

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

Giang Tuấn Linh

**ỨNG DỤNG VIỄN THÁM VÀ HỌC MÁY
TRONG NGHIÊN CỨU BIẾN ĐỘNG ĐƯỜNG BỜ BIỂN
MỘT SỐ KHU VỰC Ở THÀNH PHỐ HÀ NỘI**

Chuyên ngành: Bản đồ, Viễn thám và Hệ thông tin địa lý
Mã số: 9440214

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ ĐỊA LÝ

Hà Nội - 2026

Công trình được hoàn thành tại: Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQGHN

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Bùi Quang Thành

Phản biện 1: PGS.TS. Phạm Minh Hải

Cục Viễn thám Quốc gia – Bộ NN &MT

Phản biện 2: PGS.TS. Trần Đình Trọng

Trường Đại học Xây dựng, Hà Nội

Phản biện 3: PGS.TS. Phan Thị Thanh Hằng

Viện Các khoa học Trái đất - Viện HLKH&CNVN

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng cấp Đại học Quốc gia chấm luận
án tiến sĩ họp tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQGHN
vào hồi giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam

- Trung tâm Thư viện và Tri thức số, Đại học Quốc gia Hà Nội

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết vấn đề

Đường bờ biển luôn biến đổi do tác động tự nhiên và con người, gây ra những hệ quả nghiêm trọng về kinh tế - xã hội. Việc nghiên cứu đường bờ trong thay vì đường bờ ngoài giúp phản ánh chính xác xu thế biến động dài hạn, hỗ trợ quản lý vùng bờ bền vững. Tại Việt Nam, đặc biệt là Đà Nẵng – nơi chịu áp lực lớn từ thiên tai và đô thị hóa – nhu cầu giám sát định lượng trở nên cấp thiết. Bằng cách ứng dụng viễn thám độ phân giải cao kết hợp học máy mạng nơ ron, luận án cung cấp công cụ hiện đại để nhận diện hình thái bờ biển chi tiết, phục vụ chiến lược phát triển kinh tế biển xanh và thích ứng biến đổi khí hậu.

2. Mục tiêu nghiên cứu

- Xây dựng được bộ chỉ thị xác định đường bờ trên cơ sở ảnh vệ tinh độ phân giải cao và kiểm chứng ngoài thực địa, phù hợp với điều kiện bờ biển thành phố Đà Nẵng; - Lựa chọn và phát triển mô hình học máy trong giám sát biến động đường bờ từ ảnh viễn thám độ phân giải cao, áp dụng thử nghiệm tại một số khu vực trọng điểm tại thành phố Đà Nẵng; - Đề xuất quy trình ứng dụng mô hình U-Net trong nhận dạng và đánh giá biến động đường bờ biển phục vụ quản lý vùng bờ.

3. Phạm vi nghiên cứu

Luận án nghiên cứu vùng bờ biển Đà Nẵng (từ mũi Hải Vân đến Chu Lai) giai đoạn 2000–2024 tại ba khu vực trọng điểm có địa hình đa dạng. Nghiên cứu tập trung phân tích biến động đường bờ trong và so sánh hiệu quả giữa phương pháp truyền thống với các mô hình nơ-ron trong việc tự động nhận dạng, giám sát biến động.

4. Những điểm mới của luận án

Điểm mới 1: Xây dựng được bộ chỉ thị nhận dạng đường bờ theo hướng phân nhóm gắn với các kiểu bờ hình thái – vật chất đặc trưng của vùng ven biển miền Trung Việt Nam, trong đó nhấn mạnh vai trò của chỉ thị

đường bờ trong và khả năng chuẩn hóa dữ liệu phục vụ ứng dụng viễn thám độ phân giải cao và mô hình học máy trong nghiên cứu biến động bờ biển. Điểm mới 2: Ứng dụng hiệu quả các mô hình học sâu (U-Net, U-Net3+, U2Net, DexiNed) để tự động hóa nhận dạng đường bờ từ ảnh viễn thám. Điểm mới 3: Làm rõ xu thế, sự khác biệt không gian và tác động của con người, thiên tai đến biến động bờ biển Đà Nẵng.

5. Luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1. Bộ chỉ thị cho xác định đường bờ và biến động bờ biển ứng dụng viễn thám và trí tuệ nhân tạo được đề xuất có tính kế thừa và điều chỉnh phù hợp với đặc trưng của bờ biển Việt Nam, trong đó đường bờ trong là chỉ thị trọng tâm khi đánh giá biến động tại các khu vực nghiên cứu trọng điểm ở vùng bờ Thành phố Đà Nẵng.

Luận điểm 2. Kết hợp dữ liệu viễn thám độ phân giải cao với các mô hình học máy sâu cho phép nhận dạng và đánh giá đặc điểm biến động đường bờ một cách tin cậy, chứng minh hiệu quả và tiềm năng ứng dụng của hướng tiếp cận viễn thám – AI trong giám sát bờ biển thành phố Đà Nẵng.

6. Dữ liệu sử dụng

Các tài liệu, số liệu được NCS thu thập từ các đợt khảo sát thực địa trong quá trình thực hiện luận án và tham gia các đề tài mà NCS là thành viên hoặc chủ trì thực hiện, bao gồm: đề tài NAFOSTED về dịch vụ hệ sinh thái ven biển; đề tài cấp ĐHQGHN về phát triển mô hình học máy sâu trong giám sát biến động bờ biển Trung Bộ; đề tài cấp quốc gia KC.09.02/21-30 về lồng ghép hành lang bảo vệ bờ biển trong quản lý tổng hợp vùng bờ; và đề tài cấp Trường Đại học Khoa học Tự nhiên về đánh giá tính dễ bị tổn thương do sạt lở bờ biển khu vực Quảng Nam – Đà Nẵng.

7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Ý nghĩa khoa học: Hệ thống hóa khái niệm đường bờ trong, xây dựng bộ chỉ thị chuẩn xác và ứng dụng học máy vào giám sát định lượng. Ý

nghĩa thực tiễn: Cung cấp công cụ giám sát nhanh, hỗ trợ quản lý vùng bờ Đà Nẵng và có khả năng mở rộng cho toàn Việt Nam.

8. Cấu trúc của luận án

Chương 1: Cơ sở lý luận và cách tiếp cận nghiên cứu biến động đường bờ biển ứng dụng công nghệ viễn thám và học máy

Chương 2: Điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội và thực trạng biến động bờ biển thành phố Đà Nẵng

Chương 3: Dữ liệu và quy trình ứng dụng viễn thám – học máy trong nghiên cứu biến động đường bờ biển thành phố Đà Nẵng

Chương 4: Kết quả ứng dụng học máy trong đánh giá biến động đường bờ phục vụ quản lý bờ biển thành phố Đà Nẵng

CHƯƠNG 1: CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ CÁCH TIẾP CẬN NGHIÊN CỨU BIẾN ĐỘNG ĐƯỜNG BỜ BIỂN ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ VIỄN THÁM VÀ HỌC MÁY

1.1. Một số khái niệm

1.1.1. Đường bờ biển

Luận án xác định bờ biển là vùng chuyển tiếp giữa đất liền và biển, có bề rộng và ranh giới thay đổi theo điều kiện tự nhiên và tác động nhân sinh. Đường bờ ngoài là ranh giới tức thời giữa đất liền và mặt nước tại thời điểm quan sát, chịu ảnh hưởng mạnh của thủy triều, sóng và điều kiện môi trường ngắn hạn. Ngược lại, đường bờ trong được xác định là ranh giới trong cùng của phạm vi chịu tác động thường xuyên của sóng, có tính ổn định tương đối cao và phản ánh rõ hơn các quá trình xói lở – bồi tụ thực tế.

1.1.2 Biến động đường bờ biển

Biến động đường bờ biển là sự thay đổi ranh giới giữa đất và biển do xói lở hoặc bồi tụ. Quá trình này phản ánh sự mất mát hoặc tích lũy trầm tích, gây dịch chuyển đường bờ trong và ngoài. Ứng dụng viễn thám và học máy giúp định lượng chính xác xu thế này để quản lý vùng bờ.

1.2. Tổng quan các công trình nghiên cứu

1.2.1 Các nghiên cứu biến động bờ biển trên thế giới và trong nước

Các nghiên cứu biến động bờ biển trên thế giới đã phát triển từ các tiếp cận mô tả định tính ban đầu đến các phân tích định lượng và mô hình dự báo phức tạp. Ở Việt Nam, nghiên cứu biến động bờ biển được triển khai từ thập niên 1990 và tập trung chủ yếu vào các vùng cửa sông và ven biển miền Trung, nơi có động lực bờ mạnh và biến động phức tạp.

1.2.2. Ứng dụng viễn thám trong nghiên cứu đường bờ biển trên thế giới và trong nước

Các nguồn dữ liệu phổ biến bao gồm ảnh hàng không, ảnh vệ tinh quang học đa phổ và ảnh radar, trong đó ảnh vệ tinh quang học độ phân giải trung bình và cao được sử dụng rộng rãi nhất. Tuy nhiên, nhiều nghiên cứu vẫn gặp hạn chế do ảnh hưởng của thủy triều, sóng và điều kiện môi trường tại thời điểm thu nhận ảnh, đặc biệt khi xác định đường bờ ngoài.

1.2.3. Ứng dụng học máy trong nghiên cứu đường bờ biển trên thế giới và trong nước

Sự phát triển của học máy đã mở ra hướng tiếp cận mới trong nghiên cứu đường bờ biển, cho phép tự động hóa quá trình trích xuất và phân tích dữ liệu viễn thám đa nguồn. Mặc dù cho thấy tiềm năng rõ rệt, việc ứng dụng học máy trong nghiên cứu đường bờ vẫn đối mặt với các thách thức về lựa chọn chỉ thị, đánh giá độ chính xác và khả năng tái lập kết quả.

1.2.4 Tổng quan nghiên cứu biến động bờ biển thành phố Đà Nẵng

Tại khu vực thành phố Đà Nẵng, nhiều nghiên cứu tập trung về biến động bờ biển. Các kết quả nghiên cứu cho thấy bờ biển Đà Nẵng có tính động cao, biến động phức tạp theo không gian và thời gian, Đây là cơ sở thực tiễn quan trọng cho việc lựa chọn khu vực nghiên cứu của luận án.

1.2.5. Khoảng trống nghiên cứu

Thứ nhất, phần lớn các nghiên cứu vẫn tập trung vào đường bờ ngoài, dễ chịu ảnh hưởng của thủy triều và sóng, làm gia tăng sai số khi đánh giá xu thế biến động dài hạn. Thứ hai, đường bờ trong – mặc dù có tính ổn định cao và ý nghĩa địa mạo rõ rệt – chưa được quan tâm đúng mức và thiếu hệ thống chỉ thị phù hợp để xác định từ ảnh viễn thám độ phân giải cao trong điều kiện bờ biển nhiệt đới gió mùa. Thứ ba, các mô hình học máy và mạng nơ-ron sâu hiện đại còn được ứng dụng hạn chế trong nghiên cứu đường bờ ở Việt Nam, đặc biệt là thiếu các nghiên cứu so sánh và đánh giá một cách hệ thống.

1.3. Cơ sở lý luận về viễn thám và học máy trong nghiên cứu đường bờ

1.3.1. Bộ chỉ thị đường bờ trong đánh giá biến động bờ biển

Việc lựa chọn chỉ thị đường bờ (trong và ngoài) là cốt lõi để đảm bảo tính nhất quán khoa học. Đường bờ ngoài phụ thuộc vào thủy triều tức thời, trong khi đường bờ trong dựa trên các dấu hiệu hình thái ổn định, giúp phản ánh chính xác xu thế biến động dài hạn và tác động của thiên tai. Luận án xây dựng bộ chỉ thị phân cấp gồm 44 chỉ thị thuộc 5 loại: hình thái, sinh thái, thủy động lực, cực đoan và tham chiếu số. Với hướng tiếp cận "kế thừa - cải tiến - đề xuất mới", bộ chỉ thị này tối ưu hóa việc ứng dụng viễn thám và học máy để giám sát chính xác đường bờ trong, phục vụ quản lý rủi ro thiên tai bền vững.

1.3.2. Vai trò của viễn thám trong nghiên cứu biến động đường bờ và các yếu tố ảnh hưởng đến việc xác định đường bờ trên ảnh viễn thám

Viễn thám thu thập thông tin đối tượng địa lý qua sóng điện từ và bộ cảm. Với dữ liệu đa dạng từ ảnh hàng không, vệ tinh (Landsat, Sentinel), LiDAR, SAR đến UAV, công nghệ này giúp xác định đường bờ chính xác. Đặc biệt, phân tích phổ phản xạ (NIR, SWIR) là cơ sở quan trọng để phân biệt đất, nước và thảm thực vật.

Xác định đường bờ trên ảnh viễn thám là vấn đề phức tạp, chịu tác động của thủy triều, sóng, địa mạo và hoạt động nhân sinh. Trong khi đường bờ ngoài biến động theo mực nước tức thời, đường bờ trong dựa trên chỉ thị ổn định như thảm thực vật giúp phản ánh chính xác xu thế dài hạn.

1.3.3. Khả năng ứng dụng ảnh viễn thám độ phân giải cao (UAV và ảnh từ nguồn GE)

Ảnh UAV RGB và ảnh Google Earth (GE) là nguồn dữ liệu độ phân giải cao, hỗ trợ hiệu quả giám sát và phân tích biến động đường bờ. UAV có ưu thế về độ phân giải centimet–decimet, khả năng thu nhận chủ động, linh hoạt và phát hiện các biến đổi cục bộ; dữ liệu được xử

lý bằng SfM để tạo ảnh trực giao và mô hình độ cao chính xác. Ảnh GE có phạm vi phủ rộng, chuỗi dữ liệu đa thời gian và độ phân giải khoảng 0,3–1,0 m, phù hợp theo dõi biến động đường bờ quy mô lớn. Kết hợp UAV, GE, GIS và học máy giúp nâng cao độ chính xác, khả năng phát hiện và đánh giá biến động đường bờ..

1.3.4 Khả năng ứng dụng mô hình học máy trong nghiên cứu biến động đường bờ

Học máy, đặc biệt học máy mạng nơ-ron, ngày càng được ứng dụng trong xử lý ảnh viễn thám và phân tích đường bờ nhờ khả năng tự học các đặc trưng phổ, không gian và hình thái. CNN có khả năng nhận dạng đặc trưng đa cấp độ nhưng còn hạn chế trong phân đoạn chính xác ranh giới đất – nước. U-Net khắc phục hạn chế này nhờ cấu trúc encoder–decoder và skip connection, giúp bảo toàn chi tiết biên. Nghiên cứu lựa chọn bốn kiến trúc U-Net, U²-Net, U-Net3+ và DexiNed để so sánh: U-Net là kiến trúc nền tảng, U²-Net và U-Net3+ khai thác đặc trưng đa tỷ lệ, còn DexiNed tập trung nhận dạng biên

1.4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

1.4.1. Cách tiếp cận nghiên cứu

Nghiên cứu vận dụng bốn cách tiếp cận chính: hệ thống – liên ngành, địa lý, lịch sử – kế thừa và công nghệ viễn thám – GIS, học máy. Tiếp cận hệ thống – liên ngành xem xét tổng thể mối quan hệ giữa các yếu tố tự nhiên, môi trường và kinh tế – xã hội chi phối biến động đường bờ. Tiếp cận địa lý nhấn mạnh đặc điểm không gian, thời gian và phân bố lãnh thổ. Tiếp cận lịch sử – kế thừa cho phép tái hiện diễn biến đường bờ qua các thời kỳ và nhận diện xu thế biến động. Tiếp cận viễn thám – GIS và học máy hỗ trợ tự động hóa, định lượng và nâng cao độ chính xác trong trích xuất, phân tích và đánh giá biến động đường bờ.

1.4.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng sáu nhóm phương pháp chính: (1) thu thập, thống kê và tổng hợp dữ liệu từ các nguồn chính thức và công trình khoa học được sử dụng xuyên suốt trong việc xây dựng cơ sở lý luận, phân tích bối cảnh nghiên cứu và hỗ trợ đánh giá kết quả của luận án; (2) khảo sát, điều tra thực địa và UAV nhằm thu thập, kiểm chứng và cập nhật thông tin thực tế tại các khu vực nghiên cứu; (3) nghiên cứu địa mạo nhằm làm rõ mối quan hệ giữa hình thái bờ biển, vật liệu cấu tạo và các quá trình động lực chi phối biến động đường bờ; (4) điều tra xã hội học nhằm bổ sung thông tin về xói lở, thiên tai và tác động nhân sinh; (5) bản đồ, viễn thám và GIS được sử dụng như khung phương pháp chủ đạo để nghiên cứu phân bố không gian và biến động đường bờ biển theo thời gian.; (6) xử lý, khai phá dữ liệu và học máy để xử lý dữ liệu đa nguồn, đánh giá mối tương quan giữa các biến ảnh hưởng và nâng cao độ chính xác của quá trình trích xuất thông tin từ ảnh viễn thám

1.5. Khung nghiên cứu tổng thể của luận án

Khung nghiên cứu tổng thể của luận án được xây dựng theo hướng tích hợp giữa địa lý – địa mạo với các phương pháp bản đồ, viễn thám, GIS và học máy nhằm nghiên cứu biến động đường bờ theo không gian và thời gian phục vụ quản lý vùng bờ. Về cấu trúc, khung nghiên cứu gồm bốn phần liên kết chặt chẽ: (i) cơ sở lý luận và phương pháp luận; (ii) phân tích điều kiện địa lý và thực trạng biến động đường bờ khu vực nghiên cứu; (iii) triển khai các phương pháp chuyên ngành dựa trên viễn thám, GIS và học máy để trích xuất và phân tích biến động đường bờ; và (iv) đánh giá kết quả, thảo luận và đề xuất hàm ý quản lý.

Tiểu kết Chương 1

Nghiên cứu chỉ ra việc tập trung vào đường bờ ngoài gây hạn chế trong đánh giá dài hạn. Luận án đề xuất sử dụng đường bờ trong có tính ổn định cao hơn, kết hợp ảnh viễn thám độ phân giải cao và mô hình học máy hiện đại để khắc phục khoảng trống về phương pháp luận tại Việt Nam.

CHƯƠNG 2: ĐIỀU KIỆN TỰ NHIÊN, KINH TẾ - XÃ HỘI VÀ THỰC TRẠNG BIẾN ĐỘNG BỜ BIỂN THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG

2.1. Khái quát vùng ven biển thành phố Đà Nẵng

2.1.1. Vị trí địa lý

Vùng bờ Đà Nẵng mới (hợp nhất từ Quảng Nam) kéo dài từ mũi Hải Vân đến Chu Lai, giữ vị trí địa kinh tế chiến lược với hệ thống cảng biển, sân bay kết nối quốc tế. Tuy nhiên, khu vực này đối mặt thách thức lớn từ bão và xói lở bờ biển.

2.1.2. Đặc điểm địa lý tự nhiên

Dải ven biển Đà Nẵng có nền địa chất phân hóa rõ rệt: khu vực núi đá (Hải Vân, Sơn Trà) ổn định, trong khi vùng cửa sông và đồng bằng cấu tạo từ trầm tích bờ rời dễ bị xói lở. Đa dạng với 17 dạng địa hình, nổi bật là các thềm cát và bãi biển hiện đại.

Về khí hậu và hải văn, khu vực chịu áp lực lớn từ gió mùa Đông Bắc, bão và nước dâng, gây tái cấu trúc hình thái bờ nhanh chóng.

Hệ thống thủy văn với các sông lớn như Vu Gia - Thu Bồn đóng vai trò cung cấp trầm tích, nhưng việc suy giảm phù sa do thủy điện thượng nguồn đang gia tăng nguy cơ xói lở nghiêm trọng tại các cửa sông.

Sóng, dòng chảy và thủy triều tại Đà Nẵng biến động theo mùa, gây xói lở mạnh vào mùa đông do gió mùa, bão.

2.1.3. Đặc điểm dân cư, kinh tế - xã hội và sử dụng đất

Vùng bờ Đà Nẵng mới có dân cư đông đúc, mật độ cao tại lõi đô thị. Kinh tế phát triển năng động với các trụ cột: hậu cần nghề cá, khu kinh tế mở (Chu Lai), cảng biển và du lịch nghỉ dưỡng.

Vùng bờ Đà Nẵng đa dạng địa mạo, kết hợp hài hòa sinh kế truyền thống với du lịch, công nghiệp và đô thị hóa. Tuy nhiên, áp lực đô thị hóa và thiên tai gây xói lở nghiêm trọng, đòi hỏi các giải pháp công trình cứng kết hợp sinh thái để bảo vệ hạ tầng bền vững.

2.1.4. Phân hóa kiểu bờ và vùng bờ khu vực nghiên cứu

Bờ biển Đà Nẵng được phân thành 6 kiểu chính phục vụ đánh giá biến động: (1) Bờ mài mòn đá rắn chắc (Hải Vân, Sơn Trà) có độ bền vững cao; (2) Bờ tích tụ - xói lở do sóng trên nền cát thấp và cao; (3) Bờ vũng vịnh có bãi rộng, thoải; (4) Bờ cửa sông (Cu Đê, Thu Bồn) biến động mạnh nhất; (5) Bờ tích tụ - mài mòn cung bờ lõm; (6) Bờ nhân tạo do lấn biển và xây dựng hạ tầng cảng.

Vùng bờ từ Đà Nẵng đến Núi Thành phân hóa thành bốn kiểu chính: bờ cát mở (cát cao, thấp, xen kẽ), bờ cửa sông biến động mạnh, bờ vũng vịnh ổn định và bờ đá ít biến đổi. Sự không đồng nhất này do tương tác giữa địa mạo, động lực tự nhiên và hoạt động nhân sinh.

2.2. Thực trạng xói lở – bồi tụ bờ biển và cửa sông

2.2.1. Thực trạng xói lở – bồi tụ bờ biển

Bờ biển Đà Nẵng biến động mạnh, trong đó xói lở chiếm ưu thế tại các khu vực đô thị, công nghiệp và du lịch như Mỹ Khê, Cửa Đại, Tam Thanh. Nguyên nhân do tác động tổng hợp của thiên tai (bão, sóng) và hoạt động nhân sinh (xây dựng hạ tầng, suy giảm trầm tích sông).

2.2.2. Thực trạng xói lở – bồi tụ tại các cửa sông

Vùng cửa sông Đà Nẵng (Cu Đê, Cửa Đại, Kỳ Hà) có động lực phức tạp, biến động mạnh do tương tác giữa sông - biển và con người. Xói lở kéo dài đe dọa hạ tầng, trong khi bồi tụ cản cát làm thay đổi dòng chảy, gây mất cân bằng trầm tích và rủi ro lũ lụt.

2.2.3. Tác động của xói lở – bồi tụ và các giải pháp công trình đã triển khai

Xói lở và bồi tụ tại Đà Nẵng gây thiệt hại nặng nề cho hạ tầng, du lịch và sinh kế ven biển. Chính quyền đã triển khai nhiều giải pháp như kè bê tông, đê ngầm và trồng rừng. Tuy nhiên, hiệu quả còn cục bộ, đòi hỏi hướng tiếp cận tổng hợp và bền vững hơn.

2.3. Các khu vực nghiên cứu trọng điểm

2.3.1. Cơ sở lựa chọn các khu vực nghiên cứu trọng điểm

Các khu vực nghiên cứu trọng điểm được lựa chọn trên cơ sở tổng hợp các tiêu chí: mức độ và tính phức tạp của biến động xói lở – bồi tụ; tính đại diện cho các kiểu bờ và vùng bờ khác nhau; vai trò kinh tế – xã hội và mức độ can thiệp công trình ven biển; đồng thời bảo đảm khả năng khai thác tư liệu viễn thám đa thời gian và dữ liệu thực địa.

2.3.2. Khu vực nghiên cứu trọng điểm: Vịnh Đà Nẵng

Vịnh Đà Nẵng là vịnh nửa kín, chịu chi phối bởi cửa sông Cu Đê và sông Hàn, có địa hình biến động mạnh. Vịnh Đà Nẵng có động lực sóng phân hóa, kiểu bờ đa dạng từ cửa sông đến bờ nhân tạo. Khu vực này có quá trình đô thị hóa và hạ tầng cảng biển quy mô lớn làm biến đổi sâu sắc hình thái, gây xói lở cục bộ vịnh Đà Nẵng. Do đó, Vịnh Đà Nẵng có biến động phức tạp do tương tác tự nhiên - nhân sinh, xói lở nghiêm trọng đe dọa hạ tầng đô thị. Đây là khu vực trọng điểm để thử nghiệm mô hình học máy.

2.3.3. Khu vực nghiên cứu trọng điểm Cửa Đại (Hội An)

Vùng Cửa Đại là cửa sông điển hình, biến động do sông-biển. Khu vực này đặc trưng bởi bờ cát thấp, biến động do tương tác sóng, triều và dòng sông. Tuy nhiên, khu vực Cửa Đại là nơi phát triển kinh tế du lịch mạnh. Bờ biển Cửa Đại xói lở nghiêm trọng, mất bãi tắm do thiếu hụt trầm tích, trong khi cửa sông bồi tụ cồn cát lớn. Những biến động bờ biển mạnh mẽ đã ảnh hưởng lớn tới các hoạt động du lịch ở đây.

2.3.4. Khu vực nghiên cứu 3: Vùng ven biển Núi Thành

Vùng ven biển Núi Thành là không gian cửa sông - biển mở, chịu tác động mạnh từ hạ tầng công nghiệp cảng. Bờ biển Núi Thành đa dạng, nền địa chất yếu, nhạy cảm trước tác động sóng biển và con người. Khu vực này đang phát triển công nghiệp cảng mạnh mẽ, gây mất cân bằng

trầm tích và xói lở. Có thể thấy bờ biển Núi Thành xói lở, bồi tụ phức tạp do phát triển hạ tầng và động lực tự nhiên

Tiểu kết Chương 2

Chương 2 đã làm rõ sự phân hóa các kiểu vùng bờ, chọn khu vực trọng điểm điển hình làm cơ sở thực tiễn triển khai các phương pháp nghiên cứu.

CHƯƠNG 3: DỮ LIỆU VÀ QUY TRÌNH ỨNG DỤNG VIỄN THÁM – HỌC MÁY TRONG NGHIÊN CỨU BIẾN ĐỘNG ĐƯỜNG BỜ BIỂN THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG

3.1. Cơ sở dữ liệu phục vụ nghiên cứu biến động đường bờ

3.1.1. Dữ liệu viễn thám đa thời gian, đa độ phân giải

Nghiên cứu sử dụng hệ thống dữ liệu đa nguồn gồm Landsat, Sentinel-2 cho xu thế dài hạn; ảnh Google Earth và UAV độ phân giải cao để nhận dạng chi tiết đường bờ trong, giúp nâng cao độ chính xác khi kiểm chứng và huấn luyện mô hình học máy

3.1.2. Dữ liệu nền GIS và dữ liệu thực địa

Nghiên cứu sử dụng hệ thống dữ liệu nền GIS phối hợp cùng kết quả khảo sát thực địa và ảnh UAV để chuẩn hóa không gian nghiên cứu. Sự kết hợp này giúp kiểm chứng độ chính xác, xây dựng bộ chỉ thị và phân tích tương quan giữa biến động đường bờ với các yếu tố địa lý, nhân sinh.

3.1.3. Xử lý, chuẩn hóa và tích hợp dữ liệu

Nghiên cứu tiến hành xử lý, chuẩn hóa hệ quy chiếu và tích hợp đa nguồn dữ liệu (viễn thám, GIS, thực địa) vào cơ sở dữ liệu thống nhất. Quá trình này bảo đảm tính đồng bộ không gian - thời gian, làm nền tảng triển khai các thuật toán học máy và phân tích biến động đường bờ.

3.2. Quy trình đánh giá biến động bờ biển thành phố Đà Nẵng

3.2.1. Quy trình tổng thể đánh giá biến động bờ biển thành phố Đà Nẵng

Quy trình gồm ba giai đoạn: thu thập dữ liệu đa nguồn; huấn luyện, tối ưu hóa mô hình học máy trên Python và GIS; và ứng dụng công cụ DSAS để phân tích định lượng, thành lập bản đồ biến động đường bờ dài hạn tại Đà Nẵng.

3.2.2. Quy trình thu thập, xử lý và tổ chức dữ liệu viễn thám phục vụ nhận dạng đường bờ

Nghiên cứu thiết lập quy trình tích hợp đa nguồn dữ liệu viễn thám (UAV RGB và Google Earth Pro) nhằm xây dựng tập mẫu huấn luyện chuẩn xác cho mô hình học máy nhận dạng đường bờ trong. Dữ liệu UAV độ phân giải siêu cao (0,7m) đóng vai trò làm chuẩn kiểm chứng thực địa, trong khi ảnh Google Earth giúp mở rộng chuỗi thời gian từ năm 2000. Tập dữ liệu mẫu gồm 8.041 ảnh được chuẩn hóa, tăng cường bằng các kỹ thuật biến đổi hình học và quang học để nâng cao tính tổng quát hóa. Kết quả là cơ sở dữ liệu không gian thống nhất, phục vụ trích xuất đường bờ và phân tích định lượng bằng công cụ DSAS.

3.2.3. Ứng dụng mô hình học máy trong nhận dạng đường bờ và giám sát biến động bờ biển

Luận án sử dụng hai thuật toán học máy SVM và RF làm mô hình cơ sở để so sánh. SVM dùng hàm kernel RBF để tìm siêu phẳng tối ưu, còn RF tập hợp 50 cây quyết định nhằm hạn chế quá khớp và tăng khả năng tổng quát hóa.

Nghiên cứu áp dụng các mô hình học sâu (U-Net, U-Net3+, U²-Net, DexiNed) để trích xuất đường bờ, khai thác đồng thời đặc trưng không gian và ngữ cảnh. Mô hình được huấn luyện với ảnh chuẩn hóa, learning rate tự động, tối ưu Adam và các cơ chế chống quá khớp. Các kiến trúc chữ U và mô hình phát hiện biên giúp bảo toàn thông tin đa tỉ lệ, nâng cao độ chính xác xác định ranh giới bờ biển phức tạp

Nghiên cứu sử dụng các chỉ số IoU, Precision, Recall và Kappa để đánh giá định lượng độ chính xác và hiệu suất mô hình.

3.2.4. Tích hợp GIS và mô hình DSAS trong đánh giá biến động đường bờ

Nghiên cứu sử dụng mô hình học máy tách đường bờ trong, sau đó dùng công cụ DSAS với phương pháp WLR để tính toán xói lở.

3.3. Bộ chỉ thị phục vụ nhận dạng đường bờ trong và đánh giá biến động bờ biển thành phố Đà Nẵng

3.3.1. Khái quát bộ chỉ thị nhận dạng đường bờ trong

Luận án xây dựng bộ chỉ thị nhận dạng đường bờ trong theo tiếp cận gắn với kiểu bờ hình thái – vật chất, nhằm xác định ranh giới ổn định tương đối của vùng chịu tác động thường xuyên của sóng biển. Nguyên tắc lựa chọn chỉ thị là bảo đảm tính ổn định theo thời gian, khả năng nhận dạng nhất quán trên ảnh viễn thám đa độ phân giải, đồng thời có thể chuẩn hóa để phục vụ phân tích biến động dài hạn và huấn luyện mô hình học máy. Luận án xây dựng bộ chỉ thị đường bờ trong tại Đà Nẵng dựa trên bốn kiểu bờ chính: cát cao, cát thấp, đá và nhân tạo. Hệ thống này tích hợp các dấu hiệu hình thái, sinh học và công trình, giúp chuẩn hóa dữ liệu đầu vào và nhận dạng nhất quán trên ảnh viễn thám độ phân giải cao.

3.3.2. Bộ chỉ thị nhận dạng đường bờ trong theo các kiểu bờ tại thành phố Đà Nẵng

Có 4 kiểu bờ tại thành phố Đà Nẵng: Kiểu bờ cát cao – đụn cát ven biển, Kiểu bờ cát thấp – cửa sông, bãi bồi ven biển, Kiểu bờ đá – mũi đá, vách đá, Kiểu bờ nhân tạo – đô thị, cảng biển, du lịch

- *Kiểu bờ cát cao – đụn cát ven biển*: Kiểu bờ cát cao sử dụng chân đụn cát và mép thực vật làm chỉ thị chính để xác định đường bờ trong ổn định

- *Kiểu bờ cát thấp – cửa sông, bãi bồi ven biển*: Kiểu bờ cát thấp ưu tiên chỉ thị sinh học là ranh giới thảm thực vật ổn định để nhận dạng đường bờ trong

- *Kiểu bờ đá – mũi đá, vách đá*: Kiểu bờ đá sử dụng chân vách đá và mép thực vật làm chỉ thị chính nhờ tính ổn định cao và nhận diện rõ.

- *Kiểu bờ nhân tạo – đô thị, cảng biển, du lịch*: Kiểu bờ nhân tạo sử dụng mép ngoài công trình kè làm chỉ thị đường bờ trong nhờ tính ổn định và hình thái rõ.

Tiểu kết chương 3

Chương 3 thiết lập quy trình tích hợp UAV, viễn thám và học sâu để nhận dạng tự động đường bờ trong đa nguồn.

CHƯƠNG 4: KẾT QUẢ ỨNG DỤNG HỌC MÁY TRONG NHẬN DẠNG VÀ ĐÁNH GIÁ BIẾN ĐỘNG ĐƯỜNG BỜ PHỤC VỤ QUẢN LÝ BỜ BIỂN THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG

4.1. Lựa chọn mô hình học máy phục vụ nhận dạng đường bờ trong thành phố Đà Nẵng

4.1.1. So sánh hiệu suất huấn luyện mô hình học máy theo kiến trúc mạng thần kinh nơ-ron

Nghiên cứu huấn luyện 8 mô hình trên 4 kiến trúc nơ-ron, xác định kích thước 256×256 tối ưu cho U-Net, U-Net3+ và DexiNed nhờ cung cấp ngữ cảnh không gian tốt hơn. Kiến trúc U-Net nổi bật với độ chính xác trên 98% và tính ổn định cao nhất, là lựa chọn hiệu quả nhất về cả hiệu suất lẫn thời gian.

4.1.2. So sánh hiệu suất huấn luyện mô hình học máy nơ-ron và mô hình truyền thống

Nghiên cứu khẳng định các mô hình mạng nơ-ron (U-Net, U-Net3+) vượt trội hơn phương pháp truyền thống (RF, SVM) nhờ khả năng khai thác mối quan hệ không gian. Trong khi RF và SVM đạt độ chính xác dưới 95%, các kiến trúc hình chữ U đạt trên 97%, nổi bật là U-Net với độ chính xác 98,5%, giúp phân biệt hiệu quả các lớp có phổ tương tự.

4.1.3. Lựa chọn mô hình học máy tối ưu cho nhận dạng đường bờ trong

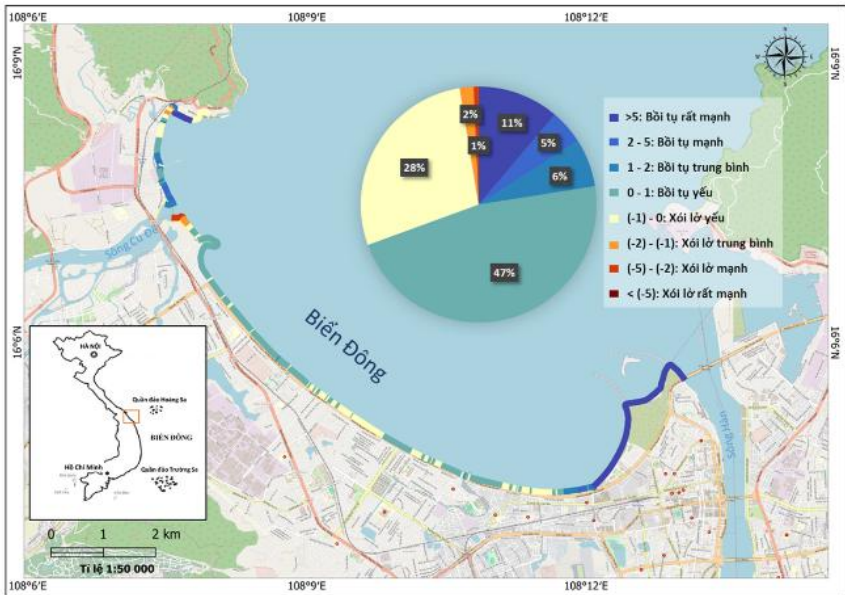
Nghiên cứu đánh giá các mô hình học sâu, xác định U-Net 256 là kiến trúc tối ưu với độ chính xác trên 97% và chỉ số RMSE đạt 2,53m. So với U-Net3+ hay DexiNed vốn dễ bị quá khớp hoặc dao động thiếu ổn định, U-Net 256 phân biệt chính xác vùng bờ biển, đụn cát và thảm thực vật, vượt trội hoàn toàn so với các phương pháp truyền thống như RF và SVM.

4.2. Xác định đường bờ và phân tích biến động bờ biển các khu vực trọng điểm

4.2.1. Đánh giá biến động bờ biển khu vực Vịnh Đà Nẵng

Vịnh Đà Nẵng đa dạng kiểu bờ; mô hình U-Net 256 nhận diện tốt bờ kè, bờ cát nhưng cần hiệu chỉnh tại cửa sông và bờ đá.

Nghiên cứu sử dụng 893 lát cắt để tính tốc độ biến động đường bờ vịnh Đà Nẵng (2002-2023). Kết quả cho thấy 16,5% mặt cắt bị xói lở và 36,9% bồi tụ.



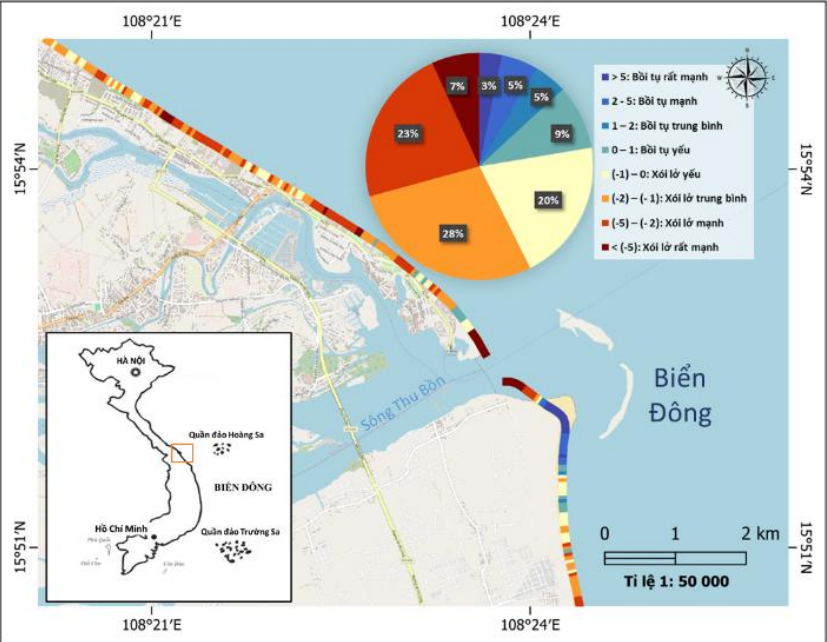
Hình 4.13 Bản đồ biến động đường bờ trong khu vực Vịnh Đà Nẵng từ năm 2002 đến 2023

Giai đoạn 2002–2023, bờ biển vịnh Đà Nẵng tương đối ổn định với 47% bồi tụ yếu và 28% xói lở yếu. Tuy nhiên, xói lở mạnh vẫn xảy ra tại Nam sông Cu Đê và chân đèo Hải Vân, trong khi bồi tụ nhân tạo tại đô thị Đa Phước đạt tới 22m/năm.

4.2.2. Đánh giá biến động bờ biển khu vực Cửa Đại

Khu vực Cửa Đại chịu áp lực từ sóng bão, mực nước biển dâng; mô hình U-Net 256 giải đoán tốt bờ cát.

Giai đoạn 2004–2024, nghiên cứu sử dụng 868 lát cắt để tính toán xói lở bờ tụ khu vực Cửa Đại. Kết quả cho thấy xói lở nghiêm trọng với 75% mặt cắt bị xâm thực, tốc độ cực đại đạt -41,6m/năm.



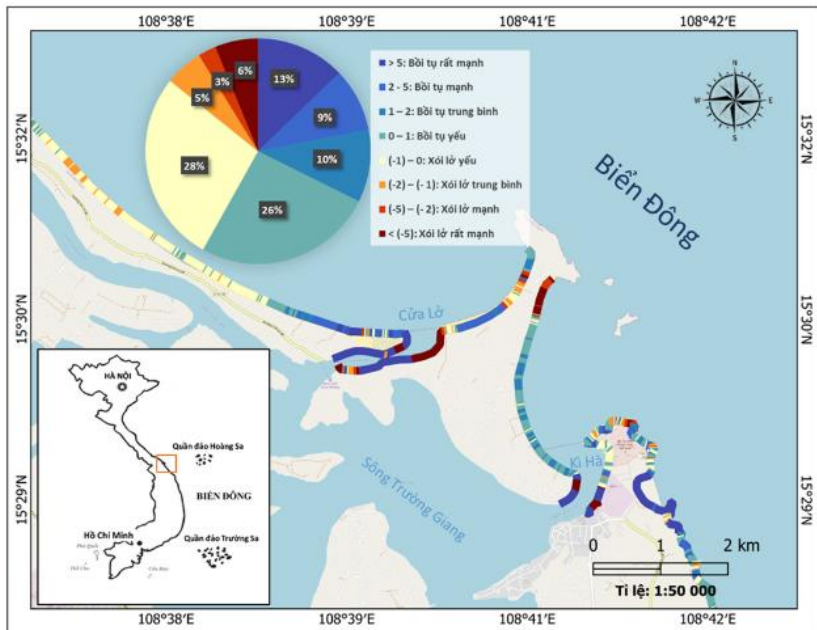
Hình 4.24 Bản đồ biến động đường bờ trong khu vực Cửa Đại từ năm 2004 đến 2024

Giai đoạn 2004–2024, khu vực Cửa Đại xói lở nghiêm trọng trên 75% chiều dài bờ, trong đó xói lở mạnh và trung bình chiếm hơn 50%. Hiện tượng này lấn sâu 10–20m sau mỗi mùa bão, gây mất 112ha đất và đe dọa hạ tầng du lịch do mất cân bằng bồi tích và tác động nhân sinh.

4.2.3. Đánh giá biến động bờ biển khu vực Núi Thành

Khu vực Núi Thành (gắn với hệ Trường Giang – Cửa Lở và dải ven biển Tam Hải–Tam Nghĩa–Tam Tiến) được nhận dạng đường bờ trong

bằng U-Net 256 và phân tích DSAS cho giai đoạn 2002–2023. Kết quả giải đoán cho thấy mô hình làm tốt ở đoạn bờ cát có ao nuôi/ranh giới rõ. DSAS thiết lập 1500 mặt cắt (20 m); SCE cực đại ~982 m, trung vị ~27,7 m. Theo WLR, biên độ biến động rất lớn với xói lở cực đại ~-76,35 m/năm và bồi tụ cực đại ~+108,75 m/năm, phản ánh các điểm biến động cục bộ mạnh.



Hình 4.35 Bản đồ biến động đường bờ trong khu vực Núi Thành từ 2002 đến 2023

Giai đoạn 2002–2023, khu vực Núi Thành có xu hướng bồi tụ chiếm ưu thế (chiếm 21,93% bồi tụ mạnh) nhờ Ghềnh đá Bàn Than chắn cát. Tuy nhiên, hiện tượng xói lở cục bộ vẫn diễn ra nghiêm trọng tại Cửa Lở và Tam Hải do tác động của dòng triều rút và đô thị hóa nhanh.

4.2.4. Xu thế biến động đường bờ và so sánh giữa các khu vực nghiên cứu

Tổng hợp theo WLR cho thấy sự khác biệt rõ giữa ba khu vực. Vịnh Đà Nẵng (2002–2023) có xu thế bồi tụ và ổn định chiếm ưu thế, xói lở chủ yếu cục bộ. Cửa Đại (2004–2024) thể hiện xu thế xói lở chi phối với cường độ xói lở cực đoan tới $\sim 41,66$ m/năm. Núi Thành (2002–2023) có xu thế bồi tụ tổng thể nhưng phân hóa không gian rất mạnh, biên độ dao động lớn (từ $\sim -76,35$ đến $\sim +108,75$ m/năm).

4.3. Khả năng ứng dụng kết quả nghiên cứu trong giám sát biến động đường bờ và quản lý bờ biển

4.3.1. Khả năng tái lập và triển khai phương pháp trong nghiên cứu biến động bờ biển

Mô hình U-Net trên ảnh UAV giúp giám sát biến động đường bờ nhanh chóng, khách quan. Kết quả hỗ trợ ra quyết định quản lý, đánh giá công trình kè và bảo vệ bờ biển.

4.3.2. Ứng dụng kết quả nghiên cứu trong giám sát biến động đường bờ biển thành phố Đà Nẵng

Mô hình U-Net kết hợp ảnh UAV giúp giám sát biến động đường bờ nhanh chóng, khách quan. Kết quả tích hợp GIS hỗ trợ cập nhật dữ liệu và ra quyết định quản lý bờ biển hiệu quả.

4.3.3. Ứng dụng trong quản lý vùng bờ và hành lang bảo vệ bờ biển

Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học trực tiếp cho quản lý vùng bờ và xác định hành lang bảo vệ bờ biển. Việc xác định đường bờ trong ổn định theo thời gian giúp làm rõ ranh giới nền tảng để khoanh định hành lang, khắc phục hạn chế khi sử dụng đường mép nước tức thời. Việc tích hợp kết quả vào hệ thống GIS quản lý không gian ven biển góp phần nâng cao hiệu quả quản lý tổng hợp vùng bờ thành phố Đà Nẵng.

Tiểu kết chương 4

Mô hình U-Net vượt trội trong nhận dạng đường bờ, giúp phân tích chính xác các xu thế biến động phục vụ quản lý vùng bờ bền vững.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

I. Kết luận:

1. Các kết quả tổng quan cho thấy ứng dụng viễn thám và học máy trong giám sát biến động đường bờ biển là xu thế tất yếu của khoa học Trái đất hiện đại. So với các phương pháp truyền thống còn hạn chế về tần suất cập nhật, chi phí và khả năng phản ánh động lực bờ, cách tiếp cận mới cho phép theo dõi liên tục và khách quan hơn. Trên cơ sở phân tích hệ thống các nghiên cứu trong và ngoài nước, luận án đã làm rõ khoảng trống khoa học liên quan đến đường bờ trong – ranh giới phản ánh trực tiếp quá trình xói lở – bồi tụ dài hạn nhưng chưa được định nghĩa và chuẩn hóa đầy đủ. Từ đó, luận án đề xuất khung tiếp cận mới, kết hợp phân tích hình thái địa mạo với viễn thám độ phân giải cao và học sâu, tạo nền tảng khoa học cho tự động hóa giám sát vùng bờ.

2. Khu vực ven biển từ thành phố Đà Nẵng đến dải ven biển huyện Núi Thành là không gian vùng bờ có mức độ phân hóa cao về địa mạo, động lực biển – sông và mức độ can thiệp của con người. Sự tồn tại đồng thời của bờ biển mở, cửa sông, vũng vịnh và bờ đá, cùng các dạng sử dụng đất ven biển khác nhau, đã tạo nên các kiểu biến động đường bờ không đồng nhất theo không gian. Việc nhận diện rõ các kiểu vùng bờ và lựa chọn khu vực nghiên cứu trọng điểm là cơ sở quan trọng để xây dựng bộ chỉ thị phù hợp và áp dụng hiệu quả các phương pháp viễn thám, GIS và học máy.

3. Luận án đã xây dựng được khung phương pháp nghiên cứu thống nhất, có khả năng tái lập, dựa trên tích hợp viễn thám độ phân giải cao, GIS và các mô hình học máy nhằm nhận dạng đường bờ trong và theo dõi biến động bờ biển. Việc kết hợp dữ liệu đa nguồn (UAV, ảnh vệ tinh độ phân giải cao và Google Earth Pro) cùng quy trình chuẩn hóa và kiểm chứng hình học chặt chẽ đã bảo đảm tính nhất quán không gian

– thời gian của chuỗi dữ liệu, tạo cơ sở tin cậy cho phân tích biến động ở quy mô địa phương và khu vực.

4. Bộ chỉ thị nhận dạng đường bờ trong được xây dựng trên cơ sở kế thừa các tiếp cận quốc tế, đồng thời điều chỉnh phù hợp với điều kiện tự nhiên, địa mạo và thực tiễn quản lý vùng bờ ở Việt Nam, với thành phố Đà Nẵng là nghiên cứu điển hình. Các chỉ thị được lựa chọn và hiệu chỉnh theo đặc điểm phân xạ phổ, hình thái và động lực bờ của các kiểu bờ chủ đạo (bờ cát cao, bờ cát thấp, bờ đá và bờ nhân tạo). Kết quả cho thấy bộ chỉ thị này giúp nâng cao độ chính xác trong nhận dạng ranh giới đường bờ, giảm ảnh hưởng của thủy triều và điều kiện môi trường tức thời, đồng thời bảo đảm tính ổn định cần thiết cho phân tích biến động dài hạn.

5. Kết quả thử nghiệm các mô hình học máy cho thấy mô hình U-Net với kích thước ảnh đầu vào 256×256 đạt độ chính xác cao nhất (98,5%), vượt trội so với các mô hình học máy truyền thống (RF, SVM) và các kiến trúc mạng khác. Mô hình này đã được áp dụng hiệu quả để giải đoán đường bờ trong và đường bờ ngoài tại các khu vực trọng điểm gồm Vịnh Đà Nẵng, Cửa Đại và Núi Thành.

6. Trên cơ sở kết quả nhận dạng và phân tích biến động, luận án đã làm rõ thực trạng và xu thế biến động bờ biển tại các khu vực nghiên cứu. Vịnh Đà Nẵng có xu hướng ổn định tương đối, với xói lở cục bộ phía nam sông Cu Đê và bồi tụ tại khu vực chân đèo Hải Vân. Khu vực Cửa Đại có xu thế xói lở chi phối, tốc độ xói lở trung bình khoảng 1,25 m/năm, trong đó phường Cửa Đại ghi nhận mức xói lở lớn nhất lên tới -41,6 m/năm, trong khi khu vực Duy Hải có xu hướng bồi tụ. Khu vực Núi Thành chịu ảnh hưởng mạnh của sự chuyển dịch dòng chảy cửa sông Trường Giang, với biên độ biến động lớn tại Cửa Lở; xét tổng thể, khu vực này có xu thế bồi tụ nhẹ, khoảng 0,3 m/năm.

7. Các kết quả nghiên cứu không chỉ có ý nghĩa khoa học trong việc làm rõ cơ chế biến đổi hình thái bờ biển, mà còn cung cấp cơ sở thực

tiến cho công tác giám sát, cảnh báo và quản lý vùng bờ. Việc sử dụng đường bờ trong làm ranh giới chuẩn giúp nâng cao độ tin cậy của đánh giá biến động dài hạn, qua đó hỗ trợ hiệu quả cho quy hoạch không gian ven biển và xác định hành lang bảo vệ bờ biển tại thành phố Đà Nẵng và các khu vực có điều kiện tương tự.

II. Kiến nghị:

1. Để triển khai và áp dụng lâu dài kết quả nghiên cứu trong giám sát biến động đường bờ biển, cần chuẩn hóa và tích hợp quy trình ứng dụng viễn thám và học máy, trọng tâm là kết hợp dữ liệu UAV và mô hình U-Net 256, từ thu thập, xử lý ảnh đến trích xuất và quản lý dữ liệu không gian, đồng thời tích hợp trực tiếp vào hệ thống GIS quản lý vùng bờ và gắn với đào tạo, chuyển giao công nghệ cho các đơn vị địa phương.
2. Cần xây dựng cơ sở dữ liệu ảnh UAV ven biển được cập nhật định kỳ, kết hợp với dữ liệu lịch sử để hình thành chuỗi dữ liệu liên tục phục vụ phân tích xói lở – bồi tụ dài hạn và quản lý vùng bờ; đồng thời, trong các nghiên cứu tiếp theo, cần mở rộng tích hợp dữ liệu SAR, Lidar và các yếu tố động lực biển nhằm nâng cao độ chính xác và khả năng dự báo biến động đường bờ

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. **Giang Tuan Linh**, Bui Quang Thanh, Nguyen Thi Dieu Linh, Dang Van Bao, Truong Quang Hai, Phan Trong Trinh, Nguyen Hieu, Ngo Van Liem, Tran Van Truong, Muhammad Yasir, Dang Kinh Bac (2023), “Coastal landscape classification using convolutional neural network and remote sensing data in Vietnam”, *Journal of Environmental Management*, Volume 335, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117537>
2. **Giang Tuan Linh**, Dang Kinh Bac, Bui Quang Thanh (2023), “Coastline and shoreline change assessment in sandy coasts based on machine learning models and high-resolution satellite images”, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 45 (2), 251-270, 2023 DOI: <https://doi.org/10.15625/2615-9783/18407>
3. **Giang Tuấn Linh** và Đặng Kinh Bắc (2024), “Nghiên cứu cơ sở thực tiễn ứng dụng trí tuệ nhân tạo và viễn thám trong đánh giá biến động đường bờ biển Việt Nam”, Sách *Nghiên cứu và đào tạo Việt Nam học: Những vấn đề lý luận và thực tiễn (Research and training in Vietnamese studies: Theoretical and Practical Issue)*. NXB Đại học Quốc gia Hà Nội. ISBN: 978-604-43-4414-0.
4. Nguyễn Diệu Linh, Đặng Kinh Bắc, Phạm Thị Phương Nga, **Giang Tuấn Linh**, 2024, “Đánh giá biến động giá trị dịch vụ hệ sinh thái vùng cửa sông Thu Bồn, tỉnh Quảng Nam”, *Tạp chí Nghiên cứu Địa lý nhân văn*, số 1(42), ISSN 2354-0648.
5. Phạm Thị Phương Nga, Đặng Văn Bào, **Giang Tuấn Linh**, Đặng Kinh Bắc (2024), “Nghiên cứu đánh giá tiềm năng tài nguyên địa mạo cho phát triển du lịch đới bờ biển Đà Nẵng – Quảng Ngãi”, *Kỷ yếu hội nghị khoa học Địa lý toàn quốc lần thứ XIV “Khoa học Địa lý Việt Nam với chuyển đổi số phục vụ phát triển bền vững trong bối cảnh biến đổi toàn cầu”*, Quyển 1. ISBN: 978-604-41-3801-5
6. Dang Kinh Bac, **Giang Tuan Linh** (2025), “Deep learning-assisted detection of coastline shifts at Cua Dai, Vietnam”, book *Advances in the Earth, Mining and Environmental Sciences for Safe and Sustainable Development*, Volume 2, Publish House for Science and Technology, ISBN: 978-604-357-453-1
7. **Giang Tuấn Linh**, Nguyễn Thị Chinh, Đặng Kinh Bắc, Nguyễn Quốc Cường (2025), “Ứng dụng mô hình học sâu và DSAS trong đánh giá biến động đường bờ vịnh Đà Nẵng”, *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ-Địa chất*, 1, 67 (Dec, 2025), 41-53. DOI: [https://doi.org/10.46326/JMES.2026.67\(1\).04](https://doi.org/10.46326/JMES.2026.67(1).04)