờ (giữa đường xa nhất và gần nhất - SCE) đạt giá cực đại là 18,3 m, chỗ biến động nhỏ nhất là 5,8 m và giá trị trung bình là 48 m. Kết quả phân cấp mức độ biến động của đường bờ trong được thể hiện tại Hình 6.



Hình 6. Bản đồ phân cấp mức độ biến động đường bờ trong vùng cửa sông Lại Giang, tỉnh Bình Định giai đoạn 2010 – 2021.

Xu thế xói lở chiếm chủ đạo có thể thấy là tại cửa biển An Dũ. Đây là khu vực cồn cát được hình thành do lượng bùn cát từ sông đưa ra và dễ biến động theo mùa. Tốc độ xói tại đây có thể dao động từ -5 m đến -10 m. Mặt khác, 2 bên phía cồn cát nối với đất liền lại có lượng bồi tụ lớn từ 2 đến 5,4 m/năm, vì đây là khu vực lạng

sóng và dòng chảy yếu. Tại khu vực 2 bờ cát của cửa sông không biến động lớn, chủ yếu là xu hướng bồi tụ, với lượng bồi dao động từ 0,5 đến 3 m/năm, trung bình là 1 m/năm.

Trên thực tế, sông Lại Giang trong quá khứ là sông lớn đổ vào đầm Đan Gai trước khi đổ ra Biển Đông qua cửa An Dũ. Tuy nhiên, trải qua

nhieu thập kỷ, cửa sông này đã bị bồi lấp thường xuyên. Cửa biển này trước đây luôn nhộn nhịp tàu thuyền qua lại, nay hoàn toàn không có giao thông đường biển. Hiện tượng bồi lấp cửa sông đã diễn ra trong một thời gian khá dài ở cửa sông An Dũ.

#### 4. Thảo luận

##### 4.1. Ứng dụng mô hình đánh giá biến động đường bờ tại một số khu vực trọng điểm

Nghiên cứu này đã xây dựng 16 chỉ thị phục vụ công tác nhận dạng đường bờ trong và ngoài ngoài thực địa và trên ảnh vệ tinh độ phân giải cao. Các nghiên cứu trước về đường bờ trong và ngoài hầu hết đều chỉ dừng lại ở việc tách vùng đất liền và mặt nước thông qua ảnh có độ phân giải trung bình. Độ phân giải thường được dùng là 30 m của ảnh Landsat. Mặc dù ảnh Sentinel được sử dụng nhiều trong lĩnh vực nghiên cứu phân loại lớp phủ/sử dụng đất, nhưng cũng không được dùng trong phân tích đường bờ biển. Tuy nhiên, độ chính xác tối đa khi phân tách đường bờ trong và ngoài với các đối tượng khác dọc bờ biển bằng ảnh Sentinel chỉ là 10 m. Kết quả đo đạc thực địa cho thấy khoảng cách giữa hai đường bờ phần lớn là từ 5 đến 20 m. Khoảng cách này không thể xác định được bằng ảnh viễn thám có độ phân giải tầm trung, kể cả trên ảnh Sentinel 2. Người dân sống ven biển cho biết, chỉ những khu dân cư xây dựng sát bờ biển, không có hàng cây phi lao chắn sóng bão mới có thể bị ảnh hưởng bởi nước biển dâng khi mưa bão. Trong khi hầu hết người dân sống sau rặng phi lao từ 50-200 m từ bao đời nay không bị ảnh hưởng nhiều bởi xói lở bờ biển. Vì vậy, việc đánh giá sự thay đổi đường bờ trong và ngoài trên ảnh Landsat hay Sentinel là không thực tế đặc biệt khi mực nước biển dâng trong bão, dẫn đến xói lở bờ biển. Việc sử dụng hình ảnh có độ phân giải cao từ dữ liệu hình ảnh nguồn GGE có độ chính xác khoảng 0,7 m có thể là một nguồn tiềm năng cho các nghiên cứu tiếp theo trong việc phân tách đường bờ trong và ngoài với thời gian thực.

Đường bờ biển trong và ngoài ở khu vực bờ đá khó xác định nhất trên ảnh. Mặc dù ba chỉ thị đường bờ đá trong Hình 2 đều phù hợp với sự phân cắt đường bờ, nhưng đáy vách đá là điểm chuyển tiếp giữa mực nước biển tức thời và vùng đất liền, nơi xuất hiện phân đá đổ (điểm B và C trong Hình 2). Mặc dù khó xác định đường bờ ngoài trên ảnh nhưng việc đánh giá sự thay đổi khu vực bờ đá trở nên đơn giản và chính xác do đường bờ ngoài ở khu vực bờ đá ổn định. Do ảnh hưởng của các cơn bão lớn, sự sụp đổ của vách đá chỉ có thể được quan sát thấy sau thời gian quan sát dài. Để tách vách đá ra khỏi nước biển, dữ liệu DEM được thêm vào để tăng độ chính xác các mẫu đầu vào.

Những thay đổi đối với đường bờ trong và ngoài đều ảnh hưởng tới công tác quản lý, quy hoạch và phát triển đới bờ. Quá trình xói lở được quan sát dựa vào bờ ngoài làm mất diện tích bãi biển, một tài nguyên quý giá để phát triển du lịch. Trong khi đó, quá trình xói lở ở khu vực bờ trong dẫn đến mất đất ổn định lâu dài. Nó có thể ảnh hưởng nghiêm trọng đến đời sống người dân, cũng như công tác quản lý đất đai ở các tỉnh ven biển. Do đó, sử dụng đường bờ trong xác định xói lở hoặc sự biến động của bờ biển có thể phản ánh tác động của mực nước biển dâng trong các cơn bão, sẽ thiết thực hơn cho các công trình bảo vệ lâu dài. Đường bờ ngoài, là điểm chuyển tiếp giữa đất liền và biển, hiện đang được nhiều công trình khoa học sử dụng để đánh giá sự thay đổi bờ biển. Tuy nhiên, sự thay đổi đường bờ ngoài diễn ra nhanh chóng với mực thủy triều trong ngày và theo mùa trong năm. Tại nhiều khu vực ở miền trung Việt Nam, các phép đo khác nhau dựa trên ảnh viễn thám có độ phân giải tầm trung đã cảnh báo những thay đổi đáng kể ở bờ biển, đặc biệt ở các bãi biển. Tuy nhiên, theo các cuộc phỏng vấn với người dân địa phương, không có thay đổi đáng kể trong một vài thập kỷ qua, ngoại trừ những thay đổi ven biển do mở rộng đô thị. Do đó, sẽ không chính xác nếu các nghiên cứu khác lấy đường bờ ngoài vào một thời điểm cụ thể để đánh giá quá trình xói lở. Trong khi đó, việc sử dụng đường bờ trong ở khu vực xói lở không phụ thuộc vào thủy triều hay thời gian thu

nhận ảnh vệ tinh. Kết quả giải đoán đường bờ trong có thể hữu ích cho công việc quản lý và quy hoạch vùng ven biển hơn là sử dụng đường bờ ngoài.

#### 4.2. Đánh giá chất lượng các mô hình học máy trong phân loại đường bờ trong và ngoài

Bốn cấu trúc mạng được đề xuất trong nghiên cứu này đã sử dụng hai cách tiếp cận khác nhau để xác định đường bờ trong và ngoài. Kết quả từ ba mạng có cấu trúc dạng chữ U có thể nhận dạng hiệu quả các đường bờ. Các đường bờ gần đất liền được định nghĩa là đường bờ trong, trong khi các đường gần khu vực nước biển được định nghĩa là đường bờ ngoài. Các đặc trưng riêng biệt của chúng giúp bóc tách đường bờ trong và ngoài một cách chính xác và nhanh chóng, hỗ trợ cho việc đánh giá biến động bờ biển. Trong khi đó, mạng DeXiNed khác với ba mạng hình chữ U còn lại. Mô hình mạng DeXiNed được thiết lập để trích xuất các cạnh ngoài của đường bờ biển trong và ngoài thành các đường đẳng trị khác nhau. Với mạng này, đường bờ trong và ngoài được trích xuất riêng biệt, thay vì kết hợp không gian giữa chúng thành một khu vực như ba loại mô hình kia. Dọc bờ biển có nhiều đối tượng gây nhiễu do sự phân bố mờ của hệ sinh thái cây muống biển, mô hình DexiNed xác định các đường bờ biển trong và ngoài thành các đường riêng biệt khác nhau thay vì thành một đường thẳng. Do đó, rất khó chuyển đổi chính xác các đa giác kết quả thành đường bờ trong hoặc ngoài. Khu vực giữa đường bờ trong và ngoài bị ẩn hoặc hợp nhất vào các đối tượng khác xung quanh. Ngoài ra kết quả từ mô hình DeXiNed không giải đoán được đường bờ trong và ngoài ở khu vực đụn cát. Sự giống nhau về màu sắc và cấu trúc làm cho ranh giới đường bờ bị xen lẫn với đụn cát hoặc những gợn sóng.

Với mô hình U2-Net, mô hình này chỉ tạo ra các mạng nâng cấp nhỏ trên cơ sở mạng U-net cơ bản. Nó mã hóa kích thước ảnh và thông tin quá nhỏ trong mỗi lớp, tạo ra tắc nghẽn và thất thoát thông tin trong quá trình giải mã của từng khối giá trị. Mỗi khối sẽ trả về nhiều giá trị mất mát trong khi trọng số như nhau. Dữ liệu đầu ra

của từng khối rất chi tiết, khiến cho sự khác biệt giữa dữ liệu chính và dữ liệu phụ bị mờ đi. Điều này dẫn đến mất thông tin tổng thể trong quá trình giải mã. Do đó việc sử dụng mạng U2-net hay U-Net3+ mặc dù có thể phân tích cơ sở dữ liệu ở mức sâu nhưng việc áp dụng chúng để nhận dạng đường bờ là không hợp lý. Các mô hình này nên được áp dụng cho các đối tượng riêng biệt có độ phân giải cao hơn (trên 1024x1024) hoặc ảnh đa phổ có độ sâu cao hơn. Ngoài ra, việc sử dụng những mô hình này đòi hỏi một hệ thống xử lý máy tính có cấu hình cao.

## 5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, 16 chỉ thị được đề xuất và sử dụng trong việc xác định bờ biển trong và ngoài tại Việt Nam. Dựa trên các chỉ thị này, máy tính có thể học chính xác các đặc trưng của đường bờ trong và ngoài trên ảnh vệ tinh có độ phân giải cao. Đối với các loại bờ biển khác nhau, chẳng hạn như bờ biển cát, máy tính đã học các chỉ thị được chọn để phân biệt ranh giới giữa đường bờ trong và ngoài với các đối tượng khác xung quanh trên đất liền và trên biển thông qua các trọng số đã được huấn luyện và tích hợp trong mô hình học máy. So với các mô hình U-net3+, U2Net và DeXiNed, các mô hình U-net cơ bản có hiệu suất cao hơn trong việc giải đoán chính xác cả hai loại đường bờ, đặc biệt với dữ liệu đầu vào có kích thước 512x512. Độ chính xác của mô hình này đạt giá trị cao nhất là 98%. Các mô hình học sâu khác, mặc dù chúng có thể xử lý thông tin không gian và thuộc tính ở cấp độ sâu hơn, nhưng không phù hợp để phát hiện đường bờ trong và ngoài. Trên cơ sở sử dụng mô hình U-Net để nhận dạng đường bờ, phục vụ đánh giá biến động bờ biển Trung Bộ, đường bờ trong phù hợp trong đánh giá xói lở bờ biển do tác động của mực nước biển dâng trong bão. Trong khi đường bờ ngoài phù hợp để đánh giá dao động thủy triều hoặc chuyển động tức thời của sóng/dòng chảy trong năm. Mô hình U-Net đã áp dụng thành công cho 5 khu vực trọng điểm và tính toán được tốc độ xói lở/bồi tụ tại 5 khu vực này.

### Tài liệu tham khảo

- [1] H. Takagi, N. D. Thao, M. Esteban, T. Mikami, L. V. Cong, V. T. Ca, Coastal Disasters in Vietnam, Elsevier Inc, 2015, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801060-0.00012-5>.
- [2] N. Ahmed, N. Howlader, M. A. A. Hoque, B. Pradhan, Coastal Erosion Vulnerability Assessment Along the Eastern Coast of Bangladesh Using Geospatial Techniques, *Ocean and Coastal Management*, Vol. 199, 2021, pp. 105408, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105408>.
- [3] M. E. Hanley, S. P. G. G. Hoggart, D. J. Simmonds, A. Bichot, M. A. Colangelo, F. Bozzeda, H. Heurtefeux, B. Ondiviola, R. Ostrowski, M. Recio, R. Trude, E. Z. Kahlau, R. C. Thompson, Shifting Sands? Coastal Protection by Sand Banks, Beaches and Dunes, *Coastal Engineering*, Vol. 87, 2014, pp. 136-146, <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.10.020>.
- [4] G. Scardino, F. Sabatier, G. Scicchitano, A. Piscitelli, M. Milella, A. Vecchio, M. Anzidei, G. Mastronuzzi, Sea-Level Rise and Shoreline Changes Along An Open Sandy Coast: Case Study of Gulf of Taranto, Italy, *Water (Switzerland)*, Vol. 12, 2020, pp. 13-20, <https://doi.org/10.3390/w12051414>.
- [5] Z. T. Zhu, F. Cai, S. L. Chen, D. Q. Gu, A. P. Feng, C. Cao, H. S. Qi, G. Lei, Coastal Vulnerability to Erosion Using A Multi-Criteria Index: A Case Study of the Xiamen Coast, *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 11, 2018, <https://doi.org/10.3390/su11010093>.
- [6] M. Sandò, J. A. Jiménez, R. Medina, A. Stanica, A. S. Arcilla, I. Trumbic, The Role of Coastal Setbacks in The Context of Coastal Erosion and Climate Change, *Ocean and Coastal Management*, Vol. 54, 2011, pp. 943-950, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.06.008>.
- [7] J. G. Titus, C. Richman, Maps of Lands Vulnerble to Sea Level Rise: Modeled Elevations Along the US Atlantic and Gulf Coasts, *Climate Research*, Vol. 18, 2001, pp. 205-228, <https://doi.org/10.3354/cr018205>.
- [8] C. Liqueste, G. Zulian, I. Delgado, A. Stips, J. Maes, Assessment of Coastal Protection As An Ecosystem Service in Europe, *Ecological Indicators*, Vol. 30, 2013, pp. 205-217, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.02.013>.
- [9] N. M. Hai, S. Ouillon, V. D. Vinh, Sea-level Rise in Hai Phong Coastal Area (Vietnam) and its Response To Enso - evidence from Tide Gauge Measurement of 1960-2020, *Vietnam Journal of Earth Science*, Vol. 44, 2022, pp. 109-126, <https://doi.org/10.15625/2615-9783/16961>.
- [10] X. X. Zhu, D. Tuia, L. Mou, G. S. Xia, L. Zhang, F. Xu, F. Fraundorfer, Deep Learning in Remote Sensing: A Review, 2017, <https://doi.org/10.1109/MGRS.2017.2762307>.
- [11] V. V. Tac, Variability of Sea Surface Chlorophyll\_A Concentration in the South Vietnam Coastal Waters Related to Enso Phenomenon, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, Vol. 42, 2020, pp. 67-74, <https://doi.org/10.15625/0866-7187/42/1/14759>.
- [12] E. H. Boak, I. L. Turner, Shoreline Definition and Detection: A Review, *Journal of Coastal Research*, Vol. 214, 2005, pp. 688-703, <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>.
- [13] S. O'Carroll, Coastal Erosion and Shoreline Classification in Stratford, Prince Edward Island, 2010, pp. 96.
- [14] V. L. Ngo, V. B. Dang, K. B. Dang, C. C. Ngo, T. P. N. Pham, B. Benjamin, T. K. C. Giap, 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*, Vol. 42, 2020, pp. 363-383, <https://doi.org/10.15625/0866-7187/42/4/15410>.
- [15] M. E. B. V. Puijtenbroek, C. Nolet, A. V. D. Groot, J. M. Suomalainen, M. J. P. M. Riksen, F. Berendse, J. Limpens, Exploring the Contributions of Vegetation and Dune Size to Early Dune Development Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imaging, *Biogeosciences*, Vol. 14, 2017, pp. 5533-5549, <https://doi.org/10.5194/bg-14-5533-2017>.
- [16] M. Dai, X. Leng, B. Xiong, K. Ji, Sea-land Segmentation Method for SAR Images Based on Improved BiSeNet, *Journal of Radars*, Vol. 9, 2020, pp. 886-897, <https://doi.org/10.12000/JR20089>.
- [17] R. Gens, Remote Sensing of Coastlines: Detection, Extraction and Monitoring, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 31, 2010, pp. 1819-1836.
- [18] L. Kumar, M. S. Afzal, M. M. Afzal, Mapping Shoreline Change Using Machine Learning: A Case Study from the Eastern Indian Coast, *Acta Geophysica*, Vol. 68, 2020, pp. 1127-1143, <https://doi.org/10.1007/s11600-020-00454-9>.
- [19] S. Toure, O. Diop, K. Kpalma, A. S. Maiga, Shoreline Detection Using Optical Remote Sensing: A review, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 8, 2019, <https://doi.org/10.3390/ijgi8020075>.
- [20] J. G. Titus, C. Richman, Maps of Lands Vulnerble to Sea Level Rise: Modeled Elevations Along the US Atlantic and Gulf Coasts, *Climate Research*,

- Vol. 18, 2001, pp. 205-228,  
<https://doi.org/10.3354/cr018205>.
- [21] E. Armenio, F. D. Serio, M. Mossa, A. F. Petrillo, Coastline Evolution Based on Statistical Analysis and Modelling, *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2018, pp. 1-28,  
<https://doi.org/10.5194/nhess-2018-239>.
- [22] P. Marchesiello, N. M. Nguyen, N. Gratiot, H. Loisel, E. J. Anthony, C. S. Dinh, T. Nguyen, R. Almar, E. Kestenare, Erosion of the Coastal Mekong Delta: Assessing Natural Against Man Induced Processes, *Continental Shelf Research*, Vol. 181, 2019, pp. 72-89,  
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.05.004>.
- [23] H. M. Phan, Q. Ye, A. J. H. M. Reniers, M. J. F. Stive, Tidal Wave Propagation Along the Mekong Deltaic Coast, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 220, 2019, pp. 73-98,  
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.01.026>.
- [24] L. Harris, R. Nel, S. Holness, K. Sink, D. Schoeman, Setting Conservation Targets for Sandy Beach Ecosystems, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 150, 2014, pp. 45-57,  
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.05.016>.
- [25] L. Rayne, M. C. Gatto, L. Abdulaati, M. A. Haddad, M. Sterry, N. Sheldrick, D. Mattingly, Detecting Change At Archaeological Sites in North Africa Using Open-source Satellite Imagery, *Remote Sensing*, Vol. 12, 2020, pp. 1-29,  
<https://doi.org/10.3390/rs12223694>.
- [26] X. Y. Tong, G. S. Xia, Q. Lu, H. Shen, S. Li, S. You, L. Zhang, Land-cover Classification with High-Resolution Remote Sensing Images Using Transferable Deep Models, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 237, 2020, pp. 111322,  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111322>.
- [27] Q. Hu, W. Wu, T. Xia, Q. Yu, P. Yang, Z. Li, Q. Song, Exploring the use of Google Earth Imagery and Object-Based Methods in Land Use/Cover Mapping, *Remote Sensing*, Vol. 5, 2013, pp. 6026-6042,  
<https://doi.org/10.3390/rs5116026>.
- [28] F. Müller, S. Bicking, K. Ahrendt, K. B. Dang, I. Blindow, C. Fürst, P. Haase, M. Kruse, T. Kruse, L. Ma, M. Perennes, I. Ruljevic, G. Schernewski, C. Schimming, A. Schneiders, H. Schubert, U. Tappeiner, P. Wangai, W. Windhorst, J. Zeleny, Assessing Ecosystem Service Potentials to Evaluate Terrestrial, Coastal and Marine Ecosystem Types in Northern Germany – An expert-based Matrix Approach, *Ecological Indicators*, Vol. 112, 2020.
- [29] T. T. Nguyen, T. D. Pham, C. T. Nguyen, J. Delfos, R. Archibald, K. B. Dang, N. B. Hoang, W. Guo, H. H. Ngo, A Novel Intelligence Approach Based Active and Ensemble Learning for Agricultural Soil Organic Carbon Prediction Using Multispectral and SAR Data Fusion, *Science of the Total Environment*, Vol. 804, 2022, pp. 150187,  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150187>.
- [30] K. B. Dang, V. B. Dang, V. L. Ngo, K. C. Vu, H. Nguyen, D. A. Nguyen, T. D. L. Nguyen, T. P. N. Pham, T. L. Giang, H. D. Nguyen, T. H. Do, Application of Deep Learning Models to Detect Coastlines and Shorelines, *Journal of Environmental Management*, Vol. 320, 2022, pp. 115732,  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115732>.
- [31] E. A. Himmelstoss, R. E. Hederson, K. M. G. A. S. Farris, Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide: U.S. Geological Survey Open-File Report, 2018.