

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Journal of Hydro - Meteorology

ISSN 2525 - 2208



TỔNG CỤC KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN
Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration

Số 766
10-2024



Q. TỔNG BIÊN TẬP
PGS. TS. Đoàn Quang Trí

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. GS. TS. Trần Hồng Thái | 14. PGS. TS. Mai Văn Khiêm |
| 2. GS. TS. Trần Thực | 15. PGS. TS. Nguyễn Bá Thủy |
| 3. GS. TS. Mai Trọng Nhuận | 16. TS. Tống Ngọc Thanh |
| 4. GS. TS. Phan Văn Tân | 17. TS. Đinh Thái Hưng |
| 5. GS. TS. Nguyễn Kỳ Phùng | 18. TS. Võ Văn Hòa |
| 6. GS. TS. Phan Đình Tuấn | 19. TS. Nguyễn Đắc Đồng |
| 7. GS. TS. Nguyễn Kim Lợi | 20. GS. TS. Kazuo Saito |
| 8. PGS. TS. Nguyễn Văn Thắng | 21. GS. TS. Jun Matsumoto |
| 9. PGS. TS. Dương Văn Khảm | 22. GS. TS. Jaecheol Nam |
| 10. PGS. TS. Dương Hồng Sơn | 23. TS. Keunyoung Song |
| 11. TS. Hoàng Đức Cường | 24. TS. Lars Robert Hole |
| 12. TS. Bạch Quang Dũng | 25. TS. Sooyoul Kim |
| 13. PGS.TS. Đoàn Quang Trí | |

Giấy phép xuất bản

Số: 225/GP-BTTTT - Bộ Thông tin Truyền
thông cấp ngày 08/6/2015

Tòa soạn

Số 8 Pháo Đài Láng, Đống Đa, Hà Nội
Điện thoại: 024.39364963
Email: Tapchikttv@gmail.com

Chế bản và In tại:

Công ty Cổ Phần In và Thương Mại Hà
Thành Thăng Long
ĐT: 0243.2022639

Ảnh bìa: Trạm Quan trắc Khí tượng bề mặt Phú
Quốc

Giá bán: 40.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN
SỐ 766 - 10/2024

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- 1** **Bùi Thị Khánh Hòa, Đỗ Thị Ánh Huyền, Nguyễn Việt Hưng, Hoàng Thị Thanh Thuật, Nguyễn Thị Hoàng Anh, Nguyễn Vinh Thư:** Nghiên cứu đánh giá hiệu quả các phương pháp ước tính định lượng mưa từ dữ liệu radar thời tiết
- 19** **Nguyễn Thị Hiền, Trần Văn Hưng, Phùng Thị Vui:** Ứng dụng bộ công cụ DNORA dự báo sóng tại vùng biển Nam Trung Bộ: Áp dụng thí điểm mô phỏng trường sóng trong bão Damrey năm 2017
- 29** **Hoàng Hải Sơn, Nguyễn Xuân Anh, Phạm Xuân Thành, Phạm Lê Khương, Nguyễn Văn Hiệp:** Nghiên cứu cải tiến phương pháp cảnh báo sét theo tổ hợp đa nguồn số liệu, áp dụng cho một số khu vực tại tỉnh Quảng Nam
- 43** **Dương Thị Lịm, Nguyễn Thị Hương Thúy, Đặng Trần Quân, Nguyễn Thị Lan Hương, Nguyễn Thị Huế, Trịnh Thị Minh Trang, Trần Thu Thủy, Phạm Thị Dung, Nguyễn Việt Cường, Vũ Đức Mạnh:** Ảnh hưởng của kỹ thuật lấy mẫu đến tính chất vi nhựa vùng cửa sông, ven biển: Thí điểm tại cửa Hới, tỉnh Thanh Hóa
- 53** **Nguyễn Vinh Phú, Phạm Thị Làn:** Đánh giá hiệu quả ứng dụng ảnh Sentinel-1 và Sentinel-2 xác định mất rừng: Thí điểm khu vực huyện Đam Rông, tỉnh Lâm Đồng
- 65** **Nguyễn Quang Minh, Nguyễn Văn Trung, Lê Thị Thu Hà:** Ứng dụng dữ liệu đa phổ Sentinel-2 trong thành lập bản đồ sinh vật đáy khu vực quần đảo Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu, Việt Nam
- 77** **Trần Đăng An, Thái Hữu Hùng, Nguyễn Thái Sơn:** Nghiên cứu phân vùng mức độ thích nghi đối với các loại rừng trồng trong vùng đất bán ngập lòng hồ Srok Phu Miêng, tỉnh Bình Phước, Việt Nam
- 90** **Nguyễn Đức Toàn:** Quản trị an ninh phi truyền thống liên quan biến đổi khí hậu để phát triển bền vững

Bài báo khoa học

Nghiên cứu đánh giá hiệu quả các phương pháp ước tính định lượng mưa từ dữ liệu radar thời tiết

Bùi Thị Khánh Hòa^{1*}, Đỗ Thị Ánh Huyền¹, Nguyễn Việt Hưng¹, Hoàng Thị Thanh Thuật¹, Nguyễn Thị Hoàng Anh¹, Nguyễn Vinh Thu¹

¹ Trung tâm Mạng lưới khí tượng thủy văn quốc gia; khanhhoa303@gmail.com; anhhuyen1998.n@gmail.com; nguyenviethungb115@gmail.com; hoangthithanhthuat99@gmail.com; hoanganhck@gmail.com; vinhthu73@gmail.com

*Tác giả liên hệ: khanhhoa303@gmail.com; Tel.: +84-916591270

Ban Biên tập nhận bài: 12/4/2024; Ngày phản biện xong: 7/5/2024; Ngày đăng bài: 25/10/2024

Tóm tắt: Nghiên cứu này đưa ra phương pháp xây dựng mối quan hệ giữa lượng mưa (R) và tham số độ lệch pha riêng (K_{dp}) của radar phân cực đôi trong trường hợp không có thiết bị phân loại kích thước hạt và so sánh hiệu quả ước tính định lượng mưa (*Quantitative Precipitation Estimation - QPE*) giữa phương pháp sử dụng tham số K_{dp} , phương pháp hiệu chỉnh hợp nhất có điều kiện (*Kriging with Radar-based Error correction - KRE*) và phương pháp Marshall-Palmer trong một số trường hợp mưa lớn tại khu vực Hà Nội. Kết quả chỉ ra rằng, mối quan hệ thực nghiệm $R(K_{dp}) = 31,9K_{dp}^{0,81}$ xây dựng được trong nghiên cứu này được áp dụng riêng cho khu vực Hà Nội trong trường hợp xảy ra mưa lớn và phù hợp với hiện trạng khi không có mô phỏng về phân bố kích thước hạt mưa; việc sử dụng công thức thực nghiệm ước tính định lượng mưa $R(K_{dp})$ được thiết lập khi không có thiết bị phân loại hạt mang lại ít hiệu quả trong các trường hợp mưa lớn kể cả khi đã điều chỉnh cả hệ số a và b đối với từng đặc điểm thời tiết khác nhau. Phương pháp hiệu chỉnh KRE đã mô phỏng và nắm bắt tương đối tốt các trường hợp mưa thử nghiệm và cho kết quả tốt nhất trong số ba phương pháp đánh giá.

Từ khóa: QPE; Độ lệch pha riêng K_{dp} ; Radar phân cực đôi; KRE.

1. Mở đầu

Lượng mưa là một trong những biến quan trọng của khí quyển. Các quan trắc lượng mưa trên toàn cầu và khu vực thực hiện việc giám sát sự thay đổi của lượng mưa theo thời gian và không gian giúp chúng ta hiểu rõ hơn về các hiện tượng thời tiết nguy hiểm mà yếu tố mưa đóng góp chính như mưa lớn, mưa đá, bão, lũ,... cũng như dự báo được các hiện tượng đó một cách dễ dàng hơn. Thiết bị đo mưa bề mặt và radar thời tiết là những công cụ được sử dụng rộng rãi nhất để thu thập ước tính lượng mưa gần theo thời gian thực. Mặc dù thiết bị đo mưa bề mặt và radar thời tiết thể hiện được những điểm mạnh nhất định nhưng cả hai thiết bị này đều mắc phải nhiều lỗi phổ biến đã làm hạn chế khả năng đưa ra ước tính lượng mưa tối ưu [1]. Dữ liệu trạm đo mưa bề mặt cung cấp ước tính lượng mưa dạng điểm tương đối chính xác gần bề mặt; tuy nhiên, ngay cả phép đo mưa tốt nhất tại một thời điểm cũng chỉ đại diện cho một khu vực giới hạn trên mặt đất, bị hạn chế bởi diện tích bao phủ, vì vậy không thể biểu thị phạm vi không gian của hiện tượng. Trong khi đó radar lại cung cấp độ phân giải cao theo không gian của trường lượng mưa tương đối chính xác [2] là nguồn số liệu bổ khuyết cho những khu vực có địa hình phức tạp (vùng núi, vùng biển, ...) không thể lắp đặt các hệ thống đo đặc truyền thống. Ước tính định lượng mưa QPE chính xác dựa trên radar là một trong những mục tiêu ứng dụng quan trọng của radar thời tiết.

Đối với radar đơn cực, cường độ mưa (R) được tính từ giá trị cường độ phản hồi vô tuyến (PHVT) của radar. Tuy nhiên, trên thực tế thì R không chỉ phụ thuộc vào PHVT (Z) mà còn phụ thuộc vào đặc điểm của sự phân bố kích thước hạt (*Raindrop size distributions - DSD*). Trong trường hợp xảy ra mưa lớn, tín hiệu radar có thể bị ảnh hưởng bởi sự suy giảm và làm giảm đáng kể cường độ PHVT radar, do đó ảnh hưởng đến ước tính lượng mưa thu được. Để khắc phục những khó khăn này, radar phân cực đôi đã được nghiên cứu và sử dụng rộng rãi nhằm cải thiện QPE. Công nghệ radar phân cực đôi phát triển nhanh chóng trong các cơ quan dự báo thời tiết do cải thiện được chất lượng dữ liệu, đo cường độ mưa chính xác hơn và có thể phân loại mục tiêu khí tượng thủy văn, mà điều này không thể thực hiện được với radar đơn cực truyền thống. Một tính năng quan trọng của radar phân cực đôi là việc đánh giá mức độ hiệu quả của chúng đối với việc ước tính các tham số của DSD. Các tham số DSD này thay đổi phụ thuộc vào các quá trình vi vật lý của đám mây, liên quan đến sự bất ổn định của khí quyển, thành phần sol khí, nhiệt độ và độ ẩm. Các quá trình hình thành loại mây khác nhau cũng gây ra sự biến thiên của các tham số DSD trong mưa khác nhau.

Radar phân cực đôi có thể cải thiện độ chính xác của QPE tốt hơn so với mối quan hệ Z - R thông thường, giúp phát hiện vị trí, cường độ mưa của các hiện tượng thời tiết nguy hiểm. Ngoài ra, việc sử dụng các radar phân cực đôi cũng cải thiện khả năng phát hiện và loại bỏ những PHVT phi khí tượng (như nhiễu địa hình, nhiễu sóng biển, nhiễu dị thường, hay các mục tiêu là sinh vật như côn trùng, chim, dơi, ...) và giảm tác động của sự thay đổi phân bố DSD đối với chất lượng QPE [3]. Hệ thống radar phân cực đôi cung cấp cả thông tin về pha lan truyền vi phân và tán xạ ngược, do đó có thể đưa ra các đặc điểm bổ sung về môi trường lan truyền lượng mưa, hạn chế những sai số liên quan đến QPE do sự biến đổi của DSD. Ngoài cường độ PHVT (Z), radar phân cực đôi còn có khả năng đo được nhiều tham số khác nhau, bao gồm độ lệch PHVT giữa hai kênh phân cực (Z_{dr}), hệ số tương quan (ρ_{hv}), độ lệch pha do môi trường truyền (Φ_{dp}) và độ lệch pha riêng (K_{dp}), trong đó, Z_{dr} và K_{dp} thường được sử dụng riêng hoặc kết hợp để ước tính QPE.

Khái niệm ước tính định lượng mưa sử dụng K_{dp} lần đầu được giới thiệu bởi [4], nghiên cứu đã đưa ra mối quan hệ giữa R và K_{dp} cho các radar băng sóng S. Không giống như Z hay Z_{dr} , K_{dp} không phải là kết quả của phép đo radar trực tiếp. Các ước lượng thu được từ K_{dp} được định nghĩa là một nửa đạo hàm theo khoảng cách của Φ_{dp} hay mức chênh lệch Φ_{dp} giữa hai khoảng cách, cho biết lượng nước lỏng ở vị trí nhất định. Độ lệch chuẩn của K_{dp} phụ thuộc vào khoảng cách trung bình của phạm vi quan trắc của radar. Tham số K_{dp} không bị ảnh hưởng bởi sự suy giảm của quá trình lan truyền búp sóng radar và sai số hiệu chỉnh, vì vậy mà nó được coi là hữu ích trong ước tính QPE và dự kiến sẽ cải thiện độ chính xác của QPE trong mưa lớn. Tuy nhiên, cần cân nhắc khi lựa chọn giữa độ chính xác và độ phân giải khoảng cách của các ước tính QPE dựa trên K_{dp} . Các thuật toán tính toán K_{dp} đã được phát triển để ước tính QPE dựa trên mối quan hệ tham số $R(K_{dp})$ đơn lẻ [5]. Sau đó, nghiên cứu [6] đã đề xuất một công thức sửa đổi có khả năng xử lý các giá trị K_{dp} âm và giảm sai lệch trong ước tính lượng mưa tích lũy. Ước tính QPE dựa trên K_{dp} ($R(K_{dp})$) có ưu điểm là không nhạy cảm với các sai số do hiệu chỉnh, suy giảm, che khuất một phần hay nhiễu địa hình [6]. Nghiên cứu [7] chỉ ra rằng, các phương pháp ước tính định lượng mưa từ tham số K_{dp} cung cấp những phép tính chính xác nhất về lượng mưa lớn trong số nhiều phương pháp ước tính QPE sử dụng radar đơn cực và phân cực đôi. Ngoài ra, dựa trên độ lệch pha riêng (K_{dp}) có thể hiệu chỉnh sai số radar, suy giảm PHVT do mưa và che khuất một phần chùm tia radar [6].

Mối quan hệ $R(K_{dp})$ ít bị ảnh hưởng bởi sự biến đổi của DSD, đặc biệt là đối với trường hợp mưa lớn [5–6]. Tuy nhiên, các tham số a và b trong quan hệ lũy thừa $R(K_{dp}) = aK_{dp}^b$ cần được điều chỉnh tùy thuộc vào loại mưa chiếm ưu thế, và K_{dp} bị ảnh hưởng bởi kích thước hạt nếu kích thước các hạt mưa không đủ lớn và nó không bị ảnh hưởng bởi sự hiện diện của các hạt nhỏ. Nói chung, hệ số a cao hơn đối với mưa ở khu vực nhiệt đới, thấp hơn đối với mưa ở khu vực lục địa vì mưa lục địa thường chứa những hạt mưa có đường kính lớn hơn so

với khu vực nhiệt đới [8–13]. Một số nghiên cứu đã đưa ra hệ số a và b cho mỗi quan hệ $R(K_{dp}) = aK_{dp}^b$ áp dụng với radar băng sóng C như trong các nghiên cứu [8–11, 13–16]. Các mối quan hệ này được liệt kê trong Bảng 1.

Bảng 1. Mối quan hệ giữa R và K_{dp} đối với radar băng sóng C.

R(K_{dp}) (mm/h)	Công trình
$R = 31,37 K_{dp}^{0,835}$	[17]
$R = 28,80 K_{dp}^{0,850}$	[10]
$R = 24,68 K_{dp}^{0,810}$	[11]
$R = 25,10 K_{dp}^{0,777}$	[12]
$R = 35,40 K_{dp}^{0,799}$	[14]
$R = 22,15 K_{dp}^{0,866}$	[15]
$R = 30,62 K_{dp}^{0,780}$	[16]

Các công thức trong Bảng 1 được xây dựng trong từng trường hợp nghiên cứu cụ thể tại từng khu vực khác nhau, đặc điểm thời tiết khác nhau, do vậy không thể áp dụng riêng một công thức nào cho khu vực Việt Nam. Hơn nữa, hiện tại, ở Việt Nam vẫn chưa lắp đặt thiết bị phân loại kích thước hạt nên trong nghiên cứu này sẽ trình bày phương pháp xây dựng công thức thực nghiệm ước tính định lượng mưa từ độ lệch pha riêng K_{dp} trong trường hợp chưa có thiết bị phân loại kích thước hạt.

Tại Việt Nam đã có một số nghiên cứu về việc ước tính định lượng mưa từ các tham số của radar. Năm 2010 và năm 2013, nghiên cứu [17] đã xây dựng công thức thực nghiệm để tính toán cường độ mưa từ độ PHVT quan trắc bởi radar cho khu vực Trung Trung Bộ, Bắc Trung Bộ và Nam Đồng Bằng Bắc Bộ [17–18]. Nghiên cứu [19] đã thực hiện đánh giá ước lượng mưa từ độ PHVT của radar cho trạm radar Nhà Bè sử dụng các công thức thực nghiệm dựa trên mối quan hệ giữa độ PHVT của radar và cường độ mưa. Nghiên cứu [20] đã sử dụng số liệu của radar phân cực đối với các biến: độ PHVT (Z), độ lệch pha riêng (K_{dp}), hệ số tương quan (phv) và độ lệch PHVT (Z_{dr}) để nghiên cứu xây dựng phương pháp phân loại đặc điểm mưa sử dụng thuật toán phân loại Máy vectơ hỗ trợ. Nghiên cứu [20] cho thấy công thức ước lượng mưa sử dụng các biến của radar phân cực đôi đem lại kết quả tốt hơn, giá trị các sai số nhỏ hơn và hệ số tương quan tốt hơn khi chỉ sử dụng giá trị Z thông thường. Những nghiên cứu trước đây chủ yếu tập trung về mối quan hệ Z-R thông thường, đôi khi vẫn còn hạn chế trong việc ước tính khu vực xảy ra mưa lớn.

Tuy nhiên, kể cả radar phân cực đơn và radar phân cực đôi đều không thể tránh khỏi những sai số do dẫn đến ước lượng mưa không chính xác. Vì vậy, bên cạnh việc sử dụng radar, để cải thiện các vấn đề liên quan đến kỹ thuật đo lường, những cố gắng hợp nhất các ước lượng mưa từ radar và đo mưa bề mặt đã được đưa vào nghiên cứu nhằm cho phép trích xuất điểm mạnh của từng công cụ, đồng thời giảm thiểu những điểm yếu. Việc sử dụng kết hợp radar và thiết bị đo mưa bề mặt để ước lượng mưa vượt trội hơn so với việc sử dụng riêng biệt. Các phương pháp hiệu chỉnh phụ thuộc vào các yếu tố như mật độ mạng lưới radar, xử lý dữ liệu radar, địa hình, tính khả dụng về không gian và thời gian của mạng lưới đo mưa bề mặt.

Kriging là một phương pháp nội suy tối ưu áp dụng một đường trung bình cộng có trọng số để tạo ra ước tính cục bộ tốt nhất của một biến số được khu vực hoá. Kriging dựa trên mô hình hiệp phương sai không gian của dữ liệu. Hợp nhất có điều kiện còn được gọi là Kriging với hiệu chỉnh radar KRE được xây dựng bởi [21] sử dụng trường dữ liệu radar để ước tính sai số liên quan đến phương pháp Kriging thông thường dựa trên đo mưa bề mặt và hiệu chỉnh nó. Quá trình này dựa trên giả định rằng quan trắc radar tạo ra trường giá trị thực chưa biết, trong khi đó đo mưa bề mặt tạo ra trường giá trị thực xác định. Cấu trúc không gian của trường quan trắc dựa trên dữ liệu radar và dữ liệu đo mưa bề mặt được đưa vào trường này bằng cách sử dụng Kriging nguyên bản.

Radar tạo ra một quan trắc về trường lượng mưa thực không xác định bị ảnh hưởng bởi một số nguồn sai số, nhưng vẫn giữ nguyên cấu trúc hiệp phương sai chung của trường lượng mưa thực. Thông tin từ radar có thể được sử dụng để hiệu chỉnh thông tin bị giới hạn về mặt không gian thu được bằng cách nội suy giữa các trạm đo mưa bề mặt và tạo ra ước lượng về trường lượng mưa có cấu trúc không gian chính xác trong khi dữ liệu đo mưa bề mặt bị giới hạn. Phương pháp KRE tương đối đơn giản, hiệu quả về mặt tính toán

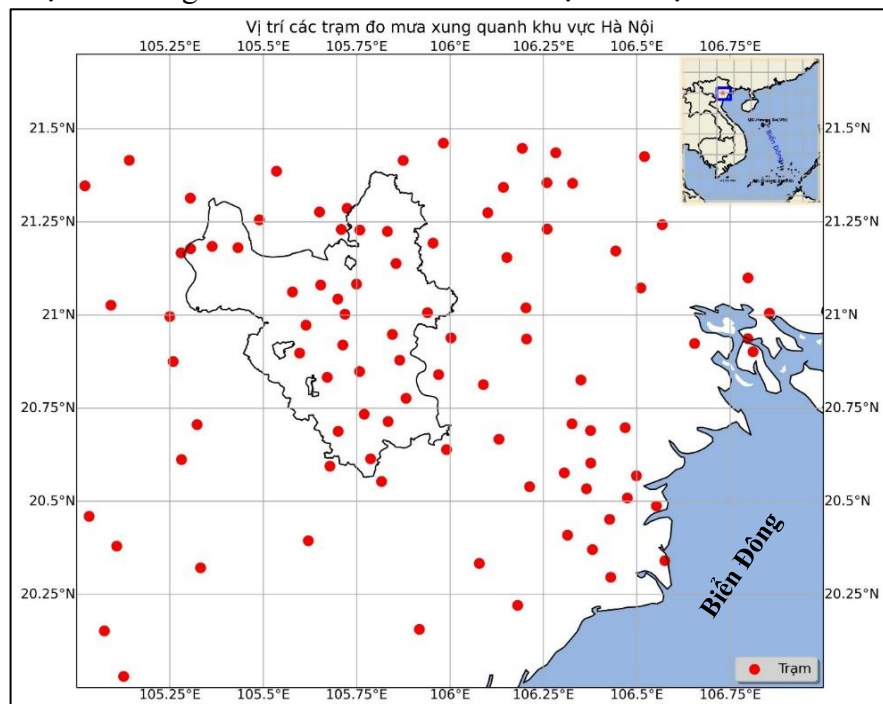
Việc sử dụng nhiều phương pháp khác nhau để ước lượng mưa thì đều nhằm một mục đích duy nhất là cải thiện độ chính xác trong tính toán định lượng mưa từ radar. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này sẽ tập trung nghiên cứu hai phương pháp chính là sử dụng tham số độ lệch pha riêng K_{dp} và sử dụng phương pháp KRE, từ đó đưa ra những nhận xét và đánh giá xem phương pháp nào cải thiện việc tính toán định lượng mưa tốt hơn cho hệ thống radar Việt Trì trong trường hợp xảy ra mưa lớn, sau đó đánh giá áp dụng cho khu vực Hà Nội.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu và khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu: Trạm radar Việt Trì (nằm ở tọa độ $21^{\circ}41'94''$ vĩ độ Bắc và $105^{\circ}30'47''$ kinh độ Đông) ban đầu được lắp đặt trong khuôn khổ của dự án viện trợ không hoàn lại vào năm 2001, đây là loại radar TRS - 2730 của Pháp. Đến năm 2020, trạm radar này được nâng cấp lên chủng loại WRM200 do Phần Lan lắp đặt. Đây là trạm radar phân cực đôi, băng sóng C, chế độ quét xung dài bao gồm năm góc nâng cố định ($0,5^{\circ}$; $1,5^{\circ}$; $2,5^{\circ}$; $3,6^{\circ}$ và $5,0^{\circ}$) và chế độ quét xung ngắn là 10 góc nâng cố định; tần suất quan trắc của radar là 10 phút một bao gồm cả chế độ xung dài và xung ngắn. Nằm ở độ cao 150m so với mực nước biển, do địa hình xung quanh hệ thống radar Việt Trì khá phức tạp gồm nhiều đồi núi cao nên các tia quét radar bị ảnh hưởng nhiều; radar bị che khuất một phần búp sóng ở khu vực phía Bắc Đông Bắc so với trạm, nên vùng PHVT ở khu vực này bị mất khá nhiều. Khu vực Hà Nội nằm trong bán kính quét tối ưu của radar Việt Trì (120 km), khu vực này cũng là khu vực có mật độ trạm đo mưa bề mặt dày nhất cả nước cũng như có chất lượng tốt hơn hẳn so với các khu vực còn lại, địa hình khá bằng phẳng không bị che khuất nhiều nên trong phạm vi nghiên cứu này sẽ sử dụng dữ liệu quan trắc tại trạm radar Việt Trì để ước tính định lượng mưa từ radar nhằm cải thiện khả năng ước tính mưa lớn cho khu vực Hà Nội.

Số liệu radar: dữ liệu radar ở góc nâng thấp nhất trong chế độ quét xung dài sẽ được sử dụng để trích xuất ra tham số độ lệch pha riêng K_{dp} (lý giải việc lựa chọn góc nâng thấp nhất sẽ được trình bày ở phần 3.1). Trường PHVT (Z) tại 5 góc nâng ở chế độ quét xung dài sẽ được sử dụng để thiết lập mặt cắt PCAPPI ở độ cao 2km phục vụ cho việc ước tính lượng mưa sử dụng cường độ PHVT. Tham số



Hình 1. Vị trí các trạm đo mưa xung quanh khu vực Hà Nội.

cường độ PHVT (Z), độ lệch pha riêng (K_{dp}) của radar Việt Trì trong giai đoạn 2021-2022 được sử dụng. Phương pháp kiểm soát chất lượng dữ liệu radar được áp dụng trong nghiên cứu này dựa trên thuật toán của Viện Khí tượng Phần Lan (<https://github.com/fmidev/rack>, truy cập ngày 9/1/2024), phương pháp hiệu chỉnh suy giảm dựa trên phương pháp Mkraemer [23].

Đối với dữ liệu đo mưa bề mặt nghiên cứu sử dụng số liệu của 92 trạm đo mưa (bao gồm cả trạm khí tượng tự động và trạm đo mưa tự động) trong vùng bán kính quan trắc của radar Việt Trì với tần suất quan trắc 10 phút một trong năm 2021. Vị trí của 92 trạm đo mưa này được phân bố như trong Hình 1. Dữ liệu của 92 trạm này đã được kiểm soát chất lượng trước khi đưa vào sử dụng theo phương pháp [24].

2.2. Phương pháp ước lượng mưa từ radar Việt Trì áp dụng cho khu vực Hà Nội

2.2.1. Phương pháp ước lượng mưa từ radar Việt Trì áp dụng cho khu vực Hà Nội sử dụng độ lệch pha riêng K_{dp}

Hiện nay tại Việt Nam chưa có thiết bị phân loại kích thước hạt nên không thể đánh giá mô phỏng giữa các tham số đo đặc kích thước hạt và các tham số của hệ thống radar phân cực kép Việt Trì. Do vậy để xây dựng được mối quan hệ giữa cường độ mưa và tham số phân cực kép K_{dp} thì cần thiết phải sử dụng dữ liệu mưa từ các trạm đo mưa xung quanh khu vực radar Việt Trì với tần suất quan trắc 10 phút tương tự như K_{dp} để xây dựng mối quan hệ này. Khi sử dụng tham số K_{dp} để tính toán lượng mưa cần quan tâm tới (i) góc nâng được sử dụng để ước tính lượng mưa, thông thường góc nâng thấp sẽ là tốt nhất; (ii) khả năng che khuất của radar cũng được xem xét để xác định mức độ mạnh hoặc yếu của trường PHVT; (iii) khoảng cách đến radar cũng được quan tâm là do búp sóng radar hẹp khi ở gần radar và mở rộng hơn khi ở xa radar nên ở càng xa radar thì sự suy giảm năng lượng càng lớn nên không thể sử dụng K_{dp} để ước tính lượng mưa ở các khu vực ngoài bán kính 120 km. Mối quan hệ giữa cường độ mưa và độ lệch pha riêng K_{dp} được xác định như sau:

$$R(K_{dp}) = aK_{dp}^b \quad (1)$$

Trong đó R là lượng mưa ước tính từ radar; K_{dp} là tham số độ lệch pha riêng của radar; a, b là các hệ số thực nghiệm.

Các bước thực hiện để xây dựng công thức ước tính định lượng mưa cho khu vực Hà Nội như sau:

Bước 1: Thu thập dữ liệu K_{dp} từ các ô lưới trên vị trí trạm đo mưa xung quanh khu vực Hà Nội (Hình 1) trong vùng bán kính quét 120 km của radar Việt Trì theo các trường hợp mưa lớn ở Bảng 2. Năm trường hợp xảy ra mưa lớn tại khu vực này được thu thập (Bảng 2).

Bước 2: Đánh giá phân bố giữa (Z, K_{dp}) để kiểm tra độ phân giải theo phương ngang và lựa chọn phạm vi mà K_{dp} được xem là tốt nhất cho việc ước lượng cường độ mưa; đánh giá việc lựa chọn góc nâng thứ nhất hoặc thứ hai trong trình quét của radar Việt Trì phù hợp cho khu vực Hà Nội.

Bước 3: Chỉ trong trường hợp $K_{dp} \geq 0,5$ và $Z > 38\text{dBZ}$ thì mới tính toán cường độ mưa từ K_{dp} với tham số nguyên bản từ nghiên cứu radar gần đây ở khu vực nhiệt đới với cường độ mưa 10 phút từ các trạm đo mưa của Việt Nam để phát huy hiệu quả của K_{dp} trong trường hợp mưa lớn và loại trừ khả năng K_{dp} không hiệu quả nếu kích thước hạt không đủ lớn.

Bước 4: Vẽ giản đồ dạng tụ điểm từ dữ liệu lượng mưa 10 phút ước lượng từ K_{dp} và lượng mưa 10 phút của các trạm đo mưa.

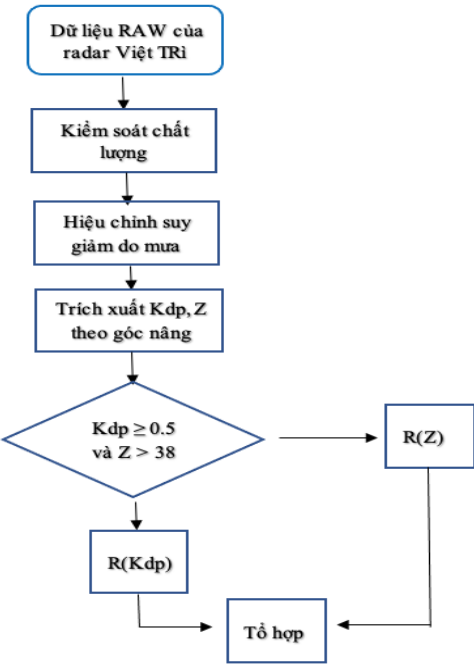
Bước 5: Thiết lập tham số hiệu chỉnh bằng cách lấy nghịch đảo hệ số hồi quy từ mối quan hệ tuyến tính thu được ở Bước 4. Như vậy, tại mỗi thời điểm quan trắc (10 phút) thì hệ số hiệu chỉnh này sẽ thay đổi từ đó đưa ra hệ số a, b cần tìm. Với mỗi trường hợp mưa lớn khác nhau thì các hệ số a và b cũng sẽ khác nhau.

Bảng 2. Những trường hợp mưa lớn năm 2021 được đưa vào thử nghiệm trong nghiên cứu.

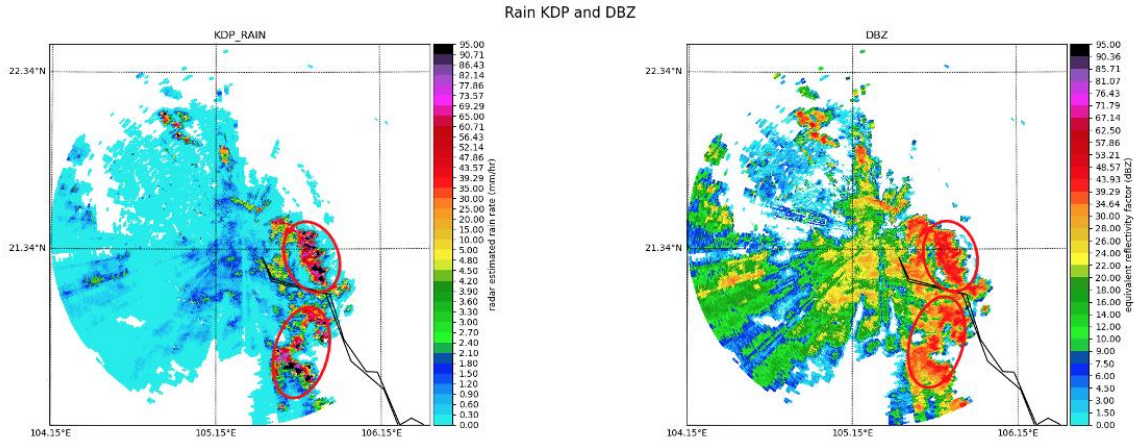
STT	Thời gian	Đặc điểm mưa
1	25/04 - 26/04	Do có sự ảnh hưởng của không khí lạnh kết hợp với hội tụ gió lên đến mực 1500 mm gây mưa lớn trên khu vực Bắc Bộ, các tỉnh từ Thanh Hoá đến Quảng Bình. Lượng mưa phổ biến từ 30-70 mm, một số nơi lượng mưa trên 100 mm như: Văn Lý (Nam Định) 124 mm, Đô Lương (Nghệ An) 126 mm, Hoài Đức (Hà Nội) 106 mm, Tam Đảo (Vĩnh Phúc) 101 mm, Bắc Quang (Hà Giang) 109 mm,...
2	06/06 - 10/06	Do ảnh hưởng của rãnh áp thấp quanh nam Đồng bằng Bắc bộ kết hợp với hội tụ gió lên đến mực 5000 m gây mưa lớn trên khu vực Bắc Bộ và các tỉnh Thanh Hoá, Nghệ An. Lượng mưa phổ biến 70-150 mm, một số nơi có lượng mưa lớn hơn như: Mường Lát (Thanh Hoá) 196 mm, Thạch Quảng (Thanh Hoá) 186 mm, Tây Hiếu (Nghệ An) 175 mm, Hưng Yên 184 mm,...
3	07/07 - 09/07	Ảnh hưởng của hoàn lưu vùng áp thấp nhiệt đới sau suy yếu thành vùng thấp kết hợp với đới gió Đông Nam gây mưa lớn trên khu vực Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ. Lượng mưa phổ biến từ 50-80 mm, riêng khu vực Bắc Trung Bộ, Hòa Bình, Nam Sơn La, đồng bằng và trung du Bắc Bộ có lượng mưa từ 70-120 mm, một số nơi có lượng mưa lớn hơn như: Sầm Sơn (Thanh Hóa) 202 mm, Thanh Hóa 175 mm, Đô Lương (Nghệ An) 120 mm, Thái Bình 150 mm, Nam Định 154 mm, Sơn Tây (Hà Nội) 161 mm, Văn Lý (Nam Định) 129 mm, Hòa Bình 130 mm, Bắc Yên (Sơn La) 135 mm, Văn Chấn (Yên Bái) 133 mm,...
4	23/09 - 24/09	Do ảnh hưởng của bão số 6 gây mưa lớn trên khu vực các tỉnh từ Quảng Trị đến Bình Định, Kon Tum và Gia Lai. Lượng mưa phổ biến từ 100-250 mm, có nơi trên 250 mm, các tỉnh Kon Tum, Gia Lai phổ biến 80-150 mm, có nơi trên 200 mm. Một số nơi có lượng mưa lớn như: Phước Năng (Quảng Nam) 310 mm, Đức Phổ (Quảng Ngãi) 310 mm, Trà Hiệp (Quảng Ngãi) 282 mm, Bình Khương (Quảng Ngãi) 271 mm, Sơn Giang (Quảng Ngãi) 268 mm, Đắk Ui (Kon Tum) 277 mm,...
5	07/11 - 11/11	Ảnh hưởng của không khí lạnh kết hợp với nhiễu động gió Đông gây mưa lớn từ Thừa Thiên Huế đến Khánh Hoà. Lượng mưa phổ biến 150-250 mm, có nơi trên 300 mm như: Trà My (Quảng Nam) 342 mm, Ba Tơ (Quảng Ngãi) 316 mm, Trà Kót (Quảng Nam) 463 mm, Sơn Kỳ (Quảng Ngãi) 450 mm, Sông Hình 4 (Phú Yên) 389 mm,...

Từ công thức thực nghiệm ước tính định lượng mưa từ K_{dp} mới tìm được; một sơ đồ thuật toán giúp cải thiện ước tính định lượng mưa cho khu vực Hà Nội được đưa ra (Hình 2).

Hình 2 trình bày sơ đồ thuật toán ước tính định lượng mưa sử dụng tham số K_{dp} cho khu vực Hà Nội. Đầu tiên, dữ liệu thô dạng (.RAW) của radar Việt Trì năm 2021 sẽ được thu thập. Sau khi kiểm soát chất lượng và hiệu chỉnh suy giảm, từ dữ liệu RAW này trích xuất ra trường dữ liệu của tham số độ lệch pha riêng (K_{dp}) và cường độ PHVT (Z) theo từng góc nâng về vị trí các trạm đo mưa (92 trạm xung quanh khu vực Hà Nội, Hình 1). Với điều kiện $K_{dp} \geq 0,5$ và $Z > 38$ được đưa ra để phân loại mưa và chỉ tính toán công thức K_{dp} trong trường hợp vùng mây đó là mây đối lưu và điều kiện này cũng là để lọc các vùng không mây trong khu vực của radar Việt Trì. Nếu K_{dp} và Z không thỏa mãn điều kiện trên thì ước tính lượng mưa QPE được tính dựa vào mối quan hệ Marshall-Palmer ($Z=200R^{1,6}$). Cuối cùng sản phẩm tổ hợp trường lượng mưa ước tính từ K_{dp} và Z được đưa ra.



Hình 2. Sơ đồ thuật toán cải thiện ước tính định lượng mưa sử dụng K_{dp} cho khu vực Hà Nội. khu vực Hà Nội.



Hình 3. Mô phỏng trường mưa ước tính sử dụng độ lệch pha riêng K_{dp} (bên trái) và PHVT radar (bên phải) tại trạm Việt Trì vào lúc 13:00UTC ngày 25 tháng 6 năm 2021.

Hình 3 là ví dụ minh họa cụ thể cho việc ước tính định lượng mưa sử dụng K_{dp} tại trạm radar Việt Trì dựa vào sơ đồ thuật toán ở Hình 2. Trong Hình 3, đối với khu vực có PHVT lớn trên 38 dBZ và giá trị K_{dp} lớn hơn hoặc bằng 0,5 (vùng được khoanh đỏ) là khu vực sử dụng công thức thực nghiệm K_{dp} và những khu vực không thỏa mãn điều kiện trên sẽ sử dụng mối quan hệ Marshall-Palmer từ PHVT (Z) để ước tính định lượng mưa từ radar.

2.2.2. Phương pháp định lượng mưa sử dụng kỹ thuật hiệu chỉnh hợp nhất có điều kiện

Phương pháp định lượng mưa sử dụng kỹ thuật hiệu chỉnh hợp nhất có điều kiện [22] áp dụng cho khu vực Hà Nội được xác định theo các bước sau:

Bước 1: Các giá trị radar được nội suy trên mỗi vị trí của thiết bị đo mưa bề mặt xung quanh khu vực Hà Nội và được tính theo Kriged để tạo ra trường Kriged của radar (R_K).

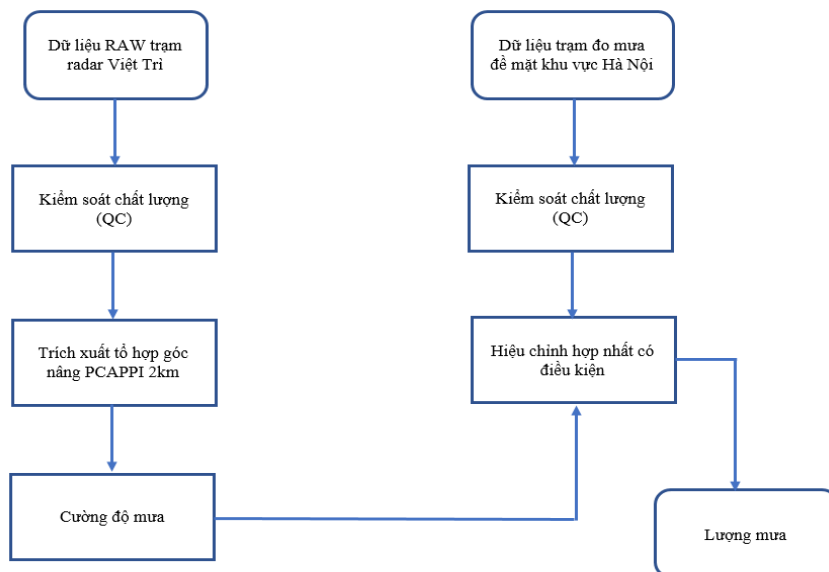
Bước 2: Sự khác biệt giữa trường radar Kriged và trường radar ban đầu được lấy để thu được trường hiệu chỉnh với phương trình sau:

$$\epsilon_R(s_i) = R(s_i) - R_K(s_i) \quad (2)$$

Bước 3: Trường hiệu chỉnh được thêm vào đo mưa bề mặt Kriged (G_K) để thu được ước lượng mưa đã hiệu chỉnh Corr. Precip(s_i) tại vị trí s_i theo biểu thức sau:

$$\text{Corr. Precip}(s_i) = G_K(s_i) + \epsilon_R(s_i) \quad (3)$$

Sơ đồ thuật toán mô tả các bước thực hiện này được minh họa ở Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ thuật toán cải thiện ước tính định lượng mưa sử dụng phương pháp hiệu chỉnh hợp nhất có điều kiện cho khu vực Hà Nội.

2.3. Phương pháp đánh giá

Khả năng ước tính định lượng mưa từ các phương pháp trình bày ở phần 2.2 được đánh giá thông qua việc sử dụng các chỉ số đánh giá như sau:

$$\text{Sai số trung bình (ME): } ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i - O_i) \quad (4)$$

$$\text{Sai số tuyệt đối trung bình (MAE): } MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |R_i - O_i| \quad (5)$$

$$\text{Sai số bình phương trung bình gốc (RMSE): } RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i - O_i)^2} \quad (6)$$

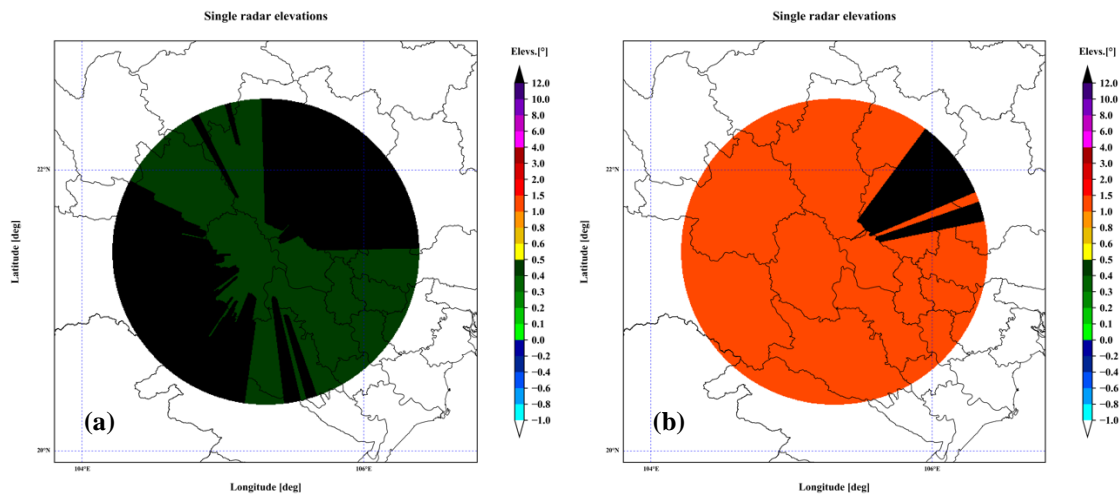
$$\text{Hệ số tương quan (CC): } CC = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2 \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}} \quad (7)$$

Trong đó R_i là lượng mưa ước lượng; O_i là lượng mưa quan trắc; \bar{R} là lượng mưa ước lượng trung bình và \bar{O} là lượng mưa trung bình quan trắc từ bề mặt; N là số điểm có dữ liệu.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xây dựng công thức tính toán định lượng mưa từ tham số K_{dp}

Phân tích che khuất để lựa chọn góc nâng thứ nhất cho việc trích xuất K_{dp} :



Hình 5. Che khuất búp sóng theo từng góc nâng của radar Việt Trì: (a) Góc nâng 0,5°, (b) Góc nâng 1,5°.

Hình 5a là bản đồ mô phỏng che khuất búp sóng tại góc nâng 0,5° và Hình 5b là bản đồ mô phỏng che khuất búp sóng tại góc nâng 1,5°. Những khu vực màu đen là những khu vực bị che khuất (hay vùng không nhìn thấy của radar). Trên Hình 5a, khu vực phía Đông Bắc và Tây Nam của trạm radar Việt Trì là những khu vực bị che khuất búp sóng. Khi lên góc nâng 1,5 độ (Hình 5b), việc bị che khuất búp sóng đã giảm đi đáng kể. Có thể nhận thấy ở cả 2 chế độ quét 0,5° và 1,5°, khu vực Hà Nội đều không bị che khuất. Với địa hình bằng phẳng và ít đồi núi xung quanh, hơn nữa khoảng cách từ tâm radar đến khu vực Hà Nội không quá xa nên sẽ ít bị suy giảm năng lượng. Do vậy góc nâng 0,5° sẽ được sử dụng để trích xuất dữ liệu K_{dp} về vị trí trạm tương ứng.

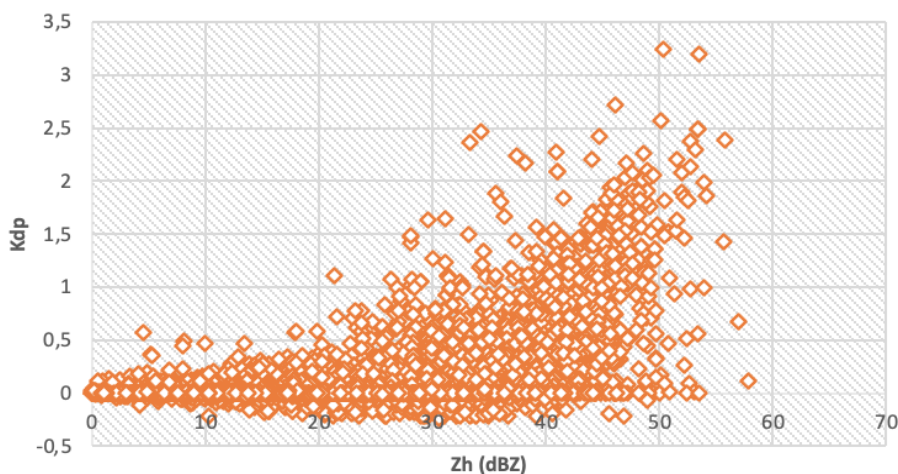
Theo các bước thực hiện mô tả ở phần 2.2.1 thì tại Bước 1 tất cả các giá trị K_{dp} sẽ được trích xuất về vị trí các trạm đo mưa xung quanh khu vực Hà Nội theo từng trận mưa lớn được trình bày ở Bảng 2. Hình 6 là kết quả trích xuất K_{dp} . Các file này sẽ có cấu trúc như sau: bao gồm 9 cột, tương ứng là mã trạm, vĩ độ trạm, kinh độ trạm, vị trí ô lưới radar, dữ liệu mưa

10 phút từ trạm đo mưa, giá trị PHVT (Z) chưa hiệu chỉnh suy giảm, giá trị K_{dp} trích xuất từ radar chưa hiệu chỉnh suy giảm, giá trị PHVT (Z) đã hiệu chỉnh suy giảm, giá trị K_{dp} đã hiệu chỉnh suy giảm, thời gian quan trắc (dạng năm tháng ngày giờ quan trắc). Rõ ràng, có thể nhận thấy có khá nhiều giá trị NaN (-327,68 hoặc -9999) ở trong file dữ liệu trích xuất (Hình 6). Do vậy cần xử lý loại bỏ những giá trị này; mặt khác các ngưỡng giá trị của K_{dp} nằm trong khoảng từ $-0,5^{\circ}/\text{km}$ đến $7^{\circ}/\text{km}$ đối với mưa; do đó các giá trị nằm ngoài khoảng này cũng cần phải lọc bỏ trước khi thực hiện Bước 2.

StationNo	latNO	lonNO	grid_radar	AWS	PPI_DBZNONE	PPI_KDPNONE	PPI_DBZADJ	PPI_KDPADJ	YDMHM
18422	21,728	104,961	200998	0	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
20761	22,741	104,727	269488	0	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
25117	22,683	104,462	265253	0	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
27842	22,728	104,621	268275	0	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
43138	22,739	105,312	268948	-9999	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
43546	22,362	105,398	243715	0	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
44082	19,969	105,549	83864	0	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
53765	21,071	106,159	157249	0	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
59510	20,865	105,172	143324	0	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
125443	21,201	105,956	166243	-9999	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
128526	21,182	106,076	165053	0	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
129145	21,113	106,156	160254	0	-327,68	0	-327,68	-104,82	25/04/2021 0:00
135130	21,065	106,083	157241	0	-327,68	-327,68	-327,68	-372,68	25/04/2021 0:00
135231	21,094	106,035	159039	0,2	-327,68	-69,14	-327,68	-69,14	25/04/2021 0:00
139832	21,044	106,292	155460	0	15,36	0,03	15,51	0,03	25/04/2021 0:00
140048	22,477	105,836	251573	0,4	16,09	0	16,15	0	25/04/2021 0:00
143422	20,569	106,499	124229	0	0,91	0	0,91	0	25/04/2021 0:00
146365	20,296	106,430	106192	0,2	7,59	0,02	0,02	0,02	25/04/2021 0:00
152043	20,898	105,597	145772	0	-327,68	0,02	-327,68	0,02	25/04/2021 0:00
172153	22,078	103,626	224297	0	-327,68	0,02	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
174840	20,698	106,469	132640	-9999	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
184251	19,532	104,338	54890	0	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
184635	19,528	104,159	54872	0	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00
189153	19,400	104,146	46456	0	-327,68	-327,68	-327,68	-327,68	25/04/2021 0:00

Hình 6. Minh họa File trích xuất dữ liệu K_{dp} tại vị trí từng trạm đo mưa trên khu vực Hà Nội trong 05 đợt mưa lớn của năm 2021.

Sau khi lọc bỏ các giá trị không phù hợp ở Bước 1 sẽ thu được phân bố của (K_{dp} , Z) cho 05 trường hợp mưa trên khu vực Hà Nội. Có thể thấy rằng khi K_{dp} tăng thì giá trị cường độ PHVT (Z) cũng tăng (Hình 7). Với những giá trị PHVT lớn, hiển nhiên ở đó lượng mưa định lượng sẽ lớn. Một số điểm PHVT đạt gần 60 dBZ nhưng giá trị K_{dp} lại khá nhỏ, chỉ dao động từ 0 đến $0,5^{\circ}/\text{km}$, điều này có thể do lúc này các hạt mưa đang ở trạng thái tăng kích thước hạt hoặc đang ở độ cao khá cao và bắt đầu rơi xuống bề mặt đất với xu hướng là nhập vào với các hạt mưa nhỏ hơn khiến kích thước các hạt mưa này được tăng lên trước khi rơi xuống đất, tuy nhiên những trường hợp này thường ít khi xảy ra. Vì vậy đối với các điểm trạm đo mưa mà có các trường hợp xảy ra như mô tả này cần xem xét kỹ lưỡng cả về mặt không gian và thời gian tại từng thời điểm quan trắc.



Hình 7. Phân bố ngang của trường PHVT Z và độ lệch pha riêng K_{dp} của khu vực Hà Nội trong 05 đợt mưa năm 2021.

Khu vực Hà Nội sử dụng trạm radar Việt Trì là radar phân cực đôi, băng sóng C và Việt Nam nằm trong khu vực nhiệt đới nên dựa vào Bảng 1, công thức phù hợp được sử dụng để tìm mối quan hệ thực nghiệm trong phần này là:

$$R(K_{dp}) = 30,6K_{dp}^{0,78}$$

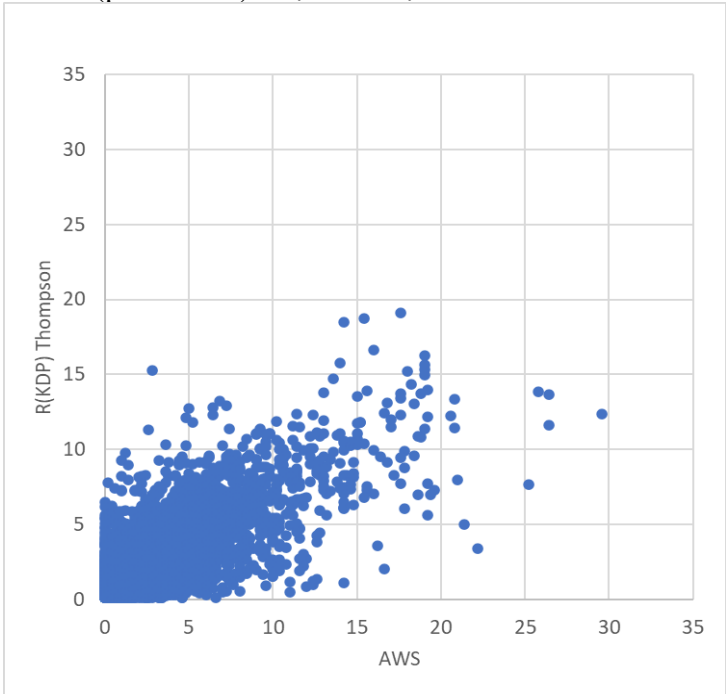
(8)

Kết quả đánh giá giữa mưa tính từ K_{dp} và mưa thực đo cho khu vực Hà Nội được thể hiện trên hình 8.

StationNo	AWS	PPI_KDPADJ	R
285864	0,22	0,6	3,6
289205	0,24	2,2	13,2
301248	0,1	1	6
315542	1,13	11,2	67,2
320831	0,26	1,8	10,8
321497	0,1	3,6	21,6
325951	0,39	4,4	26,4
338591	0,1	0,8	4,8
342807	0,19	3,6	21,6
354697	0,5	4,8	28,8
373812	0,04	0,6	3,6
380691	0,18	2,6	15,6
396617	0,2	1,8	10,8
423987	0,11	0,4	2,4
450412	0,52	2,4	14,4
459571	0,05	0,4	2,4
478414	0,17	1,8	10,8

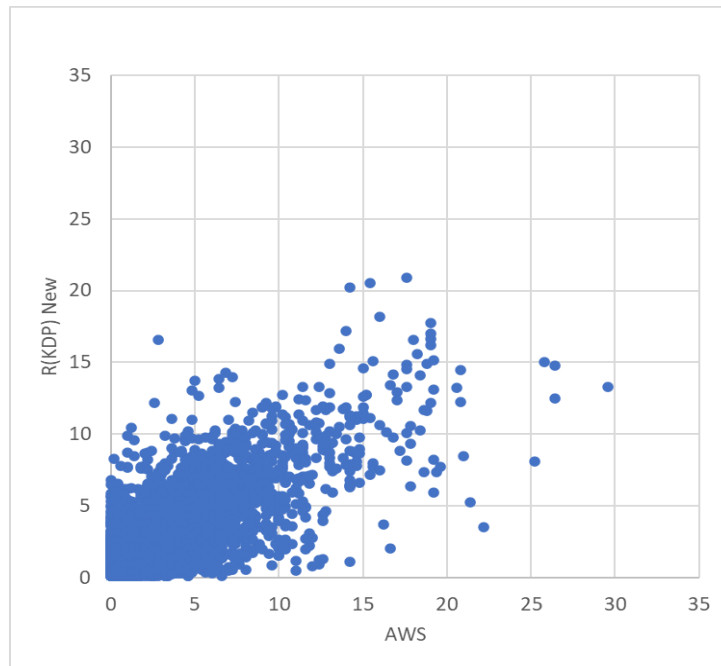
Hình 8. File số liệu lượng mưa được tính toán từ K_{dp} sử dụng công thức thực nghiệm gốc của Thompson [16].

Kết quả của Bước 4 (phần 2.2.1) được thể hiện ở Hình 9.



Hình 9. Biểu đồ scatter mô tả mối quan hệ giữa lượng mưa ước lượng từ K_{dp} sử dụng mối quan hệ của Thompson [16] và mưa quan trắc bề mặt 10 phút.

Hình 9 mô tả mối quan hệ giữa lượng mưa ước lượng từ K_{dp} sử dụng công thức của Thompson [16] và mưa quan trắc bề mặt 10 phút. Kết quả bước 5 (phần 2.2.1) thu được như Hình 10.



Hình 10. Biểu đồ scatter mô tả mối quan hệ giữa lượng mưa 10 phút từ trạm đo mưa và lượng mưa 10 phút ước lượng từ radar dựa trên công thức hiệu chỉnh.

Hình 10 mô tả mối quan hệ giữa lượng mưa ước lượng từ K_{dp} dựa trên công thức hiệu chỉnh và mưa quan trắc bề mặt 10 phút xây dựng được cho khu vực Hà Nội. Với 05 trường hợp mưa được đưa vào thử nghiệm (Bảng 2), nghiên cứu đã tiến hành thực hiện theo 05 bước được mô tả ở Hình 2. Công thức cuối cùng thu được sau khi sử dụng bộ dữ liệu để tìm mối quan hệ giữa K_{dp} và cường độ mưa cho khu vực Hà Nội là:

$$R(K_{dp}) = 31,9K_{dp}^{0,81} \quad (9)$$

3.2. Đánh giá kết quả các phương pháp định lượng mưa

Phần này trình bày kết quả đánh giá của ba phương pháp ước tính định lượng mưa: mưa ước tính theo mối quan hệ Marshall-Palmer ($R(Z)$); mưa ước tính theo độ lệch pha riêng ($R(K_{dp})$) và mưa hiệu chỉnh hợp nhất có điều kiện ($R(KRE)$) cho 03 trường hợp mưa lớn được lựa chọn trong Bảng 3.

Bảng 3. Thông tin các trường hợp mưa lớn được sử dụng để đánh giá thử nghiệm.

Trường hợp	Thời gian	Đặc điểm mưa
01	26/04/2021	Ảnh hưởng của không khí lạnh kết hợp với hội tụ gió lên đến mực 1500 m, khu vực Bắc Bộ và các tỉnh từ Thanh Hoá đến Quảng Bình có mưa với lượng mưa phổ biến từ 30-70 mm. Một số nơi có lượng mưa trên 100 mm như: Văn Lý (Nam Định) 124 mm, Đô Lương (Nghệ An) 126 mm, Hoài Đức (Hà Nội) 106 mm, Tam Đảo (Vĩnh Phúc) 101 mm, Bắc Quang (Hà Giang) 109 mm, ...
02	05/05/2021	Ảnh hưởng của rãnh áp thấp bị nén bởi bộ phận không khí lạnh tăng cường yếu ở phía Bắc gây mưa vừa, có nơi mưa to đến rất to trên khu vực vùng núi Bắc bộ. Một số nơi có lượng mưa lớn như Bắc Quang (Hà Giang) 208 mm, Thất Khê (Lạng Sơn) 98 mm, Nam Định 91 mm, Thái Nguyên 80 mm, Ngân Sơn (Bắc Kạn) 64 mm, ...
03	17/08/2021	Ảnh hưởng của hội tụ gió lên đến mực 5000 m, vùng núi Bắc bộ có mưa vừa đến mưa to, lượng mưa phổ biến từ 50-120 mm, một số nơi có lượng mưa lớn như: Móng Cái (Quảng Ninh) 305 mm, Tiên Yên (Quảng Ninh) 266 mm, Sơn Động (Bắc Giang) 138 mm, Đồng Văn (Hà Giang) 215 mm, Bắc Quang (Hà Giang) và Hà Giang 191 mm, Sa Pa (Lào Cai) 135 mm, Tam Đường (Lai Châu) 140 mm, ...

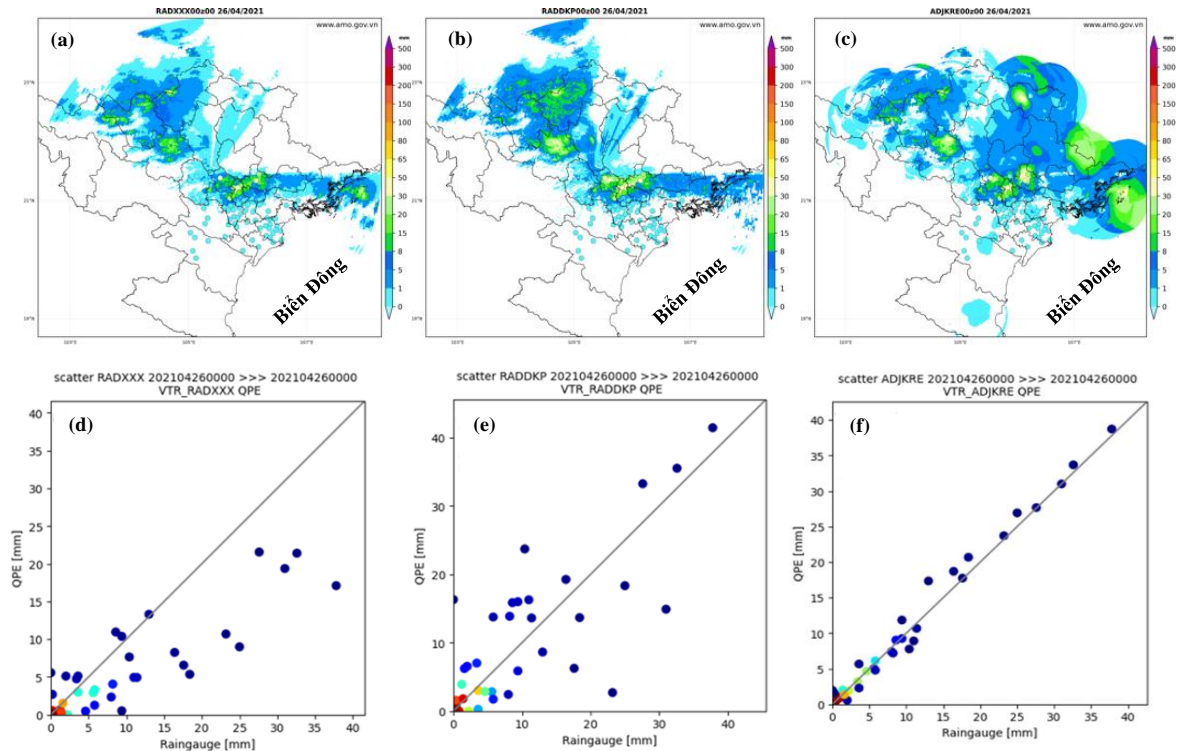
Để đánh giá mức độ hiệu quả của ước tính lượng mưa từ độ lệch pha riêng và hiệu chỉnh hợp nhất có điều kiện, nghiên cứu tiến hành so sánh hai phương pháp trên với công thức ước lượng mưa từ cường độ PHVT (Z) theo mối quan hệ Marshall-Palmer: $Z = 200R^{1,6}$. Kết quả đánh giá các chỉ số thống kê để ước tính định lượng mưa của 3 phương pháp tính mưa: Marshall-Palmer, K_{dp} và KRE so với mưa bề mặt cho 04 trường hợp mưa được đưa ra ở các Bảng 4 - Bảng 7.

Bảng 4. Các chỉ số ME, MAE, RMSE, CC của QPE tích lũy từng giờ từ 00:00 đến 05:00 (UTC) ngày 26 tháng 4 năm 2021 theo 3 phương pháp tính mưa. Trong đó $R(Z)$ là mưa ước tính theo mối quan hệ Marshall-Palmer: $Z = 200R^{1,6}$, $R(K_{dp})$ là mưa ước tính theo độ lệch pha riêng K_{dp} và $R(KRE)$ là ước tính mưa dựa vào hiệu chỉnh hợp nhất có điều kiện.

Phương pháp Thời gian (UTC)	R(Z)				R(K_{dp})				R(KRE)			
	ME	MAE	RMSE	CC	ME	MAE	RMSE	CC	ME	MAE	RMSE	CC
00	-1,6	2,01	4,48	0,91	0,14	2,09	4,42	0,85	0,13	0,4	0,88	0,99
01	-1,22	1,82	4,64	0,79	0,51	2,33	4,68	0,75	-0,13	0,78	3,39	0,88
02	0,5	1,59	4,28	0,81	0,64	2,16	4,52	0,82	0,08	0,47	1,43	0,98
03	-0,28	1,04	3,53	0,86	0,32	0,92	2,81	0,92	0,1	0,26	0,83	0,99
04	-0,38	0,81	2,62	0,7	0,03	0,97	2,54	0,73	-0,02	0,27	0,84	0,97
05	-0,64	1,6	3,78	0,72	0,39	1,57	3,32	0,79	0,05	0,39	0,84	0,99

Bảng 4 đưa ra kết quả lần lượt là các chỉ số đánh giá sai số trung bình (ME), sai số tuyệt đối (MAE), sai số quân phương (RMSE) và hệ số tương quan giữa mưa ước lượng và mưa quan trắc (CC) tương ứng với 3 phương pháp ước tính định lượng mưa tích lũy 01 giờ từ lúc 00Z đến 05Z (UTC) ngày 26/4/2021. Có thể nhận thấy sai số ME đạt giá trị nhỏ nhất khi sử dụng phương pháp hợp hiệu chỉnh hợp nhất có điều kiện (Bảng 4). Sai số ME đạt giá trị dương khi sử dụng phương pháp K_{dp} chứng tỏ QPE cho kết quả cao hơn so với lượng mưa quan trắc. Ngược lại, sai số ME mang giá trị âm trong hầu hết các thời điểm quan trắc khi sử dụng mối quan hệ $R(Z)$ cho thấy mưa ước lượng cho kết quả thấp hơn so với quan trắc thực tế. Giá trị các sai số MAE và RMSE có sự tương đồng, khi RMSE tăng thì MAE cũng tăng và ngược lại, ít có sự biến động lớn cho thấy sự tương quan tốt giữa lượng mưa ước lượng và mưa quan trắc, điều này cũng được thể hiện thông qua chỉ số tương quan R trong Bảng 4. Sai số MAE và RMSE cũng đạt giá trị nhỏ nhất khi sử dụng phương pháp hiệu chỉnh hợp nhất có điều kiện và cao hơn khi sử dụng mối quan hệ $R(Z)$. Thêm vào đó là giá trị hệ số tương quan khi sử dụng phương pháp hiệu chỉnh KRE cũng cao hơn nhiều so với 02 phương pháp còn lại. Hệ số tương quan CC khi sử dụng phương pháp hiệu chỉnh KRE cũng cho giá trị tương đối tốt ($> 0,88$), đặc biệt giá trị này gần như bằng 1 vào lúc các thời điểm 00:00UTC, 03:00UTC và 05:00UTC. Tại các thời điểm này này, khi sử dụng phương pháp KRE, giá trị sai số ME, MAE và RMSE rất thấp, sai số ME chỉ khoảng từ 0,05 đến 0,13; MAE nằm trong khoảng từ 0,26 đến 0,4 và sai số RMSE trong khoảng từ 0,83 đến 0,88.

Để xem xét rõ hơn sự khác biệt theo không gian của mưa radar trước và sau khi áp dụng các phương pháp, Hình 11 là một ví dụ minh họa cụ thể. Trong đó, Hình 11a-11c lần lượt là hình ảnh mô phỏng không gian ước tính định lượng mưa từ các phương pháp Marshall-Palmer, K_{dp} , KRE và mưa bề mặt (chấm tròn) vào lúc 00:00UTC ngày 26/04/2021, Hình 11d-11f là các giản đồ tụ điểm giữa ước tính mưa radar và mưa bề mặt tương ứng với các hình phân bố không gian từ Hình 11a-11c. Các chấm tròn là lượng mưa quan trắc tại trạm, màu sắc của chấm tròn được thể hiện tương ứng với giá trị lượng mưa ở thang đo.



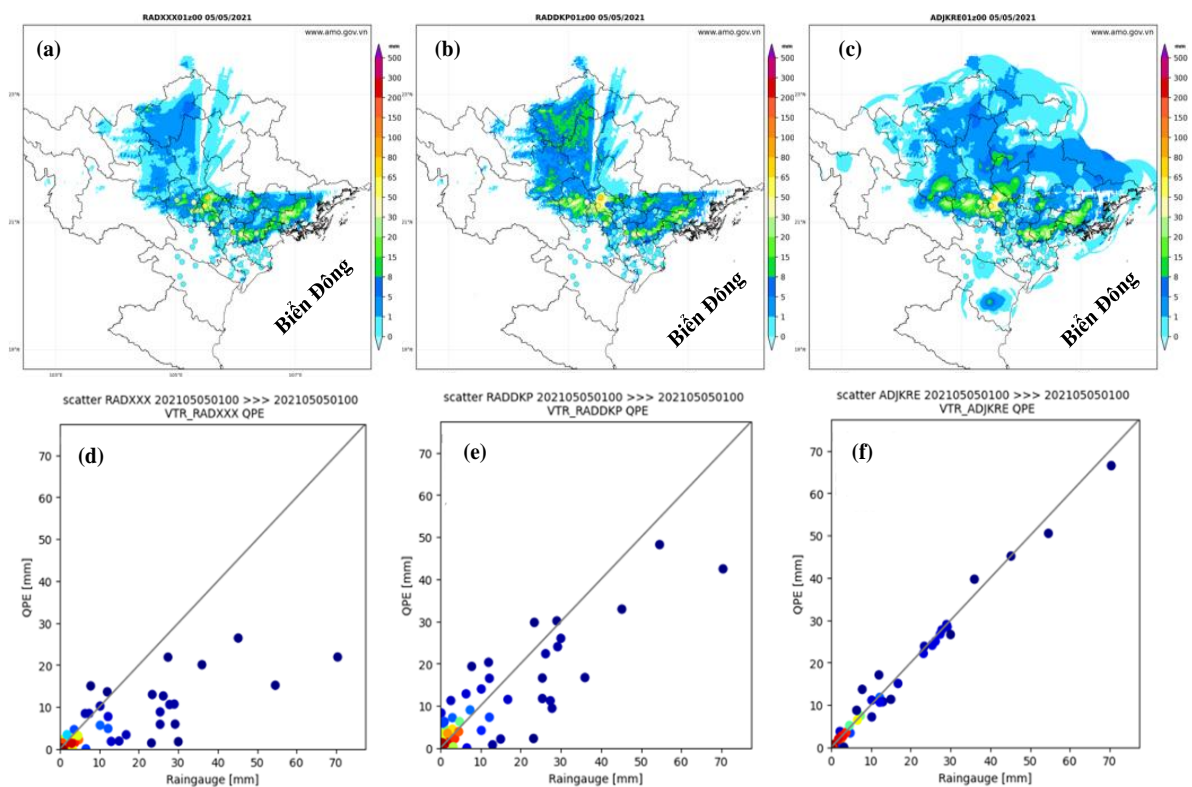
Hình 11. Hình ảnh QPE 01 giờ tương ứng với các phương pháp tính mưa sử dụng: (a) $R(Z)$, (b) $R(K_{dp})$, (c) $R(KRE)$ lúc 00:00UTC ngày 26 tháng 4 năm 2021; (d-f): Giản đồ tụ điểm giữa QPE radar và mưa bề mặt tương ứng với các hình (a-c).

Về mặt không gian (Hình 11a-11c), cả ba phương pháp đều cho kết quả mô phỏng tương đối chính xác về diện mưa. Trong Hình 11a, khi chỉ sử dụng công thức ước lượng mưa từ cường độ PHVT (Z) theo mối quan hệ Marshall-Palmer: $Z = 200R^{1,6}$, khu vực Hà Nội có lượng mưa tương đối nhỏ, khoảng từ 5-25 mm và cho thiên thấp hơn so với thực tế. Trong Hình 11b, khi sử dụng công thức QPE từ độ lệch pha riêng K_{dp} , mưa vẫn tập trung tại các khu vực trên, lượng mưa khoảng từ 5-30 mm, có nơi trên 30 mm. Tại điểm mưa cực trị, mưa có xu hướng cho thiên cao hơn so với thực tế. Trong Hình 11c, khi sử dụng phương pháp hiệu chỉnh KRE, mưa ước lượng đã có sự cải thiện đáng kể cả về diện mưa và lượng mưa. Mưa ước lượng đã nắm bắt được hầu hết các cực trị mưa trên khu vực Hà Nội. Điều này cũng được thể hiện rõ hơn khi xem biểu đồ scatter của ba phương pháp trên. Đối với phương pháp Marshall-Palmer các điểm nằm tập trung xung quanh đường chéo với lượng mưa nhỏ dưới 15 mm và nằm lệch hẳn xuống dưới đối với lượng mưa trên 20 mm (Hình 11d); một vài điểm mưa từ 20-30 mm thì $R(K_{dp})$ bị ước lượng thiên thấp (Hình 11e). Đối với phương pháp KRE (Hình 11f), các điểm nằm bám sát đường chéo lý tưởng cả với lượng mưa nhỏ, mưa vừa và mưa to.

Bảng 5. Tương tự như Bảng 4 cho trường hợp từ 00:00UTC đến 04:00UTC (UTC) ngày 05 tháng 5 năm 2021.

Phương pháp Thời gian (UTC)	$R(Z)$				$R(K_{dp})$				$R(KRE)$			
	ME	MAE	RMSE	CC	ME	MAE	RMSE	CC	ME	MAE	RMSE	CC
00	-4,17	4,25	8,3	0,55	-1,52	3,54	0,66	0,59	0,03	0,6	0,89	0,99
01	-6,91	7,77	13,04	0,77	-2,28	6,03	8,57	0,85	-0,42	1,23	1,89	0,99
02	-6,05	7,32	11,06	0,75	-1,24	6,23	9	0,77	-0,02	1,51	2,61	0,98
03	-3,32	4,51	7,46	0,83	-0,31	4,69	7,99	0,73	-0,24	0,91	1,54	0,99
04	-2,7	4,2	8,31	0,79	-0,2	5,43	8,79	0,7	-0,38	0,88	1,85	0,99

Tương tự Bảng 4, Bảng 5 đưa ra kết quả tính toán các chỉ số sai số ME, MAE, RMSE và R cho 3 phương pháp ước tính định lượng mưa tích lũy 1 giờ từ cường độ PHVT ($R(Z)$) theo mối quan hệ Marshall-Palmer: $Z = 200R^{1,6}$, độ lệch pha riêng $R(K_{dp})$ và phương pháp hiệu chỉnh hợp nhất có điều kiện $R(KRE)$ từ lúc 00:00UTC đến 04:00UTC ngày 05/05/2021. Khi sử dụng phương pháp hiệu chỉnh hợp nhất có điều kiện, các giá trị sai số ME, MAE, RMSE cho giá trị nhỏ nhất, cho thấy việc sử dụng phương pháp hiệu chỉnh này giúp giảm thiểu sai số trong việc ước tính định lượng mưa từ radar so với khi sử dụng công thức thực nghiệm từ K_{dp} và khi sử dụng phương pháp Marshall-Palmer. Đồng thời, hệ số tương quan CC khi sử dụng phương pháp KRE cũng được cải thiện đáng kể so với hai phương pháp còn lại. Hệ số tương quan CC khi sử dụng phương pháp hiệu chỉnh KRE cho giá trị tương đối cao. Hệ số tương quan đạt giá trị cao nhất là 0,99 khi sử dụng phương pháp KRE, trong khi đó, giá trị này cao nhất khi sử dụng phương pháp K_{dp} là 0,85 và khi sử dụng mối quan hệ $R(Z)$ là 0,83. Sai số ME cho giá trị âm trong hầu hết các khung giờ tính toán đối với cả ba phương pháp cho thấy ước tính định lượng mưa cho thiên thấp hơn so với quan trắc thực tế.



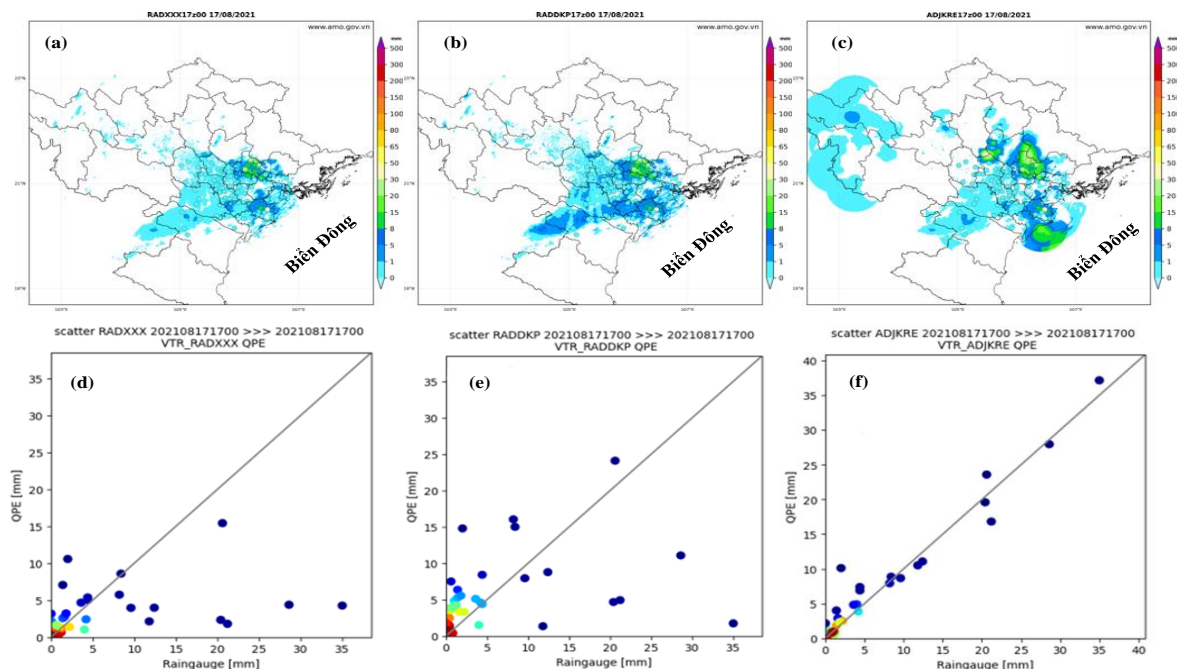
Hình 12. Tương tự như Hình 11 cho trường hợp lúc 01:00UTC ngày 05 tháng 5 năm 2021.

Tương tự Hình 11, Hình 12 là hình mô tả hình ảnh không gian và biểu đồ scatter vào lúc 01:00UTC ngày 05 tháng 5 năm 2021. Trong đó, Hình 12a-12c lần lượt là hình ảnh mô phỏng không gian ước tính định lượng mưa từ các phương pháp Marshall-Palmer, K_{dp} , KRE và mưa bề mặt (chấm tròn), Hình 12d-12f là các biểu đồ scatter giữa ước tính mưa radar và mưa bề mặt tương ứng với các hình từ 12a đến 12c. Các chấm tròn ở Hình 12a-12c) là lượng mưa quan trắc tại trạm, màu sắc của chấm tròn được thể hiện tương ứng với giá trị lượng mưa ở thang đo. Nhận thấy, đối với phương pháp Marshall-Palmer (Hình 12d), kết quả đánh giá ước tính định lượng mưa vẫn cho các điểm nằm tập trung xung quanh đường chéo lý tưởng với lượng mưa nhỏ dưới 20mm và phân tán đối với lượng mưa trên 20mm; đặc biệt là có xu thế lệch xuống ở phương pháp Marshall-Palmer (Hình 12d). Tuy nhiên, khi sử dụng phương pháp hiệu chỉnh hợp nhất có điều kiện (Hình 12f), các giá trị này tập trung quanh đường chéo. Giá trị các sai số ME, MAE và RMSE khi sử dụng phương pháp KRE tại các thời điểm này rất nhỏ và hệ số tương quan thì gần như bằng 1.

Bảng 6. Tương tự như Bảng 4 cho trường hợp từ 15:00UTC đến 19:00UTC ngày 17 tháng 08 năm 2021.

Phương pháp Thời gian (UTC)	R(Z)				R(K _{dp})				R(KRE)			
	ME	MAE	RMSE	CC	ME	MAE	RMSE	CC	ME	MAE	RMSE	CC
15	-0,28	0,3	1,83	0,55	-0,31	0,42	1,82	0,71	0,03	0,15	0,76	0,94
16	0,57	0,62	3,01	0,71	-0,44	0,54	2,28	0,84	-0,01	0,14	0,78	0,97
17	-1,54	1,71	4,7	0,72	-1,27	1,66	4,53	0,6	0,01	0,29	0,84	0,99
18	-1,78	2,1	6,05	0,83	-1,02	2,43	6,71	0,57	0,03	0,53	1,2	0,99
19	-1,05	1,87	5,36	0,54	0,28	2,53	5,37	0,51	0,21	0,49	1,23	0,98

Bảng 6 là kết quả các chỉ số sai số ME, MAE, RMSE và R được tính toán cho 3 phương pháp ước tính định lượng mưa tích lũy từng giờ lần lượt tương ứng với các phương pháp tính toán QPE dựa trên mối quan hệ Marshall-Palmer ($R(Z)$: $Z = 200R^{1.6}$), phương pháp sử dụng độ lệch pha riêng ($R(K_{dp})$) và phương pháp hiệu chỉnh hợp nhất có điều kiện ($R(KRE)$) từ lúc 15:00UTC đến 19:00UTC ngày 17/08/2021. Sai số ME mang giá trị âm trong hầu hết các obs khi sử dụng phương pháp Marshall-Palmer và độ lệch pha riêng K_{dp} cho thấy ước tính định lượng mưa cho kết quả thấp hơn so với quan trắc thực tế. Ngược lại, sai số ME mang giá trị dương trong hầu hết các thời điểm quan trắc khi sử dụng phương pháp hiệu chỉnh KRE cho thấy mưa ước lượng cho thiên cao hơn so với thực tế. Sai số ME đạt giá trị nhỏ nhất khi sử dụng phương pháp KRE. Khi xem xét các giá trị sai số MAE và sai số RMSE cũng cho các kết quả tương tự. Đồng thời, hệ số tương quan CC khi sử dụng phương pháp KRE cũng được cải thiện đáng kể so với hai phương pháp còn lại. Hệ số tương quan CC khi sử dụng phương pháp hiệu chỉnh KRE cho giá trị tương đối cao, nằm trong khoảng từ 0,94 đến 0,99. Hệ số tương quan đạt giá trị cao nhất là 0,99 vào lúc 17:00UTC và 18:00UTC khi sử dụng phương pháp KRE, trong khi đó, giá trị R cao nhất lần lượt là 0,83 và 0,84 khi dùng phương pháp Marshall-Palmer và K_{dp} .



Hình 13. Tương tự như Hình 12 cho trường hợp lúc 17:00UTC ngày 17 tháng 08 năm 2021.

Hình 13 mô tả hình ảnh không gian và biểu đồ scatter vào lúc 17:00UTC ngày 17 tháng 8 năm 2021. Trong đó, Hình 13a-13c lần lượt là hình ảnh mô phỏng không gian ước tính định lượng mưa từ các phương pháp Marshall-Palmer, K_{dp} , KRE và mưa bề mặt (chấm tròn), Hình 13d-13f là các biểu đồ scatter giữa ước tính mưa radar và mưa bề mặt tương ứng với các hình

từ 13a đến 13c. Dựa vào biểu đồ scatter, nhận thấy khi sử dụng phương pháp hiệu chỉnh KRE (Hình 13f), các điểm nằm bám sát vào đường chéo cho thấy khả năng ước lượng mưa từ phương pháp này là rất tốt và tốt nhất trong 3 phương pháp nghiên cứu. Tuy nhiên, đối với 2 phương pháp còn lại (Hình 13d, 13e), các điểm có xu hướng phân tán sang hai bên (trục QPE đối với lượng mưa $R(K_{dp})$; trục mưa bề mặt đối với lượng mưa $R(Z)$), đặc biệt là đối với lượng mưa trên 10mm, cho thấy khả năng ước lượng mưa từ radar kém hơn hẳn so với phương pháp $R(KRE)$, lượng mưa $R(Z)$ và $R(K_{dp})$ đều có xu hướng thiên thấp so với quan trắc (Hình 13d, 13f).

Như vậy, qua 3 trường hợp thử nghiệm, nhận thấy việc sử dụng phương pháp KRE giúp cải thiện ước tính định lượng mưa từ radar hơn hẳn hai phương pháp Marshall-Palmer và độ lệch pha riêng K_{dp} cho khu vực Hà Nội. Điều này ngụ ý rằng việc hiệu chỉnh sự sai lệch giữa lượng mưa ước lượng từ radar và lượng mưa quan trắc giúp cải thiện việc tính toán QPE hơn là việc sử dụng các tham số phân cực kép khi chưa đánh giá mô phỏng phân bố kích thước hạt mưa từ máy đo kích thước hạt với các tham số này. Phương pháp KRE cho ước tính QPE khá chính xác cả về diện mưa và lượng mưa. Các sai số ME, MAE, RMSE đều cho giá trị tương đối nhỏ và hệ số tương quan CC tương đối cao khi sử dụng phương pháp KRE (trong khoảng từ 0,88 đến 0,99). Hơn nữa, có một điểm đặc biệt là phương pháp tính toán QPE sử dụng độ lệch pha riêng K_{dp} được kỳ vọng là một phương pháp tốt để ước tính định lượng mưa từ radar, tuy nhiên trong một số thời điểm, việc ước tính QPE từ phương pháp này lại cho kết quả thấp hơn cả khi chỉ sử dụng phương pháp ước tính QPE thông thường do việc xây dựng mối quan hệ giữa cường độ mưa và K_{dp} trong nghiên cứu này chưa mô phỏng, đánh giá xem xét được phân bố kích thước hạt tại khu vực nghiên cứu và các tham số phân cực kép của radar như K_{dp} , Z_{dr} ,... mà chỉ dừng lại việc xây dựng mối quan hệ thực nghiệm toán học thuần túy mà không tính đến ảnh hưởng của số lượng hạt, kích thước hạt đến phân bố mưa. Sai số ME, MAE và RMSE của phương pháp $R(K_{dp})$ cao hơn, đồng thời hệ số tương quan CC cũng thấp hơn khi sử dụng công thức Marshall-Palmer (coi tất cả mây gây mưa là mây tầng). Mặc dù $R(K_{dp})$ tương đối không nhạy cảm đối với sự biến thiên của DSD so với các công cụ ước lượng mưa như Z , Z_{dr} và các ước tính liên quan, tuy nhiên sự khác biệt nhỏ vẫn tồn tại đối với các DSD khác nhau và đặc biệt là đối với các hình dạng hạt mưa khác nhau. Vì vậy, ngay cả khi đã điều chỉnh cả hệ số a và b khác nhau đối với từng đặc điểm thời tiết khác nhau (thể hiện qua các trường hợp thử nghiệm bởi các hình thể gây mưa lớn khác nhau) thì phương pháp $R(K_{dp})$ vẫn chưa thể áp dụng tại Việt Nam nói chung và khu vực Hà Nội nói riêng khi xảy ra mưa lớn khi chưa có thiết bị quan trắc phân loại kích thước hạt.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã sử dụng tham số độ lệch pha riêng K_{dp} của radar phân cực kép và phương pháp hiệu chỉnh hợp nhất có điều kiện KRE để cải thiện ước tính định lượng mưa cho khu vực Hà Nội. Nhìn chung, kết quả chỉ ra rằng phương pháp hiệu chỉnh KRE đã mô phỏng và nắm bắt tương đối tốt các trường hợp thử nghiệm. Phương pháp này cho kết quả tốt hơn hẳn khi sử dụng công thức ước tính định lượng mưa từ K_{dp} khi không có thiết bị phân loại hạt.

Bên cạnh đó, nghiên cứu này cũng tiến hành đánh giá công thức thực nghiệm ước tính định lượng mưa từ độ lệch pha riêng $R(K_{dp})$ và phương pháp hiệu chỉnh KRE với công thức ước tính định lượng mưa dựa vào mối quan hệ Marshall-Palmer. Kết quả phương pháp KRE cho hiệu suất ước tính định lượng mưa tốt hơn, với giá trị sai số RMSE, MAE nhỏ hơn và hệ số tương quan CC lớn hơn so với công thức thực nghiệm ước tính định lượng mưa $R(K_{dp})$ và công thức Marshall-Palmer.

Ngoài ra, kết quả của nghiên cứu cũng thể hiện được rằng việc sử dụng công thức thực nghiệm ước tính định lượng mưa $R(K_{dp})$ khi không có thiết bị phân loại hạt là khó có thể áp dụng vào thực tế nghiệp vụ, kể cả khi đã điều chỉnh cả hệ số a và b khác nhau đối với từng đặc điểm thời tiết khác nhau.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: B.T.K.H., N.V.T., N.T.H.A.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: B.T.K.H.; Đ.T.A.H., N.T.H.A.; Xử lý số liệu: N.V.H., H.T.T.T.; Phân tích mẫu: B.T.K.H., Đ.T.A.H., H.T.T.T.; Lấy mẫu: Đ.T.A.H., H.T.T.T.; Viết bản thảo bài báo: B.T.K.H., Đ.T.A.H., H.T.T.T.; Chỉnh sửa bài báo: B.T.K.H., Đ.T.A.H., N.T.H.A.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp quốc gia “Nghiên cứu ứng dụng dòng quang để ước lượng và dự báo định lượng mưa cho toàn lãnh thổ Việt Nam trên cơ sở số liệu vệ tinh Himawari và Radar thời tiết”, mã số ĐTDL.CN-58/21. Tập thể tác giả xin được gửi lời cảm ơn sâu sắc đến chuyên gia Chiho Kimpara của Hiệp hội Khí tượng Nhật Bản đã hỗ trợ chúng tôi trong việc nghiên cứu, xây dựng phương pháp ước tính lượng mưa radar sử dụng hệ số độ lệch pha riêng.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Jack, L.M.; Andrew D.B. A review of gauge-radar merging methods for quantitative precipitation estimation in hydrology. *Can. Water Resour. J.* **2015**, 1–2, 186–203.
2. Bringi, V.N.; Chandrasekar, V. Polarimetric doppler weather radar: Principles and applications. Cambridge University Press, 2001, pp. 635.
3. Cifelli, R.; Chandrasekar, V.; Lim, S.; Kennedy, P.C.; Wang, Y.; Rutledge, S.A. A new dual-polarization radar rainfall algorithm: application in Colorado precipitation events. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **2011**, 28(3), 352–364.
4. Seliga, T.A.; Bringi, V.N. Differential reflectivity and differential phase shift: Applications in radar meteorology. *Radio Sci.* **1978**, 13, 271–275.
5. Sachidananda, M.; Zrnić, D.S. Differential propagation phase shift and rainfall rate estimation. *Radio Sci.* **1986**, 21, 235–247.
6. Zrnić, D.S.; Ryzhkov, A.V. Advantages of rain measurements using specific differential phase. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **1996**, 13, 454–464.
7. Ryzhkov, A.V.; Giangrande, S.; Schuur, T.J. Rainfall estimation with a polarimetric prototype of WSR-88D. *J. Appl. Meteor.* **2005**, 44, 502–515.
8. May, P.T.; Keenan, T.D.; Zrnić, D.S.; Carey, L.D.; Rutledge, S.A. Polarimetric radar measurements of tropical rain at a 5cm wavelength. *J. Appl. Meteor.* **1999**, 38, 750–765.
9. Keenan, T.D.; Carey, L.D.; Zrnić, D.S.; May, P.T. Sensitivity of 5cm wavelength polarimetric radar variables to rain drop axial ratio and drop size distribution. *J. Appl. Meteor.* **2001**, 40, 526–545.
10. Bringi, V.N.; Thurai, M.; Nakagawa, K.; Huang, G.J.; Kobayashi, T.; Adachi, A.; Hanado, H.; Sekizawa, S. Rainfall estimation from C-band polarimetric radar in Okinawa, Japan: Comparisons with 2D-video disdrometer and 400 MHz wind profiler. *J. Meteor. Soc. Japan.* **2006**, 84, 705–724.
11. Bringi, V.N.; Rico-Ramirez, M.A.; Thurai, M. Rainfall estimation with an operational polarimetric C-band radar in the United Kingdom: Comparison with a gauge network and error analysis. *J. Hydrometeorol.* **2011**, 12, 935–954.
12. Gu, J.Y.; Ryzhkov, A.V.; Zhang, P.; Neill, P.; Knight, M.; Wolf, B.; Lee, D.I. Polarimetric attenuation correction in heavy rain at C band. *J. Appl. Meteor. Climatol.* **2011**, 50, 39–58.
13. Ryzhkov, A.; Zhang, P.; Krause, J. Simultaneous measurements of heavy rain using S-band and C-band polarimetric radars. *Am. Meteor. Soc.* **2011**, 17, 1–9.

14. Wang, Y.; Zhang, J.; Ryzhkov, A.V.; Tang, L. C-band polarimetric radar QPE based on specific differential propagation phase for extreme typhoon rainfall. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **2013**, 30, 1354–1370.
15. Zrnić, D.S.; Keenan, T.D.; Carey, L.D.; May, P. Sensitivity analysis of polarimetric variables at a 5-cm wavelength in rain. *J. Appl. Meteor.* **2000**, 39, 1514–1526.
16. Thompson, E.J.; Rutledge, S.A.; Dolan, B.; Thurai, M.; Chandrasekar, V. Dual-polarization radar rainfall estimation over tropical oceans. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **2018**, 57(3), 755–775.
17. Điền, N.H. Công thức thực nghiệm tính toán cường độ mưa từ độ phản hồi vô tuyến quan trắc bởi Ra đa cho khu vực Trung Trung Bộ. *Tạp chí khoa học: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2010**, 26(3S), 317–321.
18. Điền, N.H. Công thức thực nghiệm tính toán cường độ mưa từ độ phản hồi radar cho khu vực Bắc Trung Bộ và Nam Đồng Bằng Bắc Bộ. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2013**, 29(1S), 51–55.
19. Thanh, C.; Quý, N.N.; Khiêm, M.V. Đánh giá ước lượng mưa từ độ phản hồi radar Nhà Bè. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2018**, 34(1S), 10–17.
20. Quân, N.K.; Ngà, P.T.T. Phân loại đặc điểm mưa và ước tính mưa bằng quan trắc Ra đa phân cực cho khu vực Tây Bắc. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 749, 71–84.
21. Ehret, U. Rainfall and flood nowcasting in small catchments using weather radar. Andras Bardossy, University of Stuttgart, Germany, 2002.
22. Yoon, S.S.; Bae, D.H. Optimal rainfall estimation by considering elevation in the Han River Basin. *South Korea* **2012**, 52, 802–818.
23. Kraemer, S.; Verworn, H.R. Improved C-band radar data processing for real time control of urban drainage systems. *Water Sci. Technol.* **2009**, 60(1), 84–175.
24. Tonouchi, M.; Hoa, B.T.K.; Hung, N.V.; Cuong, N.M. Quality check of rain gauge data for quantitative precipitation estimate. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 15, 21–27.

Research for evaluating the effectiveness of based-radar rainfall estimation methods

Bui Thi Khanh Hoa^{1*}, Do Thi Anh Huyen¹, Nguyen Viet Hung¹, Hoang Thi Thanh Thuat¹, Nguyen Thi Hoang Anh¹, Nguyen Vinh Thu¹

¹ National Centre for Hydro-Meteorological Network; khanhhoa303@gmail.com; anhuyen1998.n@gmail.com; nguyenviethungb115@gmail.com; hoangthithanhthuat99@gmail.com; hoanganhck@gmail.com; vinhthu73@gmail.com

Abstract: This study provides a method to make the relationship between rain rate and the specific differential phase (K_{dp}) parameter of the dual-polarization weather radar system without disdrometers. It compares the effectiveness of quantitative precipitation estimation (QPE) using K_{dp} , KRE, and Marshall-Palmer methods for some heavy rainfall cases in Hanoi area. The results show that the empirical formula $R(K_{dp}) = 31.9K_{dp}^{0.81}$ is given to apply specifically to Hanoi area without disdrometers, and using an empirical formula to estimate the amount of rain $R(K_{dp})$ established is less effective in heavy rainfall cases even when adjusting coefficient and coefficient b for each weather characteristic. The KRE method simulates and captures the heavy rainfall cases study relatively well and gives the best results among three QPE methods in this study.

Keywords: QPE; Specific differential phase; K_{dp} , Dual-Pol Radar; KRE.

Bài báo khoa học

Ứng dụng bộ công cụ DNORA dự báo sóng tại vùng biển Nam Trung Bộ: Áp dụng thí điểm mô phỏng trường sóng trong bão Damrey năm 2017

Nguyễn Thị Hiền¹, Trần Văn Hưng^{1*}, Phùng Thị Vui¹

¹ Đài Khí tượng thủy văn khu vực Nam Trung Bộ; hiennt22992@gmail.com;
tranhungdubao@gmail.com; phungthivui@gmail.com

*Tác giả liên hệ: tranhungdubao@gmail.com; Tel.: +84–904491015

Ban Biên tập nhận bài: 5/4/2024; Ngày phản biện xong: 9/5/2024; Ngày đăng bài: 25/10/2024

Tóm tắt: Sóng biển là yếu tố có vai trò và ý nghĩa quan trọng ảnh hưởng đến các hoạt động kinh tế xã hội (KT-XH) trên biển và vùng ven bờ. Dự báo sóng biển một cách chính xác, đặc biệt là sóng lớn trong bão sẽ giảm thiểu rủi ro về người cũng như thiệt hại về kinh tế. Hiện nay, đổi mới công nghệ dự báo khí tượng thủy văn (KTTV) nói chung và dự báo hải văn nói riêng của ngành KTTV đang là hướng đi đúng đắn để nâng cao chất lượng dự báo. Bộ công cụ DNORA là một công nghệ được Viện Khí tượng Na Uy chuyển giao cho Tổng cục KTTV trong thời gian gần đây. Trong nghiên cứu này, nhóm thực hiện giới thiệu về bộ công cụ DNORA và một số kết quả ứng dụng DNORA mô phỏng sóng trong bão Damrey năm 2017. Kết quả cho thấy, độ cao sóng mô phỏng có xu hướng cao hơn thực đo và chỉ số đánh giá RMSE dao động từ 0,67-0,75 m.

Từ khóa: Bão Damrey; Sóng biển; DNORA.

1. Giới thiệu

Việt Nam có đường bờ biển dài hơn 3200 km và vùng biển Đông rộng lớn với 28 tỉnh thành phố giáp biển, vì vậy kinh tế biển rất có tiềm năng phát triển từ hoạt động đánh bắt, khai thác thủy sản đến hoạt động hàng hải, dầu khí,... Một trong những yếu tố biển được quan tâm và có ảnh hưởng lớn đến các hoạt động trên biển chính là độ cao sóng biển. Do đó, độ cao sóng biển đã được quan tâm nghiên cứu và dự báo từ lâu. Hiện nay, ở nước ta, dự báo sóng biển thường được tham khảo từ mô hình số trị, như tại Trung tâm KTTV Quốc gia tiến hành chạy mô hình SWAN tất định để dự báo nghiệp vụ hàng ngày, hoặc xây dựng mô hình dự báo sóng tổ hợp dựa trên mô hình SWAN với trường gió đầu vào từ hệ thống tổ hợp 50 thành phần của ECMWF [1].

Vùng biển Nam Trung Bộ bao gồm khu vực biển từ Bình Định đến Bình Thuận và khu vực quần đảo Trường Sa, là nơi có nhiều hoạt động KT-XH, du lịch ở ven biển và nằm trong ngư trường trọng điểm của cả nước. Chính vì vậy, dự báo sóng biển có ý nghĩa quan trọng phục vụ các hoạt động KT-XH ven bờ và trên biển cũng như trong công tác phòng chống thiên tai trong điều kiện có thời tiết nguy hiểm trên biển. Trong khuôn khổ hợp tác giữa Tổng cục KTTV Việt Nam với Viện Khí tượng Na Uy, Viện Khí tượng Na Uy đã chuyển giao công nghệ dự báo biển cho Đài KTTV Nam Trung Bộ gồm các mô hình SWAN, ROMS 3D, Open Drift và gần đây là bộ công cụ dự báo sóng DNORA. Các mô hình này đã và đang được vận hành tại Đài để đưa ra những sản phẩm dự báo hữu ích trong công tác dự báo hải văn.

Bộ công cụ DNORA là một gói mã nguồn mở được phát triển tại MET-OM [2] và đã được ứng dụng trong nhiều nghiên cứu. Trong nghiên cứu [3] sử dụng DNORA với mô hình

SWAN sử dụng đầu vào sóng, gió NORA3 gồm 343×223 bước lưới, độ phân giải 100 m như là mô hình phân giải cao mô phỏng sóng khu vực Forhavet để ước tính trạng thái mặt biển để so sánh với số liệu quan trắc. Để mô phỏng hay dự báo sóng độ phân giải cao thường sử dụng mô hình sóng có thể mô phỏng chính xác sự lan truyền sóng ở vùng nước sâu và nông. Chúng ta có thể sử dụng mô hình trung bình pha để mô phỏng sự tạo ra và lan truyền sóng quy mô lớn chẳng hạn vùng ngoài khơi và ven bờ. Các mô hình trung bình pha được sử dụng phổ biến nhất hiện nay được gọi là mô hình sóng thể hệ thứ ba, ba mô hình sử dụng rộng rãi nhất trên thế giới là Wave Watch III (WW3) [4], WAM [5] và SWAN [6]. Mô hình sóng thể hệ thứ ba mô tả sự lan truyền phổ sóng không gian - thời gian sử dụng mật độ năng lượng sóng trong phương trình cân bằng bảo toàn, bao gồm cả quá trình tạo sóng do gió. Trong số ba mô hình này, mô hình SWAN là mô hình duy nhất được thiết kế đặc biệt để ghi lại sự lan truyền sóng ở vùng nước sâu và nông, đặc biệt là đối với các khu vực ven biển. Ngoài ra, mô hình còn tính đến các hiện tượng vật lý như sự tiêu tán do ma sát đáy, sóng vỡ và tương tác sóng - sóng phi tuyến [7].

Trên vùng biển Nam Trung Bộ, hiện nay có 04 trạm khí tượng hải văn là trạm: Quy Nhơn - tỉnh Bình Định, trạm Phú Quý - tỉnh Bình Thuận, trạm Song Tử Tây và Trường Sa - tỉnh Khánh Hòa. Tuy nhiên, các trạm này chủ yếu quan trắc độ cao sóng biển theo cấp gió bão nên thường có những hạn chế về chất lượng số liệu và tần suất quan trắc gây khó khăn trong công tác phân tích trường sóng [8], đặc biệt là trong những điều kiện thời tiết nguy hiểm như gió mùa mạnh, bão và áp thấp nhiệt đới.

Bão Damrey 2017 là một trong những cơn bão mạnh nhất và gây ra nhiều thiệt hại về người và của cho 15 tỉnh thành miền Trung và Tây Nguyên trong 10 năm trở lại đây. Ngoài những thiệt hại về kinh tế, xã hội trên đất liền thì cũng gây ra những tổn thất nặng nề cho lĩnh vực ngư nghiệp, [9] ước tính có 4.4.70 ha nuôi tôm bị ngập và 38.360 lồng nuôi thủy sản bị cuốn trôi, có 1.809 tàu cá bị phá hủy trong đó chỉ có 35 tàu cá có công suất tải trên 90 mã lực được trả tiền bảo hiểm, còn lại hầu hết các tàu cá dưới 90 mã lực không có bảo hiểm.

Damrey là một cơn bão điển hình, đã được nhiều tác giả trong nước quan tâm nghiên cứu, từ việc xem xét đánh giá đặc điểm cơn bão [10], ứng dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy dự báo cường độ và phân tích cấu trúc bão [11] đến hướng dự báo tác động do gió mạnh và mưa lớn trong bão [12] hay các dự báo về trường độ cao sóng trong bão [13] và ảnh hưởng của địa hình đến phân bố sóng trong bão [14].

Bộ dữ liệu sóng tái phân tích toàn cầu ERA5 của ECMWF [15, 16] có từ năm 1940 đến nay với độ phân giải 0,5 độ, bộ số liệu này là quá thô để phân tích, hiển thị độ cao sóng cho vùng biển Đông, đặc biệt là những khu vực ven bờ, có nhiều đảo, địa hình phức tạp. Do đó, việc hạ độ phân giải có thể cung cấp những thông tin chi tiết hơn.

Trong nghiên cứu này, sử dụng số liệu gió tái phân tích ERA5 độ phân giải 0,25 độ và sóng tái phân tích ERA5 độ phân giải 0,5 độ với tần suất 01 giờ/số liệu làm đầu vào cho bộ công cụ DNORA để mô phỏng trường sóng từ 00h ngày 01/11 đến 23h ngày 04/11/2017. Kết quả mô phỏng trường sóng bằng bộ công cụ DNORA là một miếng ghép để hoàn thiện bức tranh phân tích về hệ quả mưa, gió, sóng lớn, nước dâng,...do bão gây ra nhằm góp phần phục vụ hiệu quả công tác giảm thiểu rủi ro do bão gây ra cho khu vực Nam Trung Bộ.

2. Số liệu, trường hợp thử nghiệm và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu

Số liệu quan trắc: Số liệu quan trắc độ cao sóng biển từ 4 trạm Quy Nhơn, Song Tử Tây, Trường Sa và Phú Quý theo obs được thu thập từ ngày 01 đến ngày 04/11/2017.

Số liệu địa hình GEBCO: Dữ liệu địa hình năm 2021 là sản phẩm đo độ sâu toàn cầu thể hệ thứ 3 được phát hành thuộc dự án Hải đồ độ sâu chung của đại dương GEBCO, được phát triển thông qua dự án đáy biển 2030 hợp tác giữa Nippon Foundation, Nhật Bản và GEBCO. Độ phân giải ngang là 15 giây (khoảng 500 m), gồm 43.200 hàng và 86.400 cột, chứa

3.732.480.000 điểm dữ liệu. Các giá trị dữ liệu được lấy ở giữa ô lưới, thể hiện độ cao với đơn vị là mét. Lưới GEBCO được coi là tương đương với lưới WGS84 [17].

Số liệu sóng, gió tái phân tích ERA5: ERA5 là số liệu tái phân tích thế hệ thứ 5 của Trung tâm Dự báo hạn vừa Châu Âu (ECMWF) có từ năm 1940 tới nay. Bộ dữ liệu toàn cầu, độ phân giải ngang $0,25 \times 0,25$ độ kinh vĩ (cho dữ liệu gió) và $0,5 \times 0,5$ độ kinh vĩ (cho dữ liệu sóng), là bộ dữ liệu độ phân giải cao được sử dụng phổ biến nhất hiện nay. ERA5 có độ phân giải thời gian là 1 giờ [16, 18].

2.2. Trường hợp thử nghiệm

Damrey (số hiệu 1723) hình thành từ một áp thấp nhiệt đới (ATNĐ) trên vùng biển phía đông Philippin vào lúc 00Z ngày 31/10/2017 và di chuyển về hướng tây (Hình 1). Sau khi vượt qua Philippin đi vào biển Đông, ATNĐ mạnh lên thành bão với cường độ đạt cấp 8 vào sáng ngày 02/11, trở thành cơn bão số 12 trong năm 2017. Bão số 12 đạt cường độ mạnh nhất với áp suất cực tiểu tại tâm đạt 970 hPa và vận tốc gió cực đại 35m/s, tương ứng với cấp 12, giật cấp 15 vào lúc 06Z ngày 03/11. Bão số 12 duy trì cường độ ổn định đến sáng ngày 04/11, đổ bộ vào các tỉnh Phú Yên - Khánh Hòa. Sau đó, bão số 12 suy yếu thành ATNĐ khi đi sang Campuchia vào tối cùng ngày và tan dần [19].



Hình 1. Quỹ đạo cơn bão số 12 - Damrey năm 2017 [19].

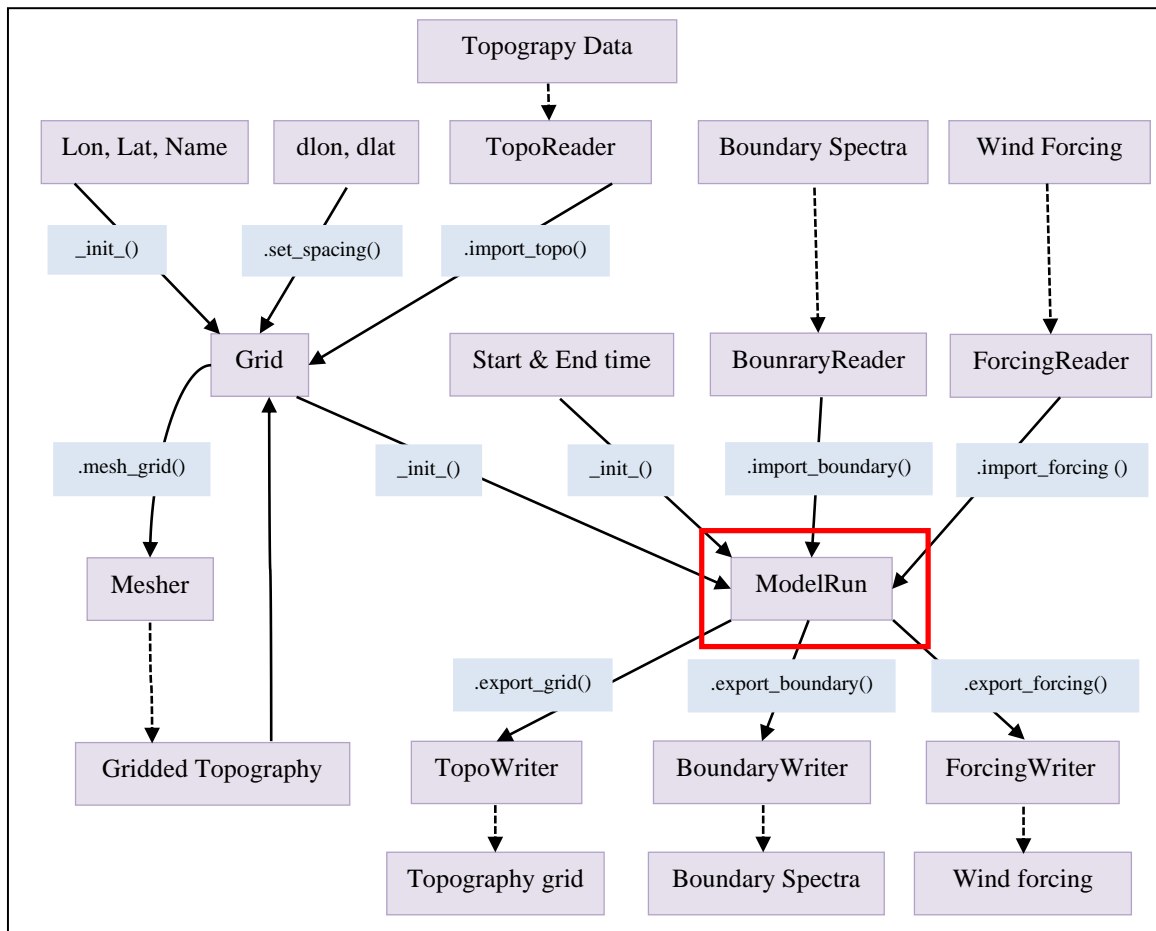
2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Bộ công cụ dự báo sóng DNORA

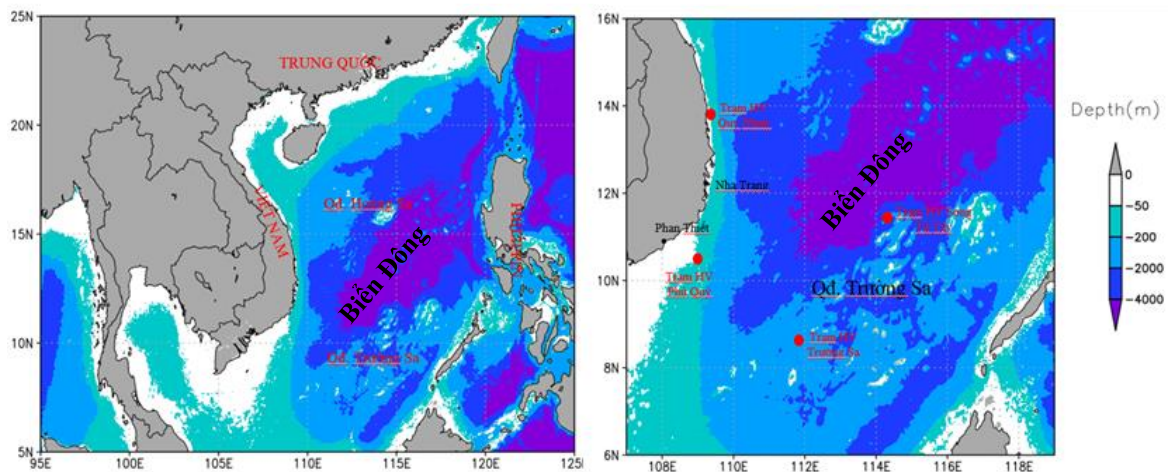
DNORA là một gói mã nguồn mở hạ độ phân giải của sóng toàn cầu bằng cách sử dụng các mô hình số trị. Các chức năng của DNORA bao gồm tạo lưới có độ phân giải cao bằng cách sử dụng bộ dữ liệu độ sâu, địa hình mã nguồn mở (Hình 2). Có thể tùy chọn các điều kiện biên sóng (dữ liệu NORA3, WAM4km, WW34km và ERA5) và điều kiện ban đầu gió (dữ liệu NORA3, MEPS, ERA5), đại dương (dữ liệu Norkyst800) và mực nước (dữ liệu GTSM_ERA5), từ đó tạo file tham số đầu vào cho các mô hình. Các mô hình sóng trong bộ công cụ có thể lựa chọn như SWAN, WW3, SWASH... [20].

2.3.2. Miền tính và lưới tính

Thí nghiệm được thiết kế với hai miền tính, miền tính 1 (kí hiệu D01) từ 5°N - 25°N ; 95°E - 125°E . Lưới tính được sử dụng là lưới vuông, độ phân giải $0,1 \times 0,1$ độ với 201×301 bước lưới, bao phủ toàn bộ biển Đông. Miền tính 2 (kí hiệu D01) từ 6°N - 16°N ; 107°E - 119°E , độ phân giải $0,0055 \times 0,0055$ độ (xấp xỉ 600×600 m), với 186×219 bước lưới, bao phủ vùng biển Nam Trung Bộ và phía tây quần đảo Trường Sa (Hình 3).



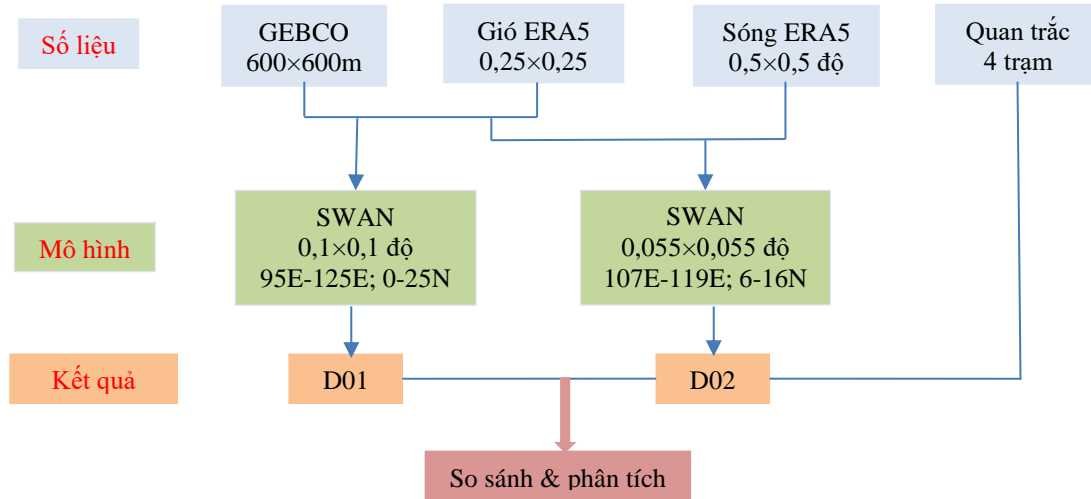
Hình 2. Cấu trúc sơ đồ của DNORA.



Hình 3. Trường độ sâu, miền tính D01 (trái) và vị trí các trạm hải văn sử dụng trong nghiên cứu D02 (phải).

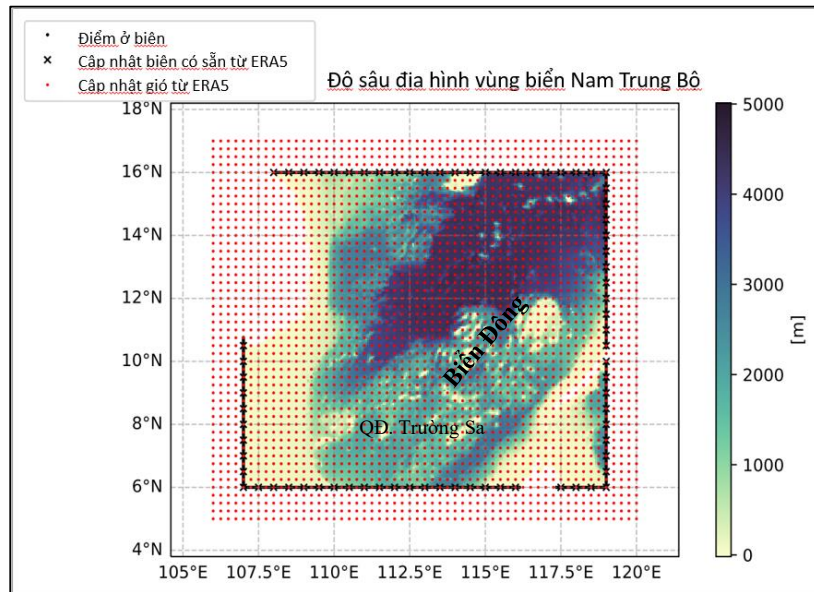
2.3.3. Thiết kế thí nghiệm

Sơ đồ thiết kế thí nghiệm mô phỏng được thể hiện trong hình 4. Các dữ liệu đầu vào được thu thập gồm dữ liệu địa hình, dữ liệu gió, sóng ERA5 và số liệu quan trắc. Trong đó, thí nghiệm ứng với miền tính D01 sử dụng dữ liệu địa hình và dữ liệu gió làm đầu vào. Thí nghiệm ứng với miền tính D02 sử dụng thêm bộ dữ liệu sóng làm điều kiện biên. Mô hình số trị được lựa chọn là mô hình sóng SWAN, kết quả được trích xuất về 4 trạm và so sánh với số liệu quan trắc, ngoài ra các kết quả trường sóng cũng được trích xuất để so sánh giữa hai thí nghiệm.



Hình 4. Sơ đồ thiết kế thí nghiệm mô phỏng.

SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) là mô hình tính toán, dự báo sóng thể hệ thứ ba, tính toán phổ sóng hai chiều bằng cách giải phương trình cân bằng tác động sóng (trong trường hợp không có dòng chảy có thể dùng phương trình cân bằng năng lượng sóng) có tính tới sự lan truyền sóng từ vùng nước sâu vào vùng nước nông ven bờ, đồng thời trao đổi năng lượng với gió thông qua hàm nguồn cùng với sự tiêu tán năng lượng sóng [21].



Hình 5. Sơ đồ cập nhật trường sóng, gió cho thí nghiệm D02.

2.3.4. Phương pháp đánh giá

- Sai số trung bình (*Mean Error - ME*)

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i) \quad (1)$$

- Sai số quân phương (*Root Mean Quare Error - RMSE*)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2} \quad (2)$$

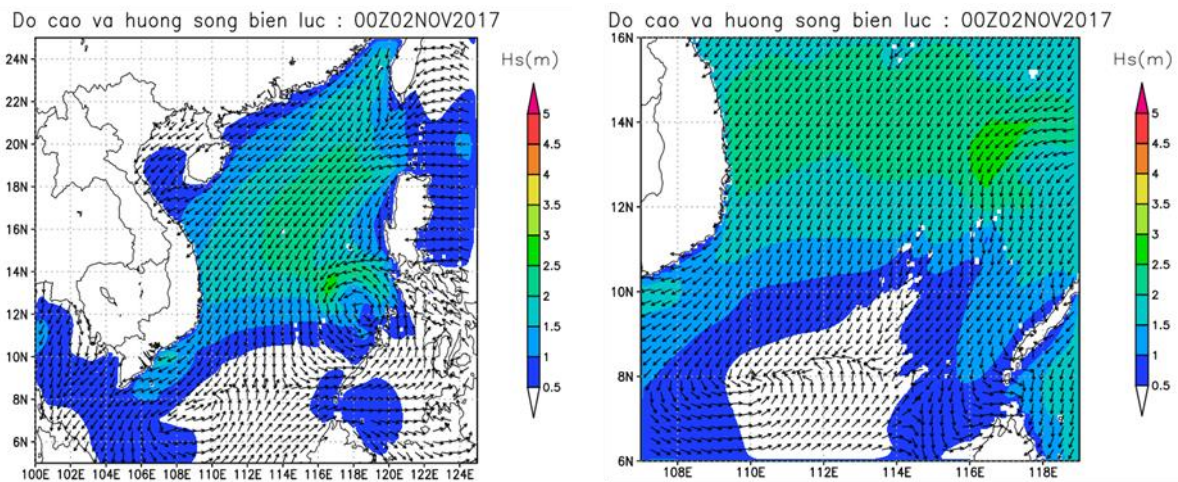
- Sai số trung bình tuyệt đối (*Mean Absolute Error - MAE*)

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i| \quad (3)$$

3. Kết quả và thảo luận

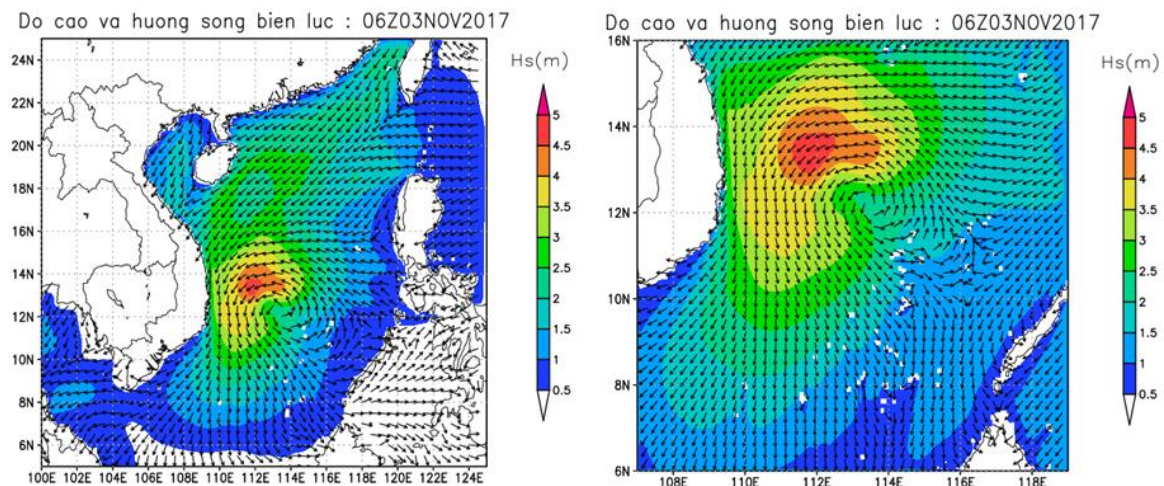
3.1. Kết quả mô phỏng trường sóng trong bão Damrey năm 2017

Kết quả mô phỏng trường sóng trong bão Damrey năm 2017 được đưa ra trong các thời điểm ATNĐ mạnh lên thành bão, thời điểm bão đạt cường độ mạnh nhất, thời điểm trước khi bão đổ bộ vào bờ và thời điểm bão đổ bộ vào đất liền. Đầu tiên, tại thời điểm ATNĐ mạnh lên thành bão với cường độ cấp 8 vào lúc 00Z tức 07h ngày 02/11, kết quả mô phỏng trong thí nghiệm 01 độ cao sóng biển trên toàn bộ khu vực biển Đông phổ biến dưới 2,5 m, chỉ riêng một vùng nhỏ phía tây bắc tâm bão có độ cao sóng biển đạt từ 2,5-3,0 m. Trong khi đó, với thí nghiệm 02, kết quả mô phỏng độ cao sóng lớn hơn so với thí nghiệm 01, độ cao sóng 2,0-2,5 m bao phủ một vùng rộng lớn trong dải vĩ độ 12-14 vĩ độ bắc, thậm chí đã có vùng đạt đến độ cao sóng 3,0 m (Hình 6).



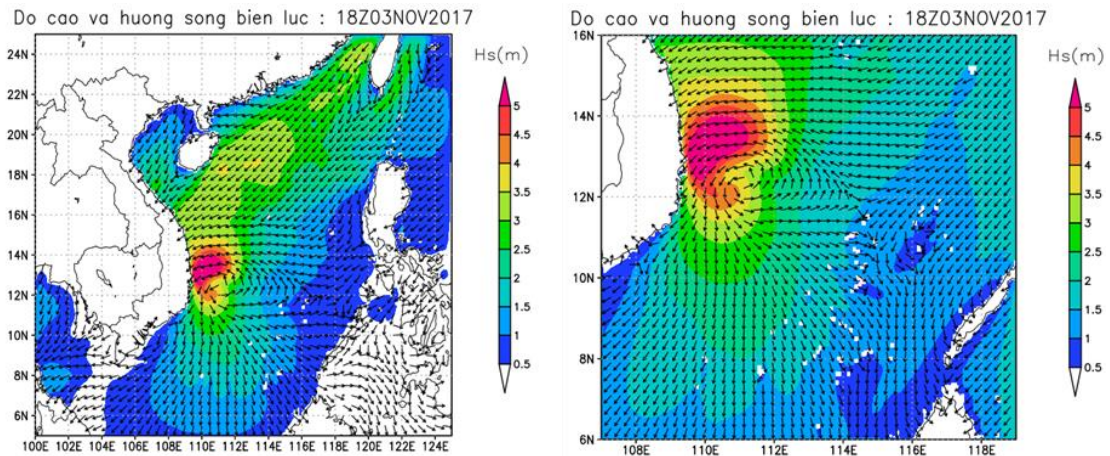
Hình 6. Trường độ cao sóng và hướng sóng thời điểm 00Z (tức 07h) ngày 02/11/2017 thí nghiệm 01 (trái) và thí nghiệm 02 (phải).

Thời điểm bão đạt cường độ mạnh nhất, sức gió gần tâm bão đạt cấp 12, giật cấp 15 vào lúc 06Z tức 13h ngày 03/11 (Hình 7). Ở thời điểm này, trường độ cao sóng mô phỏng giữa hai thí nghiệm không có sự khác biệt rõ rệt. Khi đó, độ cao sóng biển có thể đạt trên 5,0 m ở vùng phía Bắc tâm bão. Khu vực Vịnh Bắc Bộ, ven biển Trung Bộ kéo dài xuống Nam biển Đông độ cao sóng biển đều đạt trên 2,0 m. Khu vực Bắc biển Đông độ cao sóng biển có thể đạt 3,0m. Khu vực có độ cao sóng biển trên 3,0m bao phủ vùng rộng lớn xấp xỉ 5×5 độ kinh vĩ (550×550 km) từ khoảng 109°E - 114°E; 10°N - 15°N.



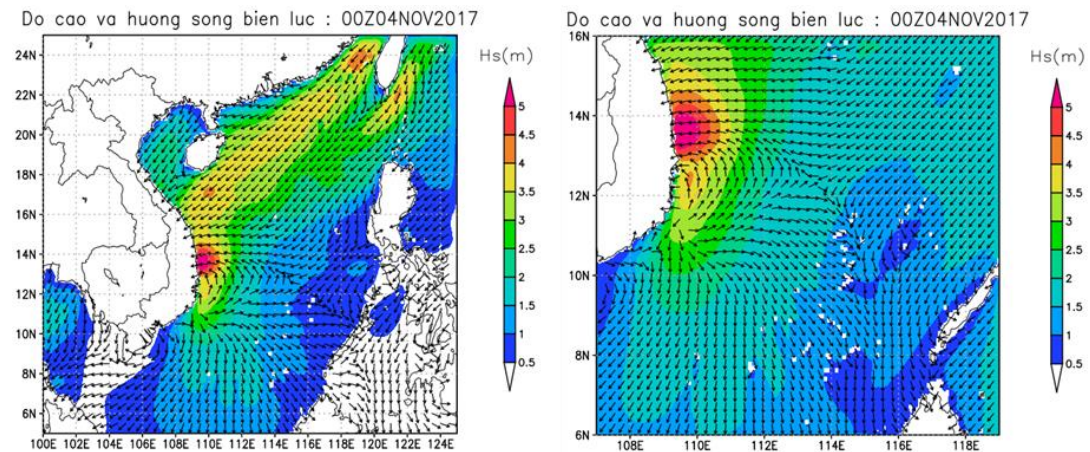
Hình 7. Trường độ cao sóng và hướng sóng thời điểm 06Z (tức 13h) ngày 03/11/2017 thí nghiệm 01 (trái) và thí nghiệm 02 (phải).

Đến thời điểm 18Z ngày 03/11 tức 01h ngày 04/11/2017, bão số 12 nằm trên vùng biển Phú Yên - Khánh Hòa, với cường độ cấp 12, giật cấp 15 (Hình 8). Kết quả mô phỏng ở thí nghiệm 01 cho thấy, độ cao sóng biển đạt 4,0m xuất hiện ở khu vực Bắc biển Đông. Vùng biển từ Quảng Trị đến Ninh Thuận có sóng biển cao từ 3,0-4,0 m, riêng vùng biển Bình Định đến Khánh Hòa, sóng biển có thể cao trên 5,0 m. Đối với thí nghiệm 02, trường độ cao sóng ít có sự khác biệt với thí nghiệm 01.



Hình 8. Trường độ cao sóng và hướng sóng thời điểm 18Z ngày 03/11 (tức 01h ngày 04/11/2017) thí nghiệm 01 (trái) và thí nghiệm 02 (phải).

Tại thời điểm bão đổ bộ vào đất liền Phú Yên - Khánh Hòa, kết quả giữa hai thí nghiệm ít có sự khác biệt, độ cao sóng trên 3,5 m vẫn kéo dài từ khu vực Bắc biển Đông và vùng biển Quảng Trị đến Khánh Hòa, trong đó vùng biển nam Bình Định đến bắc Khánh Hòa đạt trên 5 m (Hình 9).

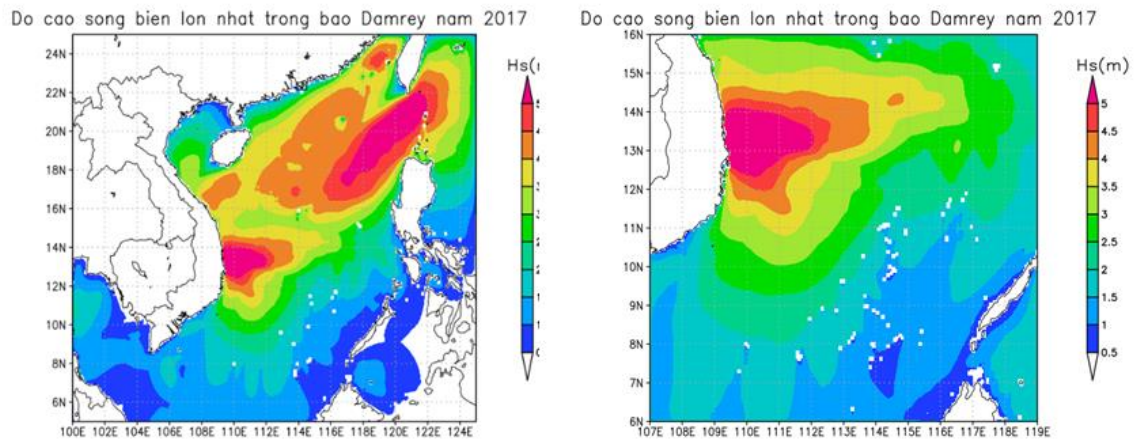


Hình 9. Trường độ cao sóng và hướng sóng thời điểm 00Z (tức 07h) ngày 04/11/2017 thí nghiệm 01 (trái) và thí nghiệm 02 (phải).

Nhìn chung, kết quả mô phỏng từ 2 thí nghiệm cho thấy, diễn biến trường sóng phù hợp với diễn biến của bão và cấp độ gió (gió mạnh gây ra sóng lớn), đồng thời cũng phù hợp với phân bố về mặt không gian (thường khu vực phía Bắc của bão sẽ gây ra gió mạnh và sóng lớn hơn khu vực phía Nam của bão). So sánh giữa hai thí nghiệm thì sự khác biệt chỉ ở những hạn mô phỏng ngắn khi hiệu ứng truyền sóng từ điều kiện biên (thí nghiệm 02) đóng vai trò rõ rệt, còn đến các hạn dài hơn, sự khác biệt giữa 02 thí nghiệm là không đáng kể.

Ngoài xem xét trường độ cao sóng trong từng thời điểm cụ thể, thì độ cao sóng lớn nhất trong bão Damrey cũng được xem xét ở đây (Hình 10). Kết quả cho thấy, từ ngày 01 đến ngày 04/11/2017, do ảnh hưởng của hoàn lưu bão độ cao sóng biển lớn nhất có thể lên tới 5,0 m xuất hiện ở khu vực bắc biển Đông và ngoài khơi Nam Trung Bộ, kết quả này khá phù hợp

với nghiên cứu [13]. Theo nghiên cứu [14], vùng biển ven bờ do có nhiều vịnh, đảo nên độ cao sóng biển chịu nhiều tác động của địa hình và có phân bố phức tạp, do đó cần phải cập nhật chi tiết thêm bộ dữ liệu địa hình ven bờ cho bộ công cụ DNORA.



Hình 10. Trường độ cao sóng lớn nhất trong bão Damrey năm 2017 mô phỏng từ thí nghiệm 01 (trái) và thí nghiệm 02 (phải).

3.2. So sánh kết quả mô phỏng và quan trắc

Số liệu quan trắc sóng từ 4 trạm hải văn gồm Quy Nhơn, Song Tử Tây, Trường Sa và Phú Quý được thu thập từ ngày 01 đến 04/11/2017, với số liệu đo các obs 07, 13 và 19 giờ được sử dụng để so sánh với kết quả mô phỏng từ hai thí nghiệm. Các chỉ số ME, RMSE và MAE được tính toán và thể hiện kết quả trong bảng 1.

Bảng 1. Sai số kết quả mô phỏng từ bộ công cụ DNORA với số liệu quan trắc độ cao sóng trong bão Damrey từ ngày 01-04/11/2017.

Chỉ số	D01	D02
Dung lượng mẫu	32	32
Chỉ số ME	0,329	0,428
Chỉ số RMSE	0,667	0,752
Chỉ số MAE	0,536	0,628

Kết quả cho thấy, cả hai thí nghiệm mô phỏng đều cho chỉ số ME dương tức là mô phỏng cao hơn quan trắc. Các sai số RMSE và MAE ở 2 thí nghiệm đều khá cao. Tuy nhiên, cũng cần xem xét lại nguồn số liệu quan trắc do hạn chế về tần suất cũng như chất lượng. So sánh giữa hai thí nghiệm cho thấy, D02 cho kết quả sai số mô phỏng cao hơn D01, có thể đưa ra nhận xét bước đầu, đối với khu vực sóng ngoài khơi, sử dụng thí nghiệm 01 là đủ để mô phỏng hoặc dự báo độ cao sóng, chưa cần thiết phải hạ độ phân giải cao hơn hoặc cập nhật thêm điều kiện biên là trường sóng.

4. Kết luận

Trong bài báo này, tác giả giới thiệu ứng dụng bộ công cụ DNORA phục vụ dự báo sóng thể hiện qua mô phỏng trường sóng của cơn bão Damrey năm 2017. Một số nhận xét, kết luận được rút ra như sau:

- Bộ công cụ dự báo sóng DNORA đã được hỗ trợ, chuyển giao, cài đặt và đang vận hành tại Đài KTTV Nam Trung Bộ. Nhận thấy, DNORA là một bộ công cụ tiện ích, hỗ trợ cho công tác dự báo nghiệp vụ hải văn của Đài có biển.

- Các tác giả đã thiết lập và lựa chọn miền tính, thiết kế thí nghiệm với các đầu vào là dữ liệu địa hình GEBCO, dữ liệu sóng gió ERA5 và mô hình SWAN để mô phỏng lại trường sóng trong cơn bão Damrey 2017, sử dụng 2 tùy chọn của bộ công cụ DNORA.

- Kết quả nghiên cứu là tài liệu tham khảo có ý nghĩa giới thiệu và phổ biến rộng rãi DNORA như là một bộ công cụ mới phục vụ trong công tác nghiên cứu và dự báo hải văn tại Việt Nam.

- Trong nghiên cứu này, các tác giả chỉ sử dụng các tùy chọn có sẵn của bộ công cụ DNORA vì vậy kết quả mô phỏng chưa được chi tiết cho những khu vực ven bờ, quanh đảo. Để cải thiện được kết quả mô phỏng, dự báo qua bộ công cụ DNORA cần hướng tới cập nhật được chi tiết địa hình những khu vực nói trên.

Kết quả của nghiên cứu mới chỉ là những ứng dụng bước đầu, tuy nhiên, có thể thấy được khả năng ứng dụng của DNORA và sự linh hoạt trong các tùy chọn của bộ công cụ này, cũng như hoàn toàn có thể áp dụng cho các vùng biển khác trên biển Đông.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: P.T.V., T.V.H.; Xử lý số liệu: P.T.V., N.T.H.; Viết bản thảo bài báo: P.T.V., N.T.H.; Chỉnh sửa bài báo: P.T.V., T.V.H.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đài KTTV Nam Trung Bộ. Bên cạnh đó, tập thể tác giả trân trọng cảm ơn Viện Khí tượng NaUy đã tài trợ cơ sở thiết bị, máy tính, tiến sĩ Jan-Victor Björkqvist và Lar Robert Hole thuộc Viện Khí tượng Na Uy đã hỗ trợ và chuyển giao bộ công cụ DNORA.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Hà, B.M.; Thủy, N.B.; Chiến, Đ.Đ. Kết quả bước đầu dự báo tổ hợp sóng biển tại Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 721, 1–10.
2. Trục tuyến: <https://github.com/MET-OM/dnora>.
3. Mounet, R.E.G. Sea state estimation based on measurements from multiple observation platforms. PhD Thesis, Department of Civil and Mechanical Engineering, Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby, 2023.
4. Tolman, H.L. A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady, and inhomogeneous depths and currents. *J. Phys. Oceanogr.* **1991**, 21, 782–797.
5. The WAMDI Group. The WAM model - A third generation ocean wave prediction model. *J. Phys. Oceanogr.* **1988**, 18, 1775–1810.
6. Ris, R.C.; Holthuijsen, L.H.; Booij, N. A third-generation wave model for coastal regions: 2. Verification. *J. Geophys. Res. Ocean.* **1999**, 104, 7667–7681.
7. Adytia, D.; Saepudin, D.; Tarwidi, D.; Pudjaprasetya, S.R.; Husrin, S.; Sopaheluwakan, A.; Prasetya, G. Modelling of deep learning-based downscaling for wave forecasting in coastal area. *Water* **2023**, 15, 204.
8. Ngọc, P.K.; Thủy, N.B. Một số kết quả ban đầu về ứng dụng số liệu vệ tinh đánh giá độ cao sóng dự báo. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 727, 13–23.
9. Báo cáo phân tích phục hồi sớm sau cơn bão Damrey tại Việt Nam năm 2017. UNDP Việt Nam. Năm 2018.
10. Thăng, V.V.; Kiên, T.B.; Tuyết, L.T.; Thảo, T.T.; Thúc, T.D.; Tuấn, L.V. Đặc điểm hoạt động của xoáy thuận nhiệt đới ở Tây Bắc Thái Bình Dương, Biển Đông và đổ bộ vào Việt Nam năm 2017. *Tạp chí Khoa học biến đổi khí hậu* **2018**, 5(3), 27–35.
11. Phong, N.B.; Hiệp, N.V.; Thắng, N.V. Ứng dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy động lực dự báo cường độ và nghiên cứu cấu trúc bão Damrey (2017) giai đoạn gần bờ và đổ bộ. *Tạp chí Khoa học biến đổi khí hậu* **2019**, 16(12), 23–35.

12. Vui, P.T.; Hung, T.V.; Tuấn, P.V. Nghiên cứu dự báo dựa trên tác động của cơn bão Damrey đến thành phố Nha Trang tỉnh Khánh Hòa. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 753, 60–73.
13. Hà, B.M.; Thủy, N.B.; Chiến, Đ.Đ. Kết quả bước đầu dự báo tổ hợp sóng biển tại Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 721, 1–10.
14. Chanh, B.V.; Hùng, N.Đ. Đánh giá tác động của địa hình ven bờ tỉnh Khánh Hòa đến phân bố sóng trong bão Damrey bằng mô hình Mike 21SW. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 733, 73–85.
15. Hersbach, H.; Bell, B.; Berrisford, P.; Hirahara, S.; Horányi, A.; Muñoz-Sabater, J.; Nicolas, J.; Peubey, C.; Radu, R.; Schepers, D.; et al. The ERA5 global reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **2020**, 146, 1999–2049.
16. Trục tuyến: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>
17. Trục tuyến: https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/gebco_2021/
18. Trục tuyến: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>.
19. Trung tâm Dự báo Khí tượng thủy văn Quốc gia. Đặc điểm Khí tượng thủy văn năm 2017. 2017.
20. Christakos, K.; Björkqvist, J.V. DNORA: Open-access dynamical downscaling of open-ocean wave hindcast/forecast for coastal areas. Proceeding of the 5th Coastal Engineering Day, NTNU/PIANC, 31.03.2022.
21. SWAN team. Swan user manual, Delft University of Technology, 2016.

Application of the DNORA toolkit to forecast wave in the South-Central Coast: A case study the wave fields simulation results during Damrey typhoon in 2017

Nguyen Thi Hien¹, Tran Van Hung^{1*}, Phung Thi Vui¹

¹ Southern Central Regional Hydro-Meteorological Center; hiennt22992@gmail.com; tranhungdubao@gmail.com; phungthivui@gmail.com

Abstract: Ocean waves are a factor with an important role and significance affecting economic activities at sea and in coastal areas. Accurately forecasting waves, especially big waves during typhoons, will minimize human risks as well as economic damage. Currently, innovating hydrometeorological forecasting technology in general and hydrometeorological forecasting in particular in the hydrometeorological industry is the right direction to improve forecast quality. The DNORA toolkit is a technology recently transferred by the Norway Meteorological Institute to Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration. In this study, the team introduced the DNORA toolkit and some results of DNORA application to forecast waves in Damrey typhoon in 2017. The results show that the simulated wave heights tend to be higher than the actual measurements and RMSE evaluation index ranges from 0.67-0.75 m.

Keywords: Damrey Typhoon; Wave; DNORA.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu cải tiến phương pháp cảnh báo sét theo tổ hợp đa nguồn số liệu, áp dụng cho một số khu vực tại tỉnh Quảng Nam

Hoàng Hải Sơn^{1,2*}, Nguyễn Xuân Anh^{1,2}, Phạm Xuân Thành^{1,2}, Phạm Lê Khương^{1,2}, Nguyễn Văn Hiệp^{1,3}

¹ Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam;
hhson.igp@gmail.com; nxanh@igp.vast.vn; pxthanh@igp.vast.vn;
phamlekhuongigp@gmail.com

² Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam;
hhson.igp@gmail.com; nxanh@igp.vast.vn; pxthanh@igp.vast.vn;
phamlekhuongigp@gmail.com

³ Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ; hieppwork@gmail.com

*Tác giả liên hệ: hhson.igp@gmail.com; Tel.: +84-984863042

Ban Biên tập nhận bài: 12/4/2024; Ngày phản biện xong: 10/5/2024; Ngày đăng: 25/10/2024

Tóm tắt: Bài báo này trình bày những nghiên cứu cải tiến phương pháp cảnh báo sét theo tổ hợp đa nguồn số liệu ở một số khu vực tại tỉnh Quảng Nam, thu thập trong khoảng thời gian từ 2015 đến 2017. Phương pháp cảnh báo sét theo số liệu điện trường, số liệu ảnh mây và số liệu định vị sét cho khu vực bán kính 8 km xung quanh trạm tại Hội An, Hiệp Đức, Đại Lộc, xác định được ngưỡng điện trường cảnh báo sét tối ưu hóa qua hai chỉ số EFAI và EFDI từ các chỉ số thống kê POD, FAR và CSI. Phương pháp cảnh báo sét theo số liệu thiết bị cảnh báo sét, số liệu ảnh mây và số liệu định vị sét cho khu vực Tam Kỳ. Những kết quả nghiên cứu cho thấy: với nguồn số liệu độc lập, áp dụng cảnh báo sét cho một số khu vực tại Quảng Nam (Hội An, Hiệp Đức, Đại Lộc) xác định được thời gian cảnh báo sét trung bình đạt 22,45 phút, tỷ lệ cảnh báo sét đúng đạt 82,56%. Thử nghiệm cảnh báo sét theo số liệu thiết bị Strike Guard, số liệu vệ tinh, số liệu định vị sét tại Tam Kỳ, xác định được thời gian cảnh báo sét trung bình là 18,0 phút. Những kết quả cho thấy có thể sử dụng các phương pháp cảnh báo sét đã xây dựng cho các khu vực nghiên cứu phục vụ phát triển kinh tế xã hội và du lịch tại tỉnh Quảng Nam.

Từ khóa: Cảnh báo sét; Điện trường mây dông; Ảnh mây; Định vị sét.

1. Mở đầu

Một số công trình nghiên cứu và báo cáo thống kê đã chỉ ra sét là rủi do thiên tai hàng năm thường xuyên gây ra những thiệt hại về kinh tế cho một số ngành nghề như điện lực, viễn thông, khai thác mỏ, hàng không, giao thông, du lịch, nghiên cứu khoa học hoặc các ngành nghề có các thiết bị sản xuất công nghiệp...v.v. Ngoài những thiệt hại về tài sản, sét còn có các tác động tâm lý không tốt cho loài người hay thiệt hại cả về tính mạng. Do vậy, việc nghiên cứu cảnh báo sét ngày càng được quan tâm và trở nên hữu ích. Việt Nam nằm ở khu vực Châu Á có hoạt động dông sét, là một trong ba tâm dông trên thế giới, có dông sét mạnh [1–8]. Mặc dù hoạt động dông sét có thể xảy ra ở mọi nơi trong lãnh thổ Việt Nam, tuy nhiên hoạt động dông sét cũng có tính địa phương do các đặc tính khí hậu, thể hiện qua mật độ sét, cường độ dòng điện sét, ngày dông, giờ dông là khác nhau như trong nghiên cứu [1, 9–11] đã đề cập. Để cảnh báo sét thành công và nâng cao hiệu quả của việc nghiên cứu cảnh báo sét ở các khu vực cụ thể, chúng ta cần có những nghiên cứu chi tiết, cải tiến, phù hợp với nguồn số liệu và các đặc tính khí hậu tại khu vực cần cảnh báo.

Tổng quan về vấn đề nghiên cứu cảnh báo sét trên thế giới đã được đề cập trong công trình [7–8]. Những nghiên cứu cảnh báo sét trên thế giới có thể chia thành các nhóm như sau: nhóm nghiên cứu cảnh báo sét dựa theo số liệu điện trường và định vị sét như trong công trình [12–19]; nhóm nghiên cứu cảnh báo sét dựa theo số liệu điện trường mây dông, radar thời tiết và định vị sét [20–21], nhóm nghiên cứu cảnh báo sét dựa theo số liệu radar thời tiết, số liệu thám không và định vị sét [22–27], nhóm nghiên cứu cảnh báo sét dựa theo số liệu vệ tinh, số liệu radar và số liệu định vị sét [28–29], nhóm nghiên cứu cảnh báo sét dựa theo số liệu định vị sét [30–31], nhóm nghiên cứu dự báo hoạt động dông sét dựa theo các mô hình số [32–34]. Vấn đề dự báo hay cảnh báo hoạt động dông sét đã được nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới thực hiện cho các khu vực cụ thể. Đa phần các nghiên cứu có thời hạn dự báo hoặc cảnh báo có thời gian rất ngắn (nhỏ hơn 6 giờ), đáp ứng theo nhu cầu thực tế. Chất lượng cảnh báo sét thể hiện qua các kết quả nghiên cứu, phụ thuộc vào việc nghiên cứu đánh giá cảnh báo sét. Cụ thể là phương pháp cảnh báo sét, các nguồn số liệu, điều kiện khí hậu về hoạt động dông sét, môi trường khảo sát số liệu và phương pháp xử lý số liệu. Phương pháp cảnh báo sét được xem là thành công, khi báo trước được thời gian xảy ra sét đánh ở khu vực cụ thể. Diện tích vùng cần cảnh báo sét càng thu nhỏ lại và thời gian cảnh báo trước sét càng tăng lên là tốt nhất, tuy vậy trong một số ngành nghề, thời gian cảnh báo sét trước, có thời hạn ngắn cũng có ý nghĩa thực tiễn. Các kết quả nghiên cứu cho thấy: thời gian cảnh báo sét trước nằm trong khoảng từ một số phút đến khoảng 60 phút. Thời gian cảnh báo sét trước và tỷ lệ cảnh báo đúng (LT và POD) của một số tác giả: LT = 7,5 phút, POD = 84%, [22]; LT = 20,8 phút, POD = 82,7%, [20]; LT = 30 phút, POD = 46%, [30]; LT = 13,7 phút, POD = 81%, [25]; LT = 2 phút, POD = 90%, [31]; LT = 15 phút, POD = 81%, [28],...

Tổng quan về nghiên cứu dông sét ở Việt Nam đã được trình bày trong một số công trình [1, 2, 7–8, 10]. Về vấn đề dự báo hay cảnh báo hoạt động dông sét ở Việt Nam đa phần gắn với công tác nghiệp vụ của Ngành Khí tượng Thủy văn. Chủ yếu gắn liền với công tác nghiệp vụ dự báo, cảnh báo thời tiết hạn ngắn (12 giờ đến 72 giờ), dự báo thời tiết hạn vừa (3 ngày đến 10 ngày) hoặc nghiên cứu đặc điểm khí hậu của hoạt động dông sét. Cũng có một số nghiên cứu dự báo hoặc cảnh báo hạn rất ngắn (nhỏ hơn 12 giờ) hoạt động dông sét. Tuy nhiên, phần lớn những nghiên cứu liên quan đến vấn đề này là dự báo, cảnh báo hoặc theo dõi vùng hoạt động của mây dông, với các nguồn số liệu sử dụng trong công việc này liên quan gián tiếp đến hoạt động dông sét, như số liệu vệ tinh khí tượng, radar thời tiết hoặc quan trắc tại các trạm khí tượng. Hơn mười năm trở lại đây, cũng đã có một số nghiên cứu dự báo, cảnh báo dông sét, mưa lớn, mưa do mây dông, tố, lốc, mưa đá, vòi rồng,... hạn rất ngắn, vùng nghiên cứu thường là khu vực có diện tích lớn, đã sử dụng các thiết bị quan trắc gắn liền hơn với các hiện tượng điện khí quyển như định vị sét, chụp ảnh sét bằng vệ tinh. Tuy nhiên, các nghiên cứu này phần nhiều là những nghiên cứu trường hợp hoặc thử nghiệm, mang tính nghiệp vụ, chưa có các đánh giá chi tiết, chưa đề cập đến vấn đề dự báo hay cảnh báo sét, chưa có các nghiên cứu cảnh báo sét sử dụng phương pháp tích hợp đa nguồn số liệu như các nước trên thế giới đã và đang thực hiện.

Những nghiên cứu của bản thân tác giả và các cộng sự [7–8], công bố trong thời gian gần đây, đã thử nghiệm nghiên cứu cảnh báo sét vùng Gia Lâm - Hà Nội và khu vực thành phố Vũng Tàu, đã thu được những kết quả mới về phương pháp nghiên cứu cảnh báo sét tại Việt Nam, sử dụng tổ hợp các nguồn số liệu. Tuy nhiên, trong hai công trình nghiên cứu kể trên, nhóm nghiên cứu chỉ cảnh báo sét cho khu vực có bán kính 10 km (bán kính này càng nhỏ càng có ý nghĩa khoa học) và chỉ sử dụng một chỉ số về ngưỡng điện trường cảnh báo được ước lượng theo điện trường trung bình trong điều kiện thời tiết đẹp hay như nhiều nghiên cứu trên thế giới. Mặc dù ngưỡng điện trường dùng để cảnh báo sét trong hai nghiên cứu này đã tính đến ảnh hưởng của môi trường khí hậu khu vực nghiên cứu, tuy nhiên các giá trị ngưỡng này được các tác giả tính toán tương đối định tính, chưa ước lượng tối ưu hóa theo số liệu đo đạc thực tế. Hơn nữa, trong các nghiên cứu này cũng chưa sử dụng chỉ số về chênh lệch điện trường hay là các dao động thường được sinh ra do hoạt động phóng điện trong mây hoặc

giữa các đám mây và làm tiêu tán một lượng ít điện tích trong các đám mây dông hay các phóng điện mây - đất sinh ra tiêu tán nhiều điện tích trong các đám mây dông, xảy ra ở ngoài vùng cần cảnh báo sét. Và các nghiên cứu này chưa có những nghiên cứu với nguồn số liệu của thiết bị cảnh báo sét. Do vậy, để nâng cao hiệu quả của khả năng cảnh báo sét ở Việt Nam, cần phải có các nghiên cứu cải tiến, đó chính là mục tiêu của nghiên cứu này.

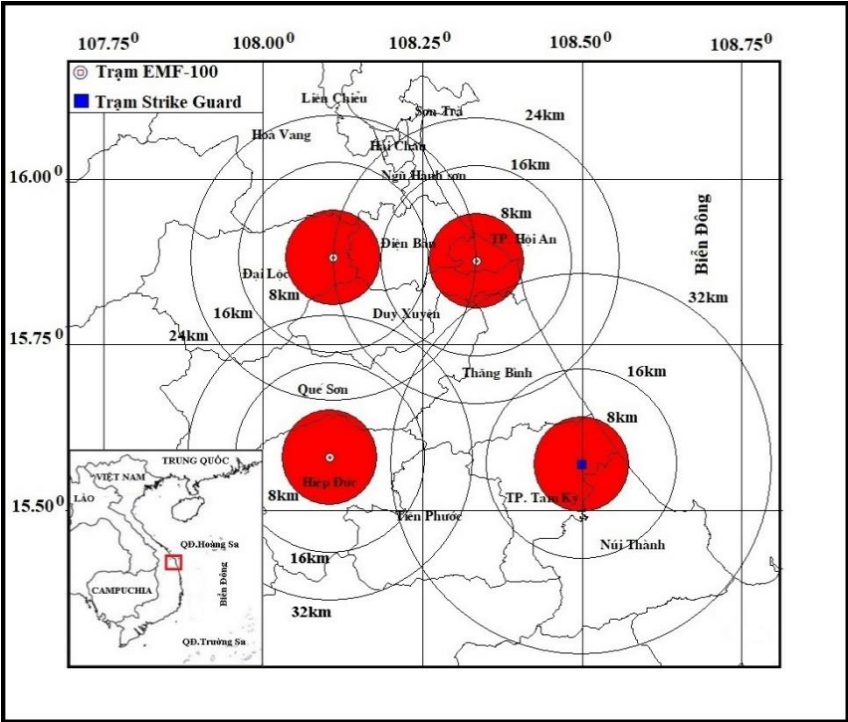
2. Số liệu và phương pháp

2.1. Số liệu

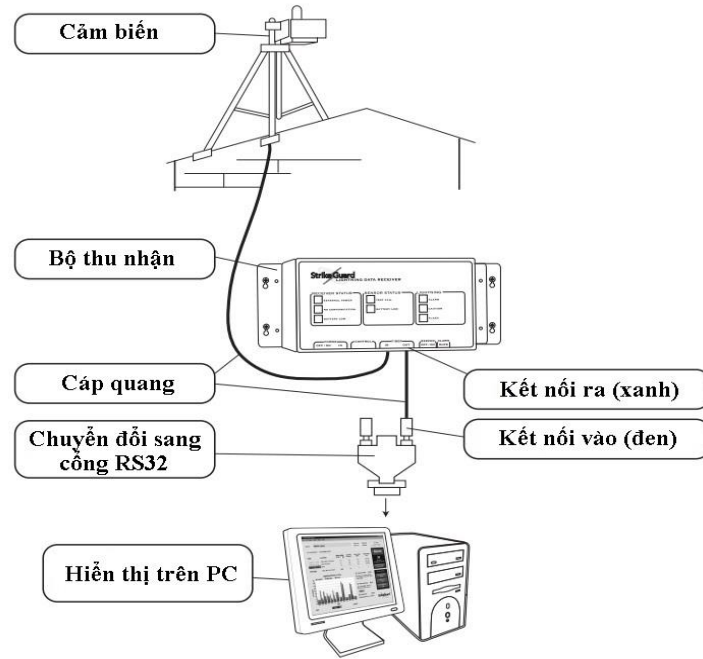
Trong nghiên cứu này chúng tôi đã sử dụng tổ hợp các nguồn số liệu gồm: số liệu cường độ điện trường, số liệu thiết bị cảnh báo sét, số liệu chụp ảnh mây từ vệ tinh và số liệu định vị sét. Bảng 1, mô tả tên, vị trí các trạm đo điện trường mây, trạm cảnh báo sét, tên thiết bị đo và thời gian đo. Sơ đồ mạng trạm đo điện trường và thiết bị cảnh báo sét (*Strike Guard*) được mô tả trong hình 1, với vùng hình tròn màu đỏ là khu vực cảnh báo sét (bán kính 8 km). Số liệu đo cường độ điện trường mây dông (*EFM-100*) được quan trắc tại các trạm Hội An, Đại Lộc và Hiệp Đức thuộc tỉnh Quảng Nam. Sơ đồ hệ thống các thiết bị đo điện trường đo đặc tại đây tương tự như thiết bị đo tại Gia Lâm - Hà Nội, chi tiết đã được mô tả trong công trình nghiên cứu [2–3,7–8, 35]. Số liệu thiết bị cảnh báo sét (*Strike Guard*) thu thập tại trạm Tam Kỳ, sơ đồ hệ thống của thiết bị này được trình bày trong hình 2. Thiết bị cảnh báo sét bao gồm: bộ cảm biến ngoài trời có khả năng phát hiện sét quang học và định vị sóng điện từ (*Strike Guard Sensor*); bộ thiết bị thu nhận để trong nhà (*Strike Guard Receiver*); cáp quang kết nối máy tính và phần mềm biểu diễn và thu thập số liệu trên máy tính. Hệ thiết bị có khả năng phát hiện sét và thông báo theo khoảng cách: 32 km (*Caution*: thận trọng) 16 km (*Warning*: cảnh báo), 8 km (*Alarm*: báo động).

Bảng 1. Các trạm đo điện trường, trạm cảnh báo sét và thời gian đo.

TT	Tên trạm	Kinh độ	Vĩ độ	Thiết bị	Thời gian đo
1	Hội An	108,33457	15,87642	EMF-100	2016-2017
2	Đại Lộc	108,11023	15,88137	EMF-100	2016-2017
3	Hiệp Đức	108,10465	15,57948	EMF-100	2016-2017
4	Tam Kỳ	108,49891	15,56979	Strike Guard	2015-2016



Hình 1. Sơ đồ mạng trạm đo điện trường EFM-100 và trạm cảnh báo sét thiết bị Strike Guard tại Quảng Nam.



Hình 2. Sơ đồ hệ thống thiết bị cảnh báo sét Strike Guard [36].

Số liệu chụp ảnh mây kênh hồng ngoại của vệ tinh Himawari, thu thập từ JMA (*Japan Meteorological Agency*) hoặc trên máy chủ của Đại học Chi Ba - Nhật Bản hay trang web <http://www.cr.chiba-u.jp/databases/GEO>. Vị trí, thời gian xảy ra sét và dòng điện sét để xác định sét âm, sét dương được thu thập từ trang web là sản phẩm hợp tác giữa Viện Khí tượng Thủy văn Phần Lan và Tổng cục Khí tượng Thủy văn, mô tả chi tiết về nguồn số liệu này có thể xem trong [7–8, 10] và các nghiên cứu liên quan.

2.2. Phương pháp

2.2.1. Cảnh báo sét dựa theo số liệu điện trường, số liệu vệ tinh và số liệu định vị sét

Phương pháp cảnh báo sét dựa trên số liệu điện trường, số liệu vệ tinh và số liệu định vị sét xây dựng cho một số khu vực tại Quảng Nam, được xây dựng chủ yếu dựa trên nguồn số liệu điện trường thu thập tại ba trạm EFM-100 ở Hội An, Đại Lộc và Hiệp Đức. Từ nguồn số liệu điện trường, ta xác định hai chỉ số, chỉ số thứ nhất là chỉ số EFAI là ngưỡng độ lớn điện trường cảnh báo sét. Dựa trên chuỗi các ngưỡng độ lớn và chuỗi số các giá trị điện trường vượt qua ngưỡng này để xác định được giá trị EFAI tốt nhất. Chỉ số thứ hai về cường độ điện trường được đưa vào trong phương pháp này là chỉ số về độ chênh lệch điện trường EFDI. Chênh lệch điện trường có thể biểu diễn bởi phương trình (1):

$$\frac{dE(x, y, z)}{dt} = \frac{E_{t2}(x, y, z) - E_{t1}(x, y, z)}{\Delta t} \quad (1)$$

Trong đó t_1 và t_2 là thời gian liên tiếp liên tục bất kỳ, khi tần suất lấy mẫu của thiết bị điện trường là 1 giây, chênh lệch điện trường khi đó biểu diễn dưới dạng:

$$\Delta E(x, y, z) = E_{t2}(x, y, z) - E_{t1}(x, y, z) \quad (2)$$

Trong phương pháp cũng cần xác định các tham số thống kê bao gồm: tỷ lệ cảnh báo đúng (POD), tỷ lệ cảnh báo không (FAR) và điểm số thành công (CSI) như sau:

$$POD = \frac{EA}{EA + FTW} \quad (3)$$

$$FAR = \frac{FA}{EA + FA} \quad (4)$$

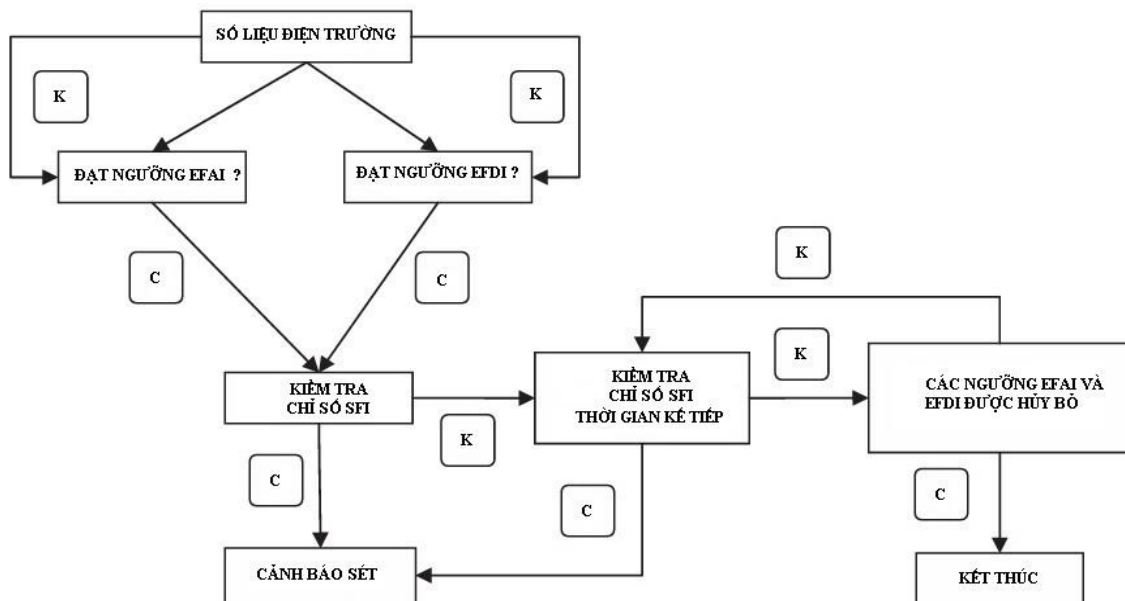
$$CSI = \frac{EA}{EA + FTW + FA} \quad (5)$$

Trong đó, EA là tỷ lệ cảnh báo hiệu quả, FWT là tỷ lệ không cảnh báo, FA là tỷ lệ cảnh báo sai. Chú giải các đại lượng tính toán được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Bảng xác định các tham số quan hệ giữa cảnh báo và quan trắc.

		Quan trắc		
Cảnh báo	Có	Có EA	Không FA	Tổng cộng Cảnh báo có
	Không	FTW	Quan trắc không, Cảnh báo không	Cảnh báo không

Từ bộ số liệu đo điện trường, ta sẽ xác định các chỉ số EFAI và EFDI theo các ngưỡng và số lần xảy ra theo các khoảng thời gian trước cảnh báo. Từ đó xác định được ngưỡng tối ưu theo các chỉ số đánh giá thống kê POD, FAR và CSI. Sử dụng số liệu vệ tinh để xác định vùng mây đối lưu, xác định bằng cách sử dụng kết hợp số liệu kênh hồng ngoại của vệ tinh Himawari, kênh TIR6 (6,2 μm) và kênh TIR2 (11,2 μm) [37], hay chỉ số SFI. Từ đó, ta có thể đưa ra thông tin cảnh báo sét cho vùng cần cảnh báo sét, trong phần này gọi là ROW (bán kính 8 km), bán kính này nhỏ hơn so với bán kính vùng cảnh báo sét trong phương pháp xây dựng cho khu vực huyện Gia Lâm [7] và thành phố Vũng Tàu (AOC, bán kính 10 km) [8]. Sơ đồ thuật toán cảnh báo sét theo số liệu điện trường, số liệu vệ tinh và số liệu định vị sét, xây dựng cho một số khu vực tại Quảng Nam, được trình bày trong hình 3.

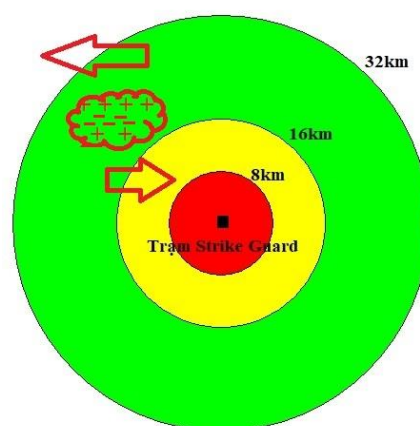


Hình 3. Sơ đồ thuật toán cảnh báo sét theo số liệu điện trường, số liệu vệ tinh và số liệu định vị sét [20].

2.2.2. Cảnh báo sét dựa theo số liệu thiết bị cảnh báo sét, số liệu vệ tinh và số liệu định vị sét

Thiết bị cảnh báo sét Strike Guard có thể phát ra tín hiệu cảnh báo tới người sử dụng theo 3 mức trạng thái: 1) Trạng thái thận trọng hay vùng chú ý (*Caution*), khi phát hiện ra cơn dông trong vùng bán kính từ 16 km đến 32 km (vùng màu xanh trên hình 4); 2) Trạng thái cảnh báo (*Warning*), khi cơn dông trong bán kính từ 8 km đến 16 km; và 3) Trạng thái báo động (*Alarm*), khi cơn dông trong bán kính 8 km tính từ vị trí trạm quan trắc. Tuy nhiên, thiết bị không thể đưa ra cảnh báo trước cho sự chuyển trạng thái từ *Caution* sang *Alarm* (khi cơn dông đi về phía trạm) hoặc từ cảnh báo sang không cảnh báo (khi cơn dông đi ra xa trạm).

Bằng việc sử dụng kết hợp giữa thiết bị Strike Guard với số liệu vệ tinh và định vị sét chúng ta hoàn toàn có thể khắc phục được nhược điểm này. Cụ thể, sử dụng số liệu vệ tinh kết hợp với số liệu định vị sét, chúng ta có thể xác định được hướng và vận tốc dịch chuyển của mây dông. Từ đó, với khoảng chênh lệch thời gian chuyển trạng thái từ Caution sang Warning (khoảng thời gian cơn dông di chuyển từ khu vực bán kính 32 km sang khu vực bán kính 16 km), chúng ta sẽ tính được thời gian di chuyển từ vùng Warning sang Alarm (thời gian di chuyển từ 16 km sang 8 km) và tiến hành cảnh báo trạng thái Alarm khi cơn dông đang ở vị trí trạng thái Caution. Tóm lại, bằng cách sử dụng kết hợp giữa số liệu từ thiết bị cảnh báo Strike Guard, số liệu vệ tinh và số liệu định vị sét, chúng ta đã tăng khả năng cảnh báo của thiết bị Strike Guard.



Hình 4. Sơ đồ phân vùng cảnh báo sét theo thiết bị Strike Guard.

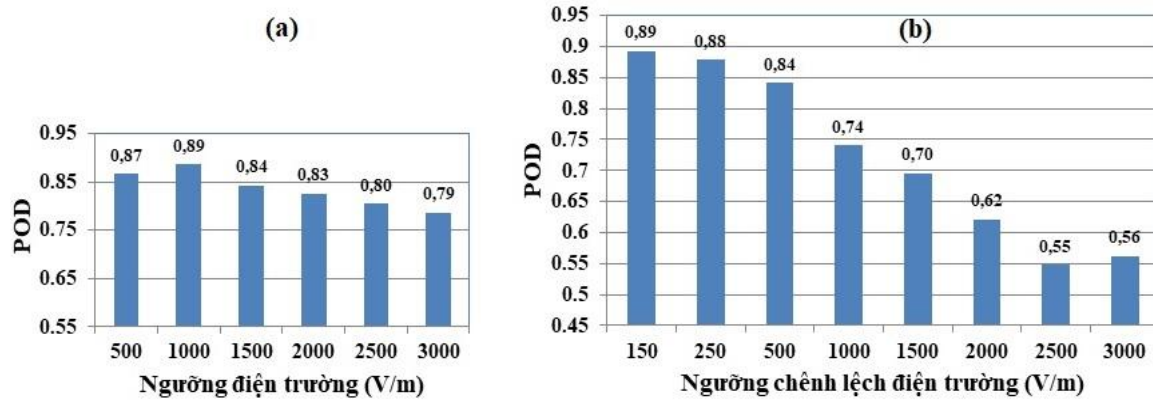
3. Kết quả

3.1. Một số đặc điểm chung về khu vực nghiên cứu

Khu vực tỉnh Quảng Nam nằm trong miền khí hậu vùng Nam Trung Bộ, thuộc vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa, mùa đông không lạnh, nắng và gió Tây khô nóng nhiều, mưa vào cuối mùa hè và đầu mùa đông. Địa hình Quảng Nam có xu hướng tăng dần chiều cao từ Đông sang Tây, với vùng núi cao ở phía Tây, dải đồng bằng ven biển và vùng trung du ở trung tâm. Với nhiều ngọn núi cao, diện tích vùng đồi núi chiếm hơn 70%, nhiều đỉnh núi cao trên 2000 m. Vùng ven biển là các dải cồn cát, độ cao địa hình nhỏ hơn 10 m. Bề mặt địa hình bị chia cắt bởi các hệ thống sông Thu Bồn, Trường Giang và Tam Kỳ. Tại khu vực Quảng Nam, nhiệt độ trung bình năm lớn 25°C , số giờ nắng trung bình năm từ 2000 đến 2500 giờ. Do ảnh hưởng của không khí lạnh xâm nhập nên mưa tại đây tập chung trong các tháng 10, 11, 12 với lượng mưa trung bình năm khoảng từ 2000 đến 2500 mm, trung tâm mưa lớn Trà My có lượng mưa trung bình từ 2400 mm đến 2800 mm. Dông xảy ra hầu như quanh năm, song chủ yếu tập chung trong mùa mưa tại khu vực này từ tháng 8 đến tháng 10. Số ngày dông nằm trong khoảng từ 90 đến 130 ngày, số giờ dông khoảng từ 200 đến 290 giờ dông [1–2, 11]. Mật độ sét xảy ra tại đây khoảng hơn 8 lần phóng điện trên 1 km^2 .

3.2. Kết quả cảnh báo sét theo số liệu điện trường, số liệu vệ tinh và số liệu định vị sét ở một số khu vực thuộc tỉnh Quảng Nam

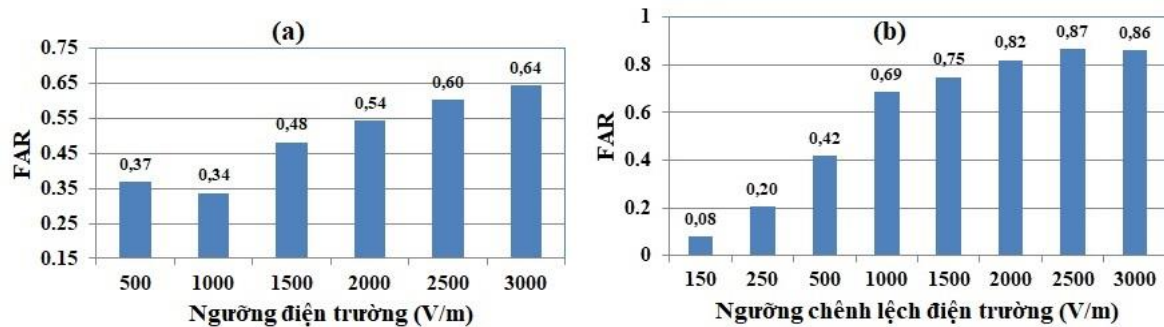
Sử dụng bộ số liệu điện trường của ba trạm (Hội An, Đại Lộc, Hiệp Đức), số liệu vệ tinh và số liệu định vị sét thu thập trong năm 2016. Ngoài trừ một số trường hợp sử dụng để biểu diễn kết quả cảnh báo sét, chúng tôi tiến hành tính toán xác định được mối quan hệ giữa các ngưỡng cảnh báo, chỉ số EFAI, chỉ số EFDI và các chỉ số đánh giá kết quả cảnh báo sét POD, FAR, CSI (xem trong mục 2.2.1), kết quả được biểu diễn trong các hình 5, 6, 7. Hình 5a, hình 6a và hình 7a biểu diễn các kết quả đánh giá cảnh báo sét theo phương pháp EFAI. Tỷ lệ cảnh báo đúng (POD) giảm khi tăng ngưỡng, đạt giá trị cực đại tại ngưỡng 1000 V/m, chiếm 89%, giá trị này phù hợp với nhiều nghiên cứu trên thế giới. Tỷ lệ cảnh báo không (FAR) có giá trị cực tiểu ở ngưỡng cảnh báo 1000 V/m, ngưỡng có xu thế tăng dần khi tăng ngưỡng. Tỷ lệ cảnh báo thành công (CSI), giá trị này bao hàm cả không cảnh báo và cảnh báo không, đạt cực đại ở ngưỡng 1000 V/m, sau đó tỷ lệ giảm dần. Từ các kết quả này ta xác định được ngưỡng cảnh báo sét tối ưu cho các khu vực Hội An, Hiệp Đức và Đại Lộc theo phương pháp sử dụng ngưỡng độ lớn điện trường (EFAI) là 1000 V/m.



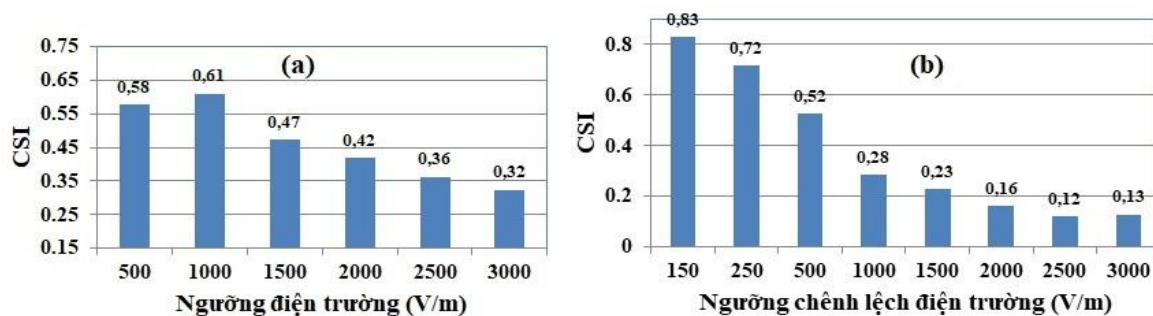
Hình 5. Tỷ lệ cảnh báo đúng theo chỉ số EFAI (a) và EFDDI (b).

Các kết quả đánh giá kết quả cảnh báo sét, để xác định ngưỡng tối ưu theo phương pháp EFDDI cho các khu vực nghiên cứu ở Quảng Nam, được trình bày trong các Hình 5b, hình 6b và hình 7b. Xu thế cảnh báo đúng, nhìn chung giảm dần theo sự tăng của ngưỡng chênh lệch điện trường, giá trị cực đại ở 150 V/m, đạt 89%, cực tiểu ở ngưỡng chênh lệch 2500 V/m. Tỷ lệ cảnh báo không (FAR), đạt giá trị cực tiểu ở ngưỡng chênh lệch 150 V/m. Tỷ lệ cảnh báo thành công (CSI) đạt giá trị 83% cũng ở ngưỡng 150 V/m và giảm dần theo sự gia tăng ngưỡng. Do vậy, tại khu vực Quảng Nam, để cảnh báo sét theo phương pháp EFDDI, ta sử dụng ngưỡng chênh lệch điện trường với giá trị ngưỡng chênh lệch 150 V/m.

Với các chỉ số ngưỡng độ lớn EFAI (1000 V/m), chỉ số ngưỡng chênh lệch biên độ EFDDI (150 V/m), được xác định như trên. Kiểm tra vùng đối lưu tại khu vực xung quanh trạm điện trường 50 km bằng số liệu vệ tinh. Nghiên cứu cảnh báo sét cho khu vực Hội An, Hiệp Đức, Đại Lộc, xung quanh trạm đo điện trường bán kính 8 km (vùng màu đỏ, hình 1). Dưới đây là các kết quả cảnh báo sét theo phương pháp nêu trên (mục 2.2.1).



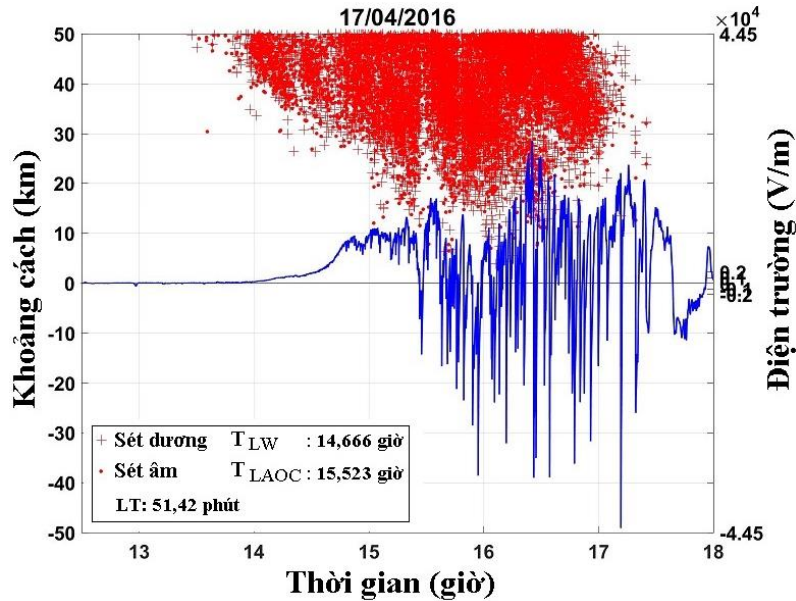
Hình 6. Tỷ lệ cảnh báo không theo chỉ số EFAI (a) và EFDDI (b).



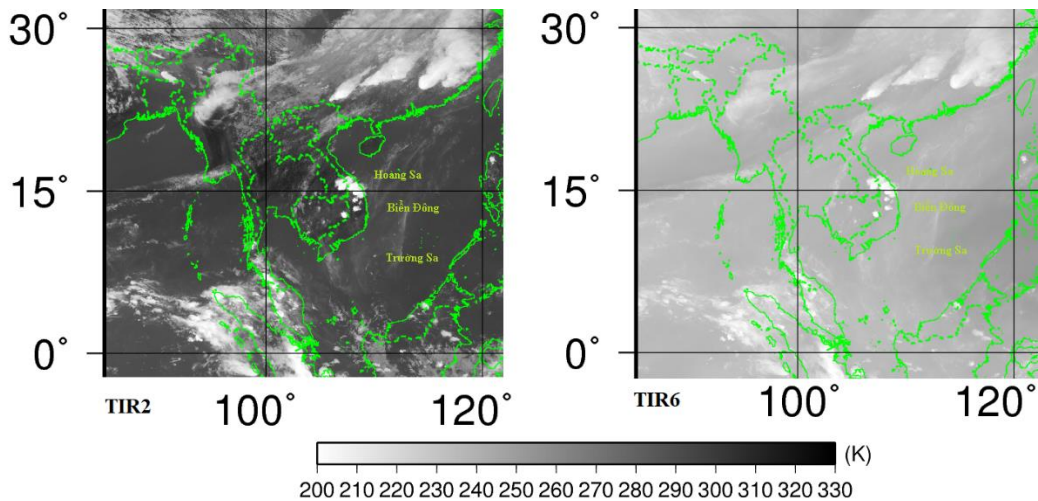
Hình 7. Tỷ lệ cảnh báo thành công theo chỉ số EFAI (a) và EFDDI (b).

Áp dụng phương pháp cảnh báo sét xây dựng trên, cho nguồn số liệu độc lập của 3 trường hợp cụ thể trong năm 2016 và bộ số liệu thu thập được năm 2017, tại ba trạm Hội An, Hiệp Đức và Đại Lộc. Số liệu vệ tinh sử dụng biểu diễn, phân tích, trong các trường hợp, ở

khu vực Quảng Nam, được trình bày dưới ảnh, có dạng khác so với hai nghiên cứu ở khu vực huyện Gia Lâm [7] và TP.Vũng Tàu [8], như ở trong phần trước. Ảnh của hai kênh phổ TIR6 (6,2 μm) và TIR2 (11,2 μm), biểu diễn ở cùng thời gian, thang đơn vị độ K. Qua đó, ta cũng thấy được tính năng của hai kênh phổ, theo các hàm trọng khối của các kênh đo của vệ tinh Himawari, kênh TIR6 (6,2 μm) đo độ ẩm ở mực trên cao, kênh TIR2 (11,2 μm) chụp ảnh mây và nhiệt độ bề mặt nước biển.



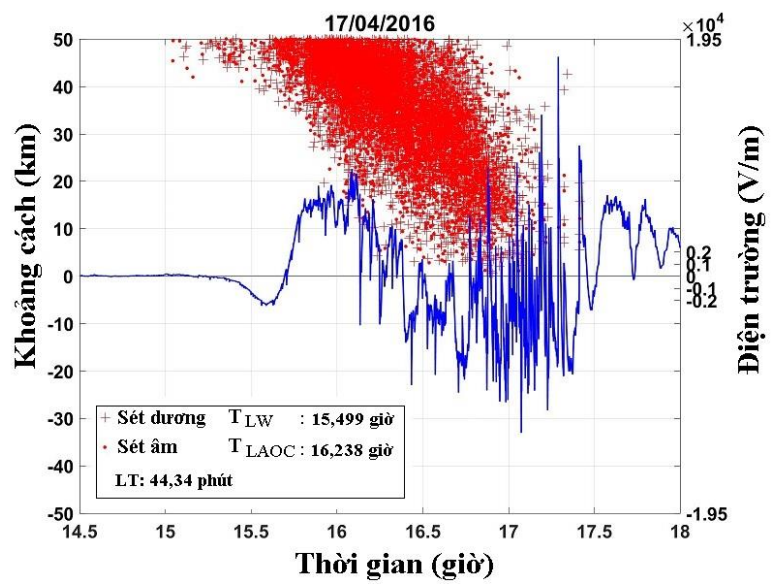
Hình 8. Biến đổi cường độ điện trường trong điều kiện thời tiết xảy ra hoạt động sét ở gần trạm Hiệp Đức - Quảng Nam, trong ngày 17/04/2016.



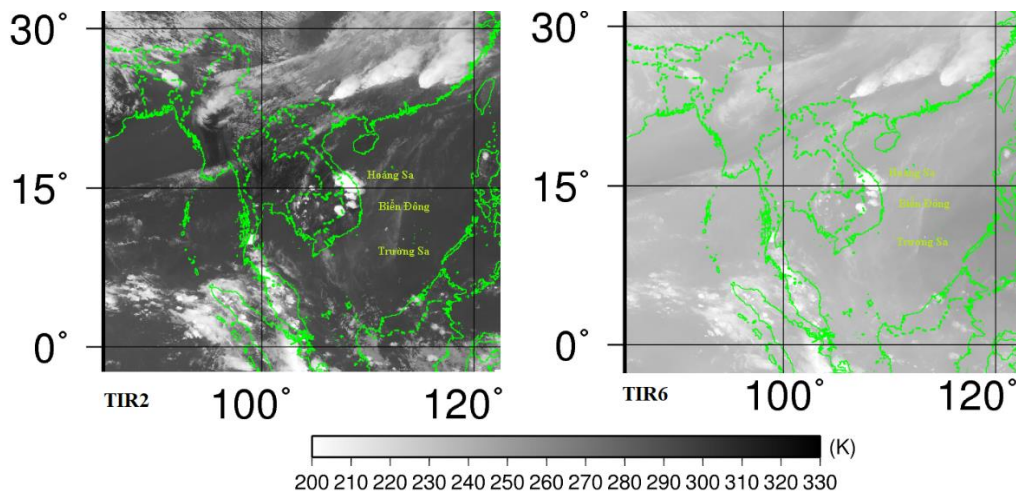
Hình 9. Nhiệt độ kênh hồng ngoại TIR6(6,2 μm) và TIR2(11,2 μm), thời điểm 14 giờ 40 phút ngày 17/04/2016.

Trong trường hợp cụ thể ngày 17/4/2016, tại trạm Hiệp Đức, cường độ điện trường biến đổi mạnh trong khoảng từ 14 giờ đến khoảng 18 giờ (hình 8). Thời điểm cường độ điện trường đạt các tiêu chuẩn (EFAI vượt ngưỡng 1000 V/m; EFDI vượt ngưỡng 150 V/m) vào lúc 14,666 giờ. Kiểm tra số liệu vệ tinh (hình 9) cho thấy, tại khu vực Quảng Nam có mây đối lưu, thể hiện qua vùng nhiệt độ giữa hai kênh TIR6 (6,2 μm) và TIR2 (11,2 μm) thu thập qua vệ tinh Himawari chênh lệch không nhiều. Các tiêu chuẩn cảnh báo được xác định, thông tin cảnh báo được đưa ra. Thời gian xảy ra cú phóng điện mây đất đầu tiên tại vùng có bán kính 8 km xung quanh trạm Hiệp Đức là vào thời điểm 15,523 giờ, thời gian cảnh báo sét trước được xác định là 51,42 phút.

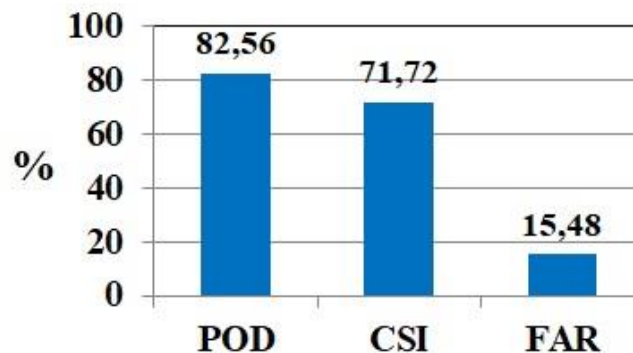
Trường hợp cụ thể ngày 17/4/2016, tại trạm Đại Lộc, cường độ điện trường biến đổi mạnh trong khoảng từ 15 giờ 30 phút đến khoảng hơn 18 giờ (hình 10). Thời điểm cường độ điện trường đạt các tiêu chuẩn cảnh báo sét xảy vào lúc 15,499 giờ. Kiểm tra số liệu vệ tinh (hình 11) cho thấy, tại khu vực Quảng Nam có mây đối lưu, với vùng nhiệt độ giữa hai kênh TIR6 (6,2 μm) và TIR2 (11,2 μm) thu thập qua vệ tinh Himawari chênh lệch không nhiều. Các tiêu chuẩn cảnh báo được xác định, thông tin cảnh báo được đưa ra. Thời gian xảy ra cú phóng điện mây đất đầu tiên tại vùng có bán kính 8 km xung quanh trạm Đại Lộc là vào thời gian 16,238 giờ, từ đó xác định được thời gian cảnh báo sét trước 44,34 phút.



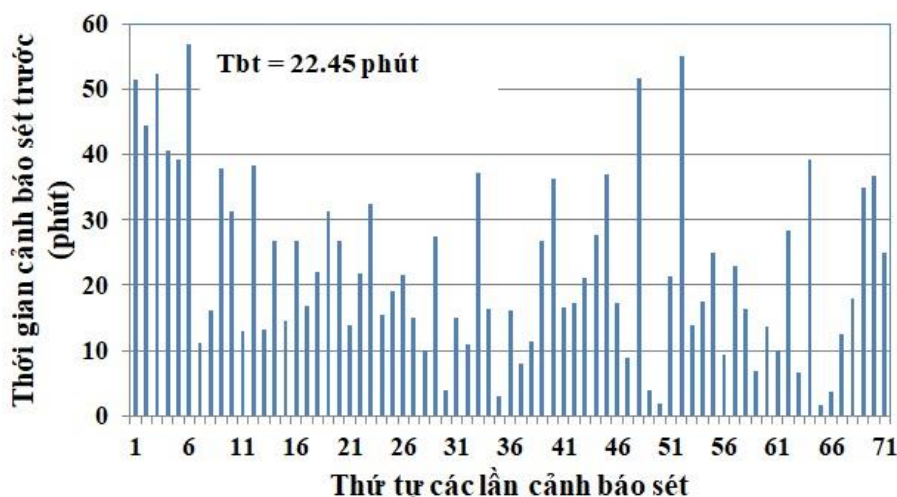
Hình 10. Biến đổi cường độ điện trường trong điều kiện thời tiết xảy ra hoạt động sét ở gần trạm Đại Lộc - Quảng Nam, trong ngày 17/04/2016.



Hình 11. Nhiệt độ kênh hồng ngoại TIR6 (6,2 μm) và TIR2 (11,2 μm), thời điểm 15 giờ 30 phút ngày 17/04/2016.



Hình 12. Biểu đồ so sánh các tham số đánh giá kết quả cảnh báo sét tại khu vực Đại Lộc, Hiệp Đức và Hội An thuộc tỉnh Quảng Nam.



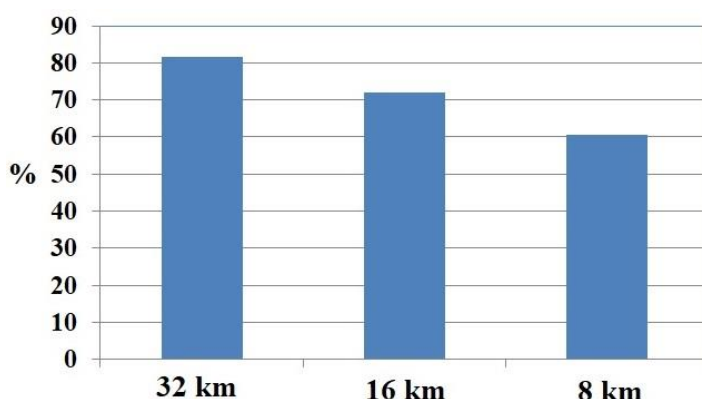
Hình 13. Biến đổi thời gian cảnh báo sét trước (LT), theo thứ tự lần cảnh báo sét ở một số khu vực tại Quảng Nam.

Trên toàn bộ tập số liệu điện trường thu thập năm 2017 và 3 trường hợp năm 2016, tại trạm Hiệp Đức, Đại Lộc và Hội An, thuộc tỉnh Quảng Nam. Kết hợp với các nguồn số liệu vệ tinh, số liệu định vị sét, tiến hành nghiên cứu thử nghiệm cảnh báo sét cho 99 trường hợp, số liệu độc lập với phương pháp đã xây dựng. Kết quả cho thấy: tỷ lệ cảnh báo đúng đạt $POD = 82,56\%$, tỷ lệ cảnh báo không là $15,48\%$, điểm số thành công $CSI = 71,72\%$ (Hình 12). Nghiên cứu cũng xác định được 71 trường hợp cảnh báo đúng, kết quả về thời gian cảnh báo sét trước, được trình bày trong hình 13. Đa phần thời gian cảnh báo sét trước đều có độ lớn hơn 10 phút, giá trị cực đại đạt gần 60 phút, cực tiểu chỉ một vài phút và giá trị trung bình đạt 22,45 phút. Những kết quả nghiên cứu cho thấy, tỷ lệ cảnh báo đúng trên 80%, với điểm số thành công trên 70% và tỷ lệ cảnh báo không dưới 20%, thời gian cảnh báo sét trước trung bình trên 20 phút. Các giá trị này cũng tương tự như nhiều kết quả nghiên cứu trên thế giới [20, 25, 27–28, 30] và kết quả nghiên cứu cảnh báo sét tại TP.Vũng Tàu [8]. Tuy nhiên, tại khu vực TP.Vũng Tàu có bán kính vùng cần cảnh báo lớn hơn (10 km), nên thời gian cảnh báo trước và tỷ lệ cảnh báo đúng cao hơn so với một số khu vực tại tỉnh Quảng Nam. So sánh với kết quả đánh giá cảnh báo sét tại khu vực huyện Gia Lâm [7], tỷ lệ cảnh báo đúng và thời gian cảnh báo sét trước tại khu vực Quảng Nam cũng nhỏ hơn. Điều này có thể giải thích do tại trạm Hội An chỉ cách biển khoảng hơn 10 km, nên các hạt sol khí muối biển vẫn ít nhiều ảnh hưởng đến giá trị điện trường nền, ngưỡng cảnh báo gần với giá trị đo tại đây trong thời tiết đẹp và thường cao hơn điện trường đo đạc ở khu vực trạm Đại Lộc và trạm Hiệp Đức. Những kết quả đánh giá cảnh báo sét tại Quảng Nam, cho phép chúng ta có thể sử dụng phương pháp cảnh báo sét cho các khu vực này, theo phương pháp đã xây dựng, với các ngưỡng tối ưu (EFAI và EFDI).

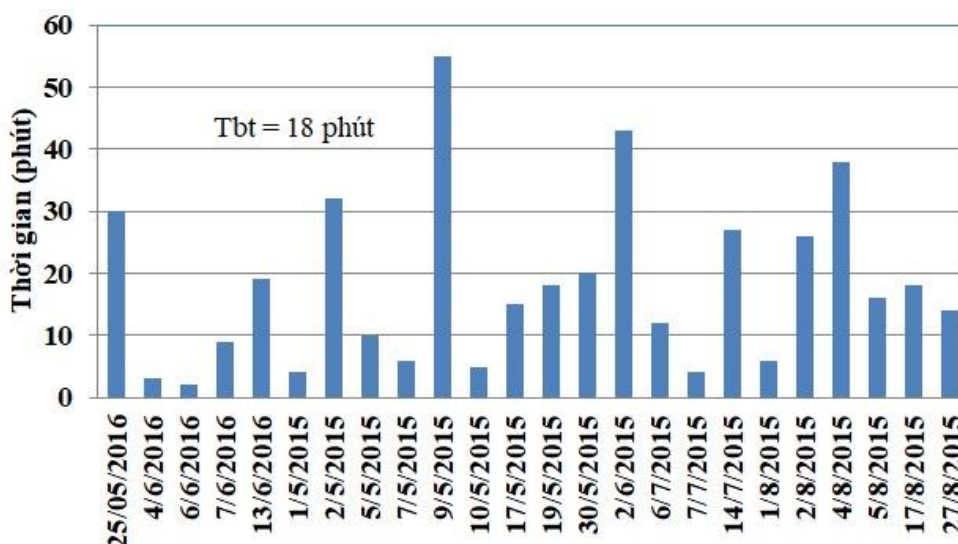
3.2. Kết quả cảnh báo sét theo số liệu thiết bị cảnh báo sét, số liệu vệ tinh và số liệu định vị sét ở Tam Kỳ-Quảng Nam

Để cảnh báo sét theo phương pháp như mô tả trong mục 2.2.2, chúng ta cần xác định mối quan hệ giữa nguồn số liệu thiết bị cảnh báo sét Strike Guard và số liệu thiết bị định vị sét mạng lưới GLD-360. Trên cơ sở bộ số liệu thiết bị cảnh báo sét Strike Guard trong năm 2015 và 2016 thu thập tại Tam Kỳ - Quảng Nam (91 ngày). Phân chia thành các vùng chú ý (16 đến 32 km), vùng cảnh báo (8 đến 16 km) và vùng báo động (0 đến 8 km). Để có thể cảnh báo sét thành công cho vùng báo động, có bán kính 8 km, có tâm ở vị trí trạm cảnh báo sét, trước tiên ta cần đánh giá mối tương quan giữa số liệu thiết bị Strike Guard và số liệu thiết bị định vị sét mạng lưới GLD-360. Tương quan bán kính - thời gian xem trong hình 14. Với bán kính 32

km quan hệ giữa hai nguồn số liệu là trên 80%, ở bán kính 16 km là trên 70%, còn ở bán kính 8 km mỗi quan hệ này gần 60%. Qua đó, cho thấy, chúng ta có thể sử dụng nguồn số liệu này để cảnh báo sét cho khu vực bán kính 8 km xung quanh trạm, ở vùng nghiên cứu bằng thiết bị cảnh báo sét.



Hình 14. Tương quan bán kính - thời gian (Strike Guard và GLD-360) tại khu vực Tam Kỳ - Quảng Nam và lân cận.



Hình 15. Một số kết quả cảnh báo sét theo nguồn số liệu thiết bị cảnh báo sét, số liệu vệ tinh và số liệu định vị sét ở Tam Kỳ - Quảng Nam.

Sử dụng thêm nguồn số liệu vệ tinh Himawari và số liệu định vị sét GLD-360, xác định được 24 ngày, trong tổng số 96 ngày có số liệu, mây dông có sự dịch chuyển theo như phương pháp mô tả trong mục 2.2.2. Thời gian cảnh báo sét cho vùng bán kính 8 km, quanh trạm cảnh báo, thay đổi từ một số phút đến hơn 50 phút, xem hình 15. Thời gian cảnh báo sét trung bình của 24 trường hợp nghiên cứu là 18 phút. Đây là con số có ý nghĩa trong công tác phòng chống sét ở khu vực Tam Kỳ - Quảng Nam.

4. Kết luận

Trên cơ sở phương pháp cảnh báo sét cải tiến theo tổ hợp đa nguồn số liệu bao gồm: số liệu điện trường, số liệu cảnh báo sét, số liệu vệ tinh và số liệu định vị sét, trong khoảng thời gian từ 2015 đến 2017, chúng tôi tiến hành nghiên cứu cảnh báo sét cho một số khu vực thuộc tỉnh Quảng Nam, từ các kết quả trình bày ở trên có thể rút ra một số kết luận sau:

Kết quả nghiên cứu cảnh báo sét theo phương pháp cảnh báo sét cải tiến theo tổ hợp đa nguồn số liệu, đã xác định được ngưỡng điện trường ($E_{FAI} = 1000 \text{ V/m}$ và $E_{FDI} = 150 \text{ V/m}$) để cảnh báo sét theo ngưỡng tối ưu, cho một số khu vực ở Quảng Nam. Kết quả cho thấy, thời

gian cảnh báo sét trung bình cho các khu vực Hội An, Hiệp Đức và Đại Lộc là 22,45 phút, với tỷ lệ cảnh báo đúng đạt 82,56%, tỷ lệ cảnh báo không là 15,48%. Mở rộng một số nghiên cứu trước đây tại Việt Nam, tại khu vực Tam Kỳ nghiên cứu thử nghiệm cảnh báo sét dựa theo số liệu thiết bị cảnh báo sét và các nguồn số liệu khác, xác định được thời gian cảnh báo sét theo phương pháp cải tiến là 18,0 phút. Các giá trị này đều có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cho công tác phòng chống sét tại địa phương.

Trong các nghiên cứu cảnh báo sét tại khu vực Quảng Nam mới dựa theo nguồn số liệu của một trạm đo điện trường, cần có các nghiên cứu tổ hợp các trạm đo điện trường hoặc đặt các trạm điện trường ở gần nhau, trên cùng một khu vực để thu nhỏ bán kính khu vực cảnh báo và nâng cao chất lượng cảnh báo sét. Cần xây dựng mạng lưới trạm đo cường độ điện trường và các thiết bị định vị sét ở các vùng chịu nhiều ảnh hưởng của hoạt động dông sét. Trên cơ sở đó, tiến hành nghiên cứu cảnh báo dông sét, nhằm giảm thiểu thiệt hại do dông sét gây ra ở khu vực Quảng Nam nói riêng và Việt Nam nói chung.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: H.H.S., N.X.A., P.X.T., P.L.K., N.V.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.X.A., P.X.T., N.V.H.; Xử lý số liệu: H.H.S., P.L.K.; Viết bản thảo bài báo: H.H.S., N.X.A., P.X.T., P.L.K., N.V.H.; Chỉnh sửa bài báo: H.H.S., N.X.A., P.X.T., P.L.K., N.V.H.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả chân thành cảm ơn Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Quảng Nam và Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Quảng Nam đã phối hợp cùng với Viện Vật lý Địa cầu để thiết lập vị trí đo đạc mới, vận hành các thiết bị nghiên cứu sau khi kết thúc đề tài: “Nghiên cứu và đề xuất các giải pháp phòng chống sét trên địa bàn tỉnh Quảng Nam” năm 2013. Công trình này được hỗ trợ kinh phí nghiên cứu từ đề tài mã số CSCL12.01/24-25 và đề tài mã số TNMT.2023.06.15.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Anh, N.X. và cs. Nghiên cứu hoạt động dông sét và đề xuất các giải pháp phòng chống ở Việt Nam. Báo cáo tổng kết Đề tài cấp Nhà nước. 2005, tr. 252.
2. Anh, N.X. và cs. Nghiên cứu và đề xuất các giải pháp phòng chống sét trên địa bàn tỉnh Quảng Nam. Báo cáo tổng kết Đề tài cấp Bộ. 2013, tr. 188.
3. Anh, N.X. và cs. Dự án thí điểm ứng dụng xây dựng hệ thống cảnh báo sớm và phòng chống sét tại bãi biển thành phố Vũng Tàu. Báo cáo tổng kết nhiệm vụ. 2022, tr. 182.
4. Anh, N.X.; Huy, L.V.; Sơn, H.H. Một số kết quả nghiên cứu hoạt động dông sét qua mạng trạm định vị sét ở Việt Nam. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học kỹ thuật Địa Vật lý lần thứ 5. Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, 2007, tr. 11–20.
5. Anh, N.X.; Huy, L.V.; Sơn, H.H. Nghiên cứu hoạt động dông sét và giải pháp phòng chống ở Việt Nam: Một số kết quả và phương hướng nghiên cứu. Tuyển tập các công trình nghiên cứu Vật lý Địa cầu 2008. Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam. 2008, tr. 289–306.
6. Sơn, H.H.; Anh, N.X.; Huy, L.V.; Thành P.X. Xác định một số tham số hoạt động dông sét từ chuỗi số liệu mô phỏng. *Tạp chí Các khoa học về Trái đất* **2011**, 2, 134–141.
7. Sơn, H.H.; Anh, N.X.; Thành, P.X.; Hiệp, N.V. Nghiên cứu cảnh báo sét bằng nguồn số liệu tổng hợp, thử nghiệm cho khu vực Gia Lâm, Thành phố Hà Nội. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 720, 32–48.
8. Sơn, H.H.; Anh, N.X.; Thanh, P.X.; Khuong, P.L.; Hiep, N.V. Evaluation of lightning warning technique with multi-source data for Vung Tau coastal area. *VN J. Mar. Sci. Technol.* **2023**, 23(2), 209–222.
9. Amory-Mazaudier, C.; et al. Sun-earth system interaction studies over Vietnam: An international cooperative project. *Ann. Geophys.* **2006**, 24, 3313–3327.

10. Khiem, M.V.; et al. Thunderstorm activity and extremes in Vietnam for the period 2015-2019. *Climate* **2022**, *10*, 141. <https://doi.org/10.3390/cli10100141>.
11. Ngự, N.Đ.; Hiệu, N.T. Khí hậu và tài nguyên khí hậu. Nhà xuất bản nông nghiệp, 2004, tr. 294.
12. Montanya, J.; Bergas, J.; Hermoso, B. Electric field measurements at ground level as a basis for lightning hazard warning. *J. Electrostat.* **2004**, *60*, 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2004.01.009>.
13. Montanya, J.; Rodri'guez, P.; Bergas, J.; Illa, A.; Hermoso, B.; Candela, I. A new electrostatic field measurement method: the Coherent–Notch Field Mill. *J. Electrostat.* **2007**, *6*, 431–437. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2006.10.005>.
14. Aranguren, D.; Montanya, J.; Solá, G.; March, V.; Romero, D.; Torres, H. On the lightning hazard warning using electrostatic field: Analysis of summer thunderstorms in Spain. *J. Electrostat.* **2009**, *67*, 507–512. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2009.01.023>.
15. Ferro, M.A.D.S.; Yamasaki, J.; Pimentel, D.R.D.M.; Naccarato, K.P.; Saba, M.M.F. Lightning risk warnings based on atmospheric electric field measurements in Brazil. *J. Aerosp. Technol. Manag.* **2011**, *3*, 301–310. <https://doi.org/10.5028/jatm.2011.03032511>.
16. Junchi, Z.; Qingfeng, Z.; Shah, A.B.; Xue, J.; Ye, Z. A lightning warning algorithm using a EFMs network and LPS. *Pakistan J. Meteorol.* **2015**, *12*, 49–55.
17. Srivastava, A.; Mishra, M.; Kumar, M. Lightning alarm system using stochastic modelling. *Nat. Hazards* **2015**, *75*, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1247-8>.
18. Clulow, A.D.; Strydom, S.; Grant, B.; Savage, M.J.; Everson, C.S. Integration of a ground-based lightning warning system into a mining operation in the Democratic Republic of the Congo. *Weather Clim. Soc.* **2018**, *10*, 889–912.
19. Wang, G.; Kim, W.H.; Kil, G.S.; Park, D.W.; Kim S.W. An intelligent lightning warning system based on electromagnetic field and neural network. *Energies* **2019**, *12*, 1275.
20. Zeng, Q.; et al. The application of lightning forecasting based on surface electrostatic field observations and radar data. *J. Electrostat.* **2013**, *71*, 6–13. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2012.10.007>.
21. Meng, Q.; Yao, W.; Xu, L. Development of lightning nowcasting and warning technique and its application. *Adv. Meteorol.* **2019**, 2405936, 1–9.
22. Gremillion, M.S.; Orville, R.E. Thunderstorm characteristics of cloud-to-ground lightning at the Kennedy space center, Florida: A study of lightning initiation signatures as indicated by the WSR-88D. *Weather Forecasting* **1999**, *14*, 640–649.
23. Bonelli, P.; Marcacci, P. Thunderstorm nowcasting by means of lightning and radar data: algorithms and applications in northern Italy. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **2008**, *8*, 1187–1198.
24. Schneider, S.; et al. Nowcasting of a supercell storm with VERA. *Meteorol. Atmos. Phys.* **2008**, *102*, 23–36. <https://doi.org/10.1007/s00703-008-0002-7>.
25. Mosier, R.M.; Schumacher, C.; Orville, R.E.; Carey L.D. Radar nowcasting of cloud-to-ground lightning over Houston, Texas. *Weather Forecasting* **2011**, *26*, 199–212. <https://doi.org/10.1175/2010WAF2222431.1>.
26. Seroka, G.N.; Orville, R. E. Courtney S. radar nowcasting of total lightning over the Kennedy space center. *Weather Forecasting* **2012**, *27*, 189–204. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-11-00035.1>.
27. Srivastava, A.; et al. Lightning nowcasting with an algorithm of thunderstorm tracking based on lightning location data over the Beijing area. *Adv. Atmos. Sci.* **2022**, *39*, 178–188.
28. Karagiannidis, A.; Lagouvardos, K.; Kotroni, V. The use of lightning data and Meteosat infrared imagery for the nowcasting of lightning activity. *Atmos. Res.* **2016**, *168*, 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.08.011>.
29. Zhou, K.; et al. A deep learning network for cloud-to-ground lightning nowcasting with multisource data. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **2020**, *37*, 927–942.

30. Kohn, M.; Galanti, E.; Price, C.; Lagouvardos, K.; Kotroni, V. Nowcasting thunderstorms in the Mediterranean region using lightning data. *Atmos. Res.* **2011**, *100*, 489–502. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.08.010>.
31. Holle, R.L.; Demetriades, N.W.S.; Nag, A. Objective airport warnings over small areas using NLDN cloud and cloud-to-ground lightning data. *Weather Forecasting* **2016**, *31*, 1061–1069. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-15-0165.1>.
32. Lynn, B.H.; et al. Predicting cloud-to-ground and intracloud lightning in weather forecast models. *Weather Forecasting* **2012**, *27*, 1470–1488.
33. Giannaros, T.M.; et al. Predicting lightning activity in Greece with the weather research and forecasting (WRF) model. *Atmos. Res.* **2015**, 1–13.
34. Spiridonov, V.; et al. Novel thunderstorm alert system (NOTHAS). *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.* **2020**, *57*, 479–498. <https://doi.org/10.1007/s13143-020-00210-5>.
35. Trục tuyến: https://www.boltek.com/EFM-100C_Manual_121415.pdf
36. Trục tuyến: <https://www.wxline.com/strike-guard-lws>.
37. Lee, S.; et al. Detection of deterministic and probabilistic convection initiation using Himawari-8 Advanced Himawari Imager data. *Atmos. Meas. Tech.* **2017**, *10*, 1859–1874. <https://doi.org/10.5194/amt-10-1859-2017>.

Research to improve lightning warning methods based on a combination of multiple data sources applied to some areas in Quang Nam province

Hoang Hai Son^{1,2*}, Nguyen Xuan Anh^{1,2}, Pham Xuan Thanh^{1,2}, Phạm Lê Khương^{1,2}, Nguyen Van Hiep^{1,3}

¹ Institute of Geophysics; hhson.igp@gmail.com; nxanh@igp.vast.vn; pxthanh@igp.vast.vn; phamlekhuongigp@gmail.com

² Graduate University of Science and Technology; hhson.igp@gmail.com; nxanh@igp.vast.vn; pxthanh@igp.vast.vn; phamlekhuongigp@gmail.com

³ Northern Delta and Midland Regional Hydro-Meteorological Center; hieppwork@gmail.com

Abstract: This article presents research on improving lightning warning methods based on a combination of multiple data sources in some areas in Quang Nam province, collected during the period from 2015 to 2017. Lightning warning method based on electric field data, cloud image data, and lightning location data for an 8 km radius area around the station in Hoi An, Hiep Duc, Dai Loc, determining the electric field threshold for lightning warning optimized through two indexes, EFAI and EFDI, according to statistical indexes POD, FAR, and CSI. The lightning warning method is based on lightning warning device data, cloud image data, and lightning location data for the Tam Ky area. Research results show that, with independent data sources, applying lightning warnings to some areas in Quang Nam (Hoi An, Hiep Duc, and Dai Loc) determined that the average lightning warning time is 22.45 minutes, and the probability of detection is 82.56%. Testing lightning warnings based on Strike Guard device data, satellite data, and lightning location data in Tam Ky determined the average lightning warning time to be 18.0 minutes. The results show that it is possible to use the developed lightning warning methods for research areas serving socio-economic and tourism development in Quang Nam province.

Keywords: Lightning warning; Thundercloud electric field; Cloud image; Lightning detection.

Bài báo khoa học

Ảnh hưởng của kỹ thuật lấy mẫu đến tính chất vi nhựa vùng cửa sông, ven biển: Thí điểm tại cửa Hới, tỉnh Thanh Hóa

Dương Thị Lịm^{1*}, Nguyễn Thị Hương Thúy¹, Đặng Trần Quân¹, Nguyễn Thị Lan Hương¹, Nguyễn Thị Huế¹, Trịnh Thị Minh Trang¹, Trần Thu Thủy¹, Phạm Thị Dung¹, Nguyễn Việt Cường¹, Vũ Đức Mạnh²

¹ Viện Địa lý - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam;

duonglim@yahoo.com.vn; huongthuyqlmt@gmail.com; dtquan2810@gmail.com;

lanhuong.vdl@gmail.com; nguyenhuevdl@gmail.com; minhtrang30687@gmail.com;

tranthuthuybg@gmail.com; dungkhda56@gmail.com; cuongnguyenviet94@gmail.com

² Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội; manhv2610@gmail.com

*Tác giả liên hệ: duonglim@yahoo.com.vn; Tel: +84-904552896

Ban Biên tập nhận bài: 15/4/2024; Ngày phản biện xong: 16/5/2024; Ngày đăng bài: 25/10/2024

Tóm tắt: Các mảnh nhựa có chiều dài lớn nhất ≤ 5 mm được gọi là vi nhựa, phân hủy chậm trong môi trường tự nhiên, có thể hấp thụ và lan truyền các chất gây ô nhiễm môi trường, tiềm ẩn nhiều tác động tiêu cực đối với hệ sinh thái. Thu mẫu vi nhựa là bước cơ bản và quan trọng nhất trong toàn bộ quá trình xác định vi nhựa trong môi trường nước, nó ảnh hưởng đến dữ liệu mật độ, đặc điểm của vi nhựa được khảo sát. Trong công bố này, kỹ thuật kéo lưới có kích thước mắt 80 μm và kỹ thuật lọc thể tích bằng rây có kích thước lỗ 100 μm thu mẫu vi nhựa được thực hiện tại khu vực cửa Hới, tỉnh Thanh Hóa. Kết quả mật độ vi nhựa tại khu vực cửa Hới sử dụng kỹ thuật kéo lưới dao động trong khoảng 5,3-194,2 n/m^3 , và giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn là $45,6 \pm 49,6$ n/m^3 , sử dụng phương pháp lọc thể tích trong khoảng từ 565-1505 n/m^3 , và giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn là $972 \pm 341,4$ n/m^3 . Nhiều hình dạng vi nhựa hơn đã được tìm thấy khi sử dụng kỹ thuật kéo lưới, kích thước trung bình của vi nhựa khi sử dụng kỹ thuật kéo lưới lớn hơn phương pháp lọc thể tích. Kỹ thuật kéo lưới có khả năng thu lượng mẫu lớn hơn nhưng độ ổn định kém hơn kỹ thuật lọc. Kết quả nghiên cứu cho thấy nên lựa chọn kỹ thuật thích hợp dựa trên điều kiện lấy mẫu thực tế và các công cụ sẵn có trong quá trình nghiên cứu để nâng cao độ tin cậy của kết quả.

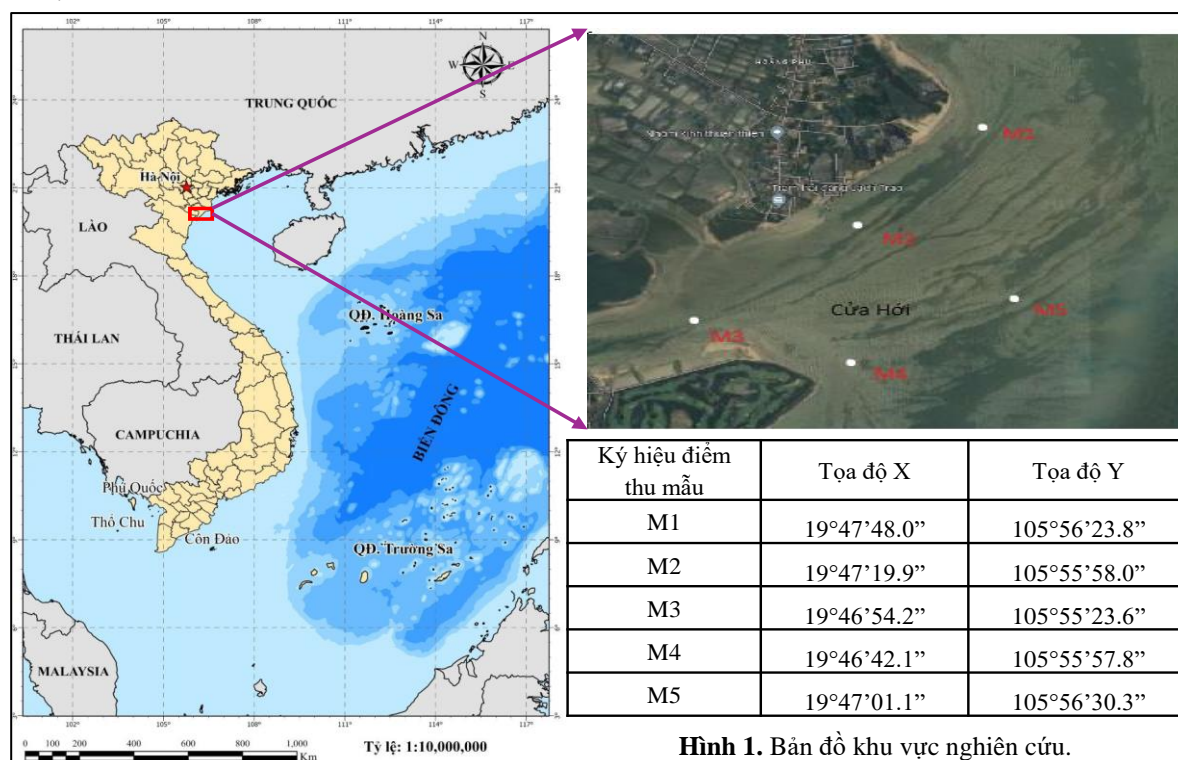
Từ khóa: Cửa Hới; Vi nhựa; Thu mẫu vi nhựa.

1. Mở đầu

Trong một vài thập niên gần đây, vi nhựa gây ô nhiễm môi trường nước đang được cảnh báo, ảnh hưởng xấu đến các sinh vật sống ở dưới nước, thông qua chuỗi thức ăn tiềm ẩn các mối nguy hiểm với sức khỏe con người [1–3]. Thu mẫu là bước đầu tiên của quy trình để xác định các tính chất vi nhựa trong môi trường nước. Tuy nhiên, cho đến hiện tại chưa có một kỹ thuật thu mẫu thống nhất cho toàn bộ các nước trên thế giới hoặc cho một khu vực cụ thể, do việc thu mẫu phụ thuộc nhiều vào các yếu tố như: địa điểm lấy mẫu, chất lượng nước, dòng chảy, sóng, gió, dụng cụ lấy mẫu, thể tích mẫu [4–5]. Vi nhựa trong nước mặt, phần lớn các công bố sử dụng kỹ thuật kéo lưới và kỹ thuật đông thể tích. Kỹ thuật kéo lưới được thực hiện trên một diện tích bằng các loại lưới khác nhau (lưới plankton, lưới manta), kích thước mắt lưới dao động trong khoảng từ vài chục micromet đến vài trăm micromet [6–9]. Kỹ thuật đông thể tích sử dụng các dụng cụ như xô, gầu có thể tích xác định làm bằng thép không gỉ hoặc cốc thủy tinh, bơm định lượng [10, 11], lọc nước qua rây có kích thước mắt

xác định. Các nghiên cứu đã chỉ ra, việc sử dụng các kỹ thuật thu mẫu khác nhau sẽ nhận được các dữ liệu về mật độ, đặc điểm vi nhựa khác nhau tại cùng một vị trí thu mẫu. Điển hình trong nghiên cứu [4] đã sử dụng ba kỹ thuật thu mẫu khác nhau ở cùng một vị trí, kết quả chỉ ra khi sử dụng kỹ thuật lọc mẫu trực tiếp nước biển bằng giấy lọc $0,45\text{ }\mu\text{m}$, mật độ vi nhựa thu được là $1600\text{--}4000\text{ n/m}^3$; kỹ thuật đông thể tích với rây có kích thước $20\text{ }\mu\text{m}$, mật độ vi nhựa là $10\text{--}50\text{ n/m}^3$; kỹ thuật kéo lưới có kích thước mắt $150\text{ }\mu\text{m}$, mật độ vi nhựa là $0,13\text{--}0,24\text{ n/m}^3$. Cửa sông là nơi diễn ra sự trao đổi, giao thoa giữa môi trường nước sông và biển. Do có sự tiếp xúc giữa hai môi trường nước biển và nước sông do đó nguồn chất dinh dưỡng khu vực này dồi dào, có hệ sinh thái đa dạng, và đây cũng là nơi tiếp nhận toàn bộ lượng nước thải trong lục địa đổ vào biển, được đánh giá là nơi có mật độ vi nhựa cao trong môi trường nước [12–14]. Hiện tại, dữ liệu về tính chất vi nhựa trong môi trường nước tại các sông và cửa sông ở Việt Nam vẫn còn rất ít. Thu mẫu vi nhựa trong môi trường nước được thực hiện chủ yếu chỉ sử dụng một kỹ thuật thu mẫu duy nhất tại mỗi vị trí khảo sát, ví dụ như đông thể tích lọc qua lưới có kích thước lỗ ($80\text{ }\mu\text{m}$) [14]; kéo lưới Neuston có kích thước mắt ($500\mu\text{m}$) [15]; kéo lưới có kích thước mắt lưới ($80\text{ }\mu\text{m}$) [16]; sử dụng cả hai kỹ thuật thu mẫu, các vị trí có thiết diện hẹp sử dụng gầu inox (thể tích 20 lít), các vị trí có thiết diện rộng sử dụng kỹ thuật kéo lưới Neuston có kích thước mắt ($500\text{ }\mu\text{m}$) [17]. Việc kết hợp đồng thời cả hai kỹ thuật thu mẫu trong môi trường nước tại một vị trí khảo sát để so sánh về các kết quả vi nhựa, có hiểu biết toàn diện nhất về tính chất vi nhựa tại vị trí khảo sát chưa được thực hiện.

Cửa Hới là khu vực dòng chảy của sông Mã đổ ra biển (Hình 1). Đây là khu vực chịu ảnh hưởng bởi chế độ thủy triều vùng ven biển, áp thấp nhiệt đới [18]. Những năm gần đây, các khu vực nằm hai bên bờ sông Mã có sự phát triển mạnh mẽ, vượt bậc về công nghiệp, nông nghiệp, đô thị hóa, hệ lụy kèm theo là các vấn đề về ô nhiễm môi trường, nổi bật là vấn đề ô nhiễm rác thải nhựa khu vực cửa sông, vùng ven biển [19–21]. Trong nghiên cứu này, dữ liệu về tính chất vi nhựa trong môi trường nước sử dụng các kỹ thuật thu mẫu khác nhau được thảo luận về ưu, nhược điểm; ảnh hưởng của kỹ thuật thu mẫu đến các tính chất của vi nhựa tại khu vực được xem xét, đề cập; nghiên cứu sử dụng đồng thời hai kỹ thuật thu mẫu khác nhau (kỹ thuật kéo lưới, kỹ thuật đông thể tích) tại mỗi vị trí điểm thu mẫu từ đó đưa ra các khuyến nghị lựa chọn kỹ thuật thu mẫu phù hợp với thực tế khu vực, mục đích của nghiên cứu.



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Vị trí các điểm lấy mẫu

Việc tiến hành thu thập mẫu vi nhựa được thực hiện tại khu vực cửa Hới, tỉnh Thanh Hóa vào tháng 9 năm 2022 (bắt đầu của mùa khô ở các tỉnh phía Bắc, thời tiết thuận lợi cho việc thu mẫu nước tại khu vực), thời điểm thu mẫu khi thủy triều rút. Vị trí tọa độ các điểm lấy mẫu được đưa ra trong Hình 1.

2.2. Kỹ thuật thu mẫu vi nhựa

Kỹ thuật kéo lưới: Sử dụng lưới Wildco 1-800-799-8301 (Hình 2a) để thu mẫu vi nhựa với kích thước mắt lưới 80 μm , miệng lưới rộng 50 cm, độ dài của thân lưới 150 cm, tại vị trí trung tâm của miệng lưới có gắn flowmeter model 2030R (Hình 2b) để đo thể tích nước. Thời gian thu mẫu của một lần thu mẫu là 20 phút, thông số đầu và thông số cuối của flowmeter được ghi lại để tính toán thể tích thu mẫu. Mẫu được thu ở ống đuôi lưới và được loại bỏ các vật liệu thô như gỗ, vôi, thực vật và chuyển vào chai thủy tinh có nút nhám 500 ml, bảo quản và di chuyển về phòng thí nghiệm. Tại mỗi vị trí khảo sát, mẫu được lấy lặp lại 3 lần.



Hình 2. Lưới lấy mẫu vi nhựa: (a) Lưới thu mẫu, (b) Flometer.

Kỹ thuật đóng thể tích: 200 lít nước được đóng bằng xô thép không gỉ có thể tích 20 lít và lọc bằng rây có kích thước mắt 100 μm , mẫu vi nhựa trên rây được chuyển cẩn thận vào bình thủy tinh 500 ml sạch có nút nhám, bảo quản và vận chuyển về phòng thí nghiệm. Tất cả các mẫu bảo quản ở 4°C cho đến khi được phân tích.

2.4. Phân tách vi nhựa tại phòng thí nghiệm

Phân tách vi nhựa được thực hiện dựa trên cơ sở của phương pháp [22–23], có điều chỉnh, bổ sung phù hợp với thực tế, cụ thể gồm các bước sau:

Phân hủy mẫu: Bình thủy tinh đựng mẫu 500 ml được để nguội về nhiệt độ phòng, sau đó chuyển toàn bộ phần dung dịch mẫu vào cốc thủy tinh, thêm 20 ml dung dịch Fe (II) có nồng độ 0,05 M, thêm 20 ml dung dịch H₂O₂ đặc (30%), để yên ở nhiệt độ phòng trong 5 phút, cho con từ vào và đậy nắp kính thủy tinh, gia nhiệt ở 70°C, quan sát thấy bọt khí nổi ở bề mặt và bỏ cốc ra khỏi bếp cho đến khi hết bọt khí, sau đó tăng nhiệt độ lên 75°C và tiếp tục đun trong 30 phút. Nếu quan sát thấy mẫu còn hữu cơ, tiếp tục thêm 20 ml H₂O₂ đặc, và lặp lại quá trình xử lý mẫu cho đến khi thấy hết chất hữu cơ thì dừng.

Tách trọng lực: Thêm xấp xỉ 6 g muối NaCl trên 20 ml mẫu để tăng tỷ trọng của dung dịch, đun hỗn hợp ở 75°C cho đến khi tạo dung dịch đồng nhất. Chuyển dung dịch sang phễu tách tỷ trọng. Đậy phễu bằng giấy nhôm, để lắng qua đêm, sau đó tách chất rắn ra bằng kẹp và thu phần dung dịch lỏng ở bên trên. Toàn bộ phần chất lỏng được lọc bằng thiết bị lọc hút

chân không, kích thước lỗ giấy lọc 0,45 μm , và chuyển giấy lọc vào đĩa Petri được bao bọc bởi giấy nhôm, sấy khô ở 40°C trong vòng 24 giờ.

Đếm số lượng, xác đặc điểm của vi nhựa: Số lượng, hình dạng, kích thước của vi nhựa trong toàn bộ mẫu được nhận diện trên kính hiển vi soi nổi Leica S9i có độ phóng đại 6.1x-55x với phần mềm phân tích hình ảnh LAS-X.

2.5. Phương pháp kiểm soát nhiễm bẩn và đảm bảo chất lượng

Để tránh nhiễm bẩn chéo giữa các mẫu tại hiện trường, lưới, xô thu mẫu được tráng rửa sạch sau mỗi lần thu mẫu bằng nước lọc quan rây có kích thước lỗ 100 μm .

Tại phòng thí nghiệm các dụng cụ thực hiện phân tích mẫu làm bằng thủy tinh, thép không gỉ. Sử dụng nước cất để rửa sạch dụng cụ.

Mẫu trắng thực địa và mẫu trắng phòng thí nghiệm được thực hiện kiểm soát nhiễm bẩn từ môi trường xung quanh trong suốt quá trình lấy mẫu và thực hiện phân tích mẫu tại phòng thí nghiệm.

Các thuốc thử, nước cất sử dụng trong trình phân tích được lọc qua rây có kích thước lỗ 100 μm .

Nhân viên tiến hành thu mẫu, phân tích mẫu sử dụng trang phục có chất liệu 100% cotton (áo blu).

2.6. Xử lý số liệu thống kê

Mật độ vi nhựa trong môi trường nước vùng cửa sông thể hiện bằng số vi nhựa trên 1 m^3 nước (n/m^3). Kết quả phân tích thể hiện bằng giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn (SD).

Hệ số biến thiên độ lệch chuẩn (CV) ở các vị trí thu mẫu được tính toán bằng Excel. Phương pháp xử lý thống kê SPSS (*Paired Sample T-Test*) sử dụng để so sánh sự khác biệt giá trị trung bình mật độ vi nhựa trong môi trường nước bằng kỹ thuật kéo lưới và đóng thể tích với giá trị $p < 0,05$. Phương pháp xử lý thống kê Statistica (*Correlation*) áp dụng để đánh giá sự tương quan giữa thể tích mẫu thu với mật độ vi nhựa trong môi trường nước của phương pháp thu mẫu kéo lưới, giá trị $p < 0,05$.

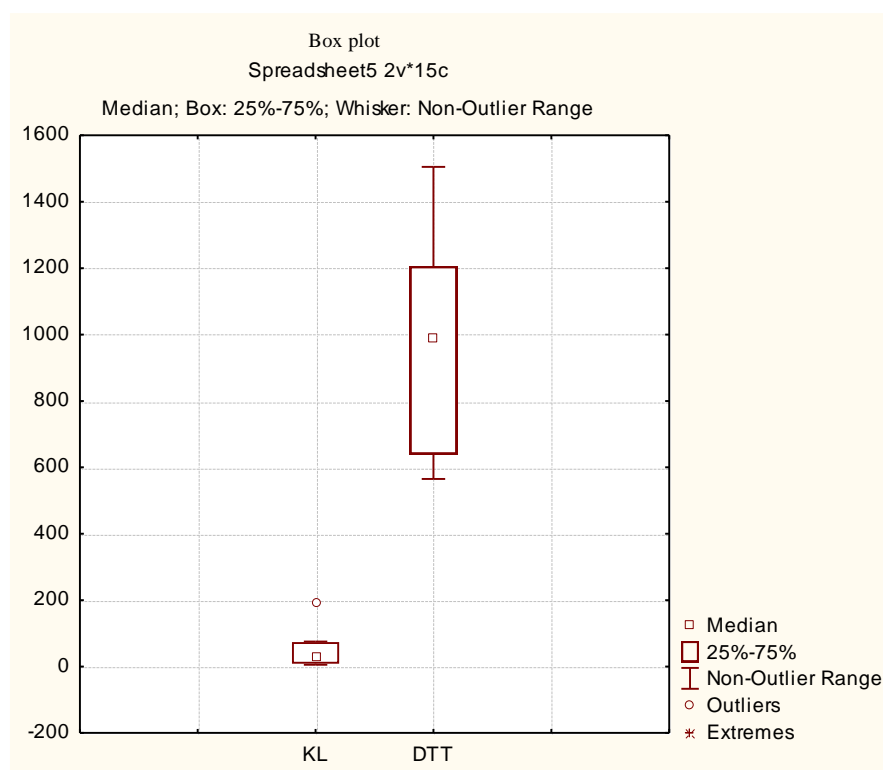
3. Kết quả

3.1. So sánh mật độ của vi nhựa

Tổng số lượng vi nhựa thu được của nghiên cứu là 7697, trong đó số lượng vi nhựa từ thu mẫu bằng kỹ thuật kéo lưới là 4781, kỹ thuật đóng thể tích là 2916 tại 05 vị trí (M1-M5).

Mật độ vi nhựa thu được từ kỹ thuật thu mẫu lưới kéo nằm trong dải từ 5,3-194,2 n/m^3 , và giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn là $45,6 \pm 49,6 \text{ n}/\text{m}^3$, kỹ thuật lọc thể tích dao động trong khoảng từ 565-1505 n/m^3 , và giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn là $972 \pm 341,4 \text{ n}/\text{m}^3$ (Hình 3). Mật độ vi nhựa khi sử dụng kỹ thuật đóng thể tích có giá trị lớn hơn mật độ vi nhựa khi sử dụng kỹ thuật kéo lưới. Một số nghiên cứu ở các vùng biển khác trên thế giới [24–25] cũng đã chứng minh vấn đề này. Tuy nhiên, sự biến thiên về tỷ lệ giữa mật độ vi nhựa được thu bằng kỹ thuật kéo lưới và kỹ thuật đóng thể tích ở mỗi khu vực là khác nhau liên quan đến các yếu tố như kích thước mắt lưới, thể tích lấy mẫu, tính chất của môi trường nước, tính chất của vi nhựa.

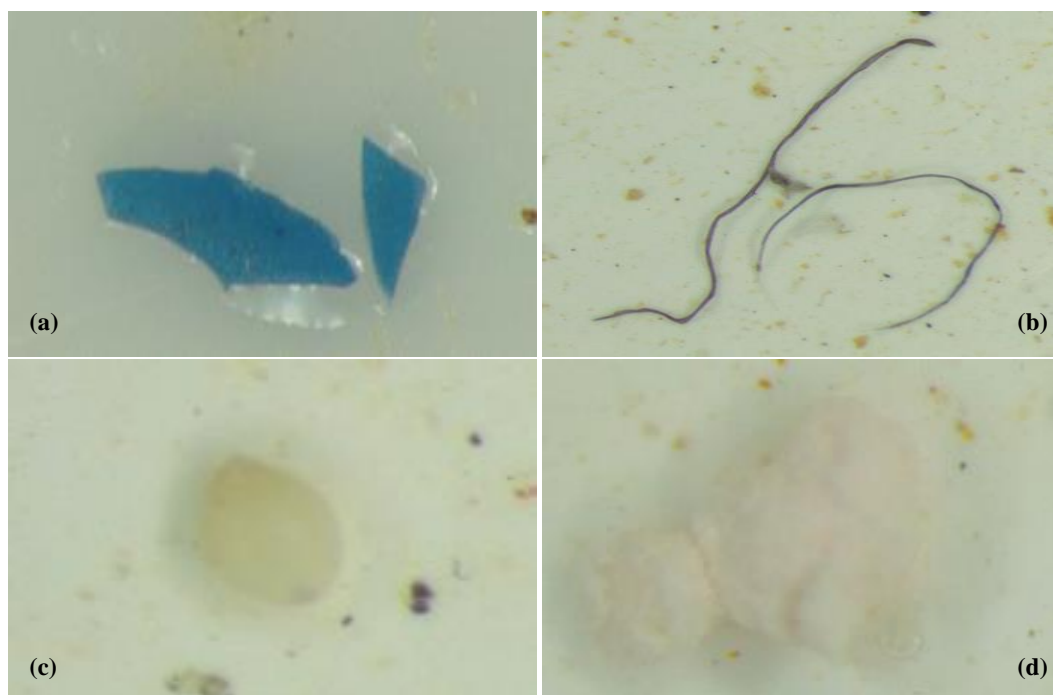
Kết quả tính toán giá trị biến thiên độ lệch chuẩn (CV) tại các điểm thu mẫu từ M1-M5 bằng kỹ thuật kéo lưới là 69,7-117,7%, kỹ thuật đóng thể tích là 1,9-6,3%. Như vậy có thể thấy, thu mẫu vi nhựa trong môi trường nước cửa Hới sử dụng kỹ thuật đóng thể tích cho kết quả độ ổn định về mật độ vi nhựa tốt hơn so với kỹ thuật kéo lưới. Sự sai khác đáng kể về mật độ giữa các lần thu mẫu tại cùng một vị trí bằng kỹ thuật kéo lưới được xét đến sự tương quan giữa yếu tố thể tích mẫu và mật độ. Hệ số tương quan thu được bằng -0,53, $p < 0,05$, thể hiện sự tương quan khá chặt chẽ giữa yếu tố thể tích mẫu và mật độ vi nhựa trong môi trường nước. Thể tích lấy mẫu càng nhỏ thì mật độ vi nhựa càng lớn.



Hình 3. Biểu đồ hộp phân bố về mật độ vi nhựa trong môi trường nước cửa Hới sử dụng kỹ thuật kéo lưới (KL) và đong thể tích (DTT). *Ghi chú:* Box plot (biểu đồ hộp), median (giá trị trung vị), Non-Outlier Range (khoảng giá trị tin cậy), Outliers (các giá trị ngoại biên), Extremes (các giá trị bất thường).

3.2. So sánh phân bố đặc điểm của vi nhựa

Đặc điểm của vi nhựa được xét đến gồm 4 đặc điểm: Kích thước, hình dạng, màu sắc, thành phần polymer [26–27]. Trong nghiên cứu này, thảo luận so sánh giữa thu mẫu vi nhựa sử dụng kỹ thuật kéo lưới và đong thể tích, hai tính chất của vi nhựa tại cửa Hới được xét đến gồm có kích thước, hình dạng và được đưa ra trong Hình 4.

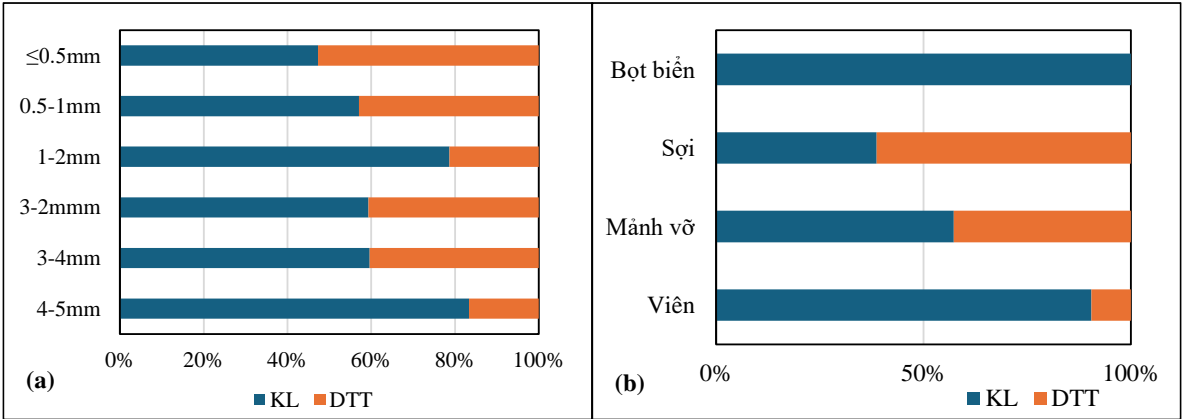


Hình 4. Tính chất của vi nhựa tại cửa Hới, tỉnh Thanh Hóa: (a) Mảnh vỡ, (b) Sợi, (c) Viên, (d) Bọt biển.

Phân bố kích thước vi nhựa sử dụng kỹ thuật kéo lưới, đong thể tích được đưa ra trong Bảng 1. Vi nhựa có kích thước nhỏ ($\leq 0,5$ mm) chiếm số lượng lớn trên tổng số vi nhựa, với kỹ thuật kéo lưới, đong thể tích lần lượt là 77,4%, 86,3%, tiếp đến là vi nhựa có kích thước 0,5-1,0 mm chiếm thành phần lớn thứ hai với kỹ thuật kéo lưới (14,3%) và kỹ thuật đong thể tích (10,8%), các vi nhựa có kích thước lớn hơn chiếm số lượng nhỏ. So sánh về phân bố kích thước giữa hai kỹ thuật thu mẫu được đưa ra trong Hình 5a cho thấy, kỹ thuật đong thể tích có số lượng vi nhựa phân bố ở kích thước nhỏ ($\leq 0,5$ mm) lớn hơn so với kỹ thuật kéo lưới, ở các khoảng kích thước lớn (0,5-5 mm) tỷ lệ số lượng vi nhựa thu được bằng kỹ thuật đong thể tích nhỏ hơn kỹ thuật kéo lưới. Kỹ thuật đong thể tích thu được vi nhựa có kích thước nhỏ [27–30] chính là nguyên nhân làm cho mật độ vi nhựa trong môi trường nước thu được bằng kỹ thuật này lớn hơn rất nhiều so với kỹ thuật kéo lưới (khoảng 2-8 lần).

Bảng 1. Phân bố tính chất vi nhựa tại cửa Hới.

Đặc điểm vi nhựa	Phương pháp kéo lưới (%)	Phương pháp đong thể tích (%)
Đặc điểm kích thước		
4-5 mm	0,9	0,2
3-4 mm	0,6	0,4
3-2 mm	1,2	0,8
1-2 mm	5,7	1,5
0,5-1 mm	14,3	10,8
$\leq 0,5$ mm	77,4	86,3
Đặc điểm hình dạng		
Bọt biển	2,8	0
Sợi	33,7	53,5
Mảnh vỡ	62,2	46,4
Viên	1,3	0,1



Hình 5. Phân bố tính chất vi nhựa được lấy mẫu bằng kỹ thuật kéo lưới (KL) và kỹ thuật đong thể tích (DTT): (a) Phân bố kích thước, (b) Phân bố hình dạng.

Hình dạng của vi nhựa là một tính chất trong các tính chất có ảnh hưởng đến kết quả mật độ vi nhựa phân bố trong môi trường nước khi sử dụng các kỹ thuật lấy mẫu khác nhau. Kết quả phân bố tỷ lệ hình dạng vi nhựa bằng kỹ thuật lấy mẫu kéo lưới, đong thể tích được đưa ra trong Bảng 1, Hình 5b. Kỹ thuật kéo lưới thu được 4 đặc điểm hình dạng của vi nhựa (bọt biển, sợi, mảnh vỡ, viên), kỹ thuật đong thể tích thu được 3 đặc điểm (sợi, mảnh vỡ, viên). Ở cả hai kỹ thuật thu mẫu vi nhựa có hình dạng sợi và mảnh vỡ chiếm thành phần chính hơn 90% tổng số vi nhựa.

Khi so sánh đặc điểm vi nhựa giữa hai kỹ thuật lấy mẫu có hai điểm nổi bật, cụ thể như sau:

Thứ nhất, vi nhựa thực hiện thu mẫu bằng kỹ thuật lưới kéo đa dạng về hình dạng hơn so với kỹ thuật đong thể tích, điểm đặc biệt lưu ý là kỹ thuật kéo lưới thu được vi nhựa có

hình dạng bọt biển (Hình 4d) mà kỹ thuật đóng thể tích không có mặt vì nhựa dạng này. Nguyên nhân có thể do vi nhựa dạng này nhẹ, xốp nổi trên mặt nước khi thực hiện thu mẫu bằng xô nó bị loại ra.

Thứ hai, đó là khi sử dụng kỹ thuật đóng thể tích thu được tỷ lệ vi nhựa có dạng sợi nhiều hơn so với kỹ thuật kéo lưới. Điều này có thể do khi kéo lưới dưới tác động của lực kéo, dòng chảy, độ nghiêng của mắt lưới, vi nhựa có hình sợi có thể đi qua mắt lưới mặc dù kích thước chiều dài lớn nhất lớn hơn kích thước mắt lưới.

3.3. Ứng dụng thực tế các kỹ thuật lấy mẫu

Hai kỹ thuật lấy mẫu khác nhau có thể thu được các kết quả khác nhau về mật độ, đặc điểm của vi nhựa trong môi trường nước vùng cửa sông (Bảng 2). Kỹ thuật đóng thể tích lọc qua rây có thể tích nước lọc để thu mẫu, diện tích thu mẫu, mức độ đa dạng về hình dạng vi nhựa nhỏ hơn so với kỹ thuật kéo lưới. Tuy nhiên, kỹ thuật lọc thể tích biến thiên độ lệch chuẩn (CV) của mật độ vi nhựa giữa các lần lấy mẫu nhỏ hơn so với kỹ thuật kéo lưới, hay nói cách khác kỹ thuật đóng thể tích ổn định hơn so với kỹ thuật kéo lưới; kích thước vi nhựa thu được bằng kỹ thuật đóng thể tích nhỏ hơn kỹ thuật kéo lưới, do đó mật độ vi nhựa của kỹ thuật đóng thể tích lớn hơn kỹ thuật kéo lưới.

Bảng 2. So sánh các kỹ thuật thu mẫu vi nhựa tại cửa Hói.

Tính chất	Kỹ thuật kéo lưới	Kỹ thuật đóng thể tích
Thể tích mẫu	Thể tích mẫu thu được lớn (thông thường từ vài m ³ đến vài chục m ³); Thể tích thu mẫu không cố định, phụ thuộc vào dòng chảy, tốc độ tàu, gió.	Thể tích thu mẫu nhỏ (khoảng từ 100 lít đến 1000 lít); Cố định được thể tích thu mẫu.
Diện tích	Diện tích thu mẫu lớn.	Diện tích thu mẫu nhỏ.
Mật độ	Mật độ vi nhựa không ổn định giữa các lần lấy mẫu lặp lại, phụ thuộc vào thể tích thu mẫu; Mật độ vi nhựa nhỏ.	Mật độ vi nhựa có độ ổn định tốt giữa các lần lấy mẫu lặp lại; Mật độ vi nhựa lớn.
Kích thước	Có xu hướng thu được vi nhựa có kích thước lớn	Thu được vi nhựa có kích thước nhỏ
Hình dạng	Thu được nhiều loại hình dạng vi nhựa, tỷ lệ vi nhựa dạng mảnh vỡ lớn.	Thu được ít loại hình dạng, không thu được vi nhựa dạng bọt biển, nhẹ, tỷ lệ vi nhựa hình sợi lớn.

Như vậy có thể thấy, các kỹ thuật thu mẫu vi nhựa khác nhau cho tính chất về mật độ, đặc điểm vi nhựa khác nhau. Do đó, khi tiếp cận các kỹ thuật lấy mẫu vi nhựa trong môi trường nước, điển hình là khu vực cửa sông có biến động lớn về các yếu tố thủy động lực cần có hiểu biết về các ưu, nhược điểm của từng kỹ thuật, trên cơ sở đó đưa ra các nhận định tổng quát nhất về vi nhựa tại khu vực nghiên cứu. Cần có hiểu biết về ưu, nhược điểm của từng kỹ thuật để diễn giải kết quả nghiên cứu thu được một cách đúng đắn nhất.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã so sánh hai kỹ thuật lấy mẫu vi nhựa khác nhau (kéo lưới, đóng thể tích) trong môi trường nước, thí điểm tại cửa Hói, tỉnh Thanh Hóa. Thể tích lấy mẫu, phạm vi lấy mẫu khi sử dụng kỹ thuật kéo lưới lớn hơn so với kỹ thuật đóng thể tích; Kỹ thuật đóng thể tích có mật độ vi nhựa lớn hơn kỹ thuật kéo lưới ở cả 05 vị trí lấy mẫu; Giá trị biến thiên độ lệch chuẩn về mật độ giữa các lần lấy mẫu lặp lại của kỹ thuật đóng thể tích ổn định hơn kỹ thuật kéo lưới; Kỹ thuật đóng thể tích có xu hướng thu được nhiều vi nhựa có kích thước nhỏ hơn, dạng sợi nhiều hơn so với kỹ thuật kéo lưới. Kết quả nghiên cứu thu được là cơ sở khoa học để lựa chọn kỹ thuật lấy mẫu phù hợp với điều kiện thực tế và mục đích nghiên cứu. Một kỹ thuật lấy mẫu không phản ánh được hết bức tranh tổng thể của vi nhựa trong

môi trường nước. Các kỹ thuật thu mẫu khác nhau cùng một thời điểm có thể bổ sung cho nhau và thu được kết quả nghiên cứu toàn diện hơn.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng và lựa chọn phương pháp nghiên cứu: D.T.L.; Xử lý số liệu: N.T.H.T.; Phân tích mẫu vi nhựa: D.T.Q., V.D.M., N.T.L.H., N.V.C.; Lấy mẫu vi nhựa: T.T.T., P.T.D., T.T.M.T.; Viết bản thảo bài báo: D.T.L., N.T.H.; Chỉnh sửa bài báo: D.T.L.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin gửi lời cảm ơn tới đề tài cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam mã số: VAST06.06/22-23 đã cung cấp dữ liệu.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Amir, H.N.A.A.R.; Arjulizan, R.; Zuratul, A.A.H.; Ku, M.K.I.; Muaz, M.Z.M.; Mariatti, J.; Mohamad, D.S. A review of microplastic surface interactions in water and potential capturing methods. *Water Sci. Eng.* **2023**, <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.11.008>.
2. Sultan, A.N.; Refat, M.J.R.; Rakesh, K.; Sayeed, M.B.H.; Prabhakar, S.; Abubakr, M.I. Distribution, characteristics, and risk assessments analysis of microplastics in shore sediments and surface water of Moheshkhali channel of Bay of Bengal, Bangladesh. *Sci. Total Environ.* **2023**, 855, 158892.
3. Yu, Z.; Lei, W.; Hongwen, S.; Chungguang, L. Prediction of microplastic abundance in surface water of the ocean and influencing factors based on ensemble learning. *Environ Pollut.* **2023**, 332(2), 121834. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121834>.
4. Yiffan, Z.; Jingxi, L.; Chengjun, S.; Wei, C.; Menghui, W.; Fenghua, J.; Peng, J. Comparative study of three sampling methods for microplastics analysis in seawater. *Sci. Total Environ.* **2021**, 765, 144495. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144495>.
5. Metz, T.; Koch, M.; Lenz, P. Quantification of microplastics: Which parameters are essential for a reliable inter-study comparison? *Mar. Polut. Bull.* **2020**, 157, 111330. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111330>.
6. Oumayma, B.; Mostapha, B.; Hossain, E.O.; Moulay, A.A.; Samir, B. Identification and quantification of microplastics in surface water of a southwestern Mediterranean Bay (Al Hoceima, Morocco). *Waste Manag. Res.* **2024**, 2(1), 142–151.
7. Takahito, I.; Ryota, N.; Amane, F.; Jonaotaro, O.; Motoyo, I.; Junko, T.; Eiji, W.; Akihiko, M.; Shigeto, N.; Takashi, K. Horizontal distribution of surface microplastic concentrations and water-column microplastic inventories in the Chukchi Sea, western Arctic Ocean. *Sci. Total Environ.* **2023**, 855, 159564. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159564>.
8. Kalpana, P.; Balram, A.; Alaa, M. Y.; Abdullah, H. A. Characteristics, fate, and sources of microplastics contaminant in surface water and sediments of river water. *Phys. Chem. Earth.* **2024**, 134, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103596>.
9. Nghi, D.T.; Hải, D.H.; Huyền, B.T.M.; Nam, L.V.; Cường, L.D.; Lịm, D.T.; Thắng, N.H.; Chung, K.L.T.; Emilie, S. Nghiên cứu vi nhựa trong môi trường Vịnh Hạ Long. Tuyển tập các báo cáo tại hội nghị khoa học tại hội nghị: Các khoa học về trái đất và phát triển bền vững, 2020, tr. 267–275.
10. Emilie, S.; Ha, D.T.; Duong, D.T.; Hải, D.N.; Dung, D.T.T.; Nghi, D.T.; Thuy, D.T.; An, H.D.; Thuy, K.L.C.; Quynh, L.T.P.; Huong, L.M.; Mau, T.D.; Hung, N.Q.; Anh, T.N.Q.; Viet, T.Q.; Sang, T.N.T.; Hai, C.V.; Chi, V.V. Baseline assessment of microplastic concentrations in marine and freshwater environments of a developing

- Southeast Asian country, Viet Nam. *Mar. Polut. Bull.* **2020**, 162, 111870. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111870>.
11. Lisa, L.; Emilie, S.; Thuy, K.L.C.; Rachid, D.; Kada, B.; Emmanuel, R.; Johnny, G.; Bruno, T. Macroplastic and microplastic contamination assessment of a tropical river (Saigon River, Vietnam) transversed by a developing megacity. *Mar. Polut. Bull.* **2018**, 236, 661–671.
12. Thuy, K.L.C.; Thinh, Q.T.; Viet, T.Q.; Emilie, S. Baseline concentration of microplastics in surface water and sediment of the northern branches of the Mekong River Delta, Vietnam. *Mar. Polut. Bull.* **2023**, 187, 114605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114605>.
13. Ý, N.H.N.; Hà, T.T.N.; Linh, P.T.T.; Minh, V.V.; Mai, L.T.; Mậu, T.Đ.; Anh, T.N.Q. Phân bố của vi nhựa trong nước mặt và trầm tích ở cửa sông Thuận An, Thừa Thiên Huế. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng* **2023**, 21(3), 97–103.
14. Phú, H.; Hân, H.T.N.; Thảo, N.L.N.; Đông, Đ.V.; Hân, T.G. Nghiên cứu ô nhiễm vi nhựa trong nước và trầm tích sông Sài Gòn – Đồng Nai. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 731, 69–81.
15. Hải, Đ.N.; Nghi, D.T.; Nam, L.V. Đánh giá hiện trạng và đặc điểm vi nhựa trong môi trường biển Cát Bà, Hải Phòng, Việt Nam. *Tạp chí Môi trường* **2021**, Chuyên đề IV, 67–70.
16. Phú, H.; Hân, H.T.N. Đánh giá rác thải nhựa, vi nhựa trong nước thải từ cộng đồng dân cư xả vào các sông Sài Gòn – Đồng Nai, đề xuất giải pháp xử lý đảm bảo mục tiêu phát triển bền vững. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 753, 37–49.
17. Clara, L.; Fangzhu, W.; Sebastain, P.; Gunnar, G.; Patricia, B.H. Unveiling high concentrations of small microplastics (11-500 μm) in surface water samples from the southern Weddell Sea off Antarctica. *Sci. Total Environ.* **2024**, 927, 172124. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172124>.
18. Xi, J.; Xindi, F.; Wenjing, L.; Hongtao, W. The effects of riverside cities on microplastics in river water: A case study on the Southern Jiangsu Canal, China. *Sci. Total Environ.* **2023**, 858, 159783. <http://x.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022>.
19. Carolina, R.S.; Guilherme, P.D.; Victor, R.M.; Lucilaine, V.S.S.; Miriam, C.S.A. Microplastics in surface water: occurrence, ecological implications, quantification methods and remediation technologies. *Chem. Eng. J.* **2023**, 474, 144936.
20. Athira, T.R.; Aarif, K.M.; Jeniffer, A.T.; Abdulaziz, S.A.; Sabir, B.M.; Aymen, N.; Omer, R.R.; Jobiraj, T.; Thejass, P. The threat of microplastics: Exploring pollution in coastal ecosystems and migratory shorebirds along the west coast of India. *Mar. Polut. Bull.* **2024**, 198, 115912. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115912>.
21. Bijeesh, K.V.; Vikram, P.; Siham, A.; Raymand, D.W.; Khoa, N.D. Microplastic pollution in Vietnam's estuarine, coastal and riverine environments: Research advances and future prospects. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **2024**, 301, 108749. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2024.108749>.
22. Tiên, P.V.; Linh, T.T.T.; Ngọc, P.K.; Hà, B.M.; Thủy, N.B. Kết quả ban đầu về mô phỏng ngập lụt vùng ven biển Thanh Hóa do nước dâng bão. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 752, 87–96.
23. Sơn, C.T.; My, N.T.; Thành, M.X.; Tuấn, A.T.; Anh, N.T.M.; Mỹ, N.H.; Hòa, T.T. Đánh giá rủi ro môi trường nước sông Mã trên địa bàn tỉnh Thanh Hóa. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Thái Nguyên* **2022**, 9, 199–207.
24. Thư, B.T.; Anh, C.H. Đánh giá mức độ tích lũy một số kim loại nặng trong trầm tích sông Mã đoạn chảy qua tỉnh Thanh Hóa. *Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi Trường* **2021**, 36, 37–45.
25. Mùi, N.T.; Thành, L.Đ. Tài nguyên nước lưu vực sông Mã và những vấn đề liên quan an ninh nguồn nước. *Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2017**, 15, 65–71.

26. Amal, Z.; Sami, S.; Cristele, C.; Moncef, B.; Sana, B.I. Microplastics in surface waters of the Gulf of Gabes, southern Mediterranean Sea: Distribution, composition and influence of hydrodynamic. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **2020**, *242*, 106832. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106832>.
27. Saif, U.; Scott, W.F.; Talat, S.; Abolfazl, N.; Noura, A. Standardized protocols for microplastics determinations in environmental samples from the Gulf and marginal seas. *Mar. Polut. Bull.* **2020**, *158*, 111374.
28. Dannielle, S.G.; Louise, K.; Bas, B.; David, J.B.; Paul, B.; Marushka, D.C.; Quentin, C. Acomparision of sampling methods for seawater microplastic litter in coastal waters of Ascension and Falkland Islands. *Mar. Polut. Bull.* **2018**, *137*, 695–701.
29. Katie, D.; Georgie, S.; Jen, S.J.; Adam, P.; Juan, P.M.P.; David, S.; Ceri, L. Sea surface microplastics in the Galapagos: Grab samples reveal high concentrations of particles <200 μm in size. *Sci. Total Environ.* **2024**, *923*(4), 171428. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171428>.
30. Micaela, B.; Mariana, F.; Andrea, M. A.; Leonel, I. S.; Mariana, L.; Juan, P. P. Lakes with or without urbanization along their coasts had similar level of microplastic contamination, but significant differences were seen between sampling methods. *Sci. Total Environ.* **2022**, *866*, 161254. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161254>.

The impact of sampling techniques at estuary, coastal area on the characteristics of microplastics: A case study at Cua Hoi estuary, Thanh Hoa Province

Duong Thi Lim^{1*}, Nguyen Thi Huong Thuy¹, Dang Tran Quan¹, Nguyen Thi Lan Huong¹, Nguyen Thi Hue¹, Trinh Thi Minh Trang¹, Tran Thu Thuy¹, Pham Thi Dung¹, Nguyen Viet Cuong¹, Vu Duc Manh²

¹ Institute of Geography - Vietnam Academy of Science and Technology;
 duonglim@yahoo.com.vn; huongthuyqlmt@gmail.com; dtquan2810@gmail.com;
 lanhuong.vdl@gmail.com; nguyenhuevdl@gmail.com; minhtrang30678@gmail.com;
 tranthuthuybg@gmail.com; dungkhda56@gmail.com; cuongnguyenviet94@gmail.com

² Hanoi University of Natural Resources and Environment; manhv2610@gmail.com

Abstract: Microplastics (MPs) are plastic fragments that have a size smaller than 5 mm. They exhibit resistance to decomposition in the natural environment and possess the capacity to absorb and transfer environmental contaminants which poses multiple threats to the ecosystem. In studies on MPs, the selection of sampling methods is a fundamental and crucial factor that affects the data on the density and characteristics of MPs in the surveyed area. In this study, the authors compare two methods, including the neuston net method with a pore size of 80 μm and the direct filtration method with a pore size of 100 μm . The results of the MP density using the neuston net ranged from 5.3 to 194.2 items/ m^3 , with an average standard deviation of 45.6 ± 49.6 items/ m^3 . Whereas, using the direct filtration, the range was from 565 to 1505 items/ m^3 , with an average standard deviation of 972 ± 341.4 items/ m^3 . The neuston net yielded a greater variety of shapes in comparison to direct filtering. Besides, the neuston net results in greater average size of MPs compared to direct filtration. The neuston net method has a greater capacity for collecting bigger particles, however it exhibits lower stability when compared to the direct filtering approach. The findings suggest that it is recommended to use a suitable approach that aligns with the specific sample conditions and the equipment at available during the research process to improve the reliability of the results.

Keywords: Cua Hoi; Microplastics; Microplastics sampling.

Bài báo khoa học

Đánh giá hiệu quả ứng dụng ảnh Sentinel-1 và Sentinel-2 xác định mất rừng: Thí điểm khu vực huyện Đam Rông, tỉnh Lâm Đồng

Nguyễn Vinh Phú¹, Phạm Thị Làn^{2*}

¹ Quỹ Bảo vệ và Phát triển rừng tỉnh Lâm Đồng; vinhphuqbvr@gmail.com

² Đại học Mở - Địa chất; phamthilan@humg.edu.vn

*Tác giả liên hệ: phamthilan@humg.edu.vn; Tel.: +84-983321882

Ban Biên tập nhận bài: 17/4/2024; Ngày phản biện xong: 20/5/2024; Ngày đăng bài: 25/10/2024

Tóm tắt: Mất rừng là thách thức toàn cầu, làm ảnh hưởng đến là phổi xanh của trái đất và làm mất đi môi trường sống của sinh vật. Do vậy, giám sát mất rừng là cần thiết để có biện pháp chiến lược cho việc bảo vệ rừng trong tương lai. Nghiên cứu sử dụng các chỉ số NDVI, RFI và NBCI được tính từ ảnh Sentinel-1, Sentinel-2 trong xác định diện tích mất rừng của năm 2021 so với năm 2020. Chỉ số NDVI được tính từ ảnh Sentinel-2, và chỉ số RFI tính từ sự khác biệt giá trị tán xạ phản hồi của rừng đối với kênh phân cực VH trên ảnh Sentinel-1. Trong khi đó, chỉ số NBCI được kết hợp kênh NDVI với kênh VH. Kết quả chứng minh được rằng chỉ số NBCI đem lại độ chính xác cao nhất trong xác định mất rừng, đạt 79,53%. Trong khi đó, chỉ số KB - chỉ số khác biệt NDVI và chỉ số RFI đạt lần lượt là 55,83% và 14,85%. Với chỉ số NBCI, rừng ở khu vực Đam Rông được xác định là mất 50,51ha. Hiệu quả của việc kết hợp Sentinel-1 và Sentinel-2 đã định hướng cho các nhà quản lý một giải pháp thích hợp trong việc kiểm kê rừng hàng năm.

Từ khóa: Mất rừng; Sentinel-1; Sentinel-2.

1. Mở đầu

Năm 2022, diện tích rừng của Việt Nam chiếm xấp xỉ 40% diện tích tự nhiên, bao phủ khoảng 14,8 triệu ha [1]. Rừng có đóng góp đáng kể đối với tăng trưởng kinh tế của đất nước. Như báo cáo của World Bank [2], năm 2017, doanh thu từ việc xuất khẩu gỗ và các thành phẩm được chế biến từ gỗ đã đạt 8 tỷ USD, chiếm gần 4% tổng sản phẩm quốc nội (GDP). Rừng còn giúp bảo vệ đất, chống xói mòn, cung cấp ô xi, điều hòa khí hậu, bảo vệ đới bờ và là nơi cư trú của các loài sinh vật. Thêm nữa, rừng cũng là nguồn cung cấp dược liệu, thực phẩm phục vụ dân sinh địa phương. Sự phân bố diện tích rừng không cố định mà luôn thay đổi. Rừng bị thay đổi cả về không gian và chất lượng đều do ảnh hưởng bởi 2 nhóm nhân tố là tự nhiên và con người [3]. Mất rừng do các sự gia tăng dân số, thay đổi cơ cấu kinh tế và trầm trọng hơn là vấn đề khai thác rừng như khai thác gỗ thương mại, sản xuất nông nghiệp, khai thác rừng làm nhiên liệu [4]. Mất rừng làm gia tăng hiệu ứng nhà kính, xói mòn đất và biến đổi khí hậu. Việc cung cấp thông tin về phạm vi và mức độ mất rừng, suy thoái rừng là yêu cầu cần thiết để trợ giúp các chính sách về rừng trong tương lai [5]. Do vậy, việc cần thiết là cần những phương pháp hiệu quả, thiết thực để giám sát mất rừng và suy thoái rừng.

Viễn thám là phương pháp hiệu quả ứng dụng trong việc quan trắc, giám sát tài nguyên và môi trường [6], đặc biệt trong quan trắc hệ sinh thái rừng [7]. Với ưu điểm nổi trội của công nghệ viễn thám và nguồn dữ liệu ảnh vệ tinh luôn được cập nhật, việc theo dõi diện tích mất rừng là hiệu quả và kịp thời [8]. Ở giai đoạn đầu, các nghiên cứu chỉ tập chung sử dụng viễn thám trong nghiên cứu mất rừng nhiệt đới do cháy rừng [9, 10]. Những năm gần đây, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 766, 53-64; doi:10.36335/VNJHM.2024(766).53-64 <http://tapchikittv.vn/>

các nghiên cứu về mất rừng phổ biến hơn. Các nghiên cứu sử dụng ảnh có độ phân giải trung bình kết hợp với GIS trong nghiên cứu mất rừng [11–13]. Ví dụ như nghiên cứu biến động rừng toàn cầu hàng năm đã được xây dựng bản đồ từ ảnh Landsat giai đoạn 2000-2012. Bản đồ này chỉ ra rằng trên toàn thế giới có 1,5 triệu km² diện tích rừng đã bị mất [14]. Ảnh vệ tinh Landsat cũng được lựa chọn để nghiên cứu mất rừng ở công viên quốc gia Gunung Palung, bao gồm ảnh Landsat TM, ETM và OLI [15]. Như vậy, dữ liệu ảnh Landsat là nguồn thông tin cần thiết trong việc đánh giá sự biến động diện tích rừng [15]. Bên cạnh đó, ảnh có độ phân giải cao hơn, ảnh Sentinel-2 cũng có ý nghĩa quan trọng trong việc nghiên cứu mất rừng. Các kênh 4 và kênh 11 của ảnh Sentinel-2, kết hợp với chỉ số NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) và chỉ số cháy rừng NBR (*Normalized Burn Ratio*) được sử dụng để định lượng tình trạng mất rừng [16]. Các nghiên cứu đều cho thấy ảnh quang học là tư liệu hiệu quả trong xác định mất rừng. Tuy nhiên, vẫn còn tồn tại giới hạn trong việc sử dụng tư liệu ảnh quang học là các thuật toán xác định mất rừng với chuỗi thời gian [17, 18] như là: (1) ảnh ở các thời điểm khác nhau đối với thông số hiệu chỉnh; (2) ảnh quang học bị tác động bởi điều kiện thời tiết và mùa vụ của thời điểm chụp ảnh. Để khắc phục hạn chế này, ảnh Radar tổng hợp là tư liệu bổ trợ tốt trong công tác giám sát mất rừng nhờ khả năng xuyên qua mây [19] và gần như không phụ thuộc vào tình trạng thời tiết và điều kiện khí quyển [20]. Hiện nay, hầu hết các vệ tinh SAR có tần suất chụp ảnh với thời gian ngắn nên phù hợp cho việc cảnh báo hiệu quả quá trình chặt phá rừng [21]. Có một vài nghiên cứu đã ứng dụng ảnh SAR để thành lập bản đồ suy thoái rừng [22–25].

Huyện Đam Rông, tỉnh Lâm Đồng có hệ sinh thái chủ yếu là đồi thấp và núi trung bình với độ cao trên 500 m [26]. Điều kiện tự nhiên của Đam Rông phù hợp trong phát triển lâm nghiệp, với diện tích rừng chiếm chủ yếu so với diện tích đất tự nhiên của toàn huyện. Nằm trong xu thế chung của tỉnh Lâm Đồng, diện tích rừng của huyện Đam Rông cũng bị suy giảm do tình trạng phá rừng, chuyển đổi đất rừng làm nông nghiệp [27]. Vì vậy, việc tìm ra giải pháp hiệu quả để giám sát mất rừng đối với huyện Đam Rông là cần thiết. Các nghiên cứu kể trên đã chỉ ra rằng ảnh vệ tinh quang học và ảnh SAR đều đã được ứng dụng trong theo dõi mất rừng và kết quả được đánh giá là đáng tin cậy trong. Khu vực Đam Rông, nơi bị che phủ nhiều mây, việc theo dõi mất rừng bằng ảnh quang học còn nhiều hạn chế. Do vậy, kết hợp với ảnh SAR sẽ bù đắp được những thông tin thiếu hụt ở thời điểm mà ảnh quang học không thu nhận được. Nghiên cứu này nhấn mạnh việc nghiên cứu hiệu quả khi sử dụng kết hợp ảnh Sentinel-1 và Sentinel-2 trong tính toán chỉ số nhằm xác định mất rừng cho huyện Đam Rông, tỉnh Lâm Đồng. Đây sẽ là cơ sở mở ra giải pháp mới trong việc đánh giá kiểm kê rừng cho những khu vực thuộc cao nguyên.

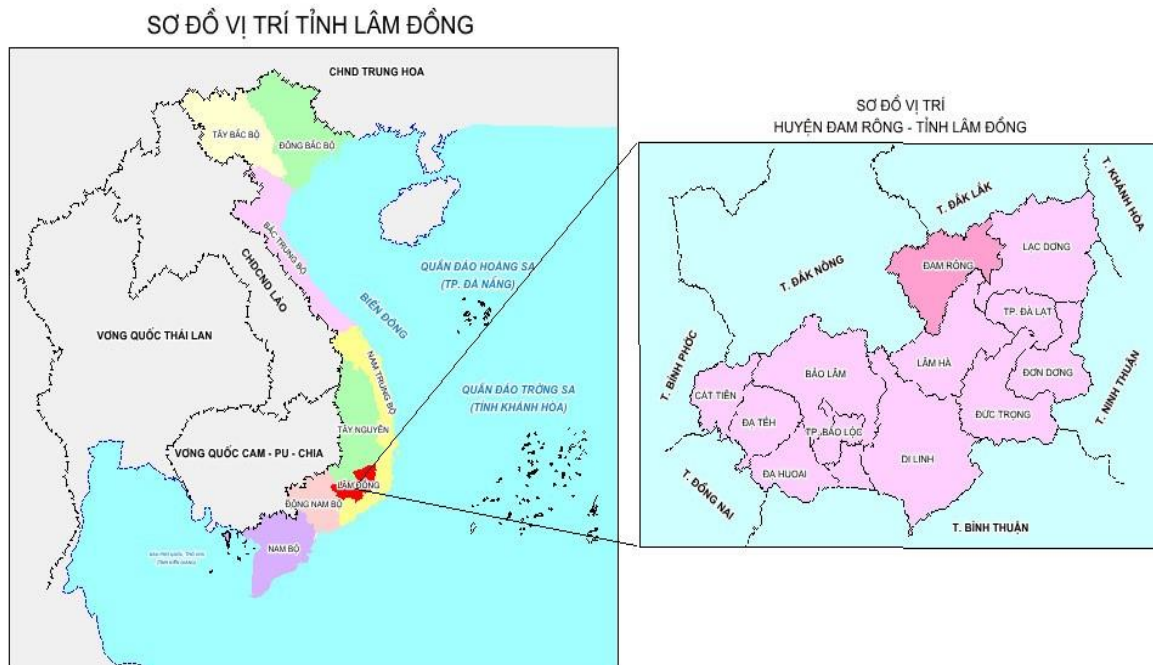
2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu

2.1. Khu vực nghiên cứu và dữ liệu

Huyện Đam Rông thuộc khu vực phía Tây Bắc tỉnh Lâm Đồng (Hình 1). Huyện Đam Rông có vị trí địa lý nằm giữa các huyện Bảo Lâm, Di Linh và Đơn Dương của tỉnh Lâm Đồng. Về phía Đông Bắc, huyện Đam Rông tiếp giáp với tỉnh Khánh Hòa. Với vị trí hiện tại, Đam Rông được xem như là cửa ngõ phía đông của vùng cao nguyên Đà Lạt. Huyện Đam Rông có địa hình gồm núi và thung lũng đã tạo nên sự đa dạng và phong phú của cảnh quan sinh thái. Trong đó, rừng là một hệ sinh thái chiếm diện tích lớn ở khu vực này (56.580,5 ha), với độ che phủ lên tới 64,84% [28]. Một phần lớn diện tích của Đam Rông vẫn là rừng nguyên sinh (49.636,58 ha), với đa dạng loài cây và động vật. Tuy nhiên, rừng ở Đam Rông đang phải chịu áp lực từ việc phá rừng, khai thác gỗ trái pháp luật làm suy giảm diện tích rừng.

Dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: ảnh Sentinel-1, Sentinel-2 và PlanetScope. Ảnh Sentinel-1, chụp trong 2 giai đoạn: từ ngày 03/01/2020 đến ngày 28/03/2020 sử dụng 32 ảnh và; từ 03/01/2021 đến 28/03/2021 có 34 ảnh. Ảnh Sentinel-2 cũng sử dụng giai đoạn tương ứng với 36 ảnh cho giai đoạn năm 2020 và 39 ảnh cho giai

đoạn 2021. Dữ liệu ảnh Sentinel-1 và Sentinel-2A được sử dụng trên nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine. Ảnh Sentinel-1 được xử lý mức độ 1C với các kênh phân cực VH và VV. Ảnh Sentinel-2 gồm 2 vệ tinh là Sentinel-2A và Sentinel_2B đã nắn chỉnh hình học và hiệu chỉnh khí quyển. Bên cạnh đó, ảnh PlanetScope chụp ngày 07/3/2021 với độ phân giải 3 m, được sử dụng kết hợp với thực địa trong đánh giá độ chính xác về vị trí và diện tích mất rừng.



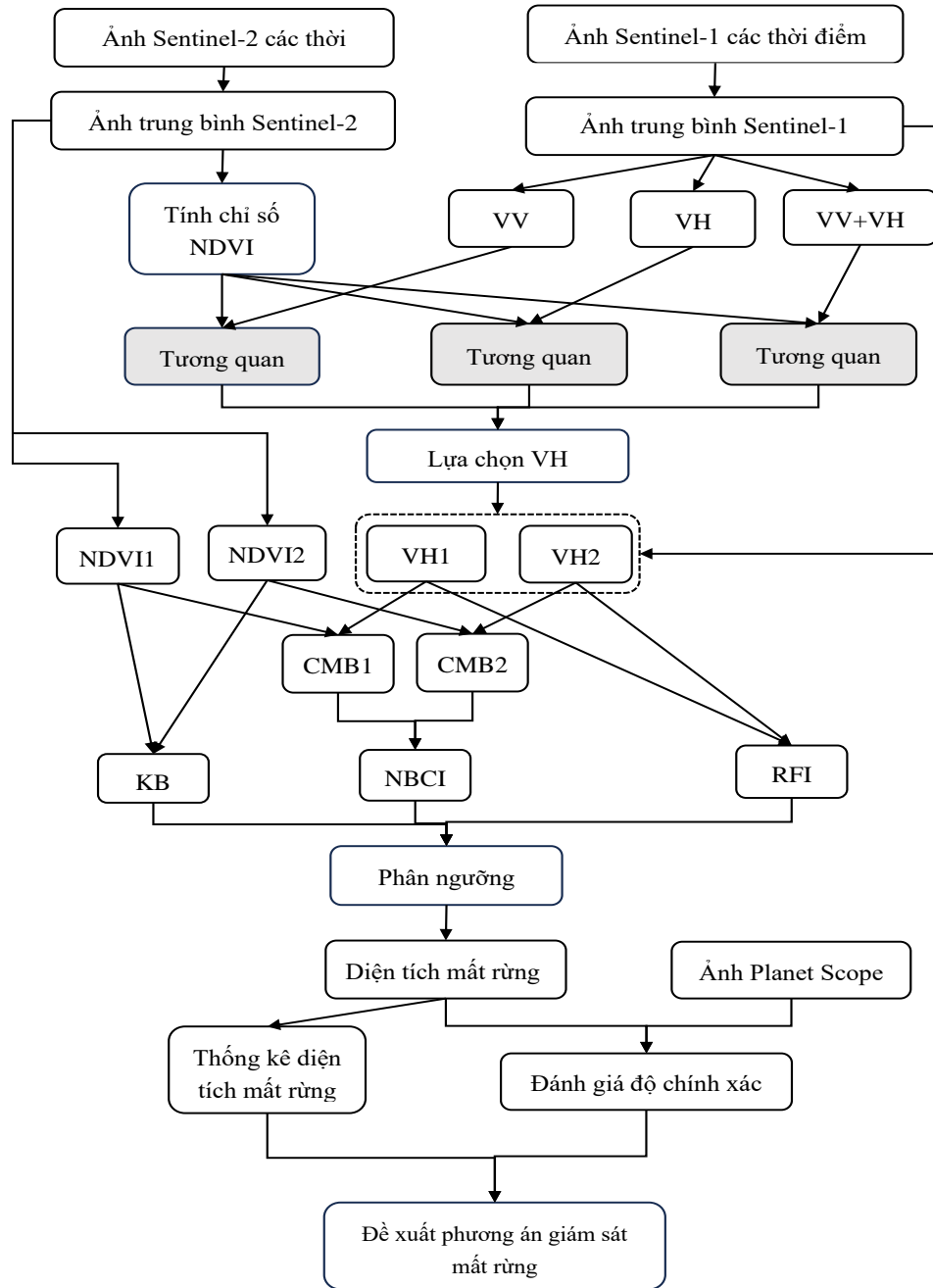
Hình 1. Vị trí khu vực huyện Đam Rông, tỉnh Lâm Đồng.

2.2. Quy trình nghiên cứu

Việc xác định mất rừng bằng các chỉ số viễn thám trên ảnh Sentinel-1 và Sentinel-2 trong nghiên cứu này được cụ thể như sơ đồ sau đây (Hình 2). Ảnh Sentinel-1 và Sentinel-2 là ảnh trung bình của các thời điểm trong khoảng thời gian nghiên cứu, nhằm giảm tối đa sự ảnh hưởng bởi mây. Các ảnh trung bình này được tính bằng hàm median trên nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine. Ảnh trung bình có hai thời điểm tương ứng là ảnh trung bình của năm 2020, thời điểm chưa mất rừng và ảnh trung bình của năm 2021, thời điểm sau mất rừng. Chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa NDVI là chỉ số phổ biến trong việc xác định thực vật nói chung và lớp phủ rừng nói riêng, được tính từ ảnh Sentinel-2.

Để kết hợp ảnh Sentinel-1 trong việc quan trắc mất rừng, nghiên cứu này sử dụng các kênh VV, VH và VV+VH. Giá trị tán xạ ngược VV và VH trên ảnh Sentinel-1 thể hiện khu vực càng sáng thì lớp phủ thực vật càng phát triển và ngược lại, khi VV và VH có giá trị phản hồi thấp thì khu vực càng tối và thể hiện đối với vùng thực vật bị suy giảm hoặc biến mất [29]. Bên cạnh đó, kênh phân cực kết hợp (VV+VH) cũng được xác định là có quan hệ tương quan cao với chỉ số thực vật [30]. Do vậy, nghiên cứu này sử dụng các kênh ảnh Sentinel-1 để đánh giá tương quan với chỉ số NDVI nhằm lựa chọn kênh phân cực của ảnh Sentinel-1 tốt nhất trong nghiên cứu mất rừng.

Việc xác định khu vực mất rừng trong nghiên cứu này ứng dụng các chỉ số KB, KRB và NBCI lần lượt được tính toán khác biệt tương ứng với chỉ số NDVI từ ảnh Sentinel-2, kênh phân cực VH của Sentinel-1 và chỉ số kết hợp các kênh phổ (CMB). Chỉ số CMB là chỉ số kết hợp kênh NDVI với kênh VH. Độ tin cậy của diện tích mất rừng được đánh giá so với ảnh có độ phân giải cao PlanetScope (3 m). Cuối cùng, hiệu quả của các chỉ số viễn thám trong xác định mất rừng sẽ là cơ sở đề xuất phương án quan trắc thường xuyên trong nhiệm vụ quản lý tài nguyên rừng.



Hình 2. Quy trình giám sát mất rừng sử dụng kết hợp Sentinel-1 và Sentinel-2.

2.3. Chỉ số viễn thám của ảnh Sentinel-2 trong nghiên cứu mất rừng

Chỉ số NDVI được tính từ ảnh Sentinel 2 trung bình ở 2 giai đoạn. Giai đoạn chưa mất rừng, tương ứng với NDVI1 tính từ ảnh trung bình Sentinel-2 của năm 2020; giai đoạn sau mất rừng, tương ứng với NDVI2 được tính từ ảnh trung bình Sentinel-2 của năm 2021.

Nghiên cứu dùng ảnh Sentinel-2 để tính chỉ số tương đối (KB) trong xác định diện tích mất rừng [31]. Chỉ số KB được tính như công thức (1).

$$KB = 100 \times (NDVI1 - NDVI2) / NDVI1 \quad (1)$$

Trong đó NDVI1 và NDVI2 được tính bằng công thức (2).

$$NDVI = \frac{(Band_{NIR} - Band_{RED})}{(Band_{NIR} + Band_{RED})} \quad (2)$$

Trong đó BandNIR tương ứng với Band 8 và BandRED tương ứng Band 4.

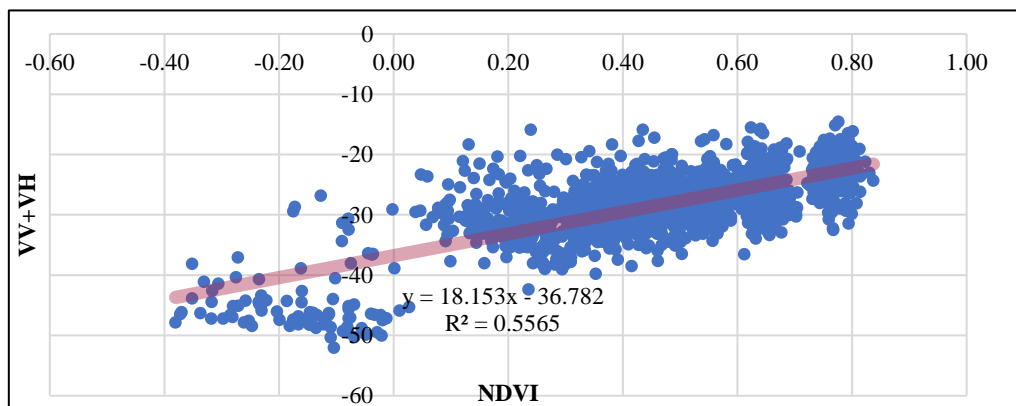
2.4. Lựa chọn kênh phân cực trên ảnh Sentinel-1 trong nghiên cứu mất rừng

Để lựa chọn kênh phân cực của ảnh Sentinel-1 trong nghiên cứu mất rừng, nghiên cứu này đánh giá tương quan giữa chỉ số NDVI với các kênh phân cực cùng thời điểm. Để đánh giá tương quan, nghiên cứu sử dụng các cụm điểm với tổng số điểm là 2342 điểm mẫu. Mỗi cụm điểm gồm 3 điểm nằm trong phạm vi của một đối tượng (Hình 3) và các cụm điểm được lấy đặc trưng cho mỗi một yếu tố trên ảnh Sentinel-2, phân bố đều trên toàn huyện Đam Rông, tỉnh Lâm Đồng.

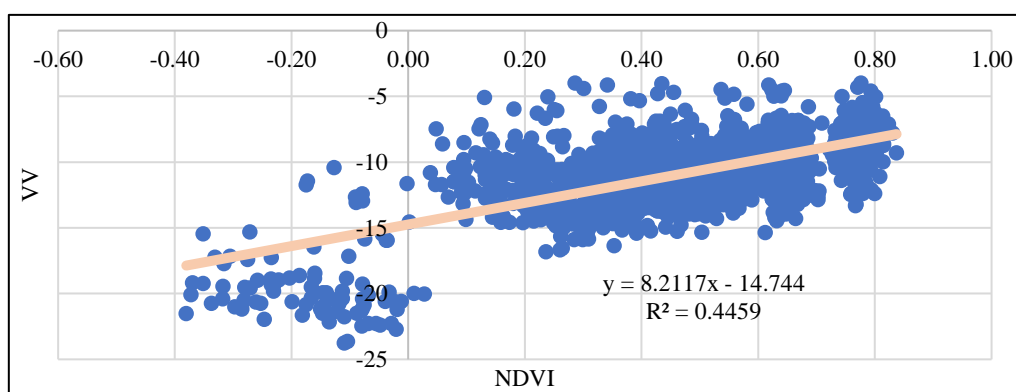


Hình 3. Điểm mẫu sử dụng trong đánh giá tương quan NDVI với kênh phân cực.

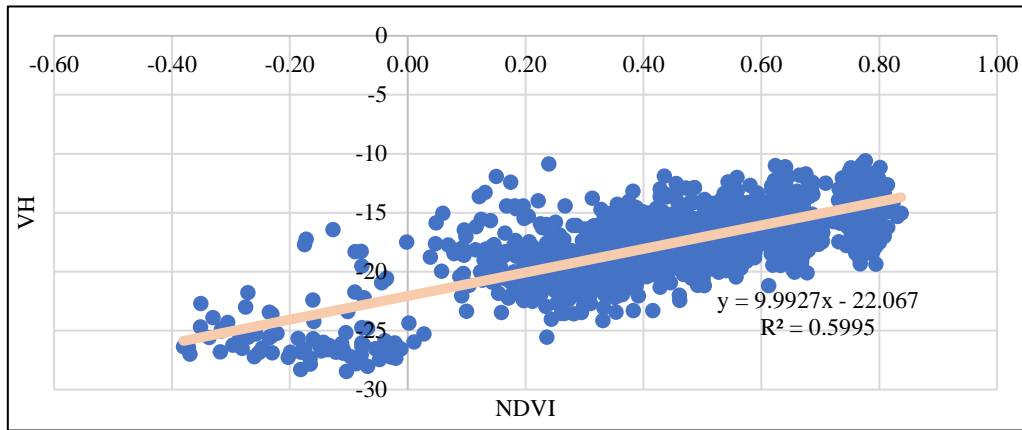
Các hình dưới đây thể hiện quan hệ tương quan của NDVI với các kênh phân cực VV, VH và VH+VV. Mức độ tương quan mạnh, trung bình hay yếu được thể hiện bằng hệ số tương quan R.



Hình 4. Sơ đồ thể hiện tương quan giữa NDVI và kênh VH+VV.



Hình 5. Sơ đồ tương quan giữa NDVI và kênh VV.



Hình 6. Sơ đồ tương quan giữa NDVI và kênh VH.

Hình 4, Hình 5 và Hình 6 được tổng hợp theo hệ số tương quan R như Bảng 1. Bảng 1 trên chỉ ra rằng giá trị tương quan R đều nằm trong phạm vi tương quan mạnh. Trong đó VH có hệ số tương quan với NDVI là cao nhất (0,7743) được lựa chọn là kênh sử dụng trong xác định mất rừng. Chỉ số RFI (Radar Forest Index) là chỉ số xác định mất rừng được tính từ ảnh Sentinel-1 đối với kênh VH.

Bảng 1. Bảng thống kê hệ số tương quan.

TT	Cặp kênh tương quan	R ²	R
1	NDVI và VH+VV	0,5565	0,7460
2	NDVI và VV	0,4459	0,6678
3	NDVI và VH	0,5995	0,7743

$$RFI = 100 \times (VH1 - VH2) / VH1 \quad (3)$$

Trong đó VH1 là giá trị tán xạ ngược của kênh VH được tính từ ảnh trung bình Sentinel-1 năm 2020; VH2 là giá trị tán xạ ngược của kênh VH được tính từ ảnh trung bình Sentinel-1 năm 2021.

2.5. Chỉ số viễn thám tích hợp ảnh Sentinel-1 và Sentinel-2 trong nghiên cứu mất rừng

Nghiên cứu sử dụng chỉ số kết hợp các kênh phổ (CMB) bằng cách kết hợp chỉ số NDVI của Sentinel-2 với giá trị tán xạ phản hồi kênh phân cực VH của ảnh Sentinel-1 trong xác định lớp phủ rừng. Chỉ số CMB được tính theo công thức sau đây [32]:

$$CMB = \frac{(NDVI + VH^{-1})}{2} \quad \text{hay} \quad CMB = \frac{NDVI \times VH^{-1}}{2 \times VH} \quad (4)$$

Sự thay đổi lớp phủ rừng được thể hiện bằng chỉ số thay đổi các kênh phổ kết hợp NBCI thông qua công thức sau đây [32]:

$$NBCI = \frac{CMB1 - CMB2}{CMB1} \times 100 \quad (5)$$

Trong đó CMB1 là giá trị của chỉ số kết hợp giữa NDVI1 và VH1 tại thời điểm trước mất rừng; CMB2 là giá trị của chỉ số kết hợp giữa NDVI2 và VH2 tại thời điểm sau mất rừng.

2.6. Xác định ngưỡng mất rừng

Trên ảnh Sentinel-2, chỉ số thực vật NDVI có giá trị tăng dần khi thực vật tăng dần. Do vậy chỉ số KB sẽ có giá trị dương khi xuất hiện hiện tượng mất rừng và âm khi tái sinh rừng. Trong nghiên cứu [32], chỉ số KB lớn hơn 42,6 được xác định là khu vực mất rừng. Trong

khi đó, trên ảnh Sentinel-1, giá trị tán xạ phản hồi của kênh phân cực VH có giá trị âm, giá trị này phụ thuộc vào độ ẩm, cấu trúc bề mặt và độ điện lý. Do vậy, với khu vực càng nhiều thực vật thì mức giá trị tán xạ phản hồi càng cao. Với cơ sở đó, chỉ số RFI và NBCI có giá trị âm thể hiện cho mất rừng, giá trị âm càng cao thì thể hiện càng rõ sự biến mất của rừng. Nghiên cứu [32] xác định ngưỡng mất rừng với chỉ số NBCI < -37,9.

Cùng với nguyên lý về phản xạ và tán xạ phản hồi của ảnh, nghiên cứu này còn kết hợp với kiến thức thực tế về tình trạng mất rừng của khu vực, kết hợp các số liệu báo cáo, thống kê và quan sát ảnh có độ phân giải cao (PlanetScope) để xác định ngưỡng mất rừng, cụ thể như Bảng 2.

Bảng 2. Bảng ngưỡng mất rừng.

Chỉ số	Mất rừng	Rừng ổn định hoặc phát triển
KB	>30	<30
RFI	Từ - 80 đến -15	>-15
CBCI	Từ -80 đến -15	>-15

3. Kết quả và thảo luận

Với ngưỡng mất rừng đã được xác định ở mục 2.6 trên, các khoanh vi mất rừng được thể hiện đối với từng chỉ số là có những vị trí trùng nhau và những vị trí khác nhau. Bảng 3 thể hiện diện tích mất rừng đối với từng chỉ số. Trong đó, có 25 vị trí mất rừng trùng nhau trên cả 3 chỉ số, có 94 điểm mất rừng trùng nhau trên chỉ số KB và chỉ số NBCI và các điểm còn lại không khớp nhau trên các chỉ số. Như vậy, câu hỏi đặt ra là chỉ số nào có hiệu quả nhất trong quy trình giám sát mất rừng.

Để đánh giá hiệu quả của từng chỉ số đó, nghiên cứu đánh giá mức độ cạy của các vị trí và khoanh vi diện tích mất rừng trên từng ảnh chỉ số so với kết quả xác định mất rừng từ ảnh PlanetScope chụp ngày 07/3/2021, kết hợp khảo sát thực tế. Các điểm sử dụng trong đánh giá độ chính xác bao gồm 140 điểm trên ảnh PlanetScope cho đánh giá độ chính xác lần lượt của ảnh KB, RFI và NBCI. Bên cạnh đó, các khoanh vi mất rừng cũng được xác định trên ảnh PlanetScope để đánh giá độ tin cậy về phần trăm diện tích của các khoanh vi mất rừng được xác định trên ảnh chỉ số KB, RFI và NBCI. Bảng 3 là kết quả độ chính xác về điểm và phần trăm diện tích của việc xác định mất rừng.

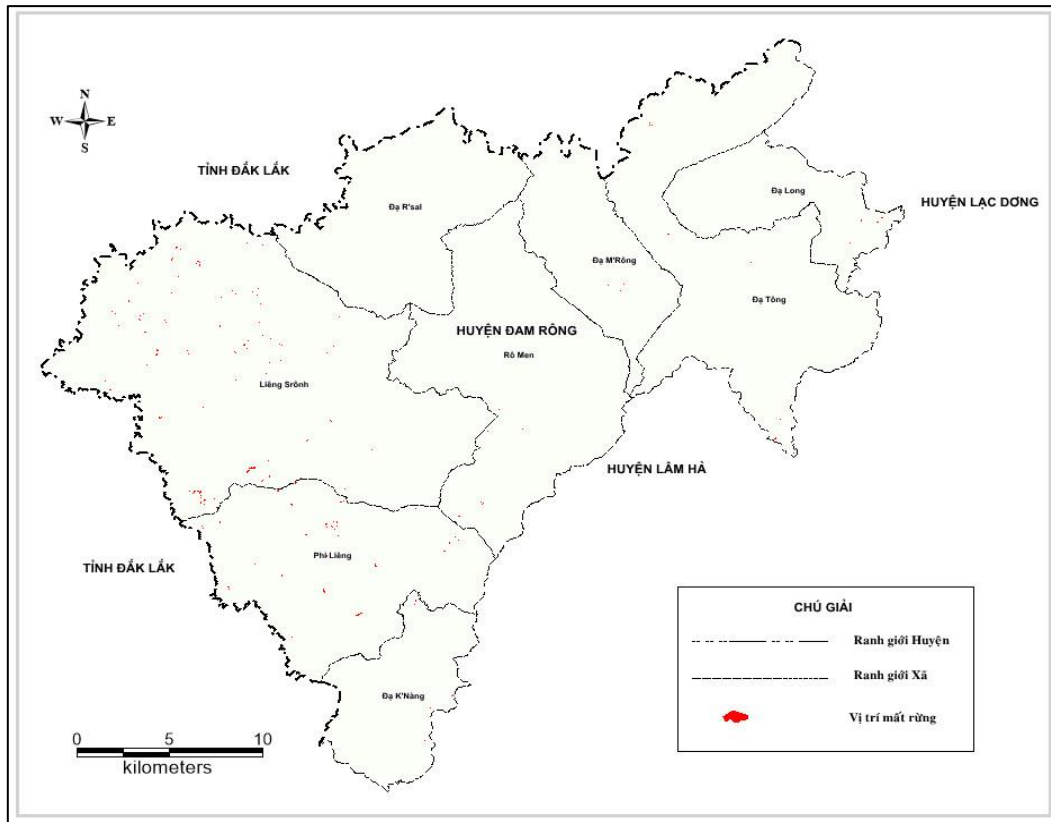
Bảng 3. Kết quả độ chính xác về mặt xác định vị trí mất rừng.

STT	Ảnh và chỉ số tương ứng	Số điểm chính xác phát hiện mất rừng	Độ chính xác theo diện tích (%)
1	Ảnh Sentinel-2, KB	94/138	55,83
2	Ảnh Sentinel-1, RFI	25/138	14,85
3	Kết hợp ảnh Sentinel-2, Ảnh Sentinel-1, NBCI	128/138	79,53

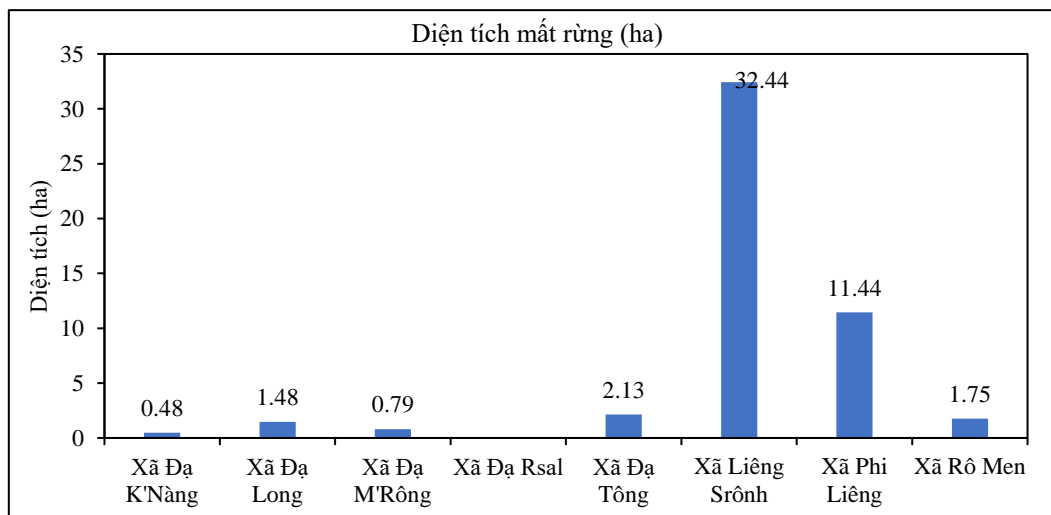
Bảng 3 chỉ ra rằng, chỉ số RFI tính từ ảnh Sentinel-1 có độ chính xác thấp nhất, chỉ đạt xấp xỉ 15%. Trong khi đó, chỉ số KB được tính từ ảnh Sentinel-2 có độ chính xác trung bình, đạt gần 56%. Độ chính xác cao nhất khi xác định diện tích mất rừng là chỉ số NBCI sử dụng ảnh kết hợp Sentinel-1 và Sentinel-2, lên tới 79,53%. Hình 7 là kết quả thể hiện các khoanh vi mất rừng được xác định từ chỉ số NCBI.

Tổng diện rừng bị mất trong giai đoạn 2021 so với 2020 ở huyện Đam Rông, tỉnh Lâm Đồng là 50,51 ha và phân bố ở các xã khác nhau (Hình 8). Trong đó, mất rừng ở xã Liêng Srônh chiếm diện tích lớn nhất, lên tới 64,22% diện tích mất rừng của toàn huyện. Tiếp đến là xã Đa Tông cũng bị mất rừng với diện tích tương đối lớn (11,44 ha), chiếm 22,65%. Trong khi đó, xã bị mất rừng với diện tích không đáng kể, chỉ khoảng 0,48 ha, chiếm chưa đến 1% diện tích mất rừng trên toàn khu vực (Hình 9). Như vậy, diện tích mất rừng tập trung chủ yếu

ở phía Tây của huyện, nơi có địa hình đồi núi chia cắt, phần lớn là diện tích rừng tự nhiên, lại là nơi tiếp giáp với tỉnh Đắk Lắk và Đắk Nông làm cho công tác quản lý và bảo vệ rừng còn gặp khó khăn. Trong khi đó, ở phía Đông huyện Đam Rông có Vườn quốc gia Bidoup - Núi Bà là cơ sở tốt trong việc bảo vệ rừng, giảm thiểu tối đa việc mất rừng và khai thác rừng bừa bãi.



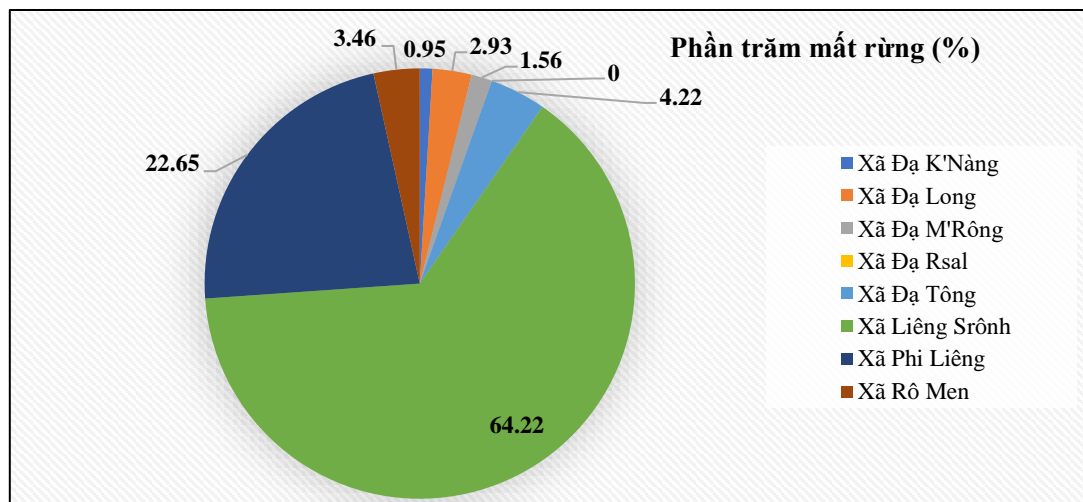
Hình 7. Phân bố các vị trí mất rừng huyện Đam Rông, Lâm Đồng chiết xuất từ chỉ số viễn thám kết hợp ảnh Sentinel-1 và Sentinel-2.



Hình 8. Biểu đồ thể hiện diện tích mất rừng (ha).

Nhìn chung, diện tích rừng ở Đam Rông bị mất do một số nguyên nhân như phá rừng để trồng cây ăn quả và cây nông nghiệp [33] và phá rừng lấy gỗ trái pháp luật. Để kiểm chứng kết quả nghiên cứu, Bảng 4 đã tổng hợp thống kê mất rừng năm 2020 và 2021 của UBND tỉnh Lâm Đồng và Chi cục Kiểm lâm Đam Rông, rừng của huyện bị mất lên tới 51,53 ha. Theo kế sử dụng đất của UBND tỉnh Lâm Đồng, năm 2020 huyện Đam Rông sẽ chuyển đổi

khoảng 14,43 ha diện tích đất rừng sang đất nông nghiệp và phi nông nghiệp. Trong đó phân bổ ở các xã Phi Liêng, Xã Liêng Srôngh, Xã Đạ Long, Xã Đạ Tông và xã Rô Men [34]. Bên cạnh đó, hiện tượng mất rừng còn do các hoạt động chặt gỗ trái phép làm mất 5,1ha rừng. Sang đến năm 2021, diện tích rừng bị chuyển đổi mục đích là 12 ha. Bên cạnh đó, thống kê cũng cho thấy diện tích rừng bị mất khoảng gần 10 ha.



Hình 9. Biểu đồ thể hiện phần trăm mất rừng (%).

Bảng 4. Bảng thống kê mất rừng năm 2020, 2021 của huyện Đam Rông, tỉnh Lâm Đồng [34-37].

TT	Năm 2020		Năm 2021		Tổng
Nguyên nhân mất rừng	Chuyển đổi sang đất nông nghiệp	Phá rừng trái phép	Chuyển đổi sang đất nông nghiệp	Phá rừng trái phép	
Diện tích (ha)	14,43	5,1	12	10	51,53

Tài nguyên rừng nói chung và rừng của huyện Đam Rông nói riêng có quan hệ sâu sắc tới yếu tố kinh tế - xã hội. Do vậy, việc giám sát hiện trạng mất rừng hàng năm đã được quan tâm, nhằm đề xuất những giải pháp hiệu quả trong giám sát và quản lý tài nguyên rừng. Việc thám được cho là giải pháp tốt trong giám sát hiện trạng rừng khi sử dụng dữ liệu đa thời gian [38].

4. Kết luận

Việc xác định mất rừng bằng việc kết hợp ảnh Sentinel-1 với ảnh Sentinel-2 đã trở thành phương pháp hiệu quả đối với những khu vực đồi núi và cao nguyên, nơi điều kiện thời tiết nhiều mây. Do vậy, phương pháp kết hợp ảnh Sentinel-1 và Sentinel-2 nên được sử dụng trong giám sát và bảo vệ rừng đối với các vùng đồi núi nói chung và vùng Tây Nguyên nói riêng. Bên cạnh đó, việc giám sát mất rừng trong tương lai cũng nên tận dụng các dữ liệu ảnh quang học và ảnh SAR miễn phí, mã nguồn mở và những ảnh có độ phân giải cao hơn như ảnh PlanetScope, ảnh Lidar.

Bên cạnh những đạt được của nghiên cứu, nghiên cứu còn hạn chế chưa xác định được việc mất rừng tính theo cây gỗ mà không có sự mất đi thảm thực phủ như cây gỗ nhỏ, cây bụi, cây dây leo. Để khắc phục được hạn chế này, các nghiên cứu sâu hơn ở tương lai cần phân ngưỡng các chỉ số ở nhiều cấp độ để có thể thấy được sự thay đổi của rừng như là: rừng phát triển, suy thoái rừng, rừng ổn định và mất rừng.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.V.P., P.T.L.; Thu thập, xử lý số liệu: N.V.P., P.T.L.; Phân tích kết quả: N.V.P., P.T.L.; Viết bản thảo bài báo: N.V.P., P.T.L.; Chính sửa bài báo: N.V.P., P.T.L.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Statista Research Department. Total forest area in Vietnam from 2011 to 2022. 2023.
2. Bank, T.W. Country Forest Note Vietnam. International Bank for Reconstruction and Development 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, 2019.
3. Blanc, L.; Gond, V.; Minh, D.H.T. Remote Sensing and Measuring Deforestation. *Land Surf. Remote Sens.* **2016**, 27–53.
4. FAO. Manual on deforestation, degradation, and fragmentation using remote sensing and GIS. 2007.
5. FAO. Assessing forest degradation, towards the development of globally applicable guidelines Working paper 177. <http://www.fao.org/3/a-i2479e.pdf>. 2011.
6. Tarazona, Y.; Zabala, A.; Pons, X.; Broquetas, A.; Nowosad, J.; Zurqani, H.A. Fusing Landsat and SAR Data for Mapping Tropical Deforestation through Machine Learning Classification and the PVts- β Non-Seasonal Detection Approach. *Can. J. Remote Sens.* **2021**, 47(5), 677–696.
7. Adarme, O.M.; Prieto, J.D.; Feitosa, R.Q.; De Almeida, C.A. Improving deforestation detection on tropical rainforests using Sentinel-1 data and convolutional neural networks. *Remote Sens.* **2022**, 14(14), 3290.
8. Sano, E.E.; Rizzoli, P.; Koyama, C.N.; Watanabe, M.; Adami, M.; Shimabukuro, Y.E.; Bayma, G.; Freitas, D.M. Comparative analysis of the global forest/non-forest maps derived from SAR and optical sensors. Case studies from Brazilian Amazon and Cerrado Biomes. *Remote Sens.* **2021**, 13(3), 367.
9. Asner, G.P.; Knapp, D.E.; Broadbent, E.N.; Oliveira, P.J.; Keller, M.; Silva, J.N. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science* **2005**, 310(5747), 480–482.
10. Souza, J.C.; Siqueira, J.; Sales, M.; Fonseca, A.; Ribeiro, J.; Numata, I.; Cochrane, M.; Barber, C.; Roberts, D.; Barlow, J. Ten-year landsat classification of deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon. *Remote Sens.* **2013**, 5(11), 5493–5513.
11. Miranda-Castro, W.; Barrios, R.A.; Guerrero, M.; Guzmán, K.; de Gorostizaga, S. Assessing forest cover loss using landsat images and GIS: A case study in Colombian protected area. *J. Sustainable For.* **2022**, 42(8), 831–847.
12. Borges, J.; Higginbottom, T.P.; Cain, B.; Gadiye, D.E.; Kisingo, A.; Jones, M.; Symeonakis, E.; Disney, M.; Levick, S. Landsat time series reveal forest loss and woody encroachment in the Ngorongoro Conservation Area, Tanzania. *Remote Sens. Ecol. Conserv.* **2022**, 8(6), 808–826.
13. Dangbo, F.A.; Gardi, O.; Adjonou, K.; Hlovor, A.K.D.; Blaser, J.; Kokou, K. An analytical assessment of forest cover changes over the last 30 Years in the semi-deciduous forest zone of Togo. *J. Horticult. For.* **2020**, 12(2), 70–83.
14. Hansen, M.C.; Potapov, P.V.; Moore, R.; Hancher, M.; Turubanova, S.A.; Tyukavina, A.; Thau, D.; Stehman, S.V.; Goetz, S.J.; Loveland, T.R.; Kommareddy, A.; Egorov, A.; Chini, L.; Justice, C.O.; Townshend, J.R. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science* **2013**, 342(6160), 850–853.
15. Fawzi, N.I.; Husna, V.N.; Helms, J.A. Measuring deforestation using remote sensing and its implication for conservation in Gunung Palung National Park, West Kalimantan, Indonesia. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2018**, 149, 012038.
16. Candra, D.S. Deforestation detection using multitemporal satellite images. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2020**, 500(1), 012037.
17. Verbesselt, J.; Zeileis, A.; Herold, M. Near real-time disturbance detection using satellite image time series. *Remote Sens. Environ.* **2012**, 123, 98–108.

18. Zhu, Z.; Woodcock, C.E. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* **2012**, *118*, 83–94.
19. Joshi, N.; Baumann, M.; Ehammer, A.; Fensholt, R.; Grogan, K.; Hostert, P.; Jepsen, M.; Kuemmerle, T.; Meyfroidt, P.; Mitchard, E.; Reiche, J.; Ryan, C.; Waske, B. A review of the application of optical and radar remote sensing data fusion to land use mapping and monitoring. *Remote Sens.* **2016**, *8*(1), 70.
20. Danklmayer, A.; Doring, B.J.; Schwerdt, M.; Chandra, M. Assessment of atmospheric propagation effects in SAR Images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **2009**, *47*(10), 3507–3518.
21. Watanabe, M.; C.N. Koyama; M. Hayashi; I. Nagatani, and M. Shimada. Early-Stage Deforestation Detection in the Tropics With L-band SAR. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2018, *11*(6), 2127–2133.
22. Ortega, M.X.; Feitosa, R.Q.; Bermudez, J.D.; Happ, P.N.; De Almeida, C.A. Comparison of optical and SAR data for deforestation mapping in the Amazon rainforest with fully convolutional networks. *Proceeding of the 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*. 2021, pp. 3769–3772.
23. Karaman, K.; Garnot, V.S.F.; Wegner, J.D. Deforestation detection in the Amazon with Sentinel-1 Sar Image Time Series. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* **2023**, *X-1/W1-2023*, 835–842.
24. Almeida-Filho, R.; Shimabukuro, Y.E.; Rosenqvist, A.; Sánchez, G.A. Using dual-polarized ALOS PALSAR data for detecting new fronts of deforestation in the Brazilian Amazônia. *Int. J. Remote Sens.* **2009**, *30*(14), 3735–3743.
25. Zeng, T.; Dong, X.; Quegan, S.; Hu, C.; Uryu, Y. Regional tropical deforestation detection using ALOS PALSAR 50 m mosaics in Riau province, Indonesia. *Electron. Lett.* **2014**, *50*(7), 547–549.
26. Thám, N.; Ba, L.H.H. Đánh giá điều kiện tự nhiên phục vụ phát triển Nông - Lâm nghiệp huyện Đam Rông, tỉnh Lâm Đồng. *Tạp chí Khoa học, Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế* **2019**, *3*(51), 152–159.
27. Bảo, T.Q.; Khang, L.N.; Doanh, L.S.; Thị, N.V.; Duẩn, P.V.; Oanh, T.L.K.; Chính, P.Q. Giải pháp phục hồi rừng trên đất lâm nghiệp hiện đang trồng cây nông nghiệp: trường hợp nghiên cứu điển hình tại huyện Di Linh, tỉnh Lâm Đồng. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp* **2021**, *6*, 81–91.
28. UBND huyện Đam Rông. Quyết định Phê duyệt kết quả theo dõi diễn biến rừng, đất lâm nghiệp và công bố hiện trạng rừng, đất lâm nghiệp năm 2021, Số /QĐ-UBND. 2022.
29. Anh, N.Đ.; Tuấn, V.A.; Hằng, N.T.; Bình, N.T. Ứng dụng kết hợp ảnh Sentinel-1 và tỷ số Radar Change Ratio trong nghiên cứu biến động diện tích rừng với khu vực thử nghiệm tại xã Quảng Sơn, huyện Đắk Glong - tỉnh Đắk Nông. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* **2019**, *41*, 57–64.
30. Thị, N.V.; Dương, N.Đ.; Bảo, T.Q. Quan hệ giữa tán xạ ngược của ảnh Radar Sentinel-1 với chỉ số thực vật NDVI của ảnh quang học Sentinel-2: trường hợp nghiên cứu cho đối tượng rừng Khộp tại tỉnh Đắk Lắk. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp* **2018**, *3*, 167–176.
31. Huy, N.Q.; Dương, K.T.; Tuấn, T.A.; Thị, N.V. Ứng dụng ảnh vệ tinh Landsat 8 để xây dựng bản đồ biến động rừng ở tỉnh Bắc Giang. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp* **2021**, *3*, 77–85.
32. Thị, N.V.; Bảo, T.Q.; Doanh, L.S.; Duẩn, P.V.; Hải, N.N.; Hòa, T.X. Nghiên cứu kết hợp ảnh vệ tinh quang học Sentinel-2 và Radar Sentinel-1 trong phát hiện mất rừng ở tỉnh Gia Lai. *Tạp chí Nông nghiệp và phát triển nông thôn* **2020**, *1*, 105–112.

33. Ban tuyên giáo Huyện ủy Đam Rông. Đam Rông giải tỏa dứt điểm diện tích rừng bị tái lấn chiếm. Báo cáo tổng hợp công tác báo chí, số 115-BC/BTGHU. 2022.
34. UBND tỉnh Lâm Đồng. Quyết định số 347/QĐ-UBND về việc phê duyệt kế hoạch sử dụng đất năm 2020 huyện Đam Rông, tỉnh Lâm Đồng. 2020.
35. Chi cục Kiểm lâm tỉnh Lâm Đồng. Thông báo số 26/TB-KL. Kết luận của Chi cục trưởng chi cục Kiểm lâm Lâm Đồng tại cuộc họp giao ban tháng 5 năm 2021. 2021.
36. Hạt Kiểm lâm Đam Rông. Báo cáo số 101/BC-KL về Kết quả kiểm tra, rà soát hiện trạng các vụ phá rừng, lấn chiếm đất lâm nghiệp xảy ra trên địa bàn huyện trong năm 2021 và 9 tháng đầu năm 2022. 2022.
37. Hạt Kiểm lâm Đam Rông. Báo cáo số 135/BC-KL về Kết quả kiểm tra, rà soát hiện trạng các vụ phá rừng xảy ra trên địa bàn huyện Đam Rông trong 11 tháng năm 2021. 2021.
38. UBND tỉnh Lâm Đồng. Quyết định số 372/QĐ-UBND về việc phê duyệt kế hoạch sử dụng đất năm 2021 huyện Đam Rông, tỉnh Lâm Đồng. 2021.
39. Masek, J.G.; Hayes, D.J.; Hughes, M.J.; Healey, S.P.; Turner, D.P. The role of remote sensing in process-scaling studies of managed forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.* **2015**, 355, 109–123.

Assessment of the effectiveness of Sentinel-1 and Sentinel-2 images forest lost detection: A case study in Dam Rong district, Lam Dong province

Nguyen Vinh Phu¹, Pham Thi Lan^{2*}

¹ Lam Dong Forest Protection and Development Fund (Lam Dong FPDF);
vinhphuqbvr@gmail.com

² Hanoi University of Mining and Geology; phamthilan@hmg.edu.vn

Abstract: Forest loss is a global challenge, impacting the earth's green lungs, and jeopardizing the habitats of various species. Therefore, monitoring forest loss is necessary to formulate strategic measures for forest protection in the future. of the paper utilizes NDVI, RFI, and NBCI indices calculated from Sentinel-1 and Sentinel-2 images to determine the extent of forest loss in 2021 compared to 2020. The NDVI index calculated from Sentinel-2 and the RFI index is calculated from the difference in backscatter values of forests for the VH polarization band in Sentinel-1 images. The NBCI index combines the NDVI with the VH band. The results indicate that the NBCI index achieves the highest accuracy in forest loss determination, reaching 79.53%. Meanwhile, the KB index - the difference between NDVI and RFI indices - achieves accuracies of 55.83% and 14.85% respectively. With the NBCI index, forest loss in the Dam Rong area is identified as 50.51 hectares. The effectiveness of combining Sentinel-1 and Sentinel-2 has provided guidance for managers towards a suitable solution in annual forest inventory.

Keywords: Forest loss; Sentinel-1; Sentinel-2.

Bài báo khoa học

Ứng dụng dữ liệu đa phổ Sentinel-2 trong thành lập bản đồ sinh vật đáy khu vực quần đảo Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu, Việt Nam

Nguyễn Quang Minh¹, Nguyễn Văn Trung^{2,3}, Lê Thị Thu Hà^{2,3*}

¹ Cục Bản đồ, Bộ tổng tham mưu, Bộ Quốc phòng; nguyenquangminh.sar@gmail.com

² Trường Đại học Mở - Địa chất; nguyenvantrung@humg.edu.vn;

lethithuha@humg.edu.vn

³ Nhóm nghiên cứu Công nghệ Địa tin học trong Khoa học Trái đất (GES), Trường Đại học Mở - Địa chất; nguyenvantrung@humg.edu.vn; lethithuha@humg.edu.vn

*Tác giả liên hệ: lethithuha@humg.edu.vn; Tel.: +84-983115967

Ban Biên tập nhận bài: 18/4/2024; Ngày phản biện xong: 22/5/2024; Ngày đăng bài: 25/10/2024

Tóm tắt: Quan trắc các rạn san hô và cỏ biển là một thách thức đặc biệt đối với công nghệ viễn thám do sự không đồng nhất của phản xạ phổ xảy ra ở các độ sâu khác nhau và các thành phần vật chất trong nước. Nghiên cứu này sử dụng các kỹ thuật xử lý dữ liệu đa phổ Sentinel-2 để thành lập bản đồ sinh vật đáy khu vực quần đảo Côn Đảo, đặc biệt là các rạn san hô và cỏ biển để phục vụ quản lý, giám sát các hiện tượng biến đổi của chúng trong bối cảnh nước biển ấm lên do biến đổi khí hậu. Các kỹ thuật loại trừ phản xạ phổ của tia sáng trên bề mặt nước, tính toán chỉ số độ sâu không đổi và phân loại các sinh vật đáy được sử dụng phân loại để thành lập bản đồ sinh vật đáy gồm rạn san hô và cỏ biển với độ chính xác tổng thể đạt 79,66% và hệ số kappa đạt được là 0,694. Sự phân bố của san hô, cỏ biển và cát biển phụ thuộc nhiều vào địa hình đáy biển khu vực nước nông và môi trường sống của hệ sinh thái dưới nước khu vực nghiên cứu. Kết quả của nghiên cứu này là tiền đề cho áp dụng dữ liệu đa phổ vệ tinh để nghiên cứu các sinh vật đáy ở vùng nước nông ven các đảo và bờ biển của nước ta.

Từ khóa: Bản đồ sinh vật đáy; Dữ liệu đa phổ Sentinel-2; Quần đảo Côn Đảo.

1. Giới thiệu

Các rạn san hô, một trong những hệ sinh thái đa dạng nhất trên Trái đất, đang bị suy giảm mạnh trên toàn cầu [1–3]. Hiện nay, gần một phần ba các loài cá biển sinh sống tại các rạn san hô, nơi đây cũng là chỗ cư trú, kiếm ăn và bãi đẻ của nhiều loài động thực vật nhiệt đới. ... [4, 5]. Ngoài những giá trị quan trọng về mặt sinh thái, chúng còn mang lại nhiều lợi ích kinh tế biển, hỗ trợ bảo vệ bờ biển bằng cách tạo các rào chắn, giảm thiểu rủi ro thiên tai và chống xói lở vùng ven biển [6, 7]. Các rạn san hô mang lại nhiều lợi ích cho con người và tự nhiên, nhưng diện tích và chất lượng của chúng đã suy giảm nghiêm trọng trên toàn cầu trong những thập kỷ gần đây do cả hoạt động của con người và yếu tố tự nhiên [1, 8]. Những nguyên nhân cơ bản gây ra sự suy giảm của các rạn san hô, bao gồm: biến đổi khí hậu, axit hóa đại dương, đánh bắt quá mức và khai thác quá mức các tài nguyên biển khác, gia tăng dòng chảy của đất, chất dinh dưỡng và ô nhiễm hóa chất từ đất liền [6, 9]. Nhằm tăng khả năng phục hồi các rạn san hô, cỏ biển và khả năng thích ứng của chúng, đòi hỏi cần có các chiến lược quản lý hiệu quả cần phải có sự giám sát trên tất cả các quy mô từ địa phương đến toàn cầu [10]. Mặc dù không chi tiết như khảo sát tại hiện trường, nhưng công nghệ viễn

thăm cung cấp một phương pháp quan trắc có giá trị, đặc biệt là ở quy mô lớn khi việc khảo sát trực tiếp sẽ rất tốn kém và khó thực hiện [11]. Bên cạnh đó, thực tế cho thấy nhiều rạn san hô nằm ở những vị trí xa xôi hoặc khó tiếp cận, vì vậy việc giám sát bằng viễn thám là một thành phần có giá trị trong bộ công cụ quản lý [12].

Công nghệ viễn thám cung cấp vô số công cụ có thể được sử dụng trong viễn thám vùng nước nông. Có các cảm biến chủ động và thụ động trên vệ tinh, trên không, trên tàu và các nền tảng dưới nước. Viễn thám LIDAR đã được sử dụng trong các nghiên cứu vùng nước nông ven biển, nghiên cứu [13] đã tạo ra các bản đồ cát, và cỏ biển có độ sâu không liên tục từ 0,8-4,3 m từ một đường bay LIDAR. Viễn thám LIDAR đã được sử dụng để mô tả đặc điểm vùng nước nông (< 30 m) để tạo ra các bản đồ môi trường sống của môi trường ven biển dưới triều [14–17]. Tuy nhiên, thiết bị LIDAR thường đắt hơn nhiều so với cảm biến thụ động, đòi hỏi nhiều nỗ lực hơn thiết bị thụ động để bay qua các khu vực có kích thước tương đương và do đó cũng phải thực hiện các chuyến bay lặp lại nếu cần tần suất vượt qua cao hơn [18]. Về cơ sở khoa học, các rạn san hô thường nằm ở giữa lớp phủ đất và đại dương. Chính vì vậy, các dữ liệu vệ tinh có sẵn thường đáp ứng những yêu cầu cụ thể. Dữ liệu Landsat MSS có sẵn miễn phí đã được sử dụng ở rạn san hô đáp ứng cho tiềm năng lập dự án bản đồ môi trường sống rạn san hô từ những năm 1970 [19–21]. Landsat 8 với độ phân giải bức xạ 12bit và dải màu xanh bổ sung ở bước sóng 443 nm mang lại sự thâm nhập trong vùng nước sâu [22, 23]. Vệ tinh SPOT cũng đã được sử dụng trong nghiên cứu, quan trắc các rạn san hô kể từ khi được phóng vào năm 1986 [24–26]. Các nghiên cứu so sánh cho thấy, ảnh vệ tinh SPOT có độ phân giải không gian tốt hơn, tuy nhiên vệ tinh SPOT chỉ có hai dải quang phổ so với ba dải của Landsat trong phần quang phổ sử dụng chiết xuất thông tin các đối tượng dưới mặt nước, do đó hiệu suất của Landsat TM, OLI trong lập bản đồ môi trường sống rạn san hô tốt hơn so với SPOT [27, 28].

Dữ liệu Sentinel 2 khác biệt đáng kể so với các dữ liệu đã thảo luận trước đó ở cả độ phân giải không gian và thời gian [18]. Độ phân giải không gian 10 m ở bốn dải nhìn thấy và cận hồng ngoại (NIR) nằm giữa dữ liệu đa phổ có độ phân giải không gian cao 2 m và dữ liệu đa phổ Landsat 8 ở 30 m. Việc chụp lặp lại sau 5 ngày của cặp vệ tinh Sentinel-2A và 2B cung cấp khả năng lựa chọn dữ liệu ít mây và có nắng. Phạm vi dữ liệu của Sentinel-2 là 290 km rộng hơn phạm vi ảnh của Landsat là 185 km mang lại lợi thế về tính đồng nhất của khu vực rộng hơn [29]. Trong mô phỏng phản xạ phổ ở độ phân giải 10 m trên sinh vật đáy tối các đặc điểm như san hô có giá trị phổ trên kênh B1 tương ứng quá cao, giá trị ở mức trung bình trên một diện tích lớn hơn (độ phân giải 60 m). Sau đó trong một phân tích độ sâu, những pixel này được dùng để ước tính sai số ở vùng nước sâu [30]. Với độ phân giải không gian cao hơn, MSI trên Sentinel-2 nên được coi là vệ tinh đo độ sâu và lập bản đồ đáy quan trọng; bằng cách bổ sung khả năng truy cập lại cùng một khu vực cứ sau 5 ngày, nó cũng phù hợp để theo dõi các thay đổi. Do đó, trong những năm gần đây, một số nghiên cứu đã được phát triển để thực hiện các nghiên cứu về vùng nước nông với dữ liệu đa phổ Sentinel 2, cả ở các hồ [30, 31], ở Biển Địa Trung Hải [32, 33] và ở các rạn san hô nhiệt đới [34, 35].

Trong phạm vi nghiên cứu này, tại Việt Nam hiện nay còn ít nghiên cứu quan tâm đến việc ứng dụng sự ưu việt của các loại dữ liệu viễn thám sẵn có trong quan trắc, giám sát và thành lập bản đồ sinh vật đáy cho các khu vực trên lãnh thổ Việt Nam. Nghiên cứu [36] đã sử dụng ảnh vệ tinh Landsat 7 TM và Landsat 8 OLI để tiến hành theo dõi hiện trạng và biến động của các hệ sinh thái các thảm cỏ biển tại đầm Lăng Cô, tỉnh Thừa Thiên Huế. Năm 2012, nghiên cứu [37] đã nghiên cứu các thảm cỏ tại vùng ven biển Việt Nam bằng cách thành lập bản đồ phân bố của thảm cỏ biển. Năm 2016, nghiên cứu [38] đã đánh giá sự biến động của thảm cỏ biển theo thời gian tại vịnh Cam Ranh, Việt Nam. Do đặc tính kỹ thuật của dữ liệu viễn thám về độ phân giải không gian, phổ và bức xạ nên các nghiên cứu có phạm vi giới hạn thường chỉ có thể chiết xuất được một loại sinh vật đáy biển, hoặc là cỏ biển, hoặc là san hô. Trong nghiên cứu này đối với dữ liệu đa phổ Sentinel-2 tập trung vào một số loại sinh vật bao gồm rạn san hô và cỏ biển.

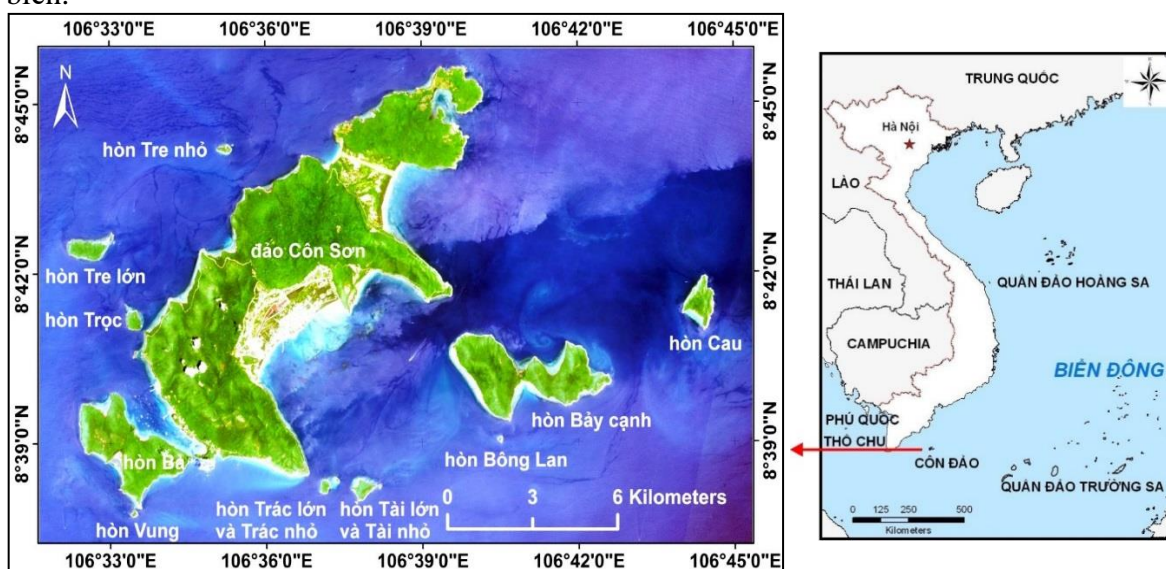
Mục tiêu của nghiên cứu này tập trung sử dụng các kỹ thuật xử lý dữ liệu đa phổ Sentinel-2 để thành lập bản đồ sinh vật đáy gồm san hô và cỏ biển, đặc biệt là các rạn san hô để phục vụ quản lý, giám sát các hiện tượng biến đổi của chúng trong bối cảnh nước biển ấm lên do biến đổi khí hậu. Các kỹ thuật loại trừ phản xạ phổ của tia sáng trên bề mặt nước, tính toán chỉ số độ sâu không đổi và phân loại các sinh vật đáy được áp dụng để thành lập bản đồ sinh vật đáy với sự kiểm chứng của các dữ liệu ảnh vệ tinh độ phân giải rất cao. Thuận lợi của dữ liệu đa phổ Sentinel-2 với độ phân giải không gian, độ phân giải phổ phù hợp và chế độ chụp lặp 5 ngày giúp đáp ứng được các điều kiện quan trắc sinh vật đáy cụ thể ở khu vực Côn Đảo.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu về khu vực thực nghiệm

Quần đảo Côn Đảo nằm cách đất liền gần nhất là 48 hải lý có kinh độ địa lý $106^{\circ}32'$ - $106^{\circ}45'$ Đông và vĩ độ địa lý $8^{\circ}37'$ - $8^{\circ}46'$ Bắc (Hình 1). Quần đảo gồm có 16 hòn đảo với tổng diện tích là 76 km^2 , trong đó đảo lớn nhất là đảo Côn Sơn có diện tích lớn nhất $51,52 \text{ km}^2$. Hướng địa hình của đảo chạy từ phía Tây Nam đến Đông Bắc bao gồm các đồi núi đá granite là vách che cho vùng vịnh ở giữa các hòn đảo. Sự giao nhau giữa luồng hải lưu ấm từ phía Nam và luồng hải lưu lạnh từ phía Bắc ở khu vực quần đảo đã tạo ra môi trường nhiệt độ nước biển từ $25,7^{\circ}\text{C}$ đến $29,2^{\circ}\text{C}$ thích hợp với điều kiện sống của san hô và cỏ biển [39].

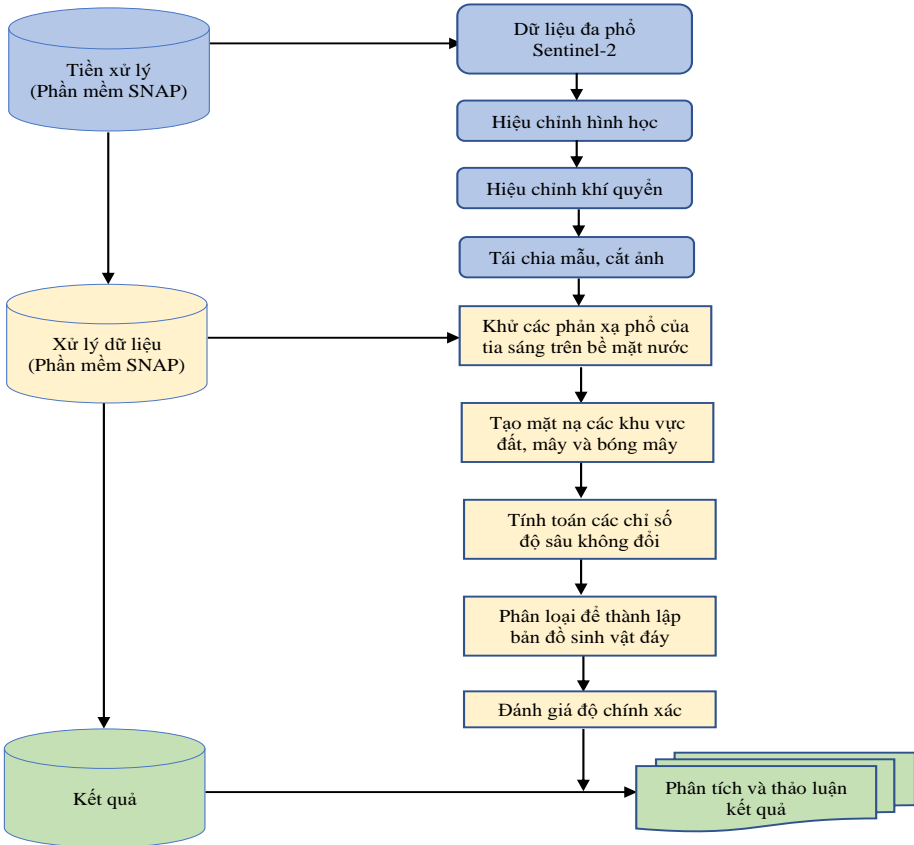
Vùng biển của quần đảo có 1.383 loài sinh vật biển, trong đó có 127 loài rong biển, 11 loài cỏ biển, 157 loài thực vật phù du, 115 loài động vật phù du và nhiều loài động vật dưới nước khác. Các rạn san hô nơi đây do 219 loài hợp thành và các loài cá, thú và bò sát có cuộc sống không tách rời các thảm cỏ biển tạo thành hệ sinh thái đặc trưng khu vực quần đảo Côn Đảo (<https://www.condaopark.com.vn/vn/?vnTRUST=mod:about>). Đây chính là lý do bài báo lựa chọn khu vực nghiên cứu. Tuy nhiên, dữ liệu vệ tinh phục vụ cho nghiên cứu các sinh vật đáy vẫn còn rất nhiều giới hạn do đặc tính vật lý của việc thu nhận dữ liệu, tầng khí quyển, các yếu tố khí tượng và thủy văn ở các vùng biển nước nông gần bờ. Chính vì vậy, bài báo chỉ tập trung nghiên cứu đối với hai loại sinh vật biển điển hình là rạn san hô và cỏ biển.



Hình 1. Tổ hợp màu tự nhiên (RGB=432) của ảnh Sentinel-2 chụp ngày 29-9-2023 khu vực quần đảo Côn Đảo, Bà Rịa - Vũng Tàu, Việt Nam.

2.2. Quy trình nghiên cứu

Quy trình tổng thể của nghiên cứu này bao gồm ba bước chính: tiền xử lý, xử lý dữ liệu và đánh giá kết quả phân loại và được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ quy trình tổng thể của nghiên cứu.

2.3. Số liệu sử dụng

Dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2 được chọn để làm khu vực nghiên cứu do dữ liệu ảnh vệ tinh này miễn phí có sẵn tại <https://scihub.copernicus.eu>with. Các thông tin kênh phổ của dữ liệu Sentinel-2 được đưa ra trong Bảng 1. Để định lượng cho phạm vi toàn cầu, một phân tích dựa trên việc chia ô lưới dữ liệu Sentinel-2 đã được tiến hành [40], trong đó danh sách tất cả các ô lưới 110 km × 110 km dữ liệu Sentinel-2 chứa các rạn san hô đã được tạo ra. Các dữ liệu còn thiếu sẽ được thu nhận bổ sung để cung cấp đầy đủ dữ liệu để giám sát rạn san hô trên toàn cầu.

Dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2 được thu nhận và xử lý ở mức độ 2A (tên sản phẩm: S2B_MSIL2A_20230929T030529_N0509_R075_T48PXQ_20230929T063909) đã được tham chiếu địa lý. Bộ dữ liệu được thu thập vào ngày 29 tháng 9 năm 2023 tương ứng cho tháng mùa mưa trong năm bao trùm khu vực nghiên cứu quần đảo Côn Đảo. Dữ liệu ảnh vệ tinh trong ngày đã chọn cung cấp rằng lượng mây che phủ rất ít và nằm ở khu vực đất trên quần đảo giúp cho việc quan trắc các sinh vật đáy ở các khu vực nước nông ven bờ được tốt nhất.

Bảng 1. Các kênh phổ của dữ liệu đa phổ Sentinel-2 [44].

Sentinel-2		
Kênh phổ	Bước sóng trung tâm (nm)	Độ phân giải (m)
B1 - Coastal aerosol	443	60
B2 - Blue (B)	490	10
B3 - Green (G)	560	10
B4 - Red (R)	665	10
B5 - Red edge (RE1)	705	20
B6 - Red edge (RE2)	740	20
B7 - Near infrared narrow1 (NIRn1)	783	20
B8 - Near infrared (NIR)	842	10
B8A - Near infrared narrow2 (NIRn2)	865	20

Sentinel-2		
Kênh phổ	Bước sóng trung tâm (nm)	Độ phân giải (m)
B9 - Water vapor	945	60
B10 - SWIR Cirrus	1375	60
B11 - Shortwave infrared (SWIR1)	1610	20
B12 - Shortwave infrared (SWIR2)	2190	20

2.4. Phương pháp nghiên cứu

2.4.1. Khử các phản xạ phổ của tia sáng trên bề mặt nước (Deglint)

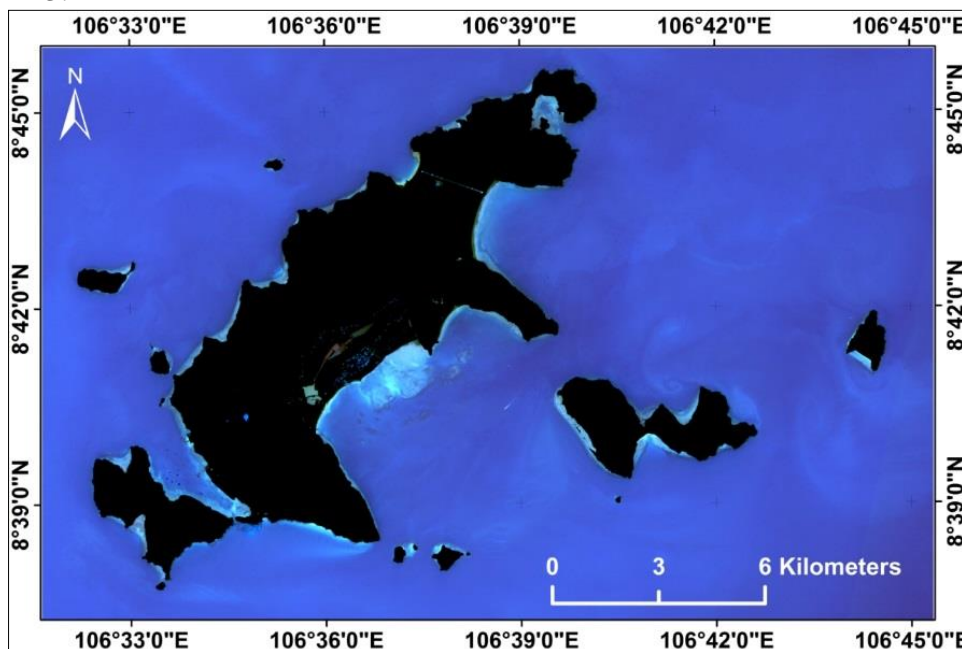
Các phản xạ phổ của tia sáng mặt trời là một hiện tượng phổ biến trong ảnh vệ tinh để cập đến sự phản chiếu của tia sáng mặt trời trên bề mặt nước. Độ phản xạ từ bề mặt nước có thể khó quan sát do sự phản xạ của ánh sáng mặt trời trực tiếp trên bề mặt phân cách giữa không khí và nước theo hướng vệ tinh [18]. Dữ liệu đa phổ của vệ tinh Sentinel-2 dễ bị xảy ra các phản xạ phổ của tia sáng mặt trời [30]. Khi có phản xạ phổ của tia sáng mặt trời, chúng ta cần áp dụng thuật toán loại bỏ phổ phản xạ này để có thể quan sát được đáy biển nhằm mục đích tăng độ chính xác của kết quả bản đồ sinh vật đáy từ dữ liệu ảnh vệ tinh.

Phương pháp loại bỏ các phản xạ phổ của tia sáng mặt trời cho dữ liệu vệ tinh có độ phân giải cao áp dụng cho các vùng ven biển. Thuật toán được phát triển trong công cụ Sen2Coral bởi [41]. Mặc dù thuật toán cho kết quả khá tốt nhưng nên sử dụng dữ liệu có các phản xạ phổ của tia sáng tối thiểu.

2.4.2. Tạo mặt nạ các khu vực đất, mây và bóng mây

Một bước tiền xử lý cần thiết khác là tạo mặt nạ che phủ đất, đỉnh bọt biển trên sóng, mây và bóng mây. Ba cái đầu tiên đề cập đến các đặc trưng độ sáng có thể được xác định dựa vào các bước sóng hồng ngoại gần (B8 - NIR). Kênh phổ này không xâm nhập vào nước nên sau khi khử phản xạ phổ của tia sáng các vùng nước trong rất tối. Mây, đỉnh bọt biển trên sóng và đất thường có nhiệt độ cao phản xạ trong NIR, do đó chúng ta có thể đặt ngưỡng để tạo mặt nạ để che chúng.

Tuy nhiên, mặt nạ này không thể che các đặc điểm tối như bóng mây hoặc bóng địa hình. Các đặc trưng tối có thể được phân định khi sử dụng ngưỡng cho kênh phổ B2 để tạo mặt nạ bổ sung. Kết quả của quá trình xử lý loại bỏ các phản xạ phổ của tia sáng mặt trời trên bề mặt nước và tạo mặt nạ các khu vực đất, đỉnh bọt biển trên sóng, mây và bóng mây được đưa ra trong Hình 3.



Hình 3. Tổ hợp màu tự nhiên (RGB=432) của ảnh Sentinel-2 sau khi Deglint và tạo mặt nạ (màu đen).

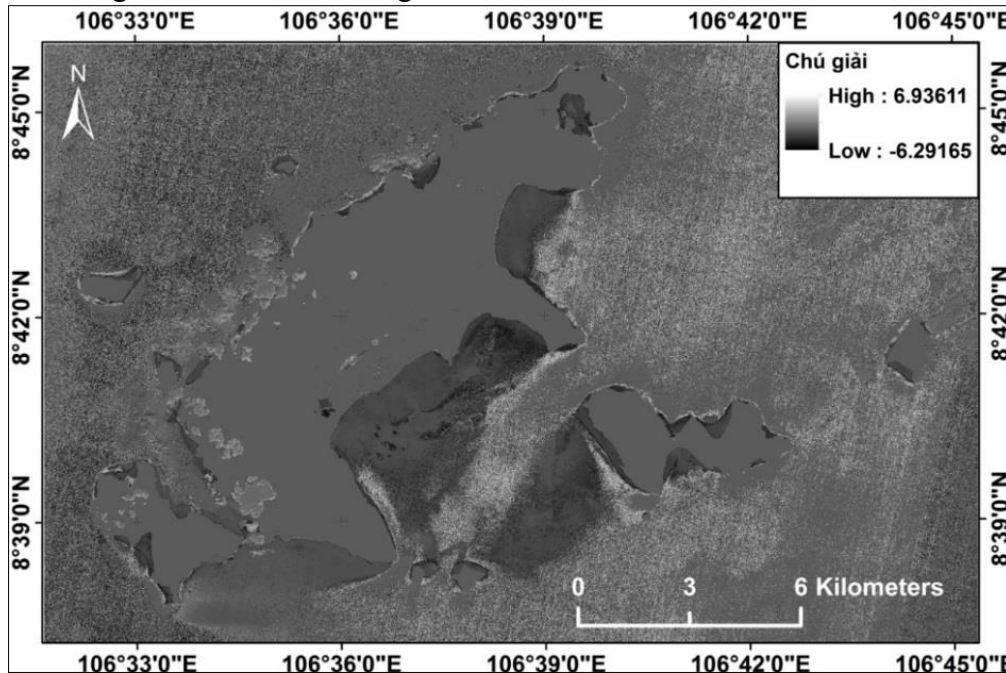
2.4.3. Tính toán các chỉ số độ sâu không đổi

Việc tính toán các chỉ số độ sâu không đổi là bước hiệu chỉnh cột nước rất hữu ích của quá trình xử lý dữ liệu để phân loại sinh vật đáy. Việc phát triển công cụ Sen2Coral dựa theo [42]. Dựa vào cơ sở của sự suy giảm của độ phản xạ xấp xỉ theo hàm mũ nghịch đảo với độ sâu của nước, do đó sự biến đổi:

$$X_i = -\ln(R_i - R_i^{\text{deep}}) \quad (1)$$

Xấp xỉ tuyến tính hóa ảnh hưởng của độ sâu lên hệ số phản xạ, R_i là độ phản xạ pixel trong kênh phổ i và R_i^{deep} là độ phản xạ nước sâu trong kênh phổ i đó. Biểu đồ các giá trị pixel của hai biến đổi các kênh phổ trên một loại sinh vật đáy có hệ số phản xạ không đổi nhưng ở các độ sâu khác nhau sẽ nằm trên một đường thẳng.

Để tính các chỉ số độ sâu không đổi, chúng ta cần chọn hai kênh phổ có khả năng xuyên qua nước để quan sát các đặc trưng dưới bề mặt đáy cần quan tâm. Đối với Sentinel-2, các kênh phổ B1-B3 là hữu ích nhất, mặc dù các kênh phổ B1-B5 có thể đáp ứng điều kiện. Chúng ta không cần biết độ suy giảm nước riêng lẻ các hệ số trong hai kênh phổ đầu vào đã chọn, nhưng chúng ta cần biết tỷ lệ của chúng. Điều này có thể được tính toán từ các pixel mẫu trên cùng loại đáy ở các độ sâu khác nhau. Kết quả của quá trình xử lý tính toán các chỉ số độ sâu không đổi được đưa ra trong Hình 4.



Hình 4. Chỉ số độ sâu không đổi cho vùng biển tính từ dữ liệu đa phổ Sentinel-2.

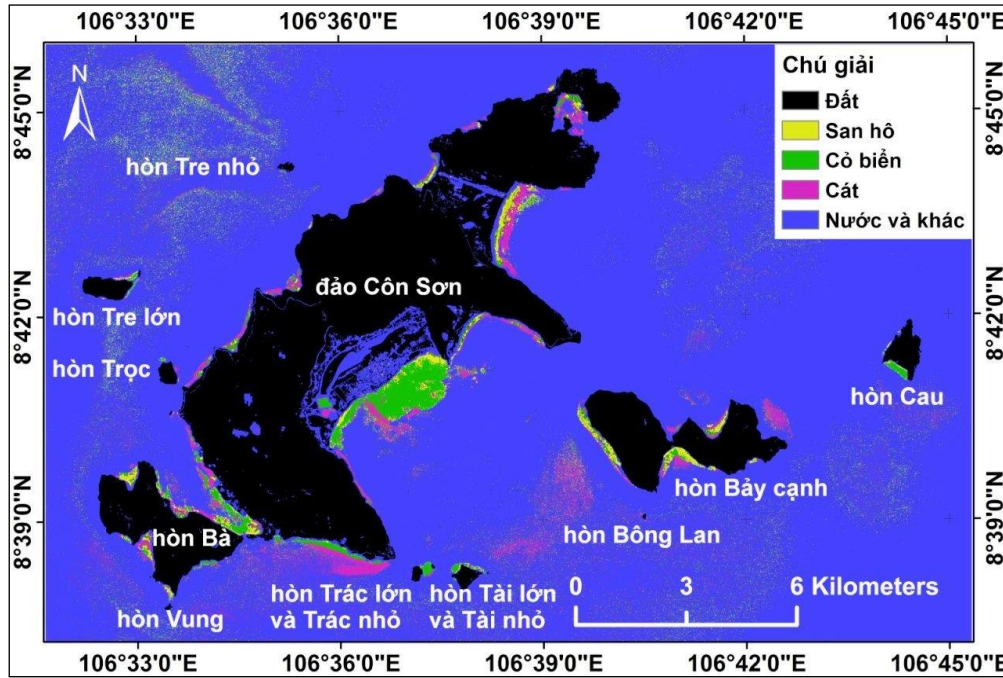
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả phân loại trên ảnh vệ tinh đa phổ Sentinel-2 để thành lập bản đồ sinh vật đáy khu vực quần đảo Côn Đảo, Việt Nam

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp phân loại xác suất cực đại để phân loại thành các lớp gồm: san hô, cỏ biển, cát ở khu vực nước nông ven bờ từ kết quả bản đồ chỉ số độ sâu không đổi với các vùng mẫu lấy từ các dữ liệu vệ tinh độ phân giải siêu cao như Ikonos hoặc Worldview 2. Các lớp đất trên đảo hoặc vùng nước sâu cũng được phân thành lớp riêng biệt để tạo thành bản đồ sinh vật đáy trong Hình 5.

Dựa trên giá trị diện tích các sinh vật đáy chiết tách từ trong Bảng 2, nghiên cứu cho thấy diện tích rạn san hô là 5,72 km², chiếm khoảng 24,51% tổng diện tích, diện tích lớp cỏ

biển lớn nhất 9,06 km², chiếm khoảng 38,82% tổng diện tích. Phần còn lại là diện tích lớp cát 8,56 km², chiếm khoảng 36,67% tổng diện tích các sinh vật đáy ở khu vực nghiên cứu.



Hình 5. Kết quả phân loại các sinh vật đáy cho vùng biển nông chiết tách từ dữ liệu đa phổ Sentinel-2 khu vực Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu.

Bảng 2. Diện tích các sinh vật đáy cho vùng biển chiết tách từ dữ liệu đa phổ Sentinel-2.

Diện tích san hô		Diện tích cỏ biển		Diện tích cát		Tổng diện tích	
Diện tích (km ²)	Diện tích (%)	Diện tích (km ²)	Diện tích (%)	Diện tích (km ²)	Diện tích (%)	Diện tích (km ²)	Diện tích (%)
5,72	24,51	9,06	38,82	8,56	36,67	23,34	100

3.2. Đánh giá độ chính xác

Việc đánh giá độ chính xác khi phân loại các sinh vật đáy từ kết quả tính toán các chỉ số độ sâu không đòi hỏi cần có các dữ liệu kiểm chứng [38]. Do đó, việc đánh giá độ chính xác được thực hiện bằng cách sử dụng phương pháp lấy mẫu ngẫu nhiên cần ít nhất 50 điểm dành cho mỗi lớp; 231 điểm ngẫu nhiên được phân phối giữa các lớp sinh vật đáy. Ngoài ra, sử dụng công cụ miễn phí Google Earth lấy các ảnh chụp cùng ngày có độ phân giải cao làm dữ liệu tham khảo. Sau đó, ma trận sai số được tính toán là kết quả của việc đánh giá độ chính xác quá trình phân loại bao gồm: độ chính xác tổng thể và hệ số Kappa, độ chính xác sản xuất (PA), và độ chính xác sử dụng (UA) [43]. Các công thức tính toán cho các loại độ chính xác được đưa ra cụ thể sau đây.

Độ chính xác tổng thể được xác định như sau:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^k p_{ii}}{N} \quad (2)$$

Hệ số Kappa được xác định như sau:

$$Kappa = \frac{p_0 - p_c}{1 - p_c} \quad (3)$$

Độ chính xác sản xuất (PA) và độ chính xác sử dụng (UA) được tính toán như sau:

$$PA = \frac{p_{ii}}{\sum_{i=1}^k p_{i+}} \quad (4)$$

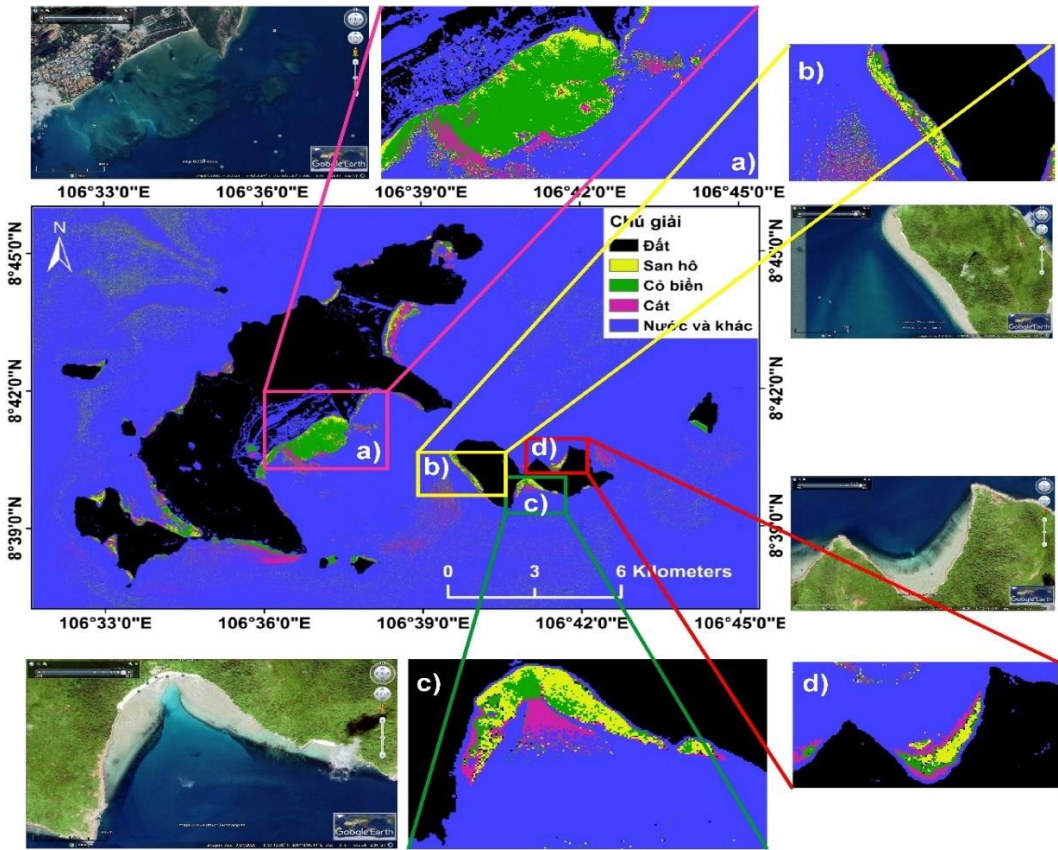
$$UA = \frac{P_{ii}}{\sum_{j=1}^k P_{+j}} \tag{5}$$

Trong đó $p_0 = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ii}}{N}$; $p_c = \frac{\sum_{i,j=1}^k P_{i+P_{+j}}}{N}$; p_{ii} là các phần tử trong đường chéo chính của ma trận sai số; p_{i+} và p_{+j} là các phần tử đối xứng qua đường chéo chính của ma trận sai số; N là tổng số hàng và cột của ma trận sai số.

Ma trận sai số và các kết quả các loại độ chính xác được trình bày trong Bảng 3 cho thấy lớp rạn san hô có độ chính xác sản xuất 79,80% và độ chính xác sử dụng 81,44%. Độ chính xác tổng thể đạt 79,66%, hệ số kappa đạt được là 0,694 tương ứng. Độ chính xác của lớp cỏ biển thấp hơn độ chính xác lớp san hô do diện tích bao phủ của lớp này lớn hơn lớp san hô. Kết quả độ chính xác đạt được thể hiện trong Bảng 3 do có sự phân loại nhầm lẫn 12 mẫu của lớp san hô sang lớp cỏ biển và phân loại bỏ sót 13 mẫu của lớp cát thành lớp san hô. Mặc dù đã lựa chọn các mẫu cho cả ba lớp có tính khác biệt về đặc trưng, nhưng sự nhầm lẫn và bỏ sót trong quá trình phân loại là không thể tránh khỏi do sự phân biệt phổ giữa các sinh vật đáy không rõ rệt.

Bảng 3. Ma trận sai số kết quả phân loại các sinh vật đáy từ đa chỉ số phổ của ảnh Sentinel-2.

Mẫu	San hô	Cỏ biển	Cát	Tổng hàng	Độ chính xác sử dụng (UA)
San hô	79	12	6	97	81,44%
Cỏ biển	7	68	11	86	79,07%
Cát	13	10	84	107	78,50%
Tổng cột	99	90	101	290	
Độ chính xác sản xuất (PA)	79,80%	75,56%	83,17%		
Độ chính xác tổng thể (OA)	79,66%				
Kappa	0,694				



Hình 6. Kết quả phân loại các sinh vật đáy và dữ liệu có độ phân giải siêu cao.

Các kết quả phân loại các sinh vật đáy và dữ liệu vệ tinh có độ phân giải siêu cao được minh họa trong Hình 6. Đối với khu vực bờ biển có dạng thẳng kéo dài và có địa hình đáy thoải cho thấy sự phát triển của cỏ biển tập trung phổ biến ở khu vực nước nông nhất và có bề mặt đáy tương đối bằng phẳng và lớp cát biển thường bao quanh khu vực cỏ biển như trong Hình 6a. Tuy nhiên, đối với địa hình dốc hơn, sự xuất hiện nhiều rạn san hô nhiều hơn xen lẫn với cát biển thay vì cỏ biển kéo dài dọc theo vùng nước nông trong Hình 6b. Đặc biệt ở phía Tây Nam của Hình 6b có xuất hiện khu vực cát xen lẫn san hô ở khu vực xa bờ hơn cho thấy khả năng xuyên thấu qua nước biển của một số kênh phổ vệ tinh Sentinel-2.

Đối với khu vực bờ biển có dạng lõm vào sâu, khu vực có rạn san hô dày đặc xen lẫn với cỏ biển xuất hiện ở vùng nước nông có độ dốc lớn hơn và khu vực cát biển ở vùng đáy bằng phẳng và độ sâu lớn hơn được nhận biết trong Hình 6c. Rạn san hô có xu hướng ở gần bờ và xen lẫn với cỏ biển tạo thành hệ sinh thái chủ yếu của sinh vật đáy ở vùng biển có đáy dốc, cát biển thường phân bố ở các khu vực đáy biển có địa hình tương đối bằng phẳng ở gần bờ nhất hoặc ở khu vực nước sâu nhất như trong Hình 6d.

Kết quả của nghiên cứu này sử dụng dữ liệu đa phổ Sentinel-2 có độ phân giải không gian cao hơn dữ liệu đa phổ Landsat nên đã phân loại được ba loại đối tượng đáy biển gồm rạn san hô, cỏ biển và cát. Đây cũng là kết quả đầu tiên sử dụng dữ liệu đa phổ vệ tinh Sentinel-2 cho nghiên cứu quan trắc sinh vật đáy ở khu vực quần đảo Côn Đảo.

4. Kết luận

Quần đảo Côn Đảo đặc trưng bởi khí hậu á xích đạo, nơi giao nhau của cả hải lưu ấm và hải lưu lạnh nên đã tạo ra một hệ sinh thái sinh vật biển đa dạng, đặc biệt là các sinh vật đáy biển như san hô và cỏ biển. Mục tiêu chính của công việc nghiên cứu này là sử dụng các phương pháp và kỹ thuật xử lý dữ liệu đa phổ Sentinel-2 bao gồm khử phản xạ phổ của các tia sáng mặt trời trên mặt biển, tính toán các chỉ số độ sâu không đổi để hiệu chỉnh cột nước và phân loại các sinh vật biển. Độ chính xác tổng thể của kết quả phân loại các sinh vật đáy đạt 79,66%, hệ số kappa đạt được là 0,694 tương ứng. Trong đó, lớp rạn san hô có độ chính xác sản xuất 79,80% và độ chính xác sử dụng 81,44%.

Những kết quả của bài báo cung cấp sự áp dụng dữ liệu đa phổ Sentinel-2 rất hữu ích để xác định các sinh vật đáy bao gồm san hô và cỏ biển thông qua khả năng xuyên thấu nước biển của một số kênh phổ. Vì vậy, việc lập kế hoạch có thể nhanh chóng để giám sát rạn san hô và ra quyết định khi xảy ra các hiện tượng thay đổi tiêu cực đối với rạn san hô do sự ấm lên của nước biển trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Quy trình thực nghiệm có thể áp dụng cho các khu vực các đảo, quần đảo trên biển Đông nhưng cần có các khảo sát cụ thể điều kiện về hệ sinh thái đáy biển ở từng khu vực để có các điều chỉnh phù hợp nhằm đạt độ chính xác tốt nhất.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.Q.M., N.V.T., L.T.T.H.; Xử lý số liệu: N.Q.M., N.V.T.; Viết bản thảo bài báo: N.Q.M., L.T.T.H.; Chỉnh sửa bài báo: N.V.T., L.T.T.H.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Pandolfi, J.M.; Bradbury, R.H.; Sala, E.; Hughes, T.P.; Bjorndal, K.A.; Cooke, R.G.; McArdle, D.; McClenachan, L.; Newman, M.J.H.; Paredes, G. Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science* **2003**, *301*, 955–958.
2. Bellwood, D.R.; Hughes, T.P.; Folke, S.; Nyström, M. Confronting the coral reef crisis. *Nature* **2004**, *429*, 827–833.

3. Hoegh-Guldberg, O.; Mumby, P.J.; Hooten, A.J.; Steneck, R.S.; Greenfield, P.; Gomez, E. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* **2007**, *318*, 1737–1742.
4. Moberg, F.; Folke, C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecol. Econ.* **1999**, *29*(2), 215–233.
5. Burke, L.; Reyntar, K.; Spalding, M.; Perry A. Reefs at risk revisited, World Resources Institute, 2011.
6. Costanza, C.; Folke R. Valuing ecosystem services with efficiency, fairness and sustainability as goals, Island press, 1997.
7. Bryant, M.D.; Burke, L.; McManus, J.W.; Spalding, M.D. Reefs at risk: a map-based indicator of threats to the world's coral reefs. World Resources Institute, 1998. Available online: <https://www.worldfishcenter.org/>.
8. Cesar, H.L.; Burke, L.; Pet-Soede, L. The economics of worldwide coral reef degradation. International Coral Reef Action Network, 2003.
9. Costanza, R.; d'Arge, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill, R.V.; Paruelo, J.; Raskin, R.G.; Sutton, P.; van den Belt, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* **1997**, *387*, 253–260.
10. Giardino, C.; Bresciani, M.; Fava, F.; Matta, E.; Brando, V.E.; Colombo, R. Mapping submerged habitats and mangroves of Lampi Island Marine National Park (Myanmar) from in situ and satellite observations. *Remote Sens.* **2016**, *8*, 2. <https://doi.org/10.3390/rs8010002>.
11. Hedley, J.D.; Russell, B.; Randolph, K.; Dierssen, H. A physics-based method for the remote sensing of seagrasses. *Remote Sens. Environ.* **2016a**, *174*, 134–147.
12. Hedley, J.D.; Roelfsema, C.M.; Chollett, I.; Harborne, A.R.; Heron, S.F.; Weeks, S.; Skirving, W.J.; Strong, A.E.; Eakin, C.M.; Christensen, T.R.L.; Ticzon, V.; Bejerano, S.; Mumby, P.J. Remote sensing of coral reefs for monitoring and management: a review. *Remote Sens.* **2016b**, *8*, 118–157.
13. Wang, C.K.; Philpot, W.D. Using airborne bathymetric lidar to detect bottom type variation in shallow waters. *Remote Sens. Environ.* **2007**, *106*(1), 123–135.
14. Eren, F.; Pe'eri, S.; Rzhannov, Y.; Ward, L. Bottom characterization by using airborne lidar bathymetry (ALB) waveform features obtained from bottom return residual analysis. *Remote Sens. Environ.* **2018**, *206*, 260–274.
15. Zavallas, R.; Ierodiaconou, D.; Ryan, D.; Ratray, A.; Monk, J. Habitat classification of temperate marine macroalgal communities using bathymetric LiDAR. *Remote Sens.* **2014**, *6*(3), 2154–2175.
16. Wang, L.; Liu, H.X.; Su, H.B.; Wang, J. Bathymetry retrieval from optical images with spatially distributed support vector machines. *GISScience Remote Sens.* **2019**, *56*, 232–337.
17. Tonina, D.; McKean, J.A.; Benjankar, R.M.; Wright, C.W.; Goode, J.R.; Chen, Q.W.; Reeder, W.J.; Carmichael, R.A.; Edmondson, M.R. Mapping river bathymetries: evaluating topo bathymetric LiDAR survey. *Earth Surf. Process. Landf.* **2019**, *44*, 507–520.
18. Tiit, K.; John, H.; Claudia, G.; Chris R.; Vittorio E. Remote sensing of shallow waters - A 50year retrospective and future directions. *Remote Sens. Environ.* **2020**, *240*, 111619.
19. Smith, V.E.; Rogers, R.H.; Reed, L.E. Automated mapping and inventory of Great Barrier Reef zonation with Landsat data. Proceeding of the Ocean 75 Conference Record. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, New York, 1975.
20. Andréfouët, S.; Muller-Karger, F.E.; Robinson, J.A.; Kranenburg, C.J.; Torres-Pulliza, D.; Spraggins, S.; Murch, B. Global assessment of modern coral reef extent and diversity for regional science and management applications: A view from space. Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium, Okinawa, Japan, 2004.
21. Palandro, D.A.; Andréfouët, S.; Hu, C.; Hallock, P.; Muller-Karger, F.; Dustan, P.; Callahan, M.K.; Kranenburg, C.; Beaver, C.R. Quantification of two decades of shallow-

- water coral reef habitat decline in the Florida Keys National Marine Sanctuary using Landsat data (1984–2002). *Remote Sens. Environ.* **2008**, 112, 3388–3399.
22. El-Askary, H.; Abd El-Mawla, S.H.; Li, J., El-Hattab, M.M.; El-Raey, M. Change detection of coral reef habitat using Landsat-5 TM, Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI data in the Red Sea (Hurghada, Egypt). *Int. J. Remote Sens.* **2014**, 35, 2327–2346.
23. Giardino, C.; Bresciani, M.; Fava, F.; Matta, E.; Brando, V.E.; Colombo, R. Mapping submerged habitats and mangroves of Lampi Island Marine National Park (Myanmar) from in situ and satellite observations. *Remote Sens.* **2016**, 8, 13.
24. Bour, W. SPOT images for a coral reef mapping in New Caledonia. A fruitful approach for classic and new topics. Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium, Australia, 1988, 22, 445–448.
25. Bour, W.; Loubersac, L.; Rual, P. Thematic mapping of reefs by processing of simulated SPOT satellite data: application to the *Trochus niloticus* biotope on Tetembia Reef (New Caledonia). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **1986**, 34, 243–249.
26. Mumby, P.J.; Baker, M.A.; Raines, P.S.; Ridley, J.M.; Phillips, A.T. The potential of SPOT panchromatic imagery as a tool for mapping coral reefs. Proceeding of the Second Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments. New Orleans, USA, 1994.
27. Mumby, P.J.; Green, E.P.; Edwards, A.J.; Clark, C.D. Measurement of seagrass standing crop using satellite and digital airborne remote sensing. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **1997a**, 159, 51–60.
28. Mumby, P.J.; Green, E.P.; Edwards, A.J.; Clark, C.D. Coral reef habitat-mapping: how much detail can remote sensing provide? *Mar. Biol.* **1997b**, 130, 193–202.
29. Roy, D.P.; Li, J.; Zhang, H.K.; Yan, L.; Huang, H.; Li, Z. Examination of sentinel-2A multi-spectral instrument (MSI) reflectance anisotropy and the suitability of a general method to normalize MSI reflectance to nadir BRDF adjusted reflectance. *Remote Sens. Environ.* **2017**, 199, 25–38.
30. Hedley, J.D.; Roelfsema, C.; Koetz, B.; Phinn, S. Capability of the sentinel 2 mission for tropical coral reef mapping and coral bleaching detection. *Remote Sens. Environ.* **2012**, 120, 145–155.
31. Dörnhöfer, K.; Göritz, A.; Gege, P.; Pflug, B.; Oppelt, N. Water constituents and water depth retrieval from Sentinel-2A—A first evaluation in an oligotrophic lake. *Remote Sens.* **2016**, 8(11), 941.
32. Fritz, C.; Schneider, T.; Geist, J. Seasonal variation in spectral response of submerged aquatic macrophytes: A case study at Lake Starnberg (Germany). *Water* **2017**, 9, 527.
33. Fritz, C.; Kuhwald, K.; Schneider, T.; Geist, J.; Oppelt, N. Sentinel-2 for mapping the spatio-temporal development of submerged aquatic vegetation at Lake Starnberg (Germany). *J. Limnol.* **2019**, 78(1), 71–91.
34. Traganos, D.; Reinartz, P. Mapping Mediterranean seagrasses with Sentinel-2 imagery. *Mar. Pollut. Bull.* **2018**, 134, 197–209.
35. Traganos, D.; Aggarwal, B.; Poursanidis, D.; Topouzelis, K.; Chrysoulakis, N.; Reinartz, P. Towards global-scale seagrass mapping and monitoring using Sentinel-2 on Google Earth Engine: the case study of the Aegean and Ionian seas. *Remote Sens.* **2018**, 10(8), 1227.
36. Hoàng, C.T.; Nguyễn, H.C.T.; Nguyễn, T.U. Hiện trạng và biến động thảm cỏ biển ở đầm Lăng Cô tỉnh Thừa Thiên Huế giai đoạn 2001–2020. *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn* **2020**, 129(3D), 81–97.
37. Cao, V.L.; Đàm, Đ.T.; Nguyễn, Đ.T.; Nguyễn, V.Q. Thành phần loài và phân bố của cỏ biển tại đầm Nại - Ninh Thuận. *Tuyên tập Hội nghị Khoa học toàn quốc về sinh học biển và phát triển bền vững lần thứ II*, 2013, 131–137.
38. Chen, C.F.; Lau, V.K.; Chang, N.B.; Nguyen, T.S.; Tong, P.H.T.; Chiang, S.H. multi-temporal change detection of seagrass beds using integrated Landsat TM/ETM+/OLI

- imageries in Cam Ranh Bay, Vietnam. *Ecol. Inf.* **2016**, 35, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.07.005>.
39. Trần, Đ.T.; Lê, Đ.A.; Nguyễn, H.C.; Trần, Đ.L.; Nguyễn, V.Q.; Tạ, H.P. *Biển đảo Việt Nam - Tài nguyên vị thế và những kì quan địa chất, sinh thái tiêu biểu*. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, 2012.
 40. SUHET. Sentinel-2 User Handbook, Issue 1 Revision 2. European Space Agency. 2015. Available online: <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>.
 41. Hedley, J.D.; Harborne, A.R.; Mumby, P.J. Technical note: Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. *Int. J. Remote Sens.* **2005**, 26, 2107–2112.
 42. Green, E.; Mumby, P.; Edwards, A.; Clark, C. Remote sensing: Handbook for Tropical Coastal Management (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)). 2020.
 43. Foody, G.M. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sens. Environ.* **2002**, 80(1), 185–201.
 44. Thông tin về dữ liệu đa phổ Sentinel-2. Trục tuyến: <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/radiometric>.

Using Sentinel-2 data to create a benthic map in Con Dao archipelago area, Ba Ria - Vung Tau province, Vietnam

Nguyen Quang Minh¹, Nguyen Van Trung^{2,3}, Le Thi Thu Ha^{2,3*}

¹ Department of Cartography, The General Staff; nguyenquangminh.sar@gmail.com

² Hanoi University of Mining and Geology; nguyenvantrung@humg.edu.vn; lethithuha@humg.edu.vn

³ Geomatics in Earth Sciences; nguyenvantrung@humg.edu.vn; lethithuha@humg.edu.vn

Abstract: Monitoring coral reefs and seagrasses is a particular challenge for remote sensing technology due to the heterogeneity of spectral reflectance that occurs at different depths and material compositions in the water. This study uses the techniques to process Sentinel-2 multispectral data for creating a benthic map of the Con Dao archipelago, especially coral reefs and seagrass for management and monitoring their changing phenomena in the context of warming sea water due to climate change. Techniques to eliminate spectral reflection of light rays on the water surface, calculate depth invariant indices for classifying benthic organisms are used to create a benthic map including coral reefs and seagrasses with an overall accuracy of 79.66% and a kappa coefficient of 0.694. The distribution of coral, seagrass and sea sand depends heavily on the seabed topography in shallow water areas and the habitat of the underwater ecosystem in the study area. The results of this study are the premise for applying multispectral satellite data to study benthic organisms in shallow waters along the islands and coasts of our country.

Keywords: Benthic habitat map; Sentinel-2 multispectral data; Con Dao Archipelago.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu phân vùng mức độ thích nghi đối với các loại rừng trồng trong vùng đất bán ngập lòng hồ Srok Phu Miêng, tỉnh Bình Phước, Việt Nam

Trần Đăng An^{1*}, Thái Hữu Hùng², Nguyễn Thái Sơn³

¹ Trường Đại học Thủy lợi; antd@tlu.edu.vn

² Viện Công nghệ Tài nguyên nước và Môi trường; thaihuuhung636@gmail.com

³ Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh Kiên Giang; thaisonkg91@gmail.com

*Tác giả liên hệ: antd@tlu.edu.vn; Tel.: +84–965398649

Ban Biên tập nhận bài: 18/4/2024; Ngày phản biện xong: 22/5/2024; Ngày đăng bài: 25/10/2024

Tóm tắt: Nghiên cứu này được thực hiện nhằm phân vùng khả năng thích nghi của các loại rừng trồng trong vùng đất bán ngập khu vực lòng hồ thủy điện Srok Phu Miêng, tỉnh Bình Phước dựa vào kết quả khảo sát thực địa, lấy mẫu phân tích các chỉ tiêu chất lượng nước, chất lượng đất và sử dụng phương pháp phân tích cặp (AHP). Nghiên cứu đã xác định bốn yếu tố chính ảnh hưởng đến khả năng thích nghi của cây trồng bao gồm thời gian ngập, độ sâu ngập, độ dốc địa hình và chiều sâu tầng đất với hệ số tác động lần lượt là 0,30, 0,27, 0,19, và 0,13. Trong khi đó, các yếu tố khác như độ cao, chất lượng nước và chất lượng đất ảnh hưởng không đáng kể ($\leq 0,05$) tới khả năng thích nghi của các loại rừng trồng trong khu vực nghiên cứu. Kết quả cũng cho thấy rằng cây tràm và cây gạo vàng thích nghi tốt hơn so với cây keo, với diện tích thích nghi là 23,15 ha so với chỉ 1,53 ha của cây keo. Nghiên cứu này cung cấp các hiểu biết về tầm quan trọng của các yếu tố môi trường và khả năng thích nghi của các loại rừng trồng trong vùng đất bán ngập hồ chứa từ đó giúp các đơn vị có liên quan có kế hoạch khai thác, sử dụng và phát triển bền vững rừng trồng trong vùng đất bán ngập các hồ chứa nước thủy lợi và thủy điện trên địa bàn tỉnh Bình Phước nói riêng và các khu vực khác của Việt Nam nói chung.

Từ khóa: Mức độ thích nghi; Chỉ số SI, AHP, WQI, SQI.

1. Giới thiệu

Khu vực xung quanh các hồ chứa thủy điện và thủy lợi thường xuyên trải qua tình trạng ngập nước không ổn định, với mực nước thay đổi theo mùa, cao nhất vào mùa mưa và thấp nhất trong mùa khô. Theo thông tư 03/2012/TT-BTNMT quản lý, sử dụng đất vùng bán ngập lòng hồ thủy điện, thủy lợi năm 2012 của Bộ Tài Nguyên và Môi Trường thì đất vùng bán ngập được quy định là vùng đất ngập nước không quá sáu tháng mỗi năm. Điều này tạo ra môi trường sống đặc biệt cho cây cối và động vật, đồng thời cũng đặt ra thách thức cho việc canh tác và quản lý đất. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng các yếu tố khí tượng, thủy văn, địa hình, thổ nhưỡng và chất lượng nước là các yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến sự sinh trưởng và phát triển của các cây trồng [1–7].

Nghiên cứu [6] đã đánh giá mức độ ảnh hưởng của cao độ, hướng và độ dốc ảnh hưởng đến cấu trúc và thành phần thực gỗ khu vực tây bắc Vân Nam, Trung Quốc. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng chiều cao cây, diện tích gốc và sinh khối trên mặt đất có xu hướng tăng đến một điểm nhất định rồi giảm, với điểm cao nhất ở 3100 m cho chiều cao và diện tích gốc, trong khi sinh khối cao nhất ở 3300 m, đặc biệt ở phía nam. Sử dụng phân tích hồi quy và phân loại số liệu đo đạc thực tế nghiên cứu này đã xác định độ cao và hướng bắc-nam là

những yếu tố chính ảnh hưởng đến thành phần loài gỗ. Trong khi đó, nghiên cứu [7] đã thực hiện nghiên cứu điển hình tại Hồ Memphremagog giữa Vermont, Mỹ và Quebec, Canada về mối liên hệ giữa sự thay đổi của độ dốc và lượng trầm tích đối với sự sinh trưởng và phát triển của quần thể thực vật trong hồ. Kết quả cho thấy rằng sự thay đổi về độ dốc và lượng trầm tích có ảnh hưởng tới khoảng 87% sự thay đổi về khối lượng thực vật trong khu vực, với khu vực dốc nhẹ hỗ trợ lắng đọng trầm tích mịn và thúc đẩy sự phát triển của thực vật. Ngược lại, khu vực dốc đứng thường gặp phải tỷ lệ xói mòn cao, không thích hợp cho sự phát triển của cây trồng đòi hỏi đất giàu dinh dưỡng. Chất lượng nước cũng ảnh hưởng đến sự tăng trưởng, phát triển và phân bố của thực vật. Sự thay đổi theo mùa về tổng nitơ, tổng photpho, và các chỉ số chất lượng nước khác có thể ảnh hưởng lớn đến cộng đồng sinh vật thủy sinh và thực vật [2].

Việc phân vùng thích nghi rừng trồng tại Việt Nam nói chung và tại khu vực nghiên cứu nói riêng đã được một số nghiên cứu thực hiện [8–10]. Điển hình là nghiên cứu [9] về việc ứng dụng công nghệ GIS để xây dựng cơ sở dữ liệu và đánh giá thích nghi sinh thái của cây bần chua trong khu vực rừng ngập mặn ven biển Nghệ An. Kết quả nghiên cứu đã xác định được 16 chỉ tiêu đánh giá, thuộc 4 nhóm tiêu chí chính bao gồm loại đất ngập mặn, thổ nền và thành phần cơ giới, độ sâu ngập triều, và hiện trạng rừng ngập mặn. Tổng cộng 127 đơn vị đất đai đã được phân hạng, trong đó có 77 đơn vị đất đai rất thích nghi, 20 đơn vị đất đai thích nghi trung bình, và 30 đơn vị đất đai không thích nghi. Kết quả này cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho việc quy hoạch và phát triển rừng ngập mặn ở tỉnh Nghệ An, hướng tới mục tiêu phục hồi và mở rộng diện tích rừng ngập mặn để bảo vệ môi trường sinh thái và nâng cao sinh kế cho người dân ven biển. Ngoài ra, nghiên cứu [8] đã tiến hành nghiên cứu đánh giá thích nghi đất đai phục vụ bố trí cây trồng tại huyện Buôn Đôn, tỉnh Đắk Lắk. Nghiên cứu này đã xác lập bản đồ đơn vị đất đai cho huyện, phân loại 74 đơn vị đất đai khác nhau theo các tiêu chí như loại đất, độ dốc, độ phì nhiêu, và khả năng tưới tiêu. Từ đó, nghiên cứu xác định được 25 kiểu thích nghi của đất đối với các loại cây trồng khác nhau, từ lúa nước đến cây công nghiệp và cây trồng cạn, nhằm tối ưu hóa việc sử dụng đất và nâng cao hiệu quả sản xuất nông nghiệp tại địa phương.

Trên địa bàn tỉnh Bình Phước, nghiên cứu [11] đã thiết lập được chương trình phân cấp và xây dựng bản đồ phân vùng khả năng thích nghi phát triển bền vững rừng trồng, đặc biệt là rừng cây Dầu rái. Kết quả cho thấy, chỉ số sinh trưởng chiều cao vút ngọn (HGI) có thể dùng để phân loại sinh trưởng cây Dầu rái thành 5 cấp từ rất thích hợp đến không thích hợp. Dựa trên chỉ số này, nghiên cứu đã tạo ra bản đồ phân vùng thích nghi và thống kê các điểm lập địa cùng diện tích tương ứng theo mức độ thích hợp của cây Dầu rái trên khắp tỉnh Bình Phước. Nghiên cứu [10] đã tiến hành nghiên cứu các điều kiện môi trường ảnh hưởng tới sinh trưởng và phát triển của cây điều từ đó xây dựng bản đồ phân vùng mức độ thích nghi của cây điều trên địa bàn tỉnh Bình Phước.

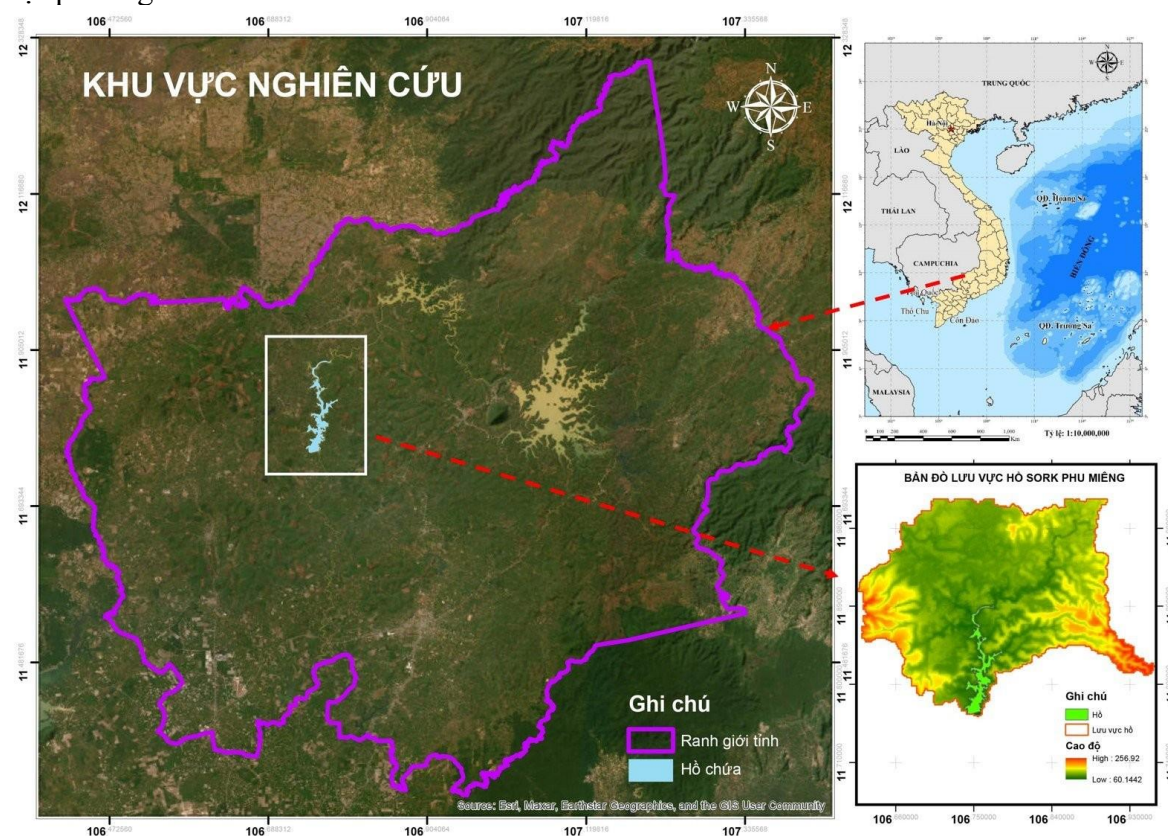
Như vậy có thể thấy rằng các yếu tố khí tượng, thủy văn, địa hình, thổ nhưỡng, chất lượng nước và các yếu tố môi trường khác có mức độ ảnh hưởng khác nhau đến sự phát triển của hệ thực vật cũng như các nghiên cứu về phân vùng thích của các loại cây trồng ở trên thế giới và tại Việt Nam. Chính vì thế nên phương pháp phân vùng thích nghi cây trồng sẽ rất khác nhau với từng khu vực cụ thể. Đặc biệt là hiện nay có rất ít các nghiên cứu đánh giá được mức độ tác động của các tố môi trường và phân vùng mức độ thích nghi của các loại rừng trồng trong vùng bán ngập của các hồ chứa nước thủy lợi và thủy điện. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm phân vùng mức độ thích nghi của các loại rừng trồng trong vùng bán ngập góp phần nâng cao hiệu quả trong quản lý và sử dụng đất bền vững trong bối cảnh phát triển mạnh mẽ kinh tế - xã hội và biến đổi khí hậu tác động tiêu cực tới tài nguyên nước, đất và tài nguyên rừng.

2. Số liệu thu thập và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Công trình thủy điện Srok Phu Miêng, nằm trên vị trí chiến lược trên sông Bé và được biết đến là bậc thứ ba trong hệ thống thủy điện của con sông này, bắt đầu xây dựng vào năm 2004 và hoàn thành vào đầu năm 2007 với mục đích chính là phát điện (Hình 1). Hồ Srok Phu Miêng có diện tích lưu vực là 3.822 km² với dung tích hồ chứa lên đến 99,42 triệu m³ tại mức nước dâng bình thường (MNDBT), cung cấp năng lượng 51 MW và sản xuất trung bình 237,6 GWh điện năng mỗi năm. Ngoài ra, thủy điện Srok Phu Miêng còn đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp nước tưới cho 1.400 ha đất nông nghiệp ở các huyện Phước Long và Bù Đăng, tỉnh Bình Phước, cũng như tưới tạo nguồn cho 1.100 ha đất ven hồ.

Hồ Srok Phu Miêng không chỉ tạo ra giá trị kinh tế bằng điện năng mà còn đóng góp rất quan trọng trong cung cấp nguồn nước hỗ trợ sản xuất nông nghiệp và duy trì môi trường sinh thái. Tuy nhiên, hồ Srok Phu Miêng có diện tích mặt hồ khá lớn chiếm 16,42 km² với lưu lượng trung bình 153 m³/s, MNDBT 72,0 m, MNC 70,0 m, và MNGC 73,6 m, đã tạo ra vùng bán lập địa khoảng 280,594 ha. Cho đến nay chưa nghiên cứu đầy đủ nào đánh giá mức độ thích nghi trồng rừng cho vùng hệ sinh thái đa dạng và phức tạp này. Đây cũng chính là thách thức lớn việc quản lý và sử dụng bền vững vùng bán lập địa cho chủ hồ và chính quyền địa phương.



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu hồ Srok Phu Miêng.

2.2. Dữ liệu thu thập

Để đánh giá khả năng thích nghi của khu vực bán ngập nước cho việc trồng rừng, nghiên cứu này đã xác định một bộ tiêu chí, bao gồm các nhóm sau: (1) Địa hình, (2) Đặc điểm thủy văn, (3) Loại đất, (4) Đặc tính đất, và (5) Chất lượng nước.

(1) Địa hình: Địa hình đóng một vai trò quan trọng trong sự tăng trưởng, phát triển và phân bố của thực vật. Độ cao và độ dốc là hai yếu tố địa hình ảnh hưởng đáng kể đến rừng trồng. Độ cao của khu vực ảnh hưởng đến sự phân tầng của khí hậu và các điều kiện khí tượng khác. Độ dốc ảnh hưởng đến khả năng thoát nước hoặc giữ nước trong đất, do đó ảnh hưởng đến hàm lượng độ ẩm của lớp đất trong khu vực rừng trồng. Ảnh hưởng của độ cao địa hình và độ dốc đối với sự tăng trưởng và phát triển của rừng trồng trong khu vực bán

ngập nước của Hồ chứa Thủy điện Srok Phu Miêng đã được phân tích và phân loại như được thể hiện trong Bảng 1.

Độ cao địa hình trong lưu vực hồ thủy điện Srok Phu Miêng, như được thể hiện trong Hình 2, đã được thu thập từ dự án trồng rừng tại tỉnh Bình Phước năm 2019. Từ dữ liệu này, sử dụng phần mềm ArcGIS để chuyển đổi thành định dạng raster mô hình số cao độ (DEM) với lưới 5×5 m và tính toán các thông số độ dốc địa hình tương ứng.

Bảng 1. Định nghĩa về bậc thích nghi và phân loại các yếu tố liên quan đến địa hình, thủy văn khí tượng, loại đất, đặc tính đất, và chất lượng nước.

STT	Bậc thích nghi	Kí hiệu	Độ cao (m)	Độ dốc (°)	Thời gian ngập (ngày)	Độ sâu ngập (m)	Chiều dày tầng đất (cm)	WQI(%)	SQI(%)
1	Rất thích nghi	S1	< 100	0-8°	< 30	< 0.5	> 120	75-100	75-100
2	Thích nghi trung bình	S2	≤ 100 – 300	8-15°	30-90	0,5-1,0	70-100	50-75	50-75
3	Ít thích nghi	S3	≤ 300 – 500	15-20°	90-180	1,0-2,0	50- 70	25-50	25-50
4	Không thích nghi	N	> 500	> 20°	> 180	> 2,0	< 50	<25	<25

(D): Đất thung lũng do sản phẩm dốc tụ; (Fp): Đất nâu đỏ trên đá macma bazơ và trung tính (Fk); Đất nâu vàng trên phù sa cổ; (Fu): Đất nâu vàng trên đá macma bazơ và trung tính; (Xg): Đất xám Gley; (X): Đất xám trên phù sa cổ thuộc Đất xám và bạc màu (X;B); (Fs): Đất đỏ vàng trên đá sét và biến chất.

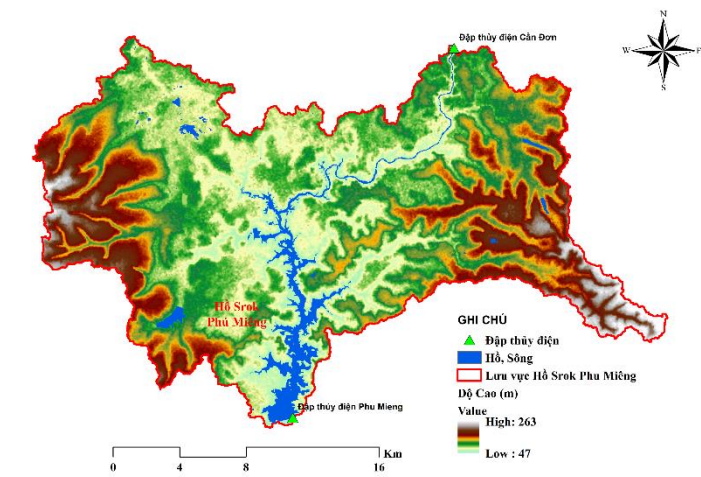
(2) Đặc điểm thủy văn: Các đặc điểm thủy văn như thời gian ngập lụt và độ sâu trong khu vực hồ chứa là hai yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến sự tăng trưởng và phát triển của rừng trồng. Theo Thông tư 03/2012/TT-BTNMT của Bộ Tài nguyên và Môi trường đất bán ngập nước được định nghĩa là khu vực đất thuộc hồ chứa thủy điện và thủy lợi nhưng không bị ngập lụt thường xuyên trong một khoảng thời gian ít hơn sáu tháng. Tương ứng, nghiên cứu này đã chia thời gian ngập lụt thành bốn mức độ ngày ngập lụt. Độ sâu ngập lụt cũng là một yếu tố ảnh hưởng

đáng kể đến sự phát triển của rừng trồng. Bằng cách phân tích mức độ ảnh hưởng và điều kiện rừng hiện tại trong khu vực bán ngập của hồ thủy điện Srok Phu Miêng, mức độ ngập lụt đã được chia thành bốn mức độ độ sâu ngập lụt, như được thể hiện trong Bảng 1.

Dựa trên các thông số thiết kế của hồ thủy điện Srok Phu Miêng và các tài liệu vận hành hồ chứa lịch sử từ năm 1995 đến 2018, các giá trị trung bình hàng tháng của mực nước hồ chồng lớp lên bản đồ số cao độ DEM để xác định khu vực ngập lụt và độ sâu ngập.

(3) Loại đất: Dữ liệu về loại đất trong khu vực nghiên cứu được thu thập từ Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Bình Phước. Trong khu vực bán ngập hồ thủy điện Srok Phu Miêng có 3 loại đất bao gồm đất nâu vàng trên đá bazan (Fu), đất nâu đỏ trên đá bazan (Fk) và đất dốc tụ với tổng diện tích là 145 ha.

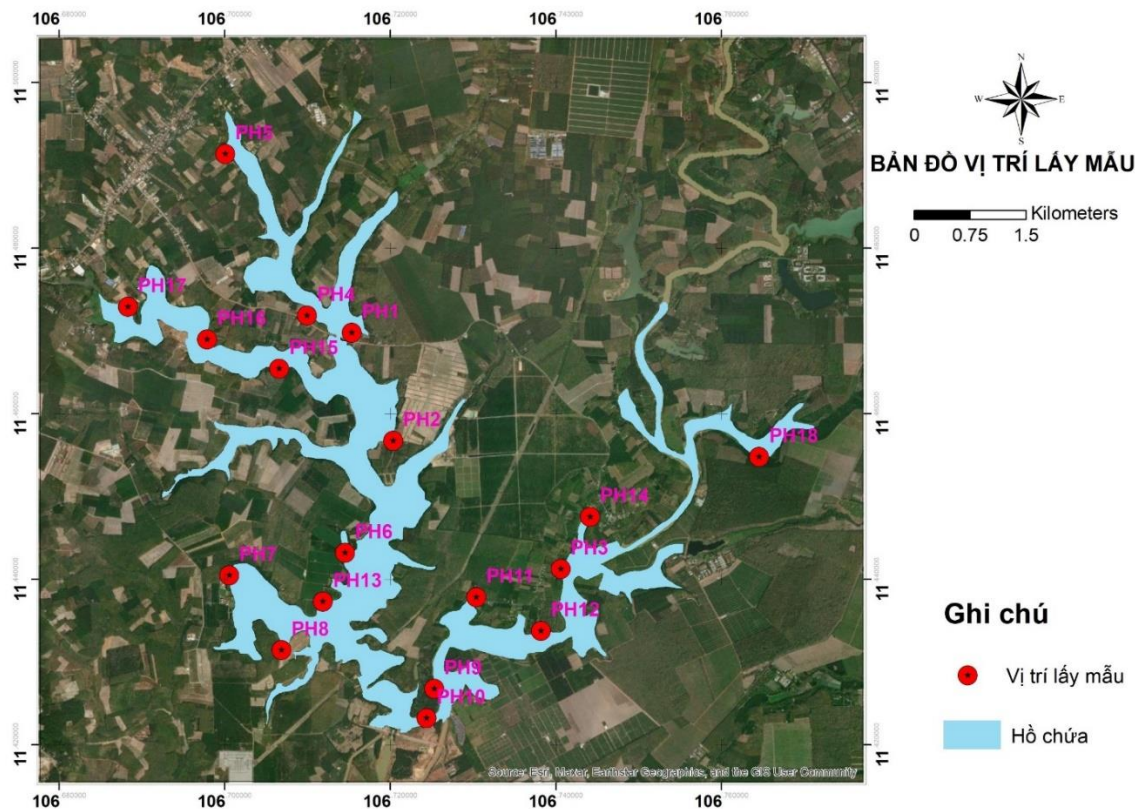
(4) Đặc tính đất: Bằng phương pháp khảo sát thực địa, phân tích, phỏng vấn với các nông dân và tư vấn với các chuyên gia cho thấy rừng trồng phát triển tốt nhất trên đất bazan. Các loại đất khác cũng phù hợp cho rừng trồng. Đất xám, đất phù sa cổ, đất than bùn và đất phát



Hình 2. Mô hình độ cao kỹ thuật số (DEM) của lưu vực hồ thủy điện Srok Phu Miêng (Nguồn: Dự án trồng rừng phòng hộ tại vùng bán ngập trên địa bàn tỉnh Bình Phước).

triển trên đá vôi có thể trồng nếu có lớp đất mặt từ 0 đến 50 cm với hàm lượng sét 20%, lớp đất sâu 0 đến 50 cm và lớp đất từ 50 đến 100 cm có hàm lượng sét 30%. Hơn nữa, thành phần cơ giới của đất cũng ảnh hưởng lớn đến khả năng thích ứng của rừng trồng trong khu vực bán ngập nước. Dựa trên đánh giá toàn diện về ảnh hưởng của thổ nhưỡng: bao gồm loại đất, độ dày và thành phần cơ giới, đặc tính đất trong vùng nghiên cứu đã được phân loại thành bốn loại đất thích ứng, như được thể hiện trong Bảng 1.

Ngoài ra, các thành phần hóa học của đất cũng ảnh hưởng lớn đến khả năng thích ứng của rừng trồng trên đất bán ngập. Mười một thành phần hóa lý của đất được thu thập thông qua điều tra và lấy mẫu thực địa và phân tích gồm: pH, mật độ khối, độ xốp, hàm lượng hữu cơ tổng, phosphorus tổng (TP), nitơ tổng (TN), canxi (Ca^{2+}), magiê (Mg^{2+}), kali (K^{+}), sắt (Fe^{3+}) và ion natri (Na^{+}). Việc thu thập dữ liệu được thực hiện từ ngày 17 đến ngày 20 tháng 5 năm 2020, với 18 điểm lấy mẫu đất dọc theo bờ mặt nước của hồ thủy điện Srok Phu Miêng, như được thể hiện trong Hình 3 và Bảng 2.



Hình 3. Vị trí lấy mẫu tại Lưu vực Thủy điện Srok Phu Miêng.

Bảng 2. Kết quả phân tích mẫu đất hồ Srok Phu Miêng.

Chỉ tiêu		pH	Tỷ trọng	Dung trọng	Độ xốp	Tổng hữu cơ	Tổng P	Tổng N	Tổng K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Fe ³⁺	Na ⁺
Đơn vị tính			g/cm ³			%		mg/kg				Cmol/kg		
1	SP-01	6,30	1,61	1,53	5,25	1,16	261,00	635,00	70,20	1,37	0,48	0,15	0,02	0,09
2	SP-02	5,70	1,73	1,67	3,76	0,67	186,00	341,00	55,80	0,75	0,19	0,05	0,03	0,07
3	SP-03	6,00	1,73	1,66	3,87	1,48	187,00	615,00	83,80	0,83	0,20	0,05	0,02	0,10
4	SP-04	5,60	1,65	1,46	11,30	2,92	294,00	1344,00	59,90	2,10	0,65	0,06	0,02	0,07
5	SP-05	6,40	1,69	1,49	12,10	1,49	405,00	710,00	53,10	1,60	0,63	0,11	0,02	0,05
6	SP-06	6,45	1,67	1,50	10,30	1,79	475,00	880,00	78,70	2,10	0,83	0,12	0,02	0,09
7	SP-07	5,30	1,65	1,42	10,45	0,75	275,52	577,10	75,78	1,41	1,42	0,97	1,59	1,74
8	SP-08	5,20	1,70	1,48	8,94	1,98	324,71	673,87	75,71	1,06	0,91	1,38	0,99	0,89
9	SP-09	4,90	1,91	1,65	7,56	2,09	204,41	680,16	62,03	1,16	1,75	1,17	0,65	0,62

Chỉ tiêu		pH	Tỷ trọng	Dung trọng	Độ xốp	Tổng hữu cơ	Tổng P	Tổng N	Tổng K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Fe ³⁺	Na ⁺
Đơn vị tính			g/cm ³		%			mg/kg				Cmol/kg		
10	SP-10	5,40	1,85	1,64	10,10	1,24	206,45	608,70	71,94	0,97	1,14	1,29	1,45	0,46
11	SP-11	5,80	1,60	1,45	9,16	1,08	219,74	694,49	66,70	1,40	1,23	1,07	1,03	1,54
12	SP-12	5,70	1,85	1,61	6,59	2,42	228,80	343,50	70,13	1,92	1,14	1,27	0,92	0,60
13	SP-13	6,00	1,76	1,57	11,06	1,31	282,20	418,37	75,35	0,55	1,27	0,40	0,63	0,66
14	SP-14	5,60	1,90	1,68	7,62	1,45	265,18	647,78	55,22	2,01	1,12	1,30	0,50	1,76
15	SP-15	5,53	1,84	1,63	5,90	1,61	187,16	479,30	64,10	1,72	0,85	0,13	1,10	0,41
16	SP-16	6,00	1,68	1,58	8,25	1,66	198,54	583,23	80,51	0,74	0,63	1,60	0,84	1,22
17	SP-17	5,90	2,09	1,76	12,41	0,52	294,34	480,65	72,24	2,15	1,12	1,67	1,32	0,18
18	SP-18	5,80	2,10	1,98	8,54	2,24	199,78	558,60	58,59	1,04	0,49	0,19	0,87	0,65

Để giảm bớt sự can thiệp do số lượng lớn các biến số đầu vào trong quá trình phân tích, các thành phần hóa học của đất được tích hợp vào công thức chỉ số chất lượng đất (SQI) [12] tương tự như chỉ số chất lượng nước [13] như sau:

$$SQI = \frac{\sum (SR_i \times WD_i)}{\sum WD_i} \tag{1}$$

$$SR_i = \frac{\sum (OB_o \times OB_i)}{\sum (SD_i - OB_i)} \tag{2}$$

$$WD_i = \frac{CP}{SD_i}; CP = \frac{1}{\sum \frac{1}{SD_i}} \tag{3}$$

Trong đó SR_i là đánh giá chất lượng đất cho tham số thứ i , WD_i là trọng số đơn vị của tham số thứ i , SD_i là giá trị tiêu chuẩn của tham số thứ i , là giá trị ngưỡng mà cây có thể tồn tại, OB_o là giá trị quan sát của tham số đầu tiên, OB_i là giá trị lý tưởng của tham số thứ i , và CP là hằng số về tỉ lệ. SQI được phân loại thành bốn loại bậc thích nghi, như được thể hiện trong Bảng 1.

(5) Chất lượng nước: Ngoài các nhóm tiêu chí của địa hình, thủy văn khí tượng, và đặc điểm đất, nhóm tiêu chí chất lượng nước có ảnh hưởng đáng kể đến sự tăng trưởng của thực vật. Để đánh giá tiêu chí cho chất lượng nước, 18 mẫu nước đã được thu thập quanh lưu vực nghiên cứu, như được thể hiện trong Hình 3 và Bảng 3 với 9 thành phần được phân tích: nhiệt độ, pH, DO, EC, SS, NTU, CaCO₃, TN, và TP.

Bảng 3. Kết quả phân tích mẫu nước hồ Srok Phu Miêng.

Chỉ tiêu		pH	Nhiệt độ	DO	EC	Độ đục	CaCO ₃	SS	Tổng N	Tổng P
Đơn vị tính			°C	mgO ₂ /L	μs/cm	NTU	mg CaCO ₃ /L		mg/L	
1	SP-01	6,90	29,70	5,60	49,40	89,00	153,00	23,00	1,40	0,30
2	SP-02	6,10	29,40	5,60	49,90	86,00	150,00	32,00	1,10	0,30
3	SP-03	6,30	30,50	5,60	50,00	89,00	162,00	25,00	1,10	0,30
4	SP-04	6,45	27,30	5,60	50,60	61,50	166,00	25,00	1,40	0,30
5	SP-05	6,50	28,20	5,60	49,40	115,00	164,00	36,00	1,40	0,30
6	SP-06	6,10	29,50	5,70	64,80	35,30	212,00	12,00	1,10	0,30
7	SP-07	7,10	30,70	5,40	50,10	88,20	158,30	29,70	1,40	0,60
8	SP-08	7,00	29,48	5,40	50,00	88,40	158,30	29,60	1,60	0,30
9	SP-09	6,93	28,20	5,60	49,90	87,90	158,20	29,60	0,80	0,40
10	SP-10	6,90	27,70	6,00	49,90	88,00	158,20	29,90	1,50	0,60
11	SP-11	6,50	27,30	5,80	49,70	88,10	158,30	29,50	1,30	0,40
12	SP-12	6,70	30,10	5,30	50,20	88,50	158,00	29,70	1,40	0,30
13	SP-13	6,40	30,60	5,80	49,90	88,20	158,10	29,80	1,50	0,60

Chỉ tiêu	pH	Nhiệt độ	DO	EC	Độ đục	CaCO ₃	SS	Tổng N	Tổng P
14 SP-14	6,80	30,10	5,20	49,80	88,00	157,70	29,20	1,40	0,30
15 SP-15	6,75	29,10	5,50	50,00	87,80	157,80	29,60	1,30	0,80
16 SP-16	6,80	28,40	5,50	50,00	88,50	158,10	29,50	1,00	0,30
17 SP-17	7,00	29,40	5,80	50,20	88,30	158,00	29,50	1,20	0,40
18 SP-18	7,20	29,30	5,20	50,10	88,10	157,80	29,30	1,10	0,50

Chỉ số chất lượng nước được tính toán dựa vào chín yếu tố bao gồm pH, nhiệt độ, DO, EC, độ đục, CaCO₃, SS, tổng N và tổng P như trình bày ở bảng 3. Công thức tính WQI và bậc thích nghi của các loại cây trồng trong vùng bán ngập theo chỉ số chất lượng nước được dựa vào nghiên cứu đã thực hiện bởi [14]:

$$WQI = \frac{\sum(Q_i \times W_i)}{\sum W_i} \quad (4)$$

$$Q_i = \frac{(C_o - C_i)}{(S_i - C_i)} \times 100 \quad (5)$$

$$W_i = \frac{K}{S_i}; K = \frac{1}{\sum 1/S_i} \quad (6)$$

Trong đó Q_i là đánh giá chất lượng nước cho tham số thứ i , W_i là trọng số đơn vị của tham số thứ i , S_i là giá trị tiêu chuẩn của tham số thứ i , C_o là giá trị quan sát của tham số đầu tiên, C_i là giá trị lý tưởng của tham số thứ i , và K là hằng số về tỉ lệ.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Mức độ thích nghi của rừng trồng trong vùng đất bán ngập các hồ chứa phụ thuộc vào rất nhiều nhóm yếu tố khác nhau bao gồm (1) đặc điểm địa hình (độ cao và độ dốc), (2) chế độ thủy văn (độ sâu ngập và thời gian ngập), (3) đặc tính đất (chất lượng đất, chiều dày tầng đất) và (4) chất lượng nước. Do vậy, việc xác định trọng số các yếu tố tác động đóng vai trò quan trọng trong việc phân vùng thích nghi của các loại rừng trong khu vực nghiên cứu này. Có rất nhiều phương pháp được dùng để xác định trọng số ảnh hưởng (w_i) của các yếu tố tới thành phần tới mức độ thích nghi của rừng trồng trong vùng bán ngập trong đó phương pháp so sánh cặp (AHP) được sử dụng phổ biến trong nghiên cứu về lĩnh vực môi trường [15–18]. Phương pháp này được đề xuất bởi để xác định w_i dựa vào việc đánh giá tầm quan trọng và so sánh từng yếu tố một với các yếu tố còn lại trong nhóm các yếu tố được xem xét. Cụ thể là trọng số (w_i) của mỗi yếu tố ảnh hưởng đến mức độ thích ứng rừng trồng được ước lượng bằng ma trận so sánh cặp dựa trên mức độ quan trọng của một tiêu chí so với tiêu chí khác, theo thang đo ưu tiên phân tích hệ thống thứ bậc (AHP) [18]. Một khi ma trận được tạo ra, các trọng số được thu được bằng cách xác định vector riêng chuẩn hóa chính của ma trận [18, 19].

Để đảm bảo độ tin cậy của các trọng số được xác định, chỉ số tỷ lệ nhất quán (CR) được tính toán sử dụng phương trình (7).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

Trong đó RI là kết quả trung bình của chỉ số nhất quán, tùy thuộc vào thứ tự của ma trận được [18] đề ra. CI là chỉ số nhất quán, có thể được biểu diễn bởi phương trình (8) như sau:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

Trong đó λ_{\max} là giá trị riêng lớn nhất hoặc chính của ma trận, được ước lượng từ ma trận mô tả bởi Saaty [18], và n là số lượng nhóm tiêu chí cần được xem xét để đánh giá. $CI \leq 0,1$ chỉ ra rằng ma trận so sánh cặp có độ nhất quán và độ tin cậy hợp lý, và các trọng số ước lượng được chấp nhận.

Hệ thống phân cấp tổng thể của hệ số thích ứng được đánh giá theo công thức (9) [20] sau:

$$SI = \sum_{i=1}^n (w_i \times S_i)$$
 (9)

Trong đó n là số lượng nhóm tiêu chí cần được xem xét để đánh giá (trong nghiên cứu này n = 7); S_i là hệ thống phân cấp thích ứng của mỗi nhóm tiêu chí được tính toán trong Bảng 1, và w_i là trọng số của yếu tố i đối với việc thích ứng với việc trồng rừng mới. SI - được mã hóa như sau: S1 = 75-100 (rất thích nghi), S2 = 50-75 (thích nghi vừa phải), S3 = 25-50 (ít thích nghi), và N < 25 (không thích nghi), như được hiển thị trong Bảng 1.

Bảng 4. Hệ số ảnh hưởng các thông số quyết định tới mức độ thích nghi của rừng trồng.

Thông số	Cao trình	Độ dốc	Độ sâu ngập	Thời gian ngập	Chiều dày tầng đất	WQI	SQI	Hệ số ảnh hưởng chung
Cao trình	0,03	0,02	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02
Độ dốc	0,19	0,16	0,15	0,16	0,09	0,28	0,30	0,19
Độ sâu ngập	0,22	0,31	0,31	0,32	0,34	0,21	0,21	0,27
Thời gian ngập	0,22	0,31	0,31	0,32	0,43	0,25	0,26	0,30
Chiều dày tầng đất	0,19	0,16	0,08	0,06	0,09	0,18	0,13	0,13
WQI	0,08	0,02	0,05	0,05	0,02	0,04	0,04	0,04
SQI	0,08	0,02	0,06	0,05	0,03	0,04	0,04	0,05

Phân tích độ tin cậy: CI = 0,11; RI =1,32; CR = 0,06 < 0,10 Đạt yêu cầu độ tin cậy cho phép.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Các yếu tố ảnh hưởng

Dựa vào các dữ liệu thu thập và phân tích bao gồm các yếu tố cao trình, độ dốc, độ sâu ngập, thời gian ngập, chiều dày tầng đất, chỉ số WQI và SQI đã chuẩn bị ở trên tiến hành xác định trọng số dựa vào dụng phương pháp AHP dựa trên lý thuyết về trọng số của Saaty, như đã đề cập ở trên, để xác định thứ bậc thích nghi cho việc trồng rừng lại. Kết quả xác định chỉ số WQI và SQI được thể hiện trên Bảng 5. Kết quả tính toán chỉ số chất lượng nước (WQI) và chỉ số chất lượng đất (SQI) cho các mẫu từ SP-01 đến SP-18 cho thấy chỉ số WQI dao động từ 59 đến 68, với mẫu SP-07 có WQI thấp nhất là 59 và mẫu SP-05 có WQI cao nhất là 68. Phần lớn các mẫu có WQI trong khoảng 60-66, cho thấy chất lượng nước ở mức trung bình đến khá tốt. Trong khi đó, đối với chỉ số chất lượng đất (SQI), giá trị từ 65 đến 75, với mẫu SP-07 có SQI thấp nhất là 65 và mẫu SP-01 có SQI cao nhất là 75. Phần lớn các mẫu đất có chỉ số SQI trên 70, cho thấy chất lượng đất tương đối tốt cho việc trồng rừng trong vùng bán ngập hồ chứa.

Bảng 5. Kết quả tính toán chỉ số WQI và SQI cho các mẫu nước và mẫu đất trong khu vực nghiên cứu.

Tên mẫu	WQI	SQI
SP-01	67	75
SP-02	62	68
SP-03	65	72
SP-04	63	70
SP-05	68	74
SP-06	66	73
SP-07	59	65
SP-08	61	67
SP-09	60	66

Tên mẫu	WQI	SQI
SP-10	63	69
SP-11	63	70
SP-12	64	71
SP-13	65	72
SP-14	62	68
SP-15	61	67
SP-16	65	72
SP-17	64	71
SP-18	63	69

Nhìn chung, kết quả tính toán các chỉ số WQI và SQI cho các mẫu nước và mẫu đất trong vùng bán ngập hồ chứa thấy mặc dù có sự biến động nhất định về chất lượng nước và chất lượng đất giữa các vị trí khác nhau trong khu vực bán ngập lòng hồ Srok Phu Miêng cho thấy rằng hầu hết các mẫu đều có chỉ số WQI và SQI ở mức cao phản ánh điều kiện chất lượng môi trường nước và thổ nhưỡng khu vực này tương đối phù hợp cho việc trồng rừng trong vùng bán ngập hồ chứa. Các mẫu với chỉ số SQI cao đặc biệt phù hợp với việc phát triển rừng do đất có chất lượng tốt.

Trong nghiên cứu này yếu tố WQI và SQI chỉ là hai trong tám yếu tố tác động tới mức độ thích nghi của rừng trồng trong vùng bán ngập lòng hồ bao gồm độ cao, độ dốc, số ngày ngập, độ sâu ngập, loại đất, tầng dày, WQI và SQI. Do đó cần đánh giá mức độ ảnh hưởng và xác định trọng số ảnh hưởng của các yếu tố tới mức độ thích nghi rừng trồng là hết sức cần thiết. Kết quả xác định trọng số ảnh hưởng của các yếu tố tới mức độ thích nghi của rừng trồng trong vùng đất bán ngập khu vực nghiên cứu được thể hiện ở bảng 4. Kết quả nghiên cứu đã xác định được 4 yếu tố tác động chính tới khả năng thích nghi của cây trồng trong vùng bán ngập bao gồm thời gian ngập, độ sâu ngập, độ dốc địa hình và chiều sâu tầng đất với hệ số tác động lần lượt là 0,30, 0,27, 0,19, và 0,13 trong khi đó các yếu tố khác như độ cao, chất lượng nước (WQI) và chất lượng đất (SQI) trong khu vực này có mức độ ảnh hưởng không đáng kể $\leq 0,05$.

3.2. Phân vùng mức độ thích nghi của các loại rừng trồng

Kết quả chỉ ra rằng tổng diện tích có khả năng trồng rừng tại Hồ thủy điện Srok Phu Miêng là 158,51 ha chiếm khoảng 56%. Tuy nhiên, phần lớn diện tích này nằm ở mức độ ít thích nghi (S3) với 135,36 chiếm trên 85% tổng diện tích có khá thích nghi (S2) với 21,62 ha, chỉ có 1,53 ha là rất thích nghi (S1). Tuy nhiên, 122 ha được xác định là không thích hợp cho việc trồng rừng (N - Không thích nghi). Điều này là do khu vực này có chỉ số SQI và WQI tương đối thấp (chỉ đạt S3), và độ dốc khá cao, kết hợp với loại đất không thích hợp cho việc trồng rừng. Do đó, chỉ số SI thấp hơn 25. Những khu vực này nằm ở thượng nguồn của hồ thủy điện Srok Phu Miêng.

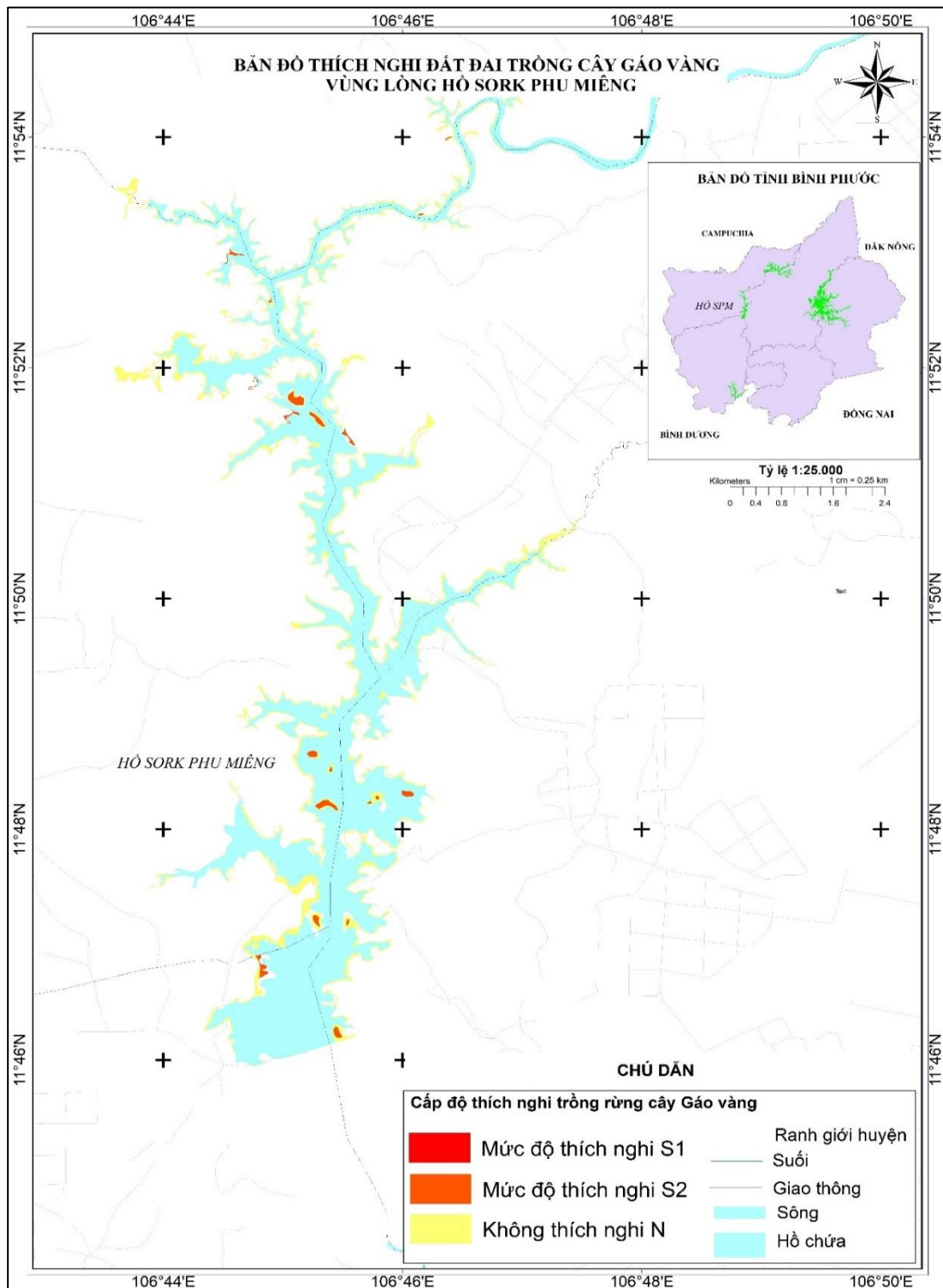
Bảng 5. Diện tích vùng bán ngập theo mức độ thích nghi hồ Srok Phu Miêng.

Loại thích nghi	Diện tích bán ngập theo mức độ thích nghi (ha)		
	Gáo vàng	Tràm	Keo
Mức độ thích nghi S1	1,53	1,53	1,53
Mức độ thích nghi S2	21,62	21,62	0,00
Mức độ thích nghi S3	0,00	135,36	0,00
Không thích nghi N	257,45	122,09	279,07

Từ kết quả nghiên cứu đánh giá mức độ thích nghi của cây trồng trong khu vực bán ngập nước tại hồ Srok Phu Miêng cho ba loại rừng trồng bao gồm gáo vàng (Hình 5), tràm (Hình 6) và keo/dầu rái/sao (Hình 7) cho thấy chúng có sự tương đồng nhau về mức độ thích nghi S1 (1,53 ha) và có sự khác nhau khá lớn về các mức độ thích nghi S2, S3 và phần diện tích không thích nghi N. Cụ thể là cây Gáo vàng có mức độ thích nghi S2 (21,62ha), S3 (0 ha) và

N (257,45 ha); Cây Tràm có mức độ thích nghi S2 (21,62 ha), S3 (135,36 ha) và N (122 ha). Keo là loại cây có mức độ thích nghi kém nhất trong vùng bán lập địa khu vực nghiên cứu này với S1 (1,53 ha), không có diện tích nào ở mức khá thích nghi S2 và thích nghi thấp S3 trong khi đó diện tích không thích nghi N là (279,07 ha).

Khu vực hồ Srok Phu Miêng có tổng diện tích bán ngập nước đủ điều kiện cho việc trồng rừng là 158,51 ha. Trong số này, diện tích đất có mức độ thích nghi cao (S1) chỉ chiếm rất nhỏ là 1,53 ha. Kết quả này cho thấy chỉ có một diện tích rất hạn chế các khu vực bán ngập có điều kiện lý tưởng để phát triển cây trồng mà không cần can thiệp đáng kể. Có khoảng 21,62 ha thuộc nhóm khá thích nghi (S2), cho thấy việc trồng rừng là tương đối phù hợp

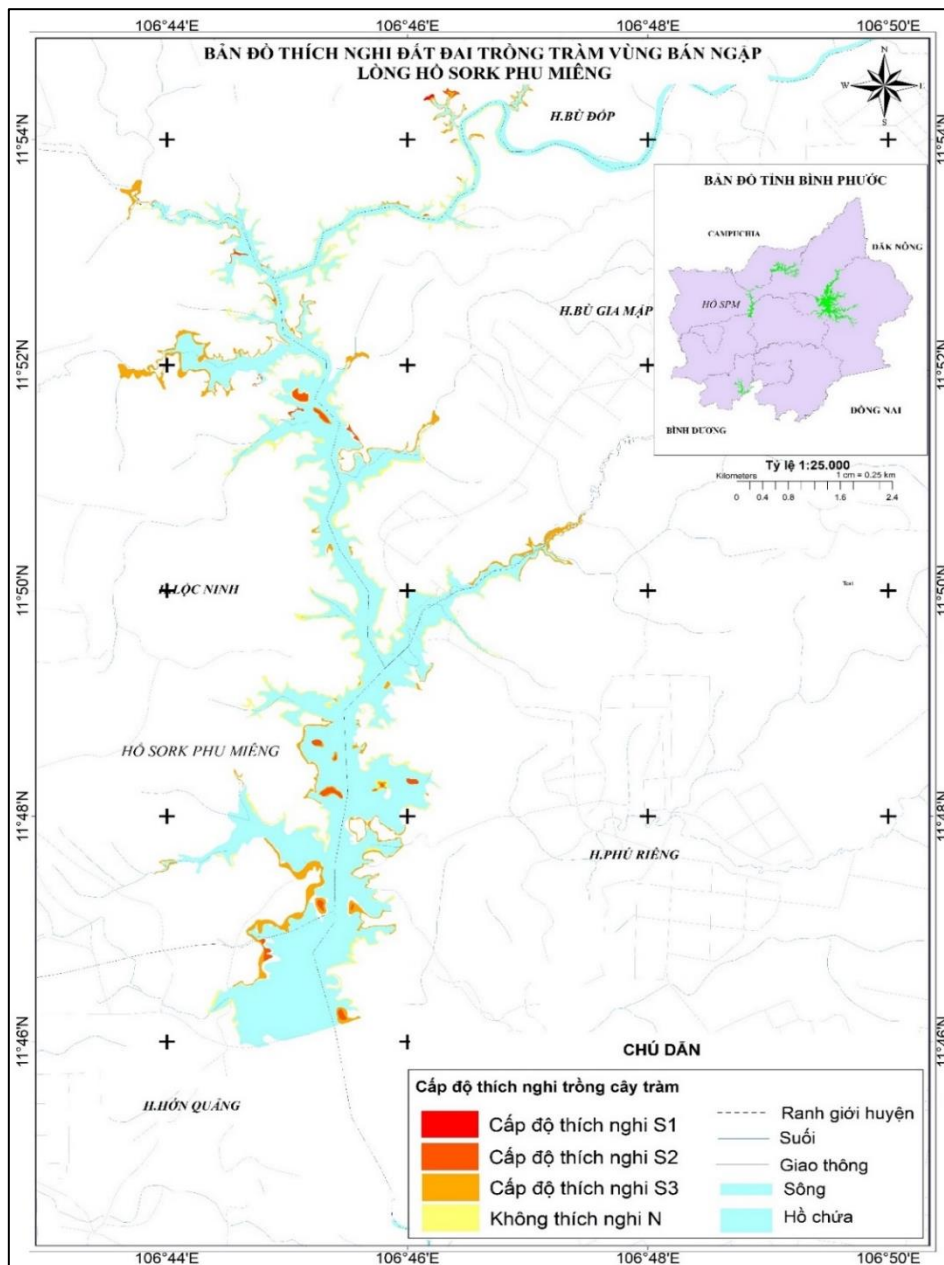


Hình 5. Bản đồ phân vùng mức độ thích nghi trồng rừng cây gạo vàng trong vùng bán ngập Hồ Srok Phu Miêng.

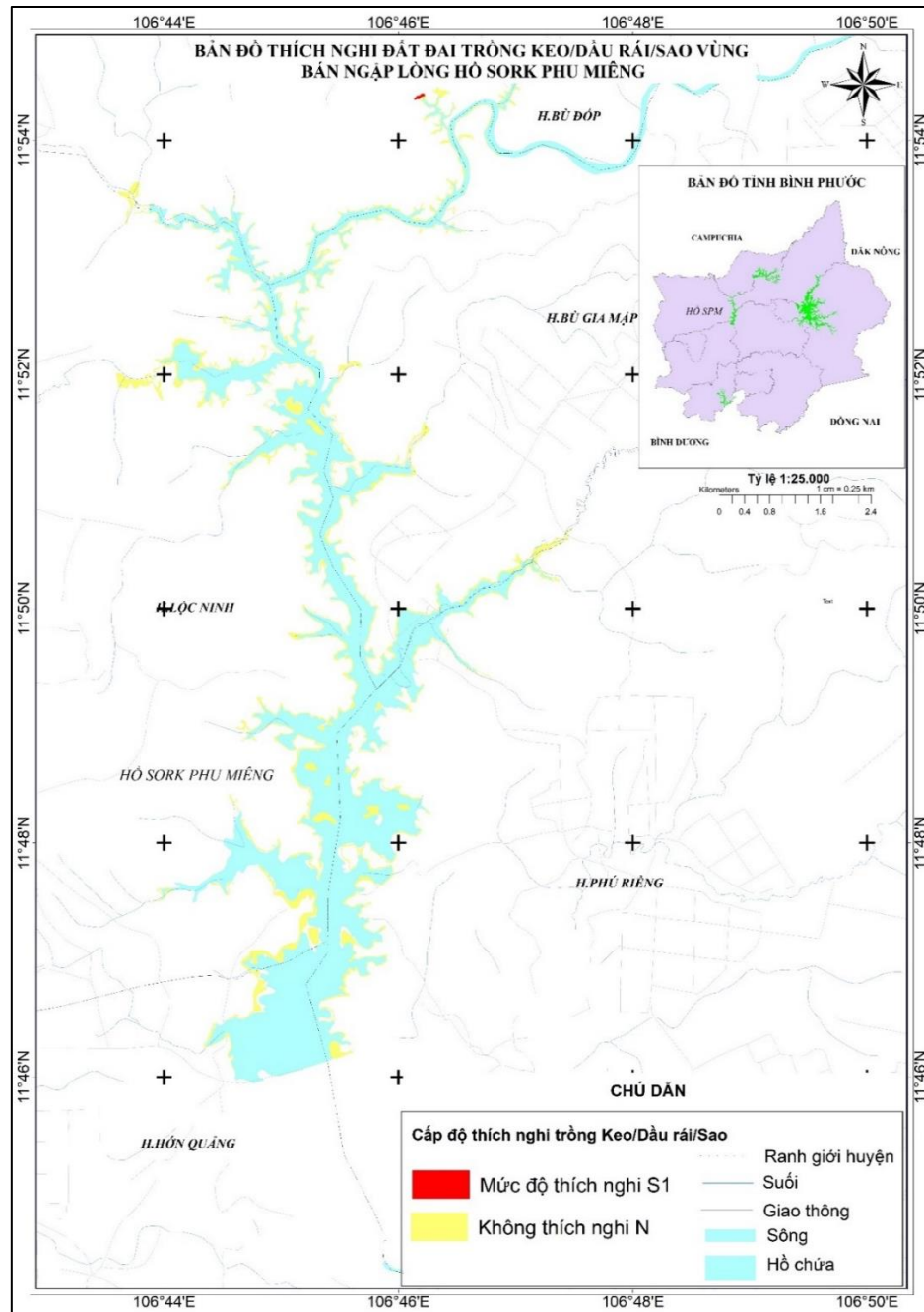
nhưng cần một số giải pháp về cải tạo đất, canh tác. Tuy nhiên, phần lớn diện tích bán lập địa thuộc nhóm ít thích nghi (S3) với 135,36 ha, cho thấy rằng mặc dù có khả năng phát triển rừng, nhưng cần có biện pháp quản lý đất và nước cẩn thận hơn.

Mặt khác, một phần lớn diện tích hồ Srok Phu Miêng được đánh giá là không thích hợp cho việc trồng rừng với 122 ha đất có chỉ số SQI và WQI thấp, độ dốc cao và loại đất không phù hợp. Những khu vực này chủ yếu nằm ở thượng nguồn của hồ và cần được xem xét cẩn thận để tránh việc sử dụng không hiệu quả về mặt kinh tế cũng như ảnh hưởng đến vận hành hồ chứa.

Trên cơ sở của nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu khuyến nghị việc trồng rừng tại hồ Srok Phu Miêng cần được thực hiện theo Quyết định 2667/QĐ-UBND ngày 6/12/2019 về việc Phê duyệt dự án trồng rừng phòng hộ tại vùng bán ngập trên địa bàn tỉnh Bình Phước. Đồng thời, cần tập trung vào việc cải thiện điều kiện đất và nước tại các khu vực khá thích nghi và ít thích nghi để tăng cường khả năng thích nghi của cây trồng. Đối với những khu vực không thích nghi, cần xem xét các biện pháp quản lý đất cụ thể hoặc chuyển đổi sang các hình thức sử dụng đất khác ngoài trồng rừng để đảm bảo tính bền vững của hệ sinh thái khu vực này.



Hình 6. Bản đồ phân vùng mức độ thích trồng rừng cây tràm trong vùng bán ngập Hồ Srok Phu Miêng.



Hình 7. Bản đồ phân vùng mức độ thích trồng rừng cây keo/dầu rái/sao trong vùng bán ngập Hồ Srok Phu Miêng.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã xác định được diện tích vùng bán ngập thích nghi với các loại cây trồng chính trong khu vực nghiên cứu. Dựa vào kết quả nghiên cứu cho thấy rằng:

(1) Có 4 yếu tố tác động chính tới khả năng thích nghi của cây trồng trong vùng bán ngập lòng hồ khu vực nghiên cứu là thời gian ngập, độ sâu ngập, độ dốc địa hình và chiều sâu tầng đất với hệ số tác động lần lượt là 0,30, 0,27, 0,19, và 0,13. Trong khi đó các yếu tố khác như độ cao, chất lượng nước (WQI) và chất lượng đất (SQI) trong khu vực này có mức độ ảnh hưởng không đáng kể $\leq 0,05$.

(2) Khu vực lòng hồ Srok Phu Miêng có tổng diện tích bán ngập là 280,60 ha trong đó diện tích bán ngập có thể khai thác để trồng cây gạo vàng, cây tràm và cây keo là 158,51 ha chiếm 56,49%. Tuy nhiên, diện tích đất bán ngập có mức độ thích nghi cao (S1) đối với các loại cây trồng này mà không cần các biện pháp cải tạo điều kiện môi trường chỉ chiếm tỷ lệ

không đáng kể trong khu vực này ($S1 = 1,53$ ha chiếm 0,54%), còn lại diện tích thích nghi mức độ ($S2$ và $S3$) là 156,98 ha chiếm 55,94% cần phải có các biện pháp cải tạo điều kiện môi trường trước khi sử dụng để trồng rừng trong vùng bán ngập lòng hồ.

(3) Kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, cây tràm và cây gạo vàng có mức độ thích nghi tốt hơn so với cây keo trong môi trường đất vùng bán ngập lòng hồ khu vực nghiên cứu với diện tích thích nghi của hai loại này như nhau và là 23,15 ha so với 1,53 ha của cây keo trong khu vực nghiên cứu này.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.D.A.; Xử lý số liệu: T.D.A., T.H.H., N.T.S.; Viết bản thảo bài báo: T.D.A., T.H.H., N.T.S.; Chỉnh sửa bài báo: T.D.A.

Lời cảm ơn: Nhóm tác xin chân thành cảm ơn Sở khoa học và Công nghệ tỉnh Bình Phước đã tài trợ cho nghiên cứu này thông qua đề tài khoa học công nghệ cấp tỉnh “Xây dựng bộ tiêu chí, hệ thống cơ sở dữ liệu quản lý lập địa bán ngập phục vụ cho trồng rừng ở tỉnh Bình Phước” năm 2020.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Silva-Flores, R.; Pérez-Verdín, G.; Wehenkel, C. Patterns of tree species diversity in relation to climatic factors on the Sierra Madre Occidental, Mexico. *PLOS ONE* **2014**, 9(8), e105034.
2. Zhang, A.; Fan, D.; Li, Z.; Xiong, G.; Xie, Z. Enhanced photosynthetic capacity by perennials in the riparian zone of the three Gorges reservoir area, China. *Ecol. Eng.* **2016**, 90, 6–11.
3. Hardanto, A.; Röhl, A.; Niu, F.; Meijide, A.; Hendrayanto; Hölscher, D. Oil palm and rubber tree water use patterns: effects of topography and flooding. *Front. Plant Sci.* **2017**, 8, 452.
4. Xu, C.; Xiang, W.; Gou, M.; Chen, L.; Lei, P.; Fang, X.; Deng, X.; Ouyang, S. Effects of Forest Restoration on Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, and Their Stoichiometry in Hunan, Southern China. *Sustainability* **2018**, 10(6), 1874.
5. Lei, C.; Wagner, P.D.; Fohrer, N. Effects of land cover, topography, and soil on stream water quality at multiple spatial and seasonal scales in a German lowland catchment. *Ecol. Indic.* **2021**, 120, 106940.
6. Cheng, Z.; Aakala, T.; Larjavaara, M. Elevation, aspect, and slope influence woody vegetation structure and composition but not species richness in a human-influenced landscape in northwestern Yunnan, China. *Front. For. Global Change* **2023**, 6, 1–12.
7. Dermott, R.M.; et al. Production of Chironomus, Procladius, and Chaoborus at Different Levels of Phytoplankton Biomass in Lake Memphremagog, Quebec–Vermont. *J. Fish. Res. Board Can.* **1977**, 34(11), 2001–2007.
8. Phê, Đ.V.; Tư, T.C. Đánh giá thích nghi đất đai phục vụ bố trí cây trồng tại huyện Buôn Đôn, tỉnh Đắk Lắk. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam* **2017**, 9(82), 110–116.
9. Lương, V.V.; Tuyền, T.T. Đánh giá đất đai cho phát triển cây bần chua (*Sonneratia caseolaris* (L.) ENGL.) tại khu vực rừng ngập mặn ven biển tỉnh Nghệ An. *Tạp chí khoa học, Trường Đại học Vinh* **2021**, 50(3A), 23–32.
10. Hoàn, T.Q. Xây dựng bản đồ phân vùng thích hợp của cây điều với điều kiện lập địa tỉnh Bình Phước. 2021.
11. Hoàn, T.Q.; Khoa, P.V.; Quỳnh, V.V. Lập bản đồ phân vùng điều kiện lập địa thích hợp của cây Dầu Rái tại tỉnh Bình Phước. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp* **2013**, 2, 31–35.
12. Andrews, S.S.; Karlen, D.L.; Mitchell, J.P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2002**, 90(1), 25–45.
13. Kumar, R.N.; Jha, P.K.; Varma, K.; Tripathi, P.; Gautam, S.K.; Ram, K.; Kumar, M.; Tripathi, V. Application of water quality index (WQI) and statistical techniques to

- assess water quality for drinking, irrigation, and industrial purposes of the Ghaghara River, India. *Total Environ. Res. Themes* **2023**, 6, 100049.
14. Tran, D.A.; Tsujimura, M.; Loc, H.H.; Dang, D.H.; Vo, P.L.; Ha, D.T.; Trang, N.T.T.; Chinh, L.C.; Thuc, P.T.B.; Dang, T.D.; Batdelger, O.; Nguyen, T.V. Groundwater quality evaluation and health risk assessment in coastal lowland areas of the Mekong Delta, Vietnam. *Groundwater Sustainable Dev.* **2021**, 15, 100679.
 15. Ma, Y.; Wang, J.; Xiong, J.; Sun, M.; Wang, J. Risk assessment for cropland abandonment in mountainous area based on AHP and PCA—Take Yunnan Province in China as an example. *Ecol. Indic.* **2024**, 158, 111287.
 16. Singh, R.; Majumder, C.B.; Vidyarthi, A.K. Assessing the impacts of industrial wastewater on the inland surface water quality: An application of analytic hierarchy process (AHP) model-based water quality index and GIS techniques. *Phys. Chem. Earth. A/B/C/* **2023**, 129, 103314.
 17. Gehlot, M.R.; Shrivastava, S. An AHP based sustainability assessment of cement mortar with synergistic utilization of granite cutting waste. *J. Build. Eng.* **2024**, 86, p. 108794.
 18. Saaty, T.L. The analytic hierarchy process: decision making in complex environments. *Quantitative Assessment in Arms Control: Mathematical Modeling and Simulation in the Analysis of Arms Control Problems*, R. Avenhaus and R.K. Huber, Editors, Springer US: Boston, MA. 1984, pp. 285–308.
 19. Saaty, R.W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Math. Modell.* **1987**, 9(3), 161–176.
 20. Armenise, E.; et al. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. *Soil Tillage Res.* **2013**, 130, 91–98.

Identifying adaptable levels for plantation forests in the semi-submerged areas of Srok Phu Mieng reservoir, Binh Phuoc province, Vietnam

Tran Dang An^{1*}, Thai Huu Hung², Nguyen Thai Son³

¹ Thuyloi University; antd@tlu.edu.vn

² Institute for Water Resources Engineering and Environment Technology; thaihuuhung636@gmail.com

³ Kien Giang Department of Agriculture and Rural Development; thaisonkg91@gmail.com

Abstract: This study was conducted to zone the adaptability of plantation forests in the semi-submerged areas of the Srok Phu Mieng hydroelectric reservoir in Binh Phuoc Province, based on field survey results and analyses of water quality, soil quality using the Analytical Hierarchy Process (AHP). The study identified four main factors affecting the adaptability of the plants: inundation time, inundation depth, terrain slope, and soil layer depth, with impact coefficients of 0.30, 0.27, 0.19, and 0.13, respectively. Other factors such as altitude, water quality, and soil quality were found to have negligible impacts (≤ 0.05) on the adaptability of the plantation forests in the study area. The results also showed that Melaleuca and yellow cheesewood are more adaptable than Acacia, with adaptable areas of 23.15 ha compared to only 1.53 ha for Acacia. This research provides insights into the importance of environmental factors and the adaptability of plantation forests in semi-submerged reservoir areas, thereby aiding relevant agencies in planning the exploitation, use, and sustainable development of plantation forests in the semi-submerged areas of irrigation and hydroelectric reservoirs in Binh Phuoc province in particular, and other areas of Vietnam in general.

Keywords: Adaptability levels; SI, AHP, WQI, SQI index.

Bài báo khoa học

Quản trị an ninh phi truyền thống liên quan biến đổi khí hậu để phát triển bền vững

Nguyễn Đức Toàn^{1*}

¹ Cục Biển và Hải đảo Việt Nam; toantnmt@gmail.com

*Tác giả liên hệ: toantnmt@gmail.com; Tel.: +84-979716466

Ban Biên tập nhận bài: 20/4/2024; Ngày phản biện xong: 24/5/2024; Ngày đăng bài: 25/10/2024

Tóm tắt: Trước những thách thức từ biến đổi toàn cầu, an ninh phi truyền thống (ANPTT) liên quan với BĐKH ngày càng có vai trò quan trọng đối với ổn định kinh tế, xã hội và phát triển bền vững (PTBV) của quốc gia. Các giải pháp quản trị ANPTT liên quan đến biến đổi khí hậu (BĐKH) để PTBV ở Việt Nam gồm: (i) Tích hợp đồng bộ ANPTT - bảo vệ môi trường (BVMT) - ứng phó BĐKH - PTBV; (ii) Nâng cao nhận thức cộng đồng về bản chất, xu thế, tác động và trách nhiệm của các bên liên quan trong thực hiện giải pháp ngăn chặn các mối đe dọa ANPTT; (iii) Chủ động, tích cực phòng ngừa, ứng phó với các mối đe dọa ANPTT liên quan BĐKH; (iv) Tăng cường và nâng cao hiệu quả hợp tác quốc tế về phòng ngừa, kiểm soát và ứng phó với các mối đe dọa ANPTT; (v) Huy động và sử dụng hiệu quả nguồn lực tài chính đa dạng; (vi) Đẩy mạnh nghiên cứu khoa học, phát triển công nghệ và chuyển giao tri thức về an ninh phi truyền thống, BVMT, ứng phó BĐKH để PTBV; (vii) Nâng cao năng lực và vai trò các bên liên quan trong tích hợp đồng bộ hệ thống ANPTT gắn với BVMT, ứng phó BĐKH để PTBV.

Từ khóa: Quản trị; An ninh phi truyền thống; Biến đổi khí hậu; Phát triển bền vững.

1. Mở đầu

ANPTT là đảm bảo an toàn, ổn định và PTBV của quốc gia, con người, doanh nghiệp bằng các công cụ luật pháp, quyền lực nhà nước, nguồn lực con người và năng lực và nguồn lực của doanh nghiệp [1]. “Các vấn đề ANPTT đe dọa trực tiếp tới sự tồn tại và phát triển của con người (các cá nhân, nhóm dân cư, cộng đồng), tổ chức, doanh nghiệp và nhà nước (đảng cầm quyền, thể chế...) trong bối cảnh toàn cầu hóa, biến đổi toàn cầu và BĐKH như: an ninh doanh nghiệp gắn với an ninh kinh tế; an ninh doanh nghiệp gắn với an ninh con người; an ninh con người và sức khỏe; an ninh lương thực; an ninh môi trường; an ninh năng lượng; an ninh văn hóa và giáo dục; an ninh mạng và an ninh thông tin...” [2]. ANPTT liên quan với BĐKH là nguy cơ tiềm ẩn, đe dọa an ninh khí hậu, an ninh con người, an ninh lương thực, an ninh nguồn nước, an ninh năng lượng,... Các mối đe dọa ANPTT thường lan tỏa nhanh, ảnh hưởng rộng mang tính khu vực hoặc toàn cầu. Các tác động bởi mặt trái của kinh tế thị trường, toàn cầu hóa [3], biến đổi toàn cầu trong đó có BĐKH, thiên tai, dịch bệnh,... đe dọa đến an ninh khí hậu, an ninh năng lượng, an ninh lương thực, an ninh môi trường, an ninh nguồn nước,... [4].

ANPTT được chính thức nhắc đến ở Việt Nam tại Đại hội Đại biểu toàn quốc lần thứ XI Đảng Cộng sản Việt Nam (tháng 4/2011) [5]. Trong đó nhấn mạnh an ninh năng lượng, an ninh lương thực, BĐKH sẽ tiếp tục diễn biến phức tạp. Nghị quyết Đại hội Đại biểu toàn quốc lần thứ XII Đảng Cộng sản Việt Nam (tháng 1/2016) đặt ANPTT bên cạnh an ninh truyền thống và chỉ ra một số vấn đề toàn cầu như an ninh tài chính, an ninh năng lượng, an ninh nguồn nước, an ninh lương thực, BĐKH, thiên tai, dịch bệnh, an ninh mạng, xung đột

sắc tộc, tôn giáo, khủng bố [6]. Đồng thời có lưu ý đến “các hình thái chiến tranh kiểu mới” với hàm ý khả năng chuyển hóa giữa ANPTT và an ninh truyền thống [3].

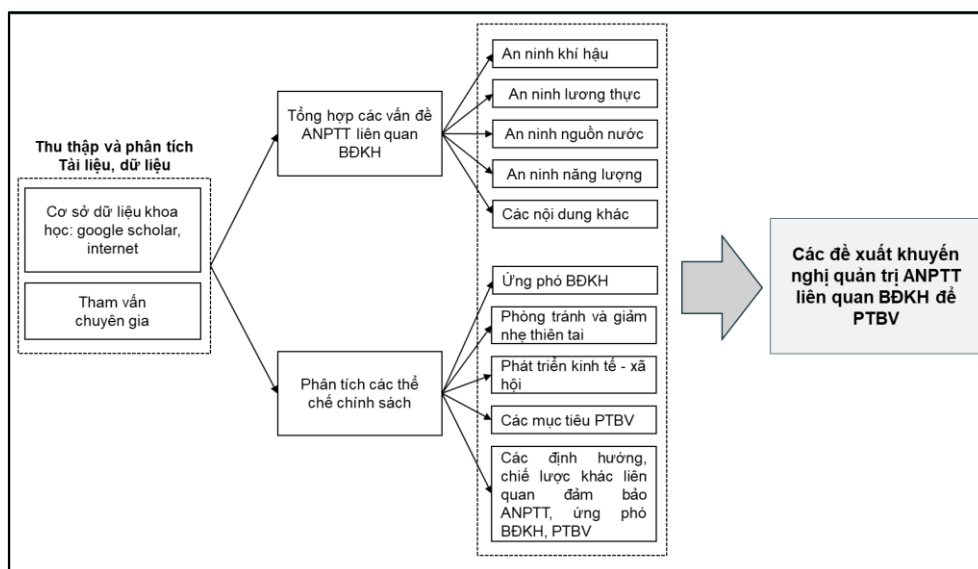
Là một bộ phận của ANPTT, an ninh môi trường đã được đưa vào Luật Bảo vệ môi trường 2014 với định nghĩa “an ninh môi trường là việc bảo đảm không có tác động lớn của môi trường đến sự ổn định chính trị, xã hội và phát triển kinh tế của quốc gia” [7]. Đây là lần đầu tiên khái niệm an ninh môi trường chính thức được đưa vào trong văn bản quy phạm pháp luật ở Việt Nam. Điều này cho thấy tầm quan trọng và những thay đổi trong nhận thức của Đảng và Nhà nước về vấn đề an ninh môi trường ở Việt Nam, coi các thách thức môi trường là vấn đề đe dọa tới an ninh quốc gia, cần phải được cảnh báo và có phương án ứng xử hợp lý.

Theo đánh giá của IPCC, Việt Nam là một trong 9 quốc gia chịu ảnh hưởng nghiêm trọng của BĐKH và nước biển dâng [8], làm trầm trọng hóa các vấn đề như xung đột trong tranh chấp tài nguyên, nhất là tài nguyên nước; căng thẳng trong cung cấp năng lượng, lương thực; có thể gia tăng nghèo đói, bất bình đẳng giới, ảnh hưởng xấu đến sức khỏe,... BĐKH đã trở thành thách thức ANPTT lớn nhất mà thế giới đang phải đối mặt, nổi lên như một yếu tố thách thức và tiềm ẩn nguy cơ cho sự tồn tại và PTBV của các quốc gia, trong đó có Việt Nam [9]. Chính vì vậy, quản trị ANPTT liên quan BĐKH sẽ góp phần PTBV, bảo vệ an ninh quốc gia trong bối cảnh biến đổi toàn cầu. Mục tiêu nghiên cứu của bài báo là phân tích các chiều cạnh liên quan đến nội dung ANPTT liên quan đến BĐKH trên thế giới và ở Việt Nam.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Thu thập và tổng hợp tài liệu

Chủ đề ANPTT còn khá mới mẻ ở Việt Nam, nghiên cứu đã tiến hành thu thập các tài liệu liên quan về quản trị ANPTT trên thế giới và ở Việt Nam. Các tài liệu thu thập được phân loại, sắp xếp theo các chủ đề và phân tích các chiều cạnh của quản trị ANPTT liên quan với BĐKH, PTBV và an toàn trên thế giới và ở Việt Nam (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ mô tả cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu.

2.2. Phương pháp chuyên gia

Các chủ đề về quản trị ANPTT được tham vấn các chuyên gia là các nhà khoa học, nhà quản lý, lập chính sách về các lĩnh vực BĐKH, an ninh lương thực, năng lượng, nguồn nước, an sinh xã hội, xóa đói giảm nghèo, bình đẳng giới, sức khỏe cộng đồng và phát triển bền vững. Phương pháp để tham vấn chuyên gia là phỏng vấn sâu thông qua thảo luận với các chuyên gia về các chủ đề ANPTT để phát triển các nội dung nghiên cứu (Hình 1).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Nội dung của ANPTT liên quan đến BĐKH

3.1.1. An ninh khí hậu

An ninh khí hậu có quan hệ chặt chẽ với an ninh quốc gia, an ninh lương thực, an ninh năng lượng, an ninh nguồn nước, an sinh xã hội, xóa đói giảm nghèo, bình đẳng giới và sức khỏe cộng đồng trong điều kiện BĐKH [10–12]. Quản trị an ninh khí hậu có vai trò đặc biệt quan trọng đối với an ninh quốc gia, PTBV, thịnh vượng, an toàn. Các nội dung, giải pháp quản trị an ninh khí hậu bao gồm: (i) Nhận diện, đánh giá, phát triển các kịch bản an ninh theo các mức độ tác động, tổn thương khác nhau của BĐKH, thiên tai [13]; (ii) Thực hiện chiến lược, kế hoạch, giải pháp triệt tiêu, giảm thiểu các tác động của BĐKH đến an ninh quốc gia, an ninh lương thực, an ninh năng lượng, an ninh nguồn nước, an sinh xã hội, bình đẳng giới và sức khỏe cộng đồng; (iii) Xây dựng hệ thống chính trị, xã hội, kinh tế, hệ thống lương thực, năng lượng, tài nguyên nước chống chịu cao với BĐKH, thiên tai; (iv) Lồng ghép, tích hợp nội dung an ninh khí hậu vào các thể chế, chính sách, chiến lược, quy hoạch, kế hoạch hành động cấp quốc gia, bộ ngành, địa phương để [14]; (v) Tăng cường hợp tác quốc tế trong đảm bảo an ninh khí hậu, bảo vệ hệ sinh thái và sinh kế toàn cầu, khu vực, phát hiện và giám sát các mối đe dọa về an ninh liên quan đến BĐKH [15]; (vi) Nguồn nhân lực cho đảm bảo an ninh khí hậu bao gồm: tổ chức, hộ gia đình và cá nhân trên địa bàn là lực lượng tại chỗ thực hiện hoạt động phòng, chống thiên tai, cực đoan khí hậu, nước biển dâng; dân quân tự vệ là lực lượng tại chỗ thực hiện nhiệm vụ phòng, chống thiên tai, cực đoan khí hậu theo phương án phòng, chống thiên tai của địa phương và sự điều động của người có thẩm quyền; quân đội nhân dân, công an nhân dân có trách nhiệm thực hiện nhiệm vụ phòng, chống thiên tai, cực đoan khí hậu, nước biển dâng và là lực lượng nòng cốt trong công tác sơ tán người, phương tiện, tài sản, cứu hộ, cứu nạn, bảo đảm an ninh, trật tự an toàn xã hội theo sự điều động của người có thẩm quyền; tổ chức, cá nhân tình nguyện tham gia hỗ trợ hoạt động phòng, chống thiên tai, cực đoan khí hậu theo sự chỉ huy của người có thẩm quyền [15].

3.1.2. An ninh lương thực trong bối cảnh BĐKH

BĐKH toàn cầu và khu vực có xu hướng ngày càng bất lợi như nước biển dâng, nhiệt độ tăng cao, bão lũ, hạn hán,... tác động xấu đến nguồn nước, tài nguyên đất, hệ sinh thái, cây trồng, vật nuôi, quá trình sản xuất, thu hoạch, chế biến, vận chuyển, phân phối sản phẩm nông nghiệp, đe dọa ngày càng nghiêm trọng đến an ninh lương thực. An ninh lương thực trong bối cảnh BĐKH là đảm bảo ổn định và bền vững nguồn cung, khả năng tiếp cận, sử dụng nguồn lương thực của mọi người với mức chi phí có thể chi trả được để đáp ứng nhu cầu về năng lượng và dinh dưỡng của con người trong mọi điều kiện BĐKH. An ninh lương thực cần được đảm bảo không chỉ ở qui mô quốc gia, toàn cầu mà phải ở cả cấp hộ gia đình [10, 16, 17].

Các nội dung, giải pháp quản trị an ninh lương thực trong bối cảnh BĐKH bao gồm: (i) Quy hoạch, bảo vệ và sử dụng hiệu quả, bền vững đất nông nghiệp, đảm bảo an ninh lương thực theo các kịch bản BĐKH, tình huống thiên tai [18–20]; (ii) Phát triển giống cây lương thực, thực phẩm có năng suất và chất lượng cao, thích ứng với điều kiện BĐKH, chống chịu sâu bệnh hại [19]; (iii) Phát triển giống vật nuôi, thủy sản hợp lý về chủng loại, thích nghi rộng về sinh thái góp phần cân đối về năng lượng và dinh dưỡng cho người dân trong điều kiện BĐKH [19]; (iv) Phát triển, hoàn thiện giải pháp về hệ thống sản xuất, công nghệ canh tác, nuôi trồng, phòng chống dịch hại, bảo quản và chế biến nông sản và hệ thống phân phối lương thực theo hướng hiệu quả cao, sử dụng ít vật tư và giảm phát thải khí nhà kính, BVMT, hướng tới phát triển một nền nông nghiệp xanh, nông nghiệp thông minh và nông nghiệp bền vững thích ứng với BĐKH [19]; (v) Phát triển các nguồn lực từ xã hội và người dân, từ các thành phần kinh tế để phát triển sản, xuất, chế biến, phân phối lương thực, thực phẩm; (vi) Hợp tác quốc tế về đảm bảo an ninh lương thực trong bối cảnh BĐKH; (vii) Hoàn thiện thể

chế, chính sách an ninh lương thực; (viii) Đẩy mạnh nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ và chuyển giao tri thức về bảo vệ an ninh lương thực; tăng cường khả năng chống chịu của các loại hình sinh kế dựa vào nông nghiệp; xây dựng mô hình tổ chức, quản lý sản xuất nông nghiệp phù hợp nhằm hỗ trợ xây dựng năng lực chống chịu trước các cú sốc về lương thực cho nhóm yếu thế và nhóm dễ bị tổn thương cũng như chia sẻ rủi ro trong sản xuất nông nghiệp [19].

3.1.3. An ninh năng lượng trong bối cảnh BĐKH

An ninh năng lượng trong bối cảnh BĐKH là đảm bảo cung cấp hay tiếp cận năng lượng đầy đủ, ổn định, có chất lượng cao với giá cả hợp lý cho phát triển kinh tế - xã hội nhanh và bền vững, bảo đảm quốc phòng, an ninh, nâng cao đời sống của nhân dân, góp phần BVMT, sinh thái trong điều kiện BĐKH [8, 21].

Để duy trì an ninh năng lượng trong bối cảnh BĐKH, cần thực hiện các nội dung, giải pháp quản trị như sau: (i) Phát triển đồng bộ, đa dạng hoá và tự chủ các nguồn năng lượng, trong đó có năng lượng sạch, năng lượng tái tạo và các nguồn năng lượng bền vững [12, 22]; (ii) Nâng cao khả năng chống chịu và giảm mức độ tổn thương của các nguồn cung, truyền tải, lưu trữ, phân phối năng lượng trước tác động của BĐKH, thiên tai [11]; (iii) Cơ cấu lại các ngành và khu vực tiêu thụ năng lượng; đồng thời khuyến khích sử dụng tiết kiệm và hiệu quả năng lượng [21, 23]; (iv) Phát triển các nguồn lực từ xã hội và người dân, từ các thành phần kinh tế để phát triển sản xuất, truyền tải, phân phối các dạng năng lượng, đặc biệt là năng lượng mới, năng lượng tái tạo [22, 24]; (v) Phát triển, ứng dụng khoa học và công nghệ, đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao cho ngành năng lượng ứng phó hiệu quả với BĐKH, thiên tai [24]; (vi) Phát triển hợp tác quốc tế, các đối tác chiến lược và đầu tư tài nguyên năng lượng ở nước ngoài để đảm bảo an ninh năng lượng quốc gia trong điều kiện BĐKH [21]; (vii) Hoàn thiện và phát triển thể chế, chính sách đảm bảo an ninh năng lượng quốc gia trong mọi tình huống, kể cả trong điều kiện BĐKH, thiên tai.

3.1.4. An ninh nguồn nước trong bối cảnh BĐKH

Vấn đề an ninh nguồn nước trên toàn cầu đang đứng trước nhiều thách thức, đe dọa. Trong lịch sử đã từng xảy ra nhiều cuộc xung đột, chiến tranh giữa các quốc gia do mâu thuẫn trong chia sẻ và kiểm soát nguồn nước. Có thể thấy rằng khủng hoảng tài nguyên nước, ô nhiễm, cạn kiệt nguồn nước đang là vấn đề nóng của thế giới hiện nay, mang tính toàn cầu và đe dọa tới sự tồn vong và phát triển của loài người. Ở Việt Nam, sự khan hiếm, thiếu hụt nguồn nước do phụ thuộc vào các con sông xuyên biên giới, nhất là sông Mê Công và sông Hồng, ô nhiễm các lưu vực sông, cạn kiệt các nguồn nước ngầm là thách thức rất lớn đối với an ninh nguồn nước. Một trong những nguyên nhân gây nên tình trạng khan hiếm nguồn nước ngọt, xâm nhập mặn, sạt lở bờ sông ở phía hạ nguồn là sử dụng không bền vững nguồn nước ở vùng thượng nguồn.

Các nội dung, giải pháp quản trị an ninh nguồn nước trong bối cảnh BĐKH bao gồm: (i) Nâng cao chất lượng, hiệu quả công tác điều tra, nghiên cứu, đánh giá, dự báo, quan trắc chất lượng, số lượng và xây dựng cơ sở dữ liệu về biến động, khai thác, sử dụng tài nguyên nước trong điều kiện BĐKH [12]; (ii) Thực hiện quy hoạch tổng hợp tài nguyên nước các vùng lãnh thổ, các lưu vực sông lớn, đảm bảo khai thác, sử dụng, bảo vệ có hiệu quả nguồn nước nội địa trong điều kiện BĐKH [12, 25]; (iii) Xây dựng, hoàn thiện và thực hiện các tiêu chuẩn quy định khai thác, sử dụng tiết kiệm, hiệu quả, tổng hợp và đa mục tiêu tài nguyên nước ứng phó BĐKH và nước biển dâng [25]; (iv) Cải tạo, nâng cấp, tu bổ và xây mới các công trình thủy lợi, thủy điện, hệ thống đê sông, đê biển, cơ sở hạ tầng sản xuất, phân phối, sử dụng nước bền vững, ứng phó hiệu quả với BĐKH, thiên tai [25]; (v) Phát triển, ứng dụng khoa học và công nghệ, đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao đáp ứng yêu cầu đảm bảo an ninh nguồn nước trong điều kiện BĐKH, thiên tai; phát triển tài nguyên nước, đảm bảo an toàn các nguồn nước, phòng ngừa và xử lý ô nhiễm nước, phòng chống tai biến nước phù hợp với các kịch bản BĐKH [25]; (vi) Phát triển hợp tác quốc tế trong nghiên cứu, đánh giá, kiểm

soát chất lượng, số lượng và sử dụng tài nguyên nước; giảm nhẹ thủy tai và chia sẻ lợi ích nước xuyên biên giới [19, 20]; (vii) Hoàn thiện thể chế chính sách, nâng cao năng lực quản lý tài nguyên nước đảm bảo an ninh nguồn nước trong bối cảnh BĐKH; hoàn chỉnh các quy trình quản lý tổng hợp tài nguyên nước và các công trình khai thác, bảo vệ và sử dụng tài nguyên nước một cách khoa học trong điều kiện BĐKH; đảm bảo nguồn cung nước sạch bền vững, việc khai thác nước không vượt quá ngưỡng giới hạn khai thác đối với các sông, không vượt quá trữ lượng có thể khai thác đối với các tầng chứa nước [26].

3.1.5. Đảm bảo an sinh xã hội, xóa đói giảm nghèo và nâng cao đời sống cho đối tượng dễ bị tổn thương trong bối cảnh BĐKH

Đảm bảo an sinh xã hội, xóa đói giảm nghèo và nâng cao đời sống cho đối tượng dễ bị tổn thương do BĐKH là các biện pháp nhằm giảm thiểu những khó khăn về kinh tế và xã hội, đảm bảo các chăm sóc về y tế, và đời sống vật chất và tinh thần cho những người nghèo, người dễ bị tổn thương trước các tác động của BĐKH [27, 28].

Nội dung, giải pháp đảm bảo an sinh xã hội, xóa đói giảm nghèo và nâng cao đời sống cho đối tượng dễ bị tổn thương do BĐKH bao gồm: (i) Phát triển sinh kế bền vững và quá trình sản xuất thích ứng BĐKH gắn với tạo việc làm, nâng cao thu nhập và xóa đói giảm nghèo cho người nghèo và những người trong hoàn cảnh dễ bị tổn thương do các hiện tượng thời tiết và khí hậu cực đoan, các cú sốc và thảm họa về môi trường, kinh tế, xã hội [27]; (ii) Xây dựng hệ thống bảo trợ xã hội để tất cả người nghèo, những người trong hoàn cảnh dễ bị tổn thương do các hiện tượng thời tiết và khí hậu cực đoan, các cú sốc và thảm họa về môi trường, kinh tế, xã hội có thể tiếp cận và đảm bảo mức sống cơ bản; (iii) Lồng ghép nội dung đảm bảo an sinh xã hội, xóa đói giảm nghèo và nâng cao đời sống cho đối tượng dễ bị tổn thương trong các chính sách, chiến lược, quy hoạch, kế hoạch phát triển kinh tế-xã hội, ngành, địa phương ứng phó BĐKH [13]; (iv) Phát triển hợp tác quốc tế về đảm bảo an sinh xã hội, xóa đói giảm nghèo và nâng cao đời sống cho đối tượng dễ bị tổn thương do các hiện tượng thời tiết và khí hậu cực đoan, các cú sốc và thảm họa về môi trường, kinh tế, xã hội.

3.1.6. Đảm bảo bình đẳng giới trong bối cảnh BĐKH

Đảm bảo bình đẳng giới trong bối cảnh BĐKH là đảm bảo nam, nữ có vị trí và vai trò ngang nhau, được tạo điều kiện và cơ hội như nhau trong tiếp cận các nguồn lực cần thiết để sinh sống, phát triển, thích ứng và giảm nhẹ BĐKH [28–30]. Nội dung đảm bảo bình đẳng giới trong bối cảnh BĐKH bao gồm: (i) Tăng cường sinh kế, nâng cao năng lực và khả năng chống chịu với BĐKH và thiên tai của phụ nữ [30]; (ii) Thúc đẩy vai trò, sự tham gia, và khả năng lãnh đạo của phụ nữ trong các hoạt động giảm thiểu rủi ro thiên tai và ứng phó với BĐKH tại cộng đồng [30]; (iii) Lồng ghép nội dung bình đẳng giới trong các chính sách và kế hoạch tài chính trong ứng phó với BĐKH [30]; (iv) Phát triển hợp tác quốc tế về đảm bảo bình đẳng giới trong bối cảnh BĐKH.

3.1.7. Đảm bảo sức khỏe cộng đồng trong bối cảnh BĐKH

Đảm bảo sức khỏe cộng đồng trong bối cảnh BĐKH là đảm bảo việc chăm sóc, bảo vệ sức khỏe và ngăn ngừa bệnh tật của các cá nhân trong cộng đồng trước các tác động của BĐKH, thiên tai. Nội dung đảm bảo sức khỏe cộng đồng trong bối cảnh BĐKH bao gồm: (i) Nâng cao nhận thức, thay đổi hành vi, đề cao trách nhiệm của cả hệ thống chính trị, toàn xã hội và của mỗi người dân về đảm bảo sức khỏe cộng đồng trong bối cảnh BĐKH [31]; (ii) Xây dựng và triển khai hệ thống chính sách chăm sóc sức khỏe cộng đồng trong bối cảnh BĐKH, đảm bảo quyền lợi các nhóm xã hội dễ bị tổn thương bao gồm phụ nữ, trẻ em, người già, người nghèo, dân tộc thiểu số [12]; (iii) Thực hiện đồng bộ các biện pháp ứng phó kịp thời, hiệu quả với BĐKH và thiên tai để giảm thiểu tác động đến sức khỏe cộng đồng; xây dựng và tổ chức thực hiện đồng bộ các đề án, chương trình đảm bảo sức khỏe cộng đồng trong bối cảnh BĐKH [12, 31]; (iv) Bảo đảm an ninh y tế, tăng cường và nâng cao hiệu quả công tác phòng, chống dịch bệnh trong điều kiện BĐKH; cải tạo, nâng cấp, xây mới cơ sở hạ

tăng, hiện đại hóa trang thiết bị, nâng cao năng lực đội ngũ cán bộ ngành y tế từ trung ương tới địa phương và tăng cường công tác phòng chống các dịch bệnh và các bệnh mới trong bối cảnh BĐKH; nâng cao năng lực, đổi mới cơ chế và phương thức hoạt động của y tế cấp xã để thực hiện vai trò là tuyến đầu trong phòng bệnh, chăm sóc sức khỏe, giảm nhẹ tác động BĐKH đến sức khỏe [12, 31]; (v) Phát triển nguồn lực tài chính từ ngân sách nhà nước, xã hội và người dân để đảm bảo sức khỏe cộng đồng trong bối cảnh BĐKH; (vi) Nâng cao hiệu quả công tác nghiên cứu, đánh giá, dự báo các tác động của BĐKH và thiên tai đến đời sống và sức khỏe cộng đồng. Mở rộng và nâng cao hiệu quả hợp tác quốc tế trong đảm bảo sức khỏe cộng đồng trong bối cảnh BĐKH [31].

3.2. Quản trị ANPTT liên quan BĐKH để PTBV ở Việt Nam

3.2.1. Các nội dung chính

Thực hiện công cuộc đổi mới, công nghiệp hóa, hiện đại hóa và hội nhập quốc tế, bên cạnh những thành tựu to lớn thì tại Việt Nam trong những năm qua, ANPTT liên quan BĐKH đang trở thành vấn đề cấp bách, ảnh hưởng sâu rộng tới thực hiện các mục tiêu PTBV. Các nguy cơ, thách thức, mối đe dọa ANPTT liên quan BĐKH ở Việt Nam ngày càng bất lợi đối với phát triển kinh tế - xã hội, quốc phòng, an ninh quốc gia, an toàn và bền vững của doanh nghiệp, cộng đồng, cuộc sống con người, đồng thời cũng là sự thách thức to lớn đối với sự PTBV của đất nước.

Như đã phân tích ở trên, ANPTT hướng đến đảm bảo sự an toàn, ổn định, bền vững của nhà nước, xã hội, nền kinh tế, môi trường, tài nguyên, hệ sinh thái, doanh nghiệp, cộng đồng, con người [32]. Chính vì thế, ANPTT nói chung, an ninh liên quan BĐKH nói riêng có quan hệ chặt chẽ với PTBV.

Có thể đạt được nhiều mục tiêu PTBV, xây dựng một xã hội chống chịu cao và cacbon thấp, tuần hoàn trên cơ sở: (i) Duy trì các chức năng và giá trị sống còn, các dịch vụ hệ sinh thái (Ecosystem), đa dạng sinh học để PTBV; (ii) Phát triển kinh tế (Economy) xanh, tuần hoàn, cacbon thấp, chống chịu cao và thuận thiên, tạo dựng sinh kế bền vững cho người dân; (iii) Bảo vệ môi trường (Environment), hạn chế thấp nhất ô nhiễm môi trường, ứng phó hiệu quả với tác động thiên tai [33, 34].

ANPTT liên quan BĐKH có thể góp phần đạt được các mục tiêu PTBV như sau:

- An ninh khí hậu trực tiếp góp phần thực hiện các mục tiêu PTBV số 13 (Ứng phó kịp thời, hiệu quả với BĐKH và thiên tai), có tác động tích cực đến thực hiện các mục tiêu khác của PTBV như mục tiêu số 2, 3, 4, 6, 7, 8 (Đảm bảo đầy đủ và quản lý bền vững tài nguyên nước và hệ thống vệ sinh cho tất cả mọi người), 9 (Xây dựng cơ sở hạ tầng có khả năng chống chịu cao, thúc đẩy công nghiệp hóa bao trùm và bền vững, tăng cường đổi mới), 11 (Phát triển đô thị, nông thôn bền vững, có khả năng chống chịu; đảm bảo môi trường sống và làm việc an toàn; phân bổ hợp lý dân cư và lao động theo vùng), 12 (Đảm bảo mô hình sản xuất và tiêu dùng bền vững), 14 (Bảo tồn và sử dụng bền vững đại dương, biển và nguồn lợi biển để PTBV), 15 (Bảo vệ và phát triển rừng bền vững, bảo tồn đa dạng sinh học, phát triển dịch vụ hệ sinh thái, chống sa mạc hóa, ngăn chặn suy thoái và phục hồi tài nguyên đất), 17 (Tăng cường phương thức thực hiện và thúc đẩy đối tác toàn cầu vì sự PTBV).

- An ninh lương thực trong bối cảnh BĐKH đóng góp cho việc đạt được mục tiêu PTBV số 2 (xóa đói, bảo đảm an ninh lương thực, cải thiện dinh dưỡng và thúc đẩy phát triển nông nghiệp bền vững) và mục tiêu PTBV số 3 (Bảo đảm cuộc sống khỏe mạnh và tăng cường phúc lợi cho mọi người ở mọi lứa tuổi) [26].

- An ninh năng lượng trong bối cảnh BĐKH giúp đạt được mục tiêu PTBV số 4 (Đảm bảo khả năng tiếp cận nguồn năng lượng bền vững, đáng tin cậy và có khả năng chi trả cho tất cả mọi người) [26].

- An ninh nguồn nước trong bối cảnh BĐKH góp phần thực hiện mục tiêu PTBV số 3 và mục tiêu PTBV số 6 (Đảm bảo đầy đủ và quản lý bền vững tài nguyên nước và hệ thống vệ sinh cho tất cả mọi người) [26].

- Đảm bảo an sinh xã hội, xóa đói giảm nghèo và nâng cao đời sống cho đối tượng dễ bị tổn thương trong bối cảnh BĐKH là góp phần thực hiện các mục tiêu PTBV số 1 (Chấm dứt mọi hình thức nghèo ở mọi nơi) và mục tiêu PTBV số 3 [26].

- Đảm bảo bình đẳng giới trong bối cảnh BĐKH góp phần thực hiện mục tiêu PTBV số 5 (Đạt được bình đẳng giới; tăng quyền và tạo cơ hội cho phụ nữ và trẻ em gái) [26];

- Đảm bảo sức khỏe cộng đồng trong bối cảnh BĐKH góp phần thực hiện mục tiêu PTBV số 3 [26].

Thực hiện 17 mục tiêu PTBV là giải pháp chủ động và hiệu quả để bảo vệ ANPTT trong đó có an ninh khí hậu. PTBV tạo ra nền tảng kinh tế - xã hội, các nguồn lực, duy trì các chức năng sinh thái và môi trường, đa dạng sinh học, nâng cao khả năng chống chịu, phục hồi của hệ thống tự nhiên - xã hội trước các tác động từ biến đổi toàn cầu, trong đó có BĐKH. Cần áp dụng các giải pháp sau đây duy trì và phát triển an ninh khí hậu để PTBV ở Việt Nam:

- Tích hợp đồng bộ ANPTT với BVMT, duy trì hệ sinh thái và phát triển kinh tế xanh, cacbon thấp, ứng phó BĐKH vào PTBV và ngược lại: (i) tích hợp đồng bộ về nhận thức, mục tiêu chung (đảm bảo an toàn, bền vững, ổn định, nâng cao khả năng chống chịu của hệ thống tự nhiên - xã hội, con người,...); (ii) hiệu quả, lợi ích; (iii) thể chế chính sách (hội tụ vào đạt mục tiêu chung và mục tiêu riêng về ANPTT - BVMT - BĐKH - PTBV; nâng cao tính tương thích của pháp luật Việt Nam với pháp luật quốc tế liên quan); (iv) chương trình và kế hoạch hành động, dự án triển khai; (v) nguồn lực (tài chính, nhân lực, cơ sở vật chất,...).

- Nâng cao nhận thức về bản chất, xu thế, tác động và trách nhiệm của các bên liên quan trong thực hiện giải pháp ngăn chặn các mối đe dọa ANPTT (khí hậu, an ninh sinh thái, an ninh môi trường, an ninh tài nguyên, an ninh nước, an ninh lương thực, an ninh năng lượng, an ninh kinh tế, an ninh con người, an ninh cộng đồng), an ninh quốc gia và an ninh nhân loại để BVMT, ứng phó BĐKH, PTBV.

- Chủ động, tích cực phòng ngừa, ứng phó với các mối đe dọa ANPTT gắn với BVMT - BĐKH để PTBV; đẩy mạnh đầu tư và hội tụ các nguồn lực PTBV, an toàn, nâng cao đời sống vật chất và tinh thần của nhân dân gắn BVMT, ứng phó BĐKH.

- Tăng cường và nâng cao hiệu quả hợp tác quốc tế về phòng ngừa, kiểm soát và ứng phó với các mối đe dọa ANPTT gắn với BVMT - ứng phó BĐKH - PTBV. Xây dựng cơ chế lòng tin và hoàn thiện khung khổ thể chế giữa các nước về ANPTT, BVMT, ứng phó BĐKH để PTBV. Chủ động và tích cực hội nhập quốc tế về phòng ngừa và ứng phó với các mối đe dọa an ninh phi truyền, BVMT, ứng phó BĐKH để PTBV thông qua cơ chế và phương thức đa tầng, đa phương và song phương, đa dạng, linh hoạt. Tăng cường chia sẻ: (i) thông tin hai chiều giữa Việt Nam với các nước, các tổ chức quốc tế về phòng ngừa, kiểm soát và ứng phó ANPTT, thông qua thiết lập cơ chế hợp tác phù hợp và hữu hiệu; (ii) thành tựu khoa học, công nghệ, phát triển nhân lực và huy động nguồn lực tài chính phục vụ cho phòng ngừa và ứng phó với các mối đe dọa ANPTT, BVMT, ứng phó BĐKH để PTBV.

- Huy động và sử dụng hiệu quả nguồn lực tài chính đa dạng (ngân sách, doanh nghiệp; quan hệ đối tác công - tư, nguồn tài chính xã hội hóa, sự đóng góp của nhân dân, các nhà tài trợ; hợp tác quốc tế, thị trường tài chính carbon,...) cho hoạt động phòng ngừa, kiểm soát, ứng phó các mối đe dọa ANPTT gắn với BVMT, ứng phó BĐKH, PTBV.

- Đẩy mạnh nghiên cứu khoa học, phát triển công nghệ và chuyển giao tri thức về ANPTT, BVMT, ứng phó BĐKH để PTBV, an toàn.

- Nâng cao năng lực và vai trò các bên liên quan trong tích hợp đồng bộ hệ thống ANPTT gắn với BVMT, ứng phó BĐKH để PTBV, an toàn. Phát huy sức mạnh tổng hợp của hệ thống chính trị và toàn xã hội trong quản trị và kiểm soát các mối đe dọa ANPTT - BVMT - ứng phó BĐKH - PTBV. Nâng cao vai trò lãnh đạo của tổ chức Đảng các cấp đối với hoạt động quản trị ANPTT - BVMT - ứng phó BĐKH - PTBV. Đổi mới, hoàn thiện quản lý nhà nước về tích hợp đồng bộ ANPTT - BVMT - ứng phó BĐKH - PTBV. Phát huy vai trò của Mặt trận Tổ quốc Việt Nam, các đoàn thể chính trị - xã hội, các tổ chức xã hội và doanh nghiệp trong phòng ngừa và ứng phó với các mối đe dọa ANPTT - BVMT - ứng phó BĐKH - PTBV.

Thu hút sự tham gia của người dân trong phòng ngừa và ứng phó với các mối đe dọa ANPTT - BVMT - ứng phó BĐKH - PTBV. Xây dựng và phát triển lực lượng, đầu tư nguồn lực cho quản trị ANPTT phù hợp với từng lĩnh vực, từng địa bàn, từng nội dung cụ thể, gắn với BVMT, ứng phó BĐKH để PTBV, an toàn.

3.2.2. Đề xuất trách nhiệm các bên liên quan về đảm bảo ANPTT liên quan BĐKH

Để bảo vệ an ninh phi truyền thống liên quan BĐKH, cần có sự phân công trách nhiệm và phối hợp giữa các bộ, ban ngành, địa phương như sau:

- Cơ quan chuyên trách bảo vệ an ninh phi truyền thống liên quan BĐKH là Ủy ban quốc gia ứng phó sự cố thiên tai và tìm kiếm cứu nạn, Bộ Công An, Ủy ban quốc gia về BĐKH;
- Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn chủ trì, phối hợp các Bộ, ngành, địa phương và cơ quan liên quan, doanh nghiệp thực hiện bảo vệ an ninh lương thực trong bối cảnh BĐKH;
- Bộ Công Thương chủ trì, phối hợp các Bộ, ngành, địa phương và cơ quan liên quan, doanh nghiệp thực hiện đảm bảo an ninh năng lượng trong bối cảnh BĐKH;
- Bộ Tài nguyên và Môi trường chủ trì, phối hợp các Bộ, ngành, địa phương và cơ quan liên quan, doanh nghiệp thực hiện đảm bảo an ninh nguồn nước trong bối cảnh BĐKH;
- Bộ Lao động - Thương binh và Xã hội chủ trì, phối hợp các Bộ, ngành, địa phương và cơ quan liên quan, doanh nghiệp thực hiện đảm bảo an sinh xã hội, xóa đói giảm nghèo và nâng cao đời sống cho đối tượng dễ bị tổn thương do BĐKH; đảm bảo bình đẳng giới trong bối cảnh BĐKH;
- Bộ Y tế chủ trì, phối hợp các Bộ, ngành, địa phương và cơ quan liên quan, các cơ sở y tế tổ chức thực hiện các hoạt động đảm bảo sức khỏe cộng đồng trong bối cảnh BĐKH.

4. Kết luận

1) ANPTT liên quan BĐKH bao gồm an ninh khí hậu, an ninh lương thực, an ninh nguồn nước, an ninh năng lượng, an sinh xã hội, xóa đói giảm nghèo và đảm bảo bình đẳng giới và đảm bảo sức khỏe cộng đồng trong bối cảnh BĐKH. ANPTT này có đóng góp tích cực vào việc thực hiện hầu hết các mục tiêu PTBV. PBBV là giải pháp chủ động và hiệu quả bảo vệ ANPTT.

2) Các nguy cơ, thách thức, mối đe dọa ANPTT liên quan BĐKH ở Việt Nam ngày càng bất lợi đối với phát triển kinh tế - xã hội, quốc phòng, an ninh quốc gia, an toàn và bền vững của doanh nghiệp, cộng đồng, cuộc sống con người, đồng thời cũng là sự thách thức to lớn đối với sự PTBV, an toàn của đất nước. Vì vậy, ANPTT liên quan BĐKH có vai trò ngày càng quan trọng đối với bảo vệ an ninh quốc gia, PTBV, thịnh vượng và an toàn của đất nước, xã hội, cộng đồng, doanh nghiệp và con người.

3) Cần áp dụng đồng bộ các giải pháp duy trì và phát triển ANPTT liên quan BĐKH để PTBV, an toàn ở Việt Nam: (i) Tích hợp đồng bộ ANPTT - BVMT - ứng phó BĐKH - PTBV; (ii) Nâng cao nhận thức cộng đồng về ANPTT; (iii) Chủ động, tích cực phòng ngừa, ứng phó với các mối đe dọa ANPTT liên quan BĐKH; (iv) Tăng cường và nâng cao hiệu quả hợp tác quốc tế; (v) Huy động và sử dụng hiệu quả nguồn lực tài chính đa dạng; (vi) Đẩy mạnh nghiên cứu khoa học, phát triển công nghệ và chuyển giao tri thức; (vii) Nâng cao năng lực và vai trò các bên liên quan trong tích hợp đồng bộ hệ thống ANPTT gắn với BVMT, ứng phó BĐKH để PTBV, an toàn.

ANPTT liên quan BĐKH là vấn đề còn mới ở nước ta nên cần được:

(i) Nghiên cứu bài bản, hệ thống, trong đó có áp dụng công thức quản trị ANPTT để làm rõ bản chất, hiện trạng, xu thế biến đổi, các giải pháp nâng cao mức độ an ninh, an toàn, bền vững của hệ thống chính trị, kinh tế, xã hội, cơ quan, tổ chức, doanh nghiệp, cộng đồng, con người trước các đe dọa từ BĐKH, thiên tai để PTBV, thịnh vượng, an toàn.

(ii) Từng bước thể chế hoá trong các chủ trương, chính sách, hệ thống pháp luật, chiến lược, chương trình, kế hoạch hành động, dự án triển bảo vệ ninh phi truyền thống liên quan BDKH.

(iii) Phát triển nguồn nhân lực, năng lực nghiên cứu và quản trị ANPTT nói chung, liên quan BDKH nói riêng để góp phần PTBV, thịnh vượng, an toàn quốc gia, xã hội, cộng đồng, cơ quan, đơn vị, doanh nghiệp và từng cá nhân.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.Đ.T.; Xử lý số liệu: N.Đ.T.; Viết bản thảo bài báo: N.Đ.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.ĐT.

Lời cảm ơn: Tác giả xin trân trọng cảm ơn cán bộ của Cục Biển và Hải đảo Việt Nam đã tham gia thu thập số liệu sử dụng trong bài báo.

Lời cam đoan: Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Hưởng, N.V. An ninh phi truyền thống: nguy cơ, thách thức, chủ trương và giải pháp đối phó ở Việt Nam. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 2014, tr. 278.
2. Hưởng, N.V.; Phi, H.Đ. Cần quản trị tốt an ninh phi truyền thống để ổn định và phát triển bền vững. Viện nghiên cứu phát triển Phương Đông, 2020. Trục tuyến: <https://ordi.vn/can-quan-tri-tot-an-ninh-phi-truyen-thong-de-on-dinh-va-phat-trien-ben-vung.html>.
3. Huân, Đ.M. An ninh phi truyền thống: Quan niệm và đặc điểm chủ yếu. *Tạp chí Mặt trận* 2017. Trục tuyến: <http://tapchimattran.vn/nguyen-cuu/an-ninh-phi-truyen-thong-quan-niem-va-dac-diem-chu-yeu-10490.html>.
4. Huân, Đ.M.; Khiếu, N.L. Một số giải pháp phòng ngừa, ứng phó với các mối đe dọa an ninh phi truyền thống ở Việt Nam hiện nay. Cổng thông tin điện tử Công an tỉnh Thái Bình, 2017. Trục tuyến: <https://congan.thaibinh.gov.vn/tin-hoat-dong-cua-catp/chuyen-de-chuyen-muc/mot-so-giai-phap-phong-ngua-ung-pho-voi-cac-moi-de-doa-an-ni.html>.
5. Nghị quyết Đại hội đại biểu toàn quốc lần thứ XI Đảng Cộng sản Việt Nam 2011. Đảng Cộng sản Việt Nam, 2011.
6. Nghị quyết Đại hội đại biểu toàn quốc lần thứ XII Đảng Cộng sản Việt Nam 2016. Đảng Cộng sản Việt Nam, 2016.
7. Luật Bảo vệ môi trường 2014. Quốc Hội, 2014.
8. Edenhofer, O.; Pichs-Madruga, R.; Sokona, Y.; Farahani, E.; Kadner, S.; Seyboth, K.; Adler, A.; Baum, I.; Brunner, S.; Eickemeier, P.; Kriemann, B.; Savolainen, J.; Schlömer, S.; Stechow, C.V.; Zwickel, T.; Minx, J.C. Climate change 2014: Mitigation of climate change, contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014, pp. 1454.
9. Chinh, N.T. Những vấn đề an ninh phi truyền thống và tác động của nó đối với các nước. Hội đồng lý luận trung ương, 2019. Trục tuyến: <http://hdl.vn/vi/nguyen-cuu---trao-doi/nhung-van-de-an-ninh-phi-truyen-thong-va-tac-dong-cua-no-doi-voi-cac-nuoc.html>.
10. Nghị quyết về Đảm bảo an ninh lương thực quốc gia. Chính Phủ, 2006.
11. America's Climate Security Act 2007. Committee on Environment and Public works United States senate, 2007.
12. Chiến lược Quốc gia về biến đổi khí hậu. Thủ tướng Chính phủ, 2011.
13. Report Climate security. Ministry of the Environment of Japan, 2007.
14. Conger, J.; Fermia, F. A climate security plan for America. The Center for Climate and Security, 2019.
15. Climate change and International Security. European Commission to the European Council, 2007.

16. Climate change and food security: risk and response. FAO, 2015. Available online: <http://www.fao.org/3/i5188e/i5188e.pdf>.
17. Global Food Security Act of 2016. US, 2016.
18. Kết luận số 53-KL/TW 2009 về Đề án an ninh lương thực quốc gia đến năm 2020. Ban chấp Hành Trung Ương, 2009.
19. Nghị quyết số 24-NQ/TW về Ứng phó biến đổi khí hậu, tăng cường quản lý tài nguyên thiên nhiên và bảo vệ môi trường. Ban chấp Hành Trung Ương, 2013.
20. Quyết định số 2053/QĐ-TTg về Kế hoạch thực hiện thỏa thuận Paris. Thủ tướng Chính phủ, 2016.
21. Nghị quyết số 55-NQ/TW về định hướng phát triển năng lượng quốc gia của Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045. Ban chấp Hành Trung Ương, 2020.
22. Quyết định số 2068/QĐ-TTg về Chiến lược phát triển năng lượng tái tạo của Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Thủ tướng Chính phủ, 2015.
23. Caballero-Anthony, M. An introduction to non-traditional security studies: a transnational approach. Sage Publication Ltd, 2015.
24. Luật Sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả. Quốc Hội, 2010.
25. Quyết định số 432/QĐ-TTg về Chiến lược Phát triển bền vững Việt Nam giai đoạn 2011-2020. Thủ tướng Chính phủ, 2011.
26. Quyết định số 622/QĐ-TTg về Kế hoạch hành động Quốc gia thực hiện chương trình nghị sự 2030 vì sự phát triển bền vững. Thủ tướng Chính phủ, 2017.
27. Nghị quyết số 15-NQ/TW về một số vấn đề về chính sách xã hội. Ban chấp Hành Trung Ương, 2012.
28. Paris agreement 2015. United nations Framework convention climate change, 2015.
29. Luật Bình Đẳng giới 2006. Quốc Hội, 2006.
30. Gender equality in the 2030 agenda for sustainable development. UN Women, 2018.
31. Nghị quyết 20-NQ/TW về tăng cường công tác bảo vệ, chăm sóc và nâng cao sức khỏe nhân dân trong tình hình mới. Ban chấp Hành Trung Ương, 2017.
32. Phi, H.D.; Huong, N.V.; Tuan, H.A.; Huyen, N.X. Management of nontraditional security: A new approach. *Int. J. Engi. Appl. Manage. Sci. Paradigms*, **2019**, 54(1), 253 – 262.
33. Hoài, N.Đ.; Dũng, L.V.; Quy, T.Đ.; Tuệ, N.T.; Hà, N.T.H.; Hà, N.T.T.; Mạnh, L.T.; Biên, N.Q.; Tiên, H.; Nhuận, M.T. Mô hình sử dụng bền vững tài nguyên rừng ở khu vực biên giới Việt - Lào Tây Bắc trong bối cảnh biến đổi khí hậu, lấy ví dụ xã Na U, huyện Điện Biên, tỉnh Điện Biên, Đa dạng sinh học và Biến đổi khí hậu. Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội, 2019, tr. 330-342.
34. Quy, T.Đ.; Hoài, N.Đ.; Nhuận, M.T.; Hà, N.T.T.; Hà, N.T.H.; Tuệ, N.T.; Dũng, L.V. Nghiên cứu mô hình phát triển bền vững tích hợp sinh kế - môi trường - hệ sinh thái ứng phó thông minh với biến đổi khí hậu cho khu vực miền núi Tây Bắc, lấy ví dụ xã Lóng Sập, huyện Mộc Châu, tỉnh Sơn La, Đa dạng sinh học và Biến đổi khí hậu. Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội, 2019, tr. 307-320.

Governance of non-traditional security related to climate change for sustainable development

Nguyen Duc Toan^{1*}

¹ The Vietnam Agency of Seas and Islands; toantnmt@gmail.com

Abstract: Facing challenges of global change, non-traditional security related to climate change is increasingly important for socio-economic stability and sustainable development of the nation. The governance solutions to maintain non-traditional security related to climate change for sustainable development in Vietnam include (i) Integrate synchronously non-traditional security - protection environment - climate change response - sustainable development; (ii) Raise awareness about the characteristics, trends and impacts of climate change and the responsibilities of stakeholders in implementing solutions to prevent non-traditional security threats; (iii) Proactively prevent and respond to non-traditional security

threats related to climate change; (iv) Strengthen and improve efficiency of international cooperation on the prevention, control and response to non-traditional security threats; (v) Mobilize and efficiently use diversified financial resources; (vi) Promote scientific research, technology development, and knowledge transfer on non-traditional security, environmental protection, and climate change response for sustainable development and safety; (vii) Enhance the capacity and roles of stakeholders in synchronous integration of non-traditional security system in association with environmental protection and climate change response for sustainable development and safety.

Keywords: Governance; Non-traditional security; Climate change; Sustainable development.

Table of content

- 1** Hoa, B.T.K.; Huyen, D.T.A.; Hung, N.V.; Thuat, H.T.T.; Anh, N.T.H.; Thu, N.V. Research for evaluating the effectiveness of based-radar rainfall estimation methods. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 766, 1–18.
- 19** Hien, N.T.; Hung, T.V.; Vui, P.T. Application of the DNORA toolkit to forecast wave in the South-Central Coast: A case study the wave fields simulation results during Damrey typhoon in 2017. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 766, 19–28.
- 29** Son, H.H.; Anh, N.X.; Thanh, P.X.; Khuong, P.L.; Hiep, N.V. Research to improve lightning warning methods based on a combination of multiple data sources applied to some areas in Quang Nam Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 766, 29–42.
- 43** Lim, D.T.; Thuy, N.T.H.; Quan, D.T.; Huong, N.T.L.; Hue, N.T.; Trang, T.T.M.; Thuy, T.T.; Dung, P.T.; Cuong, N.V.; Manh, V.D. The impact of sampling techniques at estuary, coastal area on the characteristics of microplastics: A case study at Cua Hoi estuary, Thanh Hoa Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 766, 43–52.
- 53** Phu, N.V.; Lan, P.T. Assessment of the effectiveness of Sentinel-1 and Sentinel-2 images forest lost detection: A case study in Dam Rong district, Lam Dong Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 766, 53–64.
- 65** Minh, N.Q.; Trung, N.V.; Ha, L.T.T. Using Sentinel-2 data to create a benthic map in Con Dao archipelago area, Ba Ria - Vung Tau Province, Vietnam. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 766, 65–76.
- 77** An, T.D.; Hung, T.H.; Son, N.T. FIdentifying adaptable levels for plantation forests in the semi-submerged areas of Srok Phu Mieng reservoir, Binh Phuoc Province, Vietnam. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 766, 77–90.
- 91** Toan, N.D. Governance of non-traditional security related to climate change for sustainable development. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 766, 91–101.