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 764
08-2024

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

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

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 764 - 8/2024

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

1 **Chu Thị Huyền Trang, Lê Quang Đạo, Trần Huy Hoàng, Lưu Việt Hưng, Bùi Quang Hưng, Mai Khánh Hưng, Nguyễn Thu Hằng, Đỗ Thùy Trang, Dư Đức Tiến, Đặng Đình Quân, Hoàng Gia Nam**: Ứng dụng mô hình học máy trên dữ liệu vệ tinh địa tĩnh cho bài toán nhận dạng và cảnh báo sớm bão nhiệt đới trên khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông

15 **Nguyễn Tiến Thành, Trần Khắc Thạc**: Phân tích đặc điểm và xu thế đặc trưng mưa cho tỉnh Hòa Bình

29 **Ngô Thị Phương Thảo, Ngô Hùng Long, Trần Anh Tuấn, Lê Minh Hằng**: Sử dụng ảnh Sentinel-1A đa thời gian để phát hiện lũ quét, thử nghiệm tại tỉnh Lào Cai

38 **Lê Văn Quyền, Đoàn Văn Bình**: Đánh giá xói lở bờ sông Hàm Luông bằng công nghệ viễn thám tích hợp công nghệ học máy và hệ thống phân tích đường bờ

53 **Phan Trường Khanh, Hồ Văn Tuấn Anh, Nguyễn Đức Thắng, Trần Thị Hồng Ngọc**: Diễn biến đô thị hóa và nhiệt độ bề mặt ở thành phố Long Xuyên

66 **Nguyễn Thị Liễu, Nguyễn Thế Chinh, Trần Trung Cường, Nguyễn Văn Đại, Tạ Thị Ngọc Hà**: Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới năng suất lúa hữu cơ tại tỉnh Tuyên Quang

78 **Nguyễn Hải Âu, Nguyễn Thanh Điền**: Ứng dụng AHP kết hợp TOPSIS lựa chọn phương án khai thác sử dụng không gian biển phù hợp trên địa bàn huyện Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu

93 **Lê Thị Thu Hà, Giang Thị Phương Thảo**: Sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 trong giám sát sự phát triển của cây lúa tại tỉnh Đồng Tháp, Việt Nam

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Ứng dụng mô hình học máy trên dữ liệu vệ tinh địa tĩnh cho bài toán nhận dạng và cảnh báo sớm bão nhiệt đới trên khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông

Chu Thị Huyền Trang[1], Lê Quang Đạo[2], Trần Huy Hoàng[2,3], Lưu Việt Hưng[2], Bùi Quang Hưng[2], Mai Khánh Hưng[1], Nguyễn Thu Hằng[1], Đỗ Thuỳ Trang[1] và Dư Đức Tiến[1]*, Đặng Đình Quân[1], Hoàng Gia Nam[1]

[1] Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thuỷ văn; chutrang.2406@gmail.com; maikhanhhung18988@gmail.com; nthang0676@gmail.com; dotrang111@gmail.com; duductien@gmail.com; quandangdinh.92@gmail.com; namhoangkt95@gmail.com

[2] Trung tâm Công nghệ tích hợp liên ngành Giám sát hiện trường (FIMO), Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội; daolq@fimo.edu.vn; huyhoang.tran6669@gmail.com; hunglv@piv.asia; hungbq@fimo.edu.vn

[3] Trung tâm Không gian mạng Viettel (VTCC), Tập Đoàn Công Nghiệp - Viễn Thông Quân Đội (Viettel); huyhoang.tran6669@gmail.com

*Tác giả liên hệ: duductien@gmail.com; Tel.: +84–936067015

Ban Biên tập nhận bài: 8/3/2024; Ngày phản biện xong: 12/4/2024; Ngày đăng bài: 25/8/2024

Tóm tắt: Bài báo trình bày ứng dụng phương pháp học sâu để xác định vị trí và phân loại xoáy thuận nhiệt đới (XTNĐ) một cách tự động. Phương pháp học sâu trong bài báo là ứng dụng mạng nơ-ron tích chập hai luồng (CNN) cùng các đặc điểm theo không gian và thời gian của dữ liệu vệ tinh địa tĩnh. Bộ dữ liệu vệ tinh địa tĩnh Himawari-8/9 cho các XTNĐ trên Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông từ năm 2015 đến năm 2019 đã được thu thập và sử dụng trong nghiên cứu. Đầu vào bổ sung cho phương pháp học sâu là vectơ chuyển động khí quyển (AMV) được tính toán từ dữ liệu vệ tinh liên tiếp theo thời gian. Kết quả cho thấy khả năng ứng dụng cao của phương pháp học máy trong bài toán nhận dạng XTNĐ. Ngoài ra, một thử nghiệm cụ thể cho cơn bão Doksuri vào năm 2017 cho thấy khả năng cảnh báo sớm trước so với phát báo của Cơ quan khí tượng Nhật Bản (JMA).

Từ khóa: Nhận dạng bão; Mạng nơ-ron tích chập hai luồng.

1. Mở đầu

Xoáy thuận nhiệt đới (XTNĐ) có đặc trưng chính là vùng gió xoáy với đường kính có thể tới hàng trăm km, gió thổi xoáy vào trung tâm theo hướng ngược chiều kim đồng hồ (khu vực Bắc Bán Cầu), áp suất khí quyển (khí áp) trong XTNĐ thấp hơn xung quanh, hình thành trên các vùng biển nhiệt đới và khi quan sát trên dữ liệu vệ tinh (Himawari) thường là một dạng cấu trúc xoắn từ các hệ thống mây đối lưu phát triển. Theo Tổ chức khí tượng thế giới (World Meteorological Organization-WMO), XTNĐ thuộc vào nhóm loại hình thiên tai đứng đầu gồm bão, lũ lụt, hạn hán, cháy rừng, lở đất và động đất, sóng thần gây thiệt hại lớn về người và của trên thế giới. Để giảm thiểu tác hại của XTNĐ, trong nghiệp vụ dự báo XTNĐ, một trong những yêu cầu chính đặt ra là giám sát được XTNĐ trong điều kiện thực tế, gồm vị trí tâm của XTNĐ, cường độ của XTNĐ, vùng ảnh hưởng (xác định theo các cấp gió mạnh, ví dụ bán kính vùng gió mạnh > 10,8 m/s ứng với cấp 6 trong thang sức gió Beaufort, hoặc theo vùng mưa lớn do hoàn lưu XTNĐ). Thông tin này cho phép triển khai công tác cảnh báo

những tác động do XTNĐ gây ra như gió mạnh gây đổ cây, tốc mái nhà…, mưa lớn gây lũ lụt, ngập úng, gián đoạn giao thông … và qua đó xây dựng các kịch bản ứng phó để đảm bảo an toàn về tính mạng của con người, giảm thiểu thiệt hại vật chất và ổn định hoạt động sản xuất kinh tế (trên đất liền và trên biển) cho vùng chịu ảnh hưởng bởi XTNĐ.

Để xác định vị trí, cường độ bão thời gian thực, phương pháp chủ yếu được sử dụng là phương pháp Dvorak (DT) và những năm gần đây, cùng với sự phát triển của thế hệ cảm biến trên các vệ tinh khí tượng thế hệ mới và khả năng tính toán của máy tính, kết hợp với sự tích lũy lâu năm kinh nghiệm của dự báo viên và những thành tựu mới của công nghệ tự động hóa, việc tự động phân tích và ước lượng cường độ bão nhiệt đới bằng các hệ thống máy tính đã trở nên khả thi hơn rất nhiều, tạo tiền đề để phương pháp Dvorak cải tiến (*Advanced Objective Dvorak Technique - ADT*) ra đời. Mặc dù vậy, các phương pháp DT, ADT vẫn còn nhiều sai số và mang tính chủ quan khá nhiều, chi tiết đánh giá trên khu vực Biển Đông được trích dẫn trong tài liệu [1, 2].

Việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo (*Artificial Intelligence- AI*) trong bài toán giám sát vị trí, cường độ XTNĐ từ quan trắc vệ tinh, radar được xem là những thế mạnh thực sự của công nghệ AI thông qua ứng dụng công nghệ nhận dạng với các mẫu tìm kiếm là các mẫu dạng mây bão khác nhau [3]. Ngoài dữ liệu vệ tinh thuần túy, các dữ liệu gián tiếp từ vệ tinh gồm thông tin trường gió khí quyển AMV (*Atmospheric Motion Vector* - xác định từ dữ liệu vệ tinh đo đạc liên tục theo thời gian), thông tin trạng thái biển từ các dữ liệu vệ tinh cực cũng đóng góp trong việc cải thiện chất lượng giám sát XTNĐ bằng AI [4–6]. Một số công trình liên quan đến xác định cường độ XTNĐ như sử dụng kiến trúc mạng nơ-ron tích chập (*Convolution Neural Network - CNN*) và dữ liệu ảnh vệ tinh kênh phổ hồng ngoại (IR) để xác định cường độ của XTNĐ [7]. Kết quả của nghiên cứu cho sai số trung bình quân phương (RMSE) xấp xỉ ~ 5m/s. Phương pháp phân loại hình ảnh dựa trên mô hình Visual Geometry Group (VGG) với biến thể 19 lớp để ước tính cường độ XTNĐ từ dữ liệu vệ tinh đa phổ giai đoạn từ năm 1996 đến năm 2016 trên khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương [8] cho các kết quả cho sai số RMSE ~ 6,5 m/s. Sử dụng dữ liệu kênh phổ vi sóng (microwave, các kênh vi sóng 37, 85-92 Ghz) của vệ tinh quĩ đạo cực để ước tính cường độ XTNĐ thông qua kiến trúc CNN sử dụng 2 toán tử tích chập (2D-CNN) [9]. Các kết quả đạt được với sai số RMSE ~ 7.2m/s. Các sai số của các công trình này đều khá tương đương với sai số của phương pháp thống kê và mô hình số (NWP).

Trong vấn đề dự báo sự hình thành XTNĐ sử dụng dữ liệu vệ tinh, các công trình chủ yếu sử dụng các phương pháp phân cụm dữ liệu. Điển hình gồm nghiên cứu sử dụng phương pháp cây quyết định (Decision Tree-DT) để khảo sát các nguyên nhân hình thành XTNĐ [10], Sử dụng thuật toán tổng hợp phân loại AdaBoost trong việc dự đoán sự phát triển của hệ thống đối lưu có tổ chức (*Mesoscale Convective System-MCS*) trên biển và đánh giá khả năng MCS sẽ phát triển thành XTNĐ [11].

Hoạt động của XTNĐ có tính chất lặp đi lặp lại, ví dụ xu thế đi lên phía Bắc vào đầu mùa bão ở Tây Bắc Thái Bình Dương. Do đó các thông tin về những XTNĐ có có đặc điểm tương tự trong quá khứ (quỹ đạo và cường độ) cho phép bổ sung các thông tin trong những bản tin dự báo, đặc biệt là các hệ quả mà các XTNĐ tượng tự đã gây ra [12–14]. Đây là tiền đề của việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo AI trong bài toán tìm kiếm XTNĐ có đặc điểm tương tự trong quá khứ.

AI trong dự báo XTNĐ có thể chia làm 5 khía cạnh: Dự báo sự hình thành, dự báo quỹ đạo, dự báo cường độ, dự báo thời tiết XTNĐ và tác động cực đoan của nó, giúp cải thiện kết quả dự báo từ mô hình số. Mỗi một khía cạnh sử dụng những thuật toán khác nhau sao cho phù hợp nhất. Cụ thể:

Đối với dự báo sự hình thành, mục tiêu cuối cùng của AI là tạo ra các dự báo xác suất về một khu vực cố định trong thời gian thực và dự báo định lượng về thời gian và địa điểm hình thành XTNĐ. Ở giai đoạn này, AI có khả năng dự đoán liệu các tiền thân có phát triển thành XTNĐ hay không và tần suất theo mùa của sự hình thành XTNĐ trong mỗi khu vực.

Các thuật toán điển hình được sử dụng như cây quyết định (DT), hồi quy logistic (LR), Máy vectơ hỗ trợ (SVM), CNN, Hệ thống tiếp cận lai (Hybrid) [15].

Đối với dự báo quỹ đạo XTNĐ, các mô hình AI thường bắt nguồn từ phương pháp thống kê, tức là sử dụng các đặc điểm của chính XTNĐ, các biến khí tượng và đại dương liên quan để dự đoán vị trí của XTNĐ và đây được coi là ánh xạ phi tuyến. Các thuật toán được sử dụng như DT, CNN, Mạng nơ-ron hồi quy RNN, ConvLSTM (*Convolutional Long-Short Term Memory*), phân cụm Clustering, mạng nơ-ron truyền thẳng nhiều lớp MLP (*Multilayer perceptron*) [16].

Đối với dự báo cường độ, do thiếu các thám sát tại chỗ nên dữ liệu vệ tinh là nguồn dữ liệu rất quan trọng. Phương pháp điển hình để dự báo trực tiếp cường độ là lấy toàn bộ đường đi của XTNĐ làm thành một chuỗi và sử dụng MLP hoặc RNN để dự đoán cường độ ở các thời điểm tiếp theo dựa trên cường độ của thời điểm hiện tại. Các thuật toán học máy có thể kể tới như: DT, SVM, rừng ngẫu nhiên (RF), MLP, CNN, RNN, Hybrid, thuật toán phân cụm (K-means), Transfer learning (Học chuyển giao) [17].

Trong phần tiếp theo của bài báo sẽ trình bày chi tiết về dữ liệu sử dụng và phương pháp học máy ứng dụng từ bài toán nhận dạng vật thể đến chuyển đổi sang bài toán phân loại và xác định vị trí XTNĐ một cách tự động. Phần 3 trình bày một số kết quả đánh giá kết quả thử nghiệm cho các XTNĐ trên Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông từ năm 2015 đến năm 2019. Một số kết luận chính được đưa ra trong phần 4 của bài báo.

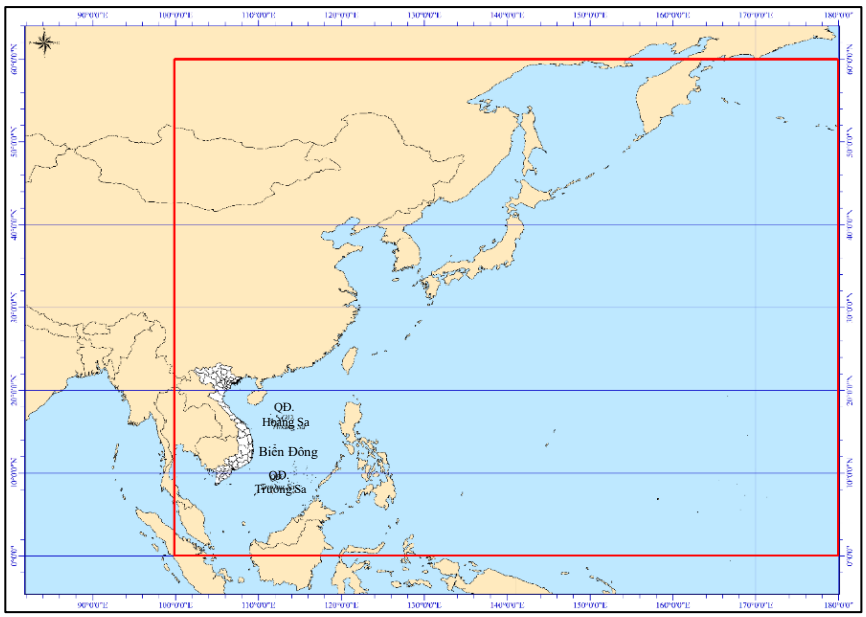
2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu nghiên cứu

AI phụ thuộc vào dữ liệu và quá trình xây dựng và triển khai hệ thống AI đòi hỏi bộ dữ liệu lớn và đa dạng. Trong nghiên cứu, dữ liệu AI gồm dữ liệu vệ tinh địa tĩnh chứa các thông tin bức xạ khí quyển thể hiện hình thái bão và dữ liệu quỹ đạo bão chuẩn (best-track) dùng để thiết lập định danh thông tin trên dữ liệu học, bao gồm vị trí XTNĐ ở đâu trên dữ liệu vệ tinh và được phân loại ở cấp độ nào.

2.1.1. Dữ liệu quỹ đạo bão chuẩn (Best-track)

Best-track của RSMC Tokyo (JMA-Nhật Bản) được dùng cho việc huấn luyện mô hình AI. Best-track được lấy từ trang web chính thức của JMA, thời đoạn từ năm 2015 tới 2019, định dạng file text. Phạm vi thu thập dữ liệu XTNĐ của best-track, JMA nằm trong miền xác đinh 0^{o}-60^{o}N, 100^{o}E-180^{o}E (Hình 1).



Hình 1. Mô phỏng miền thống kê của best track.

Best-track bao gồm thông tin về vị trí và cường độ của XTNĐ từ khi hình thành tới khi ra ngoài phạm vi quan trắc. Bảng 1 đưa ra thống kê số lượng cấp độ XTNĐ được xác định trên best-track gồm áp thấp nhiệt đới (TD), thành bão (TS), bão mạnh (STS), siêu bão (TY), tan rã hoặc di chuyển ra khu vực ngoại nhiệt đới (L).

Bảng 1. Thống kê số mẫu thử được sử dụng cho học máy giai đoạn 2015-2019.

Năm/Phân loại XTNĐ	TD	TS	STS	TY	L
2015	209	272	140	447	149
2016	216	174	110	216	85
2017	256	216	142	169	84
2018	321	260	124	311	108
2019	315	226	137	249	119

2.1.2. Dữ liệu vệ tinh Himawari

Himawari-8/9 là vệ tinh địa tĩnh do cơ quan khí tượng Nhật Bản vận hành và được phóng và đưa vào vận hành vào lúc 2:00 UTC ngày 7 tháng 7 năm 2015. Trên Himawari-8/9 chứa AHI (*Advanced Himawari Imager*) là cảm biến đo đạc 16 kênh phổ (3 kênh thị phổ, 3 kênh cận hồng ngoại và 10 kênh hồng ngoại) với độ phân giải không gian từ 500 m đến 2 km. Cụ thể, độ phân giải không gian của Himawari-8/9 là 0,5-1km đối với dải thị phổ và 1-2km đối với dải hồng ngoại và cận hồng ngoại.

2.1.3. Dữ liệu trích xuất vectơ chuyển động khí quyển

AMV là dữ liệu quan trắc về vectơ chuyển động của khí quyển được thu thập từ các hình ảnh vệ tinh. AMV đo lường sự di chuyển của đám mây và các thành phần khác của khí quyển, thông qua việc theo dõi sự thay đổi vị trí của các đối tượng khí tượng trên các hình ảnh vệ tinh liên tục. Như vậy, AMV có thể cung cấp thông tin về hướng và tốc độ gió ở các tầng khác nhau của khí quyển, giúp cho việc nhận dạng dễ dàng hơn. Bên cạnh đó, AMV rất hữu ích khi theo dõi XTNĐ vì trên đại dương các quan trắc có rất thưa thớt. AMV cũng thể hiện tính "thời gian-temporal" trong dữ liệu đầu vào cho mô hình AI. Trên thực tế, trong quá trình phân tích ảnh mây vệ tinh, các dự báo viên cũng sử dụng kĩ thuật looping để theo dõi hoàn lưu xoắn của XTNĐ. Trong nghiên cứu ứng dụng phương pháp tương quan cực đại (maximum correclation) giữa ô lưới mục tiêu (target) trong một miền tìm kiếm giới hạn (search domain). Nghiên cứu này sử dụng lưới dữ liệu target có độ phân giải 7x7 pixels cho các kênh ảnh độ phân giải 500m và 28x28 pixels cho các kênh ảnh có độ phân giải 2km. Mỗi một trích xuất AMV tại thời điểm t sẽ được tạo ra bằng cách so sánh sự dịch chuyển của khí quyển tại thời điểm t-10phút, t, t+10phút. Ví dụ, để có AMV lúc 15h00, phương pháp sẽ so sánh sự tương quan giữa ảnh vệ tinh lúc 15h00 với ảnh vệ tinh lúc 14h50 và 15h10. Với mỗi ô lưới, thuật toán sẽ tính toán, so sánh sự tương đồng giữa ảnh vệ tinh tại thời điểm t với t-10phút và t+10phút. Vị trí có hệ số tương đồng cao nhất thể hiện sự tương ứng của từng ô lưới trong từng ảnh. Từ đó sẽ tính được sự dịch chuyển bằng thuật toán tương quan mẫu với hàm mục tiêu là sự tương đồng lớn nhất. Chi tiết tham khảo tại tài liệu kĩ thuật của JMA theo đường dẫn https://www.data.jma.go.jp/mscweb/technotes/msctechrep62-4.pdf do Shimoji Kazuki thiết lập năm 2017.

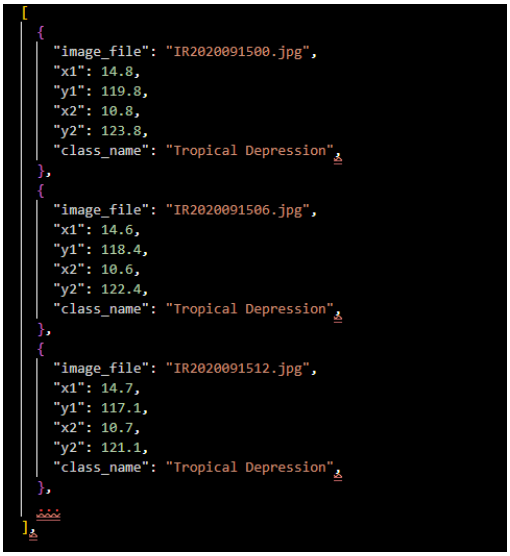
2.1.4. Dữ liệu được gán nhãn

Gán nhãn hình ảnh là quá trình gán nhãn cho các đối tượng trong ảnh, giúp cho các thuật toán của mô hình có thể nhận diện được các đối tượng đó. Một bộ dữ liệu có 2 phần chính: hình ảnh và chú thích của chúng.

- Các ảnh Himawari-8/9 được sắp xếp thành một hệ thống phân cấp các thư mục, với thư mục cấp cao nhất chứa các thư mục con cho các tập huấn luyện, đánh giá và kiểm tra.

- Mỗi chú thích trong tập dữ liệu bao gồm các thông tin sau: Tên tệp hình ảnh; miền xác định vị trí XTNĐ theo Quỹ đạo bão chuẩn (bao gồm toạ độ lat, lon của tâm bão, chiều rộng và chiều cao của miền), phân loại XTNĐ (Áp thấp nhiệt đới, Bão, Bão mạnh, Siêu bão, Bão ngoại nhiệt đới).

Tập dữ liệu sử dụng định dạng csv cung cấp thông tin về tất cả hình ảnh, minh họa dưới đây là cấu trúc của tập dữ liệu:



Hình 2. Mô phỏng file dữ liệu csv, ví dụ với tên file dữ liệu (image_file) ứng với kênh phổ hồng ngoại là IR2020091500.jpg, vùng XTNĐ được xác định qua các tọa độ x_1, y_1, x_2, y_2 và phân loại với thông tin trường class_name.

2.2. Phương pháp AI cho bài toán nhận dạng và xác định vị trí XTNĐ tự động

AI có thể hiểu đơn giản là các chương trình máy tính (thể hiện cụ thể của các kiến trúc *Machine Learning/Deep Learning*) và nhiệm vụ cốt lõi là xây dựng các mô hình toán học sử dụng số liệu với mẫu đủ lớn để đưa ra suy luận từ tập mẫu (đối tượng cần hướng tới có được kết quả phân tích và dự báo) [18].

2.2.1. Phương pháp nhận dạng đối tượng bằng mô hình AI

Thuật ngữ "Nhận dạng đối tượng" là sử dụng thị giác máy tính để xác định các đối tượng trong ảnh. Có 3 nhiệm vụ thị giác máy tính cơ bản giúp nhận dạng đối tượng:

- Phân loại hình ảnh: Dự đoán nhãn của một đối tượng trong ảnh.
- Định vị đối tượng: Xác định vị trí của các đối tượng trong ảnh dưới dạng miền định vị đối tượng (các ô chữ nhật được vẽ bao quanh đối tượng - bounding box)
- Phát hiện đối tượng: Xác định vị trí của đối tượng trong miền định vị và nhãn của đối tượng đó.

Hiện nay trên thế giới nhận dạng đối tượng bằng thị giác máy tính được ứng dụng rất nhiều, ví dụ như nhận dạng biển số xe, nhận dạng khuôn mặt, xe tự lái, … Một số hệ thống ứng dụng AI điển hình vào nhận dạng đối tượng gồm:

- Hệ thống YOLO (*You Only Look Once*) là một mô hình nhận dạng đối tượng thời gian thực cho phép nhận dạng nhiều đối tượng trong một hình ảnh một cách nhanh chóng và chính xác [19]. Bộ dữ liệu (Dataset) được sử dụng cho việc huấn luyện mô hình là COCO (*Common Objects in Context*), một bộ dữ liệu lớn chứa hơn 1,5 triệu hình ảnh với hơn 80 loại đối tượng khác nhau.
- Faster R-CNN (*Region-based Convolutional Neural Networks*) là một kiến trúc mạng học sâu được sử dụng phổ biến trong nhận dạng đối tượng [20]. Dataset phổ biến là Pascal VOC (*Visual Object Classes*), bộ dữ liệu gồm nhiều hình ảnh chứa các đối tượng khác nhau

được gán nhãn. Faster R-CNN có thể được sử dụng để đếm và theo dõi hành khách trong sân bay.

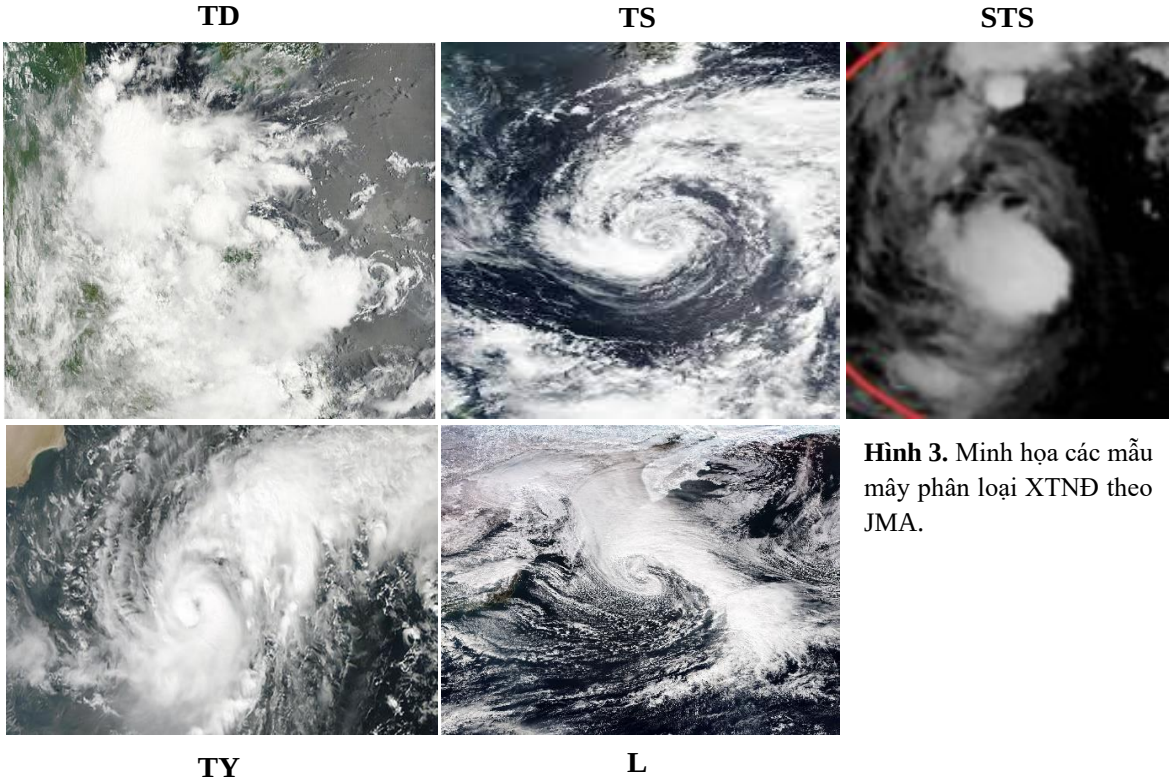
- SSD (*Single Shot MultiBox Detector*) là một mô hình nhận dạng đối tượng thời gian thực có khả năng nhận dạng nhanh chóng và hiệu quả [21]. Dataset phổ biến được dùng để huấn luyện mạng là MS COCO (*Microsoft Common Objects in Context*) gồm hàng ngàn hình ảnh được gán nhãn các đối tượng khác nhau.

- RetinaNet là mô hình nhận dạng đối tượng được phát triển bởi nhóm nghiên cứu tại *Facebook AI Research (FAIR)*. Đặc điểm nổi bật của RetinaNet là khả năng nhận dạng đối tượng với độ chính xác cao ở nhiều tỷ lệ khác nhau, ngay cả khi tập dataset chứa dữ liệu bị mất cân bằng giữa các lớp (các đối tượng này có thể xuất hiện nhiều hơn đối tượng khác). RetinaNet đã được chứng minh là có hiệu suất cao trong nhận dạng đối tượng trên nhiều bộ dữ liệu khác nhau như COCO và Pascal VOC. RetinaNet được sử dụng trong giám sát an ninh, xe tự lái, nhận dạng đối tượng trong hình ảnh y khoa, … [22].

Nghiên cứu sẽ ứng dụng lớp bài toán nhận dạng nhưng đối tượng là XTNĐ, những vật thể phân loại khác nhau ứng với cấp độ XTNĐ và vị trí XTNĐ trên dữ liệu ảnh-vệ tinh ứng với vị trí "vật thể" XTNĐ được xác định trên dữ liệu ảnh-vệ tinh. Chi tiết sẽ được trình bày trong phần tiếp theo.

2.2.2. Ứng dụng cho bài toán nhận dạng XTNĐ

Theo trung tâm JMA-RMSC Typhoon Center thì XTNĐ sẽ chia thành 6 dạng trong đó có 5 dạng chính, minh họa tại hình 3.



Hình 3. Minh họa các mẫu mây phân loại XTNĐ theo JMA.

Mô hình AI được xây dựng nhằm nhận dạng XTNĐ trên ảnh vệ tinh địa tĩnh, cụ thể:

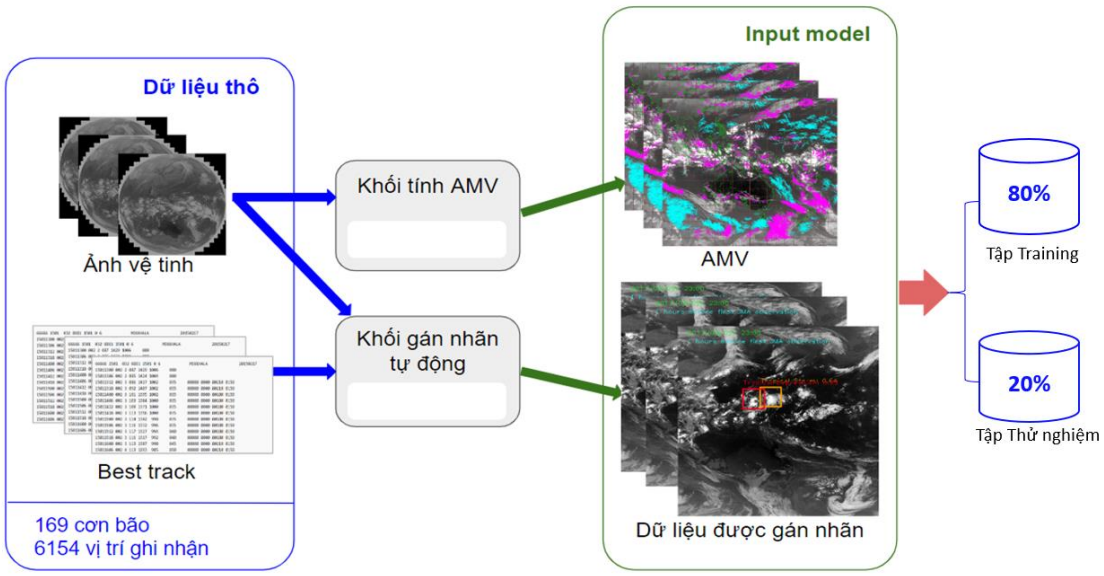
- Phân loại đối tượng: Dự đoán nhãn của XTNĐ trong ảnh, phân loại XTNĐ là Áp thấp nhiệt đới, Bão, Bão mạnh, Siêu bão hay Bão ngoại nhiệt đới. Đây cũng chính là nhận dạng cường độ XTNĐ.

- Định vị đối tượng: Vẽ các miền định vị xung quanh đối tượng, với tâm miền chính là tâm XTNĐ.

- Phát hiện đối tượng: Vẽ các miền định vị đối tượng kèm theo nhãn của chúng.

2.2.3. Thiết lập tập dữ liệu dataset cho bài toán nhận dạng XTNĐ từ dữ liệu Himawari

Mô hình AI nhận dạng XTNĐ là một mạng không gian - thời gian. Ảnh Himawari-8/9 ở dạng riêng lẻ sẽ cung cấp thông tin về vị trí XTNĐ, đặc điểm về mẫu mây - tính chất về không gian. Về phần thời gian, ảnh Himawari dưới dạng liên tục 10 phút một thể hiện các chuyển động của khí quyển chính là trích xuất AMV. Từ dữ liệu thô là ảnh Himawari-8/9 và số liệu best-track, tạo ra cơ sở dữ liệu bao gồm ảnh AMV và Ảnh được gắn nhãn làm đầu vào cho việc huấn luyện mô hình AI.



Hình 4. Sơ đồ thiết lập dữ liệu cho bài toán ứng dụng học sâu nhận dạng XTNĐ.

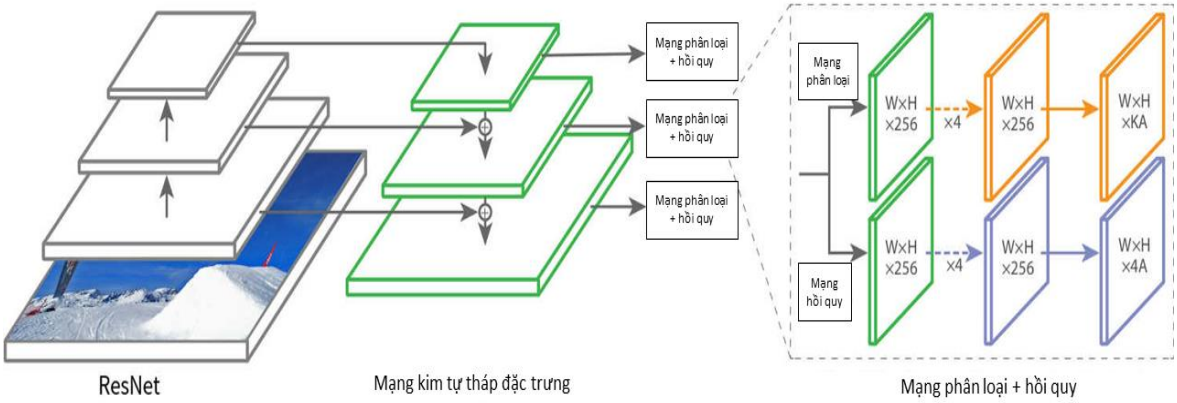
2.2.4. Mô hình AI ResNet ứng dụng cho bài toán nhận dạng XTNĐ

ResNet, hay Residual Networks là một loại kiến trúc mạng nơ-ron sâu (*deep neural network*) với vai trò học tập phân loại hình ảnh. Mục tiêu chính của giai đoạn này là gán nhãn lớp cho hình ảnh XTNĐ theo từng cấp độ. Kết quả học tập của Resnet là tạo ra bộ tham số chứa các tính năng đặc trưng cho việc nhận dạng XTNĐ, làm đầu vào cho mô hình Retinanet nhận dạng ở bước tiếp theo. Điểm mạnh của ResNet là có thể giải quyết vấn đề độ sâu trong mạng nơ-ron, cụ thể là vấn đề về biến mất đạo hàm (*vanishing gradient*) trong quá trình đào tạo các mô hình học sâu.

Về cấu trúc, ResNet thể hiện cấu trúc của mạng CNN (Hình 5). Mạng CNN là một kiến trúc học sâu được áp dụng rộng rãi như một mô hình rất hiệu quả trong việc phân tích hình ảnh hoặc dữ liệu giống hình ảnh để nhận dạng mẫu. CNN được cấu trúc theo các lớp: một lớp đầu vào kết nối với dữ liệu, một lớp đầu ra kết nối với các đại lượng để ước tính và nhiều lớp ẩn ở giữa. Các lớp ẩn của CNN thường bao gồm các lớp tích chập (*convolutional layers*), các lớp tổng hợp (*pooling layers*), các lớp được kết nối đầy đủ (*fully connected layers*) và các lớp chuẩn hóa (*normalization layers*). Các lớp phức hợp trích xuất các đặc trưng của hình ảnh. Các lớp tổng hợp lọc giá trị tối đa của các đặc trưng này để giảm số lượng các đặc trưng. Các lớp được kết nối đầy đủ thường nằm ở cuối của mạng CNN, sẽ đóng vai trò kết nối mọi nơ-ron trong một lớp với mọi nơ-ron trong lớp khác. Một mạng CNN có thể bao gồm nhiều lớp tích chập và nhiều lớp tổng hợp. Ưu điểm của CNN là có thể học cách nhận dạng các mẫu không gian bằng cách khai thác tất cả các phần của hình ảnh được xử lí theo cách tương tự, và do đó có thể trích xuất các tính năng tự động trong khi giảm đáng kể số lượng tham số.

Một trong những thách thức lớn khi đào tạo mạng nơ-ron sâu là việc truyền ngược đạo hàm qua nhiều lớp. Khi bắt đầu huấn luyện, các trọng số của một mô hình học sâu được khởi tạo ngẫu nhiên. Sử dụng dữ liệu đầu vào, mô hình sẽ dự đoán nhãn đầu ra dựa trên các trọng số ban đầu. Sự khác biệt giữa nhãn thực và nhãn dự đoán được đo bằng một hàm mất mát (*loss function*). Sau đó, các gradient (đạo hàm) của các hàm mất mát được sử dụng trong quá

trình tính toán các thông số mô hình mới để giảm thiểu tối đa sự chênh lệch giữa nhãn thực và nhãn được dự đoán. Toàn bộ quá trình này được gọi là lan truyền ngược (Back Propagation). Sau khi lan truyền ngược, trình tối ưu hóa (optimizer) sẽ cập nhật các trọng số mô hình và tất cả các bước này được lặp lại cho đến khi hàm mất mát được đánh giá trên dữ liệu thử nghiệm hoặc huấn luyện giảm xuống mức chấp nhận được (mô hình lúc này được xem là hội tụ).



Hình 5. Kiến trúc mạng RetinaNet.

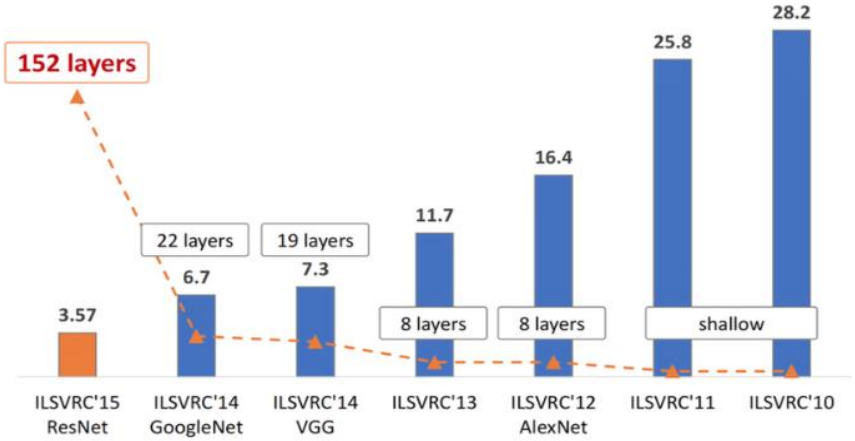
Trong quá trình này, gradient có thể giảm đáng kể khi đi qua nhiều lớp, dẫn đến hiện tượng biến mất đạo hàm. Điều này làm giảm khả năng học của mô hình và làm tăng khó khăn trong việc đào tạo các mạng nơ-ron sâu. Khi mạng học càng sâu (càng nhiều lớp), giá trị gradient giảm xuống 0, khiến các trọng số không cập nhật và kết quả là không có quá trình học nào được thực hiện.

ResNet giải quyết vấn đề này bằng cách sử dụng các "khối phần dư" (*residual blocks*) để xây dựng kiến trúc của mạng. Thay vì chỉ học biểu diễn của dữ liệu đầu vào, ResNet học sự chênh lệch giữa dữ liệu đầu vào và đầu ra (đoạn dư). Mục đích của mạng Resnet là cho phép tạo ra mạng nơ-ron với độ sâu lớn.

Cụ thể, một đoạn dư trong ResNet được biểu diễn như sau:

$$\text{Output} = \text{ReLU}(\text{Weight} \times \text{input} + \text{Shortcut})$$

Trong đó input là đầu vào của đoạn dư; Weight là trọng số của lớp convolution; Shortcut là đường ngắn (shortcut connection), thường được thêm vào để làm cho kích thước của đầu ra bằng với đầu vào.



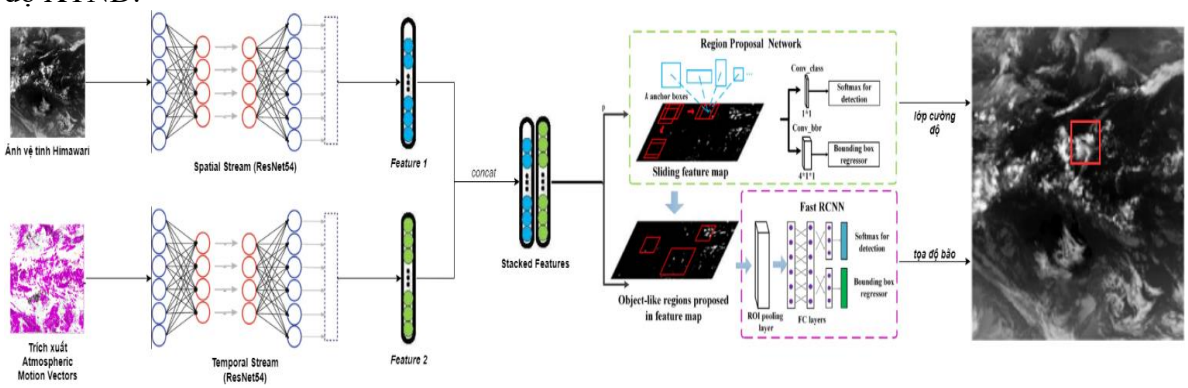
Hình 6. Minh họa tính hiệu quả của việc sử dụng mạng Resnet trong nhận dạng ảnh so với các kiến trúc mạng khác (GoogleNet, VGG,…) trong đó chỉ số trên các biểu độ cột ứng với xác suất lỗi xảy ra khi nhận dạng (link gốc ảnh minh họa: https://www.researchgate.net/publication/321896881_Iris_Recognition_with_Off-the-Shelf_CNN_Features_A_Deep_Learning_Perspective).

Nhờ vào cơ chế khối phần dư, mô hình ResNet có khả năng học các biểu diễn phức tạp mà không gặp vấn đề vanishing gradient. ResNet đã chứng minh sự hiệu quả của mình trong nhiều nhiệm vụ thị giác máy tính, như nhận diện hình ảnh và phân loại (Hình 6).

Mạng học sâu được sử dụng cho bài toán nhận dạng XTNĐ ứng dụng cụ thể trong nghiên cứu là Retinanet (Hình 5), về bản chất RetinaNet là một mạng tổng hợp bao gồm:

- Một mạng xương sống có tên là Mạng kim tự tháp đặc trưng (*Feature Pyramid Net*), được xây dựng dựa trên mạng ResNet và chịu trách nhiệm tính toán các bản đồ đặc trưng tích chập của toàn bộ hình ảnh.
- Một mạng con chịu trách nhiệm phân loại đối tượng (class subnet), cụ thể ở đây là nhận dạng cường độ XTNĐ.
- Một mạng con chịu trách nhiệm thực hiện hồi quy tìm ra miền định vị đối tượng thể hiện vị trí của XTNĐ (*box subnet*).

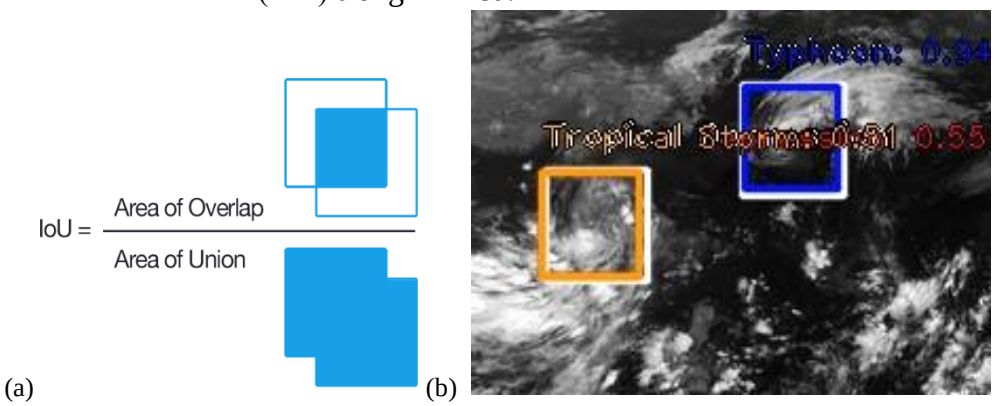
Minh họa tổng thể thiết kế mạng Resnet cho bài toán nhận dạng XTNĐ cụ thể như sau (Hình 7): Chuỗi thời gian của ảnh vệ tinh có thể được phân tách thành các thành phần không gian và thời gian. Đối với phần không gian, ở dạng hình ảnh riêng lẻ sẽ mang thông tin về XTNĐ được mô tả trong hình ảnh. Đối với phần thời gian, ở dạng chuyển động của khí quyển qua các hình ảnh liên tục (thể hiện bởi trích xuất AMV), sẽ thể hiện cường độ và hướng gió. Về cơ bản, phần thứ nhất là sử dụng mạng Resnet học đồng thời các đặc điểm không gian và thời gian, sau đó kết hợp với nhau bằng thuật toán chuẩn hoá L2 xếp chồng. Sau đó, các đặc trưng sẽ được sử dụng làm đầu vào cho mô hình Retinanet học tập nhận dạng vị trí và cường độ XTNĐ.



Hình 7. Cấu trúc mạng không - thời gian để nhận dạng XTNĐ.

2.2.5. Phương pháp đánh giá

Liên quan đến bài toán đánh giá độ tin cậy trong nhận dạng, hiện nay đa số sử dụng chỉ số Intersection over Union (IoU) trong hình 8a.



Hình 8. Minh họa tính toán chỉ số độ tinh cậy trong nhận dạng (a): trong đó Area of Overlap là diện tích vùng giao nhau giữa vùng dự báo và vùng tồn tại thực của XTNĐ, Area of Union bao gồm diện tích phần hợp của vùng dự báo và vùng tồn tại thực của XTNĐ và (b): Mô tả về chỉ số IoU, đường bao trắng: đường bao thực vị trí bão. Đường bao cam, xanh: đường bao dự đoán vị trí bão.

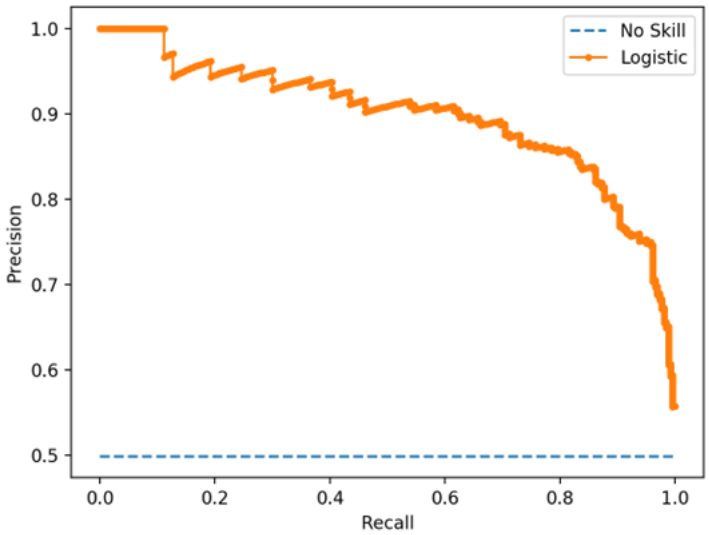
IoU đặc trưng cho tỉ lệ đo lường giữa mức độ giao nhau của hai đường bao (đường bao dự đoán và đường bao thực), ví dụ về đường bao được mô tả trong Hình 8b. Giá trị IoU thường nằm trong khoảng từ 0 đến 1, với 0 thể hiện giữa dự báo và thực tế không có sự giống nhau và 1 thể hiện dự báo hoàn toàn khớp với thực tế. Một ngưỡng IoU sẽ được xác định trước để quyết định xem một dự báo có được coi là chính xác hay không. Thông thường, ngưỡng IoU được chọn là 0,5, với: dự báo được cho là chính xác (IoU ≥ 0,5), dự báo không chính xác (IoU < 0,5) và không nhận dạng được.

Ngoài ra, từ chỉ số IoU sẽ xác định tỉ lệ phát hiện đúng (*True Positive - TP*), sai (*False Positive -FP*), không nhận dạng được (*False Negative - FN*) để tính ra chỉ số mAP. TP thể hiện mô hình dự báo đúng sự tồn tại của XTNĐ, FP thể hiện mô hình dự báo được XTNĐ nhưng không chính xác so với thực tế, FN thể hiện mô hình không dự báo được XTNĐ trong khi thực tế có XTNĐ.

mAP hay còn gọi là đường cong Precision-Recall. Precision (Độ chính xác) là thang đo đặc trưng cho độ chính xác của dự báo, là tỷ lệ giữa số trường hợp dự báo đúng trên tổng số các trường hợp dự báo. Recall (Độ bao phủ) là thang đo đặc trưng cho độ tốt của khả năng tìm thấy vùng dự báo chính xác (hay còn gọi là độ nhạy của phương pháp), là tỷ lệ giữa số trường hợp dự báo đúng trên tổng số các trường hợp có tồn tại XTNĐ, xác định theo các công thức (1).

$$\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{TP+FP}};\ \text{Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{TP+FN}} \tag{1}$$

Giả sử có N ngưỡng để tính Precision và Recall, với mỗi ngưỡng cho một cặp giá trị Precision, Recall là P_n, R_n, với n=1,2, …, N. Precision-Recall Curve được vẽ bằng cách nối từng điểm tọa độ (P_n, R_n), minh họa tại Hình 10.



Hình 9. Ví dụ về đường cong Precision-Recall.

Khi đó AP được xác định bằng:

$$\text{AP} = \sum_n \frac{\text{R}_n - \text{R}_{n-1}}{\text{P}_n} \tag{2}$$

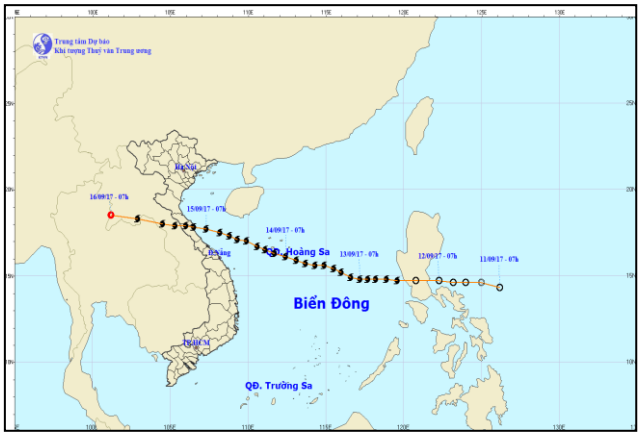
mAP là trung bình AP của tất cả các lớp. mAP là chỉ số tin cậy trung bình của phương pháp, đây sẽ là chỉ số định lượng để đánh giá tỉ lệ nhận dạng thành công của phương pháp nhận dạng sử dụng AI.

Về số liệu sử dụng để đánh giá, các giá trị toạ độ được nhận dạng bởi phương pháp AI sẽ được so sánh với quỹ đạo Best track của Nhật Bản tại cùng thời điểm tương ứng.

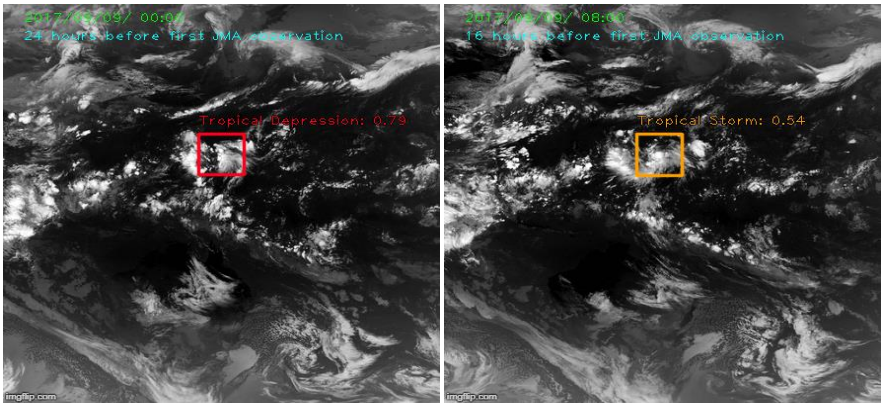
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Trường hợp thử nghiệm cụ thể cho cơn bão Doksuri năm 2017 trên Biển Đông

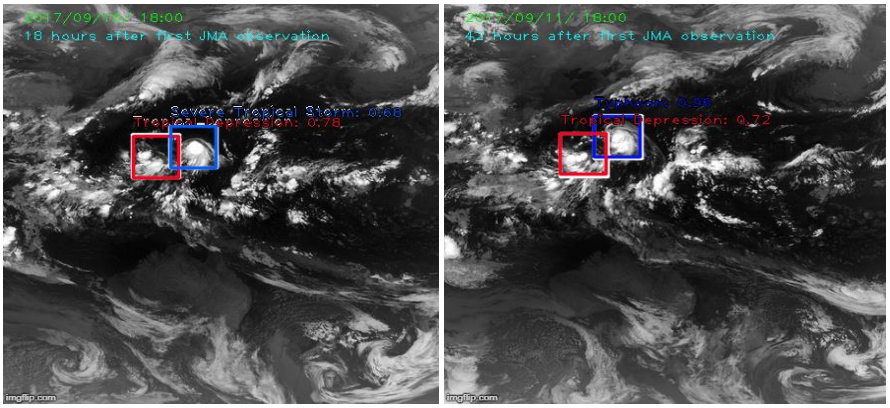
Để minh họa cụ thể khả năng nhận dạng của hệ thống đối với cơn bão Doksuri năm 2017 hoạt động trên Biển Đông và đổ bộ và miền Trung (Hình 10), khi bão Doksuri hoạt động trên khu vực Biển Đông đã đạt cấp độ mạnh nhất (TY) với gió mạnh cấp 13, giật cấp 15 và khi đổ bộ vào đất liền đạt cấp 11-12, giật cấp 14. Kết quả nhận dạng xác định cường độ được đưa ra tương ứng tại hình 11 cho thấy độ đo tổng hợp mAP đạt 93,1% và đánh giá thêm cho thấy hệ thống đã cho phép cảnh báo khả năng phát hiện sự hình thành của bão trước 24h so với thời điểm đầu tiên được JMA phát báo.



Hình 10. Quỹ đạo di chuyển của bão Doksuri (Nguồn: Trung tâm Dự báo khí tượng thuỷ văn quốc gia).



TD (2017/09/09 00:00) TS (2017/09/09 08:00)



STS (2017/09/10 18:00) TY (2017/09/11 18:00)

Hình 11. Kết quả nhận dạng cho cơn bão Doksuri năm 2017 tại một số thời điểm cụ thể. Khung định vị màu trắng ứng với dữ liệu từ best-track của JMA, các khung hình màu đỏ (TD), màu xanh (STS) và màu da cam (TS) ứng với khung hình phân loại nhận dạng tự động của hệ thống.

3.2. Kết quả nhận dạng cho giai đoạn 2015-2019

Trong bảng 2 đưa ra kết quả thử nghiệm với 427 mẫu thử với 3 lựa chọn đầu vào khác nhau cho mô hình nhận dạng RetinaNet bao gồm chỉ sử dụng ảnh vệ tinh, chỉ sử dụng dữ liệu AMV và đồng thời sử dụng cả hai đầu vào dữ liệu ảnh kết hợp AMV. Kết quả cho thấy khi sử dụng riêng biệt ảnh mây vệ tinh, mô hình có thể nhận ra Typhoon tốt nhất với tỷ lệ lên tới 88,18%. Điều này đồng nhất với phương pháp AMVs khi nhận diện được 60,67% số lượng mẫu thử Typhoon. Khi sử dụng đồng thời cả hai phương pháp này, khả năng phát hiện Typhoon của AI được cải thiện lên 89,13%.

Ở tất cả 5 loại mẫu thử, việc kết hợp cả ảnh vệ tinh và AMVs đều cho thấy AI nhận diện tốt hơn khi sử dụng riêng biệt từng phương pháp. Cải thiện tốt nhất có thể thấy được ở 94 mẫu thử Tropical Depression khi khả năng phát hiên tăng lên tới 60.78% so với sử dụng riêng ảnh vệ tinh (34,51%) hay AMVs (10,69). Đối với việc cải thiện nhận dạng Tropical Depression cho thấy tiềm năng trong vấn đề cảnh báo và dự báo trước sự hình thành của bão.

Bảng 2. Kết quả so sánh mAP độ nhận diện 6 dạng XTNĐ ứng với đầu vào ảnh, AMV và kết hợp ảnh và AMV.

Phân loại	Mẫu đánh giá	Image RetinaNet mAP	AMVs RetinaNet mAP	Image + AMVs RetinaNet mAP
Tropical Depression	94	34,51	10,69	60,78
Tropical Storm	109	52,44	12,87	66,95
Severe Tropical Storm	45	33,28	19,35	42,30
Typhoon	103	88,18	60,67	89,13
Extra-tropical Cyclone	76	38,93	7,71	57,24
Trung bình	427	52,69	23,69	66,62

4. Kết luận

Nghiên cứu đã trình bày chi tiết việc ứng dụng phương pháp học sâu để xác định vị trí và phân loại XTNĐ một cách tự động. Mạng học sâu được sử dụng cho bài toán nhận dạng XTNĐ là Retinanet trong đó mạng xương sống có tên là Mạng kim tự tháp đặc trưng chịu trách nhiệm tính toán các bản đồ đặc trưng tích chập của toàn bộ hình ảnh, một mạng con chịu trách nhiệm phân loại đối tượng ứng với nhận dạng cường độ XTNĐ và một mạng con chịu trách nhiệm thực hiện hồi quy tìm ra miền định vị đối tượng thể hiện vị trí của XTNĐ.

Với bộ dữ liệu Himawari cho các XTNĐ trên Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông từ năm 2015 đến năm 2019 đã được thu thập, mô hình đã được thử nghiệm và kết hợp với dữ liệu bổ sung thông qua dữ liệu vectơ chuyển động khí quyển. Kết quả tính toán đã cho thấy khả năng ứng dụng cao của phương pháp AI trong bài toán nhận dạng XTNĐ và với tỉ lệ tin cậy cao trong xác định phân lớp TĐ cũng cho thấy khả năng cảnh báo sớm cả sự hình thành của XTNĐ.

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

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.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được hoàn thành dựa trên sự hỗ trợ của Đề tài nghiên cứu khoa học "Nghiên cứu xây dựng hệ thống trí tuệ nhân tạo ứng dụng trong dự báo xoáy thuận nhiệt đới (XTNĐ) ở Biển Đông và ảnh hưởng đến Việt Nam hạn đến 3 ngày", Mã số: KC-4.0-46/19-

25, thuộc Chương trình "Hỗ trợ nghiên cứu, phát triển và ứng dụng công nghệ của công nghiệp 4.0", Bộ Khoa học và Công nghệ.

Tài liệu tham khảo

1. Thành, N.H.; Năng, T.Q.; Tiến, D.Đ.; Dung, P.P.; Ngà, P.T.T. Đánh giá kết quả áp dụng kỹ thuật Dvorak cải tiến (ADT) phân tích cường độ bão trên biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn* **2017**, *680*, 14–24.
2. Năng, T.Q.; Dung, P.P.; Huyền, L.K.; Thành, N.H.; Tiến, D.Đ. So sánh kĩ thuật phân tích cường độ bão Dvorak cải tiến (ADT) và phương pháp phân tích Dvorak (DT) trong nghiệp vụ dự báo bão trên khu vực biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn* **2018**, *686*, 12–20.
3. Krizhevsky, A.; Sutskever, I.; Hinton, G.E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. Proceedings of the 25th International Conference on Neural Information Processing Systems (Lake Tahoe, NV), 2012, 1097–1105.
4. Liu, Y.; Racah, E.; Prabhat, Correa J.; Khosrowshahi, A.; Lavers, D.; Kunkel, K.; Wehner, M.; Collins, W. Application of deep convolutional neural networks for detecting extreme weather in climate datasets. 2016. https://doi.org/10.48550/arXiv.1605.01156.
5. Kim, S.K.; Ames, S.; Lee, J.; Zhang, C.; Wilson, A.C.; Williams, D. Massive scale deep learning for detecting extreme climate events. Proceedings of the 7th International Workshop on Climate Informatics, Boulder, 2017.
6. Matsuoka, D.; Nakano, M.; Sugiyama, D.; Uchida, S. Deep learning approach for detecting tropical cyclones and their precursors in the simulation by a cloud-resolving global nonhydrostatic atmospheric model. *Prog. Earth Planet. Sci.* **2018**, *5*, 80.
7. Pradhan, R.; Aygun, R.S.; Maskey, M. Ramachandran, R., Cecil, D.J. Tropical cyclone intensity estimation using a deep convolutional neural network. *IEEE Trans. Image Process.* **2018**, *27*, 692–702.
8. Combinido, J.S.; Mendoza, J.R.; Aborot, J.A. Convolutional neural network approach for estimating tropical cyclone intensity using satellite-based infrared images. Proceedings of the 2018 24th ICPR, Beijing, China, 2018.
9. Wimmers, A.; Velden, C.; Cossuth, J.H. Using Deep Learning to Estimate Tropical Cyclone Intensity from Satellite Passive Microwave Imagery. *Mon. Weather Rev.* **2019**, *147*, 2261–2282.
10. Park, M.S.; Kim, M.; Lee, M.I.; Im, J.; Park, S. Detection of tropical cyclone genesis via quantitative satellite ocean surface wind pattern and intensity analyses using decision trees. *Remote Sens. Environ.* **2016**, *183*, 205–214.
11. Zhang, T.; Lin, W.; Lin, Y.; Zhang, M.; Yu, H.; Cao, K.; Xue, W. Prediction of Tropical Cyclone Genesis from Mesoscale Convective Systems Using Machine Learning. *Weather Forecast.* **2019**, *34*, 1035–1049.
12. Yu, J.H., Zheng, Y.Q., Wu, Q.S., Lin, J.G., Gong, Z.B. K-Means clustering for classification of the northwestern pacific tropical cyclone tracks. *J. Trop. Meteorol.* **2016**, *22*, 127–135.
13. Kim, H.S.; Kim, J.H.; Ho, C.H.; Chu, P.S. Pattern classification of typhoon tracks using the fuzzy c-means clustering method. *J. Clim.* **2011**, *24*, 488–508.
14. Kim, S.W.; et al. A time-dependent surrogate model for storm surge prediction based on an artificial neural network using high-fidelity synthetic hurricane modeling. *Nat. Hazards* **2016b**, *76(1)*, 565–585.
15. Yunsoo, C.; Ebrahim, E. Hybrid AI hurricane forecasting system: deep learning ensemble approach and Kalman filter. 1st Workshop on Leveraging Artificial Intelligence (AI) in the Exploitation of Satellite Earth Observations & Numerical

Weather Prediction (NWP), NOAA Center for Weather and Climate Prediction, Maryland 20740, USA, 2019.
16. Rui, C.; Zhang, W.; Wang, X. Machine learning in tropical cyclone forecast modeling: A review. *Atmosphere* **2020**, *11(7)*, 676.
17. Xu, W.; Balaguru, K.; August, A.; Lalo, N.; Hodas, N.; DeMaria, M.; Judi, D. Deep learning experiments for tropical cyclone intensity forecasts. *Weather Forecasting* **2021**, *36(4)*, 1453–1470.
18. Tiến, D.Đ. Nghiên cứu xây dựng hệ thống trí tuệ nhân tạo ứng dụng trong dự báo xoáy thuận nhiệt đới (XTNĐ) ở Biển Đông và ảnh hưởng đến Việt Nam hạn đến 3 ngày. Thuyết minh đề tài nghiên cứu ứng dụng và phát triển công nghệ cấp quốc gia, 2021.
19. Wei, F.; Wang, L.; Ren, P. Tinier-YOLO: A real-time object detection method for constrained environments. *IEEE Access* **2019**, *8*, 1935–1944.
20. Cao, Changqing, et al. An improved faster R-CNN for small object detection. *IEEE Access* **2019**, *7*, 106838–106846.
21. Cao, G.; Xie, X.; Yang, W.; Liao, Q.; Shi, G.; Wu, J. Feature-fused SSD: Fast detection for small objects. Proceeding of the 9th International Conference on Graphic and Image Processing (ICGIP 2017). SPIE, 2018, 10615.
22. Afif, M.; Ayachi, R.; Said, Y.; Pissaloux, E.; Atri, M. An evaluation of retinanet on indoor object detection for blind and visually impaired persons assistance navigation. *Neural Process. Lett.* **2020**, *51*, 2265–2279.

Application of deep learning for identifying and early warning of tropical cyclones in the Northwest Pacific basin and East Sea

Chu Thi Huyen Trang[1], Le Quang Dao[2], Tran Huy Hoang[2,3], Luu Viet Hung[2], Bui Quang Hung[2], Mai Khanh Hung[1], Nguyen Thu Hang[1], Do Thuy Trang[1], Du Duc Tien[1]*, Dang Dinh Quan[1], Hoang Gia Nam[1]

[1] National Center for Hydro-Meteorological Forecasting (NCHMF), Vietnam Meteorological and Hydrological Administration; chutrang.2406@gmail.com; maikhanhhung18988@gmail.com; nthang0676@gmail.com; dotrang111@gmail.com; duductien@gmail.com; quandangdinh.92@gmail.com; namhoangkt95@gmail.com
[2] Center of Multidisciplinary Integrated Technologies for Field Monitoring (FIMO), University of Engineering and Technology, Vietnam National University; daolq@fimo.edu.vn; huyhoang.tran6669@gmail.com; hunglv@piv.asia; hungbq@fimo.edu.vn
[3] Viettel Cyberspace Center (VTCC), Viettel Group; huyhoang.tran6669@gmail.com

Abstract: In this study presents a deep learning (DL) application to detect tropical cyclones (TCs). A two-stream Convolution Neural Network (CNN) which captures both spatial and temporal features of time-series of geostationary satellite cloud images (SCIs) is proposed. A dataset of Himawari-8 SCIs of TCs over Western North Pacific and East Sea from 2015 to 2019 are processed. Additional inputs for DL relating to tropical cyclone circulation features are atmospheric motion vector (AMV). Results show that our model can significantly improve the performance of TC detection. Moreover, our case study for the detection of TC Doksuri in 2017 yielded promising results as our proposed model is capable of detecting and early warning TC formation 24 hours prior to the first time reported by the (Japan Meteorological Agency) JMA.

Keywords: Tropical Cyclones detection; Two-stream Convolution Neural Network.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Phân tích đặc điểm và xu thế đặc trưng mưa cho tỉnh Hòa Bình

Nguyễn Tiến Thành[1]*, Trần Khắc Thạc[2]

[1] Khoa Kỹ thuật tài nguyên nước, Trường Đại học thủy lợi; thanhnt@tlu.edu.vn
[2] Trường Đại học Thủy Lợi; thacdt@tlu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: thanhnt@tlu.edu.vn, Tel: +84–383928535

Ban Biên tập nhận bài: 11/3/2024; Ngày phản biện xong: 13/4/2024; Ngày đăng: 25/8/2024

Tóm tắt: Mưa là một trong những đại lượng khí tượng đầu vào quan trọng trong các bài toán phân tích và tính toán khí tượng thủy văn nhưng có độ bất định rất lớn theo cả không gian và thời gian. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung làm rõ đặc điểm, sự phân bố theo không gian và thời gian cũng như xu thế các đặc trưng mưa cho tỉnh Hòa Bình sử dụng phương pháp phân tích xu thế Sen và kiểm nghiệm phi tham số Mann-Kendall. Các đặc trưng mưa được xem xét bao gồm lượng mưa 1 giờ lớn nhất, lượng mưa 1 ngày lớn nhất, lượng mưa 5 ngày lớn nhất, lượng mưa tháng, lượng mưa mùa, lượng mưa năm, cường độ mưa, số ngày có lượng mưa lớn hơn 100 mm và số ngày có lượng mưa từ 50 tới 100 mm giai đoạn 1990–2019. Ngoài ra, đường tần suất lý luận cũng được xây dựng và tính toán cho lượng mưa 1 giờ lớn nhất, 1 ngày lớn nhất, 5 ngày lớn nhất và cường độ mưa. Kết quả cho thấy trong thời kỳ 1990-2019, lượng mưa trong các tháng mùa mưa (từ tháng 5 tới tháng 10) chiếm tới hơn 85% tổng lượng mưa cả năm trên tất cả các trạm. Số ngày có lượng mưa lớn hơn 100 mm và lượng mưa từ 50-100 mm có sự gia tăng khá rõ theo hướng Tây Bắc Đông Nam. Các chỉ số mưa này có xu thế giảm tại trạm phía Đông nam của tỉnh. Đặc biệt, xu thế giảm lớn nhất đối với lượng mưa 1 ngày lớn nhất và 5 ngày lớn nhất được ghi nhận tại trạm Chi Nê phía Đông Nam của tỉnh.

Từ khóa: Đặc điểm mưa; Xu thế mưa; Hòa Bình.

1. Đặt vấn đề

Nằm trọn trong miền nhiệt đới với phần lớn địa hình là đồi núi cũng như sự ảnh hưởng của các trung tâm khí áp toàn cầu và khu vực đã hình thành chế độ khí hậu rất đặc trưng và phức tạp của Việt Nam. Tính chất nhiệt đới và sự phức tạp này thể hiện ở nhiều khía cạnh, trong đó có sự giao tranh và tương tác của các hình thế thời tiết khác nhau như gió mùa Đông bắc, Tây Nam, hoàn lưu bão…Đặc biệt, khu vực các tỉnh vùng Tây Bắc bộ do ảnh hưởng độ cao địa hình của nhiều dãy và khối núi cáo chạy theo hướng Tây Bắc - Đông Nam và có sự chia cắt mạnh. Đây cũng là một trong các nguyên nhân tạo nên tính bất định lớn của các đặc trưng khí tượng thủy văn theo không gian và thời gian. Đặc biệt khi có sự kết hợp với khối không khí lạnh biến tính vào nửa sau mùa đông khi di chuyển qua biển và ảnh hưởng tới khu vực [1]. Bên cạnh đó, tác động của tổ hợp các hình thế thời tiết gây mưa như sự kết hợp của dải hội tụ nhiệt đới và bão trên khu vực Bắc bộ nói chung và vùng Tây Bắc bộ nói riêng cũng dẫn tới sự biến đổi rất phức tạp của các đặc trưng mưa [2].

Cho tới nay, nhiều nghiên cứu quốc tế đã sử dụng phương pháp phân tích xu thế Sen và kiểm nghiệm phi tham số để đánh giá xu thế biến đổi của các yếu tố khí tượng thủy văn, tập trung lượng mưa và nhiệt độ cho các khu vực khác nhau trên thế giới, như ở Serbia [3], Thái Lan [4], Các Tiểu vương quốc Ả Rập Thống nhất UAE [5], Trung Quốc [6]. Nhìn chung, các nghiên cứu đều chỉ ra tính hiệu quả của việc sử dụng phương pháp phân tích xu thế Sen và kiểm nghiệm phi tham số cho các vùng khác nhau trên thế giới [7]. Tại Việt Nam, có rất nhiều

các nghiên cứu liên quan tới phân tích xu thế mưa, điển hình là nghiên cứu sử dụng một bộ số liệu quan trắc của hơn 80 trạm trên toàn lãnh thổ Việt Nam trong giai đoạn 1961-2007 để đánh giá xu thế của 7 yếu tố khí tượng [8]. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng khu vực từ vĩ tuyến 17 trở vào phía Nam lượng mưa có xu thế tăng lên, trong khi một xu thế giảm là được tìm thấy ở khu vực phía Bắc. Trước đó, xu thế biến đổi mưa ngày lớn nhất cũng được phân tích dựa trên bộ số liệu mưa tại các trạm trên lãnh thổ Việt Nam giai đoạn 1961-2007 [9]. Kết quả cũng chỉ ra một xu thế tăng ở vùng Tây Bắc trong giai đoạn này [9].

Gần đây, một số đặc trưng mưa cho khu vực Trung Trung Bộ cũng được phân tích cho thời kỳ 1976-2017 sử dụng phương pháp hồi quy tuyến tính. Kết quả cho thấy xu thế tăng ở các tỉnh phía Nam và giảm ở các tỉnh phía Bắc của khu vực đối với chỉ số mưa lớn [10]. Một vài nghiên cứu khác liên quan tới phân tích đặc điểm và xu thế đặc trưng mưa cũng được thực hiện riêng cho tỉnh Quảng Bình như sử dụng phương pháp hồi quy tuyến tính cho bộ dữ liệu từ 1961-2014 [11] hay cả phương pháp hồi quy tuyến tính và phương pháp phân tích xu thế Sen's slope và kiểm nghiệm phi tham số cho bộ dữ liệu từ 1988-2018 [12]. Ngoài ra, các phương pháp này cũng được sử dụng để làm rõ đặc điểm và xu thế của các đặc trưng mưa trong mùa mưa cho các tỉnh vùng Nam Bộ giai đoạn 1996-2021 [13]. Kết quả cho thấy xu thế giảm của tất cả các đặc trưng mưa trong mùa mưa được xem xét ở hầu hết các trạm trong tổng số 21 trạm được sử dụng trong nghiên cứu. Bên cạnh đó, các đặc trưng liên quan tới nhiệt độ cũng được phân tích và đánh giá sử dụng các phương pháp phân tích xu thế khác nhau, cho các vùng khác nhau trên toàn lãnh thổ Việt Nam [14–16]. Nhìn chung, các nghiên cứu tập trung đánh giá ở quy mô vùng và khu vực với các thời đoạn nghiên cứu khác nhau. Trong khi đó Hòa Bình là tỉnh miền núi phía Tây Bắc với mạng lưới sông lớn như sông Đà và suối, hồ phân bố rộng khắp trên tất cả các huyện, thành phố [17]. Ngoài ra trên địa bàn tỉnh còn có 41 hồ chứa có dung tích lớn hơn 1 triệu m^3. Đây là điều kiện thuận lợi để phát triển sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản và nhiều lĩnh vực khác. Vì vậy, việc phân tích đặc điểm và xu thế đặc trưng mưa cho tỉnh Hòa Bình sẽ góp phần sử dụng hiệu quả nguồn tài nguyên nước mưa phục vụ phát triển kinh tế - xã hội.

Theo thống kê của Tổng cục Phòng chống thiên tai, chỉ riêng 6 tháng đầu năm 2020 trên toàn quốc thiên tai đã làm 47 người chết, 01 người mất tích, 130 người bị thương, làm thiệt hại 108.458 ha lúa và hoa màu, tập trung khu vực Đồng bằng sông cửu long và Nam Trung Bộ [18]. Trong năm 2023, trên địa bàn tỉnh Hòa Bình năm 2023 thiên tai đã làm thiệt hại ước khoảng trên 129 tỷ đồng [19]. Trước những thách thức liên quan tới tình hình thiên tai trên toàn quốc nói chung và Hòa Bình nói riêng, bài báo tập trung phân tích đặc điểm và xu thế các đặc trưng mưa cùng với xây dựng đường tần suất lý luận một số đặc trưng mưa cho tỉnh Hòa Bình dựa trên dữ liệu từ 1981-2019 của 5 trạm mưa trên địa bản tỉnh.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu

2.1. Phương pháp nghiên cứu

2.1.1. Phương pháp xác định xu thế biến đổi đặc trưng mưa

Trong nghiên cứu này, phương pháp kiểm nghiệm phi tham số Mann-Kendall được sử dụng [20, 21]. Xu thế của một chuỗi được xác định bằng cách so sánh độ lớn tương đối của các thành phần trong chuỗi. Nói cách khác, các thành phần trong chuỗi được xếp hạng từ lớn đến bé mà không quan tâm tới sự khác biệt giá trị cụ thể của chúng. Điểm thuận lợi khi dùng cách tiếp cận này là không phụ thuộc vào quy luật phân bố của tập mẫu. Phương pháp này được mô tả ngắn gọn như sau.

Giả sử tồn tại một chuỗi thời gian $\{x_t, \textit{với } t=1..n\}$. Mỗi một thành phần trong chuỗi sẽ được so sánh với tất cả các thành phần còn lại đứng sau nó. Giả sử ban đầu chuỗi không có xu thế, tức giá trị thống kê Mann-Kendall (S) sẽ được gán bằng 0. Nếu thành phần sau lớn hơn thành phần trước thì giá trị thống kê S sẽ được tăng lên 1 đơn vị, ngược lại sẽ bị trừ đi 1 đơn

vị. Mặt khác, S sẽ không thay đổi nếu hai thành phần có giá trị bằng nhau. Sau tất cả các lần so sánh, giá trị S theo phương trình (1) sẽ được dùng để đánh giá xu thế chung của chuỗi.

$$S=\sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n}\text{sign}(x_j-x_k) \quad (1)$$

Trong đó:

$$\text{Sign}\left(x_j-x_k\right)=\begin{cases}1 & \text{khi } x_j-x_k>0\\ 0 & \text{khi } x_j-x_k=0\\ -1 & \text{khi } x_j-x_k<0\end{cases} \quad (2)$$

Nếu giá trị S lớn hơn 0, tức chuỗi có xu thế tăng; ngược lại nếu S nhỏ hơn 0, tức chuỗi có xu thế giảm. Mức độ ý nghĩa của xu thế được xác định thông qua giá trị S và n. Trong đó, phương sai của S được tính theo công thức (3).

$$\text{Var}(S)=\frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5)-\sum_{p}^{g}t_p\left(t_p-1\right)\left(2t_p+5\right)\right] \quad (3)$$

Với g là số nhóm của các phần tử có giá trị giống nhau và p là số phần tử thuộc nhóm thứ p. Giá trị chuẩn Z của S tuân theo định luật phân phối chuẩn.

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\left[\text{Var}(S)\right]^{1/2}} & \text{khi } S>0\\ 0 & \text{khi } S=0\\ \dfrac{S+1}{\left[\text{Var}(S)\right]^{1/2}} & \text{khi } S<0\end{cases} \quad (4)$$

Z có phân phối chuẩn N(0,1) dùng để kiểm định chuỗi có xu thế hay không với mức ý nghĩa cho trước, α chính là sai lầm loại 1 của phương pháp kiểm định này. Nếu $Z > Z_\alpha$: bác bỏ giả thuyết H_0, có nghĩa có xu thế tăng hoặc giảm; ngược lại $Z < Z\alpha$, đồng nghĩa với việc chấp nhận giải thuyết chuỗi số liệu không có xu thế rõ ràng.

2.1.2. Phương pháp xu thế Sen's slope

Trong nghiên cứu này, phương pháp xu thế Sen's slope được sử dụng để xác định độ dốc của chuỗi. Độ dốc này được tính toán dựa trên tất cả các cặp dữ liệu (N=n(n-1)/2) như được mô tả theo phương trình (5) [20].

$$Q_i=\frac{x_j-x_k}{j-k};\ i=1,N \quad (5)$$

Trong đó Q là độ dốc giữa các điểm dữ liệu x_j và x_k, x_j và x_k lần lượt là giá trị dữ liệu tại thời điểm j và k (j > k), j là thời gian nối tiếp thời điểm k.

2.1.3. Tính toán các đặc trưng mưa

Các đặc trưng mưa được lựa chọn phân tích, tính toán bao gồm:

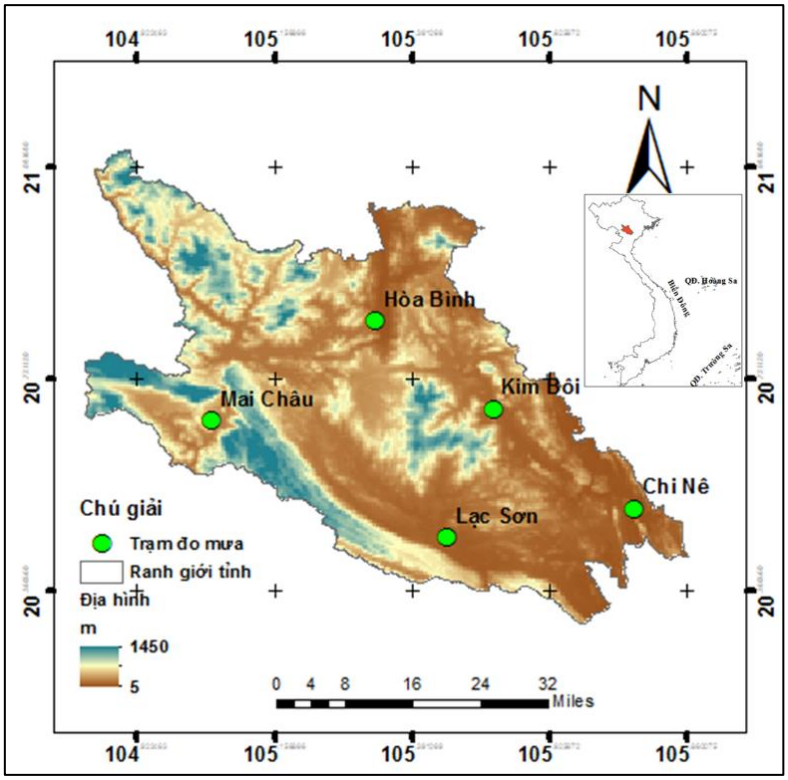
Lượng mưa ngày lớn nhất (R×1day), lượng mưa 5 ngày lớn nhất (R×5day), cường độ mưa (SDII), số ngày trong năm có lượng mưa rất to trên 100 mm (R100), số ngày trong năm có lượng mưa to từ 50-100 mm (R50), lượng mưa năm, lượng mưa tháng và lượng mưa mùa mưa, trong đó:

Lượng mưa ngày lớn nhất được tính toán là giá trị lượng mưa lớn nhất 24 giờ, với $R\times1day_j = \max(R_{ij})$, trong đó R_{ij} là lượng mưa hàng ngày vào ngày thứ i trong khoảng thời gian j.

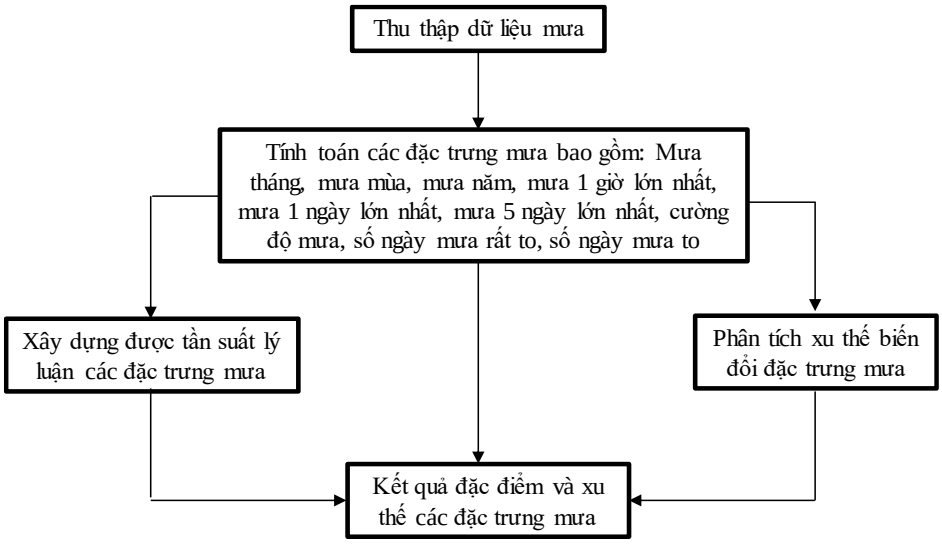
Lượng mưa 5 ngày lớn nhất được tính toán dựa trên lượng mưa lớn nhất trong 5 ngày liên tiếp, với $R\times5day_j = \max(R_{kj})$, trong đó R_{kj} là lượng mưa 5 ngày liên tiếp k trong khoảng thời gian j.

Cường độ mưa được xác định như sau: Nếu gọi RR_{wj} là lượng mưa hàng ngày thuộc những ngày có mưa ($RR \geq 1$ mm) trong khoảng j và W là số ngày có mưa trong khoảng j thì:

$$SDII_j = \sum_{w=1}^{W} \frac{RR_{wj}}{W} \quad (6)$$



Hình 1. Mạng lưới trạm đo mưa khu vực tỉnh Hòa Bình.



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu

Dữ liệu từ mạng lưới đo mưa trên địa bàn tỉnh Hòa Bình được thu thập từ năm 1990-2019 và được thống kê trong bảng 1.

Bảng 1. Danh sách trạm đo mưa.

Tên trạm	Xã/Phường	Huyện/Thị xã/TP.	Tọa độ trạm		Độ cao trạm (m)
			Kinh độ (Y)	Vĩ độ (X)	
Mai Châu	TT. Mai Châu	H. Mai Châu	508450,497	2285248,561	345
Hòa Bình	P. Tân Thịnh	TP. Hòa Bình	535050,388	2303048,909	25
Kim Bôi	TT. Bo	H. Kim Bôi	555345,333	2286310,331	57
Chi Nê	TT. Chi Nê	H. Lạc Thuỷ	581459,144	2265736,587	33
Lạc Sơn	TT. Vụ Bản	H. Lạc Sơn	547713,093	2261832,544	36

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Sự phân bố các đặc trưng mưa theo không gian và thời gian

Bảng 2 cho biết sự biến đổi các đặc trưng thông kê cơ bản của lượng mưa bao gồm hệ số biến thiên (Cv), hệ số bất đối xứng (Cs), giá trị nhỏ nhất (Min), giá trị lớn nhất (Max) và giá trị trung bình. Từ bảng 2 cho thấy hệ số biến thiên không có sự thay đổi lớn tại các trạm được xem xét, dao động từ 0,22 tại trạm Lạc Sơn tới 0,29 tại trạm Chi Nê. Đây là thước đo thống kê độ phân tán của các dữ liệu trong một chuỗi dữ liệu so với giá trị trung bình. Điều này cho thấy mức độ biến thiên biến thiên của dữ liệu trong một mẫu tương quan với giá trị trung bình của tổng thể có sự dao động nhỏ, không đáng kể. Tuy nhiên, đối với giá trị hệ số bất đối xứng có sự thay đổi rõ hơn giữa các trạm, dao động từ 0,22 tại trạm Chi Nê tới 0,8 tại trạm Kim Bôi. Điều này cho thấy mức độ phân phối lệch phải tăng từ nhỏ nhất là trạm Chi Nê tới mạnh nhất là trạm Kim Bôi. Đây là đặc trưng phản ánh sự phân bố không đều của các thành phần trong chuỗi đại lượng nghiên cứu xung quanh giá trị trung bình hoặc là trung tâm phân bố. Nhìn chung các giá trị đều lớn hơn 0 đặc trưng cho các giá trị tản mạn của các thành phần có giá trị lớn hơn trung bình. Lượng mưa trung bình nhiều năm không có sự khác biệt quá lớn giữa các trạm; tuy nhiên biên độ là khá lớn giữa năm có lượng mưa nhỏ nhất và năm có lượng mưa lớn nhất, phổ biến là khoảng 1800 mm.

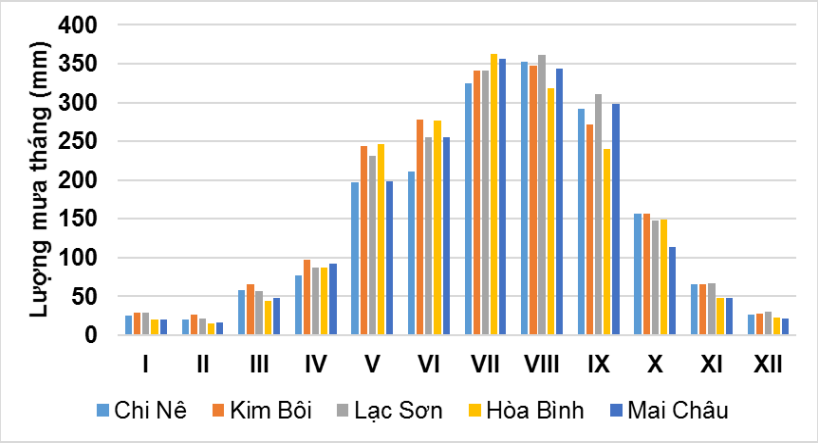
Bảng 2. Bảng các đặc trưng thống kê cơ bản lượng mưa.

Trạm	Cv	Cs	Min	Max	Trung bình
Chi Nê	0,29	0,22	1215,1	2992,0	1801,4
Kim Bôi	0,25	0,80	1251,2	3047,6	1950,5
Lạc sơn	0,22	0,53	1302,7	2757,7	1937,9
Hòa Bình	0,23	0,38	1082,7	2808,4	1829,1
Mai Châu	0,25	0,66	1120,2	2893,6	1809,7

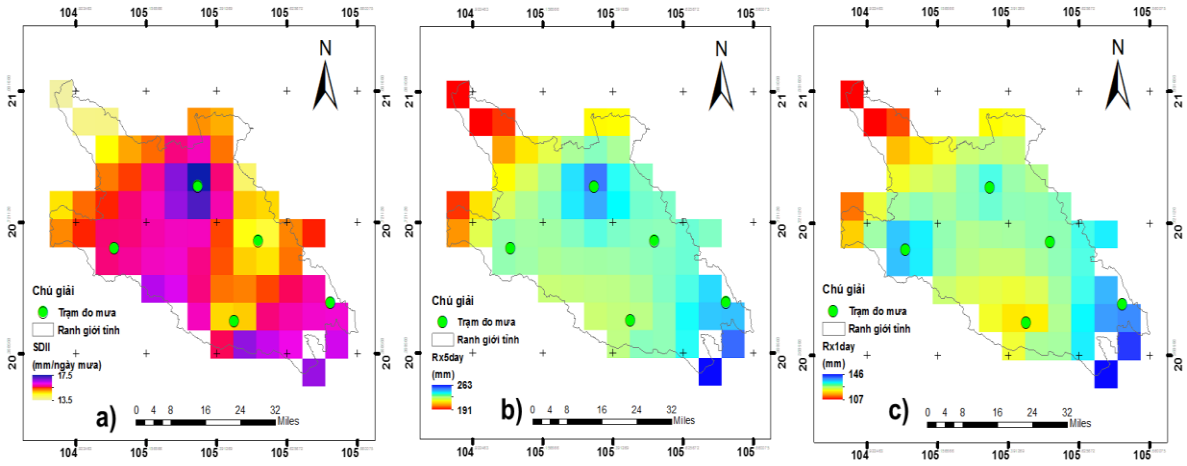
Hình 3 cho biết phân bố lượng mưa tháng tại các trạm đo mưa. Nhìn chung lượng mưa tập trung vào các tháng 5 tới tháng 10 và lớn nhất vào tháng 7 hoặc 8. Lượng mưa trong các tháng mùa mưa (từ tháng 5 tới tháng 10) chiếm tới hơn 85% tổng lượng mưa cả năm trên tất cả các trạm.

Hình 4 và Hình 5 mô tả sự phân bố theo không gian các đặc trưng tương ứng là SDII, R1×day, R5×day; R100 và R50. Nhìn chung, lượng mưa 1 ngày (Hình 4b) và 5 ngày lớn nhất (hình 4c) thấp nhất ở phía tây bắc của tỉnh và cao nhất là phía đông nam khu vực trạm Chi Nê, được theo sau là khu vực giữa tỉnh. Điều này xuất phát từ nguyên nhân chủ yếu là sự tương tác của các hình thế gây mưa lớn, điển hình là ảnh hưởng của bão, dải hội tụ nhiệt đới với dạng địa hình trên địa bàn tỉnh. Điểm nổi bật của dạng địa hình của tỉnh Hòa Bình là núi cao,

chia cắt phức tạp với độ dốc lớn theo hướng Tây bắc-Đông nam. Lượng mưa 5 ngày lớn nhất ghi nhật có thể đạt gần 300 mm trong khi lượng mưa ngày lớn nhất có thể đạt xấp xỉ 150 mm.

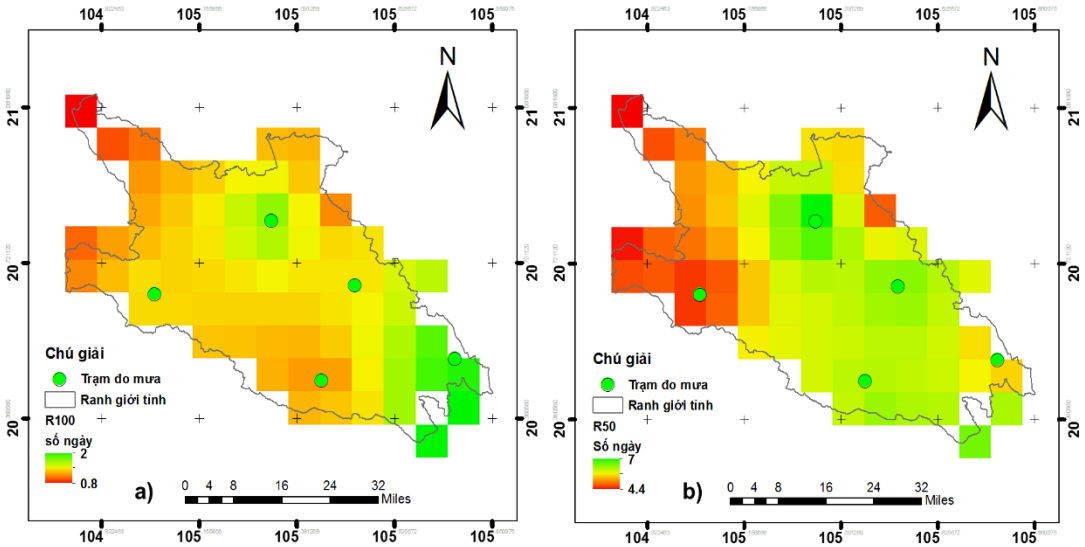


Hình 3. Phân bố lượng mưa tháng các trạm đo mưa.



Hình 4. Phân bố không gian các đặc trưng SDII (a), R×5day (b) và R×1day (c).

Cường độ mưa trung bình trong những ngày mưa (Hình 4a) tập trung lớn nhất là khu vực giữa tỉnh và phía Đông Nam của tỉnh. Khu vực giữa tỉnh trạm Mai Châu và Hòa Bình, cường độ mưa ghi nhận lớn hơn 15 mm/ngày mưa. Trong khi đó, giá trị thấp nhất trạm Lạc Sơn và Kim Bôi khoảng khoảng 14 mm/ngày mưa. Nhìn chung, không có sự chênh lệch quá lớn về cường độ mưa trung bình trong những ngày mưa trên toàn tỉnh.



Hình 5. Phân bố không gian các đặc trưng R100 (a) và R50 (b).

Đối với số ngày có lượng mưa lớn hơn 100 mm (R100) (Hình 5a) và trong khoảng 50-100 mm (R50) (Hình 5b) tập trung chủ yếu phía Đông Nam tỉnh. Số ngày có lượng mưa trong khoảng 50-100 mm có sự gia tăng khá rõ theo hướng Tây Bắc Đông Nam có thể lên tới 7 ngày trong năm (Hình 5b).

3.2. Phân tích các đặc trưng mưa

3.2.1. Diễn biến xu thế các đặc trưng mưa

Mưa là yếu tố khí tượng có tính biến động theo không gian và thời gian khá phức tạp. Ví dụ, đối với đặc trưng mưa năm có những năm lượng mưa có thể vượt xa giá trị trung bình nhiều năm nhưng cũng có năm lượng mưa nhỏ hơn nhiều so với trung bình nhiều năm. Nhằm giảm thiểu những ảnh hưởng của các giá trị cực đại và cực tiểu đến xu thế chung trong cả giai đoạn. Bài báo này phân tích xu thế thay đổi về các đặc trưng mưa dựa trên chuỗi số liệu quan trắc được tại 5 trạm đo mưa trong giai đoạn 1990-2019 bằng phương pháp phân tích xu thế và kiểm định Mann-Kendall. Bảng 3 cho biết kết quả kiểm định xu thế Mann-kendall lượng mưa giai đoạn 1990-2019. Nhìn chung, trong 30 năm, lượng mưa năm có xu thế giảm tại các trạm Chi Nê, Kim Bôi và Hòa Bình. Trong đó, mức giảm lớn nhất ghi nhận được tại trạm Kim Bôi là -6,08 mm/năm và thấp nhất ở trạm Chi Nê có mức giảm -0,03 mm/năm. Xu thế gia tăng lượng mưa được ghi nhận lớn nhất tại trạm Mai Châu. Đối với mưa tháng, tháng 4, tháng 8 và tháng 10 được ghi nhận có xu thế tăng ở tất cả các trạm, với chỉ số Sen's slope lớn nhất tại trạm Mai Châu là 7.5 đối với tháng 10. Các tháng 9, 11, 12 nhìn chung có sự gia tăng ở hầu hết các trạm (Bảng 3).

Bảng 3. Kiểm định phi tham số Mann-Kendall (MK test) lượng mưa giai đoạn 1990-2019.

Trạm	**Chi Nê**		**Kim Bôi**		**Lạc Sơn**		**Hòa Bình**		**Mai Châu**	
Chỉ số	Z	Sen's slope	Z	Sen's slope	Z	Sen's slope	Z	Sen's slope	Z	Sen's slope
Tháng 1	0,45	0,16	-1,18	-0,48	-1,21	-0,45	1,27	0,29	2,19	0,69
Tháng 2	-0,93	-0,18	-1,73	-0,59	-1,20	-0,34	-1,71	-0,32	0,37	0,12
Tháng 3	-0,07	-0,08	-0,75	-0,57	0,27	0,18	-1,14	-1,02	0,89	0,64
Tháng 4	1,89	2,04	1,03	1,06	1,62	1,25	1,39	1,35	1,89	1,62
Tháng 5	-0,21	-0,63	-1,28	-3,25	-1,52	-2,70	0,54	1,13	1,46	2,37
Tháng 6	0,54	0,92	-2,36	-4,68	-1,94	-2,63	-3,03	-5,62	-0,18	-0,41
Tháng 7	0,04	0,06	-0,25	-1,52	-0,25	-0,78	-1,00	-2,60	0,43	1,02
Tháng 8	0,39	0,95	0,54	2,03	1,30	3,94	1,46	4,87	2,57	7,50
Tháng 9	0,57	2,02	0,52	0,93	0,84	1,91	-0,75	-2,41	1,11	1,75
Tháng 10	0,71	2,24	0,75	2,14	1,16	3,24	1,00	2,19	2,60	3,59
Tháng 11	0,32	0,39	0,54	0,58	0,79	0,83	-0,05	-0,04	1,78	1,47
Tháng 12	-0,11	-0,03	0,36	0,13	0,16	0,11	-0,18	-0,05	1,11	0,47
Năm	-0,07	-0,85	-0,54	-6,08	0,57	5,42	-0,14	-1,33	2,21	21,99

Từ bảng 4 tới bảng 8, tương ứng là kết quả kiểm định xu thế Mann-Kendall cho các đặc trưng R×1day, R×5day, SDII, R100 và R50. Sử dụng phương pháp kiểm định MK test với mức ý nghĩa 5% (xác xuất gặp phải sai lầm loại 1 không quá 5%). Kết quả cho thấy, lượng mưa 1 ngày lớn nhất có xu hướng tăng ở trạm Hòa Bình. Tuy nhiên giá trị p-value > 0,05 nên bác bỏ giả thuyết H_o, hay nói cách khác không có độ tin cậy về xu hướng tăng này. Trong khi đó, các trạm còn lại đều thể hiện xu thế giảm với giá trị p-value < 0,05, hay nói cách khác xu thế giảm này đảm bảo độ tin cậy. Giá trị Sen's slope đối với các trạm Chi Nê, Kim Bôi, Lạc Sơn và Mai Châu lần lượt là -3,02, -2,79, -2,83 và -1,75 (Bảng 4). Tuy nhiên, đối với xu thế lượng mưa 5 ngày lớn nhất có sự sai khác đôi chút so với xu thế lượng mưa 1 ngày lớn nhất. Xu thế tăng và giảm trong nghi ngờ được ghi nhận tại trạm Hòa Bình và tại hai trạm Lạc Sơn, Mai Châu tương ứng (Bảng 5). Xu thế giảm có độ tin cao nhất đối với cả lượng mưa 1 ngày lớn nhất và lượng mưa 5 ngày lớn nhất được ghi nhận tại trạm Chi Nê với độ lớn lớn hơn 3,02.

Bảng 4. Kiểm định phi tham số Mann-Kendall (MK test) R×1day giai đoạn 1990-2019.

Thông số	Lượng mưa 1 ngày lớn nhất (R×1day)				
	Chi Nê	Kim Bôi	Lạc Sơn	Hòa Bình	Mai Châu
MK test value (S)	-172	-162	-173	10	-108
VAR (S)	2842	2843	2841	2842	2842
Z	-0,424	-0,397	-0,427	0,025	-0,266
P-value	0,001	0,003	0,001	0,866	0,045
Sen' Slope	-3,02	-2,79	-2,83	0,208	-1,755

Bảng 5. Kiểm định phi tham số Mann-Kendall (MK test) R×5day giai đoạn 1990-2019.

Thông số	Lượng mưa 5 ngày lớn nhất (R×5day)				
	Chi Nê	Kim Bôi	Lạc Sơn	Hòa Bình	Mai Châu
MK test value (S)	-36	-154	-102	86	-42
VAR (S)	2842	2842	2840	2842	2842
Z	-0,335	-0,379	-0,252	0,212	-0,103
P-value	0,011	0,004	0,058	0,111	0,442
Sen' Slope	-3,83	-3,17	-2,24	3,25	-0,89

Với các đặc trưng khác là cường độ mưa (SDII) (bảng 6) và số ngày có lượng mưa lớn hơn 100 (R100) (bảng 7) và số ngày có lượng mưa trong khoảng 50-100 mm (R50) (Bảng 8) thì một xu thế tăng, giảm, và không đổi trong nghi ngờ được ghi nhận tại hai trạm là Hòa Bình và Mai Châu. Trong khi đó, xu thế giảm là được ghi nhận tại các trạm Chi Nê, Kim Bôi và Lạc Sơn có độ tin cậy đối với tất cả các đặc trưng này. Xu thế giảm mạnh nhất được ghi nhận tại trạm Chi Nê với giá trị Sen's slope đạt -0,348 đối với đặc trưng cường độ mưa (Bảng 6).

Bảng 6. Kiểm định phi tham số Mann-Kendall (MK test) cho SDII giai đoạn 1990-2019.

Thông số	Cường độ mưa (SDII)				
	Chi Nê	Kim Bôi	Lạc Sơn	Hòa Bình	Mai Châu
MK test value (S)	-142	-22	-81	11	-78
VAR (S)	2838	2838	2836	2837	2837
Z	-0,351	-0,302	-0,201	0,027	-0,193
P–value	0,008	0,023	0,03	0,851	0,148
Sen' Slope	-0,348	-0,24	-0,178	0,008	-0,205

Bảng 7. Kiểm định phi tham số Mann-Kendall (MK test) R100 giai đoạn 1990-2019.

Thông số	Số ngày mưa trên 100 mm (R100)				
	Chi Nê	Kim Bôi	Lạc Sơn	Hòa Bình	Mai Châu
MK test value (S)	-198	-191	-167	33	-91
VAR (S)	2511	2279	2419	2639	2226
Z	-0,571	-0,594	-0,502	0,091	-0,284
P–value	0,0001	0,0001	0,001	0,533	0,056
Sen' Slope	-0,083	-0,05	-0,048	0,0	0,0

Bảng 8. Kiểm định phi tham số Mann-Kendall (MK test) R50 giai đoạn 1990-2019.

Thông số	Số ngày mưa từ 50-100 mm (R50)				
	Chi Nê	Kim Bôi	Lạc Sơn	Hòa Bình	Mai Châu
MK test value (S)	-145	-156	-127	-44	-96
VAR (S)	2807	2798	2805	2803	2780
Z	-0,369	-0,399	-0,324	-0,112	-0,248
P–value	0,007	0,003	0,017	0,417	0,072
Sen' Slope	-0,25	-0,25	-0,200	-0,073	-0,138

Phân tích đặc điểm, xu thế lượng mưa mùa mưa (Bảng 9) cho thấy xu thế gia tăng lượng mưa mùa mưa tại các trạm Lạc Sơn, Hòa Bình và Mai Châu. Mức độ gia tăng lớn nhất là tại trạm Mai Châu với giá trị Sen's slope đạt 18,54 và giá trị P-value nhỏ hơn 0,05. Điều này chứng tỏ xu thế tăng có độ tin cậy. Trong khi đó hai trạm còn lại có chỉ số P-value đều lớn hơn 0,05, chứng tỏ xu thế tăng không có độ tin cậy. Chi Nê và Kim Bôi là hai trạm ghi nhận xu thế giảm trong nghi ngờ với các giá trị Sen's slope lần lượt là -3,04 và -8,62. Nhìn chung có thể thấy lượng mưa mùa mưa tại bốn trong tổng số năm trạm xem xét có xu thế tăng, giảm nhưng đều không có độ tin cậy. Trên địa bàn tỉnh, xu thế tăng lượng mưa mùa mưa rõ nét nhất và có độ tin cậy được ghi nhận tại trạm Mai Châu, nơi có độ cao lớn.

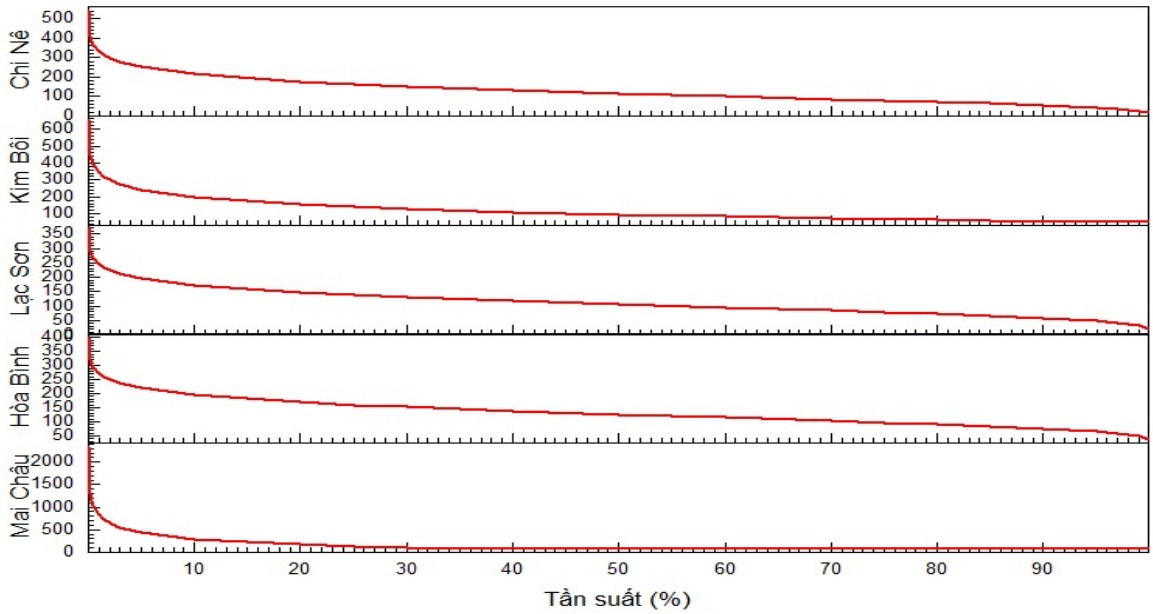
Bảng 9. Kiểm định phi tham số Mann-Kendall (MK test) cho lượng mưa mùa mưa giai đoạn 1990-2019.

Thông số	Lượng mưa mùa mưa				
	Chi Nê	Kim Bôi	Lạc Sơn	Hòa Bình	Mai Châu
MK test value (S)	-14	-52	54	18	120
VAR (S)	2842	2842	2842	2842	2842
Z	-0,034	-0,128	0,133	0,044	0,296
P–value	0,807	0,339	0,32	0,75	0,026
Sen' Slope	-3,04	-8,62	5,84	3,49	18,54

Nhìn chung, so với các nghiên cứu khác có sự sai khác nhất định, ví dụ trong nghiên cứu trước đã chỉ ra xu thế giảm lượng mưa ngày cực đại tại khu vực Tây Bắc [9]. Sự sai khác này có thể xuất phát từ chuỗi thời gian và phương pháp được sử dụng, trước đó nghiên cứu đã sử dụng chuỗi dữ liệu từ 1961-2007 với phương pháp phân tích hồi quy tuyến tính. Đối với các nguồn dữ liệu gần đây, về cơ bản có sự tương đồng nhất định trên quy mô vùng. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã thu thập và sử dụng dữ liệu mưa từ 5 trạm đủ dài (1990-2019) trên toàn tỉnh. Trong khi đó, ngoài 5 tram khí tượng còn 3 trạm thủy văn và các điểm đo mưa trong mạng lưới trạm khí tượng thủy văn tỉnh Hòa Bình. Đây là điểm còn hạn chế của nghiên cứu. Trong trường hợp nguồn dữ liệu đủ bao phủ với mật độ dày và thời gian đủ dài trên toàn tỉnh, nghiên cứu hướng tới xây dựng bộ cơ sở dữ liệu đồng nhất phục vụ các bài toán khí tượng thủy văn với việc ứng dụng công nghệ học máy.

3.2.2. Đường tần suất lý luận các đặc trưng mưa

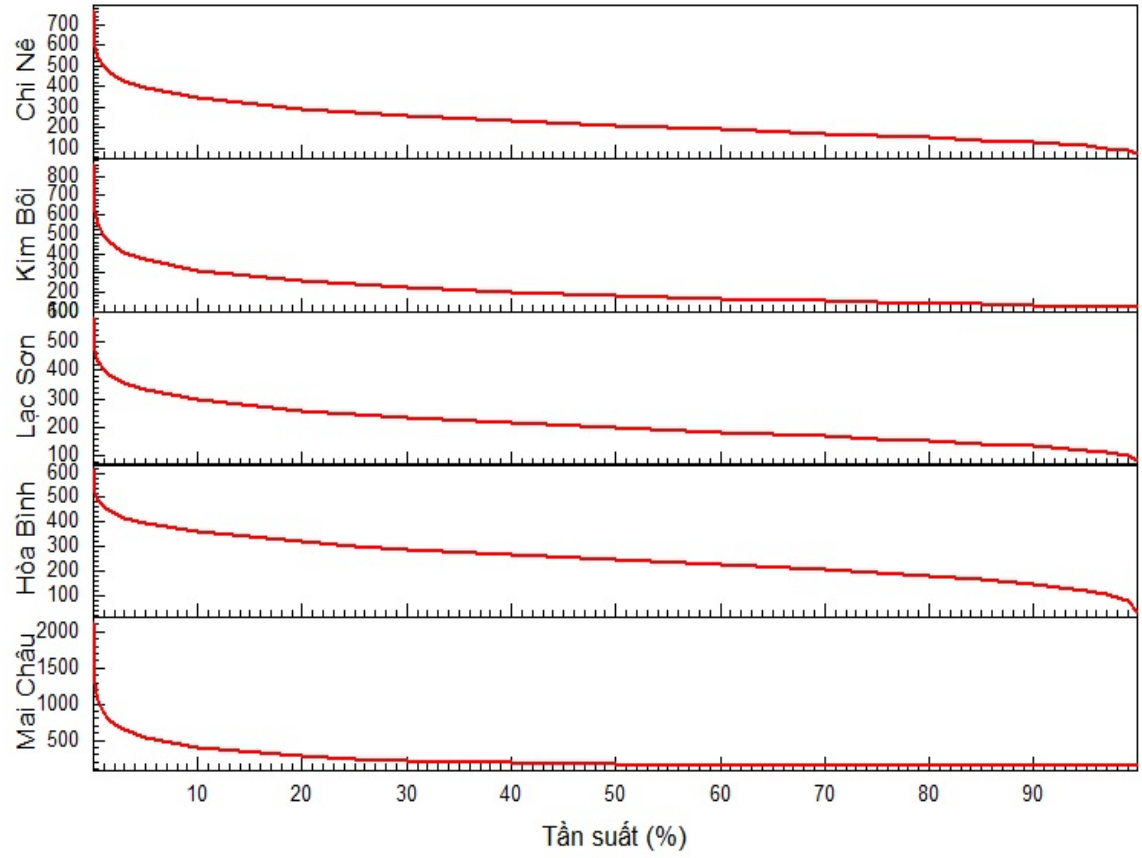
Để mô tả dữ liệu mưa cực trị một số hàm phân phối xác suất thường được sử dụng để phân tích, như các hàm Log-Normal, Gumbel, Pearson dạng III, GEV, Pareto, v.v. các hàm này cũng đã được một số tác giả khảo sát và sử dụng [22, 23]. Trong nghiên cứu này, hàm



Hình 6. Đường tần suất lý luận cho các trạm đối với mưa ngày lớn nhất.

Pearson loại III được sử dụng để phân tích các đặc trưng mưa bao gồm R×1day, R×5day, SDII và mưa 1h lớn nhất cho các trạm tỉnh Hòa Bình. Hàm phân phối Pearson loại III là một đường trong số các đường cong trong qua trình giải phương trình bậc hai của hàm mật độ dạng quả chuông. Để xác định các tham số khác nhau của phân bố, phương pháp moment được sử dụng trong nghiên cứu này. Kết quả cho từng đặc trưng được mô tả qua các hình 6 tới hình 8.

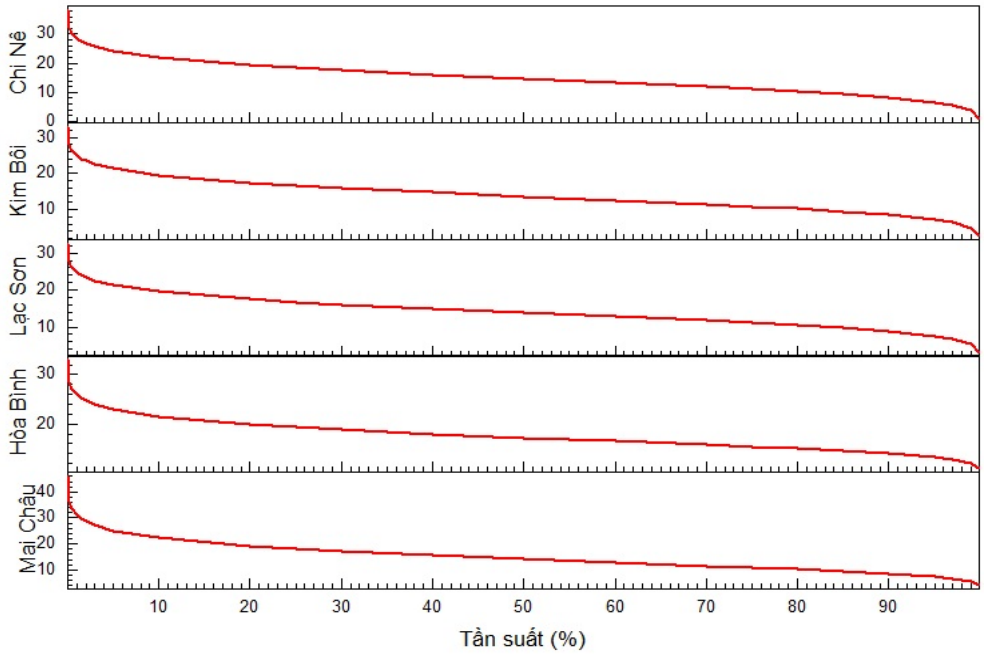
Căn cứ lượng mưa lũy tích trong 24 giờ đạt các ngưỡng 100-200 mm, 200-400 mm, > 400 mm lần lượt tương ứng với các cấp cảnh báo cấp độ rủi ro thiên tai lũ quét: cấp 1, cấp 2, cấp 3 theo Quyết định số 18/2021/QĐ-TTg [24]. Trên cơ sở đó, các ngưỡng được xem xét tại gồm ngưỡng từ nhỏ hơn 2%, từ 2-10%, từ 10 tới 60% và lớn hơn 60% thì nhìn chung, lượng mưa một ngày lớn nhất phổ biến dao động lớn hơn 400 mm, trong khoảng từ 200 tới 400 mm, dao động khoảng 100 tới 200 mm và nhỏ hơn 100 mm ở hầu hết các trạm tương ứng (hình 5). Đối với lượng mưa 5 ngày lớn nhất tương ứng phổ biến là lớn hơn 450 mm, từ 300 tới 450 mm, từ 200 tới 300 mm và nhỏ hơn 200 mm (Hình 7). Trong hình 5 cho thấy ở cùng một tần suất tương ứng với các ngưỡng được xem xét ở trên thì không có sự chênh lệch quá lớn giữa các trạm. Trong khi đó, với giá trị lượng mưa 5 ngày lớn nhất có sự chêch lệch nhất định lên tới gần 200 mm (Hình 7).



Hình 7. Đường tần suất lý luận cho các trạm đối với mưa 5 ngày lớn nhất.

Đối với cường độ mưa (Hình 8), giá trị tương ứng với các ngưỡng kể trên lần lượt là lớn hơn 25 mm/ngày mưa, từ 22-25 mm/ngày mưa, từ 12-22 mm/ngày mưa và nhỏ hơn 12 mm/ngày mưa. Tại các ngưỡng được xem xét có sự chênh lệch lên tới gần 4 mm/ngày mưa giữa các trạm đo mưa được sử dụng. Điều này chứng tỏ sự phân hóa nhất định về cường độ mưa trong những ngày mưa giữa các khu vực trong toàn tỉnh.

Bên cạnh đó, bài báo cũng tính toán tần suất lý luận lượng mưa lớn nhất theo thời đoạn 1 giờ đối với từng trạm trên địa bàn tỉnh (Bảng 10). Ứng với các ngưỡng được xác định từ nhỏ hơn 2%, từ 2-10%, từ 10 tới 60% và lớn hơn 60% thì ngưỡng mưa tương ứng trung bình toàn tỉnh là lớn hơn 84 mm, từ 66 tới 84 mm, từ 40 tới 66 mm và nhỏ hơn 40 mm (Bảng 10).



Hình 8. Đường tần suất lý luận cho các trạm đối với cường độ mưa.

Bảng 10. Bảng tần suất lý luận lượng mưa lớn nhất thời đoạn 1 giờ giai đoạn 1990-2019.

Tần suất P(%)	Trạm				
	Kim Bôi	Hòa Bình	Mai Châu	Lạc Sơn	Chi Nê
0,01	155,47	109,2	123,7	149,34	119,6
0,10	128,49	97,2	103,9	125,84	104,3
0,20	120,22	93,28	97,86	118,5	99,39
0,33	114,18	90,34	93,37	113,1	95,73
0,50	109,12	87,82	89,58	108,54	92,6
1,00	100,56	83,43	83,12	100,75	87,18
1,50	95,46	80,73	79,25	96,06	83,87
2,00	91,79	78,75	76,45	92,67	81,44
3,00	86,54	75,84	72,41	87,77	77,9
5,00	79,76	71,96	67,16	81,37	73,19
10,00	70,14	66,14	59,6	72,12	66,22
20,00	59,77	59,37	51,3	61,87	58,21
25,00	56,18	56,88	48,38	58,25	55,28
30,00	53,11	54,67	45,86	55,11	52,71
40,00	47,94	50,78	41,56	49,74	48,21
50,00	43,53	47,25	37,83	45,05	44,17
60,00	39,5	43,81	34,36	40,65	40,26
70,00	35,58	40,23	30,91	36,26	36,23
75,00	33,58	38,29	29,12	33,97	34,07
80,00	31,49	36,17	27,23	31,52	31,72
85,00	29,23	33,75	25,14	28,82	29,06
90,00	26,65	30,77	22,71	25,65	25,81
95,00	23,32	26,51	19,46	21,36	21,24
97,00	21,46	23,84	17,57	18,84	18,41
99,00	18,54	18,99	14,45	14,62	13,36
99,90	15,08	11,28	10,33	8,85	5,56

Nhìn chung, tại các ngưỡng mưa được xem xét, sự thay đổi về lượng mưa lớn nhất thời đoạn 1 giờ trong toàn tỉnh nhỏ hơn 20 mm.

4. Kết luận

Từ số liệu lượng mưa được thu thập tại 5 trạm trên đại bàn tỉnh Hòa Bình giai đoạn 1990-2019 và phương pháp phân tích tính toán được sử dụng thì hoàn toàn có thể áp dụng được cho các vùng nghiên cứu khác. Các kết quả nhận được cho thấy:

- Lượng mưa trong các tháng mùa mưa (từ tháng 5 tới tháng 10) chiếm tới hơn 85% tổng lượng mưa cả năm. Nhìn chung, có sự gia tăng về độ lớn của các đặc trưng mưa theo hướng Tây bắc - Đông nam. Đặc biệt, sSố ngày có lượng mưa lớn hơn 100 mm và lượng mưa từ 50-100 mm có sự gia tăng khá rõ theo hướng Tây Bắc Đông Nam. Các chỉ số mưa này có xu thế giảm tại trạm phía Đông nam của tỉnh. Xu thế giảm lớn nhất đối với lượng mưa 1 ngày lớn nhất và 5 ngày lớn nhất được ghi nhận tại trạm Chi Nê về phía Đông Nam của tỉnh.
- Đối với mưa tháng, tháng 4, tháng 8 và tháng 10 được ghi nhận có xu thế tăng ở tất cả các trạm, với giá trị lớn nhất tại trạm Mai Châu là 7,5 mm/tháng đối với tháng 10. Các tháng 9, 11, 12 nhìn chung có sự gia tăng ở hầu hết các trạm.
- Với lượng mưa ngày lớn nhất với tần suất nhỏ hơn 2%, từ 2-10%, từ 10 tới 60% và lớn hơn 60% thì phổ biến dao động ở mức lớn hơn 400 mm, trong khoảng từ 200 tới 400 mm, từ 100 tới 200 mm và nhỏ hơn 100 mm ở hầu hết các trạm. Đối với mưa giờ lớn nhất, tương ứng là các giá trị lớn hơn 84 mm, từ 66 tới 84 mm, từ 40 tới 66 mm và nhỏ hơn 40 mm.

Đóng góp của tác giả: Viết bản thảo bài báo N.T.T.; Xử lý số liệu: N.T.T., T.K.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.T., T.K.T.; Chỉnh sửa và hoàn thiện bài báo: N.T.T., T.K.T.

Lời cảm ơn: Bài báo này được thực hiện và hoàn thiện nhờ sự hỗ trợ từ đề tài: Nghiên cứu xây dựng, đánh giá tác động của các kịch bản mưa, lũ cực hạn đến hồ chứa lớn lưu vực sông đà dựa trên nền tảng tích hợp mô hình khí tượng-thủy văn và thuật toán chuyển vị động lực các điều kiện khí quyển, mã số ĐTĐL.CN - 51/22. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Bộ Khoa học và Công nghệ đã tài trợ kinh phí thực hiện đề tài.

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 và sử dụng số liệu từ đề tài.

Tài liệu tham khảo

1. Minh, T.C. Khí tượng synop nhiệt đới. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia, 2003.
2. Ngữ, N.Đ.; Hiệu, N.T. Khí hậu và tài nguyên khí hậu Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, 2013.
3. Milan, G.; Trajkovic, S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global Planet. Change* **2013**, *100*, 172–182.
4. Atsamon, L.; Singhruck, P. Long-term trends and variability of total and extreme precipitation in Thailand. *Atmos. Res.* **2016**, *169*, 301–317.
5. Tarek, M.; Siddique, M.; Shanableh, A. Assessment of seasonal and annual rainfall trends and variability in Sharjah City, UAE. *Adv. Meteorol.* **2016**, *2016*, 1–13.
6. Sheng, Y.; Wang, C.Y. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water Resour. Manage.* **2004**, *18(3)*, 201–218.
7. Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.K.; Tignor, M.M.M.B.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M. The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Comput. Geom.* **2013**, *18(2)*, 95–123.

8. Thành, N.Đ.; Tân, P.V. Kiểm nghiệm phi tham số xu thế biến đổi của một số yếu tố khí tượng cho giai đoạn 1961-2007. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2012**, *28*, 129–135.
9. Hằng, V.T.; Hường, C.T.T.; Tân, P.V. Xu thế biến đổi của lượng mưa ngày cực đại ở Việt Nam giai đoạn 1961-2007. *Tạp chí Khoa học, Đại học Quốc gia Hà Nội* **2009**, *25*, 423–430.
10. Toàn, N.T.; Hương, P.T.; Hưởng, N.V. Đặc điểm mưa ở khu vực Trung Trung Bộ - Việt Nam thời kì 1976-2017. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *701*, 29–40.
11. Thắng, N.V.; Thăng, V.V. Nghiên cứu đặc điểm, xu thế mưa hiện tại và tương lai ở Quảng Bình. *Tạp chí khí tượng Thủy văn* **2017**, *677*, 14–22.
12. Cảnh, L.Q.; Vân, H.N.T.; Thành, N.T.; Huy, N.Đ.; Quang, T.H.; Tài, Đ.T. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến nhiệt độ và lượng mưa khu vực tỉnh Quảng Bình. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, *724*, 1–14.
13. Anh, Đ.T.L. Nghiên cứu biến đổi của một số đặc trưng mưa trong mùa mưa khu vực Nam Bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, *747*, 98–112.
14. Hà, H.T.M.; Tân, P.V. Xu thế và mức độ biến đổi của nhiệt độ cực trị ở Việt Nam trong giai đoạn 1961–2007. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2009**, *25(3S)*, 412–422.
15. Tuyết, B.T.; Minh, P.T. Nghiên cứu đặc điểm và xu thế biến đổi mưa nhiệt tỉnh Kiên Giang. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *685*, 36–47.
16. Tuyết, N.T.; Minh, P.T.; Thảo, T.T.T.; Hằng, N.T. Nghiên cứu đặc điểm, xu thế biến đổi nhiệt độ và lượng mưa trên khu vực Nam Trung Bộ giai đoạn 1989-2018. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, *729*, 63–78.
17. Trực tuyến: https://www.hoabinh.gov.vn/.
18. Cục Quản lý đê điều và Phòng chống thiên tai. Báo cáo tổng kết tình hình thiên tai năm 2020.
19. Ban chỉ huy Phòng chống thiên tai - Tìm kiếm cứu nạn và Phòng thủ dân sự tỉnh Hòa Bình. Báo cáo tổng kết công tác phòng, chống thiên tai-tìm kiếm cứu nạn và phòng thủ dân sự năm 2023, phương hướng nhiệm vụ năm 2024.
20. Kendall, M.G. Rank correlation methods. Charles Griffin, London. 1975, pp. 272.
21. Sen, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *J. Am. Stat. Assoc.* **1968**, *63(324)*, 1379–1389.
22. Mạnh, T.X.; Việt, T.Q.; Thường, L.T. Ứng dụng phương pháp hiệu chỉnh sai số Quantile Mapping và hàm phân bố cực trị tổng quát GEV vào đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến mưa cực trị. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, *760*, 41–53.
23. Thanh, N.T. Fitting a probability distribution to extreme precipitation for a limited mountain area in Vietnam. *J. Geosci. Environ. Protect.* **2017**, *5*, 92.
24. Quyết định số 18/2021/QĐ-TTg ngày 22 tháng 4 năm 2021 quy định về dự báo, cảnh báo, truyền tin thiên tai và cấp độ rủi ro thiên tai.

Analyzing the characteristics and trends of precipitation for Hoa Binh province

Nguyen Tien Thanh[1]*, Tran Khac Thac[2]

[1] Faculty of Water resources engineering, Thuyloi University; thanhnt@tlu.edu.vn
[2] Thuyloi University; thacdt@tlu.edu.vn

Abstract: Precipitation is one of the important input meteorological factors for hydrometeorological analysis and calculation with a great uncertainty in both space and time. Therefore, the study focuses on clarifying the charateristics, spatio-temporal distribution as well as trends of precipitation characteristic for Hoa Binh province based on Sen's slope and Mann-Kendall nonparametric test. Precipitation characteristics considered include the maximum one-hour precipitation, a concentration on maximum one-and five-day precipitation, monthly-, seasonal- and annual precipitation, simple daily intensity index, days with rainfall greater than 100 mm, days with rainfall from 50 to 100 mm in the period 1990-2019 is carefully clearified. In addition, theoretical distribution is also calculated for the maximum one-hour precipitation, one- and five-day precipitation, and simple daily intensity. The results showed that during the period 1990-2019, amount of precipitation in the rainy season (from May to October) occupies more than 85% of the total yearly precipitation at all stations. The number of days with precipitation greater than 100 mm and from 50-100 mm has significantly increased in the Northwest-Southeast direction. The considered precipitation indices tend to decrease at the southeastern stations of the province. In particular, the strongest decreasing trend for maximum one-and five-day precipitation is observed at Chi Ne station in the southeast of the province.

Keywords: Precipitation characteristics; Precipitation trend; Hoa Binh.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Sử dụng ảnh Sentinel-1A đa thời gian để phát hiện lũ quét, thử nghiệm tại tỉnh Lào Cai

Ngô Thị Phương Thảo[1]*, Ngô Hùng Long[1], Trần Anh Tuấn[2], Lê Minh Hằng[3]

[1] Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Mỏ - Địa chất;
ngothiphuongthao@humg.edu.vn; ngohunglong@humg.edu.vn
[2] Viện Sinh thái và Tài nguyên sinh vật - Viện Hàn lâm khoa học và Công nghệ Việt Nam;
tuantran@iebr.vast.vn
[3] Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt, Học viện Kỹ thuật quân sự;
leminhhang81@lqdtu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ngothiphuongthao@humg.edu.vn; Tel: +84–982198688

Ban Biên tập nhận bài: 13/3/2024; Ngày phản biện xong: 19/4/2024; Ngày đăng: 25/8/2024

Tóm tắt: Trong những năm gần đây, Việt Nam thường xuyên xảy ra các đợt lũ quét gây thiệt hại nghiêm trọng về người và tài sản. Lũ quét thường xuất hiện đột ngột, kèm theo bùn đất, nước lũ lên nhanh gây khó khăn cho việc khảo sát, tiếp cận hiện trường và công tác khắc phục hậu quả. Hiện nay, tư liệu ảnh viễn thám siêu cao tần đã và đang được ứng dụng trong thực tiễn để giám sát, đánh giá các ảnh hưởng của các khu vực bị lũ lụt, lũ quét và đã đạt được hiệu quả cao so với các phương pháp truyền thống. Nghiên cứu này trình bày phương pháp phát hiện lũ quét từ ảnh Sentinel-1A. Theo đó, bốn ảnh được thu thập ở chế độ IW, xử lý mức 1 ở các thời điểm trước và sau khi xảy ra lũ quét. Khu vực nghiên cứu thử nghiệm là tỉnh Lào Cai, nơi thường xuyên xảy ra các hiện tượng lũ quét gây thiệt hại lớn. Phương pháp được đề xuất để chiết tách vùng lũ quét từ ảnh gồm các bước: (1) Thu thập tư liệu ảnh Sentinel-1A và các dữ liệu liên quan; (2) Thực hiện các bước tiền xử lý ảnh và cắt ảnh theo ranh giới vùng nghiên cứu; (3) Xử lý và phân tích ảnh để chiết tách các vùng lũ quét và đánh giá độ chính xác bằng dữ liệu điều tra thực địa. Kết quả nghiên cứu là dữ liệu đầu vào cho việc xây dựng các mô hình cảnh báo lũ quét cũng như cung cấp thông tin cho các cơ quan quản lý nhằm đưa ra các giải pháp ứng phó và giảm nhẹ thiên tai.

Từ khóa: Sentinel-1A đa thời gian; Ảnh SAR; Lũ quét.

1. Mở đầu

Lũ lụt đứng đầu trong danh sách những thảm họa thiên nhiên, bao gồm cả số lượng thương vong lẫn thiệt hại về tài sản [1, 2] đặc biệt là tại các khu vực thường xuyên chịu ảnh hưởng của bão và áp thấp nhiệt đới [3, 4]. Trong các loại hình lũ lụt, lũ quét là hiện tượng thiên tai điển hình và khác biệt so với lũ thường, do tính chất diễn biến nhanh với cường độ mạnh, thường xảy ra trong khoảng thời gian ngắn, chẳng hạn dưới 6 giờ [5].

Việt Nam hiện nằm trong số các nước bị ảnh hưởng nặng nề nhất về thiên tai do biến đổi khí hậu gồm bão, áp thấp nhiệt đới, lũ lụt, sạt lở đất và hạn hán [6]. Trong đó, lũ quét là thảm họa thiên nhiên khốc liệt gây ra mức độ tàn phá lớn nhất tại Việt Nam. Lũ quét có thể do nhiều nguyên nhân gây ra nhưng thường gặp nhất là do mưa lớn, do giông bão với cường độ cao. Bên cạnh đó các yếu tố như đặc điểm địa hình, thảm thực vật, loại đất, hàm lượng nước trong đất… cũng đều ảnh hưởng tới thời gian và mức độ tàn phá của lũ quét [5]. Lũ quét thường xảy ra tại các vùng núi, nơi có địa hình dốc với cường độ rất mạnh và rất nhanh, các dòng nước dâng cao, chảy xiết, kèm bùn đất gây ra các thiệt hại rất lớn về người và tài sản.

Theo báo cáo của Tổng cục Phòng chống thiên tai, năm 2018 thiên tai xảy ra liên tiếp trên các vùng miền trên cả nước và gây thiệt hại về kinh tế ước tính 20.000 tỷ đồng, làm 218 người chết và mất tích [7]. Ở Việt Nam, đặc biệt tại các tỉnh miền núi phía Bắc, lũ quét là một tai biến xảy ra thường xuyên và gây hậu quả nghiêm trọng.

Theo Liên hợp quốc [8], phần lớn thiệt hại do lũ lụt gây ra đều có thể được ngăn chặn hoặc giảm thiểu thông qua các biện pháp thích hợp vào các thời điểm trước, đang diễn ra và sau thảm họa như việc đầu tư vào các hoạt động chuẩn bị cơ sở hạ tầng, xây dựng các kịch bản dự báo lũ lụt. Hiện nay, công nghệ viễn thám đóng một vai trò quan trọng trong việc ứng phó với từng giai đoạn của lũ lụt, do khả năng cung cấp thông tin kịp thời để thành lập bản đồ quan trắc, giám sát các khu vực bị ngập lụt [9, 10]. Tuy nhiên, khi xảy ra lũ quét thường có thời tiết xấu, nhiều mây và mưa bão lớn nên ảnh thu được từ các vệ tinh quang học bị hạn chế do bị mây che phủ. Trong khi đó, tư liệu ảnh SAR lại khắc phục được nhược điểm này, hơn nữa có thể thu nhận ảnh cả ngày và đêm. Do đó, ảnh SAR hiện đang là tư liệu chính cho phép xác định các vùng xảy ra lũ quét và ngập lụt dựa trên sự khác biệt về đặc điểm tán xạ ngược của các đối tượng trên bề mặt Trái đất.

Nhiều công trình nghiên cứu trên thế giới đã sử dụng tư liệu ảnh Sentinel-1A để xác định các vùng ngập lụt với nhiều phương pháp khác nhau [11, 12]. Nghiên cứu [11] đã đề xuất chỉ số xác định ngập lụt NDFI (*Normalized Difference Flood Index*) để xác định các vùng ngập nước tạm thời trên ảnh Sentinel-1 với độ chính xác tổng thể trên 98%. Nghiên cứu [12] đã đề xuất sử dụng hệ thống Siam-DWENet để xác định các vùng ngập lụt trên ảnh SAR. Kết quả nghiên cứu cho thấy phương pháp Siam-DWENet cho độ chính xác là 89%, trong khi phương pháp phân ngưỡng Otsu cho độ chính xác là 80% [12]. Tuy nhiên, lũ quét khác biệt với các dạng lũ lụt khác, đặc biệt là các hiện tượng lũ quét tại các vùng núi của Việt Nam. Trong quá trình di chuyển, dòng nước lớn sẽ kéo theo bùn đất và các đối tượng thực vật trên đường đi, làm thay đổi địa hình khu vực nên đặc điểm của lũ quét trên ảnh SAR có sự khác biệt so với dạng ngập lụt thông thường. Khi địa hình khu vực thay đổi sẽ làm thay đổi giá trị tán xạ ngược trên ảnh trước và sau khi xảy ra lũ quét. Dựa trên đặc điểm này, các nghiên cứu đã đưa ra nhiều phương pháp khoanh vùng lũ quét khác nhau. Một số nghiên cứu đã đề xuất phương pháp xác định lũ quét từ các ảnh SAR đa thời gian [13–15]. Nghiên cứu [14] đã sử dụng ảnh Sentinel-1 phân cực VV đa thời gian để chiết tách lũ quét từ 01/2016 đến 01/2021.

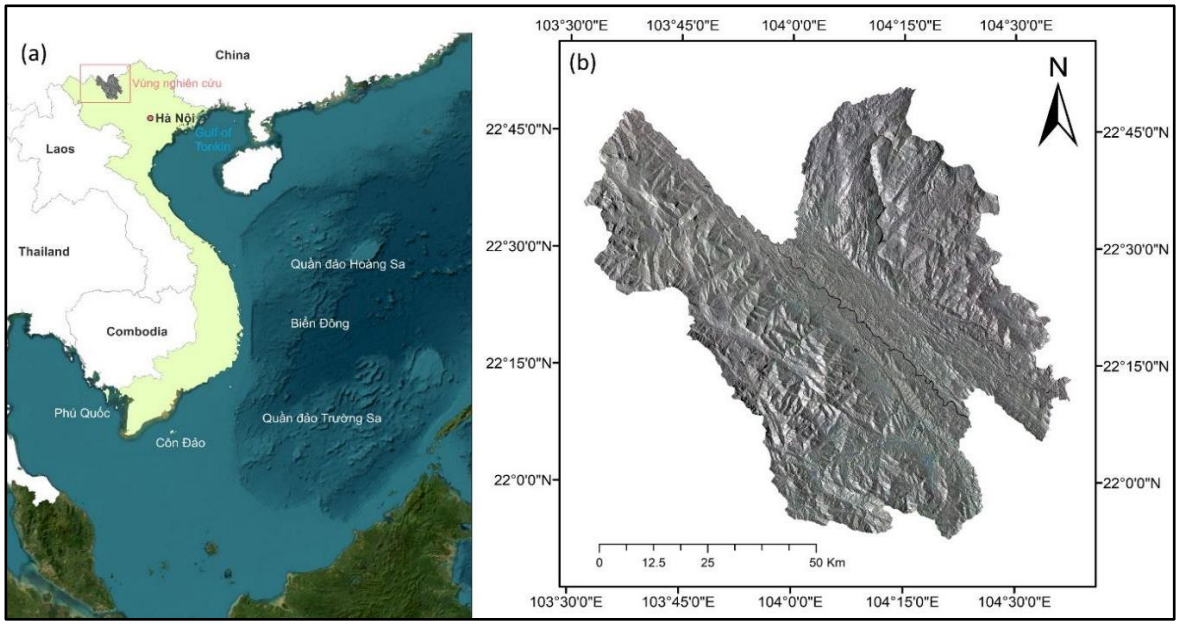
Phương pháp xác định các khu vực lũ quét sử dụng giá trị tương quan giữa ảnh trước và sau khi xảy ra lũ quét. Nghiên cứu [15] đã sử dụng bộ lọc phát hiện cạnh để khoanh vùng các vị trí lũ quét trên tư liệu ảnh Sentinel-1. Tại Việt Nam, nhiều nghiên cứu ứng dụng tư liệu ảnh SAR để đánh giá thiệt hại do ngập lụt đã được thực hiện, tuy nhiên các nghiên cứu xác định khu vực lũ quét bằng ảnh SAR đa thời gian vẫn còn hạn chế. Nghiên cứu [16] đã sử dụng cặp ảnh Sentinel-1 phân cực VV để xác định diện tích vùng ngập lụt khu vực Miền trung năm 2020. Phương pháp thực hiện dựa trên sự khác biệt của các pixel tại các điểm cùng tên ở hai thời điểm trước và sau khi ngập, tính toán số học giữa các ảnh và xác định ngưỡng để chiết tách được các vùng ngập lụt. Nghiên cứu [17] đã thử nghiệm sử dụng tư liệu ảnh ALOS PALSAR phân cực HH và phương pháp phân ngưỡng để xác định vị trí các điểm lũ quét trên ảnh SAR khu vực tỉnh Yên Bái.

Nghiên cứu này trình bày kết quả nghiên cứu xác định vùng lũ quét trên ảnh Sentinel-1A đa thời gian với khu vực thử nghiệm thuộc tỉnh Lào Cai, nơi có ghi nhận xảy ra một số trận lũ quét lớn vào năm 2017.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Lào Cai là một tỉnh thuộc miền núi phía Bắc có tọa độ địa lý từ 21º48’ đến 22º50’ độ vĩ Bắc và từ 102º32’ đến 104º38’ độ kinh Đông, phía Bắc giáp tỉnh Vân Nam - Trung Quốc, phía nam giáp tỉnh Yên Bái, phía Đông giáp tỉnh Hà Giang và phía Tây giáp tỉnh Lai Châu.



Hình 1. (a) Vị trí khu vực nghiên cứu; (b) Ảnh Sentinel-1A.

Điều kiện tự nhiên tỉnh Lào Cai có sự đa dạng, địa hình có mức độ chia cắt mạnh với hai dãy núi chính là dãy Hoàng Liên Sơn và dãy Con Voi (Hình 1). Ngoài ra, khu vực có rất nhiều núi nhỏ phân bố rải rác, chia cắt và tạo ra những tiểu vùng khí hậu khác nhau. Do vị trí nằm sâu trong lục địa và bị chi phối bởi các yếu tố địa hình phức tạp nên Lào Cai có diễn biến thời tiết khác biệt theo các khu vực trong tỉnh. Mùa mưa bắt đầu từ tháng 4 đến tháng 10 và mùa khô của khu vực Lào Cai bắt đầu từ tháng 10 đến tháng 3 năm sau. Lượng mưa trung bình từ 1.400 mm đến 1.700 m.

Với tổng diện tích tỉnh khoảng 6.383,88 km^2 gồm thành phố Lào Cai và 8 đơn vị hành chính cấp huyện là Sa Pa, Bát Xát, Bảo Yên, Bảo Thắng, Si Ma Cai, Văn Bàn, Mường Khương, Bắc Hà. Do đặc điểm về điều kiện tự nhiên và địa hình phức tạp, có độ dốc lớn, Lào Cai nằm trong vùng trọng điểm của lũ quét. Tại đây, đã xảy ra nhiều trận lũ quét trong quá khứ gây thiệt hại lớn. Điển hình như các trận lũ quét xảy ra năm 2012, 2016, 2017 và 2018 gây thiệt hại về người và tài sản lên đến hàng nghìn tỷ đồng [7].

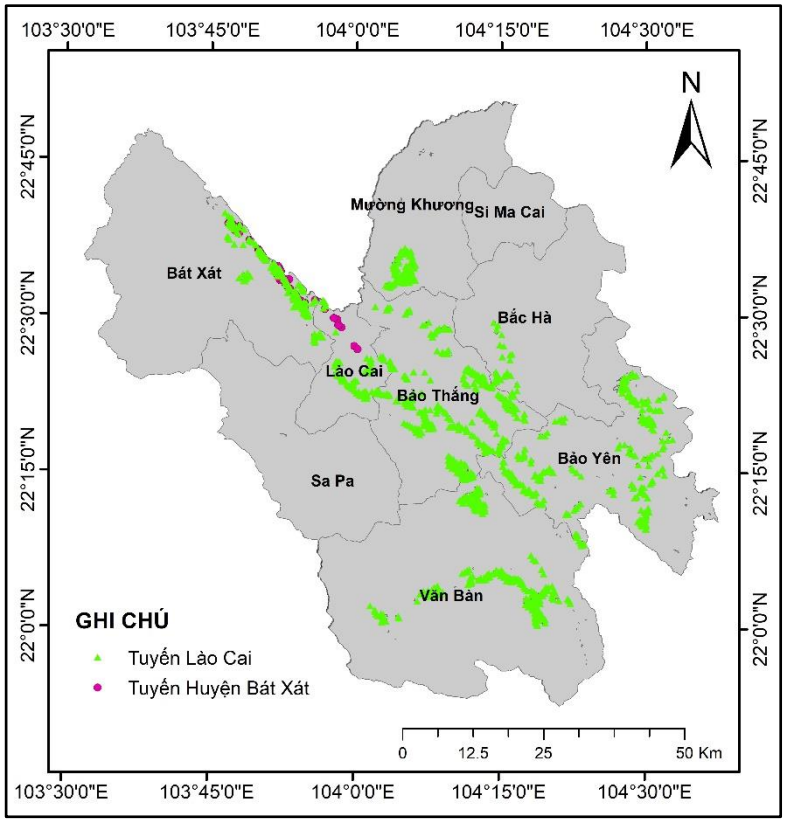
2.2. Dữ liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này, dữ liệu ảnh Sentinel-1A chụp tại thời điểm trước và sau khi xảy ra lũ quét đã được sử dụng. Vệ tinh Sentinel-1A mang bộ cảm kênh C, phân cực đôi VV và VH, không phụ thuộc vào điều kiện thời tiết, được phóng lên quỹ đạo vào ngày 3 tháng 4 năm 2014 bởi Cơ quan Vũ trụ Châu Âu (ESA) trong chương trình Copernicus. Dữ liệu phân cực VV đã được lựa chọn do có khả năng cung cấp kết quả tốt hơn phân cực VH trong nghiên cứu về lũ lụt [18]. Thông tin về dữ liệu ảnh được thể hiện trong Bảng 1. Dữ liệu ảnh Sentinel-1A được tải xuống từ trang WEB có địa chỉ: https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home.

Bảng 1. Dữ liệu ảnh Sentinel-1A sử dụng cho việc phát hiện lũ quét.

Ngày chụp	Chế độ chụp	Phân cực	Mức xử lý	Hướng bay	Ghi chú
23/07/2017	IW	VV	Level-1	Nam-Bắc	Trước lũ quét
30/07/2017	IW	VV	Level-1	Nam-Bắc	Trước lũ quét
04/08/2017	IW	VV	Level-1	Nam-Bắc	Sau lũ quét
10/10/2017	IW	VV	Level-1	Nam-Bắc	Sau lũ quét

Ngoài ra, các dữ liệu bổ trợ cũng được sử dụng như dữ liệu bản đồ nền, các báo cáo, dữ liệu lũ quét thu thập từ các nguồn khác nhau để phục vụ xử lý, phân tích ảnh và thành lập bản đồ kết quả. Nhóm nghiên cứu cũng đã tiến hành 01 đợt khảo sát thực địa từ ngày 9/8/2018 đến 29/8/2018 để thu thập các thông tin và vị trí các điểm đã xảy ra lũ quét theo các tuyến, điểm tại khu vực nghiên cứu (Hình 2). Các dữ liệu khảo sát thực địa là cơ sở để đánh giá độ chính xác kết quả nghiên cứu.

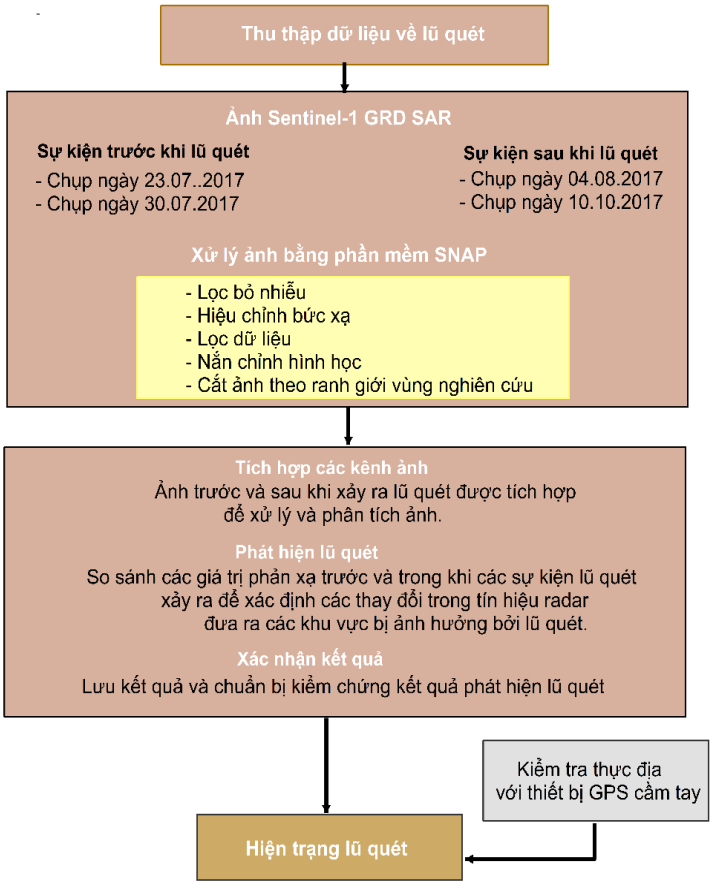


Hình 2. Sơ đồ các tuyến khảo sát thực địa.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Quy trình thực hiện gồm các nội dung chính như sau:

- Thu thập dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-1A đa thời gian và các cơ sở dữ liệu về địa hình, dữ liệu về lũ quét và các thông tin liên quan đến khu vực nghiên cứu.
- Tiến hành tiền xử lý dữ liệu ảnh Sentinel-1A đa thời gian bằng phần mềm SNAP Toolbox.
- Sau khi ảnh đã được xử lý, tiến hành tích hợp các kênh ảnh trước và sau khi lũ quét để phân tích xử lý và phát hiện và chiết tách các vùng lũ quét.
- Kiểm chứng kết quả bằng dữ liệu khảo sát thực địa.
- Biên tập, xây dựng bản đồ hiện trạng lũ quét.



Hình 3. Quy trình phát hiện lũ quét sử dụng ảnh Sentinel-1 đa thời gian.

a) Bước tiền xử lý ảnh

Dữ liệu ảnh Sentinel-1A được thực hiện các bước tiền xử lý ảnh trên phần mềm SNAP Toolbox. Các bước tiền xử lý ảnh bao gồm lọc bỏ nhiễu nhiệt, hiệu chỉnh bức xạ, lọc dữ liệu, nắn chỉnh hình

học và cắt theo ranh giới khu vực nghiên cứu. Các phương pháp trong quá trình tiền xử lý ảnh Sentinel-1A được thực hiện gồm:

- Việc loại bỏ nhiễu nhiệt giúp giảm sự gián đoạn giữa các dải phụ cho mọi cảnh trong các chế độ thu nhận nhiều vùng [18].

- Hiệu chỉnh bức xạ để loại bỏ độ lệch bức xạ và đảm bảo giá trị pixel là trị tán xạ ngược của bề mặt phản xạ. Ảnh SAR thường được nhà cung cấp xử lý đến mức 1A nên sai số bức xạ thường vẫn còn tồn tại. Do vậy, hiệu chuẩn bức xạ làm tăng cường tính chính xác của dữ liệu SAR [19]. Tư liệu ảnh thử nghiệm sẽ được hiệu chuẩn và đưa về giá trị sigma nought, sử dụng các thông số được cung cấp trong phần mềm SNAP Toolbox [20].

- Lọc dữ liệu bằng phép lọc Lee [21, 22] và thuật toán đa tìm kiếm để loại bỏ những nhiễu đốm trên ảnh.

- Hiệu chỉnh hình học sử dụng SRTM DEM (*Shuttle Radar Topography Mission - Digital Elevation Model*) để hiệu chỉnh các biến dạng địa hình và chuyển về phép chiếu UTM48N-WGS84 của vùng nghiên cứu [18].

- Khu vực nghiên cứu được cắt bằng chức năng Subset trong phần mềm SNAP.

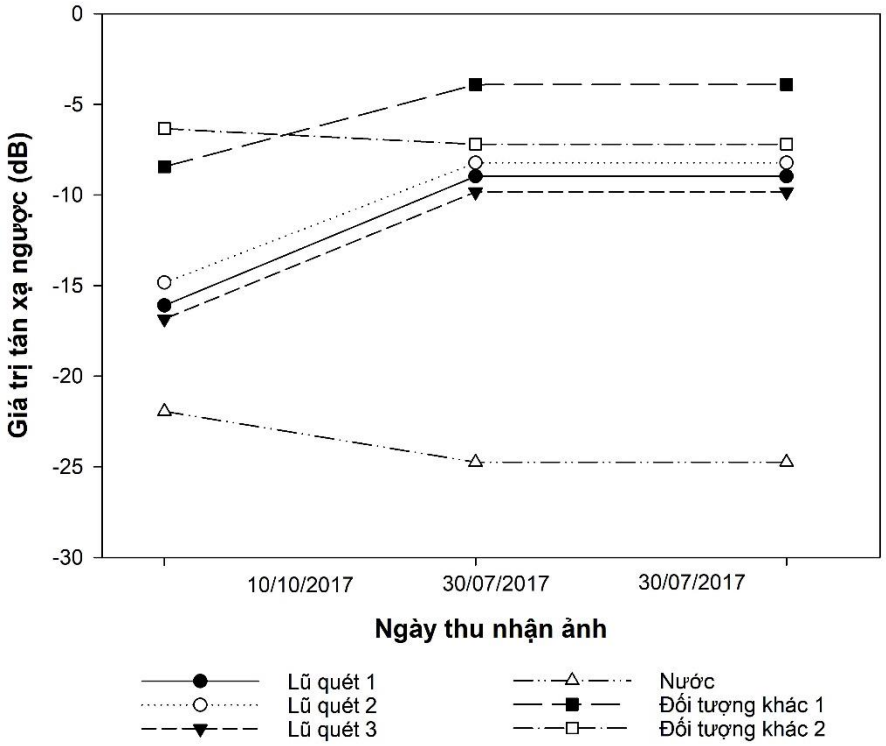
b) Xác định khu vực lũ quét trên tư liệu ảnh SAR

Sau khi thực hiện bước tiền xử lý ảnh, tiến hành tích hợp các kênh ảnh trước và sau khi xảy ra lũ để khoanh vùng xác định các vị trí lũ quét.

Sentinel-1A là tư liệu ảnh radar cửa mở tổng hợp (SAR). Nguyên lý hoạt động của hệ thống SAR được dựa trên lý thuyết kết hợp pha của tất cả các tín hiệu phản hồi trong khoảng thời gian khi vật mang radar di chuyển giữa hai xung tín hiệu được truyền đi. Đặc điểm giá trị tán xạ ngược trên ảnh SAR phụ thuộc vào tín hiệu truyền bao gồm chiều dài bước sóng, phân cực của tín hiệu, góc tới tín hiệu và đặc tính của đối tượng bao gồm độ nhám của bề mặt, hình dạng và hệ số điện môi.

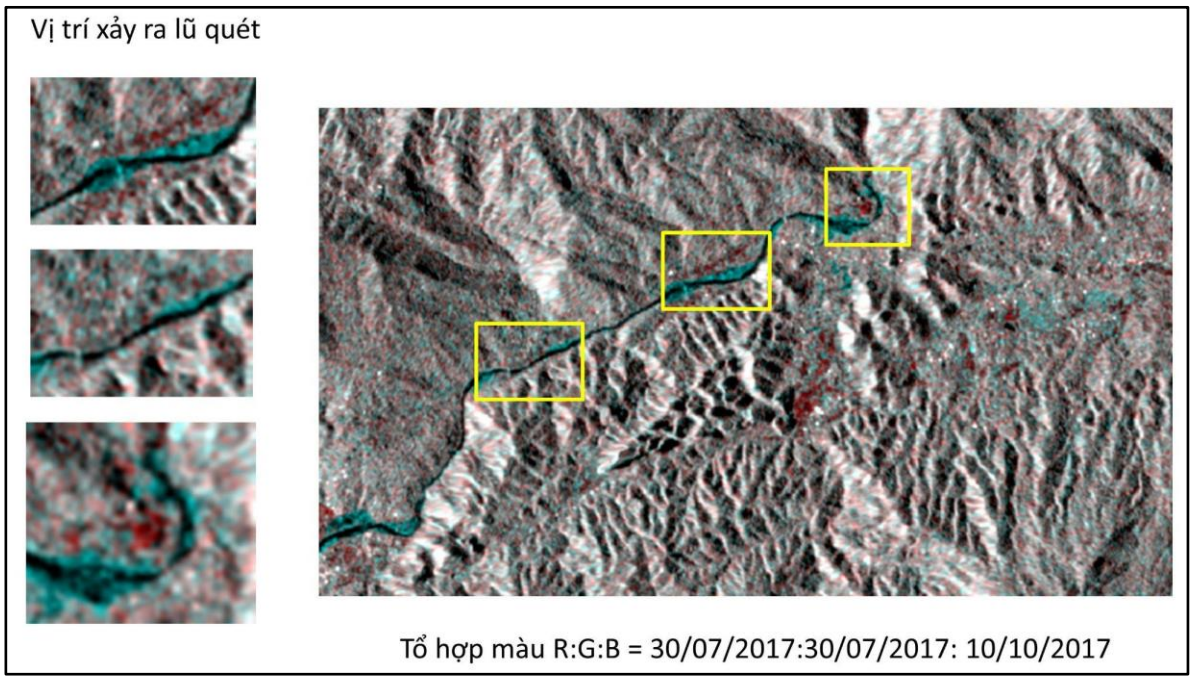
Độ nhám của bề mặt đối tượng là đặc điểm địa hình ảnh hưởng mạnh nhất đến cường độ sóng siêu cao tần nhận được tại bộ cảm. Theo định luật Snell đã chỉ ra rằng góc phản xạ sẽ bằng và đối xứng với góc tới qua mặt phẳng vuông góc. Kết quả là bề mặt phẳng sẽ có màu đen trên ảnh. Khi bề mặt có độ thô nhám tăng lên, các tia phản xạ tại các vị trí khác nhau sẽ theo các hướng khác nhau và năng lượng tán xạ trở lại anten của vệ tinh cũng sẽ tăng lên. Càng nhiều năng lượng tán xạ, thì hình ảnh trên ảnh SAR càng sáng. Do đó, hình ảnh các khu vực nước hoặc có bề mặt phẳng trên ảnh SAR sẽ có màu đen và tương phản với các đối tượng khác.

Các khu vực ngập lụt trên ảnh SAR được xác định dựa vào sự khác biệt về giá trị tán xạ ngược giữa bề mặt phẳng và bề mặt nhám. Tuy nhiên, đặc điểm lũ quét

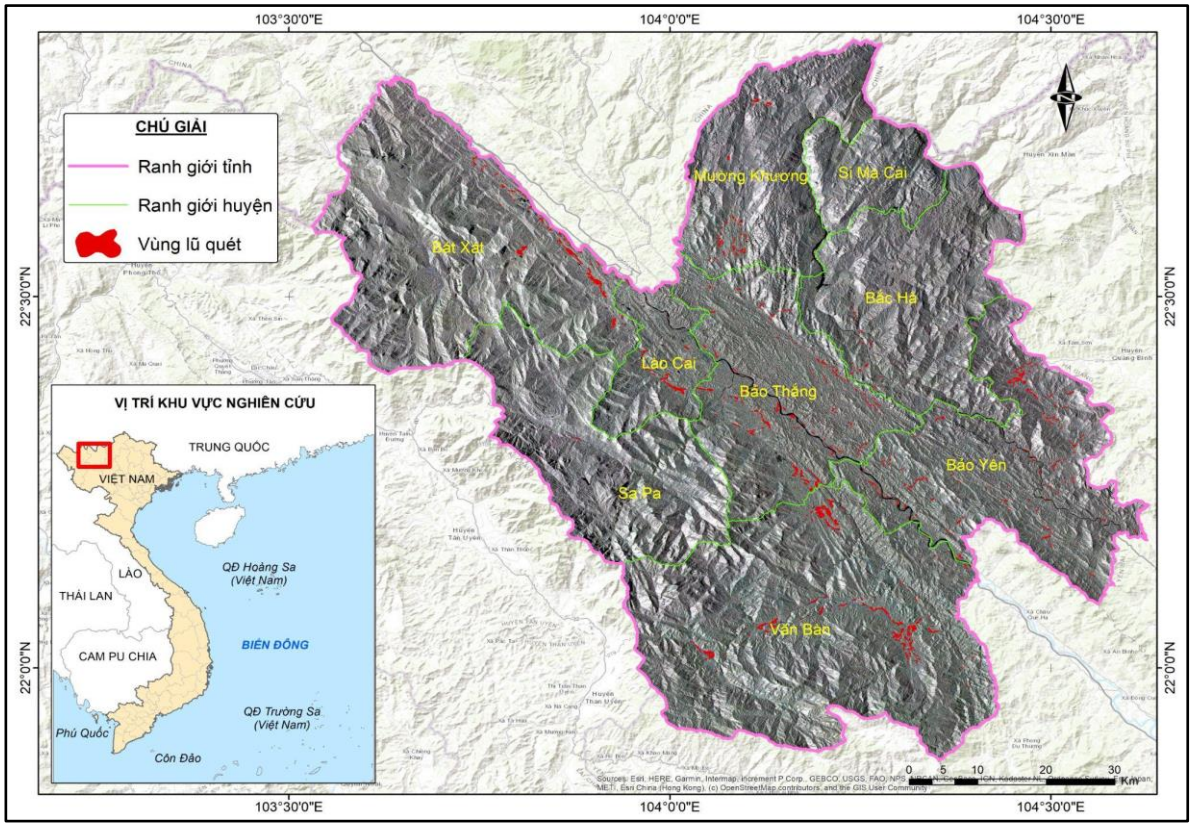


Hình 4. Giá trị tán xạ ngược tại các vị trí khác nhau trên ảnh Sentinel-1A đa thời gian.

thường xảy ra đột ngột, xuất hiện trong thời gian ngắn, phạm vi hẹp và làm thay đổi địa hình khu vực. Phân tích ảnh tổ hợp màu trước và sau khi xảy ra lũ quét thì tại những khu vực có bề mặt thay đổi thì sẽ làm thay đổi giá trị tán xạ ngược. Hình 4 biểu diễn giá trị tán xạ ngược tại các điểm tại khu vực vùng lũ quét, vùng nước và những vùng đối tượng lớp phủ bề mặt khác. Dựa trên đồ thị Hình 4 cho thấy giá trị tán xạ ngược tại thời điểm 10/10/2017 của khu vực vùng lũ quét rất thấp khoảng -16 dB và -18 dB, gần với giá trị tán xạ ngược của nước. Do vậy, trên ảnh tổ hợp, các khu vực lũ quét xuất hiện các màu sắc khác biệt so với những khu vực xung quanh (Hình 5).



Hình 5. Phát hiện lũ quét trên ảnh tổ hợp màu Sentinel-1A đa thời gian (phân cực VV).



Hình 6. Bản đồ hiện trạng lũ quét tỉnh Lào Cai năm 2017.

3. Kết quả

Các ảnh Sentinel-1A được xử lý, tính toán số học giữa các ảnh và phân ngưỡng để chiết tách các vùng lũ quét theo các bước như đã trình bày ở trên. Kết quả cuối cùng được kiểm chứng bằng dữ liệu điểm lũ quét thu thập từ khảo sát thực địa, kết quả độ chính xác của phương pháp đạt 85%. Ảnh sau phân loại được chuyển từ định dạng raster sang dạng vector, sau đó lớp dữ liệu các vùng lũ quét được biên tập, chồng với các lớp dữ liệu nền để thành lập bản đồ hiện trạng lũ quét năm 2017 tỉnh Lào Cai như được thể hiện trên Hình 6.

Hình 7. Một số hình ảnh thu thập được vùng lũ quét tại thực địa.

Theo kết quả xử lý thu được từ ảnh Sentinel-1A và dữ liệu khảo sát thực địa thì khu vực xảy ra lũ quét thường là các khu vực có địa hình dốc, xảy ra mưa vừa, mưa to trên diện rộng khiến nước tại các suối dâng cao đột ngột, lũ từ thượng nguồn chảy về cuốn theo bùn đất, thân cây… gây ngập lụt, làm hư hỏng nhà cửa, hoa màu, gây thiệt hại nghiêm trọng về người và tài sản. Các vị trí lũ quét được phát hiện trên ảnh SAR là những khu vực có những biến đổi về bề mặt địa hình trước và sau lũ. Đồng thời, các vị trí các vụ lũ quét chủ yếu tập trung tại các khu vực ven các sông, suối. Tuy nhiên, do phương pháp xác định lũ quét trên ảnh SAR đa thời gian chủ yếu dựa vào sự thay đổi đặc điểm tán xạ ngược trên ảnh nên có tồn tại một số vị trí nhiễu, gây nhầm lẫn. Các vị trí nhầm lẫn chủ yếu là những khu vực có những biến đổi về địa hình nhưng không do ảnh hưởng của lũ quét như sự thay đổi bề mặt do con người. Ngoài ra, do phản xạ tại các sườn núi trên ảnh SAR sẽ ảnh hưởng đến kết quả giải đoán và khoanh vùng các vị trí lũ quét thuộc những khu vực này.

4. Kết luận

Các tác giả đã xây dựng được hiện trạng vị trí các điểm lũ quét khu vực Lào Cai từ dữ liệu ảnh SAR Sentinel-1A đa thời gian. Đặc điểm của lũ quét xảy ra nhanh và thường làm thay đổi bề mặt địa hình tại nơi mà lũ đi qua. Do đó, các tác giả đã sử dụng phương pháp phân tích sự khác biệt về giá trị tán xạ ngược trên ảnh SAR trước và sau lũ để khoanh vùng các vị trí lũ quét. Độ chính xác của phương pháp đề xuất trong bài báo được đánh giá dựa trên các dữ liệu khảo sát thực địa và đạt 85%. Tuy nhiên, phương pháp còn có những hạn chế do tồn tại những sự thay đổi bề mặt địa hình do con người gây ra cũng làm thay đổi giá trị tán xạ ngược trên ảnh. Đồng thời, các sai số trên ảnh SAR do đặc điểm thu nhận ảnh cũng gây khó khăn trong quá trình khoanh vùng khu vực lũ quét.

Hiện trạng vùng lũ quét là yếu tố đầu vào quan trọng trong các mô hình dự báo lũ quét. Đồng thời, kết quả nghiên cứu của bài báo cũng đánh giá được khả năng sử dụng tư liệu ảnh SAR đa thời gian trong nghiên cứu khoanh vùng lũ quét, cung cấp cập nhật, kịp thời các thông tin vị trí ảnh hưởng của lũ quét phục vụ cho các công tác tìm kiếm cứu nạn, đưa ra các cảnh báo trong tương lai, giảm thiểu các thiệt hại về người và tài sản. Trong thời gian tới, nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục hoàn thiện phương pháp xác định lũ quét trên ảnh SAR đa thời gian để nâng cao độ chính xác và hiệu quả sử dụng trong thực tiễn.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành dựa trên kết quả của luận án: "Nghiên cứu phát triển mô hình trí tuệ nhân tạo trong phân vùng nguy cơ lũ quét ở Việt Nam" và tài trợ bởi đề tài cấp Bộ mã số B2018-MDA-18DT (Bộ Giáo dục và Đào tạo Việt Nam).

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. Siahkamari, S.; Haghizadeh, A.; Zeinivand, H.; Tahmasebipour, N., Rahmati, O. Spatial prediction of flood-susceptible areas using frequency ratio and maximum entropy models. *Geocarto Int.* **2018**, *33(9)*, 927–941.
2. Ward, P.J.; Jongman, B.; Aerts, J.C.; Bates, P.D.; Botzen, W.J.; Diaz Loaiza, A.; Winsemius, H.C. A global framework for future costs and benefits of river-flood protection in urban areas. *Nat. Clim. Change* **2017**, *7(9)*, 642–646.
3. Bubeck, P.; Thieken, A.H. What helps people recover from floods? Insights from a survey among flood-affected residents in Germany. *Reg. Environ. Change* **2018**, *18*, 287–296.
4. Peduzzi, P. Prioritizing protection ?. *Nat. Clim. Change* **2017**, *7(9)*, 625–626.
5. NWS. What is flash flooding. National Weather Service, 2018. Available online: https://www.weather.gov/phi/FlashFloodingDefinition.
6. Trực tuyến: http://cred.org.vn/news-publications/.
7. Tổng cục phòng chống thiên tai. Hội nghị tổng kết công tác chỉ đạo điều hành 2018 và phương hướng nhiệm vụ 2019.
8. Pilon, P.J. Guidelines for reducing flood losses. United Nations: Rome, Italy, 2004.
9. Amitrano, D.; Di Martino, G.; Iodice, A.; Riccio, D.; Ruello, G. Unsupervised rapid flood mapping using Sentinel-1 GRD SAR Images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens*. **2018**, *56*, 3290–3299.
10. Giustarini, L.; Hostache, R.; Kavetski, D.; Chini, M.; Corato, G.; Schlaffer, S.; Matgen, P. Probabilistic flood mapping using synthetic aperture radar data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **2016**, 54, 6958–6969.
11. Xue, F.; Gao, W.; Yin, C.; Chen, X.; Xia, Z.; Lv, Y.; Zhou, Y.; Wang, M. Flood monitoring by integrating normalized difference flood index and probability distribution of water bodies. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* **2022**, *15*, 4170–4179.
12. Zhao, B.; Sui, H.; Liu, J. Siam-DWENet: Flood inundation detection for SAR imagery using a cross-task transfer siamese network. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2023**, *116*, 103132.
13. Schepanski, K.; Wright, T.J.; Knippertz, P. Evidence for flash floods over deserts from loss of coherence in InSAR imagery. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2012**, 117(D20), D20101.
14. Deijns, A.A.; Dewitte, O.; Thiery, W.; d'Oreye, N.; Malet, J.P.; Kervyn, F. Timing landslide and flash flood events from SAR satellite: A regionally applicable

methodology illustrated in African cloud-covered tropical environments. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **2022**, *22(11)*, 3679–3700.
15. Elkhrachy, I. Flash flood water depth estimation using SAR images, digital elevation models, and machine learning algorithms. *Remote Sens.* **2022**, *14(3)*, 440.
16. Anh, T.V.; Hạnh, T.H.; Nghị, L.T. Xác định diện tích ngập lụt miền trung năm 2020 và đánh giá ảnh hưởng đến lớp phủ/sử dụng đất dựa trên nền tảng Google Earth Engine. Hội nghị khoa học quốc gia về công nghệ địa không gian trong khoa học trái đất và môi trường, Trường đại học Mỏ - Địa chất, 2021.
17. Nghĩa, N.V. Nghiên cứu phát hiện lũ quét từ tư liệu ảnh viễn thám Radar Palsar tại khu vực Yên Bái, Sơn La. Phát triển bền vững vùng, Viện nghiên cứu phát triển bền vững Vùng, Viện Hàn lâm khoa học xã hội Việt Nam, 2020.
18. Elfadaly, A.; Abate, N.; Masini, N.; Lasaponara, R. SAR Sentinel-1 imaging and detection of palaeo-landscape features in the mediterranean area. *Remote Sens.* **2020**, *12(16)*, 2611.
19. Rosich, B. Absolute calibration of ASAR level 1 products generated with PF-ASAR. 2004. Available online: http://ftp.esrin.esa.it/pub/ESA-DOC/ENVISAT/ASAR/ASAR-products-absolute-calibration-v1.4.pdf.
20. Filipponi, F. Sentinel-1 GRD preprocessing workflow. *Proceedings* **2019**, *18(1)*, 11.
21. Lee, J.S. Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* **1980**, *2*, 165–168.
22. Lee, J.S.; Jurkevich, L.; Dewaele, P.; Wambacq, P.; Oosterlinck, A. Speckle filtering of synthetic aperture radar images: A review. *Remote Sens.* **1994**, *8(4)*, 313–340.

Using multi-temporal Sentinel-1A images to detect flash floods, a case study in Lao Cai province.

Ngo Thi Phuong Thao[1]*, Ngo Hung Long [1], Tran Anh Tuan[2], Le Minh Hang[3]

[1] Faculty of Information Technology, Hanoi University of Mining and Geology; ngothiphuongthao@humg.edu.vn; ngohunglong@humg.edu.vn
[2] Institute of Ecology and Biological resources, Vietnam Academy of Science and Technology; tuantran@iebr.vast.vn
[3] Institute of Techniques for Special Engineering, Military Technical Academy; leminhhang81@lqdtu.edu.vn

Abstract: In recent years, Vietnam has frequently experienced severe flash floods that cause significant damage to both people and property. These flash floods often occur suddenly, accompanied by mud and rapidly rising floodwaters, making it challenging to conduct field surveys and access disaster sites and carry out recovery efforts. Currently, microwave satellite image is being applied in practice to monitor and assess the impacts of flood and flash flood areas, yielding better results compared to traditional methods. This study presents a method for detecting flash flood areas using Sentinel-1A imagery. Accordingly, 4 images were collected in IW mode, level 1 at the times before and after the flash flood. The experimental study area is Lao Cai province, where flash floods often occur causing heavy damage. The proposed method for extracting flash flood areas from Sentinel-1A images involves the following steps: (1) Data collection: Gather Sentinel-1A imagery and relevant data; (2) Image preprocessing: Apply preprocessing steps to the Synthetic Aperture Radar (SAR) images and crop them based on the study area boundaries; (3) Image analysis and image classification: compare and analyze the images to extract flash flood regions. The accuracy of the results was verified against ground-truth data. The research findings serve as valuable input for developing flash flood warning models and providing information to relevant authorities for effective disaster response and mitigation.

Keywords: Multi-temporal Sentinel-1A; SAR images; Flash flood.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Đánh giá xói lở bờ sông Hàm Luông bằng công nghệ viễn thám tích hợp công nghệ học máy và hệ thống phân tích đường bờ

Lê Văn Quyền[1], Đoàn Văn Bình[1]*

[1] Chương trình thạc sĩ Công nghệ, Tái sử dụng và Quản lý nước, Khoa Kỹ thuật, Trường Đại học Việt Đức; quyenlv0223@gmail.com; binh.dv@vgu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: binh.dv@vgu.edu.vn; Tel.: +84–989697736

Ban Biên tập nhận bài: 15/3/2024; Ngày phản biện xong: 22/4/2024; Ngày đăng: 25/8/2024

Tóm tắt: Trước đây, viễn thám được ứng dụng để nghiên cứu xói lở bờ sông chủ yếu bằng việc kết hợp các băng ảnh và hầu hết chưa được kiểm định bằng tọa độ đường bờ thực tế. Trong nghiên cứu này, xói lở bờ sông Hàm Luông được đánh giá bằng việc tích hợp công nghệ học máy vào viễn thám và hệ thống phân tích đường bờ (DSAS). Ảnh vệ tinh Landsat được sử dụng để đánh giá diễn biến xói lở từ 1999 đến 2022, có kiểm định bằng 100 tọa độ GPS bờ sông được đo đạc năm 2022. Kết quả trích xuất đường bờ là đáng tin cậy, với sai số căn quân phương (RMSE) là 15,92 m, nhỏ hơn đáng kể so với độ phân giải 30m của Landsat. Giai đoạn 1999-2022, xói lở chiếm ưu thế (68% chiều dài), chủ yếu xảy ra ở bờ phải, với tổng diện tích mất đất là 176,7 ha (7,54 ha/năm). Xói lở bờ gia tăng theo thời gian, cả về tốc độ lẫn phạm vi. Bờ sông chuyển từ bồi tụ trong giai đoạn 1999-2005 (+1,65 m/năm) sang bị xói trong giai đoạn 2005-2022 (-3,71 m/năm). Giai đoạn chuyển tiếp từ bồi tụ sang xói lở là 2005-2009, khi các siêu đập thủy điện trên lưu vực sông Mê Công được đưa vào vận hành. Do đó, việc phục hồi lớp thực vật ven sông cần được ưu tiên để bảo vệ bờ sông đang bị xói lở.

Từ khóa: Xói lở bờ sông; Viễn thám; Học máy; GIS; DSAS; ĐBSCL.

1. Giới thiệu

Xói lở bờ sông hiện là một vấn nạn thiên tai chung của hầu hết các hệ thống sông ngòi trên thế giới [1–4]. Đây là một hiểm họa thiên tai dài hạn, có ảnh hưởng đa dạng đến kinh tế, xã hội, sinh kế và có thể đến cả chính trị [4]. Cụ thể, những hệ quả tất yếu của xói lở bờ sông bao gồm giảm chất lượng nước, mất ổn định công trình, đe dọa đến an toàn của khu dân cư và thay đổi bất lợi cho hệ sinh thái [5]. Tuy có tốc độ ảnh hưởng tương đối chậm nhưng xói lở bờ để lại hậu quả dài lâu cho các đối tượng trong vùng ảnh hưởng và khả năng hồi phục là rất thấp [6–8].

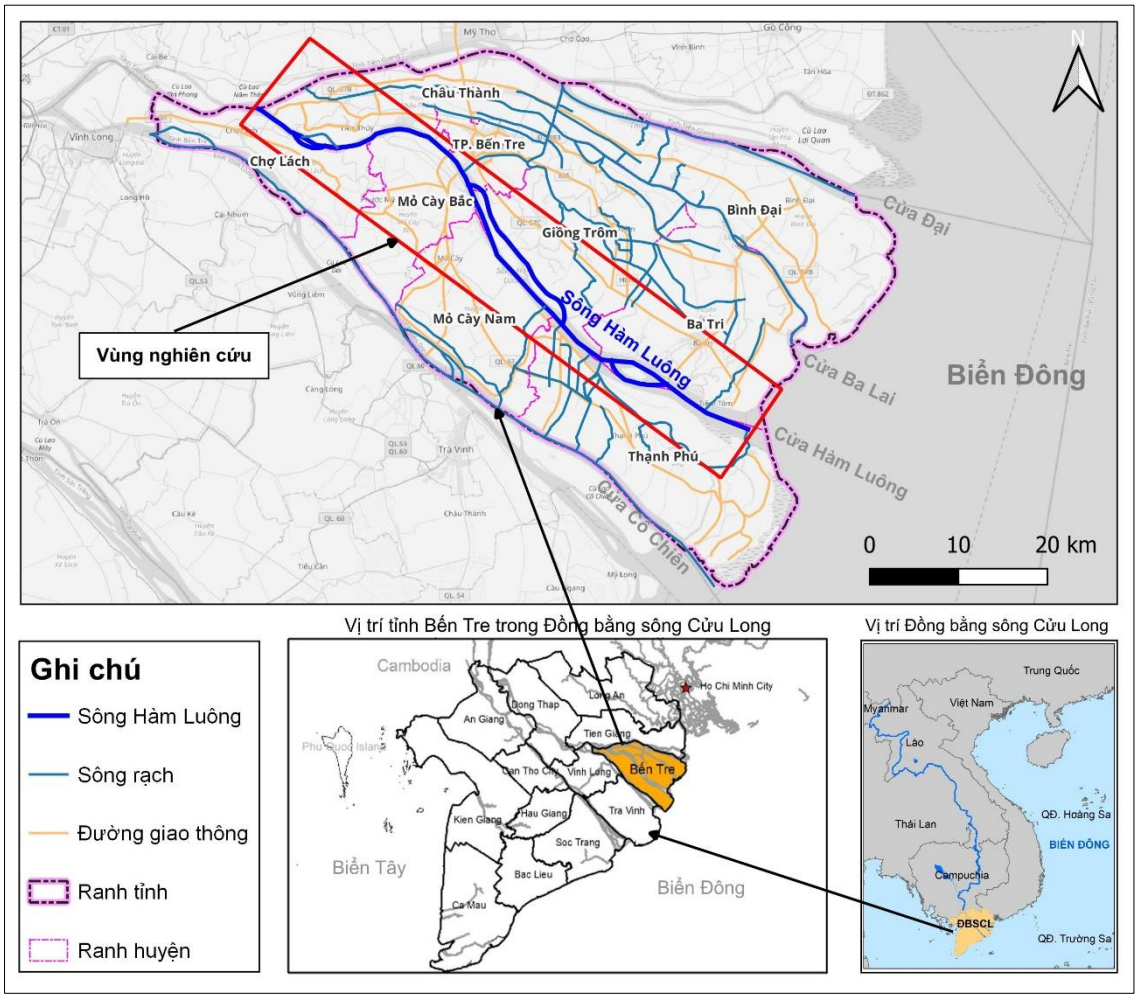
Trên thế giới, nhiều kỹ thuật hiên đại đã được ứng dụng trong nghiên cứu xói lở bờ sông ở phạm vi rộng. Điển hình như các nghiên cứu sử dụng ảnh vệ tinh, không ảnh độ phân giải cao (LIDAR), máy quét Laser, và máy bay không người lái (UAV/Drone) [9–12]. Trong đó, kỹ thuật viễn thám cho thấy ưu điểm so với các công cụ còn lại cả về mặt thời gian và nguồn kinh phí nghiên cứu, trong khi kết quả vẫn có độ tin cậy cao. Trong cuộc đua công nghệ 4.0, việc sử dụng trí tuệ nhân tạo và mô hình học máy trong các nghiên cứu về xói lở bờ cũng ngày càng phổ biến. Điểm mạnh của các mô hình này là số liệu đầu vào có thể đơn giản (kể cả dữ liệu phi tuyến tính rời rạc), độ tin cậy cao và tiết kiệm thời gian tính toán [13–15].

Thời gian gần đây, các nghiên cứu xói lở bờ sông bằng dữ liệu viễn thám ở Việt Nam đã tương đối phổ biến. Mặc dù vậy, đường bờ chủ yếu được trích xuất bằng các chỉ số đơn giản bằng cách kết hợp các băng ảnh lại với nhau. Cụ thể, các nghiên cứu đã thực hiện thường sử

dụng các chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) hay chỉ số nước khác biệt chuẩn hóa NDWI (*Normalized Difference Water Index*) để trích xuất đường bờ [16–18]. Các chỉ số này thường cho độ sai số lớn khi khu vực nghiên cứu có nhiều tàu thuyền neo đậu hay độ phản xạ mặt đất cho tín hiệu không rõ ràng. Một số nghiên cứu chỉ đơn thuần sử dụng giá trị NDVI làm căn cứ trích xuất đường bờ và không có kiểm định kết quả tính toán so với đường bờ thực tế. Vì vậy, phương pháp trích xuất đường bờ sông dựa vào ảnh vệ tinh cần được nghiên cứu sâu hơn để tăng độ chính xác, chẳng hạn như tích hợp thuật toán học máy ngay trong các mô hình viễn thám để tăng độ chính xác của việc trích xuất đường bờ.

Là một vùng kinh tế trọng điểm phía Nam, Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) không chỉ cung cấp nguồn nông sản cho Việt Nam mà còn phục vụ xuất khẩu ra toàn thế giới. Tuy nhiên, ĐBSCL hiện nay đang chịu tác động nghiêm trọng từ thiên tai, điển hình như xói lở lòng sông, bờ sông và bờ biển, hạn mặn, ngập lụt, và sụt lún đất. Trong đó, xói lở bờ sông đang ngày một diễn biến nhanh hơn, với mức độ ngày càng trầm trọng. Theo thống kê của bộ NN&PTNT, số vị trí ghi nhận hiện tượng sạt lở bờ sông đang gia tăng đáng kể, từ 100 điểm trong năm 2010 lên 680 điểm được báo cáo trong năm 2019. Việc phát triển các đập thủy điện thượng lưu được đánh giá là nguyên nhân số một của hiện tượng xói lở trên diện rộng ở ĐBSCL, trong khi khai thác cát là tác nhân gây trầm trọng hóa vấn đề này [19–21]. Mặc dù vậy, xói lở bờ sông thường ít được quan tâm hơn các vấn đề khác (ngập lụt, xâm nhập mặn) do phạm vi và mức độ thiệt hại tương đối nhỏ hơn trong khi diễn biến tương đối chậm.

Một đặc điểm quan trọng của bờ sông ở ĐBSCL đó là; trước đây dọc bờ sông luôn có một thảm thực vật tự nhiên bảo vệ bờ như bần, dừa nước. Theo thời gian, lớp thực vật này bị



Hình 1. Vị trí vùng nghiên cứu.

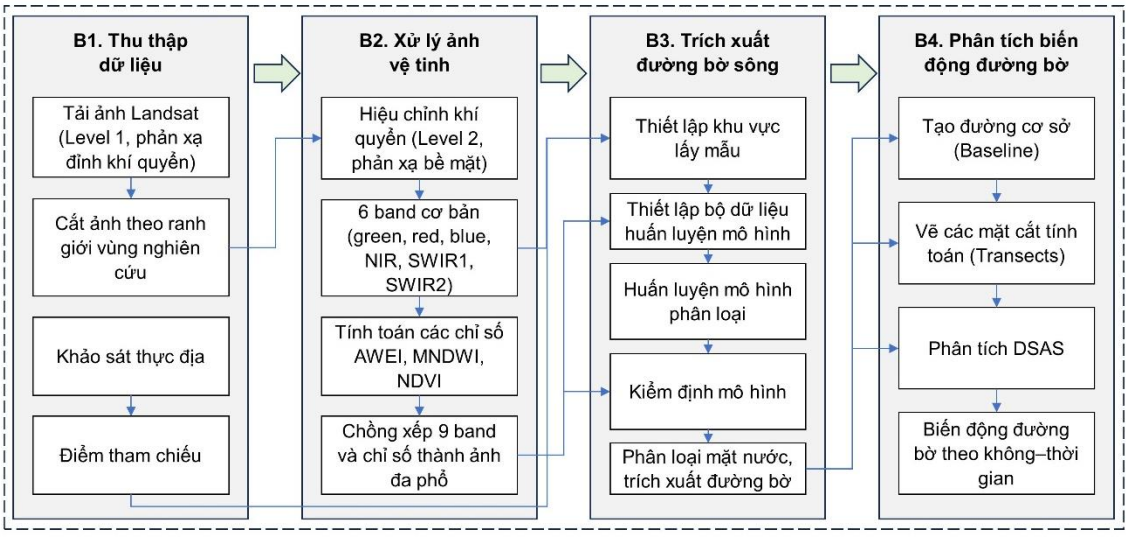
xói lở, và khi dọc bờ sông không còn lớp thực vật bảo vệ nữa thì tốc độ xói lở sẽ diễn ra rất nhanh. Điển hình là dọc sông Cổ Chiên, đặc biệt là trên các cù lao (tỉnh Trà Vinh và Vĩnh Long). Dọc sông Hàm Luông hiện nay lớp thực vật (bần, dừa nước) còn tương đối dày (vài mét tới vài chục mét), nhưng đã có hiện tượng xói lở lớp thực vật này. Nếu không có giải pháp bảo vệ lớp thực vật tự nhiên trên sông Hàm Luông thì trong vòng 10 năm tới lớp thực vật này có thể có nguy cơ biến mất (như đã từng diễn ra với sông Cổ Chiên). Khi đó, xói lở bờ sông Hàm Luông sẽ rất trầm trọng, ảnh hưởng đáng kể đến đời sống của cư dân ven sông.

Các nghiên cứu xói lở ở ĐBSCL hiện nay thường dùng các chỉ số như NDVI, NDWI [16–17] để trích xuất bờ sông, vì vậy độ chính xác còn khá hạn chế, nhất là những vùng chịu ảnh hưởng triều như ĐBSCL. Trong khi đó, xói lở bờ sông ở ĐBSCL đang diễn biến nhanh trên diện rộng nên cần được nghiên cứu cấp bách nhằm hiểu được hiện trạng và nguyên nhân, làm cơ sở đề ra các biện pháp tối ưu. Do đó, nghiên cứu này đề ra mục tiêu: (1) tích hợp thuật toán học máy vào công nghệ viễn thám nhằm tăng độ tin cậy của quá trình nhận diện đường bờ; (2) sử dụng công nghệ DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) để phân tích diễn biến xói lở bờ sông và (3) phân vùng nguy cơ xói lở bờ sông.

Khu vực nghiên cứu là Sông Hàm Luông (Hình 1), và diễn biến xói, bồi được phân tích, đánh giá cho thời gian từ 1999 đến 2022. Đây là một trong các công trình nghiên cứu mang tính tiên phong ở ĐBSCLvà Việt Nam trong việc sử dụng hai kỹ thuật tiên tiến (viễn thám và học máy) để đánh giá biến động bờ sông. Bên cạnh đó, nghiên cứu kỳ vọng sẽ đem lại kết quả quan trọng cho các bên liên quan để xem xét đề xuất biện pháp hữu hiệu nhằm bảo vệ bờ sông một cách kịp thời. Ngoài ra, phương pháp luận trong nghiên cứu này có thể được áp dụng cho các vùng nghiên cứu khác trong tương lai.

2. Dữ liệu và phương pháp

Nghiên cứu này tích hợp công nghệ học máy vào kỹ thuật viễn thám để trích xuất đường bờ sông qua các năm, sau đó đánh giá diễn biến đường bờ theo không-thời gian bằng hệ thống phân tích biến động đường bờ DSAS. Tổng quan các nội dung và thứ tự thực hiện nghiên cứu được tóm lược trong Hình 2 và chi tiết hóa trong các nội dung tiếp theo.



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc quá trình nghiên cứu xói lở bờ sông.

2.1. Dữ liệu sử dụng

Để trích xuất đường bờ dài hạn (1999-2022) cho khu vực sông Hàm Luông, ảnh Landsat đã được sử dụng do vệ tinh này có chuỗi dữ liệu dài (từ những năm 1970s), là loại ảnh vệ tinh duy nhất phù hợp với thời đoạn phân tích trong nghiên cứu này. Dữ liệu này được cung cấp miễn phí từ trang web chính thức của cơ quan Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ tại địa chỉ

https://earthexplorer.usgs.gov/. Do cảm biến của vệ tinh Landsat là loại quang học nên chất lượng ảnh thường sẽ chịu ảnh hưởng bởi sự che phủ của mây. Cân nhắc vấn đề này, 06 ảnh Landsat (đều là Landsat 5 và 8) đã được lựa chọn cho các năm 1999, 2005, 2009, 2014, 2018, và 2022 (Bảng 1). Ảnh Landsat 7 không được sử dụng là do 1) các ảnh trước năm 2003 có mức độ mây che phủ cao, gây thiếu hụt thông tin để nghiên cứu và 2) các ảnh sau năm 2003 bị lỗi ở nhiều dãy quét trong vùng nghiên cứu (scanline error). Ảnh được tải xuống là dữ liệu mức 1 (Level 1), đã được nắn chỉnh tọa độ địa lý, nhưng trước khi sử dung cần hiệu chỉnh khí quyển. Bên cạnh đó, để hỗ trợ quá trình trích xuất và đánh giá độ tin cậy của đường bờ sông, 100 vị trí bờ sông (năm 2022) đã được thu thập tọa độ GPS, sau đây gọi là các điểm tham chiếu.

Bảng 1. Các ảnh vệ tinh Landsat được sử dụng trong nghiên cứu.

STT	Vệ tinh	Cảm biến	Ngày chụp	Độ che phủ của mây (%)
1	Landsat 5	TM	06/21/1999	10,00
2	Landsat 5	TM	08/24/2005	1,00
3	Landsat 5	TM	12/09/2009	1,00
4	Landsat 8	OLI	02/22/2014	1,80
5	Landsat 8	OLI	10/31/2018	6,42
6	Landsat 8	OLI	12/13/2022	14,26

2.2. Hiệu chỉnh khí quyển

Quá trình hiệu chỉnh khí quyển (atmospheric correction, AC) nhằm giảm thiểu ảnh hưởng từ môi trường đến giá trị các điểm ảnh, đồng thời chuyển giá trị số (digital number, DN) thành giá trị phản xạ bề mặt (surface reflection, SR). Để thực hiện hiệu chỉnh khí quyển, chúng tôi sử dụng công cụ ACOLITE, với thuật toán "*Dark Spectrum Fitting*" [22–23]. Công cụ mã nguồn mở này phù hợp cho việc hiệu chỉnh khí quyển đối với ảnh vệ tinh Landsat và Sentinel nhằm mục đích phân loại mặt nước với các đối tượng khác. Các thông số đầu vào để hiệu chỉnh (như nồng độ ozone, hơi nước, hiệu chỉnh khí dung…) có thể tùy biến nhằm làm nổi bật khu vực mặt nước. Giá trị các pixel của ảnh Landsat sau khi hiệu chỉnh là giá trị phản xạ bề mặt, phù hợp với đặc tính quang phổ phản xạ khác nhau của các vật thể trên mặt đất.

2.3. Tính toán các chỉ số bổ sung

Các băng (band) ảnh được sử dụng để chiết xuất đường bờ sông bao gồm xanh dương (blue), xanh lá (green), đỏ (red), cận hồng ngoại (near-infrared, NIR), hồng ngoại sóng ngắn 1 (short-wave infrared-1, SWIR1) và hồng ngoại sóng ngắn 2 (short-wave infrared-2, SWIR2). Bên cạnh đó, 03 chỉ số được thiết lập dựa vào 06 băng cơ bản, bao gồm chỉ số trích xuất mặt nước tự động (Automated Water Extraction Index, AWEI) [24], chỉ số nước khác biệt chuẩn hóa cải thiện (Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI) [25] và chỉ số NDVI. Công thức tính như sau:

$$AWEI = 4\times \rho_{Green} - \rho_{SWIR1} - 0{,}25\times\rho_{NIR} + 2{,}75\times\rho_{SWIR2} \quad (1)$$

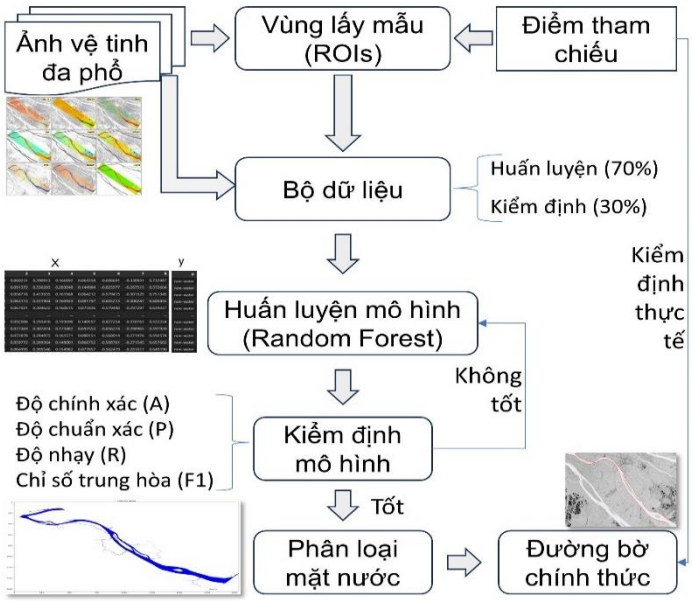
$$MNDWI = \frac{(\rho_{Green} - \rho_{SWIR1})}{(\rho_{Green} + \rho_{SWIR1})} \quad (2)$$

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{Red})}{(\rho_{NIR} + \rho_{Red})} \quad (3)$$

Trong đó ρ_{Green}, ρ_{Red}, ρ_{NIR}, ρ_{SWIR1}, và ρ_{SWIR2}, lần lượt là các trị số phản xạ bề mặt của các băng ảnh xanh lá, đỏ, cận hồng ngoại, và hồng ngoại sóng ngắn 1 và 2. Cuối cùng, 06 băng ảnh cơ bản và 03 chỉ số được chồng xếp thành một ảnh đa phổ, được dùng cho quá trình trích xuất đường bờ sông.

2.4. Trích xuất đường bờ sông bằng kỹ thuật viễn thám kết hợp học máy

Về cơ bản, đường bờ sông Hàm Luông qua các năm được trích xuất bằng cách tách lớp mặt nước từ ảnh Landsat thông qua các bước thực hiện như được chi tiết trong Hình 3. Để nâng cao độ tin cậy của đường bờ được trích xuất, quá trình phân loại có giám sát (*supervised classification*) sử dụng mô hình học máy rừng ngẫu nhiên (*Random Forest, RF*) đã được tiến hành. Đầu tiên, 90 vùng "lấy mẫu huấn luyện" (*Regions of Interest, ROIs*) được thiết lập dọc theo sông bờ sông Hàm Luông, tương ứng với 15.103 pixel. Chúng bao gồm hai loại, được gán nhãn 0 và 1 (*target*), tương ứng đại diện cho các khu vực mặt nước và không phải mặt nước căn cứ vào thông tin từ tổ hợp các băng ảnh khả kiến (*Red - Green - Blue*) và vị trí các điểm tham chiếu.



Hình 3. Sơ đồ quy trình trích xuất đường bờ sông bằng viễn thám tích hợp học máy.

Tiếp theo, bộ dữ liệu dùng để "huấn luyện" mô hình được thiết lập bằng cách chồng xếp các ROIs lên các băng ảnh vệ tinh đã được hiệu chỉnh khí quyển ở cuối Mục 2.3, để trích xuất giá trị phản xạ mặt đất của các pixel ảnh tương ứng. Kết quả, bộ dữ liệu là một ma trận có 10 cột dữ liệu, bao gồm 09 biến độc lập (*feaure variables*) tương ứng với 09 băng ảnh và 01 biến phụ thuộc (*target*) chứa giá trị cần phân loại (mặt nước (0)/không phải mặt nước (1)). Sau đó, bộ dữ liệu này tiếp tục được phân chia thành hai nhóm: huấn luyện (*training set*) và kiểm định (*testing set*) mô hình, lần lượt với tỷ lệ là 70% và 30%, một cách ngẫu nhiên.

Sử dụng 2 nhóm dữ liệu này, mô hình học máy RF được huấn luyện và kiểm định thông qua 04 chỉ số đánh giá tiêu chuẩn, bao gồm: độ chính xác - Accuracy (A), độ chuẩn xác - Precision (P), độ nhạy - Recall (R), và chỉ số trung hòa - F1-score (F1). Các chỉ số này đều có giá trị trong khoảng 0 đến 1, được tính toán từ dữ liệu thống kê về số lượng giá trị thực tế và dự đoán của mô hình trong ma trận kết quả (*confusion matrix*) theo các công thức từ (4) đến (7) như sau:

$$A=\frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (4)$$

$$P=\frac{TP}{TP+FP} \quad (5)$$

$$R=\frac{TP}{TP+FN} \quad (6)$$

$$F1=\frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (7)$$

Trong đó TP là tổng số pixel mặt nước được dự đoán đúng; FP là tổng số pixel mặt nước được dự đoán sai; TN là tổng số pixel không phải mặt nước được dự đoán đúng; và FN là tổng số pixel không phải mặt nước được dự đoán sai. Quá trình thực hiện việc huấn luyện và kiểm định được tiến hành cho đến khi nào các chỉ số kiểm tra đạt giá trị tốt (lớn hơn 0,9), lúc đó mô hình là đáng tin cậy để phân loại đường bờ cho toàn bộ vùng nghiên cứu [26]. Kết quả phân loại là một raster với 02 giá trị 0 (mặt nước) và 1 (không phải mặt nước). Cuối cùng, lớp mặt nước được chuyển thành định dạng vector và trích xuất thành đường bờ sông.

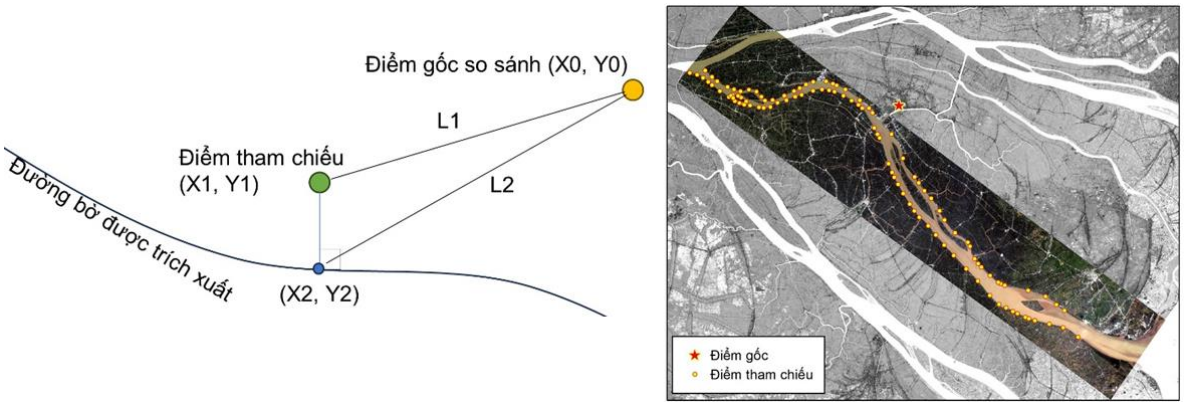
Ngoài ra, độ tin cậy của đường bờ đã trích xuất còn được đánh giá bằng cách so sánh đường bờ trích xuất năm 2022 với các vị trí tham chiếu thu thập được trong đợt khảo sát thực địa. Ứng với mỗi điểm tham chiếu, lựa chọn một điểm gần nhất (khoảng cách ngắn nhất) trên đường bờ (sau đây gọi là điểm trích xuất) để so sánh độ chính xác. Tại mỗi cặp điểm, chúng tôi tiến hành tính toán khoảng cách từ các điểm này tới một điểm gốc cố định, sau đó tính sai số căn quân phương (RMSE) của các giá trị này. Ở đây sử dụng vị trí của Đài khí tượng - thủy văn tỉnh Bến Tre (tọa độ X = 649515,188 m, Y = 1132466,445 m) làm điểm gốc so sánh. Cách thức xác định các điểm đánh giá được minh họa trong Hình 4, các khoảng cách và thông số để so sánh được tính theo các công thức (8), (9), (10) như sau:

$$L1=\sqrt{X_1-X_0\ ^2+\ Y_1-Y_0\ ^2} \quad (8)$$

$$L2=\sqrt{X_2-X_0\ ^2+\ Y_2-Y_0\ ^2} \quad (9)$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{100}\sum_{i=1}^{100}\ L2_i-L1_i\ ^2} \quad (10)$$

Trong đó (X_0, Y_0), (X_1, Y_1), và (X_2, Y_2), theo đúng thứ tự là tọa độ của điểm gốc, điểm tham chiếu, và điểm trích xuất; L1, L2 lần lượt là khoảng cách từ điểm tham chiếu và điểm trích xuất đến điểm gốc; và RMSE là sai số quân phương.



Hình 4. Minh họa cách thức so sánh đường bờ được trích xuất với các điểm tham chiếu.

2.5. Đánh giá xói lở bờ sông bằng DSAS

Sau khi trích xuất được đường bờ sông qua các năm, biến động đường bờ sông Hàm Luông được phân tích bằng công cụ DSAS. Đây là một phần mở rộng trong phần mềm ArcGIS cho phép lượng hóa diễn biến của đường bờ theo không - thời gian [27]. Quy trình phân tích bao gồm 3 bước: (i) xác định đường cơ sở; (ii) vẽ các mặt cắt để tính toán (trực giao với đường cơ sở và các đường bờ); và (iii) tính toán tốc độ thay đổi của đường bờ tại các mặt cắt này. Trong nghiên cứu này, các giá trị tốc độ hồi quy tuyến tính (linear regression rate, LRR), tốc độ thay đổi điểm cuối (endpoint rate, EPR) và chuyển động ròng của đường bờ (net shoreline movement, NSM) được sử dụng để phân tích sự diễn biến của bờ sông từ năm 1999 đến 2022. Các giá trị này có thể dương (bồi tụ) hoặc âm (xói lở) tùy vào xu hướng thay đổi của đường bờ tại các vị trí khác nhau. Mức độ biến động đường bờ được phân loại thành 7 nhóm dựa trên tốc độ biến động, bao gồm: xói lở mạnh (< -5,0 m/năm), xói lở trung

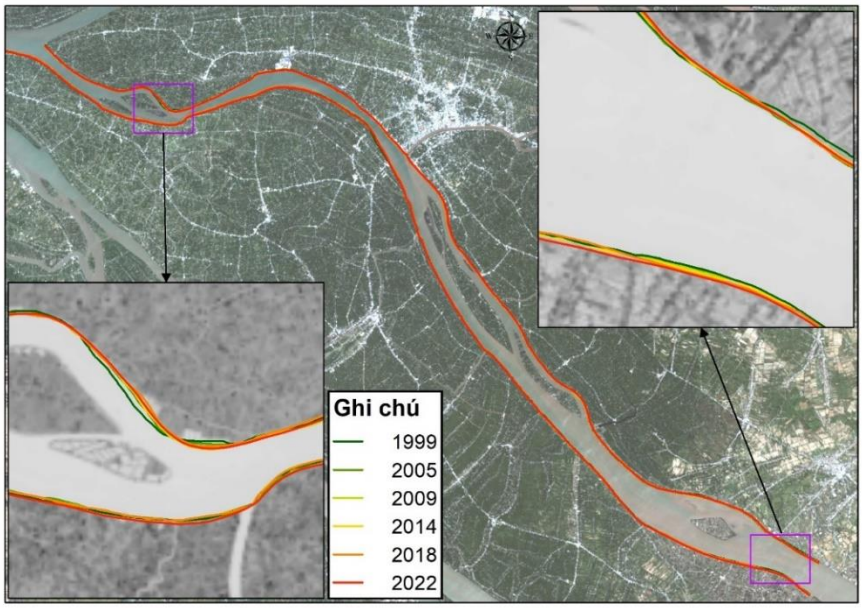
bình (-5,0 ÷ -1,0 m/năm), xói lở nhẹ (-1,0 ÷ -0,5 m/năm), ổn định (-0,5 ÷ 0,5 m/năm), bồi tụ nhẹ (0,5 ÷ 1,0 m/năm), bồi tụ trung bình (1,0 ÷ 5,0 m/năm), và bồi tụ cao (> 5,0 m/năm) [17, 28].

Quá trình hiệu chỉnh khí quyển và trích xuất đường bờ được thực hiện bằng ngôn ngữ Python trong môi trường Anaconda thông qua phần mềm Visual Studio Code. Thư viện Scikit-learn trong Python được sử dụng trong việc phân chia tập dữ liệu và đánh giá hiệu năng mô hình phân loại RF. Ngoài ra, công cụ ArcGIS 10.8 được sử dụng để thiết lập ROIs, so sánh đường bờ được trích xuất với điểm tham chiếu, làm việc với DSAS, và biểu diễn các thông tin đầu ra từ nghiên cứu.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả trích xuất đường bờ sông

Kết quả kiểm định đường bờ năm 2022 khẳng định phương pháp trích xuất đạt độ tin cậy. Mặc dù giá trị sai số căn quân phương RMSE khá lớn (15,92 m ± 3,15 m), nhưng so sánh với độ phân giải của ảnh Landsat (30 m) thì sai số này nằm trong khoảng có thể chấp nhận được. Hơn nữa, nghiên cứu quan tâm đến biến động đường bờ dài hạn nên tính nhất quán trong phương pháp trích xuất đường bờ là cần thiết, giúp đảm bảo độ tin cậy của đánh giá. Ngoài ra, để giảm thiểu sự ảnh hưởng của sai số đối với kết quả đánh giá, chúng tôi không tính toán biến động đường bờ hàng năm mà tiến hành so sánh đường bờ trong các giai đoạn từ 4-6 năm (phụ thuộc vào các ảnh tốt không bị mây che phủ). Kết quả, bằng cách tích hợp công nghệ học máy vào kỹ thuật viễn thám, đường bờ sông Hàm Luông cho các năm 1999, 2005, 2009, 2014, 2018, và 2022 đã được trích xuất (Hình 5).

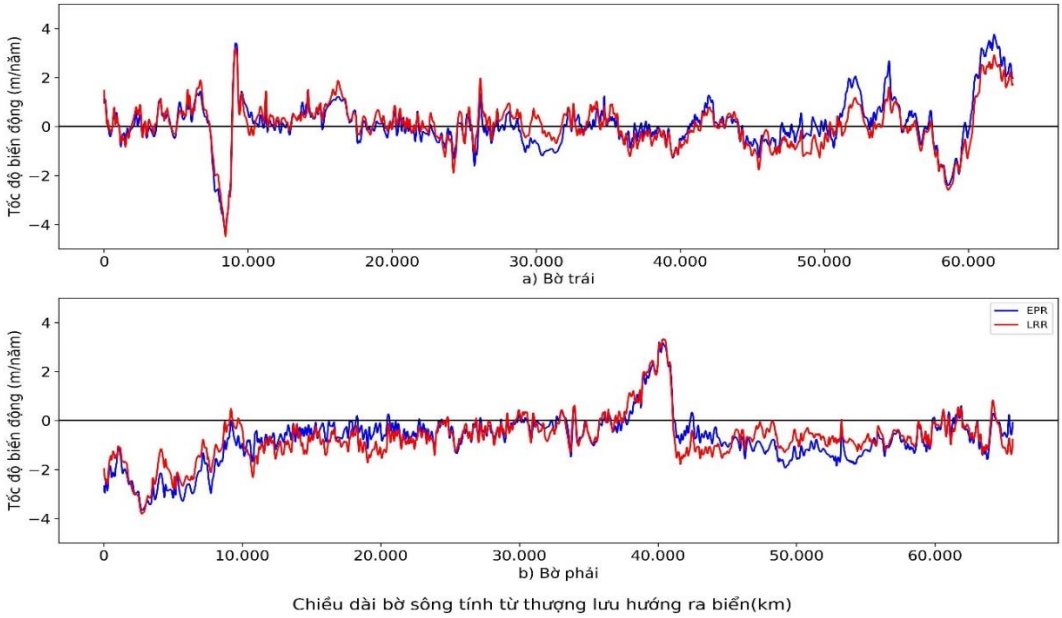


Hình 5. Kết quả trích xuất đường bờ sông Hàm Luông.

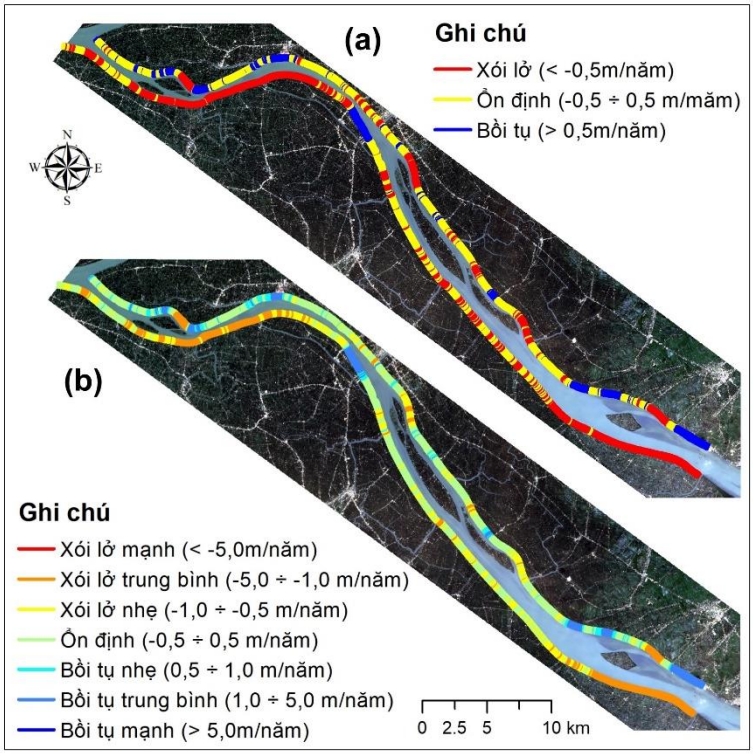
3.2. Biến động dài hạn của đường bờ

Nghiên cứu này nhằm định lượng biến động đường bờ sông Hàm Luông, một nhánh chính của sông Cửu Long. Từ các đường bờ của 6 năm trong quá khứ được tính toán, 4.293 mặt cắt được thiết lập và phân tích bằng DSAS, bao gồm 2.104 mặt cắt thuộc bờ trái và 2.189 mặt cắt thuộc bờ phải (khoảng cách trung bình giữa các mặt cắt là 30m). Kết quả đánh giá trong giai đoạn 1999-2022 cho thấy, tốc độ biến động đường bờ sông Hàm Luông dao động trong khoảng -4,29 ÷ 3,75 m/năm, giá trị trung bình là -0,35 m/năm. Cụ thể, tốc độ biến động đường bờ bình quân của bờ phải và bờ trái lần lượt là -0,77 và 0,09 m/năm. Đồng thời, giá trị trung bình chuyển động ròng của đường bờ phải là -7,97 m, so và 2,12 m phía bờ trái. Như

vậy, về mặt tổng thể thì bờ phải có xu thế bị xói và bờ trái bị bồi. Ngoài ra, tốc độ xói lở/bồi tụ cao cũng được ghi nhận ở các đoạn sông uốn khúc và vị trí kết nối với sông, kênh rạch thứ cấp. Những đặc điểm hình thái này một phần có nguyên nhân từ các điều kiện thủy động lực học phức tạp ở các vị trí đó [29].



Hình 6. Tốc độ biến động đường bờ tại các mặt cắt dọc sông Hàm Luông giai đoạn 1999-2022.



Hình 7. Phân bố các khu vực xói lở/bồi tụ (a) và biến động đường bờ (b) sông Hàm Luông giai đoạn 1999-2022.

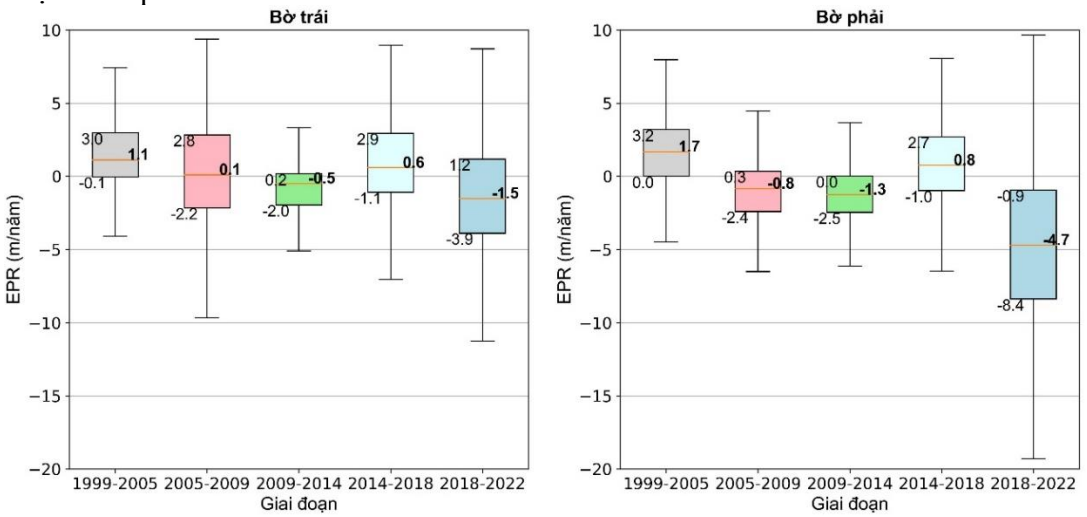
Hình 6 biểu diễn tốc độ bồi, xói của đường bờ dọc sông Hàm Luông. Các giá trị LRR và EPR phân bố ở cả phía trên và dưới của trục hoành, tương ứng với tình trạng xói lở và bồi tụ tại các vị trí khác nhau dọc bờ sông. Đáng chú ý, giá trị âm nhiều hơn ở khu vực bờ phải so với bờ trái, thể hiện rằng xói lở xảy ra chủ yếu ở bờ phải. Cụ thể, tổng số 1.007 (24%) và 1.922 (45%) mặt cắt lần lượt được ghi nhận là xói lở ở bờ trái và bờ phải. Trong khi đó, số

lượng mặt cắt bồi tụ tương ứng lần lượt là 1.087 (25%) và 256 (6%) mặt cắt. Ngoài ra, mặc dù giá trị EPR lớn hơn (không nhiều) so với LRR, nhưng xu thế thay đổi lại rất tương đồng. Mức chênh lệch trung bình giữa LRR và EPR chỉ từ 0,157 ÷ 0,178 m/năm. Do đó, chỉ số EPR có thể phù hợp cho việc đánh giá diễn biến bồi, xói của bờ sông trong các thời đoạn ngắn hơn (số lượng ảnh vệ tinh có thể sử dụng cho mỗi giai đoạn ngắn rất hạn chế do mây che phủ, không đủ số lượng ảnh để tính LRR).

Phân bố khu vực xói/bồi dọc bờ sông Hàm Luông (Hình 7a) một lần nữa khẳng định rằng bờ phải bị xói lở nhiều hơn so với bờ trái. Kết quả phân loại mức độ biến động cho thấy bờ sông ở đây bị xói lở từ thấp đến trung bình, và không có mặt cắt nào được phân loại là xói lở mạnh (Hình 7b). Xét tổng thể từ năm 1999 đến 2022, 87,87 km bờ sông (chiếm 68,23% tổng chiều dài đường bờ) đã bị xói lở, làm mất khoảng 176,7ha đất. Trong khi đó, chỉ có 40km bờ sông (chiếm 31,28%) được bồi tụ, với diện tích khoảng 72,19ha. Điều này nghĩa là trong 23 năm qua, bờ sông Hàm Luông bị xói nhiều hơn là được bồi tụ. Tuy nhiên, xét trong dài hạn, mức độ thay đổi của đường bờ có thể sẽ khác nhau trong các thời đoạn cụ thể. Do đó, cần phân tích thêm cho các thời đoạn ngắn hơn để hiểu rõ quá trình xói lở theo không-thời gian.

3.3. Diễn biến bồi, xói của đường bờ qua các giai đoạn

Để chi tiết hóa những thay đổi của bờ sông Hàm Luông theo thời gian, nghiên cứu này đã đánh giá cho 5 giai đoạn: 1999-2005, 2005-2009, 2009-2014, 2014-2018, và 2018-2022. Tốc độ biến đổi của đường bờ sông trong các thời đoạn được tổng hợp như trong biểu đồ ở Hình 8. Kết quả phân tích chỉ ra rằng giai đoạn 2018-2022 có giá trị EPR bình quân nhỏ nhất (-4,7 m/năm) đồng thời biên độ dao động là lớn nhất. Trong khi đó, 1999-2005 là giai đoạn có giá trị EPR bình quân lớn nhất (1,7 m/năm) và biên độ dao động nhỏ nhất rơi vào giai đoạn 2009-2014. Xu thế biến đổi khá thống nhất ở cả bờ trái lẫn bờ phải. Theo đó, xói lở bờ có diễn biến gia tăng ở ba giai đoạn đầu, EPR trung bình chuyển dần từ giá trị dương sang âm. Trong giai đoạn tiếp theo (2014-2018), bờ sông ở đây dường như được bồi tụ trở lại với tốc độ trung bình 0,6 và 0,8 m/năm lần lượt đối với bờ trái và bờ phải. Tuy nhiên, trong giai đoạn cuối (2018-2022), đường bờ sông bị xói lở mạnh và phức tạp hơn, với tốc độ biến động trung bình từ -1,5 đến -4,7 m/năm. Đặc biệt, tốc độ biến động lớn nhất đạt -19,3 m/năm được ghi nhận ở bờ phải.

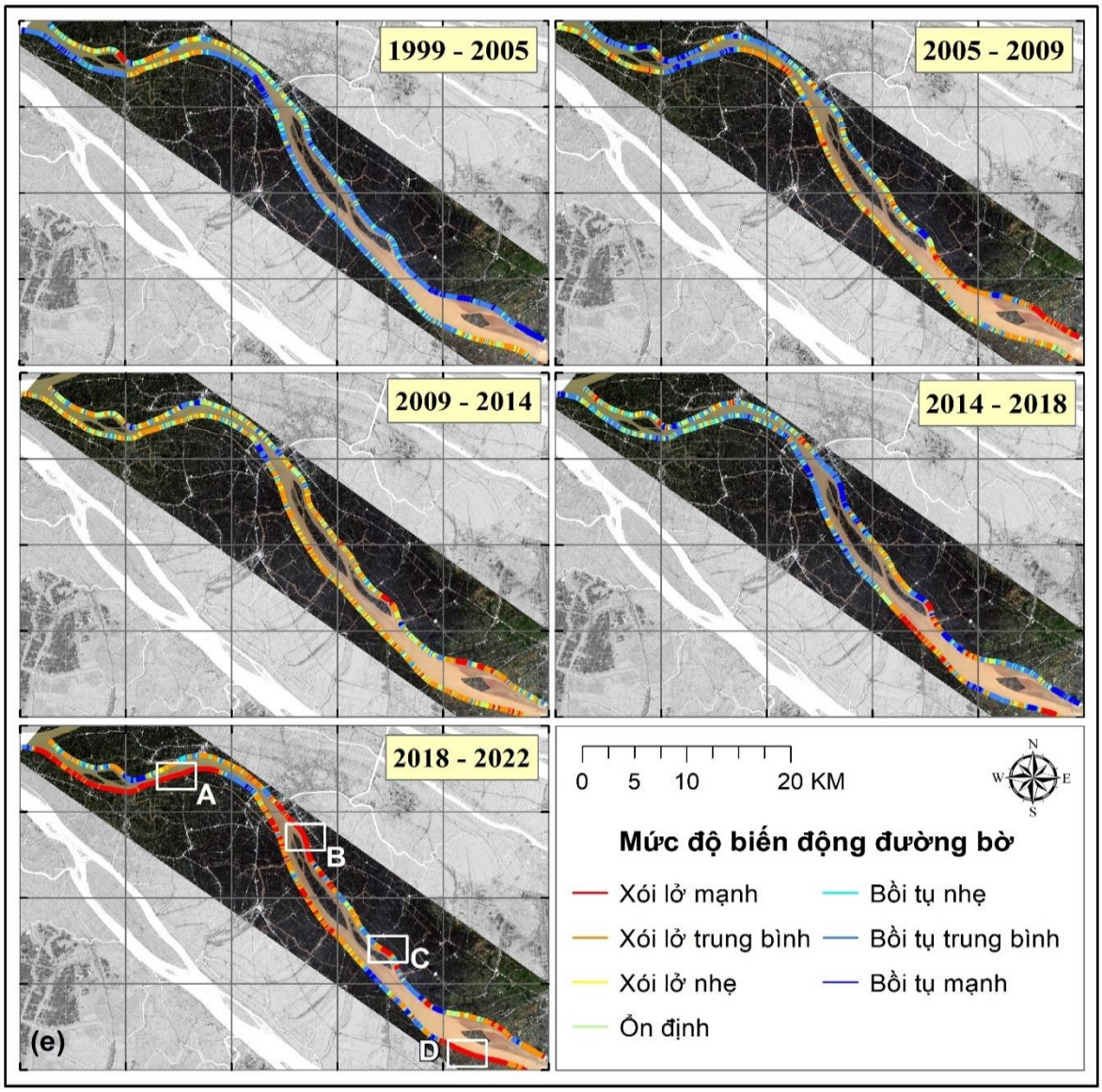


Hình 8. Tốc độ biến động đường bờ sông Hàm Luông trong 05 giai đoạn.

Kết quả đánh giá từ năm 1999-2022 cho thấy, xói lở bờ sông Hàm Luông gia tăng cả về tốc độ lẫn phạm vi và được bồi tụ nhẹ trong giai đoạn 2014-2018. Nếu như trong giai đoạn đầu tiên (1999-2005), bờ sông ở đây vẫn được bồi tụ từ 10,48 đến 10,74 ha/năm thì trong 02 giai đoạn tiếp theo (2005-2009 và 2009-2014), bờ sông đã bị xói lở với tốc độ mất đất lần

lượt là -4,92 ÷ 1,8 ha/năm và -7,92 ÷ -5,77 ha/năm. Sau đó, từ 2014 đến 2018, bờ sông lại được bồi tụ nhẹ với tốc độ trung bình 3,05 ÷ 5,66 ha/năm, trước khi bị xói lở mạnh vào giai đoạn 2018-2022 (-9,89 ÷ -29,76 ha/năm). Như vậy, có thể thấy giai đoạn 2005-2009 là giai đoạn chuyển tiếp từ pha bồi tụ sang pha xói lở của bờ sông Hàm Luông. Xu hướng này là nhất quán với kết quả của các nghiên cứu trước đây đã được thực hiện ở ĐBSCL. Ví dụ, bằng cách phân tích ảnh Landsat trong vòng 43 năm (1973-2015), nghiên cứu [30] đã kết luận rằng 2005 là năm chuyển tiếp từ bồi sang xói tại ĐBSCL. Tương tự, thông qua phân tích ảnh vệ tinh từ năm 1988 đến 2020, nghiên cứu [16] cũng xác nhận rằng ĐBSCL chuyển từ bồi sang xói vào năm 2008.

Hình 9 thể hiện sự thay đổi mức độ biến động của bờ sông theo không gian trong 5 giai đoạn. Từ năm 1999 đến 2005, bồi tụ diễn ra ở cả hai bờ sông Hàm Luông, với tốc độ từ trung bình đến mạnh ở hầu hết các mặt cắt được phân tích. Giai đoạn 2005-2009 và 2009-2014, xói lở từ mức độ nhẹ đến mạnh xuất hiện chủ yếu ở khu vực hạ lưu, một số vị trí vẫn được bồi tụ dọc bờ sông. Từ năm 2014 đến 2018, diễn biến bờ sông ở đây khá phức tạp, đặc trưng bởi sự xen kẽ của bồi tụ và xói lở, từ mức độ nhẹ đến mạnh. Đặc biệt, giai đoạn 2018-2022, xói lở chiếm ưu thế hầu hết toàn bộ chiều dài bờ sông (Hình 9e). Về mặt nguyên nhân, bên



Hình 9. Biến động đường bờ sông Hàm Luông theo thời gian. Các vùng A, B, C và D trong hình (e) thể hiện vị trí ảnh chụp thực địa trong Hình 10.

cạnh các đặc điểm tự nhiên và tác động từ phát triển nội tại thì ảnh hưởng của phát triển đập

thủy điện ở thượng lưu và hạ thấp lòng sông cũng là những nguyên nhân then chốt cần nghiên cứu thêm [21, 31].

Công tác điều tra thực địa cho thấy, hiện nay lớp thực vật dọc bờ sông Hàm Luông còn tương đối dày (vài mét cho tới vài chục mét). Thực vật ở đây chủ yếu là dừa nước, đước, bần, và cây tạp. Mặc dù gần như không còn là rừng tự nhiên nhưng chúng vẫn mang lại một số dịch vụ sinh thái (ecosystem services) tích cực [32]. Cụ thể, biến động đường bờ ở đây có sự liên hệ chặt chẽ với tác dụng bảo vệ của lớp thực vật này. Bờ sông vẫn còn bồi tụ khi được vành đai thực vật dày bảo vệ (1999-2005), nhưng khi vành đai này trở nên mỏng hơn hoặc thậm chí biến mất thì bờ sông đã bị xói lở nhanh chóng (2018-2022). Do không có lớp thực vật dọc bờ sông bảo vệ, hàng loạt đất nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản đã bị xói lở, mặc dù các nông hộ đã sử dụng nhiều công trình bảo vệ đơn giản (hàng rào bằng dừa và cừ tràm) (Hình 10). Kết quả thực địa của nhóm nghiên cứu cũng đã xác nhận rằng hầu hết các vị trí được đánh giá là xói lở đều không có lớp thực vật bảo vệ, hoặc có nhưng rất thưa thớt. Những khu vực hiện đang bị xói lở mạnh (khu vực màu đỏ trong Hình 9e) cần được nghiên cứu bài bản để lựa chọn các biện pháp bảo vệ bờ sông hiệu quả. Các giải pháp khả dĩ như khôi phục thảm thực vật ven sông, thay đổi mục đích sử dụng đất ven sông, hay là can thiệp bằng công trình kiên cố, tùy vào điều kiện cụ thể tại mỗi khu vực. Tuy nhiên, việc bảo vệ và khôi phục vành đai thực vật nên được ưu tiên hàng đầu vì tốn ít chi phí nhưng hiệu quả lâu dài trong bảo vệ bờ sông, cũng như góp phần bổ sung các dịch vụ sinh thái tích cực ven sông.

Hình 10. Sạt lở bờ sông Hàm Luông uy hiếp vườn cây ăn trái và ao nuôi thủy sản (A, B); và một số giải pháp khắc phục tạm thời của người dân địa phương (C, D). Vị trí hình ảnh được chụp trong chuyến khảo sát thực địa, tương ứng với các vùng A, B, C và D trong Hình 9e.

4. Kết luận

Xói lở bờ sông Hàm Luông giai đoạn 1999-2022 đã được nghiên cứu đánh giá bằng cách tích hợp mô hình học máy vào công nghệ viễn thám và hệ thống phân tích đường bờ DSAS. Dựa vào ảnh vệ tinh Landsat, đường bờ sông 06 năm đã được trích xuất với độ tin cậy cao.

Kết quả cho thấy, xét trong thời đoạn dài hạn (1999-2022), mặc dù xói lở chiếm ưu thế nhưng diễn biến và mức độ xói lở bờ không quá nghiêm trọng (trung bình -0,35 m/năm). Tuy nhiên, khi phân tích chi tiết cho các giai đoạn ngắn hơn (1999-2005, 2005-2009, 2009-2014, 2014-2018, và 2018-2022) thì đây lại là vấn đề đáng quan tâm. Bởi vì, xói lở có xu hướng mở rộng (từ bồi tụ 21,22 ha/năm trong 1999-2005 đến xói lở -39,65 ha/năm trong 2018-2022), với mức độ ngày một nghiêm trọng hơn (từ bồi tụ +1,65 m/năm trong giai đoạn 1999-2005 đến xói lở -3,08 m/năm trong giai đoạn 2018-2022). Giai đoạn 2005-2009 được nhận định là giai đoạn chuyển tiếp từ bồi tụ sang xói lở tại khu vực nghiên cứu, thống nhất với xu hướng chung của toàn ĐBSCL. Đặc biệt, sau khi được bồi tụ nhẹ trong giai đoạn 2014-2018 thì bờ sông ở đây tiếp tục bị xói lở mạnh hơn trong giai đoạn 2018-2022, với tốc độ có nơi lên tới -19,3 m/năm. Trong bối cảnh đó, các giải pháp bảo vệ bờ sông Hàm Luông hiệu quả là rất cần thiết, đặc biệt là ưu tiên bảo vệ và khôi phục thảm thực vật ven sông. Đây là những thông tin quan trọng nên được tích hợp vào kế hoạch phòng chống thiên tai của tỉnh và cấp vùng.

Mặc dù ảnh Landsat có độ phân giải thấp (30m) khiến cho sai số của đường bờ được trích xuất còn khá lớn, kết quả của nghiên cứu này cho thấy tính hiệu quả của việc tích hợp học máy vào viễn thám và hệ thống phân tích đường bờ DSAS để nghiên cứu xói lở bờ sông. Phương pháp này có tiềm năng và nên được ứng dụng rộng rãi cho toàn ĐBSCL, cũng như các hệ thống sông khác của Việt Nam. Trước mắt, chúng tôi đang mở rộng phương pháp luận trong nghiên cứu này cho toàn ĐBSCL. Trong đó, các mô hình học máy sẽ được ứng dụng để dự báo vùng nguy cơ xói lở bờ sông trong khu vực.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: D.V.B., L.V.Q.; Xử lý ảnh vệ tinh và trích xuất đường bờ: L.V.Q.; Khảo sát thực địa: D.V.B., L.V.Q.; Phân tích biến động đường bờ: L.V.Q.; Viết bản thảo bài báo: L.V.Q.; Chỉnh sửa bài báo: D.V.B.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong đề tài mã số B2023-VGU-01. Đây cũng là một phần nội dung trong luận văn thạc sĩ của tác giả đầu. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trung tâm Hợp tác Nghiên cứu JASTIP-Net và DPRI (2023IG-01) thuộc Đại học Kyoto đồng tài trợ một phần cho nghiên cứu; KS. Lục Anh Tuấn đã tham gia hỗ trợ công tác khảo sát thực địa; TS. Hà Nam Thắng đã hỗ trợ kỹ thuật trích xuất đường bờ.

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. Dekaraja, D.; Mahanta, R. Riverbank erosion and migration inter-linkage: with special focus on Assam, India. *Environ. Syst. Res.* **2021,** *10*, 6. https://doi.org/10.1186/s40068-020-00214-0.
2. Sekac, T.; Jana, S. Change detection of Busu River course in Papua New Guinea - impact on local settlements using remote sensing and GIS technology. *Int. J. Sci. Eng. Res.* **2014**, *5*, 891–899.
3. GOA. Information on riverbank erosion and population displacement. Revenue and Disaster Management Department, Government of Assam, 2014.
4. Das, T.K.; Haldar, S.K.; Gupta, I.D.; Sen, S. River Bank Erosion Induced Human Displacement and Its Consequences. *Living Rev. Landscape Res.* **2014**, *8*, 3. http://dx.doi.org/10.12942/lrlr-2014-3.
5. Daly, E.R.; Miller, R.B.; Fox, G.A. Modeling streambank erosion and failure along protected and unprotected composite streambanks. *Adv. Water Resour.* **2015**, 81, 114–127. http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.01.004.
6. Islam, M.; Parvin, S.; Farukh, M. Impacts of riverbank erosion hazards in the Brahmaputra floodplain areas of Mymensingh in Bangladesh. *Prog. Agric.* **2017**, 28(2), 73–83.

7. Bhuiyan, M.A.H.; Islam, S.M.D.U.; Azam, G. Exploring impacts and livelihood vulnerability of riverbank erosion hazard among rural household along the river Padma of Bangladesh. *Environ. Syst. Res.* **2017**, 6, 25. https://doi.org/10.1186/s40068-017-0102-9.
8. Rahman, M.A.T.M.T.; Islam, S.; Rahman, S.H. Coping with flood and riverbank erosion caused by climate change using livelihood resources: A case study of Bangladesh. *Clim. Dev.* **2014**, *7*, 185–191. https://doi.org/10.1080/17565529.2014.910163.
9. Tamminga, A.D.; Eaton, B.C.; Hugenholtz, C.H. UAS-based remote sensing of fluvial change following an extreme flood event. *Earth Surf. Process. Landforms* **2015**, 40, 1464–1476. https://doi.org/10.1002/esp.3728.
10. Hossain, M.A.; Gan, T.Y.; Baki, A.B.M. Assessing morphological changes of the Ganges River using satellite images. *Quat. Int.* **2013**, *304*, 142–155. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.03.028.
11. Sarkar, A.; Garg, R.D.; Sharma, N. RS-GIS based assessment of river dynamics of Brahmaputra River in India. *J. Water Resour. Prot.* **2012**, *4*, 63–72. https://doi.org/10.4236/jwarp.2012.42008.
12. Williams, R.; Brasington, J.; Vericat, D.; Hicks, M.; Labrosse, F.; Neal, M. Monitoring Braided River change using terrestrial laser scanning and optical bathymetric mapping. *Dev. Earth Surf. Process.* **2011**, *15*, 507–532.
13. Basso, M.; Giarre, L.; Groppi, S.; Zappa, G. NARX models of an industrial power plant gas turbine. *IEEE Trans. Control Syst. Technol.* **2005**, 13, 599–604. https://doi.org/10.1109/tcst.2004.843129.
14. Napoli, R.; Piroddi, L. Nonlinear active noise control with NARX models. *IEEE Trans. Audio Speech Lang. Process.* **2010**, *18*, 286–295. https://doi.org/10.1109/tasl.2009.2025798.
15. Solares, J.R.A.; Wei, H.L.; Billings, S.A. A novel logistic-NARX model as a classifier for dynamic binary classification. *Neural Comput. Appl.* **2017**, *31*, 11–25. https://doi.org/10.1007/s00521-017-2976-x.
16. Vu, T.H.; Binh, D.V.; Tran, H.N.; Khan, M.A.; Bui, D.D.; Stamm, J. Quantifying spatio-temporal river morphological change and its consequences in the Vietnamese Mekong River Delta using remote sensing and geographical information system techniques. *Remote Sens.* **2024**, *16*, 707. https://doi.org/10.3390/rs16040707.
17. Khoi, D.N.; Dang, T.D.; Pham, L.T.H.; Loi, P.T.; Thuy, N.T.D.; Phung, N.K.; Bay, N.T. Morphological change assessment from intertidal to river-dominated zones using multiple-satellite imagery: A case study of the Vietnamese Mekong Delta. *Reg. Stud. Mar. Sci.* **2020**, *34*, 101087. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101087.
18. Binh, D.V.; Wietlisbach, B.; Kantoush, S.; Loc, H.H.; Park, E.; de Cesare, G.; Cuong, D.H.; Tung, N.X.; Sumi, T. A novel method for river bank detection from landsat satellite data: A case study in the Vietnamese Mekong Delta. *Remote Sens.* **2020**, 12, 3298. https://doi.org/10.3390/rs12203298.
19. Binh, D.V.; Kantoush, S.; Sumi, T. Changes to long-term discharge and sediment loads in the Vietnamese Mekong Delta caused by upstream dams. *Geomorphology* **2020**, *353*, 107011. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.107011.
20. Binh, D.V.; Kantoush, S.A.; Saber, M.; Mai, N.P.; Maskey, S.; Phong, D.T.; Sumi, T. Long-term alterations of flow regimes of the Mekong River and adaptation strategies for the Vietnamese Mekong Delta. *J. Hydrol. Reg. Stud.* **2020**, *32*, 100742. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100742.
21. Binh, D.V.; Kantoush, S.A.; Sumi, T.; Mai, N.P.; Ngoc, T.A.; Trung, L.V.; An, T.D. Effects of riverbed incision on the hydrology of the Vietnamese Mekong Delta. *Hydrol. Process.* **2021**, *35*, e14030. https://doi.org/10.1002/hyp.14030.

22. Vanhellemont, Q.; Ruddick, K. ACOLITE for Sentinel-2: Aquatic applications of MSI imagery. Proceedings of the 2016 ESA Living Planet Symposium. ESA Special Publication, 2016.
23. Vanhellemont, Q. Adaptation of the dark spectrum fitting atmospheric correction for aquatic applications of the Landsat and Sentinel-2 archives. *Remote Sens. Environ.* **2019**, *225*, 175–192. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.010.
24. Feyisa, G.L.; Meilby, H.; Fensholt, R.; Proud, S.R. Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* **2014**, *140*, 23–35. https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029.
25. Xu, H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.* **2006**, *27*, 3025–3033. https://doi.org/10.1080/01431160600589179.
26. Hosmer, D.W.; Lemeshow, S.; Sturdivant, R.X. Applied logistic regression. John Wiley and Sons, 2013.
27. Himmelstoss, E.; Henderson, R.E.; Kratzmann, M.G.; Farris, A.S. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 user guide. Open-File Report, Reston, VA, Report 2021-1091, 2021. Available online: https://pubs.usgs.gov/publication/ofr20211091.
28. Roy, S.; Mahapatra, M.; Chakraborty, A. Shoreline change detection along the coast of Odisha, India using digital shoreline analysis system. *Spat. Inf. Res.* **2018**, *26*, 563–571. https://doi.org/10.1007/s41324-018-0199-6.
29. Constantine, C.R.; Dunne, T.; Hanson, G.J. Examining the physical meaning of the bank erosion coefficient used in meander migration modeling. *Geomorphology* **2009**, *106*, 242-252. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.11.002.
30. Li, X.; Liu, J.P.; Saito, Y.; Nguyen, V.L. Recent evolution of the Mekong Delta and the impacts of dams. *Earth-Sci. Rev.* **2017**, *175*, 1–17. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.10.008.
31. Binh, D.V.; Kantoush, S.A.; Ata, R.; Tassi, P.; Nguyen, T.V.; Lepesqueur, J.; Abderrezzak, K.E.K.; Bourban, S.E.; Nguyen, Q.H.; Phuong, D.N.L.; Trung, L.V.; Tran, D.A.; Letrung, T.; Sumi, T. Hydrodynamics, sediment transport, and morphodynamics in the Vietnamese Mekong Delta: Field study and numerical modeling. *Geomorphology* **2022**, *413*, 108368. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108368.
32. Basit, A.; Amin, N.U.; Shah, S.T.; Ahmad, I. Greenbelt conservation as a component of the ecosystem, ecological benefits, and management services: evidence from Peshawar City, Pakistan. *Environ. Dev. Sustain.* **2022**, *24*, 11424–11448. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01890-3.

Assessing riverbank erosion in the Ham Luong river by integrating remote sensing with machine learning and digital shoreline analysis system

Le Van Quyen[1], Doan Van Binh[1]*

[1] Master program in Water Technology, Reuse and Management, Faculty of Engineering, Vietnamese-German University; quyenlv0223@gmail.com; binh.dv@vgu.edu.vn

Abstract: Remote sensing has been widely applied in riverbank erosion research, mostly by using some simple indicators to extract the riverbank lines. However, most of previous research did not validate the extracted bank lines against the field measured bank coordinates. This article examines riverbank erosion of the Ham Luong River, a branch of the Vietnamese Mekong Delta (VMD), by integrating remote sensing with machine learning and the digital shoreline analysis system (DSAS). Historical riverbanks from 1999 to 2022 were extracted using Landsat images, and the model accuracy was evaluated based on the GPS coordination of 100 bank locations recorded during a field trip in 2022. Results show that the extracted bank lines were reliable, with a root mean square error (RMSE) of 15.92 m, which is significantly smaller compared to the Landsat images' resolution (30m). From 1999 to 2022, riverbank erosion dominated the accretion (68% of the bank's length eroded) and dominantly occurred at the right bank, resulting in 176.7 ha of land loss (averaging 7.54 ha/year). Besides, riverbank erosion has increased in both rate and extent over time. Specifically, riverbanks changed from accretion in 1999-2005 (+1.65 m/year) to notably eroded in 2005-2022 (-3.71 m/year). The transition phase was 2005-2009, corresponding to the substantial development period of hydropower dams in the upstream Mekong basin. Therefore, effective adaptive and/or counter measures to maintain the Ham Luong's riverbanks are necessary, especially in protecting, maintaining, and restoring vegetation layers along the riverbanks.

Keywords: Riverbank erosion; Remote sensing; Machine learning; GIS; DSAS; Vietnamese Mekong Delta.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Diễn biến đô thị hóa và nhiệt độ bề mặt ở thành phố Long Xuyên

Phan Trường Khanh[1], Hồ Văn Tuấn Anh[1], Nguyễn Đức Thắng[1], Trần Thị Hồng Ngọc[1]*

[1] Khoa Kỹ thuật Công nghệ Môi trường, Trường Đại học An Giang-ĐHQG-TP.HCM; ptkhanhagu@gmail.com; tuanho1406@gmail.com; akthang98@gmail.com

*Tác giả liên hệ: tthngocagu@gmail.com; Tel: +84–917886178

Ban Biên tập nhận bài: 12/3/2024; Ngày phản biện xong: 22/4/2024; Ngày đăng bài: 25/8/2024

Tóm tắt: Thành phố Long Xuyên hiện đang đẩy mạnh việc quy hoạch nhằm tạo ra một môi trường thân thiện với tự nhiên. Để hỗ trợ công tác này, nghiên cứu được tiến hành nhằm phân tích sự phát triển và biến động không gian đô thị của thành phố từ năm 2014 đến năm 2022. Bằng phương pháp phân loại đối tượng, nghiên cứu đã làm rõ sự thay đổi cấu trúc không gian đô thị cũng như sự biến động của các lớp phủ bề mặt của thành phố qua thời gian. Kết quả giải đoán ảnh viễn thám giai đoạn năm 2014-2022 cho thấy đô thị hóa đã dịch chuyển về phía Tây Nam của thành phố trong những năm gần đây, diện tích nhà ở và các công trình bê tông hóa tăng 62,67%, diện tích ruộng lúa giảm 50,71%. Diện tích cây xanh trên đầu người tăng từ 15,59m^2/người vào năm 2014 lên đến 25,56m^2/người vào năm 2022 và đạt tiêu chuẩn đô thị loại I, II. Có hiện tượng đảo nhiệt đô thị ở các khu vực có mật độ bê tông hóa cao đặc biệt ở vị trí trung tâm thành phố.

Từ khóa: Đô thị hóa; Landsat; Viễn thám; Nhiệt độ bề mặt; Thành phố Long Xuyên.

1. Giới thiệu

Sự tăng trưởng nhanh chóng của các khu vực đô thị trên toàn thế giới đã được quan sát thấy trong vài thập kỷ qua [1]. Các yếu tố chính góp phần vào quá trình đô thị hóa là thiếu sự phát triển kinh tế và dân số ngày càng tăng [2]. Mặc dù dân số toàn cầu tăng trưởng chậm nhưng người ta vẫn dự đoán số lượng người sẽ tiếp tục tăng vào khoảng năm 2030 [1]. Theo ước tính, diện tích đô thị trên thế giới dự kiến sẽ tăng thêm hơn một triệu km vào năm 2030 [1, 3–6]. Từ cuối thế kỷ XVIII đến giữa thế kỷ XIX, nước Anh có dân số đô thị tăng từ 20% lên 51% và là nước có mức độ đô thị hóa đầu tiên trên thế giới. Làn sóng đô thị hóa thứ hai bắt đầu từ nửa sau thế kỷ XIX diễn ra tại Châu Mỹ và Châu Đại Dương bắt đầu từ các nước lớn: Mỹ, Canada, Ôxtrâylia. Hiện nay Ôxtrâylia đã trở thành quốc gia có mức đô thị hóa cao nhất thế giới với tỷ lệ đô thị hóa 93% [7]. Làn sóng thứ ba của đô thi hóa diễn ra chủ yếu tại Braxin, Mehico, Nhật Bản, Hàn Quốc vào những năm 50 của thế kỷ XX. Tỷ lệ đô thị hóa của các nước này gần bằng các nước phát triển, nhưng trình độ kinh tế của các nước này chỉ bằng 5-10% nước Anh, Mỹ thậm chí thấp hơn, chất lượng phát triển đô thị cũng tương đối thấp [8]. Làn sóng đô thị hóa thứ tư phát triển nhanh chóng vào khoảng thế kỷ XXI, tập trung ở các quốc gia đang phát triển ở Châu Á và Châu Phi. Nổi bật nhất là hai quốc gia đông dân nhất nhì thế giới là Trung Quốc và Ấn Độ. Người ta ước tính diện tích đất đô thị của Trung Quốc tăng trưởng với tốc độ hàng năm là 13,3% [9]. Năm 2019, tỷ lệ đô thị hóa của Trung Quốc 68,37% [10]. Ở Ấn Độ tỷ lệ đô thị hóa ở mức 35%, chủ yếu là do tỷ lệ sinh của nước này khá cao và là nguyên nhân chính dẫn đến tăng dân số đô thị của nước này [11]. Ở Việt Nam đô thị đã tăng từ 30,5% năm 2010 lên gần 40% năm 2020 và hiện nay tỷ lệ đô thị hóa khoảng 42% [12]. Đô thị hoá là tất yếu khách quan, là một động lực quan trọng cho phát triển kinh tế - xã hội nhanh và bền vững trong thời gian tới. Do đó, mục tiêu đặt ra là tỷ lệ đô thị

hoá ở Việt Nam đến năm 2025 đạt tối thiểu 45%, năm 2030 đạt trên 50%. Tầm nhìn đến năm 2045, tỷ lệ đô thị hoá ở Việt Nam thuộc nhóm trung bình cao của khu vực ASEAN và Châu Á [13].

Sự phát triển đô thị mang lại những ảnh hưởng tích cực đối với cuộc sống của cộng đồng dân cư bởi vì nó tạo điều kiện cho họ nâng cao chất lượng cuộc sống, thay đổi phân bố dân cư, cung cấp nguồn lao động dồi dào cho đô thị và làm cho lối sống của dân cư nông thôn nhích gần lối sống thành thị về nhiều mặt [14]. Tuy nhiên, sự mở rộng của các khu đô thị đã gây ra những hậu quả không chỉ tích cực mà còn tiêu cực [15] như thiếu việc làm, tệ nạn xã hội, sụt giảm nguồn lao động nông thôn, ô nhiễm môi trường, gia tăng khoảng cách giàu nghèo giữa thành thị, nông thôn.

Đô thị hóa là quá trình phức tạp với nhiều yếu tố và cơ chế liên quan đến sự phát triển của nó. Để hiểu rõ tác động của nó, cần phải nghiên cứu kỹ lưỡng các khía cạnh khác nhau. Phân tích thay đổi lớp phủ sử dụng đất là một cách hiệu quả để dự đoán đặc điểm của khu vực đô thị [16, 17]. Một mô phỏng toàn diện về quá trình phát triển đô thị là cần thiết trong thế giới ngày nay [18, 19]. Các mô hình đô thị sử dụng các phương trình toán học để mô tả hệ thống đô thị [20, 21]. Sự tương tác giữa các chiến lược và khía cạnh khác nhau giúp dự đoán thay đổi tương lai lớp phủ sử dụng đất. Điều này giúp chính quyền địa phương trong việc xây dựng chính sách và ra quyết định.

Long Xuyên được coi là một thành phố khá nổi bật ở Đồng bằng sông Cửu Long đã trải qua quá trình đô thị hóa. Quá trình đô thị hóa tại thành phố đã diễn ra mạnh mẽ tạo ra sự chuyển biến đáng kể trong kinh tế, cơ sở hạ tầng và văn hóa xã hội theo hướng hiện đại và văn minh hơn. Việc này được chính phủ công nhận thành phố Long Xuyên là đô thị loại I trực thuộc tỉnh vào năm 2020 theo Quyết định số 1078/QĐ-TTg. Mặc dù đã có sự đầu tư đáng kể vào cơ sở hạ tầng kỹ thuật của đô thị, nhưng vẫn còn tồn tại nhiều hạn chế như tình trạng di cư, nhà ổ chuột, không gian đô thị chật hẹp, thiếu cây xanh, chất thải, hệ thống cống thoát xuống cấp, khai thác quá mức tài nguyên đất, nước và rừng đã gây ra những vấn đề môi trường đáng lo ngại. Những biểu hiện của vấn đề này thể hiện qua các chỉ số như tỷ lệ diện tích cây xanh, diện tích mặt nước, mức độ bê tông hóa và sự biến đổi nhiệt độ bề mặt đất. Những thách thức này có thể ảnh hưởng đến sự phát triển bền vững của đô thị trong tương lai. Để cung cấp cơ sở khoa học cho quy hoạch thành phố bền vững, cần nghiên cứu sự biến động các lớp phủ bề mặt và hiện tượng đảo nhiệt của đô thị theo không gian và thời gian. Có nhiều phương pháp khác nhau để thực hiện nhiệm vụ này, trong đó ứng dụng viễn thám là một trong những phương pháp hiệu quả nhất.

Với sự tiến bộ liên tục của công nghệ viễn thám, việc quan sát Trái Đất từ các vệ tinh quang học đã trở nên phổ biến hơn bao giờ hết. Điều này mang lại nhiều ưu điểm, bao gồm phạm vi quan sát mở rộng, đa dạng về độ phân giải không gian và thời gian. Có nhiều nghiên cứu trên thế giới liên quan đến đô thị bằng sử dụng ảnh vệ tinh như nghiên cứu [22] sử dụng mô hình CA-Markov để dự báo xu hướng tương lai cho sự thay đổi lớp phủ sử dụng đất và nhiệt độ bề mặt của thành phố Tianjin, Trung Quốc. Kết quả nghiên cứu cho thấy diện tích xây dựng tăng từ 2005-2020 chủ yếu là do diện tích nông nghiệp giảm 11,90%. Nhiệt độ bề mặt đất trung bình của khu vực nghiên cứu tăng từ 23,50 lên 36,51°C, nhiệt độ cao ở các khu vực xây dựng tăng 1,5%, độ che phủ của thảm thực vật giảm. Từ năm 2020 đến năm 2050, nhiệt độ bề mặt đất dự kiến sẽ tăng thêm 9,5°C. Các khu vực có nhiệt độ cao chuyển sang phân bố trên không. Nghiên cứu [23] cho thấy rằng độ che phủ của cây và nhiệt độ có mối tương quan đáng kể, tức là mức độ che phủ cây càng cao, hiệu ứng đảo nhiệt đô thị càng thấp và ngược lại. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng mô hình tương quan giữa nhiệt độ và NDVI là động, có nghĩa là sự thay đổi của NDVI có thể gây ra những thay đổi lớn đối với nhiệt độ. Nghiên cứu [24] thu thập dữ liệu nhiệt độ bề mặt đất từ ảnh MODIS với độ phân giải 1km/pixel trong khoảng thời gian 11 năm, từ năm 2001 đến năm 2011 cùng với dữ liệu về đô thị hóa từ bản đồ ISTAT. Mối quan hệ giữa các biến phụ thuộc (giá trị trung bình nhiệt độ hàng năm ban ngày, ban đêm và hàng ngày) và các biến độc lập (các khu vực đô thị hóa) được nghiên cứu

thông qua kiểm định ANOVA. Kết quả cho thấy rằng thung lũng Po, ở Ý là nơi có khí hậu và hình thái đồng nhất, đã cung cấp một trường hợp kiểm tra lý tưởng để nghiên cứu ảnh hưởng của các cụm đô thị. Đặc biệt, tác giả đã chứng minh rằng các mẫu không gian tăng trưởng đô thị khác nhau đã có một tác động khác nhau đối với mẫu nhiệt đô thị hiện có, đặc biệt các mẫu tăng trưởng đô thị tập trung có mối quan hệ có ý nghĩa thống kê với các điều kiện ban ngày, ban đêm và hàng ngày trong khi các mẫu tăng trưởng đô thị phân tán chỉ có mối quan hệ với điều kiện ban đêm. Kết quả này hữu ích và có ý nghĩa quan trọng đối với quy hoạch đô thị, và xác định các lĩnh vực lãnh thổ quan trọng cần có các biện pháp giảm nhẹ nhiệt độ hướng đến đô thị bền vững [25]. Nghiên cứu [26] cho rằng các khu vực có cây cỏ thường giảm căng thẳng nhiệt độ cao. Tuy nhiên, hiệu ứng này phụ thuộc vào kích thước và hình dạng của không gian xanh. Sự kết hợp của cây xanh và mặt nước có thể mang lại nhiều lợi ích hệ sinh thái và trong quy hoạch đô thị có thể giúp giảm thiểu tác động tiêu cực của hiệu ứng đảo nhiệt và tăng cường sự chống chịu với biến đổi khí hậu. Ở Việt Nam, việc ứng dụng viễn thám để nghiên cứu đảo nhiệt đô thị cũng đã được thực hiện ở một số thành phố như nghiên cứu [27] đã chỉ ra rằng tác động của cây xanh đối với giảm thiểu hiện tượng đảo nhiệt bằng cách sử dụng mô hình ENVI-met kết hợp với các kịch bản mô phỏng thay đổi số lượng cây xanh trong khu vực thành phố Hà Nội. Sự ảnh hưởng này được đánh giá thông qua các chỉ số như nhiệt độ không khí, độ ẩm tương đối, nhiệt độ bề mặt, và chỉ số tiện nghi nhiệt. Kết quả xác định rằng việc tăng cường cây xanh và cải thiện hạ tầng xanh có thể giảm nhiệt độ không khí trong khu vực vào thời điểm nóng nhất trong ngày từ 1,5 đến 4,36^{o}C. Đồng thời, cải thiện này cũng tạo ra điều kiện sống thuận lợi hơn cho con người, đặc biệt là vào ban ngày [27]. Nghiên cứu [28] cho thấy có một xu hướng tăng về biến động nhiệt độ trong thành phố Hồ Chí Minh năm 1995, 2005, 2015 và sự mở rộng của các khu vực có nhiệt độ cao đang lan rộng ra các vùng ngoại ô. Sự hình thành đảo nhiệt đô thị bề mặt đã được quan sát trong giai đoạn này với 4 vị trí điển hình cho thấy có sự chênh lệch rõ ràng giữa nhiệt độ bề mặt của khu vực đô thị và khu vực nông thôn. Trong năm 2015, không gian của đảo nhiệt đã mở rộng lên gấp 4 lần so với năm 1995 [28]. Nghiên cứu [29] theo dõi sự biến đổi của nhiệt độ bề mặt và hiệu ứng đảo nhiệt bề mặt đô thị tại thành phố Cần Thơ từ năm 2014 đến 2020, nghiên cứu sử dụng ảnh hồng ngoại nhiệt của Landsat và phương pháp phân loại hướng đối tượng để ước tính lớp phủ bề mặt. Kết quả cho thấy, trong giai đoạn 5 năm, diện tích đô thị tăng 1,33% (tương đương 1.915 ha) và nhiệt độ bề mặt trung bình tăng 1,25°C. Sự biến đổi nhiệt bề mặt phát triển với tốc độ nhanh về cả không gian và thời gian, với năm 2020 ghi nhận đảo nhiệt tối đa là 8,96°C trên diện tích 87,4 ha, so với 6,98°C trên diện tích 42,8 ha vào năm 2014. Các khu vực như khu công nghiệp, nhà máy nhiệt điện và khu dân cư có mật độ xây dựng cao là các điểm nổi bật của đảo nhiệt. Nghiên cứu cũng đề xuất các giải pháp giảm thiểu hiệu ứng đảo nhiệt và bảo vệ môi trường đô thị nên được tích hợp trong chiến lược xây dựng đô thị bền vững trong tương lai [29]. Nghiên cứu [30] đã sử dụng phương pháp NOR và REF để tính toán và tạo bản đồ nhiệt độ cho toàn bộ thành phố Hồ Chí Minh. Trong khi đó, nghiên cứu [31, 32] đã áp dụng kỹ thuật viễn thám để tính toán nhiệt độ trên từng nhóm kiểu thực phủ.

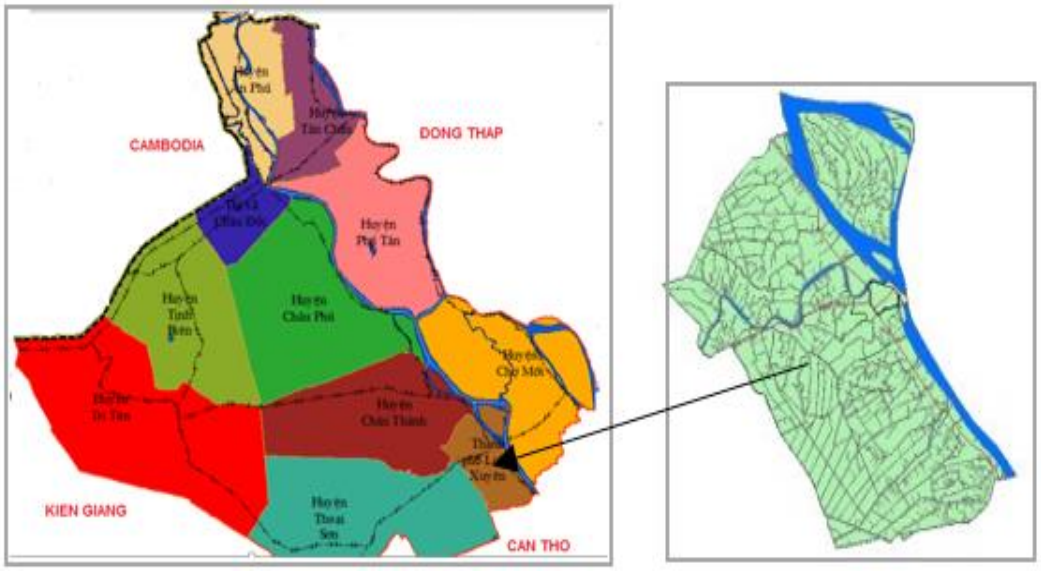
Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng bản đồ các lớp phủ và bản đồ nhiệt bề mặt ở năm 2014, 2018, 2022 cho thành phố Long Xuyên và phân tích diễn biến đô thị hóa, sự thay đổi diện tích lớp phủ và diện tích bề mặt bê tông hóa và chỉ ra các khu vực đảo nhiệt trong thành phố. Từ đó, cung cấp cơ sở khoa học cho chính quyền địa phương trong công tác quy hoạch đô thị hướng tới một thành phố xanh, mát mẻ và phát triển bền vững.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Thành phố Long Xuyên có diện tích 115,65 km², dân số năm 2022 là 272.484 người, có diện tích nội thành là 24,4 km², chiếm khoảng 19,08% diện tích đất tự nhiên, có 13 đơn vị hành chính cấp xã trực thuộc được chia thành 96 khóm-ấp. Thành phố là một trong những

trung tâm đô thị lớn của vùng đồng bằng sông Cửu Long, nằm bên bờ sông Hậu, phía Đông giáp huyện Lấp Vò, tỉnh Đồng Tháp qua một đoạn nhỏ sông Hậu và huyện Chợ Mới; Phía Tây giáp huyện Thoại Sơn; Phía Nam giáp quận Thốt Nốt và huyện Vĩnh Thạnh, Thành phố Cần Thơ; Phía Bắc giáp huyện Châu Thành.



Hình 1. Bản đồ thành phố Long Xuyên.

2.2. Dữ liệu ảnh sử dụng trong nghiên cứu

Ảnh Landsat được sử dụng trong nghiên cứu vì nó cung cấp dữ liệu ảnh với độ phân giải đa phổ, các vệ tinh Landsat có tần số lấy mẫu thường xuyên, hoạt động trong nhiều thập kỷ, cho phép theo dõi sự thay đổi trong thời gian thực và xác định xu hướng dài hạn. Dữ liệu ảnh vệ tinh được sử dụng trong nghiên cứu là các ảnh LANDSAT 8 OLI đã qua xử lí ở cấp độ 1A, độ phân giải 30m, hệ quy chiếu UTM (WGS 84), múi 48. Ảnh được thu vào các ngày mùa khô 26/03/2014 (OLI); 05/03/2018 (OLI); 28/02/2022 (OLI) với độ mây phủ thấp (< 10%), có thể phân biệt rõ các đối tượng lớp phủ bề mặt.

Bảng 1. Thông tin ảnh Landsat 8.

Kênh phổ	Bước sóng (µm)	Độ phân giải
1	0,433–0,453	30 m
2	0,450–0,515	30 m
3	0,525–0,600	30 m
4	0,630–0,680	30 m
5	0,845–0,885	30 m
6	1,560–1,660	30 m
7	2,100–2,300	30 m
8	0,500–0,680	15 m
9	1,360–1,390	30 m
10	10,6-11,2	100 m
11	11,5-12,5	100 m

2.3. Phương pháp kỹ thuật

2.3.1 Xử lý ảnh viễn thám và phân loại lớp phủ bề mặt

Ảnh Landsat được hiệu chỉnh để tăng độ nét, gộp kênh ảnh; cắt ảnh sơ bộ, nắn ảnh-chuyển đổi các ảnh quét đang ở tọa độ hàng cột của các pixel về tọa độ thực. Sau đó sử dụng phần mềm ERDAS để tạo ảnh chỉ số thực vật NDVI. Chỉ số thực vật được xác định theo công thức sau [33]:

$$NDVI = (Band\ NIR - Band\ RED)/(Band\ NIR + Band\ RED) \quad (1)$$

Trong đó NIR là băng phổ cận hồng ngoại (Near Infrared); RED là băng phổ thuộc bước sóng màu đỏ. Đối với Landsat 8, BLUE là Band 2; RED là Band 4, NIR là Band 5, SWIR là Band 6 và Band 7.

Chỉ số NDVI nằm trong khoảng -1 tới 1 và giá trị âm thường ám chỉ sự bao phủ của mây, nước, tuyết, hoặc phản chiếu cao của ánh sáng nhìn thấy; 0-0.1 ám chỉ đến đất đá hoặc nhà cửa. Giá trị dương cho thấy có sự bao phủ cây cỏ và khi mật độ cây cỏ tăng lên, NDVI cũng sẽ tăng theo. Thông thường, khi NDVI < 0,1, cây cỏ trong khu vực đó ít.

2.3.2. Phương pháp ước tính nhiệt độ bề mặt đất (LST)

Phương pháp ước tính nhiệt độ bề mặt đất (LST) được thực hiện qua 5 bước sau:

Bước 1: Chuyển đổi giá trị số sang giá trị bức xạ (Radiance): Đối với bộ dữ liệu Landsat cấp độ 1 (level-1) các giá trị được chuẩn hóa dưới dạng số nguyên (DN). Các giá trị DN này được chuyển đổi sang giá trị bức xạ phổ bởi công thức (2) [34]:

$$L_\lambda = ML \times Q_{cal} + AL - O_i \quad (2)$$

Trong đó L_λ là giá trị bức xạ phổ (Watts/(m×sr×μm); ML (*Radiance multiplicative band* 10) là hệ số chuyển đổi tương ứng của kênh ảnh band 10 là 0.0003342; AL (*Radiance add band* 10) là hệ số chuyển đổi tương ứng của kênh ảnh được cung cấp trong tệp metadata là 0.10000; Q_{cal} là giá trị số của ảnh band 10 (DN); O_i là giá trị hiệu chỉnh cho band 10 là 0,29.

Bước 2: Chuyển đổi giá trị bức xạ phổ sang giá trị nhiệt độ sáng (*Brightness Temperature - BT*): Các bộ cảm biến hồng ngoại nhiệt đo lường bức xạ ở giới hạn trên của khí quyển, do đó cần chuyển sang giá trị nhiệt độ sáng (BT) sử dụng công thức (3):

$$BT = \left[\frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda + 1}\right)} \right] - 273{,}15 \quad (3)$$

Trong đó BT là nhiệt độ chiếu sáng (°K); K_1 và K_2 là các hằng số nhiệt hiệu chuẩn cụ thể được xác định trong tệp metadata; L_λ là giá trị bức xạ phổ (Watts/(m×sr×μm). Với K_1 là 774,8853; K_2 là 1321,0789.

Bước 3: Xác định chỉ số thực vật NDVI theo công thức (1) ở trên

$$NDVI = (Band\ 5 - Band\ 4)/(Band\ 5 + Band\ 4) \quad (4)$$

Bước 4: Tính độ phát xạ trung bình của lớp phủ bề mặt (*LSE - Land Surface Emissivity*) được tính từ giá trị NDVI [35].

$$PV = ((NDVI-NDVI_{min})/(NDVI_{max}-NDVI_{min}))^2 \quad (5)$$

Trong đó PV là tỷ lệ của thực vật; NDVI là giá trị số từ ảnh NDVI; $NDVI_{min}$ là giá trị số nhỏ nhất từ ảnh NDVI; $NDVI_{max}$ là giá trị số lớn nhất tử ảnh NDVI.

Độ phát xạ của lớp phủ đất (*LSE - Land Surface Emissivity*) được tính theo công thức (6) [36]:

$$LSE = 0{,}004 \times PV + 0{,}986 \quad (6)$$

Trong đó PV là tỷ lệ của thực vật; 0,986 là giá trị hiệu chỉnh của phương trình (6).

Bước 5: Nhiệt bề mặt đất (*Land Surface Temperature - LST*) tính theo công thức (7) [37]:

$$LST = \frac{BT}{\left(1 + \left(\frac{\lambda \times BT}{c_2}\right) \times \ln(LSE)\right)} \quad (7)$$

Trong đó giá trị λ của Landsat 8 cho band 10 là 10.8; $c_2 = h \times c/s = 14388$ μmK; h là hằng số Planck ($6{,}626 \times 10^{-34}$ Js); s là hằng số Boltzman ($1{,}38 \times 10^{-23}$ JK); c là vận tốc ánh sáng ($2{,}998 \times 10^8$ m/s).

2.3.3. Đánh giá sai số

Sai số (%) là quá trình xác định mức độ chênh lệch giữa các giá trị thực đo và giá trị giải đoán hoặc giá trị dự đoán. Nó giúp đo lường độ chính xác của phương pháp bằng cách tính

toán độ lệch trung bình. Công thức tính sai số thường được áp dụng để đánh giá mức độ phù hợp của phương pháp xác định nhiệt độ như sau:

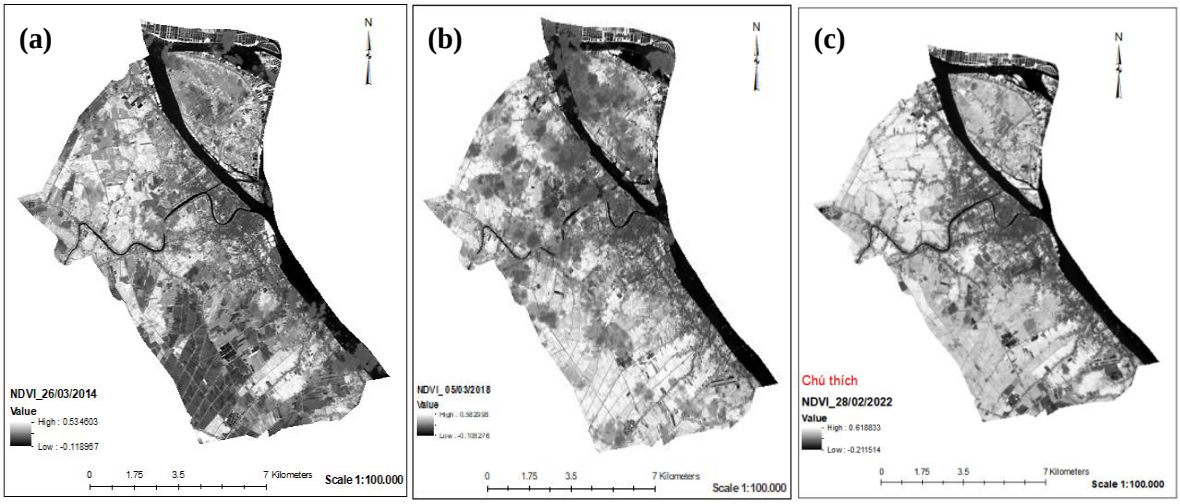
$$\text{Sai số (\%)} = [(LST_{tb} \text{ thực đo} - LST_{tb} \text{ từ ảnh vệ tinh})/LST_{tb} \text{ thực đo}]\times 100 \quad (8)$$

3. Kết quả thảo luận

3.1. Sự mở rộng không gian đô thị thành phố Long Xuyên giai đoạn 2014-2022

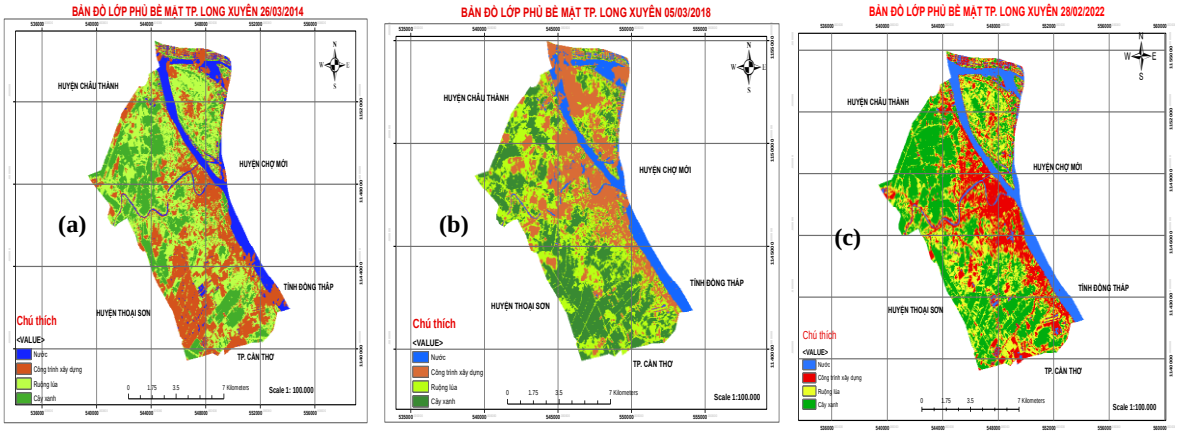
Đô thị được thành lập và phát triển thông qua quá trình đô thị hóa tức là quá trình phát triển KTXH, văn hoá và không gian kiến trúc. Thông thường phường, quận là đơn vị hành chính nền tảng. Tuy nhiên, các đơn vị hành chính này có ranh giới cố định, do đó không phản ảnh được xu thế biến động không gian thực sự của vùng trung tâm đô thị. Vì vậy, sự gia tăng các không gian tập trung với mật độ cao dân cư và các công trình xây dựng được biểu thị cho đô thị hóa.

Vào những năm đầu thập kỷ 90, thành phố Long Xuyên được thành lập với 10 đơn vị hành chính với 70% số nhà tạm bợ. Năm 2000, tỉ lệ nhà tạm giảm nhanh còn 44%. Đến năm 2005, cơ sở hạ tầng của thành phố được đồng bộ và tạo một mặt kiến trúc mới của đô thị. Phường Đông Xuyên và phường Mỹ Hòa được thành lập. Từ năm 2014 đến nay, thành phố được mở rộng ở mức độ tập trung cao dần ra các vùng xung quanh. Đây cũng là thời kỳ tăng trưởng kinh tế mạnh mẽ của thành phố. Nhà cửa mọc lên san sát tạo thành dãy, có những phường ở trung tâm. Kết quả giải đoán ảnh Landsat cho thành phố Long Xuyên ở những năm 2014, 2018, 2022 đã xác định được bốn loại lớp phủ bề mặt dựa trên chỉ số NDVI: lớp mặt nước có chỉ số NDVI dao động từ -0,211-0,049; kế tiếp là công trình xây dựng bao gồm mặt đường, nhà cửa, công ty, xí nghiệp,…có giá trị NDVI là 0,016-0,209; ruộng lúa có NDVI dao động từ 0.173-0.39; cây xanh có giá trị NDVI cao nhất dao động 0.301-0.62 (Hình 2). Kết quả cho thấy có sự biến động rõ rệt theo không gian đô thị với biểu hiện diện tích bề mặt không thấm-nhà ở, khu công nghiệp tăng và với mật độ tập trung cao (Hình 3-lớp màu đỏ) tại khu vực trung tâm và kéo dài ra về phía Tây Nam của thành phố Hình 3c. Từ đó cho phép dự báo rằng quá trình đô thị hóa sẽ diễn ra mạnh mẽ tại các phường Mỹ Thới, Mỹ Thạnh trong thời gian tới. Đô thị phát triển, các cơ sở sản xuất mọc lên nhiều, dân cư đông đúc hẳn lên, các chợ tự phát hình thành tại các ngã ba, ngã tư, các khu nhà trọ cho công nhân do đó



Hình 2. Bản đồ NDVI năm 2014 (a); năm 2018 (b); năm 2022 (c).

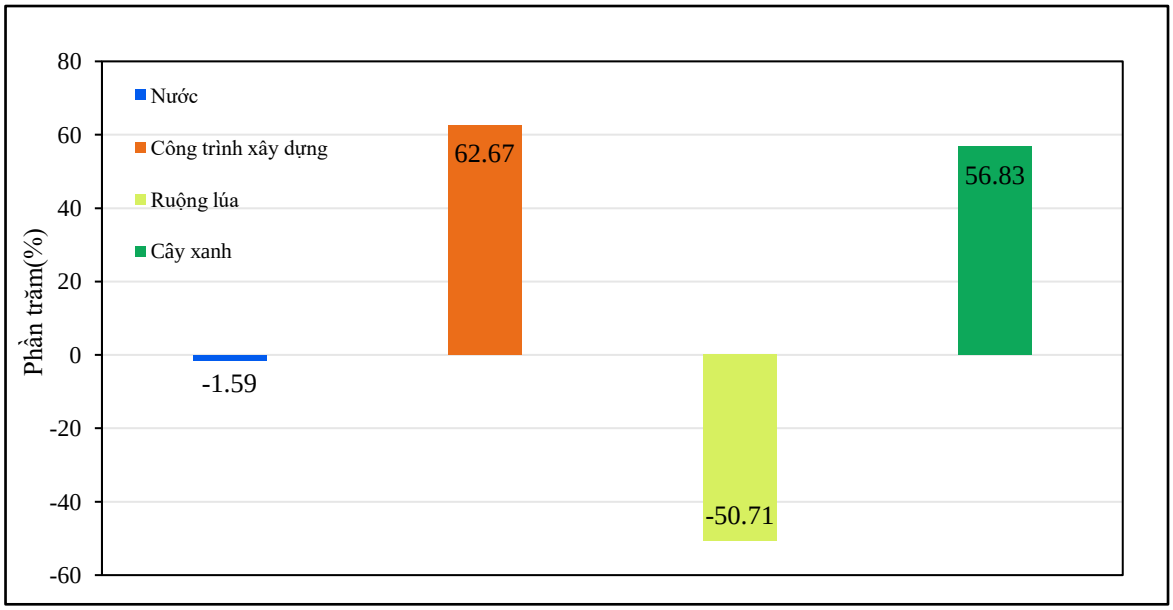
diện tích các lớp bề mặt không thấm tăng mạnh. Xa vùng trung tâm hơn, tại Phường Bình Đức, xã Mỹ Khánh, xã Mỹ Hòa Hưng mức độ đô thị hóa thấp, cảnh quan nông vẫn còn khá phổ biến tuy phần nào bị biến đổi. Nhiều vườn cây, ruộng lúa, xen lẫn những khu đất được phân lô, những ngôi nhà hiện đại cũng khá phổ biến Hình 3. Diện tích đất trống của thành phố là không còn.



Hình 3. Bản đồ phân bố không gian các lớp phủ cơ bản của TP. Long Xuyên năm 2014 (a), năm 2018 (b), năm 2022 (c).

3.2. *Biến động các lớp phủ liên quan đến hiện trạng sử dụng đất*

Phân tích dữ liệu từ hình ảnh vệ tinh năm 2022 cho thấy thành phố Long Xuyên có diện tích đất là 11.374,96 ha, độ chính xác của giải đoán ảnh lên tới 98,35% so với số liệu 11.565,6 ha do Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh An Giang công bố. Sự gia tăng đáng kể về diện tích công trình xây dựng là điểm nổi bật. Năm 2022, diện tích này đạt 3.648,85 ha, tăng 62,67% so với năm 2014 khi diện tích công trình xây dựng chỉ là 2.243,1 ha (Hình 3). Sự mở rộng này phản ánh sự phát triển đô thị và tăng cường cơ sở hạ tầng trong thành phố. Một xu hướng tích cực khác là sự gia tăng diện tích cây xanh. Từ 444,5 ha vào năm 2014, diện tích cây xanh đã tăng lên 542,54 ha vào năm 2018 và đạt con số 697,33 ha vào năm 2022, tăng 56,83% (Hình 4). Điều này có thể là dấu hiệu cho thấy thành phố đang quan tâm đến việc cải thiện môi trường sống và không gian xanh cho người dân. Tuy nhiên, sự thay đổi trong việc sử dụng đất cũng kéo theo một số xu hướng đáng chú ý khác. Diện tích ruộng lúa đã giảm mạnh, từ 3.093,5 ha năm 2014 xuống còn 1.524,76 ha vào năm 2022, giảm 50,71%. Sự sụt giảm này phản ánh quá trình chuyển đổi đất nông nghiệp sang mục đích khác như xây dựng công trình công cộng, khu dân cư, đô thị, bệnh viện, và trường học. Trong khi đó, diện tích mặt nước không thay đổi đáng kể trong giai đoạn này, cho thấy yếu tố môi trường thủy sinh của thành phố vẫn giữ được sự ổn định. Kết quả dự đoán diện tích các loại lớp phủ cơ bản trong khu vực nghiên cứu được thể hiện trong Bảng 2.



Hình 4. Tỷ lệ biến động diện tích các lớp phủ của thành phố Long Xuyên năm 2022 so với năm 2014.

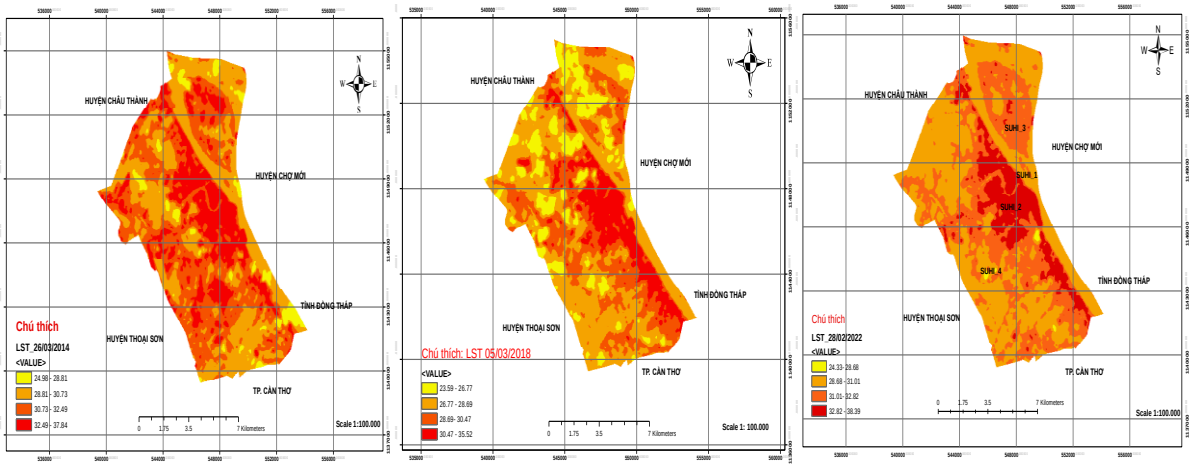
Bảng 2. Kết quả giải đoán diện tích các lớp phủ bề mặt cơ bản của TP. Long Xuyên năm 2014, 2018 và 2022.

Đối tượng	Diện tích (ha) 26/03/2014	Diện tích (ha) 05/03/2018	Diện tích (ha) 28/22/2022
Nước	5.593,12	5.569,3	5.504,01
Công trình xây dựng	2.243,1	3.572,3	3.648,85
Ruộng lúa	3.093,5	1.690,55	1.524,76
Cây xanh	444,5	542,54	697,33
Tổng	**11.374,23**	**11.374,41**	**11.374,96**

3.3. Phân bố nhiệt độ bề mặt đô thị

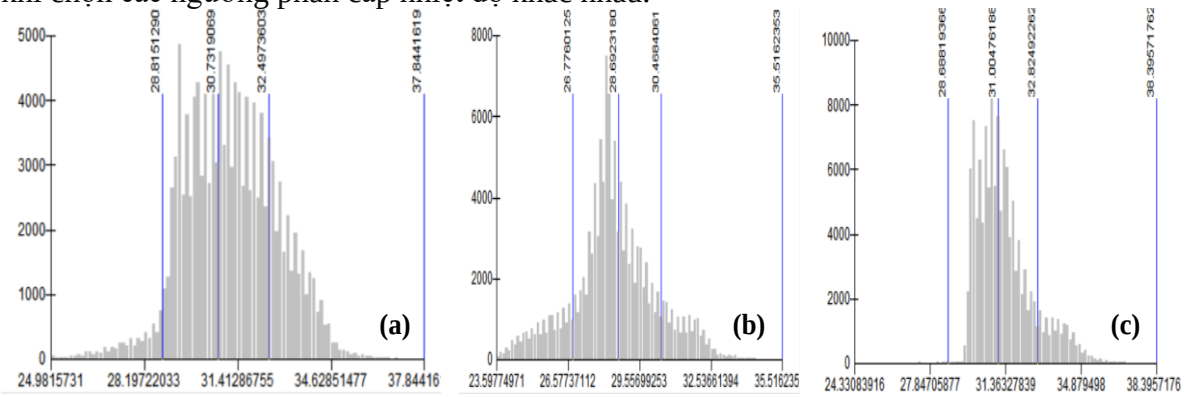
Nghiên cứu [38] xác định chỉ số diện tích cây xanh trên đầu người là một chỉ số quan trọng trong việc đánh giá chất lượng môi trường và quy hoạch không gian đô thị. Kết quả tính toán cho thấy chỉ số diện tích cây xanh trên đầu người năm 2014 là 15,59 m^2/người tăng lên 18,93 m^2/người vào năm 2018 và tiếp tục tăng 25,56 m^2/người vào năm 2022. Theo tiêu chuẩn thiết kế quy hoạch cây xanh sử dụng trong các đô thị của nước ta (TCXDVN 9257:2012) [39] thì tỷ lệ này đạt mức tiêu chuẩn cho đô thị loại I và II: 20,4-24,5 m^2/người. Tuy nhiên, diện tích đất cây xanh tính trong tiêu chuẩn là diện tích đất trồng cây xanh công cộng (chỉ bao gồm cây xanh đường phố, cây xanh công viên, vườn hoa) còn trong nghiên cứu này diện tích này được tính bằng tổng diện tích lớp phủ thực vật trong thành phố bao gồm cả cây ăn trái và cây xanh đô thị. Như vậy, để có một thành phố mát mẻ, xanh đẹp việc tính toán chi tiết cây xanh cho từng phường đặc biệt ở trung tâm đô thị là rất cần thiết và là một trong những nội dung quan trọng trong công tác quy hoạch bảo vệ môi trường cho thành phố.

Thay đổi sử dụng đất hay thay đổi bề mặt lớp phủ đã làm thay đổi nhiệt độ bề mặt (LST) của thành phố Long Xuyên là khá rõ ràng được chứng minh qua kết quả phân bố LST tại 3 thời điểm ảnh (Hình 5). Nói chung nền nhiệt độ trên ảnh vệ tinh cho các năm dao động từ 23,59°C đến 38,39°C. Các giá trị cao nhất của LST thường tập trung ở các phường nội thành và khu vực phía Tây của thành phố cũng như các khu vực có hoạt động sản xuất, khu công nghiệp, nhà ở, chợ và các con đường bề mặt nhựa với nhiệt độ dao động từ 30,47°C đến 38,39°C. Trái lại, ở khu vực có cây xanh và mật độ dân cư thấp thường có LST thấp hơn, dao động trong khoảng 23,59°C-28,81°C. Ở khu vực có mặt nước thường có LST từ 26,77°C đến 31,01°C trong khi ở những nơi có ruộng lúa, thường có LST từ 30,47°C-32,82°C. Trung bình LST năm 2014, 2018, 2022 tại thời điểm vệ tinh chụp ảnh là 31,18°C±1,60; 28,51°C±1,75 và 31,33°C±1,35 tương ứng. Kết quả chỉ thị rằng LST năm 2022 cao hơn so với LST năm 2014 là 0,15°C và 2018 là 2,82°C (Hình 5). Phân bố tần suất các khoảng chia LST qua các năm được hiển thị ở Hình 6. Tuy nhiên, các kết quả này chỉ phản ảnh sự phân bố của các đảo nhiệt bề mặt đối tượng (*SUHI - Surface Urban heat Island*) tại thời điểm vệ tinh chụp ảnh. Ở mỗi thời điểm khác nhau, ảnh các lớp đối tượng khác nhau thì SUHI sẽ khác nhau. SUHI có thể



Hình 5. Phân bố LST trên ảnh vệ tinh ở 3 thời điểm chụp của TP. Long Xuyên giai đoạn 2014-2022.

thay đổi tùy thuộc vào các điều kiện khí tượng cụ thể tại từng thời điểm và có thể thay đổi khi chọn các ngưỡng phân cấp nhiệt độ khác nhau.



Hình 6. Phân bố tần suất các khoảng chia LST ở 3 thời điểm chụp của năm 2014 (a), 2018 (b), 2022 (c).

Kết quả giải đoán nhiệt độ phân bố LST từ ảnh vệ tinh của thành phố cũng được kiểm chứng bằng cách đo nhiệt các đối tượng tại hiện trường (Hình 7). Kết quả cho thấy sai số giữa nhiệt độ đo thực tế và giải đoán dao động từ 1,92% đến 14,32% (Bảng 3). Các nghiên cứu đã cho thấy rằng khi áp dụng hiệu chỉnh khí quyển đầy đủ, sai số trong việc xác định nhiệt độ từ ảnh vệ tinh thường nằm trong khoảng từ 0,5 đến 2^{o}C, tùy thuộc vào phương pháp tính toán [40]. Nghiên cứu [41] cũng đã đưa ra bằng chứng về sai số này bằng cách thiết lập 10 điểm quan trắc tự động, cho thấy mức sai số ±1,95^{o}C so với phương pháp đo nhiệt độ bề mặt từ vệ tinh. Những kết quả này khẳng định rằng việc xác định nhiệt độ bề mặt từ vệ tinh là một phương pháp đáng tin cậy, đặc biệt hữu ích cho các nghiên cứu môi trường và biến đổi khí hậu, nhất là trong bối cảnh thiếu hụt các trạm đo mặt đất. Với sự ổn định và độ chính xác đạt được, phương pháp này có thể đóng vai trò quan trọng trong việc thu thập dữ liệu nhiệt độ trên quy mô lớn và hỗ trợ cho việc phân tích các xu hướng dài hạn trong môi trường.

Bảng 3. Sai số tính nhiệt độ qua các vị trí khảo sát ở TP. Long Xuyên.

Vị trí khảo sát	Giá trị LST trung bình thực đo (^{o}C)	Giá trị LST trung bình giải đoán (^{o}C)	Sai số (%)
SUHI -1	28,95	29,85	3,11
SUHI - 2	37,81	35,61	5,82
SUHI -3	27,92	31,92	14,32
SUHI -4	28,28	26,51	6,26
TP. Long Xuyên - 28/02/2022	30,74	31,33	1,92

Hình 7. Đo nhiệt độ tại các lớp phủ bề mặt ở thành phố Long Xuyên năm 2022.

4. Kết luận

Nghiên cứu về sự phát triển không gian đô thị và biến động lớp phủ tại thành phố Long Xuyên trong 10 năm qua đã sử dụng công nghệ giải đoán ảnh Landsat với độ chính xác cao. Kết quả phân tích cho thấy quá trình đô thị hóa tại thành phố Long Xuyên được biểu hiện qua việc mở rộng diện tích nhà ở, gia tăng các công trình bề mặt không thấm nước và sự mở rộng của không gian đô thị. Nghiên cứu đã xây dựng 03 bản đồ lớp phủ bề mặt cho các năm 2014, 2018, và 2022, đồng thời xác định vị trí và mức độ biến động của các lớp phủ theo thời gian và không gian. Ngoài ra, nghiên cứu cũng đã tính toán diện tích cây xanh trên đầu người, đánh giá sự phân bố của các điểm nóng nhiệt đô thị (SUHI), và nhận thấy sự hình thành đảo nhiệt tại các khu vực trung tâm chủ yếu do hoạt động con người trong quá trình đô thị hóa. Nghiên cứu đã rút ra các kết luận và đề xuất những vấn đề quan trọng cần được chú ý như sau:

(1) Diện tích ruộng lúa dễ bị nhầm lẫn với lớp nước vì do mưa, hoặc do ruộng lúa bị ngập trong thời kỳ chuẩn bị đất và gieo xạ. Do đó, việc thu thập ảnh viễn thám nên chọn thời điểm cây lúa phát triển và làm đòng.

(2) Cần xác định diện tích cây xanh theo từng đơn vị hành chính để xác định biến động không gian đô thị trên đầu người cho mỗi phường xã. Từ đó so sánh với tiêu chuẩn để điều chỉnh số lượng cây xanh cho các công viên, tòa nhà trong thành phố.

(3) Cần làm giảm nhiệt độ ở các lớp phủ bê tông hóa như mái nhà, mặt đường, bãi đỗ xe... để tạo sự mát mẻ, thoải mái cho người cư ngụ cũng như giảm nhu cầu năng lượng cho con người bằng cách sơn màu sáng cho các lớp đối tượng này.

Những thay đổi trên sẽ có thể làm giảm đáng kể nhiệt độ không khí đô thị, đặc biệt là trong mùa hè nóng bức.

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

Lời cảm ơn: Nhóm nghiên cứu chân thành cám ơn Ban Giám hiệu; Phòng QLKH&ĐTSĐH Trường Đại học An Giang đã tạo điều kiện thuận lợi và hỗ trợ kinh phí cho đề tài mã số 21.02.CN.

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. Foley, J.A.; DeFries, R.; Asner, G.P.; Barford, C.; Bonan, G.; Carpenter, S.R.; Chapin, F.S.; Coe, M.T.; Daily, G.C.; Gibbs, H.K. Global consequences of land use. *Science* **2005**, *309*, 570–574. https://doi.org/10.1126/science.1111772.
2. Beckline, M.; Yujun, S.; Yvette, B.; John, A.B.; Mor-Achankap, B.; Saeed, S.; Richard, T.; Wose, J.; Paul, C. Perspectives of remote sensing and GIS applications in tropical forest management. *Am. J. Agric. For.* **2017**, *5*, 33–39. https://doi.org/10.11648/j.ajaf.20170503.11.
3. Coseo, P.; Larsen, L. How factors of land use/land cover, building configuration, and adjacent heat sources and sinks explain urban heat islands in Chicago. *Lands. Urban Plan.* **2014**, *125*, 117–129. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.02.019.
4. Tonkaz, T.; Çetin, M. Effects of urbanization and land-use type on monthly extreme temperatures in a developing semi-arid region, Turkey. *J. Arid Environ.* **2007**, *68*, 143–158. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.03.020.
5. Carlson, T.N.; Arthur, S.T. The impact of land use–Land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective. *Glob. Planet. Chang.* **2000**, *25*, 49–65. https://doi.org/10.1016/S0921-8181(00)00021-7.
6. Walawender, J.P.; Szymanowski, M.; Hajto, M.J.; Bokwa, A. Land surface temperature patterns in the urban agglomeration of Krakow (Poland) derived from

Landsat-7/ETM+ data. *Pure Appl. Geophys.* **2014**, *171*, 913–940. https://doi.org/10.1007/s00024-013-0685-7.
7. Mậu, T.N. Những đặc điểm chính và sự gợi ý của quá trình đô thị hóa ở Ôxtrâylia, Khoa học xã hội Hà Nam, 2013.
8. Uỷ Ban Thường vụ quốc hội. Một số vấn đề đô thị hóa các nước trên thế giới. 2023. Trực tuyến: http://tailieu.ttbd.gov.vn:8080/index.php/tai-lieu/chuyen-de-chuyen-sau/item/2511-m-t-s-v-n-d-v-do-th-hoa-cac-nu-c-tren-th-gi-i.
9. Zhang, Q.; Su, S. Determinants of urban expansion and their relative importance: A comparative analysis of 30 major metropolitans in China. *Habitat Int.* **2016**, *58*, 89–107. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.10.003.
10. Thành Đô. Con đường mới của Trung Quốc: Con đường đô thị hóa kiểu mới. Nhà xuất bản Đại học kinh tế - Tài chính Tây Nam, 2019.
11. Bích, B.H.; Phong, D. Nội hàm khoa học của con đường đô thị hóa kiểu mới. Tìm hiểu lý luận, 2020.
12. Chính sách pháp luật mới. Tỷ lệ đô thị hóa ở Việt Nam. 2024.
13. Trực tuyến: https://thuvienphapluat.vn/chinh-sach-phap-luat-moi/vn/thoi-su-phap-luat/tu-van-phap-luat/55339/do-thi-hoa-la-gi-ty-le-do-thi-hoa-cua-viet-nam.
14. Nghị quyết 06-NQ/TW năm 2022 về quy hoạch, xây dựng, quản lý và phát triển bền vững đô thị Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045. Trực tuyến: https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Xay-dung-Do-thi/Nghi-quyet-06-NQ-TW-2022-xay-dung-phat-trien-ben-vung-do-thi-Viet-Nam-2030-2045-502037.aspx.
15. Huang, Y.; Qiu, Q.; Sheng, Y.; Min, X.; Cao, Y. Exploring the relationship between urbanization and the eco-environment: A case study of Beijing. *Sustainability* **2019**, *11*, 6298. https://doi.org/10.3390/su11226298.
16. Morabito, M.; Crisci, A.; Messeri, A.; Orlandini, S.; Raschi, A.; Maracchi, G.; Munafò, M. The impact of built-up surfaces on land surface temperatures in Italian urban areas. *Sci. Total Environ.* **2016**, *551*, 317–326. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.029.
17. Ullah, S.; Tahir, A.A.; Akbar, T.A.; Hassan, Q.K.; Dewan, A.; Khan, A.J.; Khan, M. Remote sensing-based quantification of the relationships between land use land cover changes and surface temperature over the lower Himalayan region. *Sustainability* **2019**, *11*, 5492. https://doi.org/10.3390/su11195492.
18. Amir Siddique, M.; Wang, Y.; Xu, N.; Ullah, N.; Zeng, P. The spatiotemporal implications of urbanization for urban heat islands in Beijing: A predictive approach based on CA–Markov modeling (2004–2050). *Remote Sens.* **2021**, *13*, 4697. https://doi.org/10.3390/rs13224697.
19. Huff, F.; Changnon, S.Jr. Climatological assessment of urban effects on precipitation at St. Louis. *J. Appl. Meteorol.* **1972**, *11*, 823–842. https://doi.org/10.1175/1520-0450(1972)011<0823:CAOUEO>2.0.CO;2.
20. Sobrino, J.A.; Jiménez-Muñoz, J.C.; Paolini, L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sens. Environ.* **2004**, *90*, 434–440. https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003.
21. Zha, Y.; Gao, J., Ni, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *Int. J. Remote Sens.* **2003**, *24*, 583–594. https://doi.org/10.1080/01431160304987.
22. Singh, P.; Kikon, N.; Verma, P. Impact of land use change and urbanization on urban heat island in Lucknow city, Central India. A remote sensing based estimate. *Sustain. Cities Soc.* **2017**, *32*, 100–114. https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.018.
23. Ullah, N. The impact of urbanization on urban heat island: Predictive approach using google earth engine and CA-Markov modelling (2005–2050) of Tianjin city, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* **2023**, *20(3)*, 2642. doi: 10.3390/ijerph20032642.

24. Zullo, F.; Fazio, G.; Romano, B.; Marucci, A.; Fiori-ni, L. Effects of urban growth spatial pattern (UGSP) on the land surface temperature (LST): A study in the Po Valley (Italy). *Sci. Total Environ.* **2019**, *650(2)*, 1740–1751.
25. Pandey, R.K. Urban heat island effect and climate change: An assessment of interacting and attainable variations in Indian Cities: Study of Gorakhpur. *Int. J. Sci. Res.* **2018**, *7(8)*, 985–991.
26. Gunawardena, K.R.; Wells, M.J.; Kershaw, T. Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Sci. Total Environ.* **2017**, *584–585*, 1040–1055.
27. Tuấn, L.M.; Đông, N.P.; Phương, N.T.K. Nghiên cứu ảnh hưởng của quy hoạch đô thị đến đảo nhiệt độ thị sử dụng mô hình số mô phỏng thí điểm tại Hà Nội. *Tạp Chí Môi Trường Xây dựng* **2024**. Trực tuyến: https://moitruongxaydungvn.vn/nghien-cuu-anh-huong-cua-quy-hoach-do-thi-den-dao-nhiet-do-thi-su-dung-mo-hinh-so-mo-phong-thi-diem-tai-ha-noi.
28. Vân, T.T.; Bảo, H.D.X.; Phượng, Đ.T.K.; Mai, N.T.T.; Nhung, Đ.T.M. Đặc điểm môi trường nhiệt và diễn biến đảo nhiệt đô thị bề mặt khu vực bắc thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp Chí Trường Đại học Cần Thơ* **2017**, *49*, 11–20.
29. Diễm, N.K.; Diễm, P.K. Theo dõi đảo nhiệt bề mặt đô thị tại thành phố Cần Thơ giai đoạn 2014-2020. *Tạp chí Khoa học Đại học cần Thơ* **2022**, *58(4)*, 35–44. https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2022.161.
30. Trung, L.V.; Minh, N.T. Mapping land surface temperature (LST) from Satellite Imageries. Case study in Hochiminh City. Proceedings of the International Symposium GIS-IDEAS 2006, 9-11 November 2006, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2006, pp. 93–99.
31. Hung, T.; Yasuoka, Y. Monitoring Urban Surface from Space: Case Study of Hochiminh City and Surrounding Region, Proceedings of the International Symposium on Geoinformatics (GIS-IDEAS 2002), Hanoi, Vietnam, 25-28 September 2002, 2002, pp. 1–7.
32. Dinh, H.T.NM.; Trung, L.V.; Van, T.T. Surface emissivity in determining land surface temperature. *Int. J. Geoinformatics* **2007**, *3(4)*. http://creativecity.gscc.osakacu.ac.jp/IJG/article/view/424.
33. Tucker, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* **1979**, *8*, 127–150.
34. USGS. Landsat 8 (L8) data users handbook (LSDS-1574 version 2.0). USGS Landsat user services. U.S. Geological Survey, 2016.
35. Carlson, T.; Ripley, D. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover and leaf area index. *Remote Sens. Environ.* **1997**, *62*, 241–252.
36. Valor, E.; Caselles, V. Mapping Land Surface Emissivity from NDVI: Application to European, African and South American Areas. *Remote Sens. Environ.* **1996**, *57*, 167–184.
37. Gupta, R. Remote Sensing Geology. Germany: Springer -Verlag Berlin Heidelberg, 1991.
38. Lộc, T.Q.; Liệu, P.K. Nghiên cứu xây dựng chỉ số chất lượng môi trường đô thị (UEQI) và áp dụng cho một số đô thị tại Việt Nam. *Tạp chí khoa học, Đại học Huế* **2012**, *74B(5)*, 93–102.
39. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9257: 2012 về Quy hoạch cây xanh sử dụng công cộng trong các đô thị - tiêu chuẩn thiết kế.
40. Gillespie, A.; Rokugawa, S.; Hook, S.; Matsunaga, T.; Kate, A. Temperature emissivity separation algorithm theoretical basis document, version 2.4. ATBD-AST-05-08. Prepared under NASA contract NAS5-31372, 1999.

41. Vân, T.T.; Lan, H.T.; Trung, L.V. Nghiên cứu thay đổi nhiệt độ bề mặt đô thị dưới tác động của quá trình đô thị hóa ở Thành Phố Hồ Chí Minh bằng phương pháp viễn thám. *Tạp chí khoa học về Trái đất* **2011**, *33(3)*, 347–359.

Urbanization and land surface temperature in Long Xuyen City

Phan Truong Khanh[1], Ho Van Tuan Anh[1], Nguyen Duc Thang[1], Tran Thi Hong Ngoc[1]*

[1] Faculty of Engineering, Technology - Environment, An Giang University, National University - HCM, Vietnam; ptkhanhagu@gmail.com; tuanho1406@gmail.com; akthang98@gmail.com

Abstract: The city of Long Xuyen is currently accelerating its urban planning efforts to create a more environmentally friendly setting. To support this initiative, a study was conducted to analyze the spatial development and changes in the city's urban landscape from 2014 to 2022. Using an object-based classification method, the study examined shifts in the urban spatial structure and variations in land cover over time. The interpretation of remote sensing imagery from 2014 to 2022 revealed that urbanization has moved toward the southwest of the city in recent years, with a 62.67% increase in residential areas and other concrete structures, and a 50.71% decrease in rice fields. The per capita green space increased from 15.59m²/person in 2014 to 25.56 m²/person in 2022, reaching the standards of urban types I and II. There's also evidence of urban heat islands in high-density concrete areas, especially in the city center.

Keywords: Urbanization; Landsat; Remote Sensing; Land Surface Temperature; Long Xuyen city.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới năng suất lúa hữu cơ tại tỉnh Tuyên Quang

Nguyễn Thị Liễu[1]*, Nguyễn Thế Chinh[1], Trần Trung Cường[2], Nguyễn Văn Đại[1], Tạ Thị Ngọc Hà[3]

[1] Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; lieuminh2011@gmail.com; thechinhnguyen@gmail.com; nguyendai.tv@gmail.com
[2] Trường Khoa học liên ngành và Nghệ thuật, Đại học quốc gia Hà Nội; cuongtranws@gmail.com
[3] Trường Cán bộ Quản lý Nông nghiệp và Phát triển nông thôn; tangocha179@gmail.com

*Tác giả liên hệ: lieuminh2011@gmail.com; Tel: +84–989316846

Ban Biên tập nhận bài: 15/3/2024; Ngày phản biện xong: 24/4/2024; Ngày đăng bài: 25/8/2024

Tóm tắt: Sản xuất lúa hữu cơ ở tỉnh Tuyên Quang được bắt đầu sản xuất từ năm 2019 với một số mô hình thí điểm nhưng đến nay đã có sự phát triển nhất định, góp phần đảm bảo an ninh lương thực và xóa đói giảm nghèo cho người dân. Sản xuất lúa hữu cơ hiện còn gặp nhiều khó khăn, thách thức do các yếu tố khách quan, chủ quan khác nhau, trong đó yếu tố biến đổi khí hậu (BĐKH) được xem là một trong những yếu tố tiềm năng có thể ảnh hưởng đến việc sản xuất lúa hữu cơ trên địa bàn tỉnh Tuyên Quang trong tương lai. Kết quả mô phỏng năng suất lúa hữu cơ theo các kịch bản BĐKH cho thấy, năng suất lúa của tất cả các huyện/ thành phố của tỉnh Tuyên Quang trong 02 vụ đều có xu thế gia tăng ở tất cả các thời kỳ của 02 kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 so với thời kỳ cơ sở. Theo kịch bản RCP 4.5, năng suất lúa toàn tỉnh vụ Đông Xuân sẽ tăng 23,3 % và tăng 29,77 % ở vụ Mùa vào cuối thế kỉ. Theo kịch bản RCP 8.5, năng suất lúa toàn tỉnh vụ đông xuân sẽ tăng 38,24 % và tăng 30.01% ở vụ mùa vào cuối thế kỉ.

Từ khóa: Năng suất lúa; Biến đổi khí hậu; Tuyên Quang; RCP 4.5, RCP 8.5.

1. Mở đầu

Theo IPCC [1], BĐKH là sự biến đổi trạng thái của hệ thống khí hậu, có thể được nhận biết qua sự biến đổi về trung bình và sự biến động của các thuộc tính của nó, được duy trì trong một thời gian đủ dài, điển hình là hàng thập kỷ hoặc dài hơn. Nói cách khác, nếu coi trạng thái cân bằng của hệ thống khí hậu là điều kiện thời tiết trung bình và những biến động của nó trong khoảng vài thập kỷ hoặc dài hơn, thì BĐKH là sự biến đổi từ trạng thái cân bằng này sang trạng thái cân bằng khác của hệ thống khí hậu. BĐKH hiện đại được nhận biết thông qua sự gia tăng của nhiệt độ trung bình bề mặt Trái đất, dẫn đến hiện tượng nóng lên toàn cầu. Biểu hiện của BĐKH còn được thể hiện qua sự dâng mực nước biển, hệ quả của sự tăng nhiệt độ toàn cầu.

Lượng tiêu thụ nước trong trồng lúa nước chiếm 24-30% lượng tiêu thụ nước ngọt toàn cầu [2]. Do đó, để đảm bảo an ninh lương thực và duy trì tính toàn vẹn của tài nguyên nước, ngày càng có nhiều nhu cầu nghiên cứu cụ thể về sử dụng tài nguyên nước trong nông nghiệp (yêu cầu tưới tiêu và trồng trọt) cũng như phản ứng của năng suất lúa gạo đối với BĐKH để xác định các chiến lược thích ứng hiệu quả và bền vững. BĐKH sẽ có tác động đáng kể đến quản lý nước nông nghiệp [3]. Tuy nhiên, các nghiên cứu về ảnh hưởng của BĐKH đến năng suất lúa còn hạn chế [4], đặc biệt là ở quy mô địa phương. Các mô hình cây trồng được sử

dụng rộng rãi để tư vấn và lập kế hoạch môi trường trong nông nghiệp [5], bao gồm lựa chọn cây trồng, quản lý cây trồng, đánh giá tác động của BĐKH, thích ứng với BĐKH và hỗ trợ quyết định chính sách [6].

Các mô hình khí hậu - thủy văn - cây trồng rất quan trọng trong việc tìm hiểu và dự đoán những tương tác phức tạp giữa các biến đổi khí hậu, các quá trình thủy văn và tăng trưởng cây trồng. Tuy nhiên, việc áp dụng phương pháp này còn gặp nhiều khó khăn ở các nước đang phát triển [7]. Sự phát triển các nghiên cứu về tác động của BĐKH đối với sản xuất nông nghiệp ở Việt Nam vẫn tồn tại một khoảng cách lớn so với trên thế giới và cần có 1 cuộc khảo sát toàn quốc về tình hình sản xuất nông nghiệp của các hộ gia đình và khai thác hiệu quả dữ liệu khí hậu và môi trường [8].

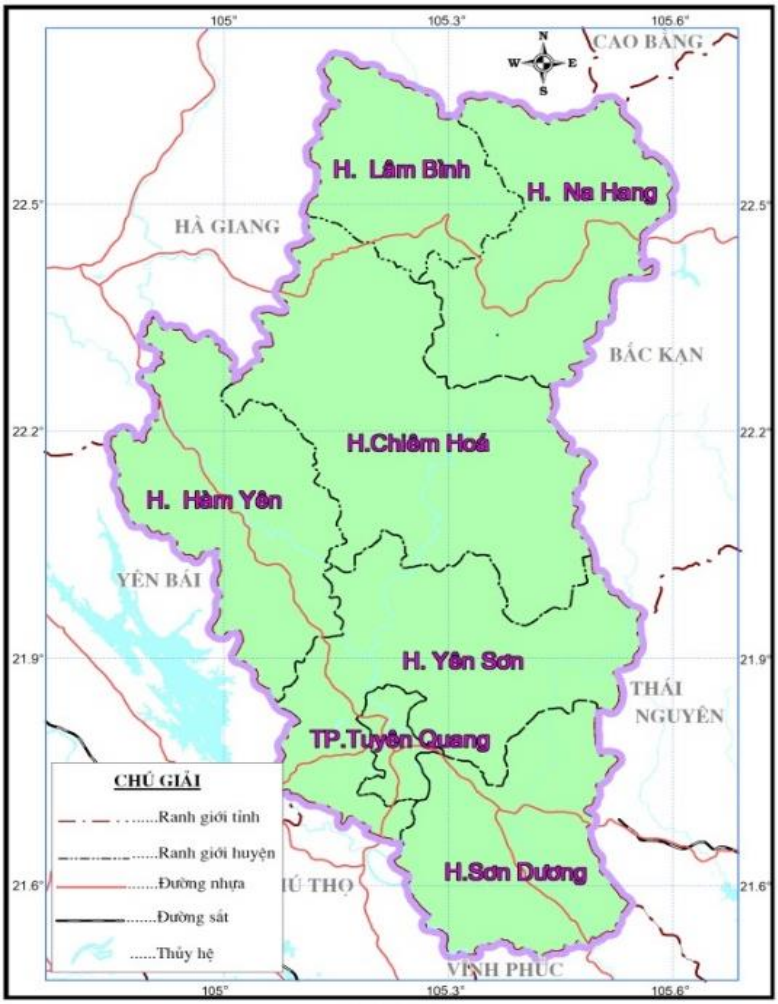
Nghiên cứu được thực hiện nhằm mục đích đánh giá hiện trạng sản xuất lúa hữu cơ và tính toán năng suất mô phỏng của cây lúa hữu cơ dựa trên năng suất lúa thông thường theo các kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 bằng mô hình AquaCrop 7.1, từ đó sử dụng phương pháp thống kê để đánh giá tác động của BĐKH đến năng suất lúa theo các kịch bản BĐKH so với thời kỳ cơ sở 1985-2005.

2. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

Tuyên Quang là tỉnh miền núi phía Bắc, tiếp giáp với 07 tỉnh: Phía Bắc và Tây Bắc giáp tỉnh Hà Giang và tỉnh Cao Bằng, phía Nam giáp tỉnh Phú Thọ và tỉnh Vĩnh Phúc, phía Đông giáp tỉnh Bắc Kạn và tỉnh Thái Nguyên, phía Tây giáp tỉnh Yên Bái. Diện tích tự nhiên của tỉnh 5.867,9 km^2, chiếm 1,77% diện tích cả nước, đứng thứ 24/63 tỉnh, thành phố cả nước về diện tích. Ngành nông, lâm thủy sản đang chuyển mạnh theo hướng sản xuất hàng hóa với quy mô, năng suất và chất lượng ngày càng cao, an toàn thực phẩm được coi trọng; góp phần quan trọng xóa đói, giảm nghèo, nâng cao thu nhập và cải thiện đời sống cho người dân nông thôn. Lĩnh vực trồng trọt: Tập trung chuyển đổi cơ cấu giống theo hướng năng suất, chất lượng, rải vụ, đa dạng sản phẩm theo nhu cầu thị trường; Ứng dụng khoa học công nghệ, sử dụng giống năng suất và chất lượng cao, thích ứng với biến đổi khí hậu, ứng dụng cơ giới hóa, thực hiện các quy trình kỹ thuật tiên tiến ngày càng được tăng cường; mở rộng sản xuất theo tiêu chuẩn; nâng cao năng suất, giá trị thu nhập các cây trồng chủ lực. Cơ cấu cây trồng chuyển dịch mạnh sang phát triển nhóm cây ăn quả 20. Giá trị sản xuất bình quân/ha canh tác đất sản xuất nông nghiệp đạt 97 triệu đồng/ha, tăng 1,4 lần so năm 2015; giá trị sản xuất trồng trọt (theo giá so sánh năm 2010) năm 2020 đạt trên 4.340 tỷ đồng, tăng bình quân 2,5%/năm. Cây lương thực (lúa, ngô): Chuyển đổi cơ cấu giống, đưa 17 giống lúa, ngô có năng suất, chất lượng vào cơ cấu giống của tỉnh, loại bỏ 16 giống kém hiệu quả ra khỏi cơ cấu giống; Diện tích lúa chất lượng cao 7.800 ha, chiếm 18% diện tích gieo cấy; diện tích lúa hữu cơ 5 ha; diện tích trồng ngô ngọt liên kết 50 ha. Đảm bảo vững chắc an ninh lương thực với tổng sản lượng trên 34 vạn tấn/năm. Trong những năm gần đây BĐKH đã và đang tác động mạnh mẽ đến tình hình phát triển kinh tế xã hội trên phạm vi toàn tỉnh. Các hiện tượng thời tiết cực đoan có xu hướng xuất hiện nhiều và mạnh hơn. Đặc biệt là lũ ống, lũ quét, sạt lở đất đá đã trở nên thường xuyên hơn trong mùa mưa. Các đợt rét đậm, rét hại, mưa đá, dông sét, băng giá, sương muối xảy ra với tần suất ngày một nhiều hơn tại các vùng núi cao thuộc các huyện Na Hang, Lâm Bình. Tình trạng thiếu nước cho sinh hoạt và sản xuất về mùa khô xảy ra cục bộ tại một số địa phương. Bên cạnh đó, sự thay đổi về nhiệt độ và lượng mưa có nguy cơ làm thay đổi diện tích và chất lượng rừng, hạn hán và thiếu nước cũng tạo ra nguy cơ cháy rừng cao trên địa bàn toàn tỉnh, khí hậu có nhiều biến đổi thất thường,...[9]. Nhận thức về BĐKH của một số cán bộ quản lý nhiều nơi còn chưa đầy đủ, nhận thức của cộng đồng còn hạn chế và phiến diện, mới chỉ quan tâm nhiều đến các tác động tiêu cực mà BĐKH gây ra khi được tuyên truyền mà chưa quan tâm đúng mức đến việc hành động chuyển đổi lối sống, mô hình sản xuất và tiêu thụ theo định hướng các-bon thấp, tăng trưởng xanh. Những thách thức đó đòi hỏi tỉnh Tuyên Quang phải có những nỗ lực hơn nữa trong các chính sách,

biện pháp tăng cường nhận thức và năng lực ứng phó với BĐKH, song song với phát triển kinh tế nhằm tăng cường sức cạnh tranh của nền kinh tế và vị thế của một tỉnh có nền kinh tế mạnh của cả nước [10].



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu [11].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp kế thừa tài liệu: Phương pháp này được sử dụng trong nghiên cứu ngay từ giai đoạn đầu của quy trình thực hiện, trên cơ sở các tài liệu thu thập được, nhóm nghiên cứu đã tiến hành phân tích tổng hợp những đối tượng có thể kế thừa và các dữ liệu xem xét để biên tập mới. Những dữ liệu kế thừa chủ yếu liên quan đến các yếu tố khí tượng, thủy văn, các giá trị số liệu về đất, nước và cây trồng trong các nghiên cứu liên quan sử dụng để đảm bảo đầu vào cho mô hình mô phỏng.

- Phương pháp điều tra, khảo sát thu thập số liệu: Phương pháp này được sử dụng để tiến hành thu thập các số liệu, tài liệu từ các sở ban ngành nhằm cung cấp nguồn cơ sở dữ liệu về khí tượng, thủy văn, BĐKH, đặc điểm cây trồng. Các phiếu điều tra cũng được thiết kế riêng cho lúa hữu cơ tại địa bàn nghiên cứu để hỏi các thông tin liên quan như hiện trạng sản xuất lúa hữu cơ trên địa bàn tỉnh, những thuận lợi và khó khăn trong sản xuất lúa hữu cơ, hiện trạng BĐKH và ảnh hưởng của BĐKH đến sản xuất lúa hữu cơ cùng các chính sách phát triển lúa hữu cơ trong thời gian tới.

- Phương pháp phân tích, tổng hợp tài liệu: Các số liệu, tài liệu sau khi thu thập được nhóm nghiên cứu phân tích và tổng hợp lại theo mục đích sử dụng để phục vụ việc đánh giá tác động của BĐKH đến sản xuất lúa hữu cơ trên địa bàn tỉnh Tuyên Quang.

- Phương pháp mô hình toán: Phương pháp mô hình toán được sử dụng trong nghiên cứu để đánh giá tác động của BĐKH đến sản xuất lúa hữu cơ trên địa bàn tỉnh Tuyên Quang. Cụ

thể là mô hình AquaCrop 7.1 được sử dụng để tính toán năng suất cho cây lúa ở thời kỳ cơ sở 1986-2005 và các thời kỳ 2016-2035, 2046-2065, 2080-2099 của các kịch bản biến đổi khí hậu RCP 4.5 và RCP 8.5 theo kịch bản BĐKH năm 2020 do bộ Tài nguyên và Môi trường bàn hành năm. Trên cơ sở đó, nghiên cứu sẽ đánh giá tác động của BĐKH đến năng suất lúa thông qua mức độ thay đổi năng suất giữa các thời kỳ của các kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 so với thời kỳ cơ sở. Mô hình AquaCrop được giới thiệu là phương pháp nghiên cứu phản ánh năng suất cây trồng [12]. Mô hình AquaCrop được chọn lựa bởi sự đơn giản và dễ sử dụng và cho kết quả khá chính xác. Kết quả của AquaCrop cho được là khá tốt, điều này được kiểm nghiệm qua các nghiên cứu trên cây cây lúa [13]. Mô hình này đã mô phỏng thành công sự sinh trưởng và năng suất của cây trồng trong các điều kiện quản lý khí hậu, đất đai và tưới tiêu khác nhau để trồng lúa [14]. Mô hình AquaCrop đã được hiệu chỉnh và đánh giá để mô phỏng sự phát triển và năng suất lúa trong điều kiện lũ lụt ở một số khu vực trên thế giới [15], và trong điều kiện chu kỳ khô và ướt đã được báo cáo [6].

2.3. Dữ liệu sử dụng

2.3.1. Dữ liệu khí tượng

Dữ liệu khí tượng được sử dụng để tính toán trong nghiên cứu bao gồm các dữ liệu về nhiệt độ trung bình, nhiệt độ tối cao, nhiệt độ tối thấp, lượng mưa, bốc thoát hơi nước tiềm năng (ETo) của thời kỳ cơ sở 1986 -2005 và các kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 theo kịch bản Biến đổi khí hậu năm 2020 của Bộ Tài Nguyên và Môi trường [16]. Căn cứ vào vị trí của các huyện/ thành phố, nhóm tác giả sử dụng dữ liệu khí tượng của thời kỳ cơ sở và kịch bản BĐKH của các trạm KTTV, trạm đo mưa gần nhất có số liệu.

Bảng 1. Danh sách trạm mưa và trạm khí tượng dùng cho các huyện, thành phố của tỉnh Tuyên Quang.

STT	Thành phố/huyện	Số liệu mưa thời kỳ cơ sở	Số liệu mô phỏng của các kịch bản BĐKH
1	TP. Tuyên Quang	Tuyên Quang	Tuyên Quang
2	Na Hang	Na Hang	Chiêm Hóa
3	Chiêm Hóa	Chiêm Hóa	Chiêm Hóa
4	Hàm Yên	Hàm Yên	Hàm Yên
5	Yên Sơn	Tuyên Quang và Đào Viên	Tuyên Quang
6	Sơn Dương	Tuyên Quang	Tuyên Quang
7	Lâm Bình	Na Hang	Chiêm Hóa

Dữ liệu nồng độ khí CO_2 trong khí quyển ở thời kỳ cơ sở và kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 được sử dụng trong nghiên cứu theo dữ liệu của IPCC [17].

2.3.2. Dữ liệu về đất

Tỉnh Tuyên Quang có tài nguyên đất phong phú về chủng loại, ngoài ra ở tỉnh cũng canh tác lúa theo nhiều hình thức khác nhau như lúa nương và trồng lúa tại các thung lũng và ven sông suối, vì vậy tác giả sử dụng các thông số chung được dựa vào hệ số tham khảo của FAO có trong mô hình AquaCrop.

Bảng 2. Dữ liệu đất đầu vào của mô hình AquaCrop [18].

Tầng đất	Loại đất	Độ sâu (m)	TAW (mm/m)	PWP (%)	FC (%)	SAT (%)	Ksat (mm/day)
1	Sét pha	0,5	180	32,0	50,0	54,0	15,0
2	Sét	1,5	150	39,0	54,0	55,0	2,0

Ghi chú: TAW: tổng lượng nước sẵn có trong thể tích đất được xem xét; PWP: độ ẩm điểm héo; FC: ẩm độ thủy dung; SAT: độ ẩm bão hòa; Ksat: hệ số thấm bão hòa.

2.3.3. Dữ liệu cây trồng

Các thông số cây trồng đầu vào mô hình đối với cây lúa nước gồm phương thức tưới, mật độ cấy (số cây trên một m^2), hiệu suất sử dụng nước, năng suất sinh khối (WP) (gram/m^2), hệ số thu hoạch HI (%), bốc thoát hơi nước cây trồng (Tr), độ mở rộng tán lá, độ bao phủ tán lá ban đầu (CCo), Hệ số rút nước vùng rễ (P), Hệ số giảm tán lá (CDC), độ sâu rễ, hệ số phản ứng năng suất Ky, chiều cao cây trồng. Các thông số cây trồng đầu vào cho mô hình AquaCrop được trình bày trong bảng 3 dưới đây.

Bảng 3. Các thông số cây trồng đầu vào cho mô hình AquaCrop [19].

	Các thông số đầu vào	Vụ Đông Xuân	Vụ mùa
Giai đoạn phát triển (ngày)	Kích thước tán khi cấy (cm^2/cây)	15	15
	Mật độ cấy (số cây trên một m^2)	25	25
	Ngày cấy	14/II	28/VI
	Ngày thu hoạch	12/VI	30/X
	Số ngày từ cấy đến phục hồi	7	5
	Số ngày từ cấy đến độ sâu rễ tối đa	59	65
	Số ngày từ cấy đến thụ phấn	89	95
	Số ngày từ cấy đến ra hoa (trỗ bông)	76	82
	Số ngày của giai đoạn ra hoa	13	13
	Tổng số ngày	119	125

Hiệu chỉnh mô hình Mô hình AquaCrop được sử dụng để mô phỏng ảnh hưởng của các yếu tố thời tiết và sự thay đổi lượng nước tưới lên năng suất lúa; trong nghiên cứu này, các yếu tố (khác) tác động đến năng suất lúa ở vùng nghiên cứu (ví dụ: dịch bệnh, sâu hại và thiên tai) không được xem xét. Mô hình mô phỏng năng suất lúa được thiết kế bằng cách dựa vào các số liệu thu thập thực tế và giá trị các hệ số tham khảo theo FAO. Hệ số thu hoạch (Harvest index - HI) sẽ thay đổi theo từng mùa vụ do các đặc tính về điều kiện khí hậu của từng khu vực và kỹ thuật canh tác sẽ ảnh hưởng đến sự phát triển và năng suất cây trồng khác nhau. Do mỗi mùa vụ có năng suất khác nhau nên trong mô hình chỉ số thu hoạch (HI) được hiệu chỉnh để năng suất mô phỏng của các mùa vụ tương đương với năng suất thực tế [20]. Bảng 4 và Bảng 5 trình bày hiệu hiệu chỉnh hệ số thu hoạch của 02 vụ Đông Xuân và vụ Mùa theo năng suất thực thế năm 2019 [21] của các huyện/ thành phố của tỉnh Tuyên Quang.

Bảng 4. Hệ số thu hoạch (HI) hiệu chỉnh vụ Đông Xuân theo năng suất thực tế năm 2019 của các huyện/thành phố của tỉnh Tuyên Quang.

STT	Huyện/thành phố	Năng suất thực tế (tấn/ha)	Hệ số thu hoạch - HI hiệu chỉnh (%)	Năng suất mô phỏng (tấn/ha)	Sai số (%)
1	TP. Tuyên Quang	6,0	40	5,98	0,43
2	Na Hang	5,56	38	5,63	1,29
3	Chiêm Hóa	5,95	40	5,93	0,37
4	Hàm Yên	5,94	40	5,96	0,29
5	Yên Sơn	6,17	41	6,13	0,73
6	Sơn Dương	6,13	41	6,13	0,03
7	Lâm Bình	5,41	37	5,49	1,37

Bảng 5. Hệ số thu hoạch (HI) hiệu chỉnh vụ Mùa theo năng suất thực tế năm 2019 của các huyện/thành phố của tỉnh Tuyên Quang.

STT	Huyện/thành phố	Năng suất thực tế (tấn/ha)	Hệ số thu hoạch - HI hiểu chỉnh (%)	Năng suất mô phỏng (tấn/ha)	Sai số (%)
1	TP. Tuyên Quang	5,6	38	5,67	1,36
2	Na Hang	5,65	38	5,67	0,48
3	Chiêm Hóa	5,73	38	5,67	1,05
4	Hàm Yên	5,9	40	5,98	1,34
5	Yên Sơn	5,72	38	5,67	0,91
6	Sơn Dương	5,78	38	5,67	1,92
7	Lâm Bình	5,46	37	5,52	1,23

Sai số giữa năng suất thực tế và năng suất mô phỏng ở cả 2 vụ của các huyện/ thành phố đều nhỏ hơn 5%. Như vậy, các hệ số thu hoạch - HI này có thể chấp nhận được để sử dụng làm dữ liệu để mô phỏng năng suất lúa cho tương lai.

2.3.4. Dữ liệu về chế độ quản lý nước và quản lý đồng ruộng

Phương pháp tưới của người dân địa phương là không đồng nhất nhau trong một mùa vụ; do vậy trong nghiên cứu này, phương pháp tưới được xây dựng dựa trên cách quản lý nước cho lúa trên ruộng theo TCVN 8641:2011 [22]. Mực nước trên mặt ruộng qua các giai đoạn phát triển của cây lúa được thể hiện ở bảng 6.

Bảng 6. Mực nước trên mặt ruộng qua các giai đoạn phát triển của cây lúa [22].

Các giai đoạn phát triển	1-7 ngày	8-15 ngày	16-68 ngày	69-98 ngày	99-128 ngày
Mực nước (mm)	10	30	50	70	0

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiện trạng sản xuất lúa hữu cơ trên địa bàn tỉnh Tuyên Quang

Lịch sử sản xuất lúa hữu cơ tại tỉnh Tuyên Quang được triển khai từ năm 2019 và cho đến thời điểm hiện tại, diện tích sản xuất lúa hữu cơ vẫn còn hạn chế. Đến năm 2023, toàn bộ tỉnh chỉ có 10,7 ha lúa được sản xuất theo tiêu chuẩn hữu cơ. Trong tổng số này, có 5,7 ha đạt đủ điều kiện sản xuất và đã nhận được giấy chứng nhận theo các tiêu chuẩn hữu cơ (TVCV 11041-1-2017 và TCVN 11041-5:2018) [23], trong khi 05 ha còn lại đang là mô hình sản xuất lúa chất lượng theo hướng hữu cơ liên kết chặt chẽ với doanh nghiệp tiêu thụ sản phẩm được thực hiện tại Huyện Yên Sơn vào năm 2023 [24] và chưa được cấp chứng nhận sản xuất hữu cơ.

Bảng 7. Sản xuất lúa hữu cơ trên địa bàn tỉnh Tuyên Quang năm 2021.

STT	Tên HTX/Mô hình	Địa điểm sản xuất	Số nông hộ tham gia sản xuất	Diện tích (ha)	Năng suất năm 2021 (tấn/ha)	Năm nhận được chứng nhận
1	HTX Nông Lâm nghiệp Minh Thanh	Huyện Sơn Dương	10	3,2	6,1	2021
2	HTX Dịch vụ sản xuất chế biến nông lâm nghiệp Hợp Hòa	Huyện Sơn Dương	25	2,5	6.4	2021
Tổng/trung bình			35	5,7	6.2	

Diện tích sản xuất lúa hữu cơ của tỉnh Tuyên Quang chủ yếu ở huyện Sơn Dương. Trong năm 2021, Năng suất lúa hữu cơ gần tương đương với năng suất lúa sản xuất thông thường (vụ đông xuân) của huyện năm (lúa hữu cơ: 6,2 tấn/ha, lúa thông tường 6,245 tấn/ha). Nhưng giá gạo hữu cơ trung bình lại cao hơn 150-170 % so giá gạo thông thường sản xuất tại địa phương (gạo hữu cơ 25.000-30.000 đồng/kg, gạo thông thường 15.000-18.000 đồng/kg). Điều này cho thấy tiềm năng về giá cả của gạo hữu cơ cao so với gạo thông thường.

3.2. Tính toán năng suất lúa hữu cơ theo các kịch bản biến đổi khí hậu

Từ các phương pháp nghiên cứu và số liệu được sử dụng, kết quả tính toán năng suất lúa hữu cơ theo các kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 được trình bày trong bảng 8.

Năng suất lúa vụ Đông Xuân toàn tỉnh đều có xu hướng tăng ở tất cả các thời kỳ của cả 02 kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 so với thời kỳ cơ sở. Theo kịch bản RCP 4.5, năng suất lúa toàn tỉnh Tuyên Quang tăng từ 5,41 tấn/ha vào đầu thế kỉ lên tới 6.02 tấn/ha vào giữa thế kỉ

và 6.42 tấn/ha vào cuối thế kỷ 21. Theo kịch bản RCP 8.5, năng suất lúa toàn tỉnh Tuyên Quang tăng từ 5,92 tấn/ha vào đầu thể kỉ lên tới 7,03 tấn/ha vào giữa thế kỉ và 7,24 tấn/ha vào cuối thế kỷ 21. Trong đó, TP. Tuyên Quang, huyện Yên Sơn và huyện Sơn Dương có mức tăng lớn nhất ở cả 02 kịch bản.

Bảng 8. Kết quả tính toán năng suất lúa Đông Xuân theo thời kỳ cơ sở và theo kịch bản biến đổi khí hậu RCP 4.5 và RCP 8.5 của các huyện/ thành phố của tỉnh Tuyên Quang.

STT	Huyện/thành phố	Năng suất lúa đông xuân (tấn/ha)						
		Thời kỳ cơ sở	Kịch bản RCP 4.5			Kịch bản RCP 8.5		
		1986-2005	2016-2035	2046-2065	2080-2099	2016-2035	2046-2065	2080-2099
1	TP. Tuyên Quang	4,99	5,61	6,14	6,41	6,17	7,09	7,31
2	Na Hang	5,78	5,33	6,08	6,58	5,8	7,18	7,21
3	Chiêm Hóa	5,32	5,33	6,08	6,58	5,8	7,18	7,21
4	Hàm Yên	4,58	5,04	5,44	5,97	5,48	6,43	7,11
5	Yên Sơn	5,43	5,61	6,14	6,41	6,17	7,09	7,31
6	Sơn Dương	4,99	5,61	6,14	6,41	6,17	7,09	7,31
7	Lâm Bình	5,78	5,33	6,08	6,58	5,8	7,18	7,21
	Toàn tỉnh	5,27	5,41	6,02	6,42	5,92	7,03	7,24

Theo bảng 9, Năng suất lúa vụ Mùa toàn tỉnh Tuyên Quang có xu hướng tăng ở tất cả các giai đoạn của cả 02 kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 so với thời kỳ cơ cở. Theo kịch bản RCP 4.5, năng suất lúa toàn tỉnh Tuyên Quang tăng từ 6,01 tấn/ha vào đầu thể kỉ lên tới 6,34 tấn/ha vào giữa thế kỉ và 6,722 tấn/ha vào cuối thế kỷ 21. Theo kịch bản RCP 8.5, năng suất lúa toàn tỉnh Tuyên Quang tăng từ 6,11 tấn/ha vào đầu thể kỉ lên tới 6,70 tấn/ha vào giữa thế kỉ và 6,73 tấn/ha vào cuối thế kỷ 21. Trong đó, huyện Hàm Yên có mức tăng lớn nhất ở cả 02 kịch bản.

Bảng 9. Kết quả tính toán năng suất lúa Mùa theo các kịch bản biến đổi khí hậu RCP 4.5 và RCP 8.5 của các thành phố/huyện của tỉnh Tuyên Quang.

STT	Huyện/thành phố	Năng suất lúa mùa (tấn/ha)						
		Thời kỳ cơ sở	Kịch bản RCP 4.5			Kịch bản RCP 8.5		
		1986-2005	2016-2035	2046-2065	2080-2099	2016-2035	2046-2065	2080-2099
1	TP. Tuyên Quang	5,19	6,04	6,42	6,76	6,13	6,83	6,81
2	Na Hang	5,26	5,93	6,22	6,54	6,07	6,51	6,57
3	Chiêm Hóa	5,08	5,93	6,22	6,54	6,07	6,51	6,57
4	Hàm Yên	5,25	6,14	6,47	7,16	6,17	6,93	6,99
5	Yên Sơn	5,02	6,04	6,42	6,76	6,13	6,83	6,81
6	Sơn Dương	5,19	6,04	6,42	6,76	6,13	6,83	6,81
7	Lâm Bình	5,26	5,93	6,22	6,54	6,07	6,51	6,57
	Toàn tỉnh	5,18	6,01	6,34	6,72	6,11	6,7	6,73

3.3. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến thay đổi năng suất lúa hữu cơ theo các kịch bản biến đổi khí hậu

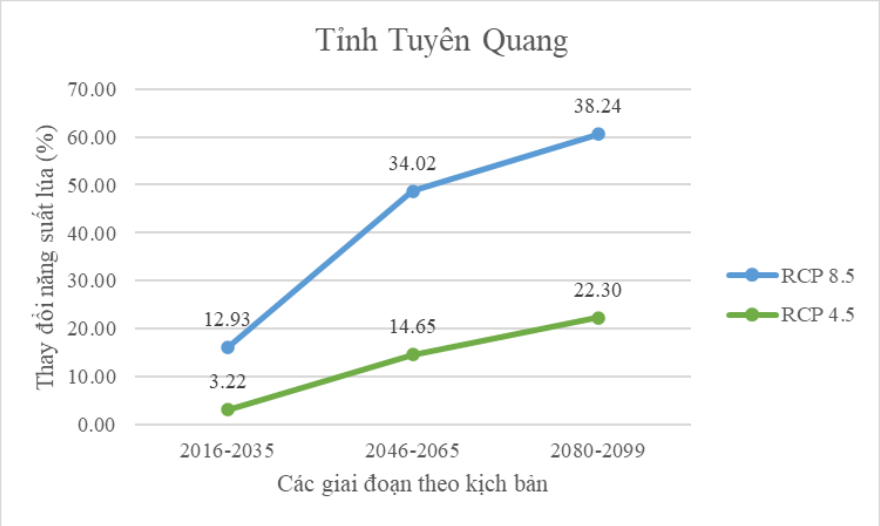
Từ kết quả tính toán sản lượng vụ Đông Xuân và vụ Mùa ở thời kỳ cơ sở 1986-2005 và các thời kỳ 2016-2035, 2046-2065, 2080-2099 của các kịch bản biến đổi khí hậu RCP 4.5 và RCP 8.5, Theo đó, nghiên cứu sẽ đánh giá tác động của BĐKH đến năng suất lúa hữu cơ vụ Đông Xuân và vụ Mùa thông qua mức độ thay đổi năng suất lúa giữa các thời kỳ của các kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 so với thời kỳ cơ sở. Xu thế thay đổi năng xuất lúa hữu cơ vụ Đông Xuân của các huyện/ thành phố của tỉnh Tuyên Quang được trình bày trong Bảng 10, Bảng 11 và Hình 2.

Bảng 10. Kết quả tính toán thay đổi năng suất lúa Đông Xuân (tấn/ha) theo các kịch bản biến đổi khí hậu của các huyện/ thành phố của tỉnh Tuyên Quang.

STT	Huyện/thành phố	Thay đổi năng suất lúa đông xuân so với thời kỳ cơ sở (tấn/ha)					
		Kịch bản RCP 4.5			Kịch bản RCP 8.5		
		2016-2035	2046-2065	2080-2099	2016-2035	2046-2065	2080-2099
1	TP. Tuyên Quang	0,62	1,15	1,42	1,19	2,1	2,32
2	Na Hang	-0,46	0,3	0,79	0,02	1,39	1,43
3	Chiêm Hóa	0,01	0,76	1,25	0,48	1,86	1,89
4	Hàm Yên	0,46	0,86	1,39	0,9	1,85	2,53
5	Yên Sơn	0,18	0,71	0,98	0,74	1,65	1,88
6	Sơn Dương	0,62	1,15	1,42	1,19	2,1	2,32
7	Lâm Bình	-0,46	0,3	0,79	0,02	1,39	1,43
	Toàn tỉnh	0,14	0,75	1,15	0,65	1,76	1,97

Bảng 11. Kết quả tính toán thay đổi năng suất lúa Đông Xuân (%) theo các kịch bản biến đổi khí hậu của các huyện/ thành phố của tỉnh Tuyên Quang.

STT	Huyện/thành phố	Thay đổi năng suất lúa Đông Xuân so với Thời kỳ cơ sở (%)					
		Kịch bản RCP 4.5			Kịch bản RCP 8.5		
		2016-2035	2046-2065	2080-2099	2016-2035	2046-2065	2080-2099
1	TP. Tuyên Quang	12,49	23,13	28,5	23,78	42,12	46,59
2	Na Hang	-7,9	5,13	13,69	0,33	24,11	24,66
3	Chiêm Hóa	0,09	14,26	23,55	9,04	34,88	35,48
4	Hàm Yên	9,99	18,74	30,23	19,61	40,35	55,12
5	Yên Sơn	3,25	13,02	17,95	13,62	30,45	34,56
6	Sơn Dương	12,49	23,13	28,5	23,78	42,12	46,59
7	Lâm Bình	-7,9	5,13	13,69	0,33	24,11	24,66
	Toàn tỉnh	3,22	14,65	22,3	12,93	34,02	38,24



Hình 2. Xu thế thay đổi năng suất lúa đông xuân tỉnh Tuyên Quang theo các kịch bản BĐKH.

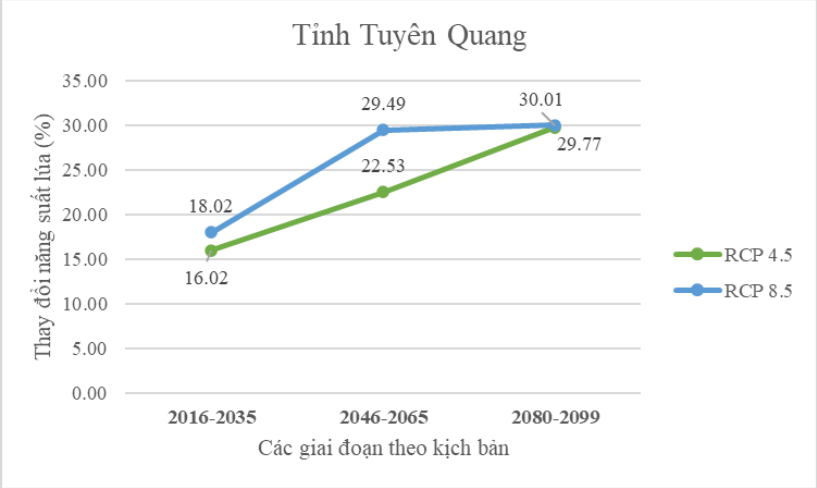
Năng suất lúa vụ Đông Xuân ở các huyện/thành phố của tỉnh Tuyên Quang có xu thế tăng ở tất cả các thời kỳ của cả 02 kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5. Theo kịch bản RCP 4.5, năng suất lúa đông xuân toàn tỉnh Tuyên Quang có xu thế tăng ở tất cả các thời kỳ và tăng tới 22,3 % vào thời kỳ 2080-2099 so với thời kỳ cơ sở. Theo kịch bản RCP 8.5, năng suất lúa vụ Đông Xuân cũng có xu thế tăng ở tất cả các thời kỳ của kịch bản và lên tới 38,24 % ở cuối thế kỷ 21. Trong đó, huyện Hàm Yên có xu thế tăng và mức tăng cao nhất lên tới 30,23 % theo kịch bản RCP 4.5 và 55,12 % ở kịch bản RCP 8.5 ở giai đoạn 2080-2099.

Bảng 12. Kết quả tính toán thay đổi năng suất lúa Mùa (tấn/ha) theo các kịch bản biến đổi khí hậu cho các huyện/ thành phố của tỉnh Tuyên Quang.

STT	Huyện/thành phố	Thay đổi năng suất lúa mùa so với thời kỳ cơ sở (tấn/ha)					
		Kịch bản RCP 4.5			Kịch bản RCP 8.5		
		2016-2035	2046-2065	2080-2099	2016-2035	2046-2065	2080-2099
1	TP. Tuyên Quang	0,85	1,23	1,56	0,94	1,63	1,62
2	Na Hang	0,67	0,97	1,28	0,81	1,25	1,31
3	Chiêm Hóa	0,85	1,15	1,46	0,99	1,43	1,49
4	Hàm Yên	0,89	1,22	1,91	0,92	1,68	1,74
5	Yên Sơn	1,02	1,4	1,73	1,11	1,8	1,79
6	Sơn Dương	0,85	1,23	1,56	0,94	1,63	1,62
7	Lâm Bình	0,67	0,97	1,28	0,81	1,25	1,31
	Toàn tỉnh	0,83	1,16	1,54	0,93	1,52	1,55

Bảng 13. Kết quả tính toán thay đổi năng suất lúa Mùa (%) theo các kịch bản biến đổi khí hậu cho các huyện/ thành phố của tỉnh Tuyên Quang.

STT	Huyện/thành phố	Thay đổi năng suất lúa mùa so với Thời kỳ cơ sở (%)					
		Kịch bản RCP 4.5			Kịch bản RCP 8.5		
		2016-2035	2046-2065	2080-2099	2016-2035	2046-2065	2080-2099
1	TP. Tuyên Quang	16,32	23,65	30,1	18,05	31,44	31,15
2	Na Hang	12,75	18,39	24,32	15,46	23,74	24,88
3	Chiêm Hóa	16,75	22,58	28,72	19,55	28,12	29,3
4	Hàm Yên	16,99	23,26	36,37	17,53	32,07	33,19
5	Yên Sơn	20,23	27,8	34,47	22,02	35,86	35,55
6	Sơn Dương	16,32	23,65	30,1	18,05	31,44	31,15
7	Lâm Bình	12,75	18,39	24,32	15,46	23,74	24,88
	Toàn tỉnh	16,02	22,53	29,77	18,02	29,49	30,01



Hình 3. Xu thế thay đổi năng suất lúa mùa (%) của tỉnh Tuyên Quang theo các kịch bản BĐKH.

Năng suất lúa mùa ở tất cả các huyện/thành phố và toàn tỉnh Tuyên Quang cũng có xu thế tăng ở tất cả các thời kỳ của cả 02 kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5. Theo kịch bản RCP 4.5, năng suất lúa Mùa toàn tỉnh Tuyên Quang có xu thế tăng ở tất cả các thời kỳ và tăng 29,77% vào thời kỳ 2080-2099 so với thời kỳ cơ sở. Huyện Hàm Yên có mức tăng cao nhất ở kịch bản RCP 4.5 tăng 36,37 %. Theo kịch bản RCP 8.5, năng suất lúa vụ mùa cũng có xu thế tăng và tăng tới 30,01 % (tương đương với 1,55 tấn/ha) ở cuối thế kỷ 21. Năng suất lúa mùa của Huyện Yên Sơn có xu thế không rõ rệt, tăng cao nhất ở giai đoạn giữa thế kỷ là 35,86 % và giảm nhẹ xuống 35,55 % ở giai đoạn cuối thế kỷ.

Kết quả nghiên cứu có sự tương đồng với kết quả nghiên cứu [25], sử dụng mô hình AquaCrop để đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến năng suất lúa của tỉnh Thái Bình. Theo kịch bản RCP 4.5, năng suất lúa vụ Đông xuân đều tăng qua các thời kỳ. Tuy nhiên, với kịch bản RCP 8.5, năng suất lúa tăng cao vào 2 thời kỳ cuối và giảm nhẹ ở thời kỳ đầu so với kịch bản cơ sở kết quả của nghiên cứu này cho thấy năng suất lúa gia tăng ở tất cả các thời kỳ của kịch bản RCP 8.5.

Trong khi đó, khi sử dụng mô hình DSSAT để đánh giá ảnh hưởng của BĐKH đến năng suất lúa ở tỉnh Quảng Nam theo các kịch bản BĐKH [26], kết quả của nghiên cứu cho thấy với kịch bản BĐKH RCP 4.5 vào cuối thế kỉ 21 năng suất lúa Đông Xuân có thể giảm đến 33% trong khi đó, năng suất lúa Hè Thu có thể giảm đến 49%. Kết quả này có sự khác nhau với kết quả của nghiên cứu của nhóm tác giả cho thấy rằng dự đoán về tác động của BĐKH theo mô trình cây trồng vốn không chắc chắn [27] và các mô hình cây trồng hiện nay rất khác nhau trong dự đoán về tác động của khí hậu [28].

4. Kết luận

Năng suất lúa hữu cơ của các huyện/thành phố của tỉnh Tuyên Quang ở vụ Đông Xuân và vụ Mùa đều có xu thế tăng ở tất cả các thời kỳ của 02 kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 so với thời kỳ cơ sở. Theo kịch bản RCP 4.5, năng suất lúa hữu cơ toàn tỉnh vụ Đông Xuân sẽ tăng 23,3 % và tăng 29,77 % ở vụ Mùa. Theo kịch bản RCP 8.5, năng suất lúa hữu cơ toàn tỉnh vụ Đông Xuân sẽ tăng 38,24 % và tăng 30.01 % ở vụ Mùa vào cuối thế kỉ. Nghiên cứu còn một số hạn chế do các huyện Na Hang, Yên Sơn, Sơn Dương và Lâm Bình không có số liệu khí tượng và mưa ở thời kỳ cơ sở và số liệu mô phỏng theo các kịch bản BĐKH, việc sử dụng chung số liệu dẫn đến kết quả tính toán còn xuất hiện sự trùng lặp về số liệu.

Với những kết quả định lượng được tác động của BĐKH đến năng suất lúa hữu cơ của nghiên cứu này đã cho thấy tiềm năng suất của lúa hữu cơ của các huyện/ thành phố và toàn tỉnh Tuyên Quang. Điều này sẽ góp phần vào việc giúp các nhà hoạch định chính sách địa phương đưa ra những chính sách, kế hoạch phát triển lúa hữu cơ phù hợp để phát triển sản xuất lúa hữu cơ trở thành sản phẩm nông nghiệp chủ chốt có chất lượng cao của địa phương.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.L., H.T.T.N, T.T.C.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.T.L., T.T.C.; Xử lý số liệu: N.T.L., T.T.C.; Phân tích kết quả: N.T.L., N.T.C., T.T.C.; Viết bản thảo bài báo: N.T.L., N.T.C., T.T.C.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.L.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài "Nghiên cứu cơ sở khoa học phục vụ khoanh vùng khu vực trồng trọt hữu cơ theo đặc trưng tài nguyên và môi trường tại vùng Trung du và miền núi Bắc bộ" có Mã số: TNMT.885.04.

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. IPCC. Forth Assessment Report (AR4 2007). 2007.
2. Bouman, B.A.M. Water management in irrigated rice: coping with water scarcity. *Int. Rice Res. Inst.* **2007**, *8*, 54.
3. Kaini, S.; Harrison, M.T.; Gardner, T.; Nepal, S.; Sharma, A.K. The impacts of climate change on the irrigation water demand, grain yield, and biomass yield of wheat crop in Nepal. *Water* **2022**, *14*(17), 2728.
4. Van Oort, P.A.; Zwart, S.J. Impacts of climate change on rice production in Africa and causes of simulated yield changes. *Global Change Biol.* **2018**, *24*(3), 1029–1045.

5. Specka, X.; Nendel, C.; Wieland, R. Analysing the parameter sensitivity of the agro-ecosystem model MONICA for different crops. *Eur. J. Agron.* **2015**, *71*, 73–87.
6. Xu, Q.; Fox, G.; McKenney, D.W.; Parkin, G.; Li, Z. A Bio-economic crop Yield Response (BecYR) Model for corn and Soybeans in ontario, canada for 1959–2013. *Sci. Rep.* **2020**, *10(1)*, 7006.
7. Ansari, A.; Pranesti, A.; Telaumbanua, M.; Alam, T.; Wulandari, R.A.; Nugroho, B.D.A. Evaluating the effect of climate change on rice production in Indonesia using multimodelling approach. *Heliyon* **2023**, *9(9)*, e19639.
8. Thành, V.D.; Hương, T.T.L. Tổng quan các mô hình đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến nông nghiệp và hướng nghiên cứu với Việt Nam. *Tạp chí Kinh tế và Phát triển* **2020**, *278(11)*, 58–64.
9. Ủy ban nhân dân tỉnh Tuyên Quang. Báo cáo quy hoạch tỉnh Tuyên Quang thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2021.
10. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Tuyên Quang. Việc xây dựng, cập nhật kế hoạch hành động ứng phó với BĐKH giai đoạn 2021-2030, tầm nhìn đến 2050 của tỉnh Tuyên Quang, 2019.
11. Liễu, N.T.; Tiến, N.Đ. Nghiên cứu phân vùng khí hậu nông nghiệp phục vụ mục đích chuyển đổi cơ cấu cây trồng tỉnh Tuyên Quang. *Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn* **2021**, *726*, 68–75.
12. Raes, D.; Steduto, P.; Hsiao, et al. AquaCrop version 6.0 - 6.1 reference manual June. FAO, Rome, Italy. 2018.
13. Qui, N.V.; Linh, T.; Giang, N.; Hung, N.N. Application of crop water model (AquaCrop) in alluvial rice fields at Mekong Delta. Science and Technology Journal of Agriculture and Rural Development. Ministry of Agriculture and Rural Development, Vietnam. 2014, pp. 48–54.
14. Geneille, E.G.; Yu-Min, W. Assessment of FAO aquacrop model for simulating maize growth and productivity under deficit irrigation in a tropical environment, 2016.
15. Abdul-Ganiyu, S.; Kyei-Baffour, N.; Agyare, W.A.; Dogbe, W. Evaluating the effect of irrigation on paddy rice yield by applying the AquaCrop model in Northern Ghana. Strategies for Building Resilience against Climate and Ecosystem Changes in Sub-Saharan Africa, 2018, pp. 93–116.
16. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu 2020, 2022.
17. IPCC. Annex II: Climate System Scenario Tables (Prather, M., G. Flato, P. Friedlingstein, C. Jones, J.F. Lamarque, H. Liao and P. Rasch (eds.)). Proceeding of the Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - Stocker, T.F., D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.
18. Raes, D.; Steduto, P.; Hisao, T.; Fereres, E. Reference manual AquaCrop version 7.0, FAO, Rome. 2023.
19. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo đánh giá khí hậu quốc gia, 2021.
20. Steduto.; Pasquale, et al. Crop yield response to water. Rome: FAO, 2012, 1028.
21. Cục thống kê tỉnh Tuyên Quang. Niên giám thống kê tỉnh Tuyên Quang, 2022.
22. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. TCVN 8641: 2011 Công trình thủy lợi kỹ thuật tưới tiêu nước cho cây lương thực và cây thực phẩm, 2011.
23. Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. Thông tin các đơn vị được cấp giấy chứng nhận sản suất lúa hữu cơ tại tỉnh Tuyên Quang, 2021.
24. Thư, Đ. Sản xuất lúa chất lượng theo hướng hữu cơ gắn với doanh nghiệp tiêu thụ sản phẩm,2023. Trực tuyến: https://baotuyenquang.com.vn/san-xuat-lua-chat-luong-

theo-huong-huu-co-gan-voi-doanh-nghiep-tieu-thu-san-pham-180737.html (ngày 23 tháng 04 năm 2024).
25. Minh, T.T.T.; Hòe, V.T. Tác động của biến đổi khí hậu đến năng suất lúa tại tỉnh Thái Bình, *Tạp chí khoa học Tài nguyên và Môi trường* ***2020***, *(34)*, 47–54.
26. Liễu, N.T.; Giang, N.T. Biến đổi khí hậu và năng suất lúa ở tỉnh Quảng Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, *667*, 21–26.
27. Campbell, B.M.; Vermeulen, S.J.; Aggarwal, P.K.; Corner-Dolloff, C.; Girvetz, E.; Loboguerrero, A.M.; Villegas, J.R.; Rosenstock, T.; Sebastian, L.; Thornton, P.K.; Wollenberg, E. Reducing risks to food security from climate change. *Global Food Secur*. **2016**, *11*, 34–43.
28. Tao, F.; Palosuo, T.; Rötter, R.P.; Díaz-Ambrona, C.G.H.; Mínguez, M.I.; Semenov, M.A., ... Schulman, A.H. Why do crop models diverge substantially in climate impact projections? A comprehensive analysis based on eight barley crop models. *Agric. For. Meteorol.* **2020**, *281*, 107851.

Assessing the impact of climate change on organic rice productivity in Tuyen Quang province

Nguyen Thị Lieu[1]*, Nguyen The Chinh[1], Tran Trung Cuong[2], Nguyen Van Dai[1], Ta Thi Ngoc Ha[3]

[1] Institute of Hydrology and Meteorology Science and Climate Change (IMHEN); lieuminh2011@gmail.com; thechinhnguyen@gmail.com; nguyendai.tv@gmail.com
[2] Vietnam National University, Hanoi School of Interdisciplinary Scienes and Arts; cuongtranws@gmail.com
[3] Institute of Management for Agricultural and Rural Development; tangocha179@gmail.com

Abstract: Organic rice production began in Tuyen Quang province in 2019 with several pilot projects, since then, significant advancements have been made, enhancing food security and reducing poverty for the locals. However, organic rice production is currently facing numerous obstacles, including both external and internal factors, of which climate change stands out as a critical concern that can negatively impact future organic rice yields in the entire region of Tuyen Quang province. Projections based on climate change scenarios indicate that, under both RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios, rice yields in all districts/ cities of Tuyen Quang are expected to rise in both seasons compared to the baseline period. Specifically, under the RCP 4.5 scenarios, rice yields are predicted to increase by 23.3% in the Winter-Spring season and 29.77% in the major cropping season by the end of the century. The RCP 8.5 scenarios forecasts even greater increases of 38.24% in the Winter-Spring season and 30.01% in the major cropping season by the end of the century.

Keywords: Organic rice productivity; Climate change; Tuyen Quang; RCP 4.5, RCP 8.5.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Ứng dụng AHP kết hợp TOPSIS lựa chọn phương án khai thác sử dụng không gian biển phù hợp trên địa bàn huyện Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu

Nguyễn Hải Âu[1]*, Nguyễn Thanh Điền[2]

[1] Viện Môi trường và Tài nguyên - Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh; haiauvtn@gmail.com

[2] Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu; dienbhd@gmail.com

*Tác giả liên hệ: haiauvtn@gmail.com; Tel.: +84–989115280

Ban Biên tập nhận bài: 20/3/2024; Ngày phản biện xong: 29/4/2024; Ngày đăng bài: 25/8/2024

Tóm tắt: Khai thác sử dụng không gian biển hướng đến mục tiêu phát triển Côn Đảo bền vững. Nghiên cứu này ứng dụng trọng số AHP kết hợp với kỹ thuật tích hợp ra quyết định TOPSIS xếp hạng thứ tự các phương án đánh giá hỗ trợ lựa chọn phương án phù hợp nhất. Dữ liệu được thu thập từ ý kiến các chuyên gia (ý kiến chuyên gia về mức độ quan trọng của các tiêu chí và mức độ phù hợp của các phương án trong định hướng khai thác sử dụng không gian biển) và các tài liệu theo 03 nhóm (Bảo vệ môi trường; Phát triển kinh tế và Cộng đồng xã hội). Kết quả tính toán AHP đã xác định được bộ trọng số cho các tiêu chí cấp 1 và cấp 2 có độ tin cậy được đánh giá cao dựa vào hệ số nhất quán CR nhỏ hơn 0,1. Từ giá trị trọng số tính toán được, kết quả mô hình tích hợp AHP-TOPSIS đã lựa chọn được phương án 2, kết hợp chặt chẽ giữa phát triển cảng biển với quản lý bảo vệ môi trường, bảo đảm sự phát triển bền vững, gắn liền với yêu cầu bảo đảm an ninh, quốc phòng. Gắn kết phát triển các hình thức du lịch với sự phát triển của cộng đồng dân cư, tạo công ăn việc làm cho người dân địa phương, nâng cao nhận thức về bảo tồn tài nguyên thiên nhiên. Theo phương án được chọn, huyện Côn Đảo được phân chia thành 5 vùng phát triển đáp ứng được với các tiêu chí hướng đến phát triển bền vững: (1) Vùng phát triển du lịch và bảo tồn thiên nhiên; (2) Vùng phát triển du lịch; (3) Vùng không gian biển sử dụng cho bảo tồn và nghiên cứu khoa học (4) Vùng vận tải biển và dịch vụ cảng; (5) Vùng phát triển cảng cá và khu neo đậu tránh trú bão.

Từ khóa: AHP; TOPSIS; Không gian biển; Côn Đảo; Bà Rịa - Vũng Tàu.

1. Đặt vấn đề

Quy hoạch không gian biển (QHKGB) hay còn gọi là định hướng khai thác sử dụng không gian biển, nhằm phân tích và phân bổ sự phân bố không gian của các hoạt động của con người ở các khu vực biển để đạt được các mục tiêu sinh thái, kinh tế và xã hội, ngày càng được coi là một hoạt động quan trọng để biến việc quản lý các vùng biển dựa trên hệ sinh thái thành hiện thực [1]. Quy hoạch không gian biển xuất phát cách đây khoảng 30 năm, từ hoạt động phân vùng chức năng ở Công viên biển quốc tế rạn san hô Great Barrier, đông bắc Australia [2], cho phép các hoạt động đa mục đích, bao gồm duy trì đa dạng sinh học và hệ sinh thái (HST) tạo ra dải san hô lớn, quản lý tác động của việc gia tăng hoạt động giải trí, mở rộng du lịch và thương mại,... đồng thời quản lý các tác động rủi ro ô nhiễm từ đất liền và hàng hải, bảo vệ được các khu vực cụ thể. Những năm sau đó, phân vùng chức năng được áp dụng rộng rãi trong các hoạt động quản lý hệ thống các khu bảo tồn biển (KBTB) toàn

cầu, khu vực và các quốc gia. Các nhà ra quyết định xem đây là công cụ kỹ thuật hữu hiệu trong quá trình triển khai kế hoạch quản lý sau khi được cơ quan có thẩm quyền phê duyệt. Đặc biệt, hầu hết các ứng dụng tốt về phân vùng chức năng được áp dụng trong quản lý KBTB và các khu dự trữ tự nhiên biển ở Hoa Kỳ [3].

Trong những năm gần đây, các quốc gia khác nhau đã bắt đầu sử dụng QHKGB hoặc quy hoạch đại dương để giảm thiểu các xung đột và sử dụng tài nguyên biển, ven biển bền vững hơn. Tại Bỉ [3], QHKGB nhằm mục đích đạt được cả hai mục tiêu về kinh tế và sinh thái, bao gồm phát triển các "khu vực phong điện" ngoài khơi, phân định các KBTB, kế hoạch khai thác cát/sỏi bền vững, lập bản đồ các nơi cư trú, bảo vệ các giá trị đa dạng sinh học và quản lý các hoạt động trên đất liền có ảnh hưởng đến môi trường biển. Tương tự, tại Hoa Kỳ [4], chính sách quốc gia đã xác định QHKGB và vùng bờ là một trong chín mục tiêu ưu tiên quốc gia và cung cấp một khuôn khổ linh hoạt cho QHKGB và vùng bờ để giải quyết các vấn đề về bảo tồn, kinh tế, xung đột giữa những người sử dụng và sử dụng bền vững các đại dương, vùng bờ và hồ lớn. Ngoài ra, còn có nhiều sáng kiến khác của Trung Quốc [5], Đức [6], Anh [7], tại khu bảo tồn biển Wadden [8] được xác định là vùng biển đặc biệt nhạy cảm (PSSA). PSSA là các quốc gia ven biển có thể sử dụng năng lực hiện có để điều chỉnh hành trình của tàu đi qua vùng lãnh hải. Khu vực phải đáp ứng ít nhất một tiêu chí về sinh thái, kinh tế - xã hội hoặc các tiêu chí khoa học được quy định trong "hướng dẫn xác định vùng biển đặc biệt nhạy cảm" của IMO. Hơn nữa, khu vực phải là vùng chịu tác động rủi ro do hoạt động của tàu biển.

Các nghiên cứu trên thế giới đã đề xuất một hệ thống hỗ trợ quyết định nhằm cải thiện đáng kể việc ra quyết định của các bên liên quan trong việc quy hoạch sử dụng không gian bằng mô hình tích hợp quy trình phân tích thứ bậc (AHP) cùng với kỹ thuật ưu tiên thứ tự theo độ tương tự với giải pháp lý tưởng (TOPSIS) trong nhiều ngành khác nhau. Nghiên cứu [9] đã sử dụng AHP và fuzzy AHP để tính toán trọng số và thứ hạng của các chỉ số nhằm xác định các chỉ số quan trọng trong quy hoạch cơ sở hạ tầng xanh do biến đổi khí hậu cho hệ sinh thái dòng suối. Tương tự, nghiên cứu [10] cũng sử dụng phương pháp đa tiêu chí này tại Thụy Điển để lập kế hoạch quản lý rừng dài hạn. Thổ Nhĩ Kỳ [11] đã tiếp cận nghiên cứu lựa chọn sân bay vũ trụ phù hợp để phóng vệ tinh bằng cách ứng dụng AHP-TOPSIS.

Mô hình tích hợp AHP-TOPSIS còn được ứng dụng quy hoạch sử dụng không gian cho môi trường biển. Các ví dụ điển hình như [12] đã ứng dụng mô hình AHP-TOPSIS nhằm đánh giá việc lựa chọn quản lý nước dằn và trầm tích của tàu theo công ước quốc tế cho tàu buôn bán ở Hoa Kỳ, giảm thiểu việc truyền vi sinh vật gây bệnh đến các khu vực sinh thái biển nhạy cảm, thông qua chấn lưu của tàu thuyền. Tại Trung Quốc [13] đã ứng dụng mô hình tích hợp AHP-TOPSIS để đề xuất giải pháp an ninh sinh thái hoạt động chăn nuôi trên biển. Tại công viên hải dương Ningaloo, Tây Úc [14] đã sử dụng AHP-TOPSIS để đánh giá các chiến lược quản lý hoạt động câu cá giải trí dựa trên tác nhân tích hợp để mô phỏng hành vi câu cá giải trí và động lực hệ sinh thái rạn san hô trong khu vực. Tương tự, tại Đài Loan [15] và Thổ Nhĩ Kỳ [16] đã ứng dụng tích hợp mô hình để đưa ra quyết định ưu tiên bảo vệ bờ biển trên Bờ biển và xác định vị trí tối ưu cho trung tâm ứng phó sự cố tràn dầu.

Tại Việt Nam, phân vùng chức năng phục vụ quản lý khu bảo tồn biển đầu tiên được thực hiện tại Hòn Mun vào năm 2004 [17, 18] và nay là KBTB vịnh Nha Trang. Khu vực bảo tồn này được chia thàng bốn vùng, gồm: Vùng bảo vệ nghiêm ngặt, vùng phục hồi sinh thái, vùng chuyển tiếp và vùng phát triển. Việc phân vùng như vậy ban đầu chỉ lấy mục tiêu bảo tồn đa dạng sinh học làm trọng tâm, sau đó đã bổ sung tiêu chí "cải thiện sinh kế cho những người dân sống trong và lân cận KBTB". Tại TP. Đà Nẵng, Vịnh Hạ Long phân vùng không gian vùng bờ được thực hiện dựa trên 15 nguyên tắc phân vùng chức năng vùng bờ và theo các bước quy định trong hướng dẫn của PEMSEA, trong đó chú trọng bảo tồn, du lịch và phát triển các ngành kinh tế dựa vào biển [17, 18].

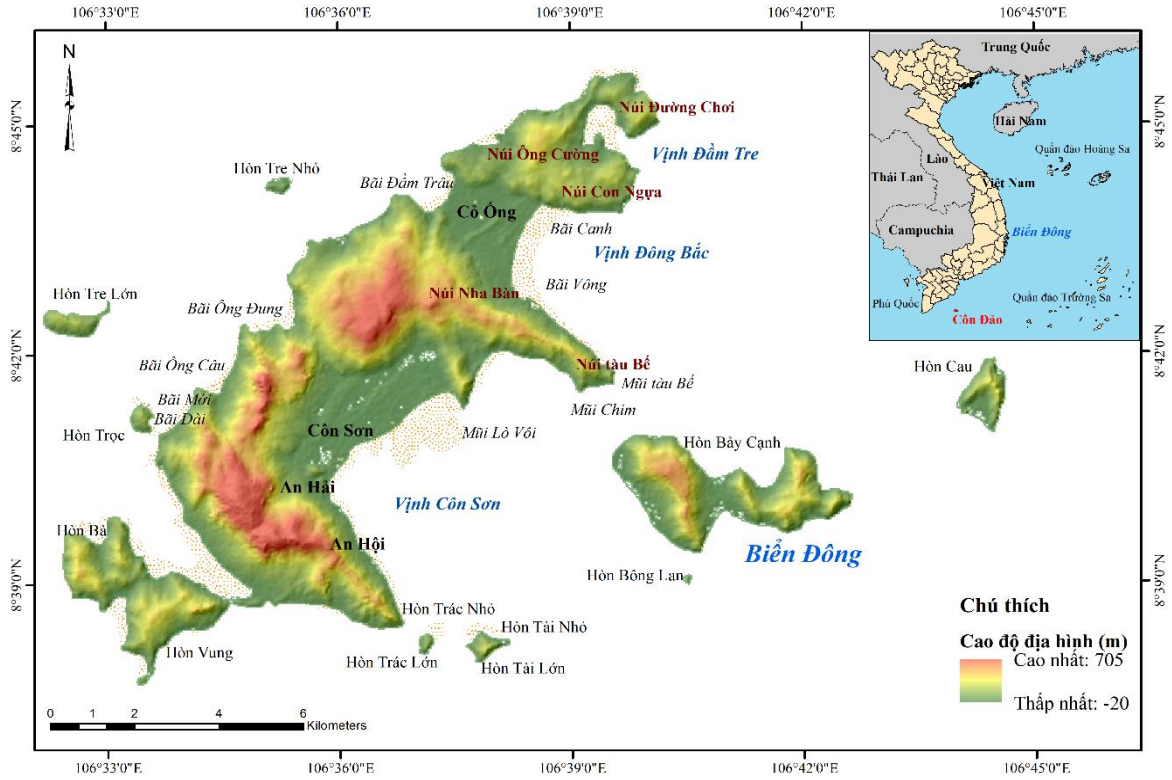
Với quá trình phát triển kinh tết - xã hội (KT-XH), các tác động xâm hại đến môi trường tự nhiên trở nên trầm trọng hơn. Các chất thải sinh hoạt và chất thải từ các hoạt động du lịch

chưa được xử lý đã gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng tại một số vùng ven biển. Bên cạnh đó, những rủi ro tiềm tàng của các hoạt động phát triển chưa hợp lý, kết hợp với những tác động của thiên tai đã làm nảy sinh và tiềm ẩn các thảm họa, trong đó có sự cố tràn dầu, tràn hoá chất, các tai nạn giao thông và vấn đề xói lở bờ biển. Từ thực tiễn nói trên, việc phân vùng chức năng khai thác, sử dụng không gian biển huyện Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu là vô cùng cần thiết và cấp bách, làm tư liệu cho các cơ quan quản lý để có giải pháp và chiến lược quản lý hiệu quả không gian biển.

2. Tài liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vùng nghiên cứu

Côn Đảo là một huyện đảo ở phía Đông Nam Biển Đông thuộc tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu với 16 hòn đảo lớn nhỏ nằm giữa đại dương cách TP. Vũng Tàu 185 km, có diện tích đảo chính khoảng 51,32 km^2. Địa hình Côn Đảo chủ yếu là đồi núi (chiếm 88% diện tích tự nhiên). Độ cao thay đổi từ 2 m đến 577 m, trung bình 200-300 m. Côn Đảo có hệ thống trục đường bao quanh đảo tổng chiều dài khoảng 70 km. Đường chính bắt đầu từ cảng hàng không Côn Đảo - Trung tâm - cuối tuyến Bến Đầm với tổng chiều dài khoảng 30 km. Tại Trung tâm huyện là đô thị mới quy hoạch xây dựng đường giao thông đi lại thuận tiện với tổng chiều dài khoảng 80 km đường bê tông nhựa. Côn Đảo có ba cầu cảng chính là: cầu cảng Bến Đầm - Côn Đảo; cầu tàu du lịch Côn Đảo; cầu tàu 9147. Sân bay Côn Đảo có đường băng, cất, hạ cánh dài 1.830 m, đón các loại máy bay ATR72 và tương đương, sân đỗ đạt diện tích 13.320 m^2. Đường bờ biển có chiều dài khoảng 200 km. Hệ thống công trình phòng thủ trên đảo đã và đang xây dựng theo Quyết định của Bộ Quốc phòng và phát triển một số dự án tuyến ven biển. Vườn quốc gia Côn Đảo có diện tích gần 20.000 ha, trong đó gần 6.000 ha là diện tích bảo tồn rừng và khoảng 14.000 ha diện tích bảo tồn biển. Ngoài ra có vùng đệm biển bao quanh các phân khu khoảng 20.500 ha. Thảm thực vật của vườn quốc gia mang tính đặc trưng tiêu biểu cho hệ sinh thái rừng nhiệt đới, hải đảo và đa dạng cao về hệ sinh thái và là sinh cảnh của nhiều loài động thực vật đặc hữu của Việt Nam nói riêng, khu vực Đông Nam Á và thế giới nói chung. Vườn Quốc gia Côn Đảo được công nhận là khu Ramsar thứ 2.203 của Thế giới và thứ 6 của Việt Nam, đặc biệt vườn quốc gia Côn Đảo là khu Ramsar biển đầu



Hình 1. Vị trí vùng nghiên cứu.

tiên của nước ta, đã tạo điều kiện thuận lợi cho công tác bảo tồn đa dạng sinh học, đồng thời là cơ hội để Côn Đảo phát triển bền vững, nâng cao giá trị vườn quốc gia Côn Đảo theo định hướng của chính phủ; xây dựng Côn Đảo thành khu kinh tế mang tính chất du lịch văn hóa - lịch sử và dịch vụ chất lượng cao của quốc gia, gắn với bảo tồn và tôn tạo di tích lịch sử quốc gia đặc biệt, trở thành đô thị di sản trong tương lai. Với những lợi thế về tiềm năng tài nguyên sinh thái, di tích lịch sử, môi trường hoang sơ,… Côn Đảo hội tụ đầy đủ các tiềm năng, hiếm địa phương nào có được để khai thác phát triển bền vững dịch vụ du lịch biển, đảo chất lượng cao theo chủ trương định hướng của Thủ tướng Chính phủ [19].

2.2. Tài liệu

Trong nghiên cứu này, dữ liệu được thu thập bằng phiếu từ 09 chuyên gia bao gồm ý kiến về mức độ quan trọng của các tiêu chí (sử dụng phân tích *AHP - Analytic Hierarchy Process*) và ý kiến về mức độ phù hợp của các phương án (sử dụng phân tích *TOPSIS - Technique for order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) trong định hướng khai thác sử dụng không gian biển) và các tài liệu (hiện trạng tài nguyên biển, hiện trạng sử dụng không gian biển, các vấn đề môi trường) từ ban quản lý vườn quốc gia Côn Đảo, UBND huyện Côn Đảo và các Sở ban ngành trong tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu.

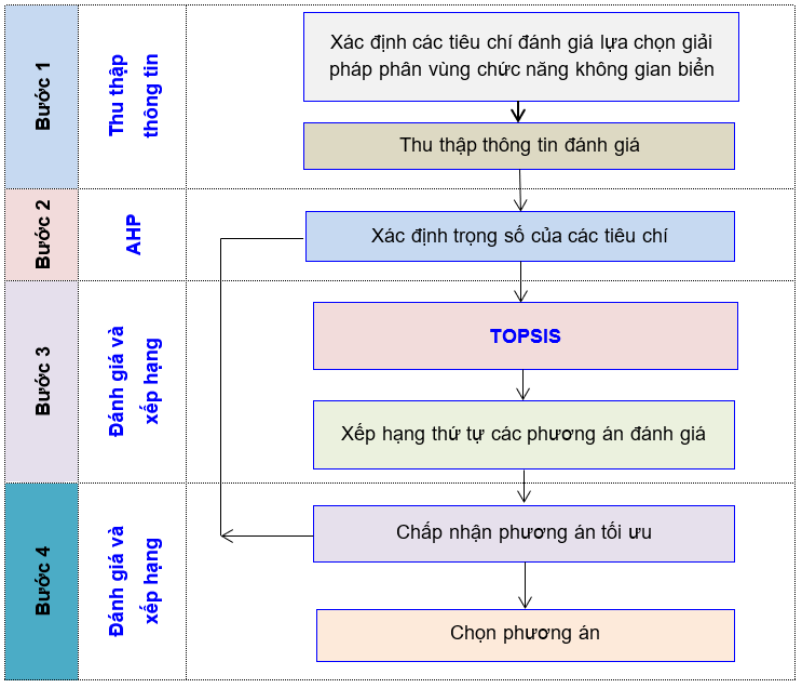
2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu thu thập, điều tra và lấy ý kiến chuyên gia được xử lý bằng phần mềm EXCEL thuộc bộ phần mềm Microsoft Office 365.

2.3.2. Mô hình tích hợp AHP - TOPSIS

Dựa trên bộ tiêu chí định hướng khai thác sử dụng không gian biển, nghiên cứu này đã áp dụng mô hình tích hợp AHP - TOPSIS làm cơ sở đánh giá và đưa ra quyết định lựa chọn phương án khả thi nhất, loại bỏ được một số nhược điểm mà các phương pháp đem lại. Cách tiếp cận nghiên cứu và các bước trong tiến trình thực hiện được trình bày trong Hình 2. Trong đó, phương pháp phân tích thức bậc AHP được sử dụng ở bước 2 nhằm xác định trọng số của các tiêu chí làm cơ sở cho bước 3 là đánh giá, xếp hãng thứ tự các phương án đánh giá theo mô hình ra quyết định TOPSIS.

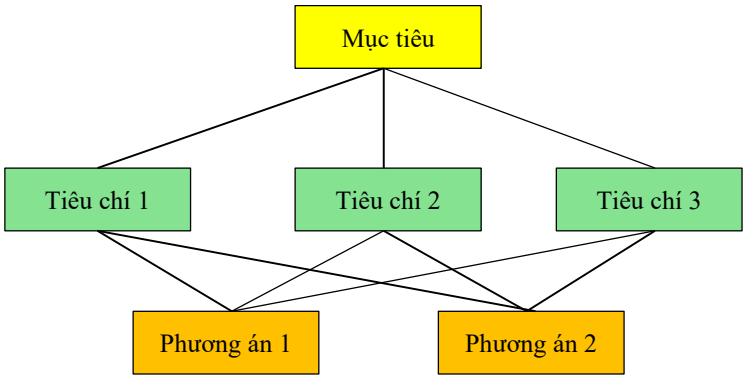


Hình 2. Sơ đồ tiến trình thực hiện mô hình tích hợp AHP-TOPSIS.

a) Tiến trình phân tích cấp bậc AHP

AHP được đề xuất như là một kỹ thuật phân tích liên hệ các yếu tố với mục tiêu tổng thể và đánh giá các giải pháp để đánh giá các lựa chọn thay thế đa thuộc tính phức tạp giữa một hoặc nhiều người ra quyết định [20]. Các bước thực hiện phân tích trọng số tiêu chí như sau:

Bước 1: Phân tích, nhận dạng các vấn đề ra quyết định và xây dựng cây phân cấp thứ bậc AHP phân tích một vấn đề phức tạp, đa tiêu chí theo cấu trúc thứ bậc. Xây dựng mô hình cây phân cấp thứ bậc gồm ba mức: Mức mục tiêu, mức tiêu chí và mức các phương án lựa chọn (Hình 3).



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc thứ bậc.

Sơ đồ cấu trúc thứ bậc bắt đầu với mục tiêu, được phân tích qua các tiêu chí lớn và các tiêu chí thành phần, cấp bậc cuối cùng thường bao gồm các phương án có thể lựa chọn. Quá trình đánh giá sử dụng ma trận so sách cặp với thang điểm 9, xác định trọng số dựa trên vector riêng ứng với giá trị riêng lớn nhất, sau đó kiểm tra hệ số nhất quán. Cuối cùng, tất cả các trọng số được tổng hợp lại để đưa ra quyết định tốt nhất. Quá trình phân tích, xác định các trọng số theo AHP được mô tả chi tiết trong các tài liệu tham khảo [20].

Bước 2: Xây dựng ma trận so sánh giữa các tiêu chí

Trên cơ sở xây dựng cây thứ bậc ở bước 1, tiến hành thiết lập ma trận từ việc thực hiện so sánh giữa các cặp tiêu chí ở các bậc khác nhau theo thang điểm 9. Lập ma trận so sánh cặp:

Bảng 1. Ma trận so sánh cặp các tiêu chí.

i \ j	**Tiêu chí 1**	**Tiêu chí 2**	**Tiêu chí 3**	**Tiêu chí n**
Tiêu chí 1	1,00	a_{12}	a_{13}	a_{1n}
Tiêu chí 2	$1/a_{12}$	1,00	a_{23}	a_{2n}
Tiêu chí 3	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1,00	a_{3n}
Tiêu chí n	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	$1/a_{3n}$	1,00

Mức độ quan trọng tương đối của tiêu chí i so với j (từng tiêu chí cột i so với từng tiêu chí hàng j) được tính theo tỷ lệ a (a từ 1 đến 9), ngược lại của tiêu chí j so với i là 1/a. Để biểu thị so sánh, sử dụng thương số để chỉ độ quan trọng của tiêu chí này với tiêu chí kia. Do đó a_{12}, a_{13}, a_{1n}… là giá trị so sánh độ quan trọng của tiêu chí 1 đối với tiêu chí 2, 3,… n. Để so sánh mức độ quan trọng của các tiêu chí với nhau ta dùng thang điểm từ 1-9 [20].

Bảng 2. Thang mức độ quan trọng của các tiêu chí.

Độ mạnh trọng số	**Định nghĩa**	**Giải thích**
1	Tầm quan trọng bằng nhau	Hai tiêu chí dự phần vào mục tiêu bằng nhau
3	Quan trọng hơn một ít	Đánh giá tiêu chí này quan trọng hơn tiêu chí kia một ít.
5	Cần thiết hay khá quan trọng	Đánh giá tiêu chí này mạnh hơn so với tiêu chí kia
9	Quan trọng tuyệt đối	Thống kê số liệu chứng tỏ một tiêu chí là tác động mục tiêu cao nhất.

Độ mạnh trọng số	Định nghĩa	Giải thích
2,4,6,8	Các giá trị trung gian giữa hai mức giá trị gần nhau	Dùng để hài hòa với các ưu tiên nêu trên.
Các phân số		Nếu tiêu chí i có một trên các giá trị trên khi so sánh với j, sau đó tiêu chí j có giá trị nghịch đảo khi so sánh với tiêu chí i.

Bước 3: Xác định trọng số tầm quan trọng của các tiêu chí và phương án

Dùng phương pháp trung bình học theo dòng (*Row Geometric Mean Method (RGMM)*) để tính trọng số bằng cách nhân các giá trị trong mỗi hàng với nhau và tính căn thứ n của các giá trị.

$$w_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^{n} a_{ij}} \quad (1)$$

Trong đó w_i (với i=1, 2, … n) là trọng số của từng tiêu chí; a_{ij}: là giá trị so sánh cặp của từng tiêu chí theo hàng.

Chuẩn hóa tập trọng số $W = (w_1, w_2, ..., w_i, ..., w_n)$ theo công thức:

$$w = \left(\frac{w_1}{\sum w_i}, \frac{w_2}{\sum w_i}, ... \frac{w_n}{\sum w_i} \right) \quad (2)$$

Từ tập trọng số chuẩn hóa, ta tìm được trọng số của một tiêu chí.

Bước 4: Kiểm tra tính nhất quán trong các đánh giá

Để kiểm tra tính nhất quán trong khi đánh giá cho từng cấp, ta dùng tỷ số nhất quán của dữ liệu (*Consistency Ratio - CR*). Tỷ số này so sánh mức độ nhất quán với tính khách quan (ngẫu nhiên) của dữ liệu. Nếu tỷ số này nhỏ hơn hay bằng 0,1 nghĩa là sự đánh giá của người ra quyết định tương đối nhất quán. Ngược lại, ta phải tiến hành đánh giá lại ở cấp tương ứng.

Tỷ số nhất quán:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

Trong đó CI là chỉ số nhất quán (*Consistency Index*); RI: chỉ số ngẫu nhiên (*Random Index*) được xác định từ Bảng 3.

- Tính chỉ số nhất quán CI:

Bảng 3. Các công thức dùng tính CI.

	Công thức	
Ta có vecto trọng số	$\overline{w} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_n \end{bmatrix}$	(4)
Từ ma trận so sánh cặp	$A = \begin{bmatrix} a_{11} a_{12} a_{1n} \\ a_{21} a_{22} a_{2n} \\ a_{31} a_{32} a_{3n} \end{bmatrix}$	(5)
Nhân ma trận A với vectơ trọng số W	$A.\bar{w} = \begin{bmatrix} a_{11}w_1 a_{12}w_2 a_{1n}w_2 \\ a_{21}w_1 a_{22}w_2 a_{2n}w_2 \\ a_{31}w_1 a_{32}w_2 a_{3n}w_2 \end{bmatrix}$	(6)
Tính tổng các giá trị trong một hàng ta được vecto B	$\overline{B} = \overline{A}.\overline{w} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_n \end{bmatrix}$	(7)
Trong đó:	$b_1 = a_{11}w_1 + a_{12}w_2 + a_{1n}w_n$ $b_2 = a_{21}w_1 + a_{22}w_2 + a_{2n}w_n$ $b_n = a_{31}w_1 + a_{32}w_2 + a_{3n}w_n$	(8)
Chia mỗi phần tử của vectơ B cho thành tố tương ứng trong vectơ trọng số W cho ta vectơ mới	$\overline{c} := \begin{bmatrix} b_1/w_1 \\ b_2/w_2 \\ b_n/w_n \end{bmatrix} \rightleftarrows = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_n \end{bmatrix}$	(9)
Tính Lambda (λ_{max}: giá trị riêng ma trận so sánh) là trung bình của các thành tố của vectơ c	$\lambda \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} c_1 \quad _{max}$	(10)

Có được giá trị Lamda ta tính chỉ số nhất quán:

$$CI=\frac{\lambda_{max}}{n-1} \quad (11)$$

Trong đó CI là chỉ số nhất quán; n là số tiêu chí trong ma trận so sánh cặp A.

Bảng 4. Chỉ số ngẫu nhiên.

n	3	4	5	6	7	8	9	>9
RI	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tỷ số nhất quán CR thể hiện tính nhất quán khi thực hiện các so sánh cặp. Tỷ số nhất quán thấp có nghĩa là quyết định của người ra quyết định có tính nhất quán:

CR ≤ 0,10, quyết định của nhà ra quyết định của so sánh cặp tương đối nhất quán nên không cần điều chỉnh.

CR > 0,10, nhà ra quyết định nên nghiêm túc xem xét, đánh giá và phân tích lại so sánh cặp.

b) Kỹ thuật TOPSIS

Phương pháp dùng để đánh giá xếp hạng các phương án đã đề xuất nhằm đưa ra sự lựa chọn hiệu quả hợp lí nhất phù hợp với các tiêu chí đề ra một cách khoa học, khách quan và hạn chế những yếu tố mang tính chất chủ quan, được phát triển bởi [21]. Phương án tốt nhất nếu lựa chọn có giá trị gần nhất so với các lời giải lý tưởng tích cực và ngược lại. Các bước thực hiện kỹ thuật này như sau:

Bước 1: Xây dựng ma trận chuẩn hóa. Giá trị chuẩn hóa rij được tính toán như sau:

Khi có giá trị điểm số đánh giá các phương án trong từng tiêu chí. Các đánh giá tùy thuộc vào từng thang điểm đánh giá của người ra quyết định.

Bảng 5. Đánh giá các phương án trong từng tiêu chí.

	Phương án 1	**Phương án 2**	**Phương án 3**	**Phương án J**	**Trọng số**
Tiêu chí 1	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{1J}	w_1
Tiêu chí 2	f_{21}	f_{22}	f_{23}	f_{2J}	w_2
Tiêu chí 3	f_{31}	f_{32}	f_{33}	f_{3J}	w_3
Tiêu chí n	f_{n1}	f_{n2}	f_{n3}	f_{nJ}	w_n

Tiến hành xây dựng ma trận chuẩn hóa, bằng cách tính giá trị chuẩn hóa r_{ij}:

$$r_{ij}=\frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{J} f_{ij}^2}} \quad (12)$$

Trong đó j là các phương án từ 1,2,….j; i là các tiêu chí từ 1, 2, …..n; f_{ij} là giá trị của tiêu chí thứ i, ứng với phương án thứ j; w_i là trọng số của các tiêu chí, thể hiện tầm quan trọng của các tiêu chí $\sum w_i=1$.

Bước 2: Xây dựng ma trận trọng số chuẩn hóa. Giá trị trọng số v_{ij} được tính như sau:

$$v_{ij} = w_i \times r_{ij} \quad (13)$$

Trong đó w_i là trọng số của tiêu chí thứ i, $\sum_{i=1}^{n} w_i=1$; r_{ij} là giá trị chuẩn hóa.

Ma trận trọng số chuẩn hóa như sau:

$$V=\begin{bmatrix} v_{11} \cdots & v_{1j} \cdots & v_{1J} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ v_{j1} \cdots & v_{ji} \cdots & v_{iJ} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ v_{n1} \cdots & v_{nj} \cdots & v_{nJ} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} w_1r_{11} \cdots & w_1r_{1j} \cdots & w_1r_{1J} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ w_ir_{j1} \cdots & w_ir_{ji} \cdots & w_ir_{iJ} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ w_nr_{n1} \cdots & w_nr_{nj} \cdots & w_nr_{nJ} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Bước 3: Xác định giải pháp lý tưởng tích cực và giải pháp lý tưởng tiêu cực

- Giải pháp lý tưởng tích cực nhất:

$$A^*=\{v_1^*,\ldots,v_n^*\}, \text{ với } v_j^* = \left\{\max_i (v_{ij}) ;|i=1, 2, \ldots, n; j=1, 2, \ldots, J|\right\}$$

- Giải pháp lý tưởng tiêu cực nhất:

$$A^- = \{v_1^-,\ldots,v_n^-\}, \text{ với } v_j^- = \left\{\min_i (v_{ij}) ;|i=1, 2, \ldots, n; j=1, 2, \ldots, J|\right\}$$

Bước 4: Tính các khoảng cách đến giải pháp lý tưởng

- Khoảng cách của mỗi giải pháp đến giải pháp lý tưởng tích cực nhất:

$$D_j^* = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (v_{ij}-v_i^*)^2} \quad (15)$$

Trong đó v_{ij} là giá trị trọng số chuẩn hóa của phương án trong từng tiêu chí; v_i^* là các giá trị trọng số chuẩn hóa lớn nhất.

- Khoảng cách của mỗi giải pháp đến giải pháp lý tưởng tiêu cực nhất:

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (v_{ij}-v_i^-)^2} \quad (16)$$

Trong đó v_{ij} là giá trị trọng số chuẩn hóa của phương án trong từng tiêu chí; v_i^- là các giá trị trọng số chuẩn hóa nhỏ nhất.

Bước 5: Tính toán độ tương tự đến phương án lý tưởng tích cực

- Độ tương tự là giá trị khoảng cách của phương án đó đến phương án lý tưởng tích cực nhất.

$$C_j^* = \frac{D_j^-}{D_j^- + D_j^*} \quad (17)$$

Trong đó C_j^* là độ tương tự của phương án thứ j; D_j^- là khoảng cách đến phương án tiêu cực nhất của phương án thứ j; D_j^* là khoảng cách đến phương án tích cực nhất của phương án thứ j.

Bước 6: Xếp hạng các phương án theo thứ tự nhỏ dần

Phương án có C_j^* max là giải pháp có chỉ số xếp hạng tốt nhất.

Như vậy, phương án có chỉ số xếp hạng (C_j^*) cao nhất là phương pháp tốt nhất trong phương pháp TOPSIS. Tuy nhiên, điều này không có nghĩa là giải pháp đó luôn luôn gần nhất với phương án lý tưởng tích cực.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Bộ tiêu chí định hướng khai thác sử dụng không gian biển

Dựa vào dự thảo "Bộ Tiêu chí phân vùng và tiêu chí, chỉ tiêu quy hoạch trong quy hoạch không gian biển quốc gia và quy hoạch tổng thể khai thác, sử dụng bền vững tài nguyên vùng bờ thời kỳ 2021-2030" của Bộ Tài nguyên và Môi trường và hiện trạng tài nguyên biển, hiện trạng sử dụng không gian biển, các vấn đề môi trường huyện Côn Đảo, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn bộ tiêu chí định hướng khai thác sử dụng không gian biển huyện Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu được thiết lập và thể hiện tại bảng sau.

Bảng 6. Bộ tiêu chí định hướng khai thác sử dụng không gian biển.

STT	Yếu tố cấp 1	Các tiêu chí	Diễn giải
1	Bảo vệ môi trường	Bảo vệ rừng	Bảo vệ nguyên vẹn toàn bộ diện tích rừng và các sinh cảnh rừng.
2		Bảo vệ hệ sinh thái biển	Bảo tồn sự đa dạng của hệ sinh thái biển ở Côn Đảo, nhất là rạn san hô và thảm cỏ biển.
3		Bảo vệ môi trường nước	Các hình thức khai thác sử dụng không gian biển cho mục đích phát triển bến cảng và du lịch sẽ không gây ô nhiễm môi trường nước.
4		Xử lý rác thải	Thực hiện các biện pháp xử lý rác thải từ hoạt động du lịch, xử lý dầu của các tàu, thuyền du lịch, đánh cá.
5	Phát triển kinh tế	Bến cảng, khu neo đậu trú bão	Nhằm phục vụ cho các tàu thuyền, ca nô có nơi cập và neo đậu an toàn, thuận lợi.

STT	Yếu tố cấp 1	Các tiêu chí	Diễn giải
6		Nuôi trồng thủy sản	Nuôi trồng các loại thủy sản phù hợp với điều kiện của vùng sinh thái
7		Du lịch	Phát triển các loại hình du lịch (du lịch sinh thái, biển đảo và văn hóa - lịch sử - tâm linh).
8		Sinh kế người dân	Các hình thức khai thác sử dụng không gian biển góp phần cải thiện sinh kế, nâng cao thu nhập của người dân
9	Cộng đồng xã hội	Giao thông	Có điều kiện thuận lợi về giao thông (cầu đường, tàu thuyền,…)
10		Ý thức cộng đồng	Ý thức về bảo vệ tài nguyên thiên nhiên của cộng đồng địa phương, khách du lịch được nâng cao thông qua công việc khoán bảo vệ rừng, phát triển du lịch sinh thái
11		An toàn xã hội	Đảm bảo trật tự, an toàn xã hội góp phần ổn định chính trị, giữ vững quốc phòng, an ninh đặc biệt đối với vùng biển và ven biển
12		Đời sống dân cư	Người dân được tiếp cận đến các dịch vụ y tế, cung cấp điện, nước sạch, cải tạo cảnh quan, nhà cửa, môi trường sống,...

3.2. Kết quả phân tích trọng số theo phương pháp AHP

Sau khi tiến hành tham khảo ý kiến của các chuyên gia, thực hiện so sánh các tiêu chí định hướng khai thác sử dụng không gian biển huyện Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu và theo đó ma trận A cho bộ tiêu chí được trình bày như sau.

Bảng 7. Bảng tổng hợp trọng số tương ứng các yếu tố cấp 1.

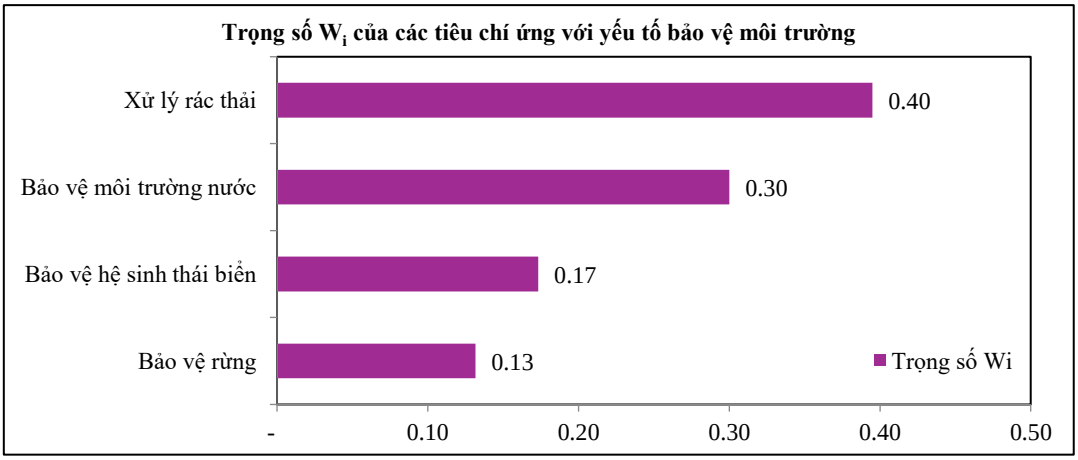
STT	Các yếu tố cấp 1	Trọng số Wi
1	Bảo vệ môi trường	0,64
2	Phát triển kinh tế	0,26
3	Cộng đồng xã hội	0,10

3.2.1. Các tiêu chí ứng với yếu tố bảo vệ môi trường

Để kiểm tra tính nhất quán của trọng số, dựa trên tỷ số CR = CI/RI. Nếu CR < 0,1, kết quả là đáng tin cậy. Vì CR = 0,0568 < 0,1 nên việc tính toán trọng số các tiêu chí là phù hợp nhất quán để kết quả có thể được sử dụng định hướng khai thác sử dụng không gian biển.

Bảng 8. Ma trận kiểm tra tính nhất quán và trọng số tính toán của các tiêu chí cấp 2 ứng với bảo vệ môi trường.

	Bảo vệ rừng	Bảo vệ hệ sinh thái biển	Bảo vệ môi trường nước	Xử lý rác thải	Trọng số W_i
Bảo vệ rừng	0,13	0,17	0,10	0,13	**0,13**
Bảo vệ hệ sinh thái biển	0,13	0,17	0,30	0,13	**0,17**
Bảo vệ môi trường nước	0,39	0,17	0,30	0,39	**0,30**
Xử lý rác thải	0,39	0, 52	0,30	0,39	**0,40**

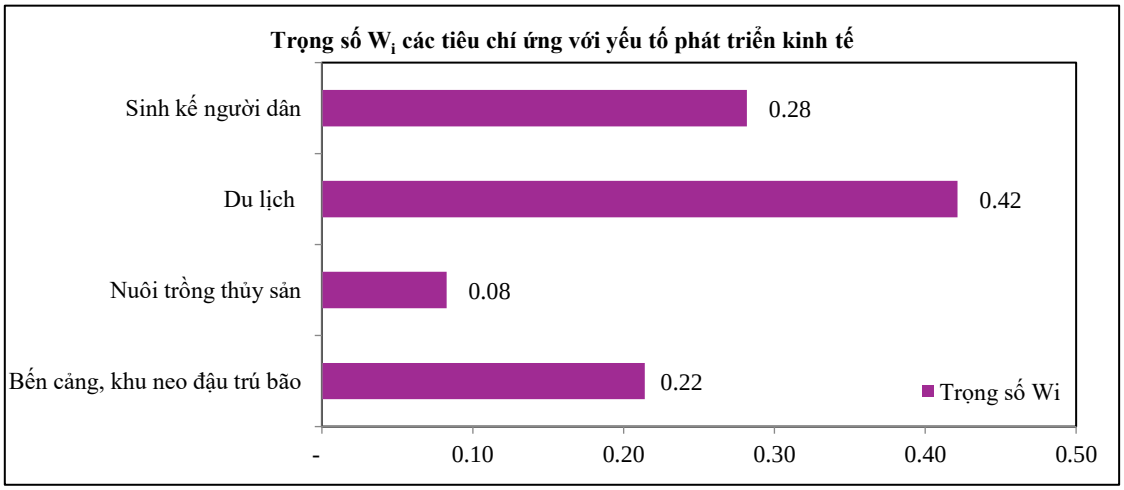


Hình 4. Trọng số W_i của các tiêu chí ứng với yếu tố bảo vệ môi trường.

Dựa vào kết quả tính toán theo phương pháp AHP, tiêu chí quan trọng nhất của bộ yếu tố cấp 1 bảo vệ môi trường là xử lý rác thải (Hình 4).

3.2.2. Các tiêu chí ứng với yếu tố phát triển kinh tế

Kết quả so sánh cặp các tiêu chí ứng với yếu tố phát triển kinh tế được thể hiện trong bảng 9. Để kiểm tra tính nhất quán của trọng số, dựa trên tỷ số CR = CI/RI. Nếu CR<0,1, kết quả là đáng tin cậy. Vì CR= 0,0425 <0,1 nên việc tính toán trọng số các tiêu chí là phù hợp nhất quán để kết quả có thể được sử dụng để phân vùng chức năng và định hướng khai thác sử dụng không gian biển.



Hình 5. Trọng số W_i của các tiêu chí ứng với yếu tố phát triển kinh tế.

Dựa vào kết quả tính toán theo phương pháp AHP, tiêu chí quan trọng nhất của bộ yếu tố cấp 1 phát triển kinh tế là tiêu chí du lịch (Hình 5).

Bảng 9. Ma trận kiểm tra tính nhất quán và trọng số tính toán của các tiêu chí cấp 2 ứng với phát triển kinh tế.

	Bến cảng, khu neo đậu trú bão	**Nuôi trồng thủy sản**	**Du lịch**	**Sinh kế người dân**	**Trọng số Wi**
Bến cảng, khu neo đậu trú bão	0,21	0,25	0,14	0,28	**0,22**
Nuôi trồng thủy sản	0,07	0,08	0,08	0,09	**0,08**
Du lịch	0,64	0,41	0,42	0,28	**0,42**
Sinh kế người dân	0,21	0,25	0,42	0,28	**0,28**

3.2.3. Các tiêu chí ứng với yếu tố cộng đồng xã hội

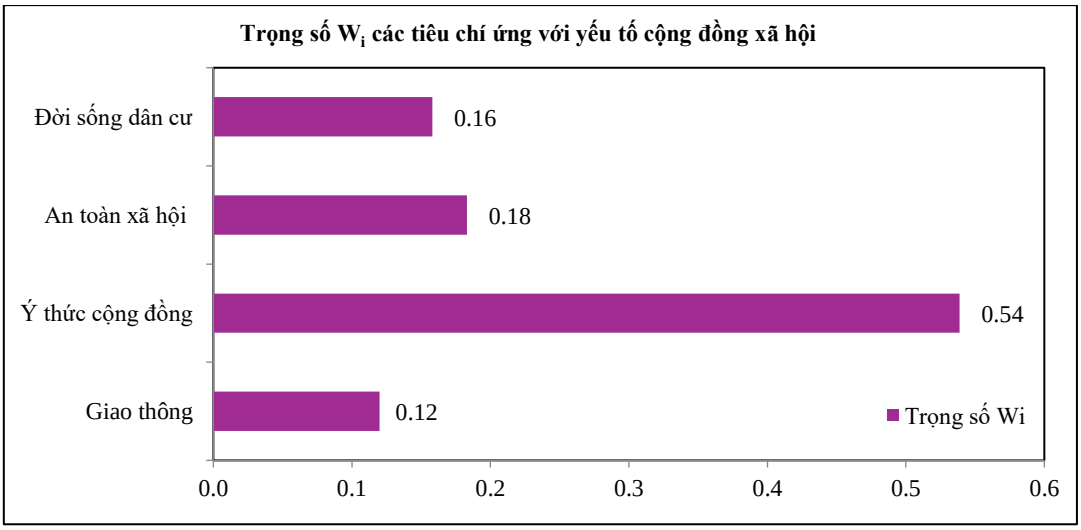
Kết quả so sánh cặp các tiêu chí ứng với yếu tố cộng đồng xã hội được thể hiện trong bảng 10.

Bảng 10. Ma trận kiểm tra tính nhất quán và trọng số tính toán của các tiêu chí cấp 2 ứng với cộng đồng xã hội.

	Giao thông	**Ý thức cộng đồng**	**An toàn xã hội**	**Đời sống dân cư**	**Trọng số Wi**
Giao thông	0,12	0,18	0,06	0,16	**0,12**
Ý thức cộng đồng	0,36	0,54	0,92	0,47	**0,54**
An toàn xã hội	0,36	0,11	0,18	0,16	**0,18**
Đời sống dân cư	0,12	0,18	0,18	0,16	**0,16**

Ma trận kiểm tra tính nhất quán và trọng số của các tiêu chí ứng với cộng đồng xã hội được tính toán và trình bày trong bảng sau.

Để kiểm tra tính nhất quán của trọng số, dựa trên tỷ số CR = CI/RI. Nếu CR < 0,1, kết quả là đáng tin cậy. Vì CR = 0,0965 < 0,1 nên việc tính toán trọng số các tiêu chí là phù hợp nhất quán để kết quả có thể được sử dụng định hướng khai thác sử dụng không gian biển.



Hình 6. Trọng số W_i của các tiêu chí ứng với yếu tố cộng đồng xã hội.

Dựa vào kết quả tính toán theo phương pháp AHP, tiêu chí quan trọng nhất của bộ yếu tố cấp 1 cộng đồng xã hội là tiêu chí ý thức cộng đồng là ý thức về bảo vệ tài nguyên thiên nhiên của cộng đồng địa phương, khách du lịch được nâng cao thông qua công việc khoán bảo vệ rừng, phát triển du lịch sinh thái.

3.3. Các phương án khai thác sử dụng không gian biển huyện Côn Đảo

Phương án 1: Phát triển hướng đến đẩy mạnh nền kinh tế: Đẩy mạnh phát triển các cảng biển, tận dụng tối đa lợi thế về vị trí địa lý và điều kiện tự nhiên để phát triển toàn diện hệ thống các cảng biển. Đầu tư xây dựng kết cấu hạ tầng khách sạn và các công trình dịch vụ du lịch, nâng cấp phát triển hệ thống hạ tầng giao thông nhằm tạo điều kiện thuận lợi để phát triển du lịch sinh thái, du lịch văn hóa, du lịch biển,…

Phương án 2: Phát triển hướng đến bền vững: Kết hợp chặt chẽ giữa phát triển cảng biển với quản lý bảo vệ môi trường, bảo đảm sự phát triển bền vững, gắn liền với yêu cầu bảo đảm an ninh, quốc phòng. Gắn kết phát triển các hình thức du lịch với sự phát triển của cộng đồng dân cư, tạo công ăn việc làm cho người dân địa phương, nâng cao nhận thức về bảo tồn tài nguyên thiên nhiên.

Dựa vào kết quả từ các phiếu tham vấn ý kiến chuyên gia, điểm số của từng phương án phân vùng chức năng ứng với các tiêu chí theo mức độ ưu tiên được thể hiện trong bảng 11.

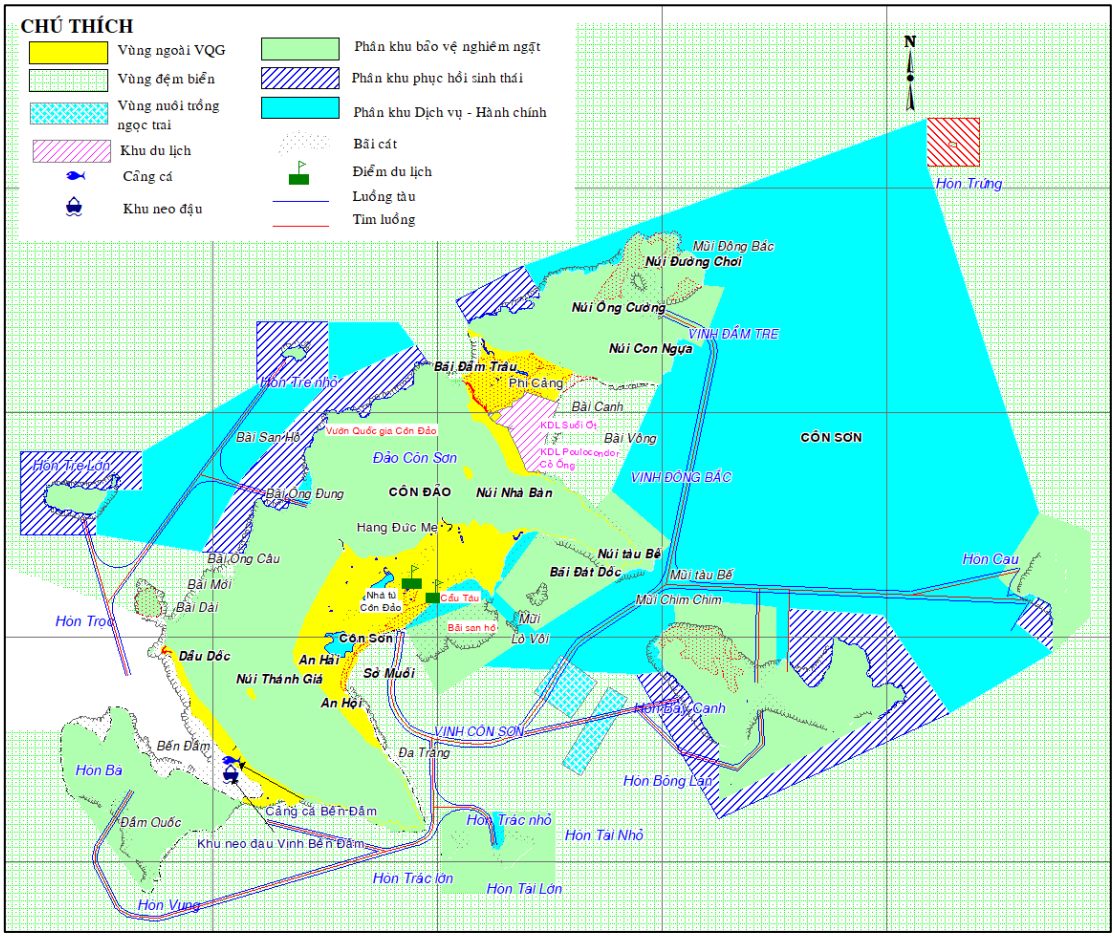
Bảng 11. Điểm số của các phương án định hướng khai thác sử dụng không gian biển.

TT	Yếu tố cấp 1	Tiêu chí	PA1	PA2
1	Bảo vệ môi trường	Bảo vệ rừng	2,0	8,0
		Bảo vệ hệ sinh thái biển	3,0	7,0
		Bảo vệ môi trường nước	3,0	8,0
		Xử lý rác thải	4,0	8,0
2	Phát triển kinh tế	Bến cảng, khu neo đậu trú bão	7,0	6,0
		Nuôi trồng thủy sản	6,0	6,0
		Du lịch	8,0	5,0
		Sinh kế người dân	8,0	5,0
3	Cộng đồng xã hội	Giao thông	7,0	7,0
		Ý thức cộng đồng	5,0	8,0
		An toàn xã hội	5,0	6,0
		Đời sống dân cư	6,0	8,0

Kết quả tính toán trọng số ưu tiên được thể hiện trong bảng 12.

Bảng 12. Kết quả tính toán trọng số ưu tiên bằng phương pháp AHP-TOPSIS.

TT	Yếu tố cấp 1	Trọng số của yếu tố cấp 1	Tiêu chí	Trọng số tiêu chí	Trọng số ưu tiên
1	Bảo vệ môi trường	0,64	Bảo vệ rừng	0,13	0,08
			Bảo vệ hệ sinh thái biển	0,17	0,11
			Bảo vệ môi trường nước	0,30	0,19
			Xử lý rác thải	0,39	0,25
2	Phát triển kinh tế	0,26	Bến cảng, khu neo đậu trú bão	0,21	0,06
			Nuôi trồng thủy sản	0,08	0,02
			Du lịch	0,42	0,11
			Sinh kế người dân	0,28	0,07
3	Cộng đồng xã hội	0,10	Giao thông	0,12	0,01
			Ý thức cộng đồng	0,54	0,06
			An toàn xã hội	0,18	0,02
			Đời sống dân cư	0,16	0,02



Hình 7. Phương án khai thác sử dụng không gian biển phù hợp trên địa bàn huyện Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu.

Dựa vào kết quả tính toán trọng số ưu tiên và điểm số các phương án ứng với từng tiêu chí, kết hợp với các công thức đã nêu ở nội dung 2, độ tương tự đã được tính toán (Hình 7). Từ đó, thứ hạng lý tưởng của từng phương án đã được xác định (Bảng 13).

Bảng 13. Kết quả tính toán xếp hạng phương án lý tưởng.

	PA1	PA2
Dj+	0,1805	0,0421
Dj-	0,0421	0,1805
Cj	0,1890	0,8110
Xếp hạng	**2**	**1**

Phương án 2: Phát triển hướng đến bền vững là phương án lý tưởng nhất cho vùng huyện đảo Côn Đảo. Các hệ thống xử lý nước thải và rác thải cần được đầu tư xây dựng nhằm bảo vệ môi trường sống thiên nhiên, cảnh quan, cần phát huy giá trị của khu bảo tồn thiên nhiên Côn Đảo, đầu tư phát triển hạ tầng kỹ thuật, hạ tầng đô thị, hạ tầng môi trường. Kết hợp chặt chẽ giữa phát triển cảng biển với quản lý bảo vệ môi trường, bảo đảm sự phát triển bền vững, gắn liền với yêu cầu bảo đảm an ninh, quốc phòng.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã lựa chọn được phương án khai thác sử dụng không gian biển phù hợp trên địa bàn huyện Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. Theo phương án được chọn, huyện Côn Đảo được phân chia thành 5 vùng phát triển đáp ứng được với các tiêu chí hướng đến phát triển bền vững: (1) *Vùng phát triển du lịch và bảo tồn thiên nhiên* được khoanh định bao gồm toàn bộ diện tích Vườn quốc gia Côn Đảo (diện tích 19.883 ha), vùng nước nông ven đảo cũng là nơi phân bố nhiều loài động vật quý như rùa biển, cá heo, bò biển (dugong)…, khu vực Bến Đầm tập trung cảng cá và khu neo đậu tránh trú bão và khu bến cảng Côn Đảo với chức năng chính là bến tổng hợp và hành khách phục vụ cho Côn Đảo, bố trí bến dịch vụ hàng hải và dầu khí. (2) *Vùng phát triển du lịch* bao gồm các trung tâm thị trấn Côn Sơn, khu phố Pháp tại thị trấn Côn Sơn, khu vực lịch sử - văn hóa - tâm linh, cảng Bến Đầm, vườn quốc gia, vùng núi Côn Đảo và hệ thống các đảo nhỏ. (3) *Vùng không gian biển sử dụng cho bảo tồn và nghiên cứu khoa học* bao gồm 3 phân khu (Phân khu bảo vệ nghiêm ngặt có diện tích là 2.292,1 ha, chiếm 16,37% tổng diện tích hợp phần bảo tồn biển); Phân khu phục hồi sinh thái có diện tích là 2.062,2 ha, chiếm 14,73% tổng diện tích hợp phần bảo tồn biển; Phân khu dịch vụ - hành chính có diện tích là 9.645,7 ha, chiếm 68,90% tổng diện tích hợp phần bảo tồn biển. (4) *Vùng vận tải biển và dịch vụ cảng* gồm vùng đất và vùng nước khu vực Bến Đầm. (5) *Vùng phát triển cảng cá và khu neo đậu tránh trú bão* gồm cảng cá Bến Đầm và khu neo đậu tránh trú bão cho tàu cá Vịnh Bến Đầm, huyện Côn Đảo: quy mô khoảng 1.200 tàu cá neo đậu.

Đóng góp của các tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu và xử lý số liệu: N.H.A.; Điều tra thực địa và lấy ý kiến chuyên gia: N.T.Đ.; Viết bản thảo bài báo và chỉnh sửa bài báo: N.H.A.

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.

Lời cám ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ nhiệm vụ thường xuyên theo chức năng mã số TX2024-24-01.

Tài liệu tham khảo

1. Charles, N.E.; Fanny, D. An international perspective on marine spatial planning initiatives. *Environ. J.* **2010**, *37*(*3)*, 9.
2. Day, J. The need and practice of monitoring, evaluating and adapting marine planning and management lessons from the Great Barrier Reef. *Mar. Policy* **2008***, 32(5)*, 823–831.
3. Bass, S.; Esch, G.G. Marine managed areas: best practices for boundary making. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration*,* Coastal Services Center, 2006.
4. Glasson, J.; Marshall, T. Regional planning. *Routledge* **2007**.
5. Dong, A. Marine functional zoning (MFZ): Basic theories, legal system and supporting measures. Proceedings of APEC Marine Spatial Planning, Xiamen, China, 2012.
6. Archibugi, F. Planning theory: From the political debate to the methodological reconstruction. Springer Milano, 2008, pp. 126.

7. Booth, P.; Breuillard, M.; Fraser, C.; Paris, D. Spatial planning systems of Britain and France: A comparative analysis. Routledge 2007, pp. 256.
8. Reineking, B.; Secretariat, C.W.S.; Wilhelmshaven, F.J.W.S.N. The Wadden Sea designated as a PSSA. *Wadden Sea Newsletter* **2002**, *2*, 10–12.
9. Yujin, P.; Sang-Woo, L.; Junga, L. Comparison of fuzzy AHP and AHP in multicriteria inventory classification while planning green infrastructure for resilient stream ecosystems. *Sustainability* **2020**, *12(21)*, 9035.
10. Hilma, N.; Eva-Maria, N.; Karin Ö. Decision support for participatory forest planning using AHP and TOPSIS. *Forests* **2016**, *7(5)*, 100.
11. Enes, D.; Engin, H.Ç.; Turan, P. Spaceport selection using a novel hybrid pythagorean Fuzzy AHP & TOPSIS based methodology: A case study of Turkey. *J. Aeronaut. Space Technol* **2022**, *15(1)*, 1–17.
12. Pelorus, H.K. The application of the AHP-TOPSIS for evaluating ballast water treatment systems by ship operators. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* **2017**, *52*, 172–184.
13. Yuan-Wei, D.; Kun, G. Ecological security evaluation of marine ranching with AHP-entropy-based TOPSIS: A case study of Yantai, China. *Mar. Policy* **2020**, *122*, 104223.
14. Lei, G.; Atakelty, H. Identifying preferred management options: An integrated agent-based recreational fishing simulation model with an AHP-TOPSIS evaluation method. *Ecol. Modell.* **2013**, *249*, 75–83.
15. Hsien-Kuo, C.; Jin-Cheng, L.; Wei-Wei, C. Protection priority in the coastal environment using a hybrid AHP-TOPSIS method on the Miaoli Coast, Taiwan. *J. Coastal Res.* **2012**, *28(2)*, 369–374.
16. Burak, K.; Muge, B.; Ali, C.T. Optimum site selection for oil spill response center in the Marmara Sea using the AHP-TOPSIS method. *Arch. Environ. Prot.* **2018**, *44(4)*, 38–49.
17. Hồi, N.C. Nhận diện một "Việt Nam biển". *Tạp chí Biển, Hội Biển Việt Nam* **2012***, 8/2012*.
18. Hồi, N.C. Quy hoạch không gian biển và ven biển: nhu cầu của Việt Nam. Kỷ yếu Diễn đàn kinh tế biển 2012, Vũng Tàu, 2012.
19. UBND Bà Rịa - Vũng Tàu. Báo cáo kết quả thực hiện Chiến lược Quốc gia về đa dạng sinh học đến năm 2020, tầm nhìn đến năm 2030, Bà Rịa - Vũng Tàu, 2021.
20. Saaty, T.L. Exploring the interface between hierarchies, multiple objectives and fuzzy sets. *Fuzzy Sets Syst.* **1978**, *1(1)*, 57–68.
21. Hwang, C.L.; Yoon, K. Multiple attribute decision making methods and applications. Springer-Verlag Publishers, New York, 1981, pp. 269.

Application the AHP-TOPSIS integrated model to select appropriate plans for exploiting and using marine space in Con Dao district, Ba Ria - Vung Tau province

Nguyen Hai Au[1]*, Nguyen Thanh Dien[2]

[1] Institute for Environment and Resources - Vietnam National University Ho Chi Minh City; haiauvtn@gmail.com
[2] Department of Natural Resources and Environment of Ba Ria - Vung Tau Province; dienbhd@gmail.com

Abstract: Exploiting and using marine space towards the goal of sustainable development in Con Dao district. This study applies AHP weights combined with the TOPSIS integrated decision-making technique to rank the order of evaluation options to support the selection of the most suitable option. Data is collected from expert opinions (expert opinions on the importance of criteria and suitability of options in the orientation of exploitation and use of marine space) and documents classified into three categories (environmental protection, economic development, and social community). Based on the AHP calculation results, a set of weights for level 1 and level 2 criteria were identified with high reliability (CR consistency coefficient less than 0.1). From the calculated weight value, the results of the AHP-TOPSIS integrated model have selected option 2, which closely integrates port development with environmental protection management to ensure sustainable development, and combines it with the requirements of security and national defense. Linking tourist growth to community development, offering job opportunities for locals, and promoting awareness about natural resource protection. According to the chosen plan, Con Dao is divided into five development zones, which meet the sustainable development standards: (1) Tourism development zones and environment reserves; (2) Tourism development zones; (3) Marine space areas for conservation and scientific study; (4) Transportation and port service areas; (5) Fishing Port Development Zone and Typhoon Shelter Anchorage.

Keywords: AHP; TOPSIS; Marine space; Con Dao district; Ba Ria - Vung Tau province.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 trong giám sát sự phát triển của cây lúa tại tỉnh Đồng Tháp, Việt Nam

Lê Thị Thu Hà[1,2]*, Giang Thị Phương Thảo[3]

[1] Trường Đại học Mỏ - Địa chất; lethithuha@humg.edu.vn
[2] Nhóm nghiên cứu Công nghệ Địa tin học trong Khoa học Trái đất (GES), Trường Đại học Mỏ - Địa chất; lethithuha@humg.edu.vn
[3] Viện Địa lý tài nguyên thành phố Hồ Chí Minh, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; gtpthao@hcmig.vast.vn

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

Ban Biên tập nhận bài: 22/3/2024; Ngày phản biện xong: 30/4/2024; Ngày đăng bài: 25/8/2024

Tóm tắt: Sản xuất nông nghiệp toàn cầu đang phải đối mặt với áp lực ngày càng tăng bao gồm: gia tăng dân số, nhu cầu dinh dưỡng, và điều kiện khí hậu khắc nghiệt. Để đối phó với những thác thức này, yêu cầu cấp thiết là phải giám sát lúa một cách chính xác, trên quy mô rộng lớn, với tần suất đều đặn. Nghiên cứu này đề xuất một phương pháp mới để ước tính các chỉ số hóa sinh đặc trưng cho sự phát triển của cây lúa, từ dữ liệu ảnh vệ tinh đa phổ và bộ xử lý hóa sinh thực vật PROSAIL. Kết quả của nghiên cứu đã thành lập bản đồ chỉ số hóa sinh theo các giai đoạn phát triển của cây lúa ở tỉnh Đồng Tháp dựa trên chuỗi ảnh vệ tinh Sentinel-2 từ tháng 10/2022 đến tháng 12/2023. Nghiên cứu đã sử dụng thuật toán phân loại học máy Random Forest và 994 điểm thực địa đã phản ánh chính xác về điều kiện canh tác lúa thực tế ở tỉnh Đồng Tháp. Từ đó cho phép giám sát theo thời gian các mô hình trồng lúa trên quy mô không gian đối với các khu vực có lịch canh tác riêng biệt. Định lượng các biến số hóa sinh và áp dụng để quan sát trên chuỗi dữ liệu vệ tinh đa thời gian cho phép hiểu biết sâu sắc trong canh tác lúa tại đồng bằng sông Cửu Long của lãnh thổ Việt Nam.

Từ khóa: Sự phát triển của cây lúa; Sentinel-2; Mô hình PROSAIL; Đồng Tháp.

1. Giới thiệu

Lúa là thực phẩm chính cho hơn một nửa dân số trên thế giới - với 90% sản lượng trồng và tiêu thụ trên thế giới được sản xuất tại châu Á [1, 2]. Vùng đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), được biết đến là khu vực cung cấp sản lượng lúa phục vụ nhu cầu an ninh lương thực không những cho quốc gia, mà còn cho khu vực và quốc tế [3, 4]. Sản xuất lúa ở ĐBSCL nói chung và của Đồng Tháp nói riêng đóng vai trò quan trọng trong sản xuất nông nghiệp của Việt Nam, do đó việc giám sát được các giai đoạn sinh trưởng và phát triển của cây lúa dựa vào các chỉ số sinh học sẽ giúp cho việc quản lý sản xuất nông nghiệp được kịp thời, giúp cho nông hộ cũng như nhà quản lý có kế hoạch cụ thể cho sản xuất. Tuy nhiên, việc điều tra thực tế về sinh trưởng của cây lúa tốn rất nhiều thời gian cũng như chi phí. Do đó, các biện pháp giám sát lúa một cách chính xác, trên quy mô khu vực rộng lớn, với tần suất đều đặn là rất cần thiết để đảm bảo vấn đề ổn định và gia tăng lương thực toàn cầu [5].

Các tham số của quá trình sinh trưởng của cây lúa (chiều cao, khối lượng khô, chỉ số diện tích lá, v.v.) chủ yếu được giám sát thông qua hai phương pháp, bao gồm: phương pháp đo lường trực tiếp bởi những người nông dân và thu thập thông tin từ dữ liệu viễn thám [5–7]. Trong khi việc đo lường trên thực địa mất thời gian, viễn thám có thể thực hiện việc đo

lường các tham số của lúa trên quy mô lớn mà không cần tiếp xúc trực tiếp với cây trồng [8, 9]. Phương pháp nghiên cứu về đặc tính hóa sinh của thực vật bằng dữ liệu viễn thám đã được nhiều nghiên cứu trên thế giới chứng minh có tính hiệu quả trong theo dõi quá trình sinh trưởng của lúa [10–22]. Sử dụng dữ liệu viễn thám nhằm nghiên cứu về đặc tính hóa sinh của thực vật có thể chia ra 3 phương pháp khác nhau [5]: (1) Mô hình dựa trên thực nghiệm (empirical based model) sử dụng chỉ số thực vật, phương pháp đánh giá tương quan hoặc các thuật toán học máy (machine learning) để nghiên cứu mối quan hệ giữa các tham số đo đạc thực tế và giá trị tính toán trên ảnh viễn thám; (2) Mô hình dựa trên vật lý (*physical based model*) dựa trên các quy luật vật lý như đặc tính phổ phản xạ để ước tính các chỉ số và đặc tính sinh hóa của thực vật; (3) Phương pháp kết hợp cả cách thức tiếp cận dựa trên lý thuyết và thực nghiệm. Hướng ứng dụng dựa trên các mô hình vật lý trong nhiều năm trở lại đây đang ngày càng phổ biến khi số lượng cơ sở dữ liệu về đặc tính thực vật ngày càng nhiều hơn cũng như nhằm giảm thiểu việc điều tra thực địa chi tiết trên từng khu vực nghiên cứu cụ thể mà vẫn đảm bảo độ chính xác [12]. Cùng với sự phát triển của viễn thám, nhiều mô hình tính toán đã sử dụng nguồn số liệu về bức xạ thu nhận từ dữ liệu vệ tinh để tính toán truy xuất các đặc tính sinh hóa của từng loài thực vật cụ thể một cách chính xác [12, 13].

Bắt đầu từ những nghiên cứu đầu tiên những năm 80 cho tới nay, đã có một số lượng lớn các nghiên cứu, với đa dạng dữ liệu sử dụng như đa phổ, siêu phổ, cho đến áp dụng các thuật toán mô hình.khác nhau như. Một số mô hình chuyển đổi bức xạ được áp dụng phổ biến như *PROSPECT, Scattering by Arbitrary Inclined Leaves - SAIL, Fast Canopy Reflectance - FCR, SAIL-2, 4SAIL2, Soil Canopy Observation Photochemistry and Energy fluxes - SCOPE,* hoặc *GEOSAIL* [19]. Trong số các mô hình này, mô hình chuyển đổi bức xạ PROSPECT (cấp độ lá) và SAIL (cấp độ tán) được sử dụng nhiều nhất [18, 22]. PROSAIL cũng được sử dụng để phát triển các phương pháp mới nhằm lấy về đặc tính sinh học của thực vật [20]. Nó liên kết sự thay đổi phổ phản xạ ở cấp độ tán tới hàm lượng sinh hóa của lá và cấu trúc tán cây cũng như tương tác giữa đối tượng đất và thực phủ. Liên kết này là chìa khóa để ước tính mô phỏng các tham số sinh hóa và cấu trúc tán cây ứng dụng trong nông nghiệp, sinh hóa thực vật, hoặc sinh thái, với các quy mô khác nhau.

Trong phạm vi nghiên cứu này, tại Việt Nam mới có một số nghiên cứu điển hình tại đồng bằng sông Cửu Long có thể kể đến nghiên cứu [26] đã sử dụng ảnh độ phân giải trung bình MODIS 250 m × 250 m, chu kỳ 8 ngày cho nghiên cứu theo dõi các tiến độ xuống giống, các giai đoạn phát triển và hiện trạng sâu bệnh cây lúa khu vực đồng bằng sông Cửu Long. Hoàng Phi Phụng đã đề xuất quy trình xác định tuổi của cây lúa, ngày gieo trồng, ngày thu hoạch bằng cách sử dụng chuỗi ảnh Sentinel 1 trên toàn bộ vùng đồng bằng sông Cửu Long [27].

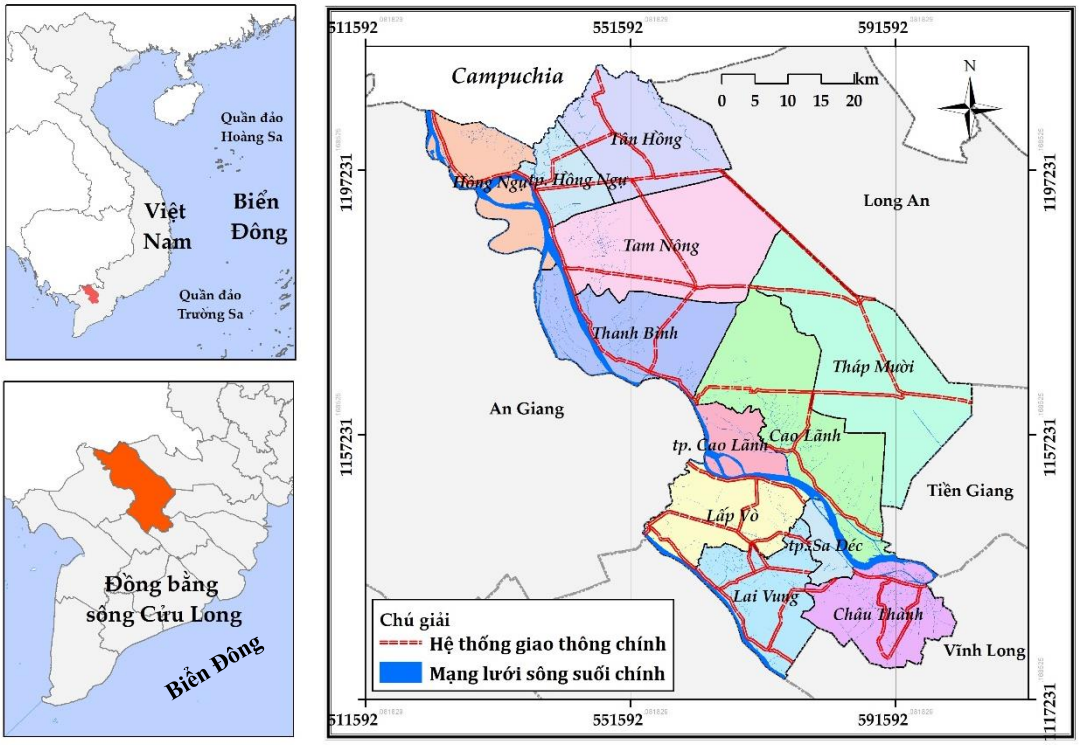
Nghiên cứu [23] đã tiến hành đánh giá về hiện trạng canh tác sản xuất nông nghiệp tại khu vực Đồng Tháp Mười, trong đó có tỉnh Đồng Tháp giai đoạn 30 năm trở lại đây (1990-2020). Kết quả nghiên cứu cho thấy trong giai đoạn 30 năm, diện tích đất trồng lúa tăng mạnh trở thành cây trồng chủ lực chiếm 45,1% tổng diện tích toàn vùng Đồng Tháp Mười năm 2020, chứng minh ưu thế của cây lúa tại khu vực nghiên cứu. Như vậy, tại Việt Nam, các công trình công bố về việc mô hình hóa không gian các đặc tính sinh lý của cây trồng nông nghiệp hiện nay gần như chưa được thực hiện [23]. Các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào việc sử dụng các chỉ số thực vật như NDVI để thành lập bản đồ và phân tích sự sinh trưởng phát triển của cây trồng, thành lập các bản đồ hiện trạng để đánh giá về sự phân bố không gian các loại hình nông nghiệp chủ yếu, hoặc phân tích biến động sự thay đổi diện tích đất nông nghiệp theo thời gian [23–25].

Nghiên cứu này đề xuất quy trình tích hợp dữ liệu vệ tinh quan sát trái đất đa thời gian theo chu kỳ từng tháng và mô hình PROSAIL trong giám sát sự phát triển của cây lúa tại tỉnh Đồng Tháp thuộc vùng đồng bằng sông Cửu Long, Việt Nam. Việc định lượng được các biến số hóa sinh và áp dụng để quan sát trên chuỗi dữ liệu vệ tinh đa thời gian cho phép hiểu biết sâu sắc trong canh tác lúa tại đồng bằng sông Cửu Long.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu về khu vực thực nghiệm

Đồng Tháp là một trong 13 tỉnh thuộc vùng đồng bằng sông Cửu Long và là tỉnh duy nhất có địa bàn ở cả hai bờ sông Tiền, có diện tích tự nhiên là 3375,4 km^2. Đồng Tháp nằm ở tọa độ 10^{o}07'-10^{o}58' vĩ độ Bắc và 105^{o}12'-105^{o}56' kinh độ Đông, phía bắc giáp tỉnh Prây Veng (Cam pu chia) trên chiều dài biên giới 48,7 km với 4 cửa khẩu: Thông Bình, Dinh Bà, Mỹ Cân và Thường Phước, phía nam giáp Vĩnh Long và thành phố Cần Thơ, phía tây giáp An Giang, phía đông giáp Long An và Tiền Giang (Hình 1). Tỉnh lý của Đồng Tháp hiện nay là thành phố Cao Lãnh, cách thành phố Hồ Chí Minh 165 km về phía Tây Nam [28].

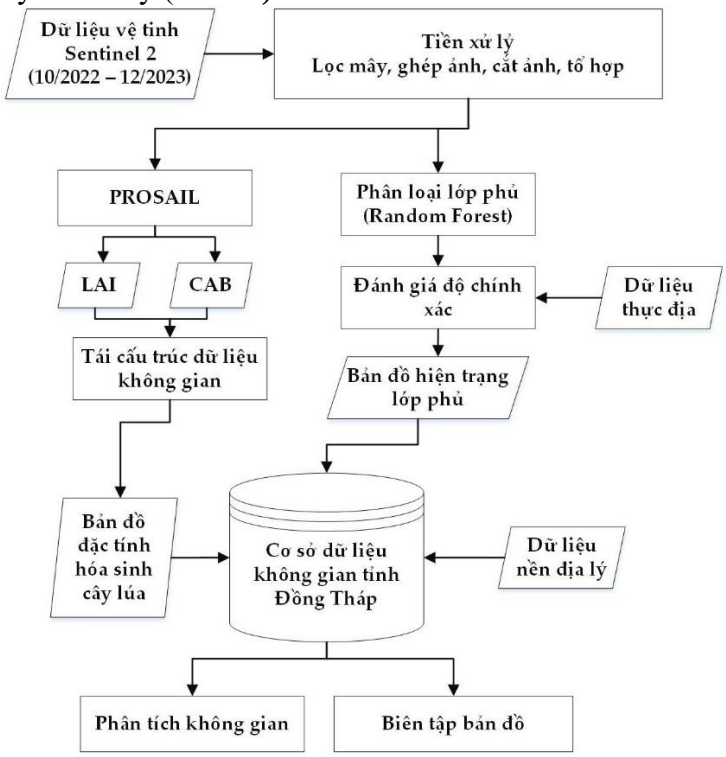


Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

Đồng Tháp nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới với 2 mùa rõ rệt mưa (tháng 5 đến tháng 11 hàng năm) và khô (tháng 12 đến tháng 4 năm sau). Các đặc điểm khí hậu điển hình bao gồm độ ẩm trung bình năm 82,5%, số giờ nắng trung bình 6,8 giờ/ngày, lượng mưa trung bình 1.170-1.520 mm với 90-95% lượng mưa tập trung vào mùa mưa, tạo điều kiện thuận lợi cho canh tác sản xuất nông nghiệp. Đồng Tháp có 4 nhóm đất chính: (1) đất phù sa (diện tích khoảng 191.769 ha, chiếm 59,06% diện tích đất tự nhiên); (2) đất phèn (84.382 ha, 25,99%); (3) đất xám (28.150 ha, 8,67%); và (4) nhóm đất cát (120 ha, 0,04%). Đất đai của Đồng Tháp có kết cấu mặt bằng kém bền vững lại tương đối thấp, nên làm mặt bằng xây dựng đòi hỏi kinh phí cao, nhưng rất phù hợp cho sản xuất lượng thực. Với lợi thế là nguồn nước ngọt và nguồn lao động dồi dào, Đồng Tháp là một trong những địa phương sản xuất lúa lớn nhất Việt Nam. Đồng Tháp cũng là tỉnh có tổng số cánh đồng mẫu lớn, lớn nhất cả nước. Cây lúa vẫn là cây trồng chiếm ưu thế trong sản xuất nông nghiệp của tỉnh, chiếm tỷ trọng lớn và có giá trị sản xuất toàn ngành nông nghiệp. Tuy vậy, năng suất lúa của tỉnh Đồng Tháp trong giai đoạn 10 năm trở lại đây cho thấy các dấu hiệu biến động thất thường. Trong đó, giai đoạn 2014 đến 2017 chứng kiến sự suy giảm năng suất lúa từ 62,42 tạ/ha xuống thấp nhất 59,57 tạ/ha [23]. Mặc dù so với 10 năm trước đây, năng suất lúa đã tăng lên gần 5 tạ/ha, tuy vậy việc theo dõi sự sinh trưởng và phát triển của cây lúa, đảm bảo sản lượng và năng suất vẫn là một công tác quan trọng đối với một địa phương có diện tích trồng lúa lớn như Đồng Tháp.

2.2. Quy trình nghiên cứu

Sơ đồ quy trình nghiên cứu tổng thể của nghiên cứu này được thực hiện dựa trên nguồn dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2, nguồn dữ liệu thực địa, nguồn dữ liệu nền địa lý tỉnh Đồng Tháp. Ảnh vệ tinh thông qua các bước tiền xử lý được đưa vào mô hình ước tính các đặc tính hóa lý thực vật để tính toán các chỉ số diện tích lá (*Leaf Area Index - LAI*) và hàm lượng diệp lục (*Chlorophyll$_{a+b}$ - Cab*). Bản đồ hiện trạng lớp phủ tỉnh Đồng Tháp cũng được thành lập từ nguồn dữ liệu vệ tinh này. Các sản phẩm được đánh giá độ chính xác, sau đó tính toán cho toàn bộ tệp dữ liệu ảnh, tái cấu trúc dữ liệu để hoàn chỉnh bộ sản phẩm. Các sản phẩm này được trình bày bản đồ và sử dụng để phân tích thống kê trên quy mô không gian. Chi tiết các bước được trình bày dưới đây (Hình 2).



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

2.3. Số liệu sử dụng

a) Dữ liệu ảnh viễn thám

Chùm vệ tinh Sentinel-2 (2A và 2B) bao gồm hình ảnh quang học hai dải không gian rộng, độ phân giải trung bình - cao (10, 20 và 60 m), tần suất quan sát 5-10 ngày. Toàn bộ 280 cảnh ảnh giai đoạn tháng 10/2022 đến tháng 12/2023 trên khu vực nghiên cứu được thu thập. Vị trí của khu vực nghiên cứu nằm trong khu vực cận nhiệt đới ẩm của Nam Bộ với điều kiện có nhiều mây kéo dài hàng năm. Trong số 13 band với độ phân giải khác nhau từ 10-60 m, 10 band đã được chọn. Trong nghiên cứu này, band với độ phân giải 60 m được loại khỏi phân tích. Mười band còn lại được tái chia mẫu về cùng độ phân giải thành 10 m.

Bảng 1. Thông số ảnh vệ tinh Sentinel-2.

Kênh	Min	Max	Bước sóng trung tâm	FWHM	SNR
2	457,5	522,5	490	65	154
3	542,5	577,5	560	35	168
4	650	680	665	30	142
5	697,5	712,5	705	15	117
6	732,5	747,5	740	15	89
7	773	793	783	20	105

Kênh	Min	Max	Bước sóng trung tâm	FWHM	SNR
8	784,5	899,5	842	115	174
8a	855	875	865	20	72
11	1565	1655	1610	90	100
12	2100	2280	2190	180	100

FWHM (*Full width at half maximum*) là độ rộng toàn phần tại nửa cực đại. SNR (*Signal-to-noise ratio*) là tỷ số tín hiệu cực đại trên nhiễu.

Trong nghiên cứu này, toàn bộ các cảnh ảnh Sentinel-2 trong giai đoạn từ 1/10/2022 đến 31/12/2023 được thu thập phủ trùm khu vực nghiên cứu tỉnh Đồng Tháp, với lý do các mùa canh tác sẽ bắt đầu từ tháng 10 hoặc 11 năm trước.

b) Nguồn dữ liệu khác

Ngoài ra, các dữ liệu bổ trợ cũng được sử dụng như dữ liệu thực địa, dữ liệu nền địa lý và các số liệu khác bao gồm: dữ liệu về nền địa lý, địa hình, số liệu thống kê kinh tế xã hội, số liệu khí tượng thủy văn được sử dụng để đánh giá điều kiện tự nhiên của khu vực nghiên cứu, cũng như hỗ trợ cho việc thành lập các bản đồ chuyên đề cho tỉnh Đồng Tháp.

Cơ sở dữ liệu được lưu trữ dưới định dạng geodatabase (*.gdb). Các lớp thông tin trong CSDL được thiết kế trong hệ quy chiếu và hệ tọa độ chuẩn Quốc gia VN-2000. Trong quá trình thực nghiệm, để phù hợp các lớp thông tin có thể được chuyển đổi về hệ tọa độ WGS84 phục vụ chồng xếp với kết quả phân tích từ ảnh viễn thám.

2.4. Phương pháp nghiên cứu

a) Phân loại lớp phủ

Khu vực nghiên cứu trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp bao gồm nhiều loại hình lớp phủ khác nhau như thực vật (nông nghiệp, rừng), công trình xây dựng, mặt nước…Trong khi đó để tiến hành giám sát lúa trên quy mô không gian, một trong những vấn đề tiên quyết là phải xác định được các khu vực trồng lúa một cách chính xác. Chính vì vậy mà bản đồ hiện trạng lớp phủ tỉnh Đồng Tháp được thành lập. Từ đó có thể triết tách và thành lập bản đồ hiện trạng canh tác lúa tỉnh Đồng Tháp phục vụ cho các phân tích tiếp theo. Theo đó, ảnh Sentinel-2 tính trung bình năm 2023 toàn tỉnh Đồng Tháp sẽ được sử dụng để phân loại thành lập bản đồ hiện trạng lớp phủ.

Dữ liệu thực địa bao gồm 994 điểm thể hiện cho 7 loại hình lớp phủ chủ yếu được điều tra trên toàn tỉnh Đồng Tháp bao gồm: (1) lúa, (2) dân cư, (3) thủy hệ, (4) rừng, (5) cây ăn trái, (6) hoa màu, (7) đất trống cây bụi. Trong số điểm dữ liệu thực địa này, 70% (696 điểm) sẽ được dùng để huấn luyện mô hình và thực hiện phân loại và 30% (298 điểm) còn lại được dùng để đánh giá độ chính xác sau phân loại. Phương pháp phân loại sử dụng thuật toán học máy *Random Forest* trên nền tảng *Google Earth Engine*.

Phương pháp ma trận sai số, độ chính xác nhà sản xuất ($ĐCX_{SX}$) độ chính xác người dùng ($ĐCX_{nd}$), độ chính xác tổng thể ($ĐCX_{tt}$), được sử dụng để đánh giá độ chính xác sau phân loại. Độ chính xác nhà sản xuất là xác suất mà một loại lớp phủ nhất định trên ảnh vệ tinh được phân loại đúng với loại hình lớp phủ đó ở ngoài thực địa, còn độ chính xác người dùng là xác suất mà một loại hình lớp phủ nhất định trên thực tế được xác định trùng khớp với chính nó trên kết quả phân loại ảnh vệ tinh.

$$ĐCX_{sx} = \frac{n_{ij}}{n_{+j}}; \qquad ĐCX_{nd} = \frac{n_{ij}}{n_{+j}}; \qquad ĐCX_{tt} = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_{ij}}{n} \qquad (1)$$

Trong đó k: số lớp (k = 7); n: tổng số điểm thực địa được dùng để đánh giá độ chính xác; nij: tổng số điểm thuộc lớp i (i = 1, 2, …, k) trên ảnh được phân loại vào lớp j (j = 1, 2, …, k) ngoài thực tế, đây là những điểm được phân loại đúng; $n_{i+} = \sum_{j=1}^{k} n_{ij}$ là tổng số mẫu từ kết quả phân loại ảnh vệ tinh; $n_{j+} = \sum_{i=1}^{k} n_{ij}$ là tổng số mẫu có được từ dữ liệu tham khảo.

b) Ước tính các đặc tính hóa sinh

Mô hình chuyển đổi bức xạ (*Radiative Transfer Model-RTM*) đã được biết đến rộng rãi, trong đó có PROSAIL [20], là sự kết hợp của mô hình đặc tính quang học của lá PROSPECT và mô hình phản xạ hai chiều của tán lá SAIL và đã được sử dụng để nghiên cứu quang phổ và phản xạ định hướng của tán cây trong miền mặt trời. Sentinel cung cấp một giải pháp cho phép tính toán các chỉ số sinh hóa của thực vật ở cấp độ tán cây thông qua ảnh vệ tinh, chính là phần mềm ESA SNAP (*Sentinel Application Platform*). SNAP là công cụ được phát triển bởi ESA nhằm xử lý và phân tích chuyên biệt cho ảnh Sentinel level 2 tức là ảnh đã được hiệu chỉnh khí quyển. SNAP cung cấp một kiến trúc chung cho tất cả các Toolbox của Sentinel, cũng như các toolbox để xử lý dữ liệu từ các nguồn vệ tinh khác nhằm hiệu chỉnh khí quyển để tạo ra ảnh với mức xử lý level 2. Trong các công cụ xử lý của SNAP, có bộ công cụ tính toán và xử lý sinh hóa (*Biophysical Processor*) được sử dụng để tính toán các chỉ số bao gồm chỉ số diện tích lá LAI và sắc tố diệp Cab thông qua phổ phản xạ của ảnh vệ tinh Sentinel.

LAI (*Leaf area index*): Chỉ số diện tích lá là tỉ lệ giữa tổng diện tích lá còn xanh (tính bằng m^2) trên tổng diện tích đất ruộng (tính bằng m^2). Chỉ số diện tích lá thay đổi theo loài và giống cây trồng, mùa vụ trồng và trình độ thâm canh. Chỉ số này tăng dần trong quá trình sinh trưởng của cây, đạt đến đỉnh cao rồi giảm dần khi sắp thu hoạch. Đối với lúa, chỉ số diện tích lá thường cao nhất khi lúa sắp trổ. Chỉ số diện tích lá nói lên mức độ hấp thụ chất dinh dưỡng trong đất canh tác nhằm tạo ra sản phẩm sinh học trong cây trồng [17, 18].

Cab (*leaf chlorophyll content*): Hàm lượng chất diệp lục trong lá Chlorophyll. Chlorophyll có ý nghĩa vô cùng quan trọng đối với sự sống trên Trái Đất. Nhờ có chlorophyll, quá trình quang hợp được thực hiện, tạo ra năng lượng nuôi sống tất cả sinh vật trên Trái Đất bù đắp lại những chất hữu cơ đã tiêu hao trong quá trình sống; cân bằng khí CO_2 và O2 trong không khí; quang hợp liên quan đến mọi hoạt động sống kinh tế của con người. Hàm lượng chất diệp lục là một chỉ số đánh giá rất tốt cho tình trạng sức khỏe của thực vật [15, 18].

c) Thuật toán tái cấu trúc dữ liệu không gian

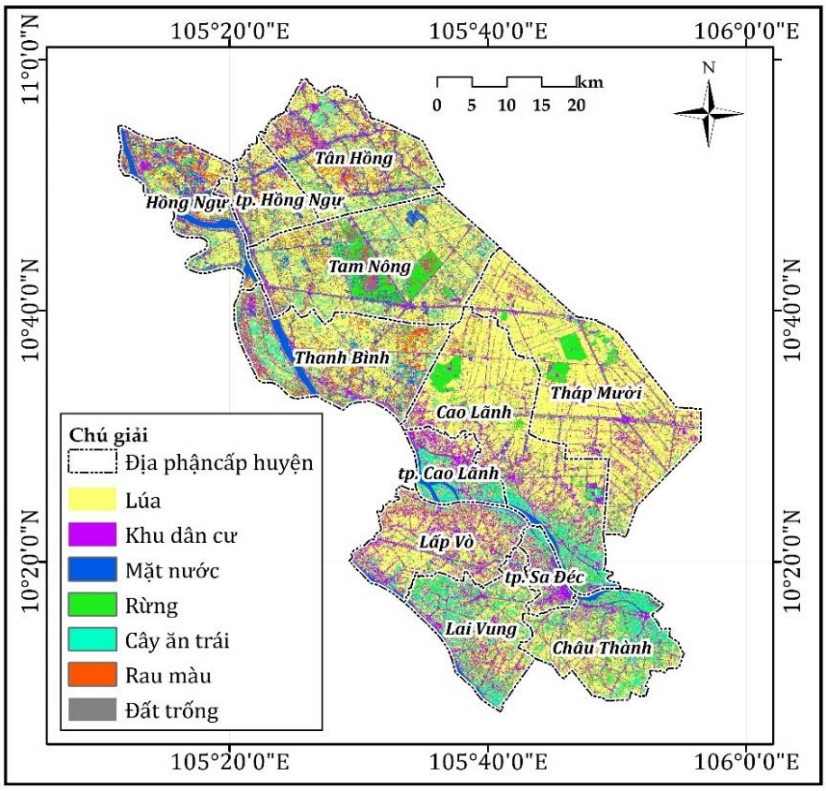
Một trong những vấn đề dẫn đến việc thất bại trong các nghiên cứu viễn thám sử dung ảnh vệ tinh quang học là sự ảnh hưởng bởi mây che phủ. Trong điều kiện khí hậu điển hình nhiệt đới gió mùa tại Việt Nam, mây thường xuất hiện với tần suất cao. Điều này dẫn đến các sản phẩm bản đồ thường không đầy đủ trên quy mô không gian. Vì vậy, cần áp dung các thuật toán tái cấu trúc dữ liệu để phục hồi đầy đủ thông tin không gian trên từng pixel cho các sản phẩm viễn thám trên khu vực nghiên cứu. Trong nghiên cứu này, thuật toán tái cấu trúc chuỗi dữ liệu Whittaker được áp dụng cho chuỗi bản đồ đặc tính hóa sinh LAI và Cab. Whittake sử dụng hệ số lambda (λ) để xác định mức độ làm mượt sau quá trình tái cấu trúc dữ liệu. Trong nghiên cứu này thử nghiệm λ lần lượt là 0,1; 1; và 10 và so sánh với chuỗi dữ liệu gốc để tiến hành chọn giá trị λ phù hợp [29, 30].

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Kết quả xây dựng bản đồ hiện trạng lớp phủ tỉnh Đồng Tháp

Mô hình phân loại dựa trên thuật toán học máy RF được thực hiện tự động trên nền tảng điện toán đám mây GEE nhằm mục đích xử lý các dữ liệu viễn thám một cách nhanh chóng. Toàn bộ các bước xử lý sẽ được lập trình chạy từ động và cho ra kết qua tức thời. Đánh giá độ chính xác với tệp số liệu kiểm đinh thực địa (298 điểm) đại diện cho 7 loại hình lớp phủ chủ yếu tại Đồng Tháp, 246 điểm được phân loại vào đúng với lớp phủ của nó. Đối với độ chính xác nhà sản xuất, loại hình đạt độ chính cao nhất là rừng (92,86%), theo sau là lúa (88,51%), trong khi loại hình đạt độ chính xác thấp nhất là rau màu (76,92%) và đất trống (76,47%). Trong khi đó, độ chính xác người dùng đạt được cao nhất là lúa (86,52%), trong khi thấp nhất lại là rừng (74,29%). Độ chính xác theo các hạng mục đều trên 74%, cho thấy

mức độ tin cậy của mô hình phân loại. Lúa, đối tượng nghiên cứu chính, là loại hình có độ chính xác cao nhất. Mô hình phân loại học máy đạt độ chính xác tổng thể cao (82,55%) (Bảng 3).



Hình 1. Bản đồ hiện trạng lớp phủ tỉnh Đồng Tháp năm 2023.

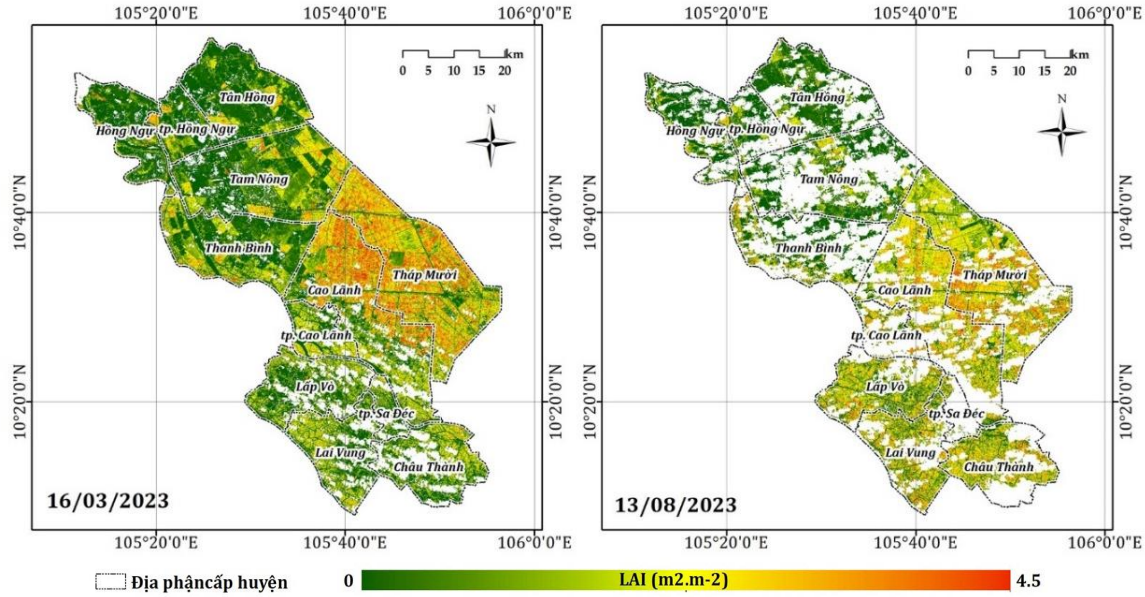
Bảng *Error! No text of specified style in document.***.** Độ chính xác của phương pháp phân loại hiện trạng lớp phủ tỉnh Đồng Tháp năm 2023.

Loại hình	Lúa	Dân cư	Mặt nước	Rừng	Cây ăn trái	Rau màu	Đất trống	Tổng số	$ĐCX_{nd}$
Lúa	77	1	0	1	3	3	2	87	88,51
Dân cư	1	28	1	1	2	2	1	36	77,78
Mặt nước	1	2	19	1	1	0	0	24	79,17
Rừng	0	0	1	26	1	0	0	28	92,86
Cây ăn trái	5	0	0	3	40	0	2	50	80,00
Rau màu	3	1	0	2	2	30	1	39	76,92
Đất trống	2	2	2	1	0	1	26	34	76,47
Tổng số	89	34	23	35	49	36	32	298	
$ĐCX_{SX}$	86,52	82,35	82,61	74,29	81,63	83,33	81,25		
Độ chính xác tổng thể ($ĐCX_{tt}$): 82,55%									

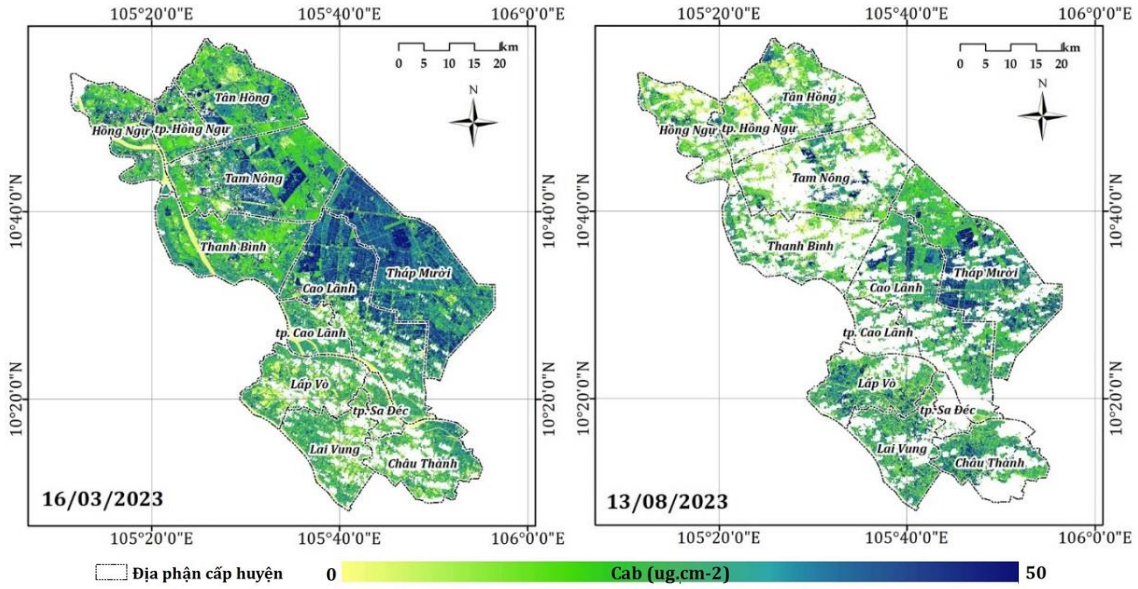
Với kết quả đánh giá độ chính xác như trên, sản phẩm được tạo ra từ dữ liệu viễn thám hoàn toàn đáp ứng độ chính xác theo yêu cầu. Bản đồ hiện trạng lớp phủ tỉnh Đồng Tháp năm 2023 cho thấy phần lớn hiện trạng diện tích của tỉnh Đồng Tháp tập trung vào canh tác lúa, với phân bố hầu hết toàn tỉnh (Hình 3). Các loại hình lớp phủ còn lại mặc dù có diện tích không nhiều nhưng được phân biệt khá rõ ràng, bao gồm rừng, khu dân cư, mặt nước và hệ thống sông suối. Hai loại hình canh tác nông nghiệp còn lại của Đồng Tháp bao gồm cây ăn trái và rau màu cũng được phân biệt khá rõ ràng đối với diện tích trồng lúa.

3.2. Kết quả mô hình ước tính đặc tính hóa sinh thực vật PROSAIL

Các kết quả của mô hình ước tính đặc tính hóa sinh thực vật PROSAIL trên công cụ SNAP bao gồm chỉ số diện tích lá LAI và hàm lượng diệp lục tố Cab. Các sản phẩm được ước tính cho toàn bộ dữ liệu ảnh Sentinel-2 từ tháng 10/2022 đến tháng 12/2023. Theo các kết quả cho ngày 16/03/2023 và 13/08/2023 có thể nhận thấy các khu vực có chỉ số LAI cao tập trung tại các huyện Tháp Mười và Cao Lãnh, trong khi thấp hơn ở các khu vực khác (Hình 4).



Hình 2. Kết quả ước tính chỉ số LAI thực vật toàn tỉnh Đồng Tháp.



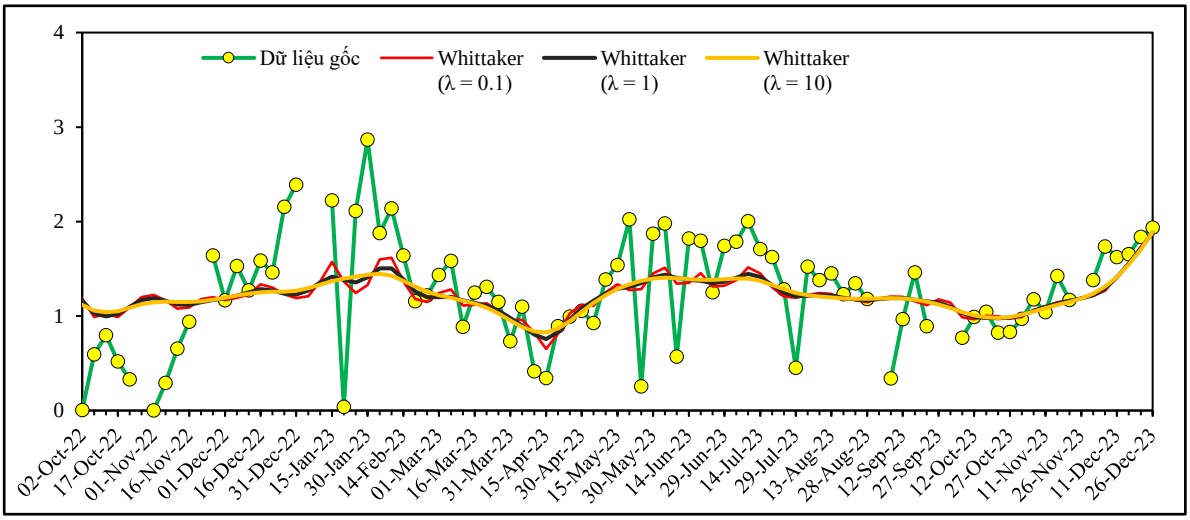
Hình 3. Kết quả ước tính hàm lượng diệp lục tố Cab tỉnh Đồng Tháp.

Tương tự các sản phẩm ước tính hàm lượng diệp lục tố Cab cũng cho kết quả tương tự (Hình 5). Có thể nhận thấy rằng, dù là mùa khô (ví dụ ngày 16/03/2023) hay mùa mưa (ví dụ 13/08/2023) toàn bộ các sản phẩm đều bị khuyết dữ liệu. Điều này là do trong quá trình tiền xử lý, ảnh Sentinel-2 cần phải loại bỏ các pixel ảnh hưởng bởi mây do điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa khiến tần suất mây che phủ xuất hiện ở hầu hết các khoảng thời gian trong năm, đặc biệt là trong mùa mưa. Trong điều kiện khí hậu điển hình nhiệt đới gió mùa tại Việt Nam, mây thường xuất hiện với tần suất cao. Điều này dẫn đến các sản phẩm bản đồ thường không

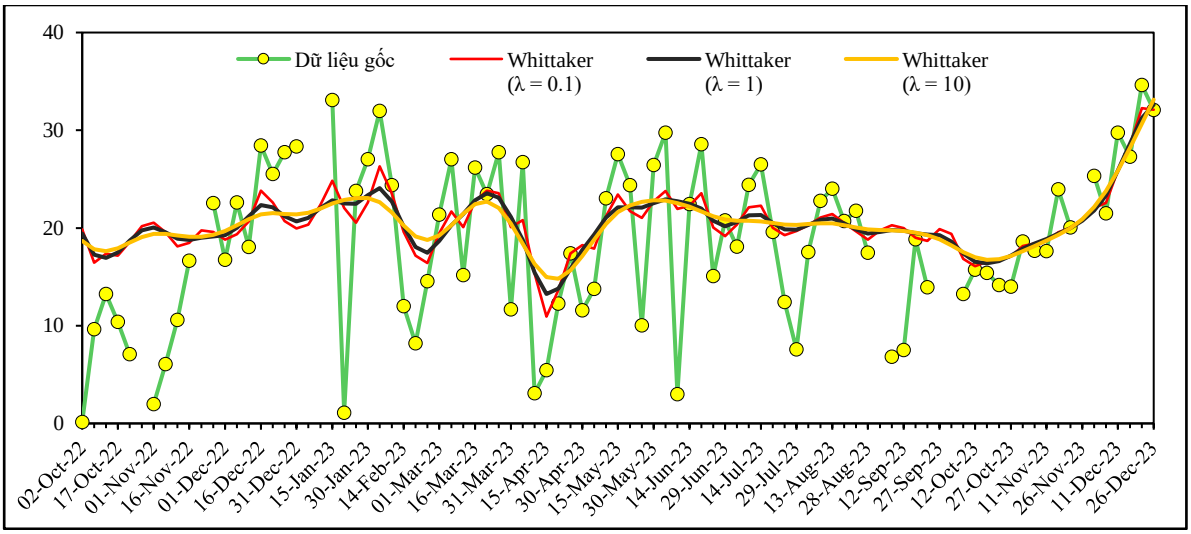
đầy đủ trên quy mô không gian. Vì vậy, cần áp dụng các thuật toán tái cấu trúc dữ liệu để phục hồi đầy đủ thông tin không gian trên từng pixel cho các sản phẩm viễn thám trên khu vực nghiên cứu.

3.3. Tái cấu trúc dữ liệu

Quy trình tái cấu trúc dữ liệu được thử nghiệm với các mức hệ số lần lượt là 0,1, 1 và 10. Mục đích của việc này là hoàn thành các sản phẩm viễn thám bị ảnh hưởng bởi mây che phủ. Biểu đồ cho thấy giá trị trung bình của dữ liệu raster LAI và Cab khi so sánh giữa giá trị ban đầu trước khi tái cấu trúc và các sản phẩm tái cấu trúc tương ứng với các mức hệ số (Hình 6, Hình 7). Nhìn chung khi tái cấu trúc dữ liệu khi sử dụng cái hệ số Lamda khác nhau thì dữ liệu cũng có mức độ sai khác lớn dần so với dữ liệu gốc. Dữ liệu gốc cũng xuất hiện những giá trị bất thường có thể do ảnh hưởng của chất lượng ảnh vệ tinh và mô hình ước tính.



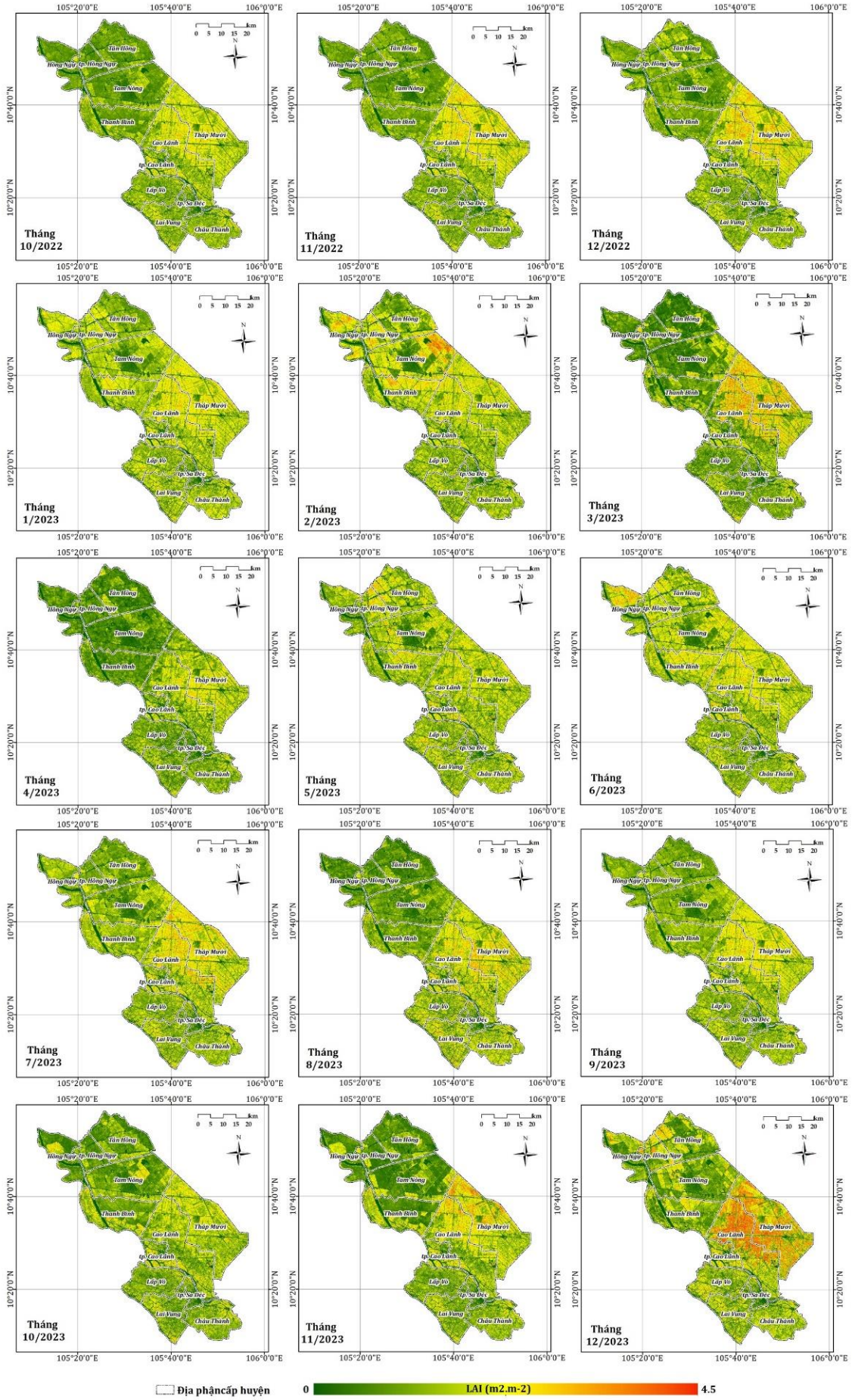
Hình 6. Kết quả tái cấu trúc dữ liệu LAI toàn tỉnh Đồng Tháp.



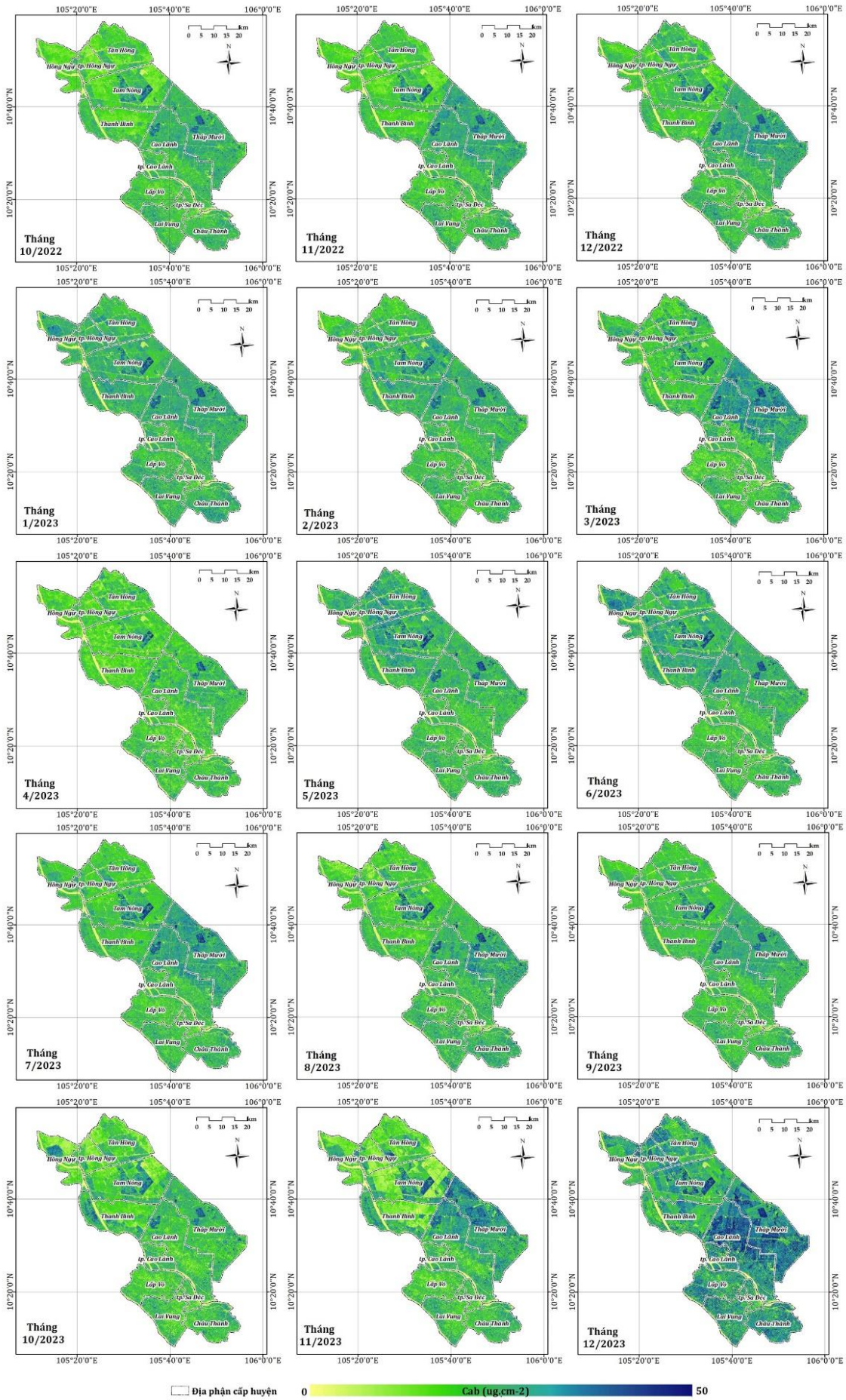
Hình 7. Kết quả tái cấu trúc dữ liệu Cab toàn tỉnh Đồng Tháp.

Để phục vụ cho việc phân tích đặc tính vụ mùa tỉnh Đồng Tháp theo các giai đoạn và phân bố không gian khác nhau, nghiên cứu lựa chọn ngưỡng λ = 10 để áp dụng cho chuỗi dữ liệu đặc tính hóa sinh tỉnh Đồng Tháp. Ngưỡng này đảm bảo cho chuỗi dữ liệu được hài hòa loại bỏ các giá trị nhiễu cũng như giữ nguyên được xu thế thay đổi của đặc tính hóa sinh thực vật. Sau quá trình tính toán, các bản đồ trung bình tháng từ 10/2022 đến tháng 12/2023 được xây dựng (Hình 8, Hình 9). Ngoài việc tái cấu trúc dữ liệu, thuật toán Whittaker cũng cho

phép làm mượt chuỗi dữ liệu để khắc phục một số giá trị ước tính cao hoặc thấp bất thường. Nhằm mục đích là tái cấu trúc dữ liệu và giữ lại các giá trị sau tái cấu trúc dữ liệu ít bị thay đổi nhất, nghiên cứu lựa chọn bộ dữ liệu sau tái cấu trúc với hệ số 10 phục vụ mục đích thành lập bản đồ và phân tích không gian.



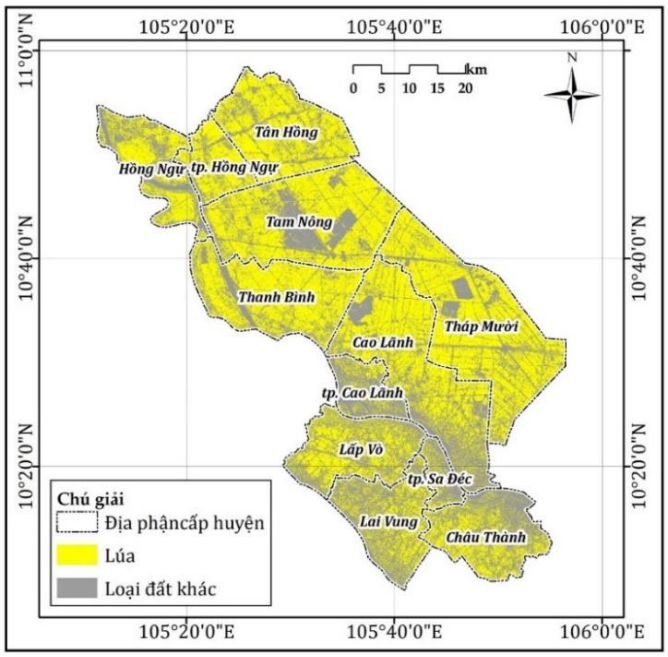
Hình 8. Bản đồ trung bình tháng LAI tỉnh Đồng Tháp giai đoạn 10/2022 - 12/2023.



Hình 9. Bản đồ trung bình tháng Cab tỉnh Đồng Tháp giai đoạn 10/2022 - 12/2023.

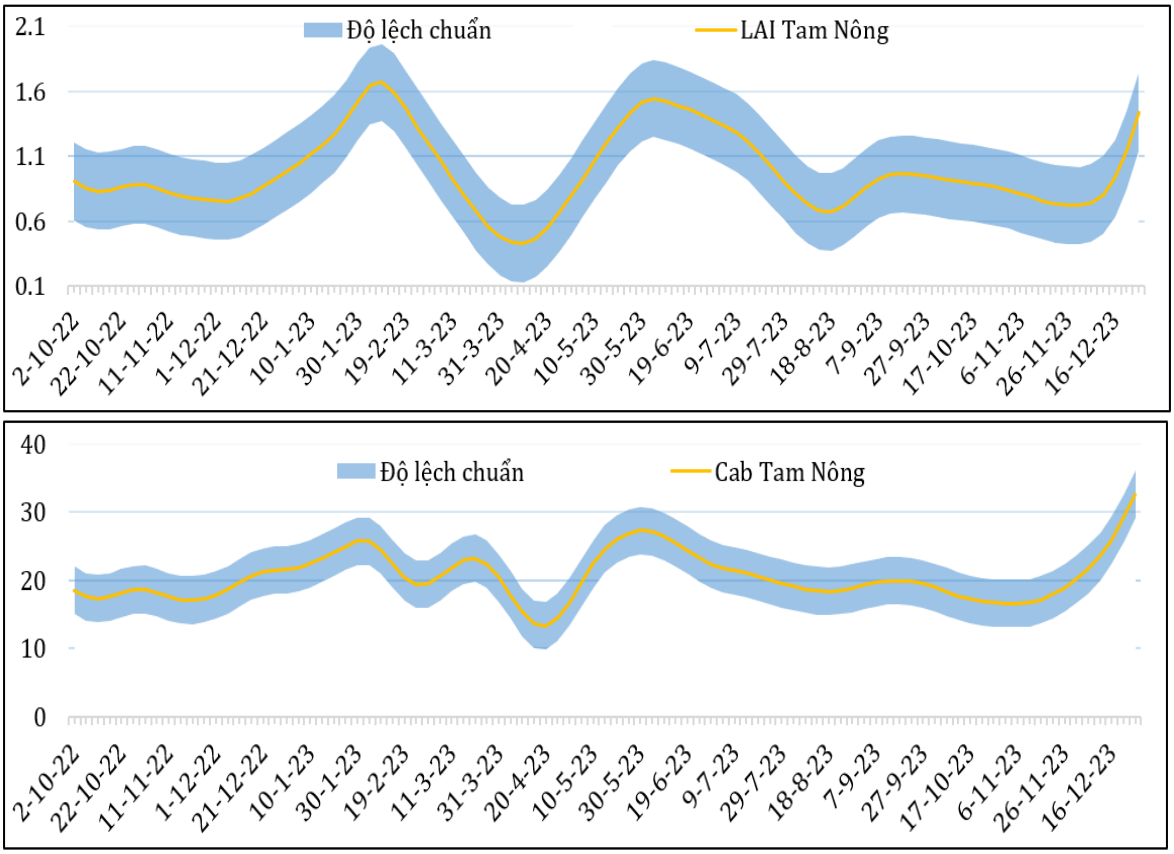
3.4. Phân tích đặc tính canh tác vụ mùa tỉnh Đồng Tháp

Các đặc tính hóa sinh ước tính trong nghiên cứu này khả dụng cho loại hình lớp phủ là cây lúa, tuy nhiên không khả dụng cho loại hình lớp phủ khác như thủy hệ, dân cư, thậm chí là đối tượng rừng (do đặc tính phân bố của rừng là tán cây không đồng nhất). Vì vậy, cần tiến hành loại bỏ các khu vực được nhận diện không phải là khu vực trồng lúa. Trong nghiên cứu này, kết quả hiện trạng lớp phủ và hiện trạng trồng lúa tỉnh Đồng Tháp đã được xây dựng nhằm mục đích tạo mặt nạ chồng xếp lên các bản đồ đặc tính hóa sinh của cây lúa. Từ đó, các bản đồ đặc tính hóa sinh dành riêng cho cây lúa tỉnh Đồng Tháp được thành lập.

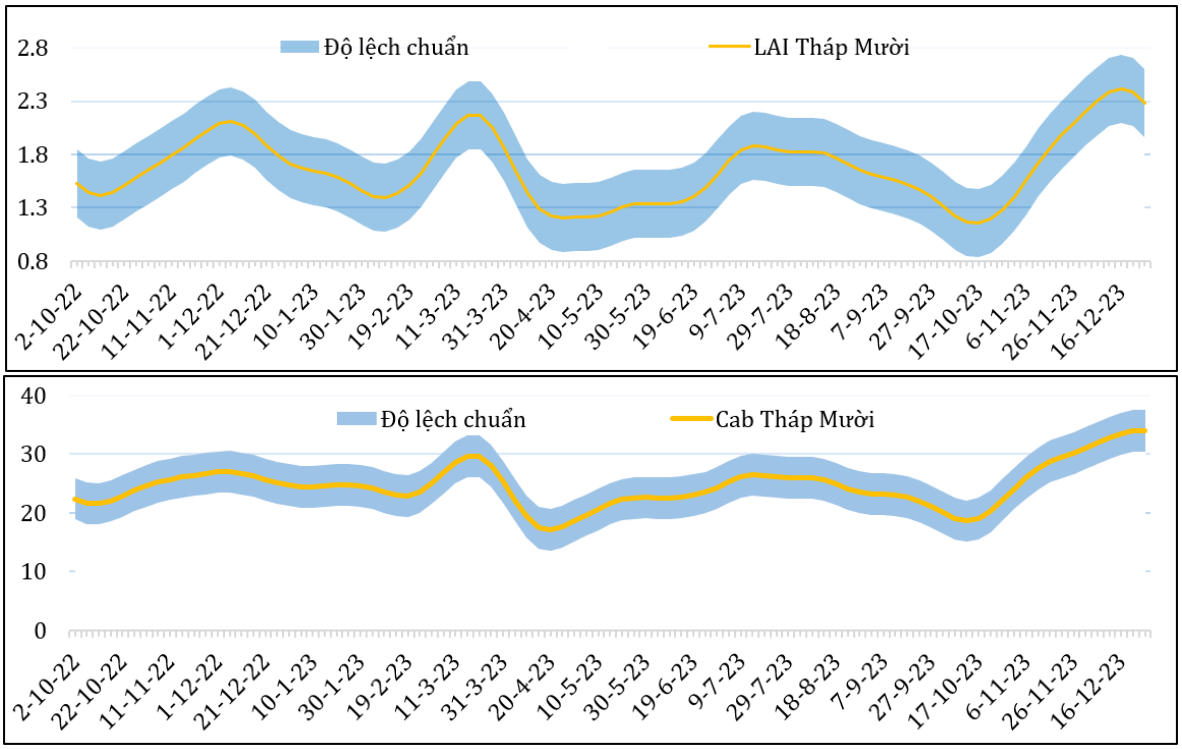


Hình 10. Hiện trạng phân bố vùng trồng lúa tỉnh Đồng Tháp năm 2023.

Chi tiết hơn, tại mỗi vùng, nghiên cứu lựa chọn một khu vực nhỏ hơn phục vụ phân tích. Ở vùng trên đại diện là huyện Tam Nông và vùng dưới là huyện Tháp Mười. Sở dĩ lựa chọn 2 huyện này làm đại diện cho việc tính toán là do Tam Nông là khu vực canh tác lúa 3 vụ và Tháp Mười là huyện canh tác lúa 2 vụ. Độ lệch chuẩn so với giá trị quan sát cũng đã được tính toán, từ đó đánh giá được mức ý nghĩa của giá trị quan sát so với độ lệch chuẩn của giá trị LAI và Cab của hai huyện là Tháp Mười và Tam Nông.



Hình 11. Chuỗi dữ liệu LAI và Cab vực huyện Tam Nông tỉnh Đồng Tháp.



Hình 12. Chuỗi dữ liệu LAI và Cab vực huyện Tháp Mười tỉnh Đồng Tháp.

Đối với huyện Tam Nông, do ảnh hưởng bởi mùa lũ vùng thượng nguồn đổ về hàng năm, nên địa phương chỉ canh tác 2 vụ lúa. Hai vụ lúa là Đông Xuân và Hè Thu thông thường bắt đầu từ cuối tháng 11 đầu tháng 12 năm trước đến hết tháng 7 năm sau. Lịch thời vụ cũng có thể bị điều chỉnh để phù hợp với thời gian mùa lũ đổ về hàng năm. Phân tích chuỗi dữ liệu giai đoạn 10/2022 - 12/2023 tại huyện Tam Nông (Hình 11) cho thấy LAI đạt đỉnh mùa vụ vào các thời điểm 9/2 và 4/6, trong khi Cab đạt đỉnh mùa vụ ngày 4/2 và 30/5. Ngược lại, huyện Tháp Mười thuộc vùng dưới của tỉnh Đồng Tháp, ít bị ảnh hưởng bởi lũ hơn nên thường canh tác 3 vụ lúa hàng năm, bao gồm vụ Đông Xuân, Hè Thu, và Thu Đông. Các kết quả phân tích chuỗi dữ liệu theo thời gian (Hình 12) đã cho thấy giá trị cao nhất theo mùa vụ của LAI và Cab đều rơi vào tháng 12, tháng 3 và tháng 7. Kết hợp phân tích chuỗi dữ liệu trên ảnh viễn thám và kiến thức thực tế trong quá trình thực địa tại địa phương, có thể nhận thấy việc sử dụng các biến số hóa sinh của cây lúa cho phép quan sát được diễn biến của mùa vụ theo quy mô không gian và thời gian.

Các thách thức trong nghiên cứu này bao gồm phương pháp ước tính và điều kiện cụ thể của khu vực nghiên cứu. Liên quan đến phương pháp, mô hình PROSAIL kết hợp với dữ liệu viễn thám đã được chứng minh có thể sử dụng cho mục đích giám sát nông nghiệp trên quy mô không gian - thời gian. Trong khi đó, đặc tính canh tác không đồng nhất tại Đồng Tháp nói riêng và đồng bằng sông Cửu Long nói chung là một thách thức đáng kể. Điều này liên quan cả đến các tác động của tự nhiên (mùa lũ hàng năm, hạn mặn) và con người (lịch thời vụ khác nhau), dẫn tới khó khăn hơn khi so sánh với việc giám sát trên các cánh đồng lớn áp dụng đồng bộ quy trình canh tác. Từ đó, các nghiên cứu trong tương lai cần phát triển mô hình ước tính riêng có kiểm định độ chính xác cho từng khu vực nghiên cứu cụ thể, hướng tới việc giám sát chính xác toàn bộ diện tích lúa vùng đồng bằng sông Cửu Long.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã áp dụng mô hình PROSAIL trên phần mềm SNAP để truy xuất chỉ số sinh hóa của lúa tại khu vực nghiên cứu, cụ thể ở đây là chỉ số diện tích lá - LAI và hàm lượng chất diệp lục trong lá - Cab. Việc ước tính thành công chỉ số sinh hóa diệp lục tố mở

ra các nghiên cứu tiếp theo trong việc xem xét định lượng các yếu tố sinh hóa khác như hàm lượng nước, hàm lượng khô, độ xám, mức độ dinh dưỡng của lá dựa trên tư liệu viễn thám.

Nghiên cứu đã áp dụng mô hình ước tính cho tổng số hơn 280 cảnh ảnh vệ tinh quang học Sentinel-2 quan sát phủ trùm toàn tỉnh Đồng Tháp. Kết hợp với bản đồ hiện trạng lúa đã được thành lập sử dụng sử dụng thuật toán Whittaker phục vụ cho việc tái cấu trúc dữ liệu cho thời với các giá trị Lambda khác nhau. Từ đó chọn ra giá trị Lambda phù hợp nhất, từ đó chuỗi bản đồ đã được thành lập trong giai đoạn từ tháng 10/2022 đến tháng 12/2023.

Các kết quả phân tích cho phép nâng cao hiểu biết về sự khác nhau trên quy mô không gian cũng như thời gian, cùng với đó cho phép nhìn nhận sự thay đổi theo từng mùa vụ trong năm. Việc nghiên cứu theo chuỗi thời gian của dữ liệu ảnh vệ tinh sẽ cho phép theo dõi theo thời gian các khu vực trồng lúa trên quy mô lớn để nâng cao kiến thức, sự hiểu biết về các thời điểm gieo trồng cụ thể để phục vụ cho mục đích nâng cao hiệu quả, năng suất cây trồng. Các sự thay đổi theo thời gian có thể hỗ trợ việc ra quyết định đối với các giải pháp quản lý toàn diện đối với cây lúa, là một loại cây lương thực quan trọng đối với sự phát triển kinh tế của đất nước.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của đề tài thuộc các hướng KHCN ưu tiên cấp Viện Hàn lâm KHCNVN do Viện Hàn lâm KHCNVN là cơ quan chủ quản và Viện Địa lý tài nguyên thành phố Hồ Chí Minh là cơ quan chủ trì thực hiện với tên: "Nghiên cứu ước tính hàm lượng đạm (Nitơ) trong lúa dựa trên mô hình mô phỏng quang phổ vật lý và dữ liệu viễn thám phục vụ mục tiêu giảm thiểu phát thải khí nhà kính trong sinh kế nông nghiệp vùng đồng bằng sông Cửu Long: thí điểm tại tỉnh Đồng Tháp", mã số VAST05.02/24-25.

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. Le Toan, T.; Ribbes, F.; Wang, L.F.; Floury, N.; Ding, K.H.; Kong, J.A.; Fujita, M.; Kurosu, T. Rice crop mapping and monitoring using ERS-1 data based on experiment and modeling results. *IEEE Trans. Geo. Remote Sen.* **1997**, *35*, 41–56.
2. Maclean, J.; Hardy, B.; Hettel, G. Rice Almanac. Proceeding of the 4th (Eds.): International Rice Research Institute: Los Bahos, Philippines, 2013, pp. 283. ISBN 978-971-22-0300-8.
3. Chen, C.F.; Son, N.T.; Chang, L.Y. Monitoring of rice cropping intensity in the upper Mekong Delta, Vietnam using time-series MODIS data. *Adv. Spa. Res.* **2012**, *49*, 292–301.
4. Xuan, V.T. Rice Cultivation in the Mekong Delta. *Jpn. J. Sou. Asi. Stud.* **1975**, *13*, 88–111.
5. Weiss, M.; Jacob, F.; Duveiller, G. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sen. Environ.* **2020**, *236*, 111402.
6. Avtar, R.; Herath, S.; Saito, O.; Gera, W.; Singh, G.; Mishra, B.; Takeuchi, K. Application of remote sensing techniques toward the role of traditional water bodies with respect to vegetation conditions. *Environ. Dev. Sus.* **2014**, *16*, 995–1011.
7. Xiao, X.; Boles, S.; Frolking, S.; Li, C.; Babu, J.Y.; Salas, W.; Moore, B. Mapping paddy rice agriculture in South and Southeast Asia using multi-temporal MODIS images. *Remote Sen. Environ.* **2006**, *100*, 95–113.
8. Dinesh Kumar, S.; Srinivasa Rao, S.; Sharma, J.R. Radar vegetation index as an alternative to NDVI for monitoring of soyabean and cotton. Proceedings of the Indian Cartographer, Jodhpur, India, 19–21 September 2013, XXXIII, pp. 91–96.

9. Ottinger, M.; Clauss, K.; Kuenzer, C. Opportunities and challenges for the estimation of aquaculture production based on earth observation data. *Remote Sen.* **2018**, *10*, 1076.
10. Jiang, T.; Liu, X.; Wu, L. Method for mapping rice fields in complex landscape areas based on pre-trained convolutional neural network from HJ-1 A/B data. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2018**, *7*, 418.
11. Avtar, R.; Suzuki, R.; Takeuchi, W.; Sawada, H. PALSAR 50 m mosaic data based national level biomass estimation in Cambodia for implementation of REDD+ mechanism. *PLoS ONE* **2013**, *8*, e74807.
12. Qiu, B.; Li, W.; Tang, Z.; Chen, C.; Qi, W. Mapping paddy rice areas based on vegetation phenology and surface moisture conditions. *Eco. Ind.* **2015**, *56*, 79–86.
13. Darvishzadeh, R.; Matkan, A.A.; Ahangar, A.D. Inversion of a radiative transfer model for estimation of rice canopy chlorophyll content using a lookup-table approach. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* **2012**, *5(4)*, 1222–1230.
14. Richter, K.; Atzberger, C.; Vuolo, F.; Weihs, P.; D'Urso, G. Experimental assessment of the Sentinel-2 band setting for RTM-based LAI retrieval of sugar beet and maize. *Can. J. Remote Sen.* **2009**, *35(3)*, 230–247.
15. Baret, F.; Hagolle, O.; Geiger, B.; Bicheron, P.; Miras, B.; Huc, M.; Berthelot, B.; Niño, F.; Weiss, M.; Samain, O.; Roujean, J.L.; Leroy, M. LAI, fAPAR and fCover CYCLOPES global products derived from VEGETATION: Part 1: Principles of the algorithm. *Remote Sen. Environ.* **2007**, *110(3)*, 275–286.
16. Atzberger, C.; Darvishzadeh, R.; Immitzer, M.; Schlerf, M.; Skidmore, A.; le Maire, G. Comparative analysis of different retrieval methods for mapping grassland leaf area index using airborne imaging spectroscopy. *Int. J. App. Ear. Obs. Geo.* **2015**, *43*, 19–31.
17. van der Tol, C.; Timmermans, J.; Verhoef, A.; Su, Z. An integrated model of soil-canopy spectral radiances, photosynthesis, fluorescence, temperature and energy balance. *Biogeosciences* **2009**, *6(12)*, 3109–3129.
18. Bowyer, P.; Danson, F.M. Sensitivity of spectral reflectance to variation in live fuel moisture content at leaf and canopy level. *Remote Sen. Environ.* **2004**, *92(3)*, 297–308.
19. Jacquemoud, S.; Verhoef, W.; Baret, F.; Bacour, C.; Zarco-Tejada, P.J.; Asner, G.P.; François, C.; Ustin, S.L. PROSPECT+SAIL models: A review of use for vegetation characterization. *Remote Sen. Environ.* **2009**, *113*, S56–S66.
20. Jacquemoud, S.; Baret, F. PROSPECT: A model of leaf optical properties spectra. *Remote Sen. Environ.* **1990**, *34(2)*, 75–91.
21. Kuusk, A. A multispectral canopy reflectance model. *Remote Sen. Environ.* **1994**, *50(2)*, 75–82.
22. Braswell, B.H.; Schimel, D.S.; Moore III, B.; Emery, W.J.; Sulzman, E.W.; Hudak, A.T. Extracting ecological and biophysical information from AVHRR optical data: An integrated algorithm based on inverse modeling. *J. Geo. Res.: Atm.* **1996**, *101(D18)*, 23335–23348.
23. Binh, N.A.; Nhut, H.S.; An, N.N.; Phuong, T.A.; Hanh, N.C.; Thao, G.T.P.; Pham, T.T.; Hong, P.V.; Ha, L.T.T.; Bui, D.T.; et al. Thirty-year dynamics of LULC at the Dong Thap Muoi area, Southern Vietnam, using google earth engine. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2021**, *10*, 226.
24. Dương, V.K.; Chu, M.T.; Nguyễn, T.H.; Bùi, Đ.G. Sử dụng tư liệu viễn thám đa thời gian để đánh giá biến động chỉ số thực vật lớp phủ và một số phân tích về thời vụ và trạng thái sinh trưởng của cây lúa ở Đồng bằng sông Hồng và sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2010**, *595*, 36–42.

25. Vũ, T.T.; Bảo, L.T.; Nhân, N.T.; Khánh, N.V.; Tuấn, Đ.M.; Nhất, T.T. Đánh giá thiệt hại tiềm năng diện tích đất trồng lúa do hạn mặn năm 2018 ở khu vực huyện Ba Tri, tỉnh Bến Tre. *Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn* **2023**, *749*, 1–11.
26. Hiền, T.T.; Minh, V.Q.; Hương, H.T.T.; Dân, T.T.; Chiến, H.V.; An, N.H.; Thành, N.P. Theo dõi hiện trạng trà lúa và cảnh báo dịch hại trên cơ sở sử dụng công nghệ viễn thám và hệ thống thông tin địa lý GIS. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2013**, 143–151.
27. Hoang-Phi, P.; Nguyen, L.D.; Thong, N.H.; Thuy, L.T.; Apan, A.A. Monitoring rice growth status in the Mekong Delta, Vietnam using multitemporal Sentinel-1 data. *J. App. Remote Sen.* **2020**, *14(1)*, 1–23.
28. Trực tuyến: https://dongthap.gov.vn/dieu-kien-tu-nhien-dong-thap.
29. Atkinson, P.M.; Jeganathan, C.; Dash, J.; Atzberger, C. Inter-comparison of four models for smoothing satellite sensor time-series data to estimate vegetation phenology. *Remote Sen. Environ.* **2012**, *123*, 400–417.
30. Atzberger, C.; Eilers, P.H.C. A time series for monitoring vegetation activity and phenology at 10-daily time steps covering large parts of South America. *Int. J. Digit. Earth* **2011**, *4(5)*, 365–386.

Integration of satellite earth observation data and PROSAIL model in monitoring the growth of rice in the Mekong Delta: A case study in Dong Thap province

Le Thi Thu Ha[1,2]*, Giang Thi Phuong Thao[3]

[1] Hanoi university of Mining and Geology; lethithuha@humg.edu.vn
[2] Geomatics in Earth Sciences; lethithuha@humg.edu.vn
[3] Ho Chi Minh City Institute of Resources Geography, Vietnam Academy of Science and Technology; gtpthao@hcmig.vast.vn

Abstract: Global agricultural production has been facing mounting pressure due to a confluence of factors, including dynamic population growth, nutritional demands, and severe climate conditions. In response to these challenges, there is an urgent requirement for accurate, large-scale, and regular monitoring of rice paddies. Such an approach is crucial for ensuring the stability and augmentation of the global food supply. This study proposes a novel approach for modeling and estimating biochemical variables representative of rice growth, Leveraging multispectral satellite imagery and the radiative transfer model PROSAIL. The results successfully generated spatiotemporal maps depicting biochemical variables corresponding to various rice development stages within Dong Thap province following time series of Sentinel-2 satellite images captured between October 2022 and December 2023. Furthermore, a classification model was developed utilizing the Random Forest machine learning algorithm and incorporating a comprehensive dataset of nearly 700 field points, resulting in accurate characterizations of the prevailing rice cultivation conditions in Dong Thap province. This enabled the identification of temporal dynamics and cultivation patterns among areas with distinct crop calendars. Quantifying biochemical variables based on multi-temporal satellite series fosters a deeper understanding of rice cultivation over the Mekong Delta. This knowledge can serve the purpose of improving farming methods as well as optimizing productivity of this key crop.

Keywords: Rice Growth Map; Sentinel-2 satellite image; PROSAIL model; Dong Thap Province.

Table of content

1 Trang, C.T.H.; Dao, L.Q.; Hoang, T.H.; Hung, L.V.; Hung, B.Q.; Hung, M.K.; Hang, N.T.; Trang, D.T.; Tien, D.D.; Quan, D.D.; Nam, H.G. Application of deep learning for identifying and early warning of tropical cyclones in the Northwest Pacific basin and East Sea. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *764*, 1–14.

15 Thanh, N.T.; Thac, T.K. Analyzing the characteristics and trends of precipitation for Hoa Binh Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *764,* 15–28.

29 Thao, N.T.P.; Long, N.H.; Tuan, T.A.; Hang, L.M. Using multi-temporal Sentinel-1A images to detect flash floods, a case study in Lao Cai Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *764*, 29–37.

38 Quyen, L.V.; Binh, D.V. Assessing riverbank erosion in the Ham Luong river by integrating remote sensing with machine learning and digital shoreline analysis system. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *764*, 38–52.

53 Khanh, P.T.; Anh, H.V.T.; Thang, N.D.; Ngoc, T.T.H. Urbanization and land surface temperature in Long Xuyen city. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *764*, 53–65.

66 Lieu, N.T.; Chinh, N.T.; Cuong, T.T.; Dai, N.V.; Ha, T.T.N. Assessing the impact of climate change on organic rice productivity in Tuyen Quang Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *764*, 66–77.

78 Au, N.H.; Dien, N.T. Application the AHP-TOPSIS integrated model to select appropriate plans for exploiting and using marine space in Con Dao district, Ba Ria - Vung Tau Province. *J. Hydro-Meterol.* **2024**, *764,* 78–92.

93 Ha, L.T.T.; Thao, G.T.P. Integration of satellite earth observation data and PROSAIL model in monitoring the growth of rice in the Mekong Delta: A case study in Dong Thap Province. *J. Hydro-Meterol.* **2024**, *764,* 93–108.