

ỨNG DỤNG NỀN TẢNG GOOGLE EARTH ENGINE ĐỂ XÁC ĐỊNH VÙNG ĐẤT CÓ NGUY CƠ NGẬP ĐÓNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TẠI CÁC KHU VỰC VEN BIỂN TỈNH THANH HOÁ

Tô Thị Phượng¹, Lê Thị Giang^{2*}, Trịnh Lê Hùng³

¹Trường Đại học Thành Đông, Hải Dương

²Học viện Nông nghiệp Việt Nam, Hà Nội

³Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội

*Tác giả liên hệ: lethigiang@vnua.edu.vn

Ngày nhận bài: 25.07.2025

Ngày chấp nhận đăng: 30.03.2026

TÓM TẮT

Biến đổi khí hậu và nước biển dâng là thách thức lớn đối với vùng ven biển, đặc biệt là trong công tác quy hoạch và quản lý sử dụng đất. Nghiên cứu này nhằm tính toán diện tích các loại đất tại các xã ven biển tỉnh Thanh Hóa, theo kịch bản nước biển dâng. Dữ liệu sử dụng bao gồm mô hình số độ cao SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), Bộ dữ liệu lớp phủ đất có độ phân giải 10m sử dụng Sentinel-2, có sẵn trên Living Atlas of the World của ESRI (Environmental Systems Research Institute), ranh giới hành chính và các kịch bản nước biển dâng do Bộ Tài nguyên và Môi trường (2020) công bố, tương ứng với các kịch bản RCP (Representative Concentration Pathways) 4.5 và RCP 8.5 tại các mốc thời gian 2050 và 2080. Phân tích được thực hiện trên nền tảng Google Earth Engine. Kết quả cho thấy tổng diện tích khu vực nguy cơ ngập tăng từ 5.477,04ha (RCP 4.5 - 2050) lên 6.875,82ha (RCP 8.5 - 2080). Đất mặt nước là loại hình bị ảnh hưởng nhiều nhất, trong khi đất xây dựng và đất nông nghiệp có nguy cơ gia tăng đáng kể, đặc biệt tại các xã Sầm Sơn, Hoàng Thanh, Hoàng Châu. Nghiên cứu khẳng định tính cấp thiết của việc tích hợp kịch bản biến đổi khí hậu vào quy hoạch sử dụng đất ven biển, phân tích và ra quyết định quy hoạch không gian.

Từ khóa: Nước biển dâng, sử dụng đất, mô hình số độ cao, ảnh vệ tinh.

Applying the Google Earth Engine (GEE) Platform to Identify Flood-Risk Areas Due to Climate Change Impacts in Coastal Areas of Thanh Hoa Province

ABSTRACT

Climate change and sea level rise pose significant challenges to coastal areas, particularly in land use planning and management. This study aimed to calculate the inundated areas of different land use types in coastal communes of Thanh Hoa province under various sea level rise scenarios. The datasets used included the SRTM Digital Elevation Model (Shuttle Radar Topography Mission DEM), ESRI 10m Global Land Cover data, administrative boundaries, and sea level rise scenarios published by the Ministry of Natural Resources and Environment (MONRE, 2020), corresponding to the RCP (Representative Concentration Pathways) 4.5, and RCP 8.5 scenarios for the years 2050 and 2080. The analysis was conducted on the Google Earth Engine (GEE) platform. The results show that the total area at risk of inundation was projected to increase from 5.477,04ha (RCP 4.5 - 2050) to 6.875,82ha (RCP 8.5 - 2080). Water surface areas were the most affected land type, while built-up and agricultural lands showed a notable increase in flood risk, particularly in Sam Son, Hoang Thanh, and Hoang Chau communes. The study highlighted the urgent need to integrate climate change scenarios into coastal land use planning, spatial analysis, and decision-making processes.

Keywords: Sea level rise, land use, DEM, satellite images.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Biến đổi khí hậu đang trở thành thách thức

toàn cầu, gây ra những tác động nghiêm trọng đến môi trường, kinh tế và đời sống con người (Adedeji & cs., 2014; Gahlawat & Lakra, 2020).

Ứng dụng nền tảng Google Earth Engine để xác định vùng đất có nguy cơ ngập do tác động của biến đổi khí hậu tại các khu vực ven biển tỉnh Thanh Hóa

Một trong những hệ quả quan trọng của biến đổi khí hậu là nước biển dâng, hiện tượng này có thể dẫn đến tình trạng ngập lụt, xói lở bờ biển, xâm nhập mặn và mất đất sản xuất tại khu vực ven biển (Griggs & Reguero, 2021; Roy & cs., 2023; Trinh & cs., 2025). Theo các kịch bản dự báo của Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC), mực nước biển toàn cầu có thể dâng cao vào cuối thế kỷ XXI nếu không có biện pháp giảm thiểu hiệu quả (Slangen & cs., 2012; Siebert & cs., 2020). Tại Việt Nam, nước biển dâng được dự báo sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến khu vực ven biển, đe dọa sinh kế, cư trú và an ninh lương thực của hàng triệu người dân.

Thanh Hóa là một trong những tỉnh ven biển trọng điểm của Việt Nam, với đường bờ biển dài khoảng 102km và nhiều khu vực dân cư, cơ sở hạ tầng, đất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản tập trung tại các vùng trũng thấp (Nguyen & cs., 2021; Le & cs., 2024). Trước những tác động của biến đổi khí hậu, đặc biệt là nguy cơ nước biển dâng, khu vực ven biển tỉnh Thanh Hóa được đánh giá là vùng dễ bị tổn thương, có nguy cơ ngập lụt cao và sẽ chịu nhiều tác động tiêu cực đến sử dụng đất nếu không có giải pháp quản lý thích ứng kịp thời (Nguyen & Hens; 2019, Huong & cs., 2024).

Tuy nhiên, trong thực tiễn quy hoạch sử dụng đất hiện nay, yếu tố nước biển dâng vẫn chưa được tích hợp đầy đủ vào các kịch bản phát triển không gian và phương án sử dụng đất lâu dài (Hansen, 2010; Nicholls, 2011). Việc thiếu dữ liệu cập nhật, thiếu công cụ phân tích hiện đại và việc đánh giá nguy cơ còn mang tính chất định tính là những hạn chế lớn trong công tác quản lý đất đai vùng ven biển. Điều này đặt ra nhu cầu cấp thiết cần có những nghiên cứu chuyên sâu ứng dụng công nghệ viễn thám và hệ thống thông tin địa lý (GIS) để mô phỏng phạm vi ngập lụt theo các kịch bản nước biển dâng và đánh giá tác động đến hiện trạng sử dụng đất (Amatebelle & cs., 2025).

Xuất phát từ những vấn đề trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm tính toán, đánh giá ảnh hưởng của nước biển dâng đến hiện trạng sử dụng đất vùng ven biển tỉnh Thanh Hóa thông qua việc tích hợp mô hình số độ cao (DEM), dữ liệu sử dụng đất, ranh giới hành

chính và các kịch bản nước biển dâng. Nghiên cứu sử dụng nền tảng điện toán đám mây GEE để xử lý, chồng lớp và phân tích dữ liệu nhằm cung cấp cơ sở khoa học phục vụ công tác quy hoạch, quản lý sử dụng đất thích ứng với biến đổi khí hậu cho khu vực nghiên cứu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khu vực nghiên cứu

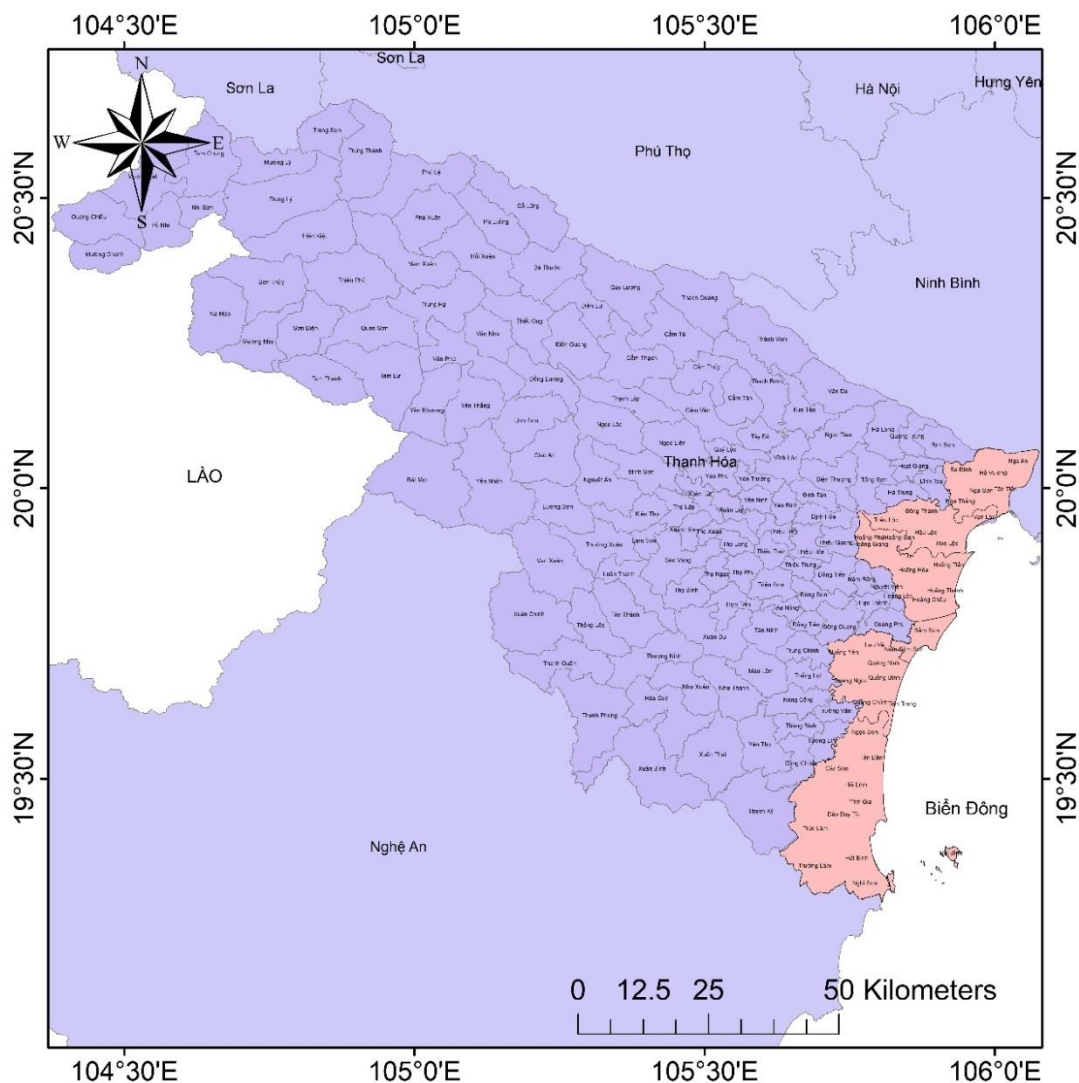
Khu vực nghiên cứu là vùng ven biển của tỉnh Thanh Hóa, trải dài theo đường bờ biển từ Bắc xuống Nam, trước đây gọi là các huyện Nga Sơn, Hậu Lộc, Hoàng Hóa, Quảng Xương, thành phố Sầm Sơn và thị xã Nghi Sơn (hiện nay là các xã, phường Nga An, Ba Đình, Hồ Vương, Tân Tiến, Nga Sơn, Nga Thắng, Đông Thành, Triệu Lộc, Hoa Lộc, Hậu Lộc, Vạn Lộc, Hoàng Sơn, Hoàng Phú, Hoàng Giang, Hoàng Hoá, Hoàng Lộc, Hoàng Châu, Hoàng Thanh, Hoàng Tiến, Sầm Sơn, Nam Sầm Sơn, Lưu Vệ, Quảng Yên, Quảng Ngọc, Quảng Ninh, Quảng Bình, Quảng Chính, Tiên Trang, Ngọc Sơn, Tân Dân, Các Sơn, Hải Lĩnh, Tĩnh Gia, Đào Duy Từ, Trúc Lâm, Trường Lâm, Hải Bình, Nghi Sơn) (Hình 1).

Đây là khu vực có vị trí địa lý đặc thù, phần lớn diện tích giáp biển Đông với các hệ sinh thái đặc trưng như đầm phá, rừng ngập mặn, cửa sông và vùng đất thấp ven biển.

Dải đất ven biển này có đặc điểm chung là địa hình thấp, nhiều khu vực có nguy cơ bị ảnh hưởng nặng nề bởi nước biển dâng. Do đó, việc đánh giá ảnh hưởng của các kịch bản nước biển dâng đến hiện trạng sử dụng đất tại vùng ven biển Thanh Hóa là cần thiết để hỗ trợ công tác quản lý đất đai và xây dựng phương án quy hoạch thích ứng với biến đổi khí hậu.

2.2. Dữ liệu sử dụng

Nhằm phục vụ cho mục tiêu đánh giá ảnh hưởng của nước biển dâng đến công tác quản lý sử dụng đất vùng ven biển tỉnh Thanh Hóa, nghiên cứu sử dụng tổng hợp dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau. Các nguồn dữ liệu được lựa chọn nhằm đảm bảo tính cập nhật, độ tin cậy và khả năng tích hợp phân tích không gian trên nền tảng GEE.



Hình 1. Sơ đồ vị trí khu vực nghiên cứu

Dữ liệu địa hình: Mô hình số độ cao (DEM) được sử dụng để mô phỏng các khu vực có nguy cơ ngập lụt khi mực nước biển dâng. Trong nghiên cứu này sử dụng dữ liệu DEM SRTM với độ phân giải 30m, phù hợp với quy mô khu vực nghiên cứu (Farr & cs., 2007) (Hình 2). Dữ liệu DEM giúp xây dựng bản đồ địa hình nền, từ đó xác định các khu vực có cao độ thấp, nơi dễ bị tác động trong các kịch bản nước biển dâng.

Dữ liệu ranh giới hành chính: Dữ liệu ranh giới vùng ven biển (được lấy theo khu vực mà trước đây là các đơn vị hành chính cấp huyện cũ) được sử dụng để khoanh vùng phạm vi nghiên cứu, phục vụ việc thống kê diện tích bị ảnh hưởng theo từng địa phương ven biển.

Kịch bản nước biển dâng: Nghiên cứu áp dụng các kịch bản nước biển dâng năm 2020 do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố, được xây dựng dựa trên các kịch bản biến đổi khí hậu toàn cầu của IPCC (IPCC, 2019; Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2020).

Dữ liệu sử dụng đất: Dữ liệu lớp phủ đất trong nghiên cứu được xây dựng từ ảnh vệ tinh Sentinel-2 chụp ngày 23/03/2025 với độ phân giải không gian 10m. Ảnh được xử lý và phân loại bằng thuật toán Random Forest, cho kết quả độ chính xác tổng thể đạt 91,24%. Kết quả phân loại lớp phủ đất cung cấp thông tin chi tiết về hiện trạng sử dụng đất trong khu vực nghiên cứu, làm cơ sở phân tích mức độ tác động của

Ứng dụng nền tảng Google Earth Engine để xác định vùng đất có nguy cơ ngập do tác động của biến đổi khí hậu tại các khu vực ven biển tỉnh Thanh Hoá

nước biển dâng đối với từng loại hình sử dụng đất (Hình 3).

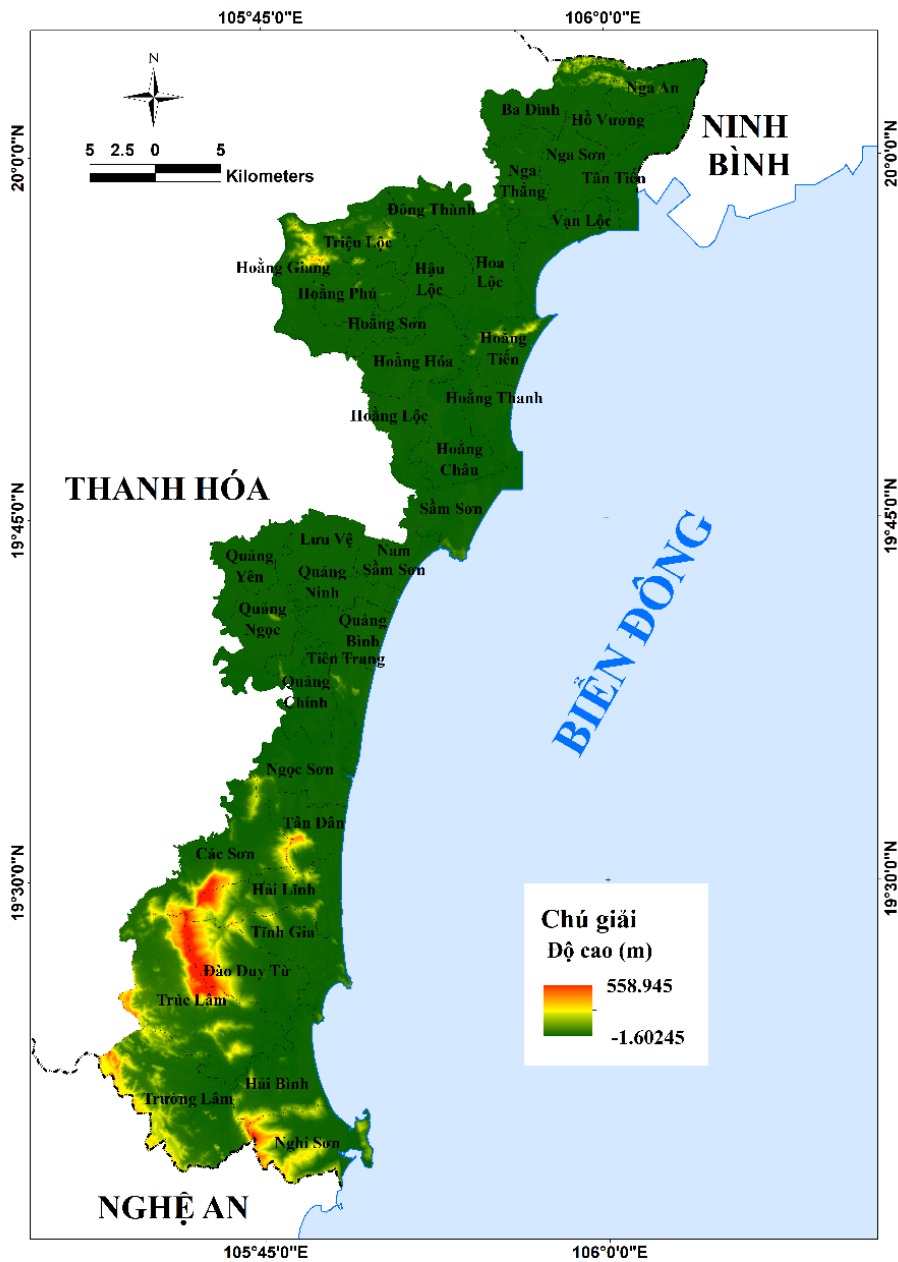
2.3. Phương pháp và nội dung nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp nghiên cứu

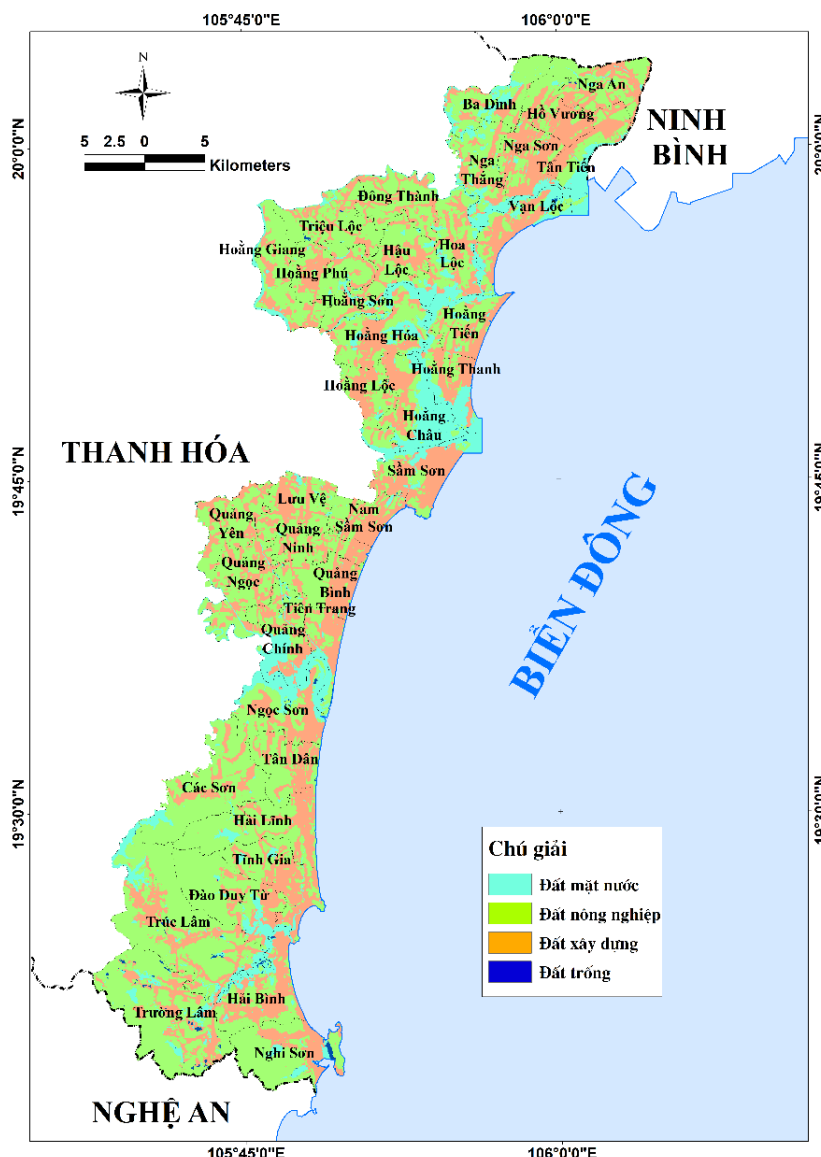
- Phương pháp thu thập và chuẩn hóa dữ liệu không gian: Dữ liệu đầu vào bao gồm mô hình số độ cao (DEM), bản đồ hiện trạng sử dụng đất, ranh giới hành chính và các dữ liệu liên quan đến kịch bản nước biển dâng. Toàn bộ dữ liệu được chuẩn hóa về cùng hệ tọa độ, độ

phân giải không gian và định dạng dữ liệu nhằm đảm bảo tính thống nhất và khả năng tích hợp trong quá trình phân tích không gian.

- Phương pháp mô phỏng vùng ngập bằng đại số bản đồ: Trên cơ sở DEM và các kịch bản nước biển dâng, nghiên cứu áp dụng phép toán đại số bản đồ để xác định các khu vực có cao độ thấp hơn mực nước biển tương ứng với từng kịch bản. Kết quả mô phỏng cho phép xác định phạm vi ngập tiềm năng ban đầu theo nguyên tắc so sánh cao độ địa hình với mực nước biển dâng giả định.



Hình 2. Bản đồ mô hình số độ cao khu vực nghiên cứu



Hình 3. Bản đồ lớp phủ đất khu vực nghiên cứu

- Phương pháp phân tích kết nối không gian: Để nâng cao độ tin cậy của kết quả mô phỏng, nghiên cứu tiến hành phân tích tính liên thông không gian giữa các vùng ngập tiềm năng và biển. Các khu vực trung nội địa không có sự kết nối thủy văn trực tiếp với biển được loại trừ khỏi phạm vi ngập, qua đó hạn chế hiện tượng đánh giá quá mức diện tích chịu tác động của nước biển dâng.

- Phương pháp phân tích chồng lớp không gian và thống kê diện tích: Bản đồ vùng ngập cuối cùng của từng kịch bản được chồng lớp với bản đồ hiện trạng sử dụng đất nhằm xác định

các loại hình sử dụng đất chịu tác động. Trên cơ sở đó, nghiên cứu tiến hành thống kê diện tích các loại đất bị ảnh hưởng, phục vụ cho việc đánh giá mức độ tác động của nước biển dâng đến cơ cấu sử dụng đất trong khu vực nghiên cứu.

2.3.2. Nội dung nghiên cứu

Cụ thể, sau khi thu thập, các lớp dữ liệu được xử lý và chuẩn hóa nhằm đảm bảo tính đồng bộ và độ chính xác trong quá trình phân tích không gian. Quy trình xử lý dữ liệu bao gồm ba nội dung chính: xác định các kịch bản nước biển dâng và thu thập dữ liệu đầu vào, xác định vùng ngập và chồng lớp phân tích.

Ứng dụng nền tảng Google Earth Engine để xác định vùng đất có nguy cơ ngập do tác động của biến đổi khí hậu tại các khu vực ven biển tỉnh Thanh Hoá

Nội dung 1. Xác định các kịch bản nước biển dâng và thu thập dữ liệu đầu vào:

Nội dung này tập trung tổng hợp và lựa chọn các kịch bản nước biển dâng theo các kịch bản phát thải RCP (4.5, 8.5) cho các mốc thời gian (2050, 2080). Đồng thời thu thập các bộ dữ liệu nền gồm DEM, bản đồ hiện trạng sử dụng đất, ranh giới hành chính và các dữ liệu không gian phục vụ mô phỏng. Mục tiêu của nội dung 1 là xây dựng bộ dữ liệu đầu vào đồng bộ, làm cơ sở cho các bước phân tích tiếp theo.

Nội dung 2. Xác định vùng ngập do nước biển dâng:

Nghiên cứu sử dụng mô hình số độ cao kết hợp với các kịch bản mực nước biển dâng để xác định phạm vi ngập tiềm năng theo phương pháp đại số bản đồ trên nền tảng GEE. Cụ thể, lớp DEM được sử dụng làm lớp dữ liệu cơ sở để trích xuất cao độ địa hình. Với mỗi kịch bản mực nước biển dâng, quá trình phân tích được thực hiện theo các bước:

(1) Chuẩn hóa DEM về cùng hệ quy chiếu không gian.

(2) Áp dụng phép toán điều kiện (độ cao \leq mực nước biển dâng) để xác định các ô raster có cao độ nhỏ hơn hoặc bằng mực nước biển dâng giả định, đây được coi là vùng ngập tiềm năng ban đầu.

(3) Để loại trừ các vùng trũng nội địa không có khả năng bị ngập do không kết nối thủy văn với biển, nghiên cứu áp dụng phân tích kết nối không gian (connected component analysis), giữ lại các vùng ô raster liên thông trực tiếp với đường bờ biển hiện tại (xác định từ lớp đất mặt nước từ phân loại ảnh).

(4) Các kết quả sau xử lý được chuyển đổi thành bản đồ vùng ngập tiềm năng tương ứng với từng kịch bản RCP (4.5, 8.5) cho các mốc thời gian 2050 và 2080.

Nội dung 3. Phân tích chồng lớp:

Các lớp bản đồ nguy cơ ngập được chồng lên lớp bản đồ hiện trạng sử dụng đất để xác định phạm vi và loại hình sử dụng đất có khả năng bị ảnh hưởng dưới từng kịch bản nước biển dâng. Thông qua thao tác chồng lớp và tính toán thống kê diện tích các lớp đất nằm trong vùng ngập, nghiên cứu xác định được mức độ tác động

đối với từng loại hình sử dụng đất.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kịch bản nước biển dâng toàn khu vực biển Đông

Theo Bộ Tài nguyên và Môi trường (2020), mực nước biển tại khu vực biển Đông có xu hướng tăng dần theo các kịch bản nồng độ khí nhà kính. Nghiên cứu sử dụng hai kịch bản mô phỏng gồm: RCP 4.5 (nồng độ trung bình thấp) và RCP 8.5 (nồng độ cao).

Các kịch bản này phản ánh sự thay đổi mực nước biển trung bình dài hạn do biến đổi khí hậu. Tuy nhiên, kịch bản chưa xét đến các yếu tố tức thời như nước dâng do bão, gió mùa, thủy triều hay sụt lún đất (Cục Khí tượng Thủy văn, 2020). Do đó, kết quả mô phỏng chủ yếu phản ánh nguy cơ ngập dài hạn, phục vụ định hướng quy hoạch và quản lý sử dụng đất thích ứng.

Bảng 1 thể hiện mức nước biển dâng trung bình khu vực biển Đông theo hai kịch bản nồng độ khí nhà kính (RCP 4.5 và RCP 8.5) tại các mốc thời gian của thế kỷ XXI, bao gồm các năm 2050 và 2080. Kết quả cho thấy mực nước biển có xu hướng tăng dần theo thời gian ở tất cả các kịch bản, trong đó kịch bản RCP 8.5, kịch bản nồng độ cao, thể hiện mức độ dâng cao nhất. Cụ thể, đến năm 2080, mực nước biển được dự báo tăng khoảng 42cm theo RCP 4.5 và lên tới 52cm theo RCP 8.5. Mức chênh lệch giữa các kịch bản thể hiện rõ sự phụ thuộc vào mức độ nồng độ khí nhà kính toàn cầu, đồng thời nhấn mạnh tầm quan trọng của việc chuẩn bị giải pháp quản lý và quy hoạch sử dụng đất thích ứng trong điều kiện bất lợi nhất.

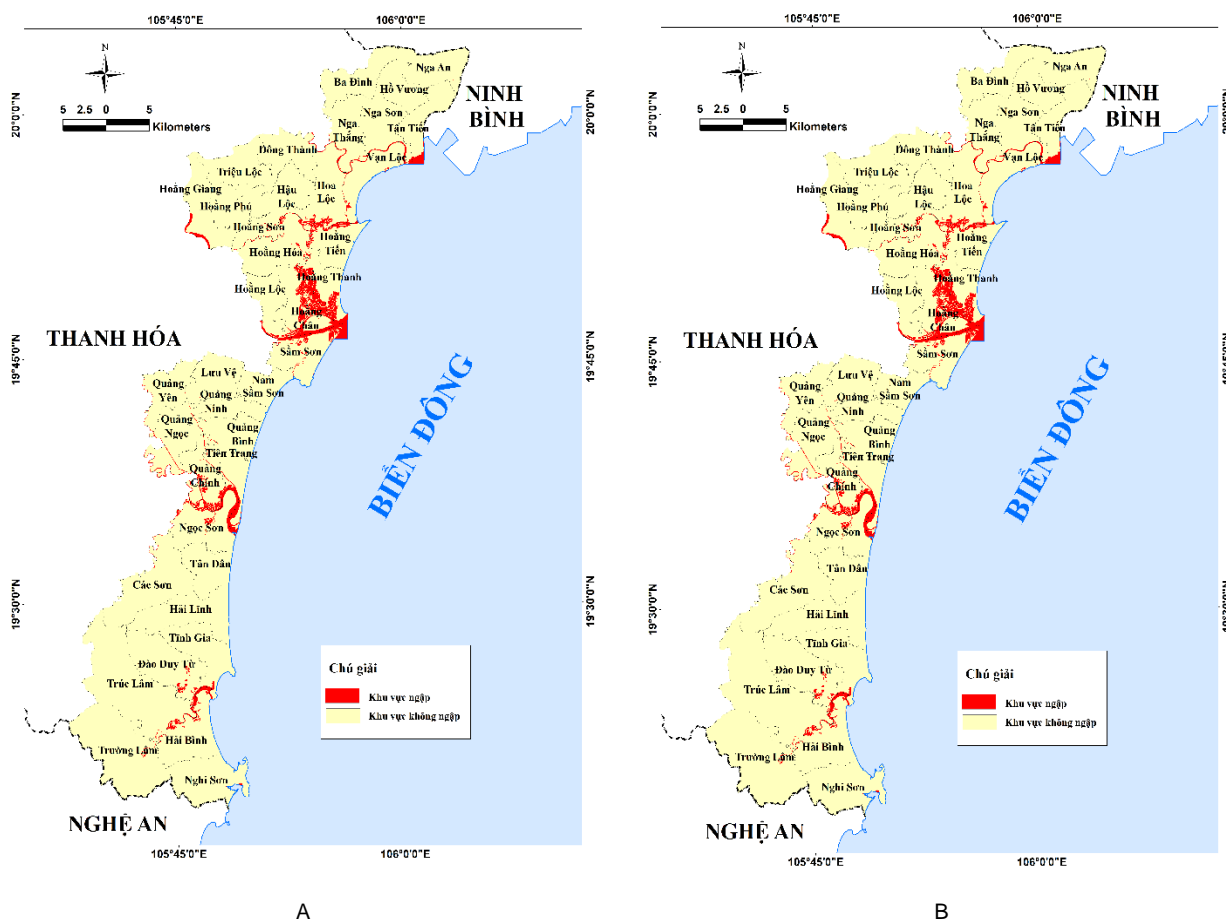
3.2. Kết quả bản đồ nguy cơ ngập khu vực nghiên cứu theo kịch bản

Các bản đồ trong hình 4 và hình 5 thể hiện phạm vi ngập lụt khu vực ven biển tỉnh Thanh Hóa theo hai kịch bản nước biển dâng RCP 4.5 và RCP 8.5 tại các thời điểm 2050 và 2080. Kết quả cho thấy xu hướng gia tăng rõ rệt diện tích ngập theo thời gian và sự gia tăng này tương đồng với với kịch bản biến đổi khí hậu năm 2020 của Bộ Tài nguyên và Môi trường.

Bảng 1. Kích bản nước biển dâng toàn khu vực Biển Đông
(Đơn vị: cm)

Kích bản	Các mốc thời gian của thế kỷ XXI	
	2050	2080
RCP 4.5	23	42
RCP 8.5	26	52

Nguồn: Bộ Tài nguyên và Môi trường (2020).



Hình 4. Bản đồ nguy cơ ngập khu vực nghiên cứu theo kịch bản RCP 4.5: (A) 2050; (B) 2080

Ở kịch bản RCP 4.5 (Hình 4), diện tích bị ảnh hưởng tập trung ở phía Đông tỉnh Thanh Hoá, đặc biệt là tại các khu vực có mật độ dân cư và sản xuất nông nghiệp ven biển, phạm vi ngập chủ yếu tập trung tại các khu vực ven biển thấp trũng như khu vực mà trước đây gọi là xã Sầm Sơn, Hoàng Thanh, Hoàng Châu. Đến kịch bản RCP 8.5 (Hình 5), mức độ ngập tăng mạnh, bao phủ diện rộng hơn dọc theo toàn tuyến bờ biển, đặc biệt rõ tại các khu vực mà trước đây

gọi là xã Ngọc Sơn, Sầm Sơn, Hoàng Thanh, Hoàng Châu.

3.3. Kết quả diện tích khu vực nguy cơ ngập theo xã khu vực nghiên cứu

Bảng 2 trình bày diện tích khu vực các xã có nguy cơ ngập tại khu vực ven biển tỉnh Thanh Hóa theo hai kịch bản nước biển dâng (RCP 4.5, RCP 8.5) tại các thời điểm năm 2050 và 2080. Nhìn chung, diện tích ngập có xu

Ứng dụng nền tảng Google Earth Engine để xác định vùng đất có nguy cơ ngập do tác động của biến đổi khí hậu tại các khu vực ven biển tỉnh Thanh Hoá

hướng tăng theo thời gian và mức độ nồng độ khí nhà kính. Tổng diện tích nguy cơ ngập toàn khu vực tăng từ năm 2050 đến 2080, thể hiện rõ tác động tích lũy của nước biển dâng trong điều kiện nồng độ khí nhà kính.

Dựa trên kết quả tính toán diện tích ngập theo các kịch bản nước biển dâng, năm 2050 là mốc bản lề phản ánh rõ trạng thái rủi ro trung hạn của khu vực nghiên cứu, trong khi giai đoạn đến năm 2080 mang tính định hướng chiến lược dài hạn (Bảng 2). Ở mốc 2050, tổng diện tích ngập theo hai kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 hầu như không có sự khác biệt đáng kể, lần lượt đạt 5.477,04ha và 5.478,21ha, cho thấy trong trung hạn, tác động của nước biển dâng chưa nhạy mạnh với mức nồng độ phát thải. Điều này hàm ý rằng rủi ro ngập tại thời điểm 2050 chủ yếu bị chi phối bởi đặc điểm tự nhiên, địa hình thấp trũng, vị trí ven biển và cửa sông, cũng như hiện trạng sử dụng đất và mức độ phơi bày của các khu dân cư, hơn là sự khác biệt giữa các kịch bản khí hậu. Do đó, quy hoạch thích ứng đến năm 2050 cần tập trung vào quản lý không gian rủi ro, xác định và kiểm soát chặt chẽ các “điểm nóng” ngập lụt đã bộc lộ rõ ràng.

Đến năm 2050, diện tích ngập tập trung chủ yếu tại các xã ven biển, nổi bật là Hoàng Châu (hơn 1.070ha), Hoàng Thanh (~ 659ha) và Sầm Sơn (~ 545ha), chiếm hơn 40% tổng diện tích ngập. Trong khi đó, nhiều xã nội địa hầu như chưa chịu tác động, cho thấy rủi ro tập trung ở các vùng thấp trũng ven biển.

Năm 2050 được xem là ngưỡng cảnh báo sớm, cần hạn chế mở rộng đô thị tại vùng ngập và tăng cường hạ tầng chống ngập. Đến năm 2080, diện tích ngập tiếp tục tăng, đặc biệt dưới kịch bản RCP 8.5; riêng Hoàng Châu tăng hơn 405 ha so với 2050, cho thấy cần sớm tích hợp thích ứng nước biển dâng vào quy hoạch sử dụng đất.

3.4. Kết quả diện tích khu vực nguy cơ ngập theo lớp phủ đất khu vực nghiên cứu

Bảng 4 cho thấy diện tích các loại hình sử dụng đất nằm trong vùng nguy cơ ngập theo hai kịch bản nước biển dâng vào các năm 2050 và

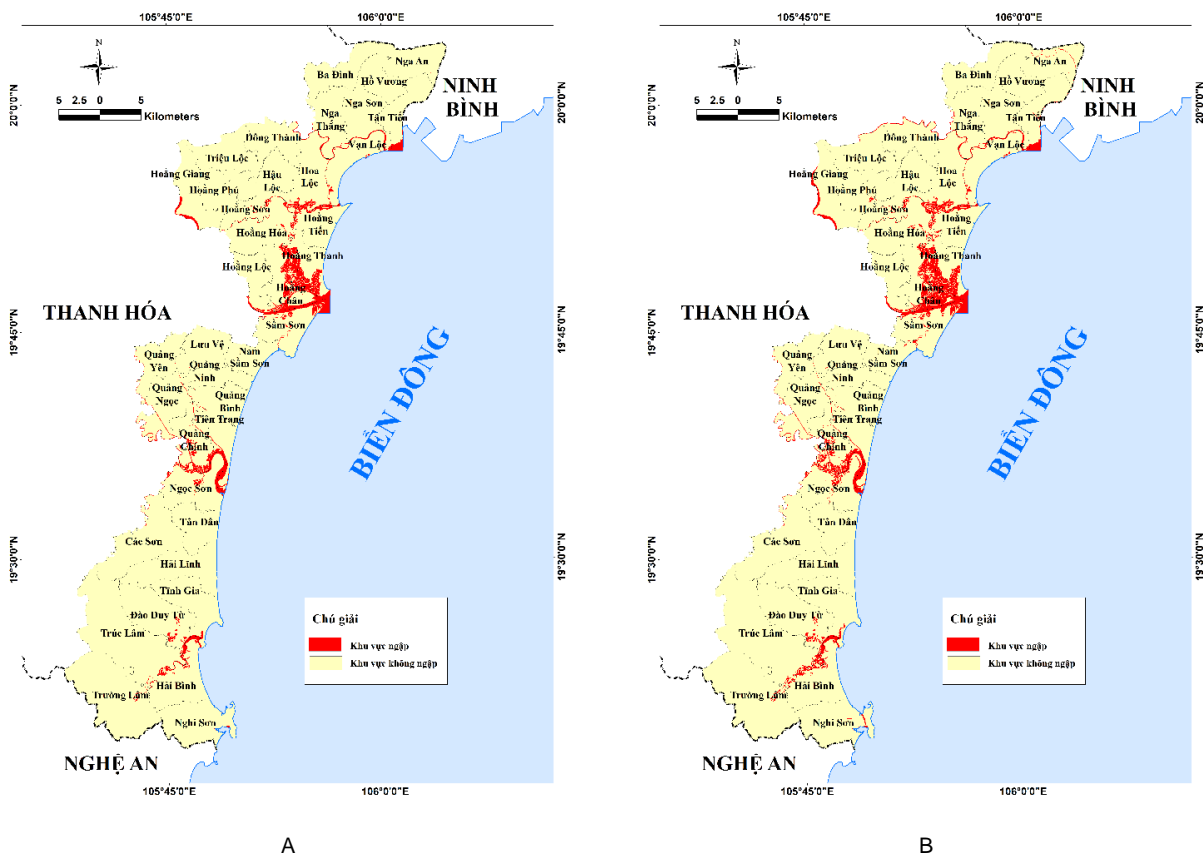
2080. Năm 2050, tổng diện tích ngập khoảng 5.477-5.478ha, gần như không có sự khác biệt giữa hai kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5. Trong cơ cấu sử dụng đất, đất mặt nước chiếm ưu thế tuyệt đối (~ 4.886ha, gần 90%), phản ánh đặc điểm tự nhiên của khu vực với nhiều đầm phá, ao hồ và vùng nuôi trồng thủy sản ven biển. Đất nông nghiệp trong vùng nguy cơ ngập đạt khoảng 407ha, cho thấy sản xuất nông nghiệp ven biển bắt đầu chịu áp lực thích ứng. Bên cạnh đó, đất xây dựng (~ 143ha) và đất trống (~ 41ha) tuy chiếm tỷ lệ nhỏ nhưng cho thấy rủi ro đã xuất hiện đối với khu dân cư và hạ tầng.

Đến năm 2080, diện tích ngập tăng rõ rệt lên khoảng 6.875ha, đặc biệt dưới kịch bản RCP 8.5. Đất mặt nước vẫn chiếm tỷ trọng lớn nhất, trong khi đất nông nghiệp và đất xây dựng đều gia tăng diện tích bị ảnh hưởng, cho thấy rủi ro không còn giới hạn ở các vùng tự nhiên mà bắt đầu lan sang các không gian phát triển kinh tế xã hội. Xu thế này đặt ra yêu cầu cần sớm điều chỉnh quy hoạch sử dụng đất và dành quỹ đất thích ứng ngay từ giai đoạn 2050.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng thành công bộ bản đồ mô phỏng vùng ngập do nước biển dâng cho khu vực ven biển tỉnh Thanh Hóa theo các kịch bản khí hậu RCP 4.5 và RCP 8.5 tại các mốc thời gian 2050 và 2080 trên nền tảng Google Earth Engine. Kết quả phân tích cho thấy diện tích ngập có xu hướng gia tăng rõ rệt theo thời gian và theo mức độ phát thải khí nhà kính, trong đó kịch bản RCP 8.5 thể hiện mức độ rủi ro cao nhất. Cụ thể, tổng diện tích bị ảnh hưởng vào năm 2050 dao động trong khoảng 5,47-5,578ha, phản ánh mức rủi ro trung hạn đã hiện hữu nhưng sự khác biệt giữa các kịch bản còn chưa rõ nét. Tuy nhiên, đến năm 2080, diện tích ngập tăng mạnh, đạt 6.875,82ha theo kịch bản RCP 8.5, tương ứng mức gia tăng gần 1.400ha so với năm 2050. Điều này cho thấy nếu không có các biện pháp giảm phát thải và thích ứng hiệu quả, tác động của nước biển dâng sẽ ngày càng nghiêm trọng trong dài hạn.



Hình 5. Bản đồ nguy cơ ngập khu vực nghiên cứu theo kịch bản RCP 8.5: (A) 2050; (B) 2080

Xét theo phân bố không gian, các địa phương chịu ảnh hưởng nặng nề nhất gồm Hoàng Châu, Hoàng Thành và Sầm Sơn, là những khu vực tập trung cao về dân cư, hạ tầng, sản xuất và hoạt động du lịch ven biển. Xét theo loại hình sử dụng đất, đất mặt nước chiếm tỷ trọng lớn nhất trong cơ cấu diện tích ngập, đạt khoảng 6.015ha vào năm 2080 (RCP 8.5), phản ánh tính dễ bị tổn thương cao của các khu vực đầm phá, ao hồ và nuôi trồng thủy sản. Đáng chú ý, đất xây dựng và đất nông nghiệp đều ghi nhận xu hướng gia tăng diện tích bị ảnh hưởng, trong đó đất xây dựng tăng khoảng 241ha và đất nông nghiệp tăng hơn 85ha, làm gia tăng nguy cơ đối với an toàn dân cư, hạ tầng kỹ thuật và an ninh lương thực địa phương.

4.2. Kiến nghị

Từ các kết quả nghiên cứu, một số kiến nghị được đề xuất nhằm nâng cao hiệu quả quản lý

rủi ro và thích ứng với nước biển dâng tại vùng ven biển tỉnh Thanh Hóa:

- Lồng ghép kịch bản nước biển dâng vào quy hoạch sử dụng đất và quy hoạch không gian ven biển, đặc biệt đối với các khu vực có nguy cơ cao như Hoàng Châu, Hoàng Thành, Sầm Sơn, Hoàng Hóa, Nghi Sơn và Quảng Xương, nhằm hạn chế mở rộng đất xây dựng và hạ tầng tại các vùng trũng thấp, dễ bị ngập.

- Ưu tiên các giải pháp thích ứng và phòng chống ngập cho khu vực ven biển, bao gồm kết hợp giữa giải pháp công trình (đê kè, nâng cao nền, cải thiện hệ thống thoát nước) và giải pháp phi công trình (không gian đệm sinh thái, phục hồi rừng ngập mặn, chuyển đổi cơ cấu sử dụng đất phù hợp).

- Bảo vệ và định hướng chuyển đổi hợp lý đất nông nghiệp và đất nuôi trồng thủy sản, nhằm giảm thiểu rủi ro mất sinh kế và đảm bảo an ninh lương thực cho cộng đồng ven biển trong bối cảnh nước biển dâng.

Ứng dụng nền tảng Google Earth Engine để xác định vùng đất có nguy cơ ngập do tác động của biến đổi khí hậu tại các khu vực ven biển tỉnh Thanh Hoá

Bảng 2. Diện tích khu vực nguy cơ ngập theo xã khu vực nghiên cứu (Đơn vị: ha)

Xã	2050		2080	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Tân Dân	4,14	4,14	4,14	5,04
Trường Lâm	31,59	31,68	31,68	46,8
Đào Duy Từ	152,55	152,64	152,91	180,09
Hoàng Tiến	237,33	237,33	237,33	252,27
Nghi Sơn	33,03	33,12	33,66	62,82
Triệu Lộc	0	0	0	25,11
Hoằng Lộc	97,38	97,38	97,56	97,65
Hải Bình	266,04	266,13	267,12	308,61
Hậu Lộc	16,74	16,74	16,74	22,41
Nga An	0,45	0,45	0,63	37,08
Quảng Yên	19,26	19,26	19,26	23,04
Hồ Vương	0	0	0	0
Quảng Chính	378,09	378,18	380,43	493,38
Trúc Lâm	55,98	55,98	55,98	156,51
Hoằng Sơn	38,07	38,07	38,07	63,81
Tĩnh Gia	48,24	48,24	48,42	62,01
Hoa Lộc	260,19	260,19	260,55	308,25
Sầm Sơn	544,95	545,04	545,31	601,74
Các Sơn	18,9	18,9	19,26	20,07
Hoằng Thanh	658,62	658,62	659,34	728,46
Hoằng Châu	1071,9	1072,08	1074,33	1436,31
Nam Sầm Sơn	3,15	3,15	3,15	22,77
Đông Thành	17,28	17,28	17,28	74,52
Tiên Trang	234,63	234,63	234,9	235,62
Quảng Bình	8,01	8,01	8,28	8,46
Quảng Ngọc	106,83	106,83	107,55	119,97
Ba Đình	0	0	0	0
Quảng Ninh	2,43	2,43	2,52	2,7
Hoằng Giang	138,51	138,51	138,51	212,4
Ngọc Sơn	428,58	428,58	429,12	538,65
Hoằng Phú	0	0	0	0
Lưu Vệ	1,71	1,71	1,98	4,5
Hải Lĩnh	3,15	3,15	3,15	3,15
Nga Thắng	61,56	61,56	61,56	75,87
Nga Sơn	75,06	75,06	76,05	78,48
Tân Tiến	153,9	154,35	155,25	194,31
Hoằng Hóa	151,83	151,83	152,01	192,51
Vạn Lộc	156,96	156,96	157,5	180,45
Tổng	5.477,04	5.478,21	5.491,53	6.875,82

Bảng 3. Thống kê những xã trong khu vực nghiên cứu có diện tích ngập trên 100ha
(Đơn vị: ha)

Xã	2050		2080	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Quảng Ngọc	106,83	106,83	107,55	119,97
Hoàng Giang	138,51	138,51	138,51	212,4
Hoàng Hóa	151,83	151,83	152,01	192,51
Đào Duy Từ	152,55	152,64	152,91	180,09
Tân Tiến	153,9	154,35	155,25	194,31
Vạn Lộc	156,96	156,96	157,5	180,45
Tiên Trang	234,63	234,63	234,9	235,62
Hoàng Tiến	237,33	237,33	237,33	252,27
Hoa Lộc	260,19	260,19	260,55	308,25
Hải Bình	266,04	266,13	267,12	308,61
Quảng Chính	378,09	378,18	380,43	493,38
Ngọc Sơn	428,58	428,58	429,12	538,65
Sâm Sơn	544,95	545,04	545,31	601,74
Hoàng Thanh	658,62	658,62	659,34	728,46
Hoàng Châu	1.071,9	1.072,08	1.074,33	1.436,31

Bảng 4. Diện tích khu vực nguy cơ ngập theo lớp phủ đất khu vực nghiên cứu (Đơn vị: ha)

HTSDD	2050		2080	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Đất mặt nước	4.885,83	4.886,73	4.897,62	6.015,69
Đất nông nghiệp	407,16	407,43	409,5	533,34
Đất xây dựng	143,19	143,19	143,37	241,47
Đất trống	40,86	40,86	41,04	85,32
Tổng	5.477,04	5.478,21	5.491,53	6.875,82

- Trong các nghiên cứu tiếp theo, cần kết hợp mô hình thủy lực, thủy văn chi tiết với dữ liệu địa hình độ phân giải cao (LiDAR, UAV), đồng thời tích hợp các yếu tố kinh tế xã hội và hệ thống công trình phòng hộ để nâng cao độ chính xác và giá trị ứng dụng của kết quả mô phỏng.

- Tiếp tục phát huy và mở rộng ứng dụng nền tảng GEE trong giám sát biến đổi môi trường ven biển và hỗ trợ ra quyết định, đặc biệt trong bối cảnh yêu cầu chuyển đổi số và quản lý tài nguyên môi trường ngày càng cao.

Việc ứng dụng nền tảng GEE đã chứng minh hiệu quả trong xử lý dữ liệu viễn thám đa

nguồn, mô phỏng không gian rủi ro và phân tích kịch bản ở quy mô cấp tỉnh, qua đó cung cấp cơ sở khoa học đáng tin cậy cho công tác đánh giá nguy cơ ngập và hỗ trợ quy hoạch sử dụng đất thích ứng với biến đổi khí hậu. Mặc dù vẫn còn một số hạn chế liên quan đến độ phân giải mô hình địa hình và việc chưa tích hợp đầy đủ các yếu tố động lực thủy văn, nghiên cứu đã thiết lập được khung phân tích khả thi cho đánh giá nguy cơ ngập do nước biển dâng ở quy mô địa phương.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Adedeji O., Reuben O. & Olatoye O. (2014) Global Climate Change. Journal of Geoscience and

Ứng dụng nền tảng Google Earth Engine để xác định vùng đất có nguy cơ ngập do tác động của biến đổi khí hậu tại các khu vực ven biển tỉnh Thanh Hoá

- Environment Protection. 2: 114-122. doi: 10.4236/gep.2014.22016.
- Amatebelle C.E., Owolabi S.T., Ogundeji A.A. & Okolie C.C. (2025). A systematic analysis of remote sensing and geographic information system applications for flood disaster risk management. *Journal of Spatial Science*. pp. 1-27. <https://doi.org/10.1080/14498596.2025.2476973>.
- Bộ Tài nguyên Môi trường (2016). Kịch bản Biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam. Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và bản đồ Việt Nam.
- Bộ Tài nguyên Môi trường (2021). Kịch bản Biến đổi khí hậu. Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và bản đồ Việt Nam.
- Cục Khí tượng Thủy văn (2020). Kịch bản biến đổi khí hậu phiên bản cập nhật năm 2020. Truy cập từ <http://vnmha.gov.vn/tin-tuc-bdkh-112/kich-ban-bien-doi-khi-hau-phi-en-ban-cap-nhat-nam-2020-11405.html>. ngày 01/5/2025.
- Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D. & Alsdorf D.E. (2007). The shuttle radar topography mission: Reviews of Geophysics. 45(2). <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>.
- Gahlawat I.N. & Lakra P. (2020). Global Climate change and its effects. *Integrated Journal of Social Sciences*. 7(1): 14-23.
- Griggs G. & Reguero B.G. (2021). Coastal Adaptation to Climate Change and Sea-Level Rise. *Water*. 13(16): 2151. doi.org/10.3390/w13162151.
- Hansen H.S. (2010). Modelling the future coastal zone urban development as implied by the IPCC SRES and assessing the impact from sea level rise. *Landscape and Urban Planning*. 98(3-4): 141-149. doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.08.018.
- Huong D., Mui T., Tuan T., Vu V., Thuy H., Hoang V., Cuc P., Ly P., Hanh L. (2024). Assessing vulnerability to climate change in rice cultivation In Thanh Hoa province, Vietnam. *Applied Ecology & Environmental Research*. 22(6): http://dx.doi.org/10.15666/aer/2206_57195738.
- IPCC (2019). Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC). Retrieved from <https://www.ipcc.ch/srocc/>. On Aug 20, 2025.
- Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z., Mazzariello J., Mathis M. & Brumby S. (2021). “Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning.” IGARSS 2021-2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE.
- Le T.T.K., Tran K.T., Phung D.T.M., Dinh H.N., Ngo T.N. (2024). Coastal Erosion and Accretion in Vietnam: Some Case Studies. In: Maccarrone, V., Fadzil Akhir, M. (eds) *Coastal Sustainability*. Coastal Research Library. Vol. 39. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-75749-5_5.
- Nguyen Minh Quang, Vu Van Ha, Mai Thanh Tan, To Xuan Ban, Tran Ngoc Dien, Dang Minh Tuan, Dang Xuan Tung, Nguyen Thi Min, Hoang Van Tha & Giap Thi Kim Chi (2021). Geomorphological sedimentary characteristics in the coastal area of Ma river delta, Thanh Hoa province. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*. 21(3): 283-298. doi.org/10.15625/1859-3097/15995.
- Nguyen A.T. & Hens L. (2019). Climate Change-Associated Hazards, Impacts, and Vulnerability at Regional Level. In: *Human Ecology of Climate Change Hazards in Vietnam*. Springer Climate. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94917-8_2.
- Nicholls R.J. (2011). Planning for the Impacts of Sea Level Rise. *Oceanography*. 24(2): 144-157.
- Roy P., Pal S.C., Chakraborty R., Chowdhuri I., Saha A. & Shit M. (2023). Effects of climate change and sea-level rise on coastal habitat: Vulnerability assessment, adaptation strategies and policy recommendations. *Journal of Environmental Management*. 330: 117187.
- Slangen A.B.A., Katsman C.A., Van de Wal R.S.W., Vermeersen L.L.A. & Riva R.E.M. (2012). Towards regional projections of twenty-first century sea-level change based on IPCC SRES scenarios. *Clim Dyn*. 38: 1191-1209. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1057-6>.
- Siegert M., Alley R.B., Rignot E., Englander J. & Corell R. (2020). Twenty-first century sea-level rise could exceed IPCC projections for strong-warming futures. *One Earth*. 3(6): 691-703. doi: 10.1016/j.oneear.2020.11.002.
- Trinh L.H., Le T.G., Tran Q.V., Tran X.B., Le V.P. & To T.P. (2024). Monitoring of coastline change using Sentinel-2 MSI data. A case study in Thanh Hoa Province, Vietnam. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*. 26: 77-87. DOI 10.12775/bgeo-2024-0006.