

Ứng dụng viễn thám và GIS trong lập bản đồ mức độ dễ bị tổn thương khu vực ven biển: Bài học cho Việt Nam

Bùi Thị Ngọc Lan^{1*}

¹Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

TỪ KHOÁ

Viễn thám
GIS
Chỉ số dễ bị tổn thương ven biển
(CVI)
Ngập lụt
Biến đổi khí hậu
Việt Nam

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu vai trò và hiệu quả của việc ứng dụng công nghệ viễn thám (RS) và hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong công tác lập bản đồ mức độ dễ bị tổn thương tại khu vực ven biển Việt Nam trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Kết quả nghiên cứu góp phần quan trọng trong việc cung cấp cơ sở khoa học tiên quyết để xác định các “điểm nóng” ưu tiên, từ đó xây dựng các chiến lược thích ứng hiệu quả với hiện tượng nước biển dâng, xói lở và ngập lụt. Thông qua phương pháp tổng quan và phân tích hệ thống tài liệu, bài báo chỉ ra rằng các phương pháp tiếp cận dựa trên chỉ số dễ bị tổn thương ven biển (CVI) và ngập lụt (FVI) kết hợp dữ liệu vệ tinh đa thời gian đã được áp dụng thành công tại nhiều quốc gia như Indonesia, Ấn Độ, Hoa Kỳ và các địa phương tại Việt Nam như Đồng bằng sông Hồng, Đà Nẵng. Qua đó, bài báo đánh giá thực trạng ứng dụng công nghệ hiện nay và tổng hợp một số bài học kinh nghiệm chính nhằm ứng dụng viễn thám và GIS trong việc lập bản đồ mức độ dễ bị tổn thương của khu vực ven biển. Kết quả nghiên cứu của bài báo cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho các nhà quản lý và quy hoạch trong việc xác định định hướng phát triển bền vững khu vực ven biển Việt Nam hiện nay.

KEYWORDS

Remote sensing
GIS
Coastal vulnerability index (CVI)
Flooding
Climate change
Vietnam

ABSTRACT

This article investigates the role and effectiveness of Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) in mapping coastal vulnerability in Vietnam amid climate change. The research findings make a significant contribution by providing an essential tool for identifying priority hotspots, thereby enabling the development of effective adaptation strategies for sea-level rise, erosion, and flooding. Through a systematic literature review and analysis, the paper indicates that approaches based on the Coastal Vulnerability Index (CVI) and Flood Vulnerability Index (FVI), combined with multi-temporal satellite data, have been successfully implemented in various countries such as Indonesia, India, and the United States, as well as in Vietnamese localities like the Red River Delta and Da Nang. Consequently, the article assesses the current state of technological applications and synthesizes key lessons learned for utilizing RS and GIS in coastal vulnerability mapping. The findings of this study provide a vital scientific foundation for managers and planners in shaping strategic pathways toward the sustainable development of Vietnam's coastal regions.

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và biến đổi khí hậu diễn biến phức tạp, khu vực ven biển hiện là nơi tập trung khoảng 40 % dân số thế giới và đóng vai trò then chốt trong nền kinh tế toàn cầu [1]. Đây là không gian sinh kế quan trọng, đồng thời là hệ thống kinh tế - xã hội đóng góp phần lớn vào tổng sản phẩm quốc nội của các quốc gia có biển. Tuy nhiên, cùng với sự phát triển kinh tế mạnh mẽ, các khu vực ven biển cũng đang trở thành một trong những hệ sinh thái dễ bị tổn thương nhất trước các tác động tiêu cực của thiên nhiên. Các hiện tượng như nước biển dâng, xói lở bờ biển, gia tăng cường độ và tần suất của các cơn bão, cùng hiện tượng ngập lụt đang đe dọa trực tiếp đến sinh kế của hàng triệu người, làm hư hại các công trình hạ tầng kỹ thuật và phá vỡ sự cân bằng của các hệ sinh thái vùng bờ [2, 3].

Việc thực hiện các nhiệm vụ bảo vệ và phát triển bền vững khu vực ven biển hiện nay luôn được các quốc gia quan tâm và ưu tiên hàng đầu, tập trung vào các mục tiêu cụ thể: (i) Xác định và khoanh vùng các khu vực có nguy cơ chịu tác động cao từ thiên tai; (ii) Định lượng mức độ thiệt hại tiềm tàng đối với hệ thống hạ tầng và dân cư; (iii) Đề xuất các giải pháp ứng phó và thích ứng phù hợp với điều kiện tự nhiên; và (iv) Tăng cường khả năng chủ động trong công tác quy hoạch vùng bờ trước diễn biến của nước biển dâng. Trong bối cảnh đó, việc xác định, định lượng và không gian hóa mức độ dễ bị tổn thương được xem là bước đi cơ bản, mang tính tiên quyết để xây dựng các chiến lược giảm thiểu rủi ro và thích ứng một cách hiệu quả, có mục tiêu [2].

Sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật, đặc biệt là công nghệ viễn thám (Remote Sensing - RS) và hệ thống thông tin địa lý (Geographic Information Systems - GIS) trong hai thập kỷ qua đã mở ra

*Liên hệ tác giả: ngoctan78dhkt@gmail.com

Nhận ngày 28/02/2026, sửa xong ngày 13/03/2026, chấp nhận đăng ngày 25/03/2026

Link DOI: <https://ojs.jomc.vn/index.php/vn/article/view/1261>

một hướng tiếp cận mới trong công tác nghiên cứu. Các phương pháp này thể hiện sự vượt trội so với các kỹ thuật khảo sát truyền thống vốn tốn kém, mất nhiều thời gian và thường bị hạn chế về khả năng bao phủ không gian cũng như tính cập nhật theo thời gian. Viễn thám cung cấp khả năng quan sát Trái Đất liên tục, cho phép các nhà nghiên cứu thu thập dữ liệu đa phổ, đa thời gian trên phạm vi rộng lớn về biến động đường bờ, đặc điểm địa hình, hiện trạng sử dụng đất và các yếu tố thủy động lực học phức tạp [1, 4]. Kết hợp với viễn thám, công nghệ GIS đóng vai trò là một môi trường tích hợp mạnh mẽ. GIS có khả năng lưu trữ, quản lý, xử lý và phân tích các lớp dữ liệu không gian đa chiều. Thông qua các thuật toán phân tích chồng lớp và mô hình hóa, GIS cho phép xây dựng nên các chỉ số dễ bị tổn thương tổng hợp, từ đó thành lập các bản đồ chuyên đề có độ chính xác cao. Đây chính là công cụ hỗ trợ ra quyết định quan trọng cho các nhà quản lý trong việc đánh giá các kịch bản tác động môi trường khi thực hiện các đồ án quy hoạch hoặc dự án đầu tư ven biển [2, 5].

Tại Việt Nam, với đặc thù địa lý có đường bờ biển trải dài hơn 3.260 km và hai vùng đồng bằng trọng điểm là đồng bằng sông Hồng và đồng bằng sông Cửu Long thường xuyên chịu ảnh hưởng nặng nề của bão lũ, việc ứng dụng các công nghệ tiên tiến này là một nhu cầu cấp thiết về mặt khoa học và đồng thời cũng đòi hỏi thực tiễn từ công tác quản lý rủi ro thiên tai và quy hoạch phát triển bền vững [4, 6]. Thực tế cho thấy quá trình phát triển kinh tế biển tại Việt Nam đang diễn ra rất nhanh, khiến nhu cầu về sử dụng quỹ đất ven biển tăng cao, từ đó tạo ra những áp lực không nhỏ đối với môi trường tự nhiên. Tuy nhiên, việc triển khai một cách hệ thống, đồng bộ và cập nhật các phương pháp luận tiên tiến về lập bản đồ dễ bị tổn thương vẫn còn đối mặt với nhiều thách thức, từ việc thiếu hụt dữ liệu đầu vào đồng bộ đến các khó khăn trong việc chuẩn hóa chỉ số đánh giá cho từng vùng miền. Một việc làm rất cần thiết được đặt ra là cần phải tổng hợp, đánh giá những kinh nghiệm thành công từ quốc tế và thực tiễn trong nước để rút ra các bài học quý báu.

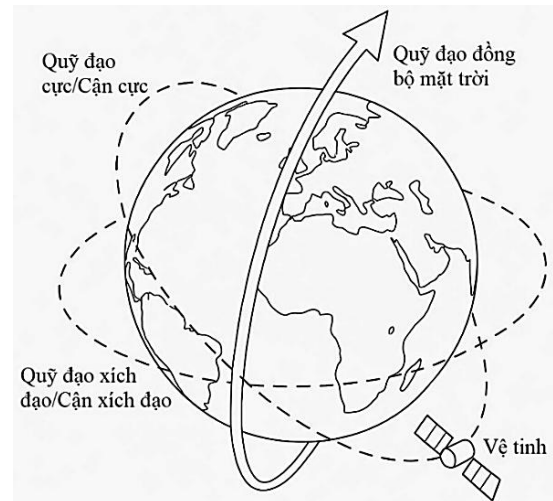
Từ các phân tích nêu trên, nghiên cứu này được thực hiện với mục tiêu tổng quan và phân tích các kinh nghiệm điển hình về ứng dụng RS và GIS trong đánh giá mức độ dễ bị tổn thương ven biển. Qua đó, bài báo đánh giá thực trạng ứng dụng công nghệ hiện nay, chỉ ra những ưu điểm cũng như hạn chế còn tồn tại, từ đó đề xuất các khuyến nghị nhằm xây dựng một khung đánh giá mức độ dễ bị tổn thương toàn diện. Đây sẽ là luận cứ khoa học quan trọng cho các nhà quản lý và quy hoạch trong việc xác định định hướng phát triển bền vững, hài hòa giữa tăng trưởng kinh tế và bảo vệ môi trường khu vực ven biển Việt Nam hiện nay.

2. Tổng quan về viễn thám, GIS và các chỉ số đánh giá mức độ dễ bị tổn thương ven biển

2.1. Viễn thám và GIS trong nghiên cứu ven biển

Trong công tác quản lý và bảo vệ khu vực ven biển hiện nay, viễn thám đóng vai trò là một công nghệ tiên tiến, cho phép thu thập thông tin về các đối tượng bề mặt mà không cần tiếp xúc trực tiếp thông qua

hệ thống cảm biến đa dạng. Các cảm biến này thực hiện ghi nhận bức xạ điện từ phản xạ hoặc phát xạ, từ đó cung cấp nguồn dữ liệu phong phú về phổ, không gian và thời gian, tạo điều kiện thuận lợi cho việc theo dõi biến động đường bờ cũng như xác định đặc điểm địa hình một cách chính xác. Việc ứng dụng viễn thám giúp các nhà nghiên cứu dễ dàng đánh giá các thông số môi trường như độ đục, nhiệt độ bề mặt nước và lập bản đồ các hệ sinh thái nhạy cảm như rừng ngập mặn, rạn san hô hay thảm cỏ biển [1, 4, 7, 8]. Để minh họa cho quy trình vận hành này, Hình 1 trình bày cụ thể về các quỹ đạo vệ tinh viễn thám đang hoạt động hiện nay.



Hình 1. Các quỹ đạo vệ tinh viễn thám hoạt động.
(Nguồn: Vũ Anh Tuấn và cộng sự, 2025 [9])



Hình 2. Cấu tạo của hệ thống thông tin địa lý GIS. (Nguồn: Nguyễn Công Giang và cộng sự, 2022 [10], Bùi Thị Ngọc Lan, 2023 [11])

Song hành cùng viễn thám, hệ thống thông tin địa lý (GIS) đóng vai trò là công cụ máy tính mạnh mẽ trong việc lập bản đồ và phân tích các hiện tượng địa lý. Ưu điểm nổi trội của công nghệ GIS là khả năng tích hợp các thao tác cơ sở dữ liệu như truy vấn, phân tích thống kê với khả năng trực quan hóa không gian độc đáo [10]. Đặc trưng cốt lõi của GIS chính là sự kết hợp đồng thời giữa dữ liệu không gian phân

ánh vị trí, hình dạng đối tượng và dữ liệu thuộc tính mô tả các đặc tính liên quan. Chính khả năng liên kết này cho phép GIS thực hiện các phép chồng xếp lớp thông tin và phân tích không gian phức tạp như phân tích vùng đệm hay nội suy, từ đó tạo ra các luận cứ khoa học quan trọng hỗ trợ công tác ra quyết định [10, 11]. Cấu tạo của một hệ thống GIS hoàn chỉnh bao gồm sự phối hợp giữa phần cứng, phần mềm, dữ liệu và phương pháp phân tích của con người được thể hiện rõ nét tại Hình 2. Sự kết hợp giữa nguồn dữ liệu đầu vào cập nhật từ viễn thám và môi trường phân tích tích hợp của GIS đã tạo nên một bộ công cụ đặc biệt hiệu quả, cho phép kết nối các dữ liệu tự nhiên với các yếu tố kinh tế - xã hội để xây dựng chỉ số dễ bị tổn thương và thành lập bản đồ phân vùng rủi ro cho khu vực ven biển.

Sự kết hợp giữa viễn thám (nguồn dữ liệu đầu vào phong phú, cập nhật) và GIS (môi trường phân tích, tích hợp) tạo nên một bộ công cụ đặc biệt hiệu quả cho việc đánh giá mức độ dễ bị tổn thương ven biển. Dữ liệu viễn thám sau khi được xử lý sẽ được đưa vào GIS để kết hợp với các dữ liệu kinh tế - xã hội, dân cư, hạ tầng nhằm xây dựng các chỉ số tổn thương và thành lập bản đồ phân vùng rủi ro.

2.2. Các chỉ số đánh giá mức độ dễ bị tổn thương

Để thực hiện nhiệm vụ lượng hóa mức độ tổn thương một cách khoa học, phương pháp phổ biến và mang lại hiệu quả cao nhất hiện nay là xây dựng các chỉ số tổng hợp dựa trên hệ thống đa tiêu chí [2]. Trong đó, hai chỉ số được áp dụng rộng rãi nhất là Chỉ số dễ bị tổn thương ven biển (CVI) và Chỉ số dễ bị tổn thương ngập lụt (FVI). Chỉ số CVI tập trung chủ yếu vào các yếu tố tự nhiên và quá trình vật lý tác động lên khu vực ven bờ.

Công thức tính CVI được sử dụng rộng rãi nhất do Gornitz đề xuất (1991) và sau đó được Cơ quan khảo sát địa chất Hoa Kỳ (United States Geological Survey - USGS) chuẩn hóa. Nó thường dựa trên 6-7 tham số chính (địa mạo, độ dốc, nước biển dâng, xói lở, thủy triều, chiều cao sóng).

Công thức để tính chỉ số CVI như sau:

$$CVI = \sqrt{\frac{x_1 * x_2 * x_3 * x_4 * x_5 * x_6}{6}} \quad (1)$$

Trong đó: x_1 : Địa mạo; x_2 : Độ dốc bờ biển; x_3 : Tốc độ nước biển dâng tương đối; x_4 : Tốc độ xói lở/bồi tụ đường bờ; x_5 : Phạm vi thủy triều; x_6 : Chiều cao sóng trung bình. Mỗi tham số x_n sẽ được gán điểm từ 1 đến 5 (từ rất thấp đến rất cao) dựa trên dữ liệu thu thập được từ viễn thám và trạm đo. Đây là những tham số then chốt gây nên các tác động trực tiếp đến hiện trạng ngập lụt và xói lở [1, 2, 5]. Các tham số này thường được phân loại theo các cấp độ định lượng từ rất thấp đến rất cao, và giá trị CVI cuối cùng được tính toán thông qua các thuật toán tích hợp trọng số. Việc chồng xếp các lớp dữ liệu này trong môi trường GIS giúp xác định chính xác các đoạn bờ biển có mức độ tổn thương cao nhất để ưu tiên can thiệp.

Mặt khác, chỉ số FVI lại có phạm vi tiếp cận rộng hơn, đặc biệt phù hợp cho các khu vực đô thị hoặc vùng đồng bằng ven biển chịu áp lực lớn từ thiên tai. FVI được xây dựng dựa trên khung khái niệm của

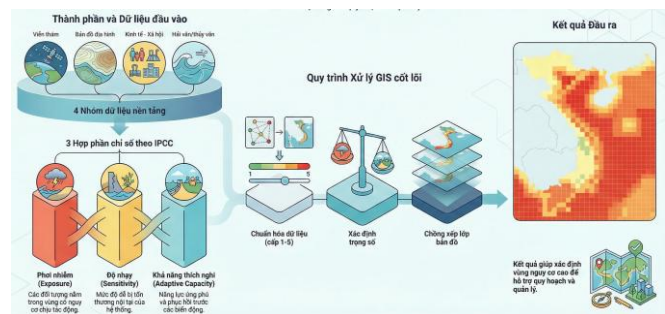
IPCC, coi chỉ số dễ bị tổn thương là hàm số của ba hợp phần chính bao gồm mức độ phơi nhiễm, độ nhạy và khả năng thích nghi [6].

Công thức để tính chỉ số FVI như sau:

$$FVI = \frac{E * S}{AC} \quad (2)$$

Trong đó: E (Exposure - Mức độ phơi nhiễm): Các yếu tố ngoại lực tác động (lượng mưa, tần suất lũ, mực nước biển dâng); S (Sensitivity - Độ nhạy): Đặc điểm nội tại của khu vực (mật độ dân số, tỷ lệ trẻ em/người già, hiện trạng sử dụng đất); AC (Adaptive Capacity - Khả năng thích nghi): Năng lực ứng phó (GDP đầu người, hệ thống y tế, đê điều, trình độ dân trí).

Mức độ phơi nhiễm phản ánh sự hiện diện của con người và tài sản trong vùng hiểm họa ngập lụt, trong khi độ nhạy thể hiện mức độ chịu tác động thông qua các chỉ số về mật độ dân số hay các ngành kinh tế nhạy cảm. Hợp phần khả năng thích nghi đóng vai trò quan trọng trong việc phản ánh năng lực ứng phó và phục hồi của cộng đồng dựa trên các điều kiện về thu nhập, hạ tầng giao thông và hệ thống thoát nước. Quy trình tích hợp các nguồn dữ liệu đa dạng từ viễn thám đến thống kê kinh tế - xã hội trong GIS để thành lập bản đồ mức độ dễ bị tổn thương tổng hợp giúp nhận thức rõ vai trò của các yếu tố tác động và đặt ra nhiệm vụ cần thiết trong việc đề xuất các giải pháp bảo vệ môi trường và ứng phó với biến đổi khí hậu một cách bền vững.



Hình 3. Sơ đồ tích hợp các lớp dữ liệu trong GIS để xây dựng bản đồ mức độ dễ bị tổn thương. (Nguồn: Tác giả xây dựng)

Quy trình chồng xếp và tích hợp các lớp dữ liệu thành phần trong hệ thống GIS để xác lập bản đồ tổn thương được thể hiện chi tiết tại Hình 3. Trong đó, quy trình xây dựng bản đồ mức độ dễ bị tổn thương thông qua hệ thống GIS được thực hiện dựa trên sự phối hợp chặt chẽ giữa dữ liệu đầu vào, các chỉ số khung lý thuyết và kỹ thuật xử lý không gian, cụ thể như sau:

- **Thành phần và dữ liệu đầu vào:** Mô hình sử dụng bốn nhóm dữ liệu nền tảng cốt lõi bao gồm: dữ liệu viễn thám, bản đồ địa hình, dữ liệu kinh tế - xã hội và các dữ liệu về hải văn/thủy văn.

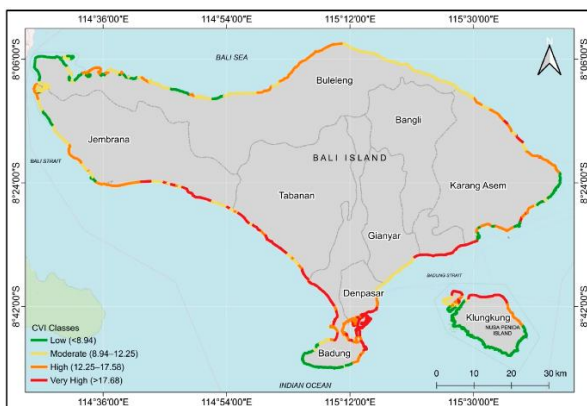
- **Xác lập các hợp phần chỉ số (theo khung IPCC):** Các nhóm dữ liệu trên được phân loại và tính toán để hình thành 3 trụ cột chính của mức độ dễ bị tổn thương, bao gồm (i) Phơi nhiễm: là việc xác định các đối tượng nằm trong vùng có nguy cơ chịu tác động; (ii) Độ nhạy: để đánh giá mức độ dễ bị tổn thương nội tại của hệ thống; và (iii) Khả năng thích nghi: nhằm xem xét năng lực ứng phó và phục hồi trước các biến động.

- *Quy trình xử lý GIS cốt lõi:* Đây là giai đoạn kỹ thuật quan trọng nhất, bao gồm việc chuẩn hóa dữ liệu (theo thang điểm từ 1-5), xác định trọng số cho từng thành phần dựa trên mức độ quan trọng, cuối cùng là chồng xếp lớp bản đồ (Overlay) để tổng hợp thông tin.

- *Kết quả đầu ra:* Sản phẩm cuối cùng là bản đồ phân vùng mức độ dễ bị tổn thương trực quan, giúp xác định các vùng nguy cơ cao, từ đó hỗ trợ đắc lực cho công tác quy hoạch và quản lý rủi ro thiên tai.

3. Kinh nghiệm ứng dụng viễn thám và GIS đánh giá mức độ dễ bị tổn thương ven biển trên thế giới

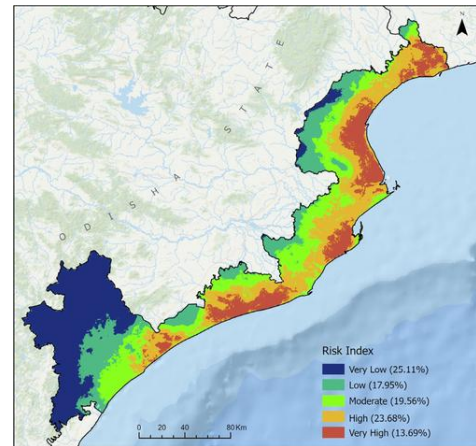
Trong bối cảnh biến đổi khí hậu diễn biến phức tạp, việc học tập các mô hình quốc tế về ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS là nhiệm vụ hết sức cần thiết. Điển hình tại Indonesia, nghiên cứu của Hastuti và cộng sự (2022) tại tỉnh Bali đã thể hiện một cách tiếp cận chi tiết dựa trên lưới ô vuông 1 km x 1 km để đánh giá Chỉ số dễ bị tổn thương ven biển (CVI) trên quy mô lớn [2]. Điểm mạnh của phương pháp này là tính chi tiết theo không gian, cho phép các nhà quản lý xác định chính xác đoạn bờ nào cần ưu tiên đầu tư bảo vệ. Các kết quả về phân vùng mức độ dễ bị tổn thương tại khu vực này được thể hiện rõ nét thông qua Hình 4. Bằng cách tích hợp sáu tham số cơ bản bao gồm địa mạo, tốc độ thay đổi đường bờ từ dữ liệu vệ tinh đa thời gian Landsat và Sentinel-2, cùng các yếu tố thủy văn như tốc độ nước biển dâng và phạm vi thủy triều, các nhà khoa học đã xác định được khoảng 22 % đường bờ biển Bali nằm trong vùng dễ bị tổn thương rất cao. Kết quả này góp phần giúp nhận diện các khu vực trọng điểm về du lịch ở phía Nam đang bị đe dọa, đồng thời chứng minh tính ưu việt của dữ liệu vệ tinh trong việc định lượng biến động không gian một cách chính xác.



Hình 4. Bản đồ phân vùng mức độ dễ bị tổn thương ven biển (CVI) của tỉnh Bali, Indonesia. (Nguồn: Hastuti và cộng sự, 2022 [2])

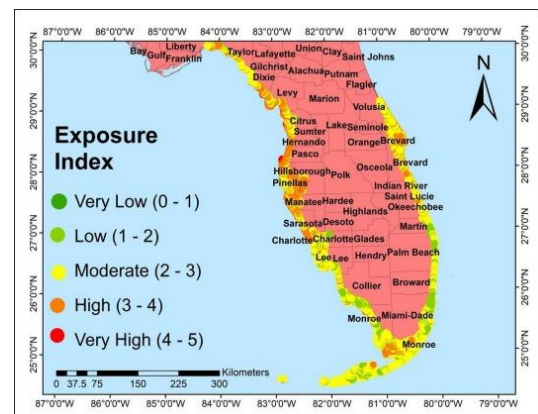
Bên cạnh đó, tại bang Odisha (Ấn Độ), Sawant & C. (2025) đã đưa ra một hướng tiếp cận đa chiều bằng cách kết hợp phương pháp phân tích thứ bậc mờ (Fuzzy-AHP) để xử lý tính bất định trong đánh giá rủi ro bão và xói lở [12]. Việc lồng ghép các chỉ số về mật độ dân số và hạ tầng vào mô hình GIS đã tạo ra một cái nhìn đa chiều về rủi ro ven biển thay vì chỉ tập trung vào các thông số vật lý đơn thuần, minh

họa chi tiết tại Hình 5. Nghiên cứu này nhấn mạnh rằng các yếu tố kinh tế - xã hội như mật độ dân số và tỷ lệ đói nghèo có trọng số ảnh hưởng đáng kể đến mức độ dễ bị tổn thương, nhiều khi còn lớn hơn cả các chỉ số hiểm họa vật lý đơn thuần. Điều này gợi mở cho Việt Nam bài học về việc chú trọng vào dữ liệu địa hình cũng như lồng ghép các chỉ số dân sinh vào mô hình quản lý rủi ro ven biển.



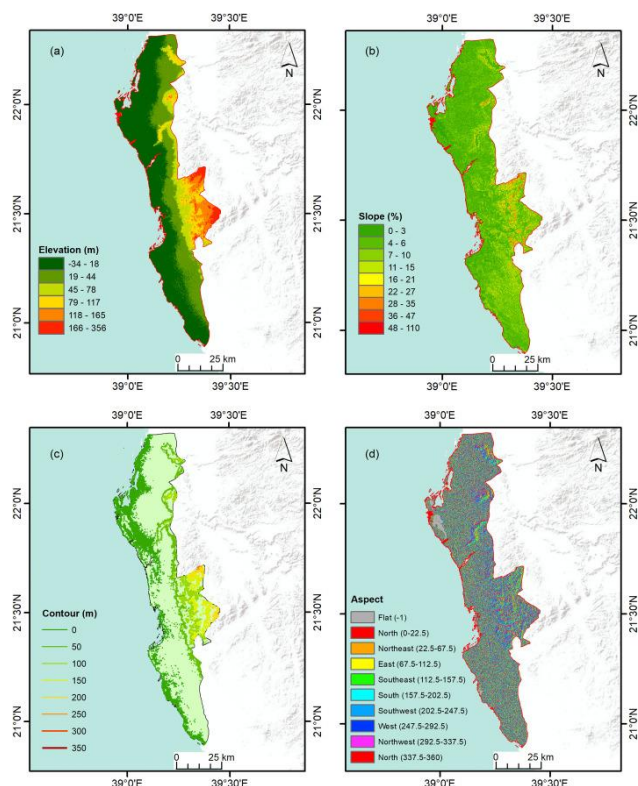
Hình 5. Bản đồ rủi ro bão ven biển Odisha theo không gian. (Nguồn: Sawant, S.& Sumanth K. C., 2025 [12])

Đồng thời với các phương pháp truyền thống, xu hướng tích hợp học máy và mô hình hóa kịch bản tương lai cũng đang trở nên phổ biến tại các quốc gia phát triển. Tại Florida (Hoa Kỳ), việc sử dụng mô hình “Invest” kết hợp với thuật toán Random Forest và Support Vector Machine (SVM) đã cho phép Mondal và cộng sự (2025) định lượng rõ nét vai trò của các sinh cảnh tự nhiên như rừng ngập mặn trong việc giảm nhẹ rủi ro [13]. Sự kết hợp giữa học máy và mô hình hóa dịch vụ hệ sinh thái không những dừng lại ở việc đánh giá hiện trạng mà còn cho phép xây dựng các bản đồ phơi nhiễm dưới tác động của biến đổi khí hậu trong tương lai (như được chỉ ra ở Hình 6). Kết quả này đóng vai trò quan trọng trong việc dự báo các kịch bản khí hậu tương lai, giúp các nhà quản lý đưa ra quyết định dựa trên luận cứ khoa học thực tiễn.



Hình 6. Bản đồ chỉ số phơi nhiễm ven biển bang Florida theo không gian. (Nguồn: Mondal, I. và cộng sự, 2025 [13])

Trong khi đó, tại Saudi Arabia, mô hình "Bathtub" kết hợp với dữ liệu mô hình số độ cao (Digital Elevation Model - DEM) từ nhiệm vụ thu thập dữ liệu độ cao bề mặt Trái Đất (Shuttle Radar Topography Mission - SRTM) đã được Almaliki và cộng sự (2023) sử dụng để mô phỏng sự ngập lụt đô thị ven biển dưới các kịch bản nước biển dâng khác nhau (xem hình 7), từ đó chỉ ra những tác động nghiêm trọng đến hệ thống hạ tầng trọng yếu như cảng biển và mạng lưới giao thông cao tốc [3]. Những kinh nghiệm này cho thấy việc ứng dụng công nghệ tập trung vào việc lập bản đồ hiện trạng và hướng tới việc xây dựng các công cụ hỗ trợ ra quyết định thông minh và dài hạn.

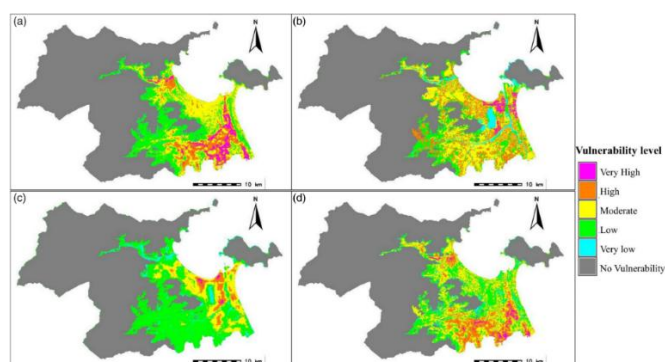


Hình 7. Biểu diễn của (a) DEM, (b) độ dốc, (c) đường đồng mức, và (d) hướng của Tỉnh Jeddah (Saudi Arabia).
(Nguồn: A. H. Almaliki và cộng sự, 2023 [3])

4. Tổng quan các nghiên cứu ứng dụng viễn thám và GIS tại Việt Nam

Tại Việt Nam, quá trình ứng dụng viễn thám và GIS trong đánh giá mức độ dễ bị tổn thương của khu vực ven biển đã đạt được những bước tiến dài, góp phần quan trọng vào công tác bảo vệ môi trường và quy hoạch vùng. Một trong những nghiên cứu tiên phong của Trần Văn Đức và cộng sự (2003) tại khu vực Đồng bằng sông Hồng đã sử dụng dữ liệu SPOT và MOS-1 để theo dõi biến động đường bờ trong suốt 70 năm, qua đó xác định được xu hướng xói mòn phức tạp tại khu vực Hải Hậu với tốc độ lên tới 30 m/năm [4]. Việc sử dụng GIS để chồng lớp các tầng dữ liệu lịch sử đã giúp nhận diện rõ bốn quy luật biến đổi chính của đường bờ, tạo cơ sở cho các giải pháp công trình và phi công

trình tại địa phương. Tiếp nối hướng nghiên cứu này, tại Đà Nẵng, An T. T. và cộng sự (2022) đã xây dựng khung đánh giá mức độ dễ bị tổn thương ngập lụt (FVI) cấp phường xã bằng cách tích hợp mô hình thủy lực với các chỉ số về độ nhạy và khả năng thích nghi của cộng đồng [6]. Mô hình này cung cấp luận cứ quan trọng để chính quyền địa phương xác định các vùng trọng điểm ngập lụt, với các phân vùng tổn thương từ trung bình đến rất cao được trực quan hóa trong Hình 8. Mô hình này đã xác định được hơn 60% diện tích thành phố nằm trong vùng tổn thương từ trung bình đến rất cao, đồng thời, việc kiểm chứng bằng các trụ mốc báo lũ lịch sử đã tăng cường độ tin cậy của bản đồ mức độ dễ bị tổn thương đối với các nhà quản lý đô thị.



Hình 8. Bản đồ phân vùng mức độ dễ bị tổn thương ngập lụt (FVI) cho khu vực thành phố Đà Nẵng. (Nguồn: An T.T và cộng sự, 2022 [6])

Bên cạnh các nghiên cứu về hiểm họa vật lý, việc ứng dụng viễn thám để bảo tồn các "lá chắn xanh" tự nhiên cũng được chú trọng đặc biệt. Nghiên cứu của Ngô Trung Dũng và cộng sự (2025) tại Vườn quốc gia Bái Tử Long đã sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 và thuật toán Random Forest để lập bản đồ rạn san hô với độ chính xác rất cao, giúp xác định các vùng ưu tiên bảo tồn nhằm duy trì vai trò bảo vệ bờ biển trước sóng bão [14]. Ngoài ra, các công cụ hiện đại như Chỉ số Sinh thái Viễn thám Liên tục (Continuous Remote Sensing Ecological Index - CRSEI) cũng đã được triển khai để quan trắc chất lượng môi trường sinh thái, cho thấy sự suy giảm đáng kể do quá trình đô thị hóa nhanh và chuyển đổi mục đích sử dụng đất ven biển [15]. Tổng kết lại, các nghiên cứu tại Việt Nam đã bước đầu hình thành được khung lý thuyết và thực tiễn vững chắc, tuy nhiên nhiệm vụ đặt ra hiện nay là cần tăng cường tính tích hợp đa ngành và ứng dụng các nền tảng điện toán đám mây để xử lý dữ liệu lớn, hướng tới một hệ thống giám sát mức độ dễ bị tổn thương ven biển trực tuyến và thời gian thực, phục vụ hiệu quả cho công tác ứng phó biến đổi khí hậu và phát triển bền vững kinh tế khu vực ven biển.

5. Bài học kinh nghiệm cho Việt Nam

Từ việc phân tích các kinh nghiệm quốc tế và đối chiếu với các nghiên cứu điển hình trong nước, bài báo đúc kết những bài học quan trọng nhằm hoàn thiện việc ứng dụng viễn thám và GIS trong việc lập bản đồ mức độ dễ bị tổn thương ven biển tại Việt Nam hiện nay. Cụ thể như sau:

Thứ nhất, phải tích hợp đa chỉ tiêu trong quá trình đánh giá, không chỉ tập trung đơn lẻ vào các yếu tố vật lý tự nhiên như độ cao địa hình hay địa mạo đường bờ. Thực tiễn từ các nghiên cứu thành công cho thấy cần thiết phải lồng ghép các chỉ số kinh tế - xã hội bao gồm mật độ dân số, cơ cấu dân cư dễ bị tổn thương như người già, trẻ em, cùng hệ thống hạ tầng thiết yếu và sinh kế của người dân vào các mô hình FVI hay CVI [6, 12, 16]. Cách tiếp cận này đánh giá mức độ dễ bị tổn thương một cách toàn diện và phản ánh chính xác rủi ro thực tế.

Thứ hai, việc chuyển dịch sang ứng dụng công nghệ điện toán đám mây và khai thác dữ liệu mở như nền tảng Google Earth Engine (GEE) là hướng đi hết sức phù hợp và hiệu quả. Việc truy cập và xử lý khối lượng lớn dữ liệu vệ tinh lịch sử Landsat hay Sentinel trên nền tảng đám mây giúp các đơn vị nghiên cứu tại Việt Nam khắc phục được hạn chế về hạ tầng công nghệ thông tin mà vẫn đảm bảo được độ chính xác trong giám sát biến động [14, 17].

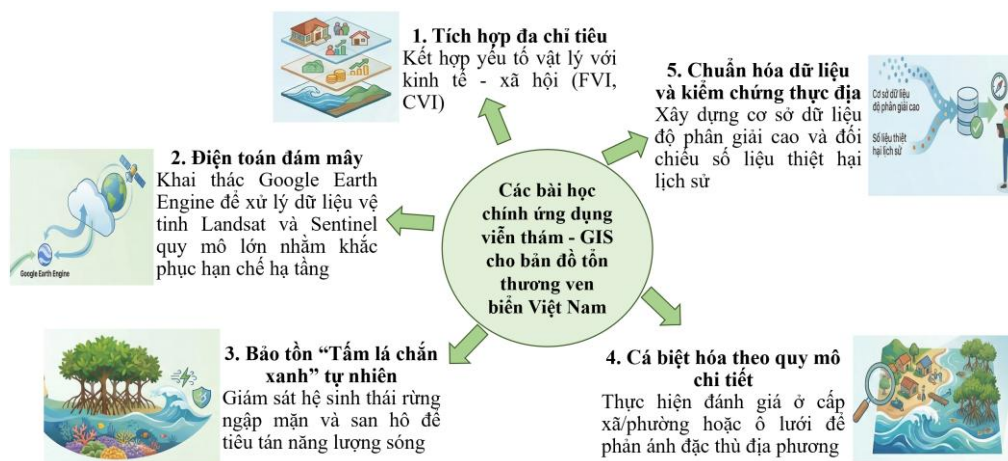
Thứ ba, nhận thức tầm quan trọng của hệ sinh thái tự nhiên trong việc giảm nhẹ mức độ dễ bị tổn thương cũng cần được đặc biệt lưu ý. Các hệ sinh thái như rừng ngập mặn, rạn san hô và thảm cỏ biển đóng vai trò như những "tấm lá chắn xanh" tự nhiên có khả năng tiêu

tán năng lượng sóng và chống xói lở hiệu quả [13, 17]. Do đó, các nhiệm vụ lập bản đồ mức độ dễ bị tổn thương tại Việt Nam phải song hành với việc giám sát hiện trạng và dự báo biến động của các hệ sinh thái này để lồng ghép vào kế hoạch bảo tồn và phục hồi khu vực ven biển [14].

Thứ tư, cá biệt hóa đánh giá theo đặc điểm địa phương và thực hiện ở quy mô chi tiết cấp xã/phường hoặc ô lưới. Việc áp dụng một bộ chỉ số chung cho mọi địa bàn sẽ không phản ánh được sự khác biệt đặc thù về địa hình và dân cư trong một không gian hành chính [6].

Thứ năm, nhiệm vụ mang tính nền tảng là phải xây dựng hệ thống cơ sở dữ liệu chuẩn hóa về địa hình độ phân giải cao, khí tượng thủy văn và kinh tế - xã hội được cập nhật thường xuyên. Mọi kết quả phân tích từ GIS và viễn thám đều cần được kiểm chứng nghiêm túc thông qua các khảo sát thực địa và đối chiếu với số liệu thiết hại lịch sử để đảm bảo độ tin cậy tuyệt đối cho các luận cứ khoa học [2, 6].

Trên cơ sở phân tích thực trạng và đối chiếu với các mô hình quốc tế, các bài học kinh nghiệm cốt lõi cho Việt Nam trong việc lập bản đồ mức độ dễ bị tổn thương ven biển bằng viễn thám và GIS được tổng hợp tại Hình 9.



Hình 9. Các bài học chính cho Việt Nam trong ứng dụng viễn thám và GIS trong lập bản đồ mức độ dễ bị tổn thương của khu vực ven biển.
(Nguồn: Tác giả xây dựng)

6. Kết luận

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu diễn biến phức tạp, việc ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS trong lập bản đồ mức độ dễ bị tổn thương ven biển là một giải pháp kỹ thuật, đồng thời là một công cụ hỗ trợ ra quyết định mang tầm chiến lược, cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho việc phân bổ nguồn lực hợp lý và thiết kế các phương án thích ứng hiệu quả. Bài báo thông qua việc tổng hợp kinh nghiệm từ một số quốc gia trên thế giới cùng với các nghiên cứu thực tiễn tại Đồng bằng sông Hồng, Đà Nẵng, ... đã khẳng định sức mạnh của cách tiếp cận tích hợp đa chỉ tiêu, trong đó việc tận dụng tối đa nguồn dữ liệu mở và các nền tảng công nghệ tiên tiến là chìa khóa quan trọng để xác định những khu vực cần được ưu tiên bảo vệ. Từ đó, bài báo nhấn mạnh sự kết hợp giữa các chỉ số dễ bị tổn thương vật lý và các yếu tố

kinh tế - xã hội trong môi trường GIS cho phép tạo ra những bản đồ rủi ro có độ chính xác cao, cung cấp công cụ quan trọng cho công tác quản lý quy hoạch và chủ động thích ứng với biến đổi khí hậu và nước biển dâng tại các khu vực ven biển Việt Nam hiện nay.

Để xây dựng bản đồ về mức độ dễ bị tổn thương ven biển vững chắc và phù hợp với đặc thù Việt Nam, một nhiệm vụ rất cần thiết được đặt ra là phải học hỏi và điều chỉnh các phương pháp tiên tiến từ quốc tế, chú trọng xây dựng cơ sở dữ liệu nền tảng đồng bộ và nâng cao năng lực làm chủ công nghệ cho đội ngũ cán bộ chuyên môn. Đặc biệt, công tác quy hoạch xây dựng khu vực ven biển cần phải lồng ghép yếu tố hệ sinh thái tự nhiên như rừng ngập mặn và rạn san hô như một thành phần phòng hộ không thể tách rời, vừa đảm bảo mỹ quan vừa tăng cường khả năng tự phục hồi của môi trường. Việc thực hiện nghiêm túc các chương trình quan trắc và giám sát định kỳ thông qua viễn thám

sẽ đóng vai trò then chốt trong việc bảo vệ an toàn cho cộng đồng dân cư, duy trì đa dạng sinh học và đảm bảo sự phát triển bền vững về kinh tế - xã hội của các khu vực ven biển. Có thể thấy rằng việc làm chủ và triển khai rộng rãi công nghệ viễn thám và GIS là một hướng đi tất yếu để Việt Nam chủ động hơn trong việc thích ứng với những tác động cực đoan do biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng, hướng tới một tương lai xanh và bền vững cho toàn bộ khu vực ven biển.

Trong quá trình nghiên cứu, bài báo đã tổng hợp và phân tích được những kinh nghiệm quan trọng từ quốc tế và thực tiễn trong nước, nhưng vẫn tồn tại một số hạn chế cần được bổ sung và hoàn thiện trong các giai đoạn tiếp theo. Trong đó, việc đánh giá mức độ dễ bị tổn thương ven biển trong bài báo chủ yếu dựa trên tổng quan tài liệu và các nghiên cứu điển hình, do đó chưa thể bao quát hết sự biến động đặc thù của toàn bộ hệ thống đề điều và địa hình phức tạp dọc theo hơn 3.260 km đường bờ biển Việt Nam. Trong hướng nghiên cứu tiếp theo, tác giả sẽ phải tập trung vào việc phát triển các mô hình đánh giá mức độ dễ bị tổn thương tích hợp sâu giữa viễn thám, GIS và học máy (Machine Learning) để tăng cường độ chính xác trong dự báo, ưu tiên khai thác sức mạnh của nền tảng điện toán đám mây, chú trọng đến khả năng phục hồi tự nhiên và tính thích ứng xã hội của cộng đồng dân cư ven biển, nhằm cung cấp một hệ thống bản đồ mức độ dễ bị tổn thương thông minh, phục vụ cho công tác quy hoạch xây dựng và phát triển bền vững khu vực ven biển Việt Nam trong tương lai.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Mendoza, E. T., Salameh, E., Sakko, I., Turki, I., Almar, R., Ojeda, E., Deloffre, J., Frapart, F., & Laignel, B. (2023). Coastal flood vulnerability assessment: a satellite remote sensing and modelling approach. *Univ Rouen Normandie*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938523000058>.
- [2]. Hastuti, A. W., Nagai, M., & Suniada, K. I. (2022). Coastal vulnerability assessment of Bali Province, Indonesia, using remote sensing and GIS approaches. *Remote Sensing*, 14(17):4409.
<https://doi.org/10.3390/rs14174409>.
- [3]. Almaliki, A. H., Zerouali, B., Santos, C. a. G., Almaliki, A. A., Da Silva, R. M., Ghoneim, S. S., & Ali, E. (2023). Assessing coastal vulnerability and land use to sea level rise in Jeddah province, Kingdom of Saudi Arabia. *Heliyon*, 9(8):e18508. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18508>.
- [4]. Tran, V. D., Tran, D. T., Nguyen, V. T. (2003). Monitoring Coastal Erosion in Red River Delta, Vietnam - A Contribution from Remote Sensing Data. *Asian Journal of Geoinformatics*, 3(3).
- [5]. Santhosh Kumar, B., Balukkarasu, A., & Tamilarasan, K. (2019). Coastal vulnerability mapping using remote sensing and GIS techniques in Tuticorin coast of Tamil Nadu, India. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 20(2):1-12.
<https://doi.org/10.9734/JGEESI/2019/v20i230099>.
- [6]. An, T. T., Izuru, S., Narumasa, T., Raghavan, V., Hanh, L. N., Van An, N., Long, N. V., Thuy, N. T., & Minh, T. P. (2022). Flood vulnerability assessment at the local scale using remote sensing and GIS techniques: a case study in Da Nang City, Vietnam. *Journal of Water and Climate Change*, 13(9):3217-3238. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.029>.
- [7]. Hà, T. T., & Nguyễn, T. V. (2022). Ứng dụng viễn thám trong giám sát biến động đô thị tại Thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng*, 30(4):60-73.
- [8]. Nguyễn, S. H., & Trần, T. P. (2020). Phân tích biến động đô thị dựa trên ảnh vệ tinh Sentinel: Trường hợp Hà Nội. *Tạp chí Viễn thám và Môi trường*, 25(1):112-127.
- [9]. Vũ Anh Tuấn, Nguyễn Mạnh Hùng, Ngô Đức Anh, Đặng Vũ Khắc, Nguyễn Công Giang (2025). *Ứng dụng viễn thám nghiên cứu biến động đô thị tại Việt Nam*. Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.
- [10]. Nguyễn Công Giang, Đặng Vũ Khắc, Vũ Anh Tuấn, Bùi Thị Ngọc Lan & Ngô Đức Anh (2022). *Quản lý quy hoạch đô thị thông qua hệ thống thông tin địa lý GIS*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [11]. Bùi Thị Ngọc Lan (2023). GIS in Smart urban planning and management: Lessons learned for Vietnam. *Science Journal of Architecture and Construction, Hanoi Architectural University*, (51).
- [12]. Sawant, S., & C, S. K. (2025). A multidimensional approach to cyclone risk assessment: integrating GIS and Fuzzy-AHP data in coastal Odisha, India. *Geomatics Natural Hazards and Risk*, 16(1).
<https://doi.org/10.1080/19475705.2025.2568948>.
- [13]. Mondal, I., Das, A., Hossain, S. A., Jose, F., & Altuwaijri, H. A. (2025). Climate change-induced vulnerability assessment for the Florida Coast using hybrid machine learning models. *Ecological Indicators*, 171:113242.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113242>.
- [14]. Ngo, D., Phung, G., Nguyen, H., & Hoang, D. (2025). Sentinel-2 satellite image application for establishing a coral reef distribution map in Bai Tu Long National Park, Quang Ninh Province, Vietnam. *One Ecosystem*, 10.
<https://doi.org/10.3897/oneeco.10.e161208>.
- [15]. Jin, W., Li, H., Wang, J., Zhao, L., Li, X., Fan, W., & Chen, J. (2023). Continuous remote sensing ecological index (CRSEI): A novel approach for multitemporal monitoring of eco-environmental changes on a large scale. *Ecological Indicators*, 154:110739.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110739>.
- [16]. Biswas, S., & Nautiyal, S. (2023). A review of socio-economic vulnerability: The emergence of its theoretical concepts, models and methodologies. *Natural Hazards Research*, 3(3):563-571.
<https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.05.005>.
- [17]. Sunkur, R., Kantamaneni, K., Bokhoree, C., Rathnayake, U., & Fernando, M. (2024). Mangrove mapping and monitoring using remote sensing techniques towards climate change resilience. *Scientific Reports*, 14(1):6949.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-57563-4>.