

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

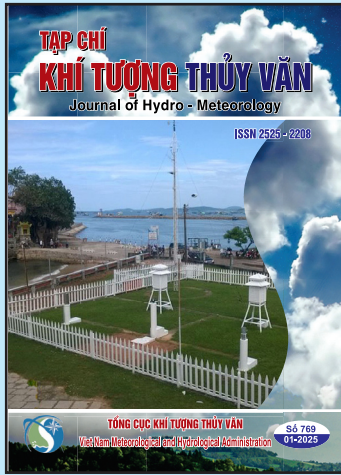
Journal of Hydro - Meteorology

ISSN 2525 - 2208



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

Số 769
01-2025



Q. TÔNG BIÊN TẬP

PGS. TS. Đoàn Quang Trí

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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

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

Chế bản và In tại:

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

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

Giá bán: 40.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

SỐ 769 - 1/2025

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- 1 Nguyễn Đỗ Quỳnh Như, Lê Ngọc Tuấn: Đánh giá hiện trạng công tác quản lý chất thải rắn sinh hoạt tại ký túc xá Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
- 14 Nguyễn Xuân Hiền, Dương Ngọc Tiên, Vũ Thị Vui, Giáp Ngọc Ánh, Cao Hoàng Anh: Đánh giá khả năng ứng dụng số liệu sóng tái phân tích cho khu vực Biển Đông
- 27 Đoàn Văn Bình, Hồ Ngọc Như Ý: Đánh giá ảnh hưởng của thay đổi sử dụng đất và đập chuyển nước đến thay đổi dòng chảy trên lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Ngà
- 44 Lê Thiên Bảo, Trần Văn Bắc, Nguyễn Trọng Nhân: Xây dựng công cụ phân tích biến động hình thái vùng cửa sông sử dụng ảnh Landsat: Áp dụng thí điểm Cửa Đại trên sông Trà Khúc
- 57 Tống Sĩ Sơn: Ứng dụng phương pháp phân tích véc tơ biến động đánh giá biến động lớp phủ đất khu vực ven biển
- 71 Nguyễn Thị Bích Ngọc, Trần Văn Tình: Đánh giá mức độ và xu thế biến đổi mưa thành phố Hà Nội dựa trên dữ liệu mưa từ vệ tinh CHIRPS
- 89 Nguyễn Thị Lan Anh, Lê Mạnh An, Trần Anh Phương: Nghiên cứu đánh giá và lựa chọn sản phẩm mưa vệ tinh độ phân giải cao mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông Mã
- 102 Hoàng Thái Bình, Nguyễn Bách Tùng, Nguyễn Hồng Thủy, Mai Đức Hoàng, Đào Đình Châm, Nguyễn Tường Vĩ, Trần Ngọc Anh: Đánh giá rủi ro ngập lụt khu vực hạ lưu sông Trà Khúc - sông Vệ, tỉnh Quảng Ngãi dưới tác động của các hoạt động kinh tế - xã hội

Bài báo khoa học

Đánh giá hiện trạng công tác quản lý chất thải rắn sinh hoạt tại ký túc xá Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

Nguyễn Đỗ Quỳnh Như¹, Lê Ngọc Tuấn^{1*}

¹ Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh; quynhnhu365.nnn.nnn@gmail.com; lntuan@hcmus.edu.vn

*Tác giả liên hệ: lntuan@hcmus.edu.vn; Tel.: +84-908391379

Ban Biên tập nhận bài: 5/6/2024; Ngày phản biện xong: 22/7/2024; Ngày đăng: 25/1/2025

Tóm tắt: Nghiên cứu nhằm mục tiêu đánh giá hiện trạng quản lý chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) tại Ký túc xá Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (KTX ĐHQG-HCM). Trên cơ sở điều tra, khảo sát và xử lý số liệu, tổng lượng CTRSH phát sinh ước khoảng 13,5 tấn/ngày (tương ứng 4 tấn/ngày 9,5 tấn/ngày tại khu A và khu B), hệ số phát sinh khoảng 0,38 kg/người.ngày. Trong đó, nhóm chất thải thực phẩm, chất thải có khả năng tái chế và chất thải khác lần lượt chiếm 17%, 35% và 48%. Hoạt động tồn trữ và thu gom chất thải còn nhiều hạn chế về kỹ thuật. Nhận thức và thái độ của sinh viên về phân loại CTRSH lần lượt được đánh giá ở mức tốt và tích cực; tuy nhiên, công tác phân loại hiện chưa được triển khai triệt để. Kết quả phân tích tương quan - hồi quy cho thấy nhận thức và thái độ có ảnh hưởng đến hành vi (β lần lượt là 0,32 và 0,28). Các khía cạnh nhận thức ảnh hưởng đến hành vi được chỉ ra bao gồm: nhận diện loại CTRSH, trách nhiệm phân loại, hiểu biết về quy định pháp luật và xử phạt hành chính,... Trên cơ sở phân tích các điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội và thách thức liên quan đến các khía cạnh phát sinh CTRSH, quản lý hành chính và quản lý kỹ thuật, các giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả công tác phân loại CTRSH tại ký túc xá được đề xuất.

Từ khoá: Phân loại tại nguồn; Chất thải rắn sinh hoạt; Sinh viên; Ký túc xá.

1. Đặt vấn đề

Đối mặt với sự gia tăng không ngừng của dân số, tốc độ đô thị hoá và sự phát triển của nền kinh tế, vấn đề quản lý CTRSH ngày càng trở nên cấp bách và phức tạp. Trong đó, phân loại CTRSH tại nguồn là một trong những biện pháp quan trọng, được quy định trong Luật Bảo vệ môi trường của Việt Nam [1], góp phần giảm thiểu chất thải, tuân hoàn tài nguyên, phục vụ chuyển đổi từ kinh tế tuyến tính sang kinh tế tuần hoàn [2-4]. Các nước trên thế giới cũng đã tiến hành thực hiện biện pháp này như: Đức (giấy; chất dẻo; hữu cơ dễ phân huỷ; không độc hại nhưng khó phân huỷ; thủy tinh/chai, lọ nhựa), Hàn Quốc (thực phẩm, tái chế, khác), Nhật Bản (dễ cháy, không thể cháy, có thể tái chế, cỡ lớn), Trung Quốc (tái chế, thực phẩm, nguy hại, còn lại),... Tại Việt Nam, phân loại CTRSH sinh hoạt tại nguồn mặc dù đã được triển khai ở một số nơi như Hưng Yên (2012-2014), Bắc Ninh (2014), Lào Cai (2016), Đồng Nai (2016-2018), Bình Dương (2017-2018), Đà Nẵng (2017), Hà Tĩnh (2019)..., nhưng hiệu quả nhìn chung còn khiêm tốn [5]. Nhiều nghiên cứu về phân loại CTRSH đã được thực hiện, tập trung vào các nguồn phát thải là hộ gia đình [6-8] hay gần đây là các trường học, đại học và cao đẳng [9-13]. Các nghiên cứu về đặc điểm sinh viên KTX trong mối quan hệ với công tác phân loại nói riêng và quản lý kỹ thuật CTRSH nói chung tập trung chủ yếu ở 3 khía cạnh: (1) Nhận thức: Nhận diện CTRSH [13-19], tác động của CTRSH [13,15, 16, 18, 19], lợi ích [13, 18, 19], vai trò và trách nhiệm [17] và quy định pháp luật [13, 18, 19] về phân loại tại nguồn; (2) Thái độ: trách nhiệm [15-20], ảnh hưởng của những người

xung quanh [15, 21], xử lý rác [15, 20, 21], chính sách và quy định [21], truyền thông [15]; (3) Hành vi: phân loại, tái sử dụng-tái chế, giảm thiểu và xử lý [13, 19].

Nghiên cứu này nhằm mục tiêu đánh giá hiện trạng quản lý kỹ thuật CTRSH tại KTX ĐHQG-HCM; bao gồm: hiện trạng phát sinh (khối lượng, thành phần); hiện trạng phân loại, tồn trữ CTRSH; đánh giá nhận thức, thái độ và hành vi của người học liên quan đến việc phân loại, tái sử dụng - tái chế và giảm thiểu CTRSH; trên cơ sở đó, đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả phân loại CTRSH, qua đó tăng cường hiệu quả quản lý CTR tại địa phương.

2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập dữ liệu

2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: CTRSH phát sinh trực tiếp từ phòng trọ của sinh viên (không xét CTRSH phát sinh từ các dịch vụ nội khu KTX như căn tin, cửa hàng tiện lợi...).

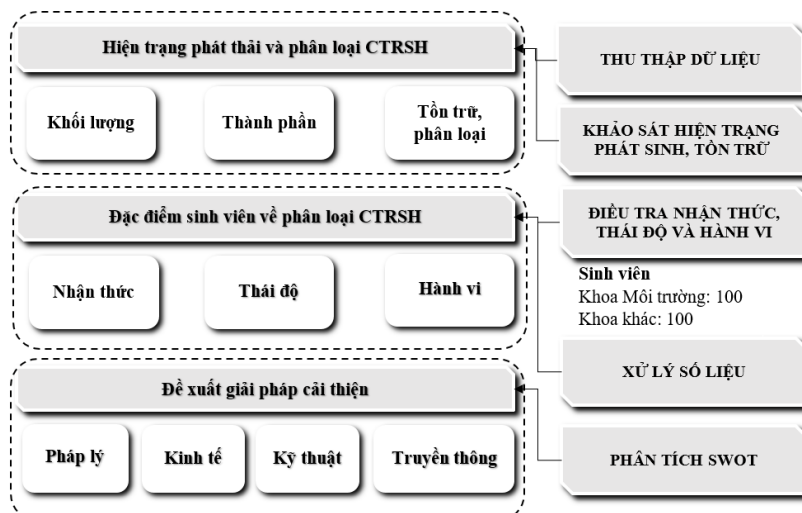
- Phạm vi không gian: Nghiên cứu được thực hiện tại KTX ĐHQG-HCM ở Khu A (Thành phố Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh) và Khu B (Thành phố Dĩ An, Tỉnh Bình Dương) (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ phối cảnh khuôn viên Ký túc xá Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Khung định nghiên cứu được trình bày tại Hình 2 thể hiện các nội dung và phương pháp nghiên cứu được sử dụng.



Hình 2. Khung định hướng nghiên cứu.

2.2.1. Phương pháp thu thập dữ liệu

Các tài liệu, số liệu cần thiết phục vụ nghiên cứu được thu thập tại Phòng Quản trị thiết bị và Phòng Công tác sinh viên của KTX..., bao gồm: số lượng và phân bố sinh viên lưu trú, tình hình phân loại CTRSH, số lượng và vị trí đặt thùng chứa và bãi thu gom...

2.2.2. Phương pháp khảo sát hiện trạng phát sinh, tồn trữ và ước tính khối lượng CTRSH

Hiện trạng phát sinh, tồn trữ CTRSH: khảo sát trực tiếp về bao bì, dụng cụ lưu chứa CTRSH tại các phòng ở, thiết bị thu gom, lưu chứa tại các bãi tập trung chất thải tạm thời của KTX trước khi chuyển giao cho đơn vị có chức năng vận chuyển và xử lý.

Ước tính khối lượng CTRSH phát sinh: (1) Cỡ mẫu khảo sát: 50 mẫu rác thải thu tại 50 phòng lưu trú của sinh viên; (2) Hình thức khảo sát: mỗi mẫu CTRSH sau khi cân khối lượng tổng sẽ phân thành 03 loại (rác thực phẩm, rác tái chế, rác khác) và tiếp tục cân khối lượng mỗi loại (Hình 3).



Hình 3. Khảo sát CTRSH phát sinh: (a) Phân loại và (b) cân thành phần chất thải.

Quy trình tính toán như sau: (1) Tính hệ số phát sinh mỗi ngày bình quân đầu người của mỗi phòng (kg/người.ngày): dựa trên khối lượng CTRSH phát sinh mỗi ngày (kg/ngày) và số sinh viên lưu trú tại phòng (người); (2) Tính hệ số phát sinh mỗi ngày bình quân đầu người của KTX (kg/người.ngày): bằng trung bình cộng hệ số phát sinh mỗi ngày bình quân đầu người của mỗi phòng (kg/người.ngày); (3) Tính khối lượng CTRSH phát sinh trung bình ngày tại KTX (kg/ngày): dựa trên hệ số phát sinh mỗi ngày bình quân đầu người của KTX (kg/người.ngày) và tổng số sinh viên lưu trú tại KTX (người).

2.2.3. Phương pháp điều tra nhận thức, thái độ và hành vi

Đối tượng khảo sát: sinh viên lưu trú tại KTX ĐHQG-HCM.

Hình thức khảo sát: phỏng vấn trực tiếp thông qua phiếu khảo sát.

Cỡ mẫu khảo sát: ước tính theo công thức của Yamane [22]:

$$n = \frac{N}{1 + N \times e^2} \quad (1)$$

Trong đó, n là kích thước mẫu cần xác định; N là quy mô tổng thể (hiện có khoảng 35.500 sinh viên đang lưu trú); e là sai số cho phép (từ 0,01-0,1), trong nghiên cứu này lựa chọn e = 0,07. Như vậy, tổng cỡ mẫu cần thu thập ước tính là 200, gồm 100 mẫu từ sinh viên khoa Môi trường và 100 mẫu từ sinh viên các khoa khác (cỡ mẫu tối thiểu, đảm bảo ý nghĩa thống kê) - phục vụ so sánh, đánh giá sự khác biệt về nhận thức, thái độ, hành vi của người học giữa hai nhóm khối ngành đào tạo, làm cơ sở để nghiên cứu, áp dụng các giải pháp giáo dục, truyền thông tích hợp phù hợp vào các chương trình đào tạo và/hoặc hoạt động ngoại khóa.

Nội dung khảo sát: (1) Thông tin chung: Họ tên, giới tính, năm học, ngành học; (2) Nhận thức: nhận diện CTRSH, tác động của CTRSH đến sức khỏe và môi trường, lợi ích của việc phân loại CTRSH, vai trò và trách nhiệm của sinh viên trong công tác phân loại CTRSH, hiểu biết về quy định pháp luật và xử phạt hành chính liên quan; (3) Thái độ: thái độ hướng đến sự bền vững trong quản lý CTRSH; (4) Hành vi: hoạt động phân loại, tồn trữ, tái sử dụng - tái chế và giảm thiểu CTRSH.

2.2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Phần mềm Excel được sử dụng để thống kê, xử lý, tính toán các dữ liệu liên quan:

- Nhận thức của sinh viên về phân loại CTRSH: Dựa vào kết quả điều tra từ phiếu khảo sát, đánh giá theo thang 0-10, phân thành 4 mức độ: Rất tốt ($\bar{D}_{NT} \geq 8,5$), Tốt ($7 \leq \bar{D}_{NT} < 8,5$), Khá ($5 \leq \bar{D}_{NT} < 7$), Chưa đạt ($\bar{D}_{NT} < 5$).

- Thái độ của sinh viên về phân loại CTRSH: Tương tự, phân thành 3 mức độ: Rất tích cực ($\bar{D}_{TD} \geq 7,5$), Tích cực ($5 \leq \bar{D}_{TD} < 7,5$), Chưa tích cực ($\bar{D}_{TD} < 5$).

- Hành vi phân loại CTRSH của sinh viên: Rất tốt ($\bar{D}_{HV} \geq 8,5$), Tốt ($7 \leq \bar{D}_{HV} < 8,5$), Khá ($5 \leq \bar{D}_{HV} < 7$) và Kém ($\bar{D}_{HV} < 5$).

Phần mềm SPSS được sử dụng để thực hiện phân tích các mối tương quan và hồi quy giữa các biến nhằm tìm ra mối quan hệ giữa chúng.

- Phân tích tương quan Pearson: Xem xét các hệ số tương quan Pearson (r) từ -1 đến 1 để nhận biết các mối tương quan tuyến tính (mạnh hay yếu); hệ số sig để kiểm định ý nghĩa thống kê của giả thuyết (sig < 0,05: có ý nghĩa thống kê).

- Phân tích hồi quy: Thực hiện kiểm định các mô hình tuyến tính có dạng:

- + Hành vi quản lý CTRSH = f (Nhận thức, thái độ)
- + Thái độ = f (Các khía cạnh nhận thức đã khảo sát)
- + Hành vi quản lý CTRSH = f (Các khía cạnh nhận thức đã khảo sát)
- + Hành vi phân loại CTRSH = f (Các khía cạnh nhận thức đã khảo sát)
- + Hành vi tồn trữ CTRSH = f (Các khía cạnh nhận thức đã khảo sát)
- + Hành vi tái sử dụng - tái chế CTRSH = f (Các khía cạnh nhận thức đã khảo sát)
- + Hành vi giảm thiểu CTRSH = f (Các khía cạnh nhận thức đã khảo sát)

2.2.5. Phương pháp phân tích SWOT

Phân tích các điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội và thách thức trong hoạt động phân loại CTRSH tại nguồn theo 3 khía cạnh: phát sinh CTRSH, quản lý hành chính, quản lý kỹ thuật làm cơ sở để đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu quả phân loại CTRSH tại nguồn ở ký túc xá ĐHQG-HCM.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá hiện trạng phát sinh và phân loại CTRSH

- Hiện trạng phát sinh CTRSH: Bảng 1 trình bày kết quả khảo sát trên 50 mẫu chất thải thu được, trong đó, khối lượng CTRSH phát sinh khoảng 113,4 kg/ngày, hệ số phát thải khoảng 0,38 kg/người.ngày (dao động từ 0,08-0,45 kg/người.ngày) -kết quả này cũng tương đồng với nghiên cứu [12] (0,31 kg/người.ngày). Theo đó, ước tính tổng khối lượng CTRSH phát sinh tại KTX khoảng 13,5 tấn/ngày (4 tấn/ngày tại Khu A và 9,5 tấn/ngày tại Khu B). Trong đó, nhóm chất thải thực phẩm, chất thải có khả năng tái chế và chất thải khác lần lượt chiếm 17%, 35% và 48% điều này có thể được giải thích bởi quy định không cho phép hoạt động nấu ăn trong các phòng trọ của sinh viên.

- Hiện trạng phân loại CTRSH: Chưa được triển khai tại cả 2 khu A và B của KTX.

- Hiện trạng tồn trữ: CTRSH được gom vào cùng một bao bì (chủ yếu là túi nylon do sinh viên mua hoặc tận dụng lại nên không đảm bảo yêu cầu kỹ thuật). Trên cơ sở kiểm đếm số lượng thùng chứa CTRSH tại KTX, gồm 83 thùng tại Khu A và 216 thùng tại khu B (dung

tích 240L/thùng), ước tính tổng sức chứa khoảng 7,9 tấn/ngày tại Khu A và 20,7 tấn/ngày tại Khu B -đảm bảo lưu chứa hết lượng rác thải phát sinh mỗi ngày. Các thùng chứa được phân bố ở các vị trí thuận tiện cho việc thu gom, tuy nhiên, chưa cân nhắc hoạt động phân loại CTRSH (Hình 4).

- Hiện trạng thu gom, chuyển giao: CTRSH tại các phòng của SV sẽ được mang đến bãi tập kết vào 16:00 hàng ngày. Sau đó, CTRSH sẽ được thu gom và chuyển giao cho đơn vị có chức năng vào 7:00 hàng ngày.

Bảng 1. Kết quả khảo sát khối lượng và hệ số phát sinh CTRSH tính trên 50 mẫu chất thải thu được.

Loại rác	Tỷ lệ (%)	Khối lượng (kg/ngày)	Hệ số phát sinh (kg/phòng.ngày)	Hệ số phát sinh (kg/người.ngày)
Rác thực phẩm	17,2	19,5	0,4	0,07
Rác tái chế	35,2	39,9	0,8	0,13
Rác khác	47,6	54,0	1,1	0,18
Tổng	100	113,4	2,3	0,38



Hình 4. Địa điểm thu gom CTRSH: (a) Khu tập kết tại Khu B (Dĩ An-Bình Dương); (b) Vị trí các khu tập kết CTRSH trong khuôn viên KTX ĐHQG-HCM.

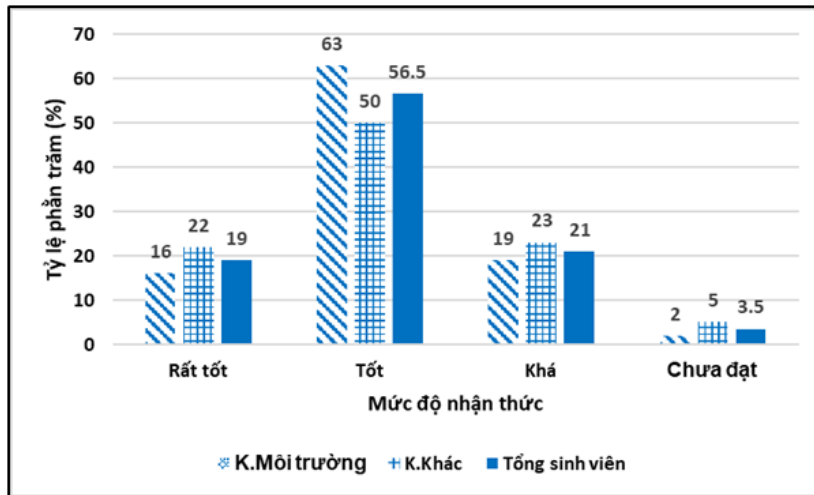
3.2. Đánh giá nhận thức, thái độ và hành vi của sinh viên về phân loại CTRSH tại nguồn

3.2.1. Đánh giá mức độ nhận thức, thái độ và hành vi

Hình 5 cho thấy, hơn 75% số sinh viên được khảo sát có mức độ nhận thức từ mức tốt trở lên (trung bình Đ_{NT} đạt 7,6/10), cụ thể với sinh viên môi trường và các ngành khác lần lượt là 79% và 72%. Các khía cạnh nhận thức cần được quan tâm cải thiện đối với cả hai nhóm đối tượng bao gồm: nhận diện loại CTRSH, các quy định pháp luật và xử phạt hành chính liên quan (Bảng 2).

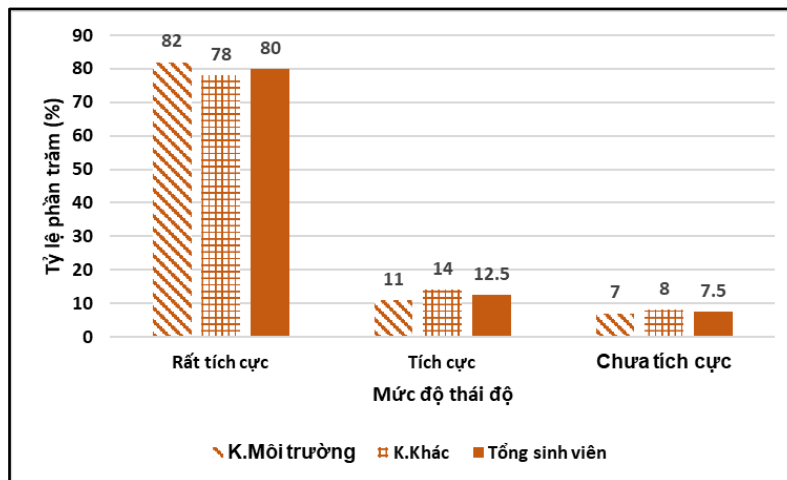
Bảng 2. Kết quả khảo sát nhận thức của sinh viên về phân loại CTRSH tại nguồn.

Kiến thức	Tỷ lệ trả lời đúng (%)					
	Khoa Môi trường		Khoa khác		Tổng sinh viên	
	100%	≥ 75%	100%	≥ 75%	100%	≥ 75%
Nhận diện loại CTRSH (ND)	6	37	8	43	7	40
Tác động của CTRSH (TĐg)	40	89	43	74	41,5	81,5
Lợi ích của phân loại CTRSH (LI)	47	69	45	69	46	69
Vai trò và trách nhiệm trong phân loại CTRSH (TN)	67	67	64	64	65,5	65,5
Quy định pháp luật (QĐPL)	4	69	4	60	4	64,5
Xử phạt hành chính (XPHC)	4	34	10	58	7	46



Hình 5. Mức độ nhận thức của sinh viên về phân loại CTRSH tại nguồn (%).

Thái độ của sinh viên cả hai nhóm nhìn chung được đánh giá là rất tích cực (trung bình Đ_{TD} đạt 8,2/10) bên cạnh khoảng 7,5% tổng mẫu được khảo sát có thái độ chưa tích cực (Hình 6). Bảng 3 trình bày chi tiết 10 khía cạnh khảo sát và 04 mức độ thể hiện thái độ của sinh viên đối với việc phân loại CTRSH tại nguồn. Bước đầu ghi nhận hành vi của những người xung quanh và các quy định pháp luật liên quan không ảnh hưởng đáng kể đến thái độ của sinh viên - điều này có thể giải thích bởi hành vi phân loại CTRSH hiện rất hạn chế và các quy định pháp luật về phân loại CTRSH tại nguồn hiện chưa được phổ biến rộng rãi và cụ thể đến người học.



Hình 6. Mức độ thái độ của sinh viên về phân loại CTRSH tại nguồn (%).

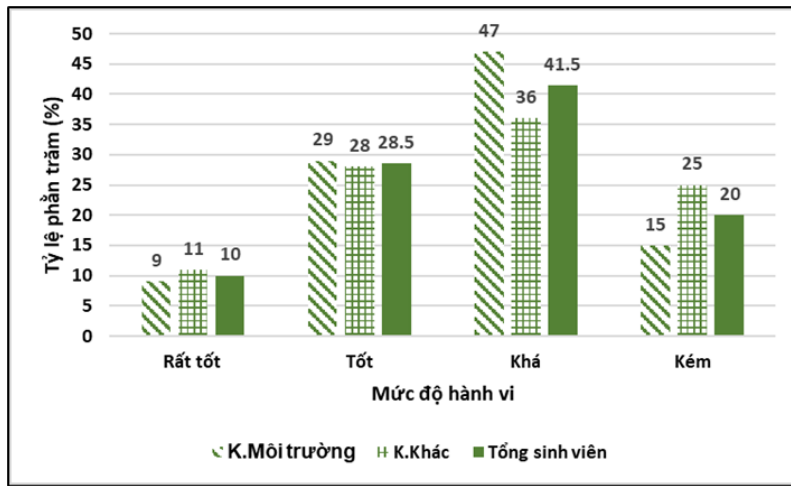
Bảng 3. Kết quả khảo sát thái độ của người học hướng đến sự bền vững trong quản lý CTRSH.

Khía cạnh	Khoa Môi trường				Khoa khác				Tổng sinh viên			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
Bản thân có gây ra các vấn đề môi trường liên quan đến CTRSH.	13	0	0	88	15	0	0	85	14	0	0	86,5
Phân loại chất thải tại nguồn là trách nhiệm của toàn dân.	10	8	20	63	0	8	8	85	5	8	14	74
Quản lý CTRSH là việc làm của Nhà nước, bản thân không giúp ích được gì.	58	13	10	20	80	10	5	5	39	11,5	7,5	12,5
Các quy định của pháp luật ảnh hưởng đến ý định phân loại CTRSH.	5	28	23	45	2,5	15	25	58	4	21,5	24	51,5
Phân loại, bỏ rác đúng nơi quy định là góp phần tận dụng tài nguyên, tiết kiệm chi phí xử lý và bảo vệ môi trường.	10	3	18	70	2,5	3	10	85	6,5	3	14	77,5
Tái sử dụng - tái chế các vật liệu cũ nếu phù hợp để tiết kiệm tài nguyên.	8	8	28	58	2,5	15	8	75	5,5	11,5	18	66,5
Sử dụng các sản phẩm tái chế, thân thiện với môi trường để giảm áp lực xử lý rác.	8	8	25	60	0	13	18	70	4	10,5	21,5	65

Khía cạnh	Khoa Môi trường				Khoa khác				Tổng sinh viên			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
Truyền thông nâng cao nhận thức phân loại rác là cần thiết, cần tăng cường thực hiện thường xuyên.	10	13	25	53	2,5	15	15	68	6,5	14	20	60,5
Bản thân quan tâm đến thái độ của người khác khi thực hiện phân loại rác.	18	33	25	25	15	35	43	8	16,5	34	34	16,5
Việc những người xung quanh thực hiện phân loại rác có ảnh hưởng đến bản thân.	10	20	40	30	10	25	18	48	10	22,5	29	39

Ghi chú: (1) Hoàn toàn không đồng ý, (2) Trung lập, (3) Không hoàn toàn đồng ý, (4) Hoàn toàn đồng ý.

Hành vi quản lý CTRSH của sinh viên (bao gồm giảm thiểu, phân loại, tồn trữ, tái sử dụng - tái chế CTRSH) nhìn chung ở mức khá (trung bình Đ_{HV} đạt 6,2/10) (Hình 7). Sinh viên phân loại theo nhiều cách khác nhau, chỉ có 21% số sinh viên phân loại đúng quy cách, đáng lưu ý là 24,5% không thực hiện hoạt động này. Các nguyên nhân chính của việc phân loại không triệt để và/hoặc không đúng quy cách được ghi nhận bao gồm: đã thực hiện nhưng không duy trì, không được hướng dẫn cụ thể, không được triển khai đồng bộ,...(Bảng 4).



Hình 7. Mức độ hành vi quản lý CTRSH nói chung của sinh viên (%).

Bảng 4. Kết quả khảo sát hành vi phân loại CTRSH của sinh viên và các yếu tố ảnh hưởng (%).

Phân loại đúng			Các yếu tố ảnh hưởng đến hành vi phân loại CTRSH									
			Mức độ			Ít ảnh hưởng			Trung bình			Rất ảnh hưởng
MT	KK	Tổng	Yếu tố	MT	KK	Tổng	MT	KK	Tổng	MT	KK	Tổng
25	17	21	Hướng dẫn	20	18	19,1	28	41,2	33,3	52	40,8	47,6
			Không gian	20	23,5	21,4	52	47,1	50	28	29,4	28,6
			Thiết bị	24	17,6	21,4	44	47,1	45,2	32	35,3	33,4
			Thói quen	12	5,9	9,5	16	11,8	14,3	51,4	82,4	76,2
			Chuyển giao	28	17,6	23,8	44	41,2	42,8	28	41,2	33,4
Phân loại sai			Nguyên nhân không thực hiện phân loại CTRSH									
MT	KK	Tổng	Yếu tố	MT	KK	Tổng	MT	KK	Tổng	MT	KK	Tổng
57	52	54,5	Hướng dẫn	19,3	17,3	18,3	28,1	42,3	34,9	52,6	40,4	46,8
			Không gian	22,8	25	23,8	50,9	34,6	43,1	26,3	40,4	33,1
			Thiết bị	24,6	19,2	22	42,1	48,1	45	33,3	32,7	33
			Thói quen	12,3	3,8	8,3	15,8	7,7	11,9	71,9	88,5	79,8
			Chuyển giao	29,8	25	27,5	19,3	42,3	30,3	50,9	32,7	42,2
Không phân loại			Nguyên nhân không thực hiện phân loại CTRSH									
MT	KK	Tổng	Yếu tố	MT	KK	Tổng	MT	KK	Tổng	MT	KK	Tổng
18	31	24,5	Không biết có quy định phân loại							38,8	22,6	28,6
			Không được hướng dẫn							55,5	41,9	46,9
			Không thấy triển khai đồng bộ							44,4	51,6	49,0
			Đã từng phân loại, nhưng không duy trì							61,1	48,4	53,1
			Không thấy cần thiết							11,1	38,7	28,6

(MT: khoa Môi trường; KK: khoa khác; Tổng: toàn bộ cỡ mẫu khảo sát).

Nghiên cứu cũng thực hiện khảo sát, đánh giá hành vi giảm thiểu, tái sử dụng – tái chế chất thải của người học (kết quả chi tiết không được đề cập trong bài báo này).

3.2.2. Mối quan hệ giữa nhận thức, thái độ và hành vi của sinh viên về phân loại CTRSH

Kết quả phân tích tương quan - hồi quy tuyến tính (Bảng 5, 6) cho thấy:

- Nhận thức và thái độ có ảnh hưởng tuyến tính đến hành vi quản lý CTRSH của sinh viên theo tỷ lệ thuận, hệ số hồi quy chuẩn hoá (β) lần lượt là 0,316 và 0,282.

- Nhận thức có ảnh hưởng đến thái độ theo tỷ lệ thuận, chủ yếu liên quan đến khía cạnh hiểu biết về các quy định pháp luật ($\beta = 0,207$) và xử phạt hành chính ($\beta = 0,173$), nhưng mối tương quan yếu - hệ số tương quan (r) dao động từ 0,169-0,285.

- Nhận thức có ảnh hưởng đến hành vi quản lý CTRSH theo tỷ lệ thuận. Các khía cạnh nhận thức có ảnh hưởng được chỉ ra lần lượt là vai trò - trách nhiệm phân loại CTRSH của sinh viên ($\beta = 0,179$) và hiểu biết về các quy định pháp luật ($\beta = 0,196$).

- Nhận thức có ảnh hưởng đến hành vi phân loại CTRSH tại nguồn theo tỷ lệ thuận: hiểu biết về các quy định pháp luật ($\beta = 0,220$) và xử phạt hành chính ($\beta = 0,197$).

- Nhận thức có ảnh hưởng đến hành vi tồn trữ CTRSH theo tỷ lệ thuận: nhận diện loại CTRSH ($\beta = 0,216$), vai trò - trách nhiệm phân loại CTRSH của sinh viên ($\beta = 0,184$) và hiểu biết các quy định về xử phạt hành chính liên quan ($\beta = 0,173$).

- Nhận thức có ảnh hưởng đến hành vi tái sử dụng - tái chế CTRSH theo tỷ lệ thuận: hiểu biết về các quy định pháp luật ($\beta = 0,28$).

- Nhận thức có ảnh hưởng đến hành vi giảm thiểu CTRSH theo tỷ lệ thuận: nhận diện loại CTRSH ($\beta = 0,220$).

Bảng 5, 6 cũng đề cập các kết quả phân tích tương quan - hồi quy tuyến tính đối với nhóm mẫu khảo sát sinh viên Khoa Môi trường và sinh viên các khoa khác, đóng góp cơ sở quan trọng trong việc thiết kế, đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu quả giảm thiểu chất thải, phân loại CTRSH tại nguồn, tăng cường tái sử dụng - tái chế chất thải và bảo vệ môi trường nội vi KTX nói chung.

Bảng 5. Hệ số tương quan và hồi quy giữa các biến.

Biến độc lập	Biến phụ thuộc	Khoa Môi trường				Khoa khác				Tổng sinh viên			
		r	sig (r)	β	sig (β)	r	sig (r)	β	sig (β)	r	sig (r)	β	sig (β)
<i>Nhận thức - Thái độ - Hành vi</i>													
NT	Hành vi	0,308	0,009	0,225	0,055	0,497	0,000	0,379	0,001	0,422	0,000	0,316	0,000
TĐ	(HV)	0,355	0,002	0,304	0,010	0,433	0,000	0,261	0,017	0,401	0,000	0,282	0,000
<i>Nhận thức - Thái độ</i>													
ND		0,306	0,010	0,262	0,027		0,282			0,199	0,015	0,106	0,190
TĐg		-0,011	0,925	0,225	0,055	0,122	0,086			0,110	0,179		
LI	Thái độ	0,277	0,020			0,193	0,124	0,260	0,017	0,218	0,007	0,159	0,064
TN	(TĐ)	0,006	0,958			0,173	0,001	0,314	0,004	0,186	0,023	0,052	0,551
QĐPL		0,095	0,435			0,358	0,000			0,258	0,001	0,207	0,012
XPHC		0,101	0,403			0,395	0,052			0,169	0,001	0,173	0,031
<i>Nhận thức - Hành vi</i>													
ND		0,246	0,040	0,250	0,033	0,208	0,064			0,219	0,007	0,121	0,126
TĐg		-0,004	0,974			0,253	0,023	0,143	0,212	0,173	0,034	0,052	0,524
LI	Hành vi	0,11	0,362			0,299	0,007	0,126	0,302	0,224	0,006	0,095	0,280
TN	(HV)	0,244	0,042	0,249	0,033	0,349	0,002	0,121	0,310	0,296	0,000	0,179	0,038
QĐPL		0,171	0,157			0,352	0,001	0,322	0,003	0,279	0,001	0,196	0,015
XPHC		0,087	0,475			0,237	0,034	0,229	0,026	0,165	0,044	0,152	0,055
ND		0,130	0,282			0,105	0,356			0,141	0,084		
TĐg	Hành vi	0,038	0,752			0,109	0,335			-	0,945		
LI	phân loại	0,019	0,873			0,241	0,031	0,194	0,068	0,070	0,396		
TN		0,120	0,323			0,212	0,059			0,183	0,025	0,119	0,147
QĐPL	(PL)	-0,001	0,993			0,297	0,008	0,287	0,008	0,247	0,002	0,220	0,008
XPHC		0,174	0,150			0,222	0,048	0,247	0,020	0,186	0,022	0,197	0,013

Biến độc lập	Biến phụ thuộc	Khoa Môi trường				Khoa khác				Tổng sinh viên			
		r	sig (r)	β	sig (β)	r	sig (r)	β	sig (β)	r	sig (r)	β	sig (β)
ND		0,169	0,161			0,353	0,001	0,235	0,031	0,294	0,000	0,216	0,007
TĐg	Hành	-0,165	0,171			0,238	0,033	0,060	0,615	0,066	0,422		
LI	vi tồn	0,081	0,504			0,258	0,021	0,109	0,377	0,164	0,045	0,049	0,562
TN	trữ	0,194	0,108			0,327	0,003	0,141	0,248	0,261	0,001	0,184	0,032
XĐPL	(TT)	0,100	0,411			0,232	0,038	0,150	0,174	0,219	0,007	0,132	0,099
XPHC		0,071	0,557			0,282	0,011	0,236	0,025	0,203	0,013	0,173	0,027
ND	Hành	0,051	0,678			0,023	0,840			0,033	0,688		
TĐg	vi tái	0,013	0,913			0,187	0,096			0,090	0,276		
LI	sử	0,063	0,607			0,206	0,067			0,113	0,167		
TN	dụng-	0,185	0,126			0,318	0,004	0,202	0,059	0,219	0,007	0,151	0,068
QĐPL	tái	0,179	0,138			0,434	0,000	0,371	0,001	0,276	0,001	0,228	0,006
XPHC	(TSD-TC)	-	0,327			-	0,584			-	0,267		
ND	Hành	0,346	0,003	0,325	0,005	0,237	0,034	0,132	0,224	0,283	0,000	0,220	0,007
TĐg	vi	0,009	0,940			0,359	0,001	0,266	0,019	0,192	0,018	0,104	0,216
LI	giảm	0,186	0,124			0,182	0,106			0,171	0,036	0,023	0,796
TN	thiểu	0,170	0,159			0,305	0,006	0,200	0,070	0,241	0,003	0,152	0,083
QĐPL	(GT)	0,267	0,026	0,238	0,036	0,100	0,376			0,208	0,011	0,125	0,127
XPHC		0,014	0,909			0,170	0,131			0,101	0,220		

Bảng 6. Phương trình hồi quy tuyến tính giữa các biến.

Biến độc lập	Biến phụ thuộc	Phương trình hồi quy		
		Tổng sinh viên	Môi trường	Khác
<i>Nhận thức - Thái độ - Hành vi</i>				
Nhận thức-Thái độ	HV	HV = 0,316 NT + 0,282 TĐ + ε	HV = 0,304 TĐ + ε	HV = 0,379 NT + 0,261 TĐ + ε
<i>Nhận thức - Thái độ</i>				
Các khía cạnh nhận thức	TĐ	TĐ = 0,207 QĐPL + 0,173 XPHC + ε	TĐ = 0,262 ND + ε	TĐ = 0,260 TN + 0,314 QĐPL + ε
<i>Nhận thức - Hành vi</i>				
Các khía cạnh nhận thức	HV	HV = 0,179 TN + 0,196 QĐPL + ε	HV = 0,250 ND + 0,249 TN + ε	HV = 0,322 QĐPL + 0,229 XPHC + ε
Các khía cạnh nhận thức	PL	PL = 0,220 QĐPL + 0,197 XPHC + ε	-	PL = 0,287 QĐPL + 0,247 XPHC + ε
Các khía cạnh nhận thức	TT	TT = 0,216 ND + 0,184 TN + 0,173 XPHC + ε	-	TT = 0,235 ND + 0,236 XPHC + ε
Các khía cạnh nhận thức	TSD-TC	TSD-TC = 0,228 QĐPL + ε	-	TSD-TC = 0,371 QĐPL + ε
Các khía cạnh nhận thức	GT	GT = 0,220 ND + ε	GT = 0,325 ND + 0,238 QĐPL + ε	GT = 0,266 TĐg + ε

Ghi chú: (-) Không có mối quan hệ hồi quy tuyến tính.

3.3. Đề xuất giải pháp cải thiện

Trên cơ sở phân tích các điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội và thách thức trong hoạt động phân loại CTRSH theo 3 khía cạnh: phát sinh CTRSH, quản lý hành chính, quản lý kỹ thuật (Bảng 7), các giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả công tác phân loại CTRSH tại KTX ĐHQG-HCM được đề xuất và tóm tắt ở Bảng 8.

Bảng 7. Khung phân tích SWOT.

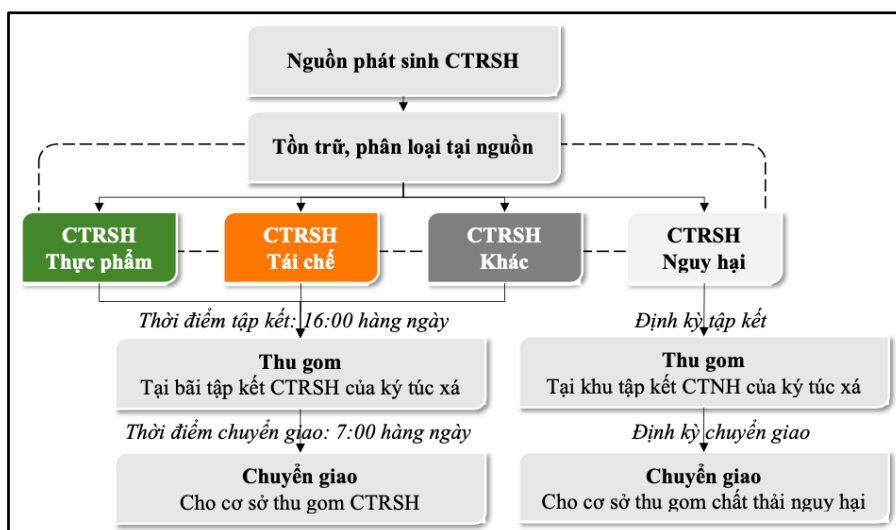
Khía cạnh	Điểm mạnh (S)	Điểm yếu (W)	Cơ hội (O)	Thách thức (T)
Phát sinh CTRSH	- Thành phần chất thải thông dụng, dễ kiểm soát.	- Khối lượng phát sinh lớn. - Không thực hiện phân loại tại nguồn. - Không có thống kê khối lượng và thành phần phát sinh.		Các quy định pháp luật về phân loại CTRSH tại nguồn sẽ bắt đầu có hiệu lực từ 1/1/2025.

Quản lý hành chính	<ul style="list-style-type: none"> - Có quy định phân loại CTRSH. - Nhận thức và thái độ của sinh viên về phân loại CTRSH ở mức tốt. - Sự quan tâm từ Ban quản lý (BQL) 	<ul style="list-style-type: none"> - Các quy định và hướng dẫn về phân loại chưa được chi tiết, cụ thể. - Kiến thức về nhận diện loại CTRSH và quy định pháp luật về CTRSH của sinh viên còn hạn chế. - Bộ phận chuyên trách về quản lý CTRSH chưa hoàn thiện. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hướng dẫn kỹ thuật phân loại CTRSH của Bộ Tài nguyên và Môi trường [22]. - Quy định xử phạt hành chính liên quan đến phân loại CTRSH [23]. - Kế hoạch triển khai thực hiện các quy định về quản lý CTRSH theo quy định tại luật bảo vệ môi trường của Bộ Tài nguyên và Môi trường [24]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Chưa có quy định về bao bì lưu chứa CTRSH của địa phương. - Chi phí đầu tư cho các thiết bị phục vụ phân loại CTRSH cao. - Khó kiểm soát hoàn toàn việc tuân thủ quy trình phân loại CTRSH của sinh viên.
Quản lý kỹ thuật	<p>Thùng chứa tại bãi thu gom bảo đảm số lượng và các yêu cầu lưu chứa an toàn CTRSH.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Còn hạn chế các thiết bị lưu chứa tại phòng ở của sinh viên. - Chưa bố trí thùng chứa phục vụ công tác phân loại CTRSH. - Việc phân loại CTRSH chưa được thực hiện triệt để. 	<p>Có đơn vị chức năng thu gom, vận chuyển, xử lý CTRSH</p>	<p>Đơn vị chức năng thu gom, vận chuyển CTRSH chưa có phương án thu gom CTRSH sau phân loại.</p>

Bảng 8. Đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả công tác phân loại CTRSH tại KTX ĐHQG-HCM.

Nhóm	Giải pháp chung	Giải pháp cụ thể	Đối tượng áp dụng
Quy định, hướng dẫn	Kiểm tra, giám sát.	<ul style="list-style-type: none"> - Tăng cường kiểm tra nhận thức, hành vi về phân loại CTRSH. - Thành lập bộ phận chuyên trách về quản lý CTRSH. - Quy định cụ thể các hình thức xử phạt đối với vi phạm quy định về phân loại CTRSH. 	BQL
	Cụ thể hóa các quy định về bao bì và thùng chứa CTRSH.	Cập nhật và cụ thể hóa phù hợp các quy định chung về mẫu mã bao bì, thùng chứa để đồng nhất về kích cỡ, màu sắc (như màu xanh lá cho rác thực phẩm, màu cam cho rác tái chế và màu xám cho các loại rác khác) nhằm tối ưu hoá việc phân loại và thu gom chất thải tại nguồn (Bảng 9).	BQL
Kinh tế	Chính sách trợ giá, miễn/giảm chi phí thu gom, xử lý.	<p>Có chính sách trợ giá (miễn/giảm) chi phí cho một số loại rác cụ thể sau phân loại (như rác thực phẩm và rác tái chế).</p> <p>Tìm kiếm các nguồn hoặc quỹ tài trợ cho việc trang bị các thiết bị lưu trữ để giảm gánh nặng tài chính đối với KTX.</p>	BQL
	Khuyến khích tái sử dụng - tái chế.	Xây dựng chính sách khuyến khích và khen thưởng các cá nhân, tập thể có đóng góp tích cực và/hoặc sáng kiến giảm thiểu phát thải và tái chế chất thải (như tăng cường các chương trình đổi chất thải tái chế, chất thải nguy hại lấy cây xanh hoặc dụng cụ học tập...)	BQL Sinh viên
Kỹ thuật	Theo dõi tình hình phát sinh CTRSH.	Xây dựng hệ thống thông tin giám sát tình hình phát sinh CTRSH tại KTX (khối lượng, loại, tỉ lệ thành phần...), lịch sử thu gom, chuyển giao cho đơn vị chức năng...	BQL
	Cải thiện hệ thống quản lý kỹ thuật CTRSH.	<ul style="list-style-type: none"> - Trang bị thùng chứa (và/hoặc bao bì) phục vụ phân loại phù hợp ở từng dãy phòng ở (đảm bảo lưu chứa an toàn chất thải, không làm rò rỉ nước rỉ rác, có khả năng chống thấm, có kích thước phù hợp với lượng chất thải, thời gian lưu trữ). - Bố trí phù hợp số lượng thùng chứa (phân theo loại rác thải cần phân loại) tại bãi tập kết. - Nâng cấp hệ thống thu gom, lưu trữ, chuyển giao CTRSH hiện có của KTX, đáp ứng nhu cầu thực hiện phân loại CTRSH tại nguồn (Hình 8). - Trao đổi, hợp đồng với cơ sở thu gom về tần suất thu gom các loại CTRSH sau phân loại. 	BQL Sinh viên
			BQL
Tập huấn, truyền thông	Truyền thông nâng cao nhận thức, thái độ và hành vi về phân loại CTRSH.	Tổ chức các buổi sinh hoạt, tập huấn, truyền thông về phân loại CTRSH. Tập trung vào các khía cạnh quan trọng, bao gồm: hướng dẫn nhận diện, phân loại CTRSH, phổ biến các quy định pháp luật và xử phạt hành chính liên quan.	BQL Sinh viên
	Nâng cao năng lực quản lý kỹ thuật CTRSH.	Triển khai các chương trình đào tạo và phát triển chuyên môn cho cán bộ, nhân viên đảm nhiệm công tác quản lý CTRSH (kiến thức pháp luật, kỹ thuật thu gom, vận chuyển, lưu giữ an toàn và xử lý sự cố...).	BQL

Ngoài ra, sổ tay “Quản lý CTRSH, hướng dẫn phân loại tại nguồn và giảm thiểu rác thải nhựa” cũng được biên soạn cho người học (chi tiết không được thể hiện trong bài báo này).



Hình 8. Sơ đồ quy trình phân loại, lưu trữ, thu gom, và chuyển giao CTRSH tại KTX.

Bảng 9. Hướng dẫn kỹ thuật phân loại chất thải rắn sinh hoạt.

Nhóm	Tên chất thải
Có khả năng tái sử dụng, tái chế	Giấy thải
	Nhựa thải
	Kim loại thải
	Thủy tinh thải
	Vải, đồ da
	Đồ gỗ
Thực phẩm	Cao su
	Thiết bị điện, điện tử thải bỏ
	Thức ăn thừa; Thực phẩm hết hạn sử dụng.
Khác	Các loại rau củ quả, trái cây và các phần thải bỏ sau khi sơ chế, chế biến món ăn...;
	Các sản phẩm bỏ đi từ thịt gia súc, gia cầm; thủy hải sản
	Chất thải nguy hại
	Chất thải công kênh
	Chất thải khác còn lại

Chi tiết xem tại Công văn số 9368/BTNMT-KSONMT ngày 02/11/2023 về việc hướng dẫn kỹ thuật về phân loại chất thải rắn sinh hoạt [26].

4. Kết luận

Bằng phương pháp thu thập tài liệu, điều tra, khảo sát và xử lý số liệu, nghiên cứu đã tiến hành đánh giá hiện trạng phát sinh, tồn trữ và phân loại CTRSH tại KTX ĐHQG-HCM. Bên cạnh đó, nhận thức, thái độ, hành vi của người học về quản lý kỹ thuật CTRSH và quan hệ giữa chúng cũng được phân tích, đánh giá, tạo cơ sở đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu quả phân loại CTRSH nói riêng và quản lý kỹ thuật CTRSH nói chung tại khu vực nghiên cứu. Mô hình phân loại, tồn trữ, thu gom và chuyển giao CTRSH được đề xuất trong nghiên cứu này có thể áp dụng linh hoạt cho các KTX sinh viên khác có điều kiện tương tự.

Các kết quả trên là tiền đề cho những nghiên cứu chuyên sâu hơn về hệ thống quản lý kỹ thuật CTRSH tại các ký túc xá nói chung. Tuy nhiên, để tăng độ tin cậy trong các phép tính, kiến nghị các nghiên cứu tiếp theo nên gia tăng cỡ mẫu khảo sát khối lượng, thành phần CTRSH phát sinh; tăng thời gian (số ngày) khảo sát tình hình phát thải, cả những ngày trong tuần và cuối tuần; cũng như mở rộng phạm vi tiếp cận các nguồn phát thải từ các dịch vụ nội vi KTX (như căn tin, cửa hàng tiện lợi...). Bên cạnh đó, cần tiếp tục nghiên cứu, tính toán số lượng thùng chứa, vị trí đặt thùng chứa, cũng như các yêu cầu kỹ thuật liên quan đến các bãi tập kết tạm thời trước khi chuyển giao nhằm nâng cao hiệu quả quản lý nói chung và công tác phân loại CTRSH tại nguồn nói riêng.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được thực hiện với sự hợp tác và hỗ trợ của Ban Quản lý Ký túc xá ĐHQG-HCM.

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. Quốc hội. Luật số 72/2020/QH14 ngày 17/11/2020 ban hành Luật Bảo vệ môi trường. 2020.
2. Pham, D.T.; Nguyen, D.C.; Pham, C.D.; Hoang, H.H.; Nguyen, T.M.H.; Vo, H.C. Circular economy approach in domestic waste treatment: A case study in Lao Cai city, Vietnam. *TNU J. Sci. Technol.* **2023**, 228(11), 208–217.
3. Ranjbari, M.; Saidani, M.; Esfandabadi, Z.S.; Peng, W.; Lam, S.S.; Aghbashlo, M.; Quatraro, F.; Tabatabaei, M. Two decades of research on waste management in the circular economy: Insights from bibliometric, text mining, and content analyses. *J. Cleaner Prod.* **2021**, 314, 128009.
4. Song, G.; Dai, X. Design of policy framework for municipal solid waste management based on source classification and resource recycling. *J. Xinjiang Norm. Univ.* **2020**, 4, 109–125.
5. Dũng, N.H. Thực trạng phân loại rác thải sinh hoạt tại nguồn và công nghệ tái chế rác thải Việt Nam. *Tạp chí Môi trường và Đô thị* **2022**, 11. Trực tuyến: <https://moitruongachau.com/vn/thuc-trang-phan-loai-rac-thai-sinh-hoat-tai-nguon-va-tai-che-rac-thai-tai-viet-nam.html> (Truy cập ngày 14 tháng 3 năm 2023).
6. Otitoju, T.A.; Seng, L. Municipal solid waste management: household waste segregation in Kuching South City, Sarawak, Malaysia. *American J. Eng. Res.* **2014**, 3, 82–91.
7. Jank, A.; Müller, W.; Schneider, I.; Gerke, F.; Bockreis, A. Waste separation press (WSP): A mechanical pretreatment option for organic waste from source separation. *Waste Manage.* **2015**, 39, 71–77.
8. Yang, Z.; Li, V. WasNet: A neural network-based garbage collection management system. *IEEE Access.* **2020**, 8, 103984–103993.
9. Nguyen, T.H.V.; Vu, T.P.; Nguyen, T.H. Student awareness education in the area of dormitory of the Thai Nguyen university of sciences about the restricted use of plastic bags, *TNU J. Sci. Technol.* **2018**, 196(03), 147–152.
10. Phan, T.T.H.; Hoang, T.T.H.; Nguyen, T.T. Current situation of knowledge and action of students of Thai Nguyen University on the waste and waste classification. *J. Sci. Technol.* **2013**, 112(12), 219–223.
11. Phung, K.C.; Ngo, T.C.V. A Study on the Design of a Model for initial sorting of rubbish at schools in Da Nang City *J. Sci. Technol.* **2010**, 5(4), 39–45.
12. Thủy, D.T.T.; Hồng, H.T.B.; Thắm, N.T.; Ly, N.T.M. Hiện trạng phát sinh chất thải rắn sinh hoạt tại ký túc xá Trường Đại học Hạ Long. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Trường Đại học Thái Nguyên* **2023**, 228(14), 240–246.
13. Paghasian, M.C. Awareness and practices on solid waste management among college students in Mindanao State University Maigo School of Arts and Trades'. Proceeding of the 3rd International Conference on Education and Training (ICET 2017). The Netherlands: Atlantis Press, 2017, 128, pp. 5–12.
14. Twumasi, A. Awareness and practice of solid waste management in the Winneba municipality of Ghana. *Eur. J. Earth Environ.* **2017**, 4(1), 39–47.
15. Uwamwazi, G. Knowledge, attitude and practices on waste management in selected secondary schools in westlands sub-county, Nairobi County, 2018.

16. Lad, D.; Chauhan, R.; Gole, P. A study on solid waste management awareness amongst youngsters of Mumbai. *EPRA Int. J. Multidiscip. Res.* **2020**, *6(3)*, 116–119.
17. Lalamonan, E.N.; Comighud, S.M. Awareness and implementation of solid waste management (SWM) practices. *IJRDO J. Educ. Res.* **2020**, *5(5)*, 11–43.
18. Molina, R.A.; Catan, I. Solid Waste Management Awareness and Practices among Senior High School Students in a State College in Zamboanga City, Philippines. *Aquademia* **2021**, *5(1)*, ep21002.
19. Gantang, M.A. Solid waste management awareness and practices among zone 2 higher education institution in Zambales. *J. Emerging Technol. Innovative Res.* **2022**, *9(3)*, 664–675.
20. Qu, D.; Shevchenko, T.; Esfandabadi, S.Z.; Ranjbari, M. College students' attitude towards waste separation and recovery on campus. *Sustainability* **2023**, *15(2)*, 1620. <https://doi.org/10.3390/su15021620>.
21. Tian, M.; Pu, B.; Chen, Y.; Zhu, Z. Consumer's waste classification intention in China: An extended theory of planned behavior model. *Sustainability* **2019**, *11(24)*, 6999. <https://doi.org/10.3390/su11246999>.
22. Yamane, T. *Statistics: An introductory analysis* (2nd ed). New York: Harper and Row. 1967.
23. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Công văn số 9368/BTNMT-KSONMT ngày 02/11/2023 về việc hướng dẫn kỹ thuật về phân loại chất thải rắn sinh hoạt. 2023.
24. Chính phủ. Nghị định 45/2022/NĐ-CP ngày 07/07/2022 xử phạt vi phạm hành chính lĩnh vực bảo vệ môi trường. 2022.
25. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Quyết định số 1062/QĐ-BTNMT Hà Nội ngày 19/04/2024 về việc ban hành Kế hoạch triển khai thực hiện các quy định về quản lý chất thải rắn sinh hoạt theo quy định tại luật bảo vệ môi trường của Bộ Tài nguyên và Môi trường. 2024.
26. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Công văn số 9368/BTNMT-KSONMT ngày 02/11/2023 về việc hướng dẫn kỹ thuật về phân loại chất thải rắn sinh hoạt. 2023.

Assessing the current status of domestic solid waste management at the dormitory of National University Ho Chi Minh City

Nguyen Do Quynh Nhu¹, Le Ngoc Tuan^{1*}

¹ University of Science (VNU-HCM); quynhnhu365.nnn.nnn@gmail.com;
lntuan@hcmus.edu.vn

Abstract: The study aimed to assess the current status of domestic solid waste (DSW) management at the dormitory of National University Ho Chi Minh City. Based on investigation, survey and data processing, the total amount of DSW generated was estimated at about 13.5 tons/day (corresponding to 4 tons/day and 9.5 tons/day at zone A and B), the generation coefficient was about 0.38 kg/person.day. Of which, food waste, recyclable waste, and other waste accounted for 17%, 35% and 48%, respectively. Waste storage and collection activities still had many technical limitations. Students' awareness and attitudes about DSW classification were rated as good and positive; however, the classification work has not been thoroughly implemented yet. The results of correlation - regression analysis showed the awareness and attitude had an influence on behavior (β were 0.32 and 0.28, respectively). The awareness aspects affecting behavior were pointed out including: identification of DSW types, responsibility for classification, understanding of legal regulations and administrative sanctions, ect. Based on the analysis of strengths, weaknesses, opportunities and challenges related to aspects of DSW generation, administrative management, and technical management, solutions to improve the efficiency of DSW classification at the dormitory were proposed.

Keywords: Classification at source; Domestic solid waste; Dormitory; Student.

Bài báo khoa học

Đánh giá khả năng ứng dụng số liệu sóng tái phân tích cho khu vực Biển Đông

Nguyễn Xuân Hiền^{1*}, Dương Ngọc Tiến¹, Vũ Thị Vui¹, Giáp Ngọc Ánh¹, Cao Hoàng Anh¹

¹ Trung tâm Hải văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; nguyensexuanhien79@gmail.com; duongngoctienht@gmail.com; vuivt89@gmail.com; ngocanhgiap2001@gmail.com; hoanganhcao1991998@gmail.com

*Tác giả liên hệ: nguyensexuanhien79@gmail.com; Tel.: +84–912633863

Ban Biên tập nhận bài: 15/6/2024; Ngày phản biện xong: 23/7/2024; Ngày đăng bài: 25/1/2025

Tóm tắt: Bài báo đánh giá độ tin cậy và khả năng ứng dụng các nguồn số liệu độ cao sóng tái phân tích khác nhau của Trung tâm Dự báo Thời tiết hạn vừa Châu Âu (ECMWF) và Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia Mỹ (NOAA) tại khu vực biển Việt Nam. Số liệu quan trắc từ các trạm phao cố định tại khu vực biển Việt Nam được sử dụng để so sánh, đánh giá mức độ tương đồng với số liệu độ cao sóng tái phân tích. Kết quả đánh giá cho thấy cả hai nguồn dữ liệu độ cao sóng tái phân tích đều tương đồng cao với độ cao sóng đo đạc từ trạm phao nhưng mức độ tương đồng của ECMWF cao hơn. Cả hai nguồn số liệu độ cao sóng tái phân tích đều thấp hơn độ cao sóng thực đo tại trạm phao tại các thời điểm sóng lớn. Nghiên cứu cũng đề xuất phương án sử dụng hàm chuyển để hiệu chỉnh, ứng dụng số liệu sóng tái phân tích và đánh giá khả năng ứng dụng của các nguồn số liệu sóng tái phân tích.

Từ khóa: Sóng tái phân tích; Trạm phao; Hàm chuyển; ECMWF ERA5; NOAA WAVEWATCH III.

1. Mở đầu

Số liệu độ cao sóng rất quan trọng và cần thiết trong tính toán các đặc trưng sóng cũng như dự báo sóng phục vụ phát triển kinh tế biển và phòng tránh thiên tai nhưng thực tế số liệu sóng quan trắc thường chưa đáp ứng được yêu cầu theo không gian và thời gian. Theo thời gian, mô hình số trị đã dần từng bước nâng cao độ chính xác để đưa ra các số liệu sóng tương đối chi tiết về mặt không gian và thời gian nhằm khắc phục các nhược điểm của sóng quan trắc. Tái phân tích trường sóng là việc sử dụng mô hình số trị tính lại bộ số liệu sóng trong quá khứ chi tiết và đồng nhất. Hiện nay, có 02 nguồn dữ liệu sóng tái phân tích trên phạm vi toàn cầu thường được sử dụng là của Trung tâm Dự báo Thời tiết hạn vừa Châu Âu (ECMWF - ERA5) và Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia Mỹ (NOAA WAVE WATCH III). Về cơ bản, các mô hình sóng tái phân tích này đã được cải tiến, nâng cao dần mức độ chi tiết theo không gian và thời gian nhưng vẫn có sự khác biệt đáng kể khi so sánh với dữ liệu thực đo tại một số khu vực, đặc biệt tại các khu vực có các trạm quan trắc thưa như tại khu vực Biển Đông, Việt Nam.

Việc đánh giá dữ liệu sóng tái phân tích đóng vai trò quan trọng để cải thiện chất lượng và độ chính xác của dữ liệu sóng biển, tiêu chuẩn hóa phương pháp phân tích, và thúc đẩy nghiên cứu và phát triển công nghệ liên quan đến sóng biển. Các nghiên cứu tái phân tích sóng biển [1] và Trung tâm Dự báo Thời tiết Trung bình Châu Âu (ECMWF) với dự án ERA-

40 tập trung vào áp dụng mô hình sóng khí quyển và tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn như phao và đo độ cao vệ tinh nhằm tạo ra bộ dữ liệu sóng biển nhất quán và đáng tin cậy. Nghiên cứu [2] đã sử dụng dữ liệu tái phân tích để cải thiện hiệu suất của mô hình dự báo sóng biển và tập trung vào các khu vực như Thái Bình Dương và Bắc Đại Tây Dương, ven bờ biển nước Mỹ. Nghiên cứu [3, 4] đã đánh giá và hiệu chỉnh dữ liệu sóng biển từ nhiều nguồn khác nhau, nhằm cung cấp thông tin chính xác hơn về sóng biển cho các mục đích như dự báo thời tiết và đánh giá biến đổi khí hậu. Cuối cùng, nghiên cứu [5] đã tập trung vào việc đánh giá và mô hình hóa năng lượng sóng biển và độ cao sóng tối đa trên các đại dương, mang lại cái nhìn sâu rộng về ảnh hưởng của sóng biển và khí hậu đến môi trường và kỹ thuật ngoài khơi.

Từ khi xuất hiện đến nay, các mô hình sóng tái phân tích đã được nâng cao độ chính xác nhưng vẫn gặp nhiều khó khăn khi so sánh với dữ liệu thực [6–12]. Nguyên nhân có thể kể đến như độ phân giải mô hình thấp, dữ liệu gió làm đầu vào mô hình không tốt hoặc khuyết thiếu dữ liệu sóng để đồng hóa vào mô hình. Để khắc phục vấn đề này, việc hiệu chỉnh sóng bằng số liệu trạm phao được sử dụng trong một số nghiên cứu trước đây với nhiều phương pháp được tiến hành nhằm điều chỉnh sự chênh lệch độ cao sóng, có thể kể đến như phương pháp phi tham số [13], phương pháp hiệu chỉnh không gian [14], phương pháp dựa trên hướng trung bình [15, 16], phương pháp nhấn mạnh vai trò của độ dốc sóng trung bình và độ xiên, cũng như bằng thông số phổ [17].

Nhiều nghiên cứu sử dụng thông tin từ các trạm phao để đánh giá và phân tích lại chất lượng sóng [17–21]. Trong khuôn khổ nghiên cứu trước của nhóm tác giả [21], chúng tôi đã đánh giá, so sánh giữa số liệu độ cao sóng từ mô hình toàn cầu ERA5 của Trung tâm Dự báo Thời tiết hạn vừa Châu Âu với số liệu quan trắc từ trạm phao cố định để đề xuất, hiệu chỉnh số liệu tái phân tích ERA5 cho khu vực ven biển miền Trung, Việt Nam. Nghiên cứu này tiếp tục sử dụng số liệu quan trắc tại các trạm phao để đánh giá độ tin cậy của số liệu sóng tái phân tích tính toán từ mô hình WAVE WATCH III của NOAA, so sánh với số liệu sóng tái phân tích từ ECMWF, tham khảo phương pháp [4] và sử dụng hàm chuyển theo phương pháp [15] để hiệu chỉnh, cải tiến chất lượng độ cao sóng tái phân tích cho khu vực biển Việt Nam. Mục đích chính của nghiên cứu này là đánh giá và lựa chọn sản phẩm mô hình sóng tái phân tích toàn cầu thích hợp vào các nghiên cứu thống kê sóng trên không gian rộng với độ phân giải đủ lớn mà chỉ có mô hình sóng tái phân tích mới thực hiện được.

2. Phương pháp và số liệu

2.1. Phương pháp

Quy trình đánh giá chất lượng dữ liệu sóng tái phân tích và hiệu chỉnh dữ liệu đã được đưa ra trong nghiên cứu [21], được hiệu chỉnh và tiếp tục sử dụng trong nghiên cứu này theo sơ đồ trình bày trong Hình 1.

Để đánh giá chất lượng các nguồn số liệu sóng tái phân tích từ mô hình toàn cầu khi so sánh với số liệu sóng từ 07 trạm phao, nghiên cứu này sử dụng một số chỉ số so sánh với số liệu thực đo tại các trạm phao. Tham số độ cao sóng có nghĩa H_s được sử dụng để so sánh tại tất cả 07 trạm phao. 05 chỉ số thống kê được dùng để so sánh giữa số liệu thực đo (x) và số liệu mô hình (y) như sau (n là số số liệu so sánh) [4]:

Độ lệch hệ thống giữa hai chuỗi giá trị bất kỳ (BIAS):

$$BIAS = \bar{x} - \bar{y} \quad (1)$$

BIAS cho biết sự chênh lệch giữa giá trị trung bình của số liệu thực đo và số liệu mô hình. BIAS càng nhỏ thì số liệu mô hình càng tương đồng với thực đo và ngược lại.

Sai số bình phương trung bình gốc (RMSE):

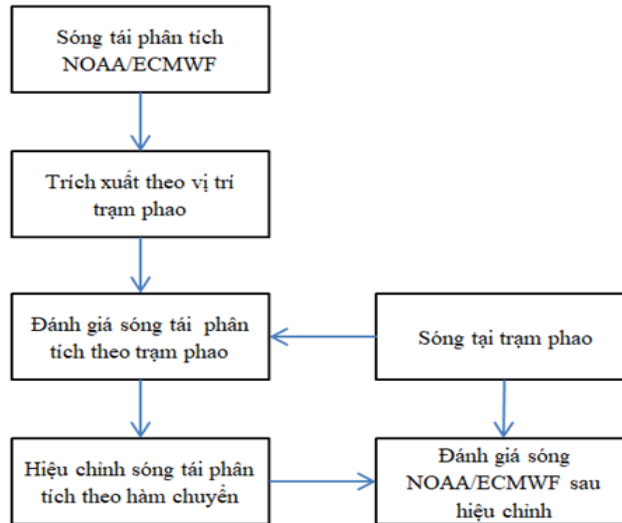
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

RMSE giúp đánh giá được sai số trung bình giữa số liệu thực đo và số liệu mô hình. RMSE càng nhỏ thì số liệu mô hình càng gần với số liệu thực đo và ngược lại.

Chỉ số phân tán (SI) đo sự phân tán liên quan đến đường $x = y$:

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{x}} \tag{3}$$

SI cho biết mức độ phân tán của các giá trị mô hình và thực đo so với đường thẳng giả định giá trị mô hình và thực đo bằng nhau (đường $x = y$). SI càng nhỏ thì hai chuỗi số liệu thực đo và mô hình càng tương đồng.



Hình 1. Sơ đồ nghiên cứu.

Hệ số tương quan Pearson (ρ):

$$\rho = \frac{cov(x, y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \tag{4}$$

Trong đó $cov(x, y)$ là hiệp phương sai giữa hai biến x, y và giá trị ρ nằm trong khoảng -1 đến 1 . ρ đo lường mối tương quan tuyến tính giữa hai bộ số liệu mô hình và thực đo, là thước đo quan trọng để đánh giá sự tương đồng giữa hai chuỗi số liệu, ρ càng gần 1 thì hai chuỗi số liệu càng tương đồng và ngược lại. Tiêu chí đánh giá chất lượng các bộ số liệu tái phân tích dựa trên hệ số ρ được thể hiện trong bảng 1.

Tỷ lệ độ lệch chuẩn quan sát RMSE (RSR):

$$RSR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}} \tag{5}$$

RSR cho biết tỷ lệ chênh lệch giữa hai chuỗi số liệu mô hình và thực đo, giá trị RSR càng nhỏ thì hai bộ số liệu càng tương đồng và ngược lại. Tiêu chí đánh giá chất lượng các bộ số liệu tái phân tích dựa trên hệ số RSR được thể hiện trong bảng 1 [22, 23].

Bảng 1. Tiêu chuẩn đánh giá chất lượng số liệu tái phân tích dựa trên hai chỉ số [22, 23].

Chất lượng	ρ	RSR
Rất tốt	$> 0,9$	$< 0,5$
Tốt	$0,7 - 0,9$	$0,5 - 0,6$
Chấp nhận	$0,5 - 0,7$	$0,6 - 0,7$
Không tốt	$< 0,5$	$> 0,7$

Nghiên cứu này sử dụng hàm chuyên, một hàm tương quan tuyến tính đơn giản nhưng đem lại hiệu quả cao, đã được áp dụng và chứng minh trong các nghiên cứu trước đây [8, 10] để hiệu chỉnh dữ liệu độ cao sóng tái phân tích từ mô hình toán theo số liệu địa phương. Hàm chuyên có dạng:

$$H_{obs} = a \times H_{sim} + b \tag{6}$$

Trong đó H_{sim} là độ cao sóng tái phân tích NOAA; H_{obs} là độ cao sóng trạm phao; a và b là các hệ số.

2.2. Số liệu thu thập

a) Sóng tại trạm phao cố định

Số liệu thực đo độ cao sóng có nghĩa tại 07 trạm phao được sử dụng trong nghiên cứu. Số liệu sóng thu thập từ các trạm phao được cung cấp bởi dự án “Trạm phao phục vụ công tác dự báo và cảnh báo bão, nước dâng do bão” hợp tác giữa Trung tâm Hải văn và Na Uy (giai đoạn 1995-2001).

Các yếu tố sóng từ nguồn số liệu các trạm phao, được đo hoàn toàn tự động, liên tục từng giờ bằng các thiết bị hiện đại với độ tin cậy cao và truyền trực tiếp số liệu qua vệ tinh INMARSAT-C. Trong đó, chỉ có giá trị đo độ cao sóng có nghĩa H_s đảm bảo tin cậy và phù hợp để so sánh nên nghiên cứu này chỉ dùng H_s để so sánh giữa các bộ số liệu.

Tên trạm phao, tọa độ, vị trí, thời gian đo đạc như bảng 2 và hình 2, trong đó trạm phao VN-05 đo tại hai khoảng thời gian khác nhau nên có hai ký hiệu riêng (VN-05-T1 và VN-05-T2). Các trạm VN-05, VN-06, VN-07 là các trạm gần bờ chịu nhiều ảnh hưởng của địa hình cũng như tương tác biển - đất liền. Thời gian đo đạc tại các trạm phao tương đối ngắn (trạm VN-02, VN-04) là hạn chế khi so sánh với số liệu tái phân tích.

Bảng 2. Tọa độ và thời gian thu thập dữ liệu trạm phao.

TT	Tên trạm	Kinh độ (°E)	Vĩ độ (°N)	Thời gian đo
1	Trạm VN-01	107,00	18,15	28/12/1995 - 25/03/1996
2	Trạm VN-02	107,82	17,73	03/02/1996 - 26/03/1996
3	Trạm VN-03	109,28	16,80	08/02/1996 - 07/03/1996
4	Trạm VN-04	110,17	15,00	07/02/1996 - 17/02/1996
5	Trạm VN-05-T1	107,38	17,17	03/10/1999 - 21/10/1999
6	Trạm VN-05-T2	107,38	17,17	14/08/2000 - 19/12/2000
7	Trạm VN-06	105,80	18,80	03/10/1999 - 17/01/2000
8	Trạm VN-07	109,17	15,38	22/10/2000 - 09/04/2001

b) Sóng tái phân tích từ mô hình toàn cầu ERA5

Nguồn số liệu sóng tái phân tích toàn cầu ERA5 do Trung tâm Dự báo Thời tiết hạn vừa Châu Âu (ECMWF) tính toán, thời gian từ năm 1940 đến nay theo từng giờ, được cải thiện độ phân giải và hiệu suất không gian - thời gian so với các phiên bản trước đó (ERA-40 và ERA-Interim). ERA5 cung cấp các dữ liệu về khí quyển, bề mặt đất liền và sóng biển. Mô hình khí quyển kết hợp với WAM là mô hình phổ sóng thế hệ thứ ba (WAVEWATCH III) được phát triển bởi Tập đoàn WAMDI. ERA5 đồng hóa số liệu độ cao sóng vệ tinh (ERS1, ERS2, SARAL, CryoSat2, Jason1, Envisat) vào phổ sóng dự báo. Số liệu sóng ERA5 được cập nhật 2 lần/ngày với độ phân giải không gian đến ¼ độ. Dữ liệu sóng ERA5 được lấy từ Kho dữ liệu khí hậu Copernicus [24] là kết hợp của sóng gió và sóng lừng. Độ cao sóng có nghĩa H_s được sử dụng trong nghiên cứu này.

c) Sóng tái phân tích từ mô hình toàn cầu NOAA

Nguồn số liệu sóng tái phân tích của Trung tâm Mô hình hóa Môi trường thuộc Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia Mỹ (NOAA) được tính toán bằng mô hình WAVEWATCH III [25]. NOAA sử dụng bộ dữ liệu gió tái phân tích và tái dự báo đồng nhất

có độ phân giải cao hàng giờ của Hệ thống dự báo khí hậu NCEP (CFSRR) và trường gió toàn cầu đầu vào có độ phân giải $\frac{1}{2}$ độ ở độ cao 10 m từ số liệu tái phân tích của Hệ thống Dự báo Khí hậu NCEP (CFSR) - kết hợp dữ liệu khí quyển, đại dương, băng biển và đất liền. Bộ số liệu sóng tái phân tích của NOAA đã được kiểm định với kết quả rất tốt khi so sánh với số liệu sóng thực đo tại 108 trạm phao tại vùng biển Caribe. Số liệu tái phân tích được đưa ra là trường sóng với các thông số (độ cao sóng có nghĩa, chu kỳ sóng chủ đạo, hướng sóng chủ đạo của cả sóng gió và sóng lừng) trên toàn cầu với độ phân giải $\frac{1}{2}$ độ và có thể xuất theo điểm với bước thời gian 3 giờ/số liệu.



Hình 2. Vị trí các trạm phao.

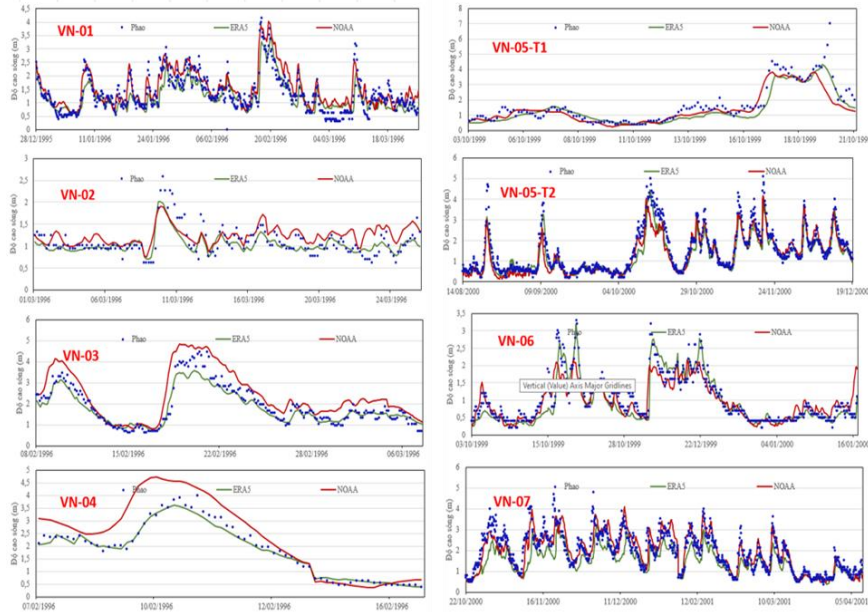
3. Kết quả nghiên cứu

3.1. So sánh số liệu sóng tái phân tích với số liệu quan trắc

Hình 3 thể hiện độ cao sóng có nghĩa quan trắc tại trạm phao (chấm tròn màu xanh biển), số liệu tái phân tích ERA5 (đường liền màu xanh lá) và số liệu tái phân tích NOAA (đường liền màu đỏ). Hình 3 cho thấy sự tương đồng cao giữa số liệu tái phân tích và trạm phao, trong đó độ cao sóng NOAA có xu thế lớn hơn độ cao sóng ERA5 và sóng thực đo tại các trạm ngoài khơi (VN-01, VN-02, VN-03, VN-04). Tại các trạm phao gần bờ còn lại (VN-05, VN-06), xu thế độ cao sóng của NOAA không rõ ràng, điều này có thể do địa hình ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng từ mô hình tái phân tích. Ngược lại, tại tất cả các trạm, độ cao sóng ERA5 có xu thế nhỏ hơn số liệu sóng thực đo. Đáng lưu ý là cả hai nguồn số liệu tái phân tích đều thấp hơn số liệu thực đo đáng kể tại các thời điểm sóng lớn cực đại. Nguyên nhân của điều này là bởi sóng phụ thuộc chủ yếu vào gió, sóng trong bão chịu sự chi phối của đặc trưng gió bão, trong đó vị trí tương đối của điểm đo so với vị trí tâm bão là cực kỳ quan trọng. Mô hình sóng toàn cầu sử dụng trường gió toàn cầu với độ phân giải chưa đủ chi tiết để diễn tả xoáy trong bão. Vì lẽ đó, vận tốc gió trong mô hình trường gió toàn cầu thường không đủ tốt để phục vụ việc tính toán sóng trong bão, dẫn đến kết quả độ cao sóng tái phân tích nhỏ hơn thực đo rõ rệt trong các thời điểm sóng lớn cực đại.

Bảng 3 trình bày các thông tin thống kê của độ cao sóng có nghĩa khi so sánh giữa dữ liệu sóng tái phân tích và số liệu quan trắc tại các trạm phao. Độ phân giải về thời gian của ERA5 (một giờ một số liệu) cao hơn của NOAA (ba giờ một số liệu), dẫn đến số số liệu (N)

của chuỗi ERA5 lớn hơn rất nhiều so với chuỗi NOAA, đây là ưu điểm lớn của bộ số liệu ERA5, bên cạnh ưu điểm về độ phân giải không gian của ERA5 (1/4 độ) cũng cao hơn đáng kể so với NOAA (1/2 độ).



Hình 3. Độ cao sóng tái phân tích ERA5, NOAA và các trạm phao.

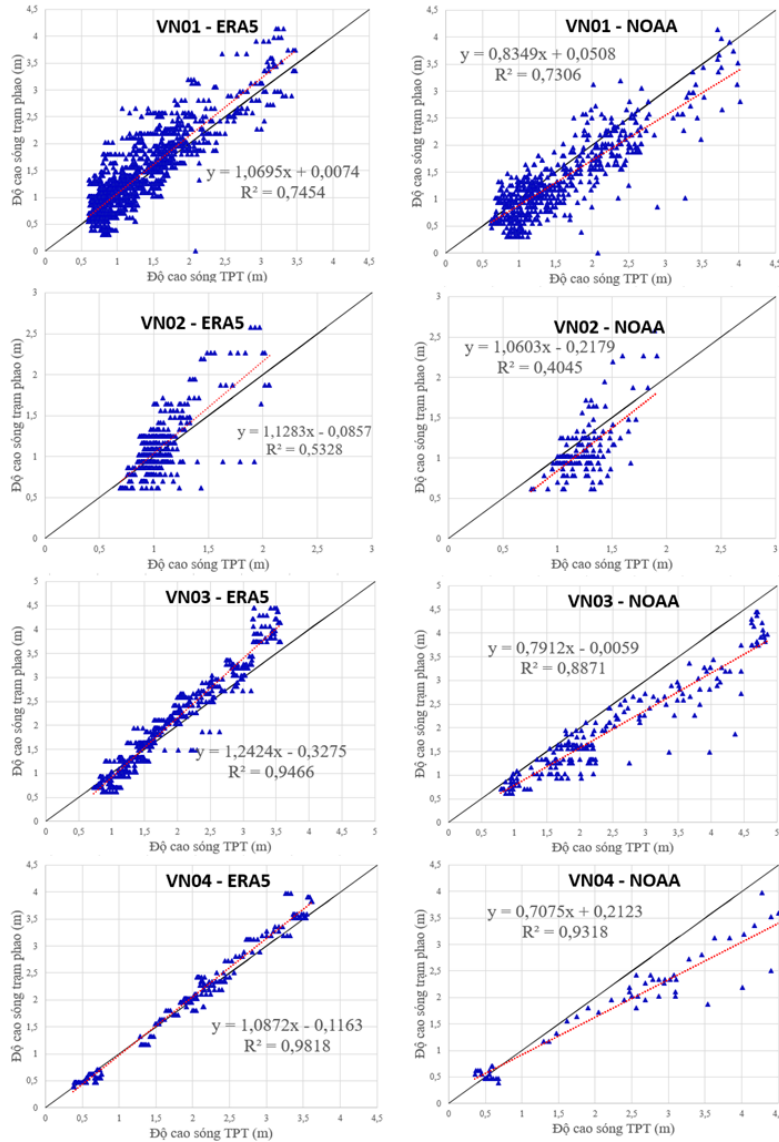
Bảng 3. Chỉ số thống kê so sánh giữa số liệu sóng tái phân tích ERA5 và NOAA với số liệu trạm phao.

Trạm	ERA5						NOAA					
	N	BIAS (m)	RMSE (m)	ρ	SI	RSR	N	BIAS (m)	RMSE (m)	ρ	SI	RSR
VN-01	1952	0,09	0,36	0,86	0,27	0,53	653	-0,20	0,42	0,85	0,32	0,62
VN-02	488	0,05	0,23	0,73	0,21	0,70	163	-0,14	0,29	0,64	0,27	1,17
VN-03	635	0,11	0,31	0,97	0,16	0,32	211	-0,51	0,65	0,94	0,34	0,67
VN-04	197	0,05	0,17	0,99	0,09	0,16	66	-0,49	0,71	0,97	0,37	0,66
VN-05-T1	421	0,26	0,52	0,94	0,32	0,41	141	0,23	0,68	0,86	0,42	0,54
VN-05-T2	2989	0,19	0,39	0,96	0,26	0,37	1001	0,15	0,48	0,91	0,32	0,45
VN-06	1524	0,07	0,27	0,93	0,26	0,41	506	0,05	0,34	0,86	0,34	0,52
VN-07	3078	0,42	0,66	0,84	0,35	0,74	1029	0,01	0,45	0,88	0,24	0,50

Kết quả thống kê cho thấy, độ lệch hệ thống (BIAS) giữa chuỗi số liệu quan trắc độ cao sóng có nghĩa tại các trạm phao với cả hai chuỗi số liệu tái phân tích đều nhỏ, thể hiện sự tương đồng tốt giữa số liệu tái phân tích và thực đo. Trong đó, BIAS của chuỗi số liệu ERA5 với số liệu quan trắc thấp hơn rõ rệt so với BIAS của chuỗi NOAA với số liệu quan trắc ở 4 trạm xa bờ (VN-01 đến VN-04). Ngược lại, các trạm gần bờ (VN-05 đến VN-07), BIAS của NOAA lại có giá trị tốt hơn, chênh lệch không đáng kể ở trạm VN-05, VN-06 và chênh lệch rõ rệt ở trạm VN-07. BIAS NOAA tại trạm VN-07 (0,1) là tốt nhất trong toàn bộ các chuỗi số liệu (Hình 4).

Tất cả các chỉ số BIAS của ERA5 đều nhỏ hơn 0,42 và đều dương, điều này cho thấy độ cao sóng tái phân tích ERA5 thiên thấp hơn so với số liệu sóng đo tại trạm phao. Còn nguồn số liệu NOAA, mặc dù giá trị tuyệt đối của các chỉ số BIAS đều thấp (nhỏ hơn 0,51) nhưng có sự khác biệt về giá trị âm-dương. Bốn trạm xa bờ (từ VN-01 đến VN-04) có chỉ số BIAS âm, cho thấy độ cao sóng tái phân tích NOAA tại các trạm này thiên cao hơn so với số liệu sóng tại trạm phao, các trạm còn lại có BIAS dương tương tự như với chuỗi số liệu của ERA5. Bảng 3 cũng chỉ ra sai số bình phương trung bình gốc (RMSE) của chuỗi ERA5 và NOAA

là nhỏ và chấp nhận được, trong đó chỉ số RMSE của ERA5 thấp hơn đáng kể so với NOAA (06/07 trạm), ngoại trừ trạm VN-07 RMSE của NOAA nhỏ hơn.

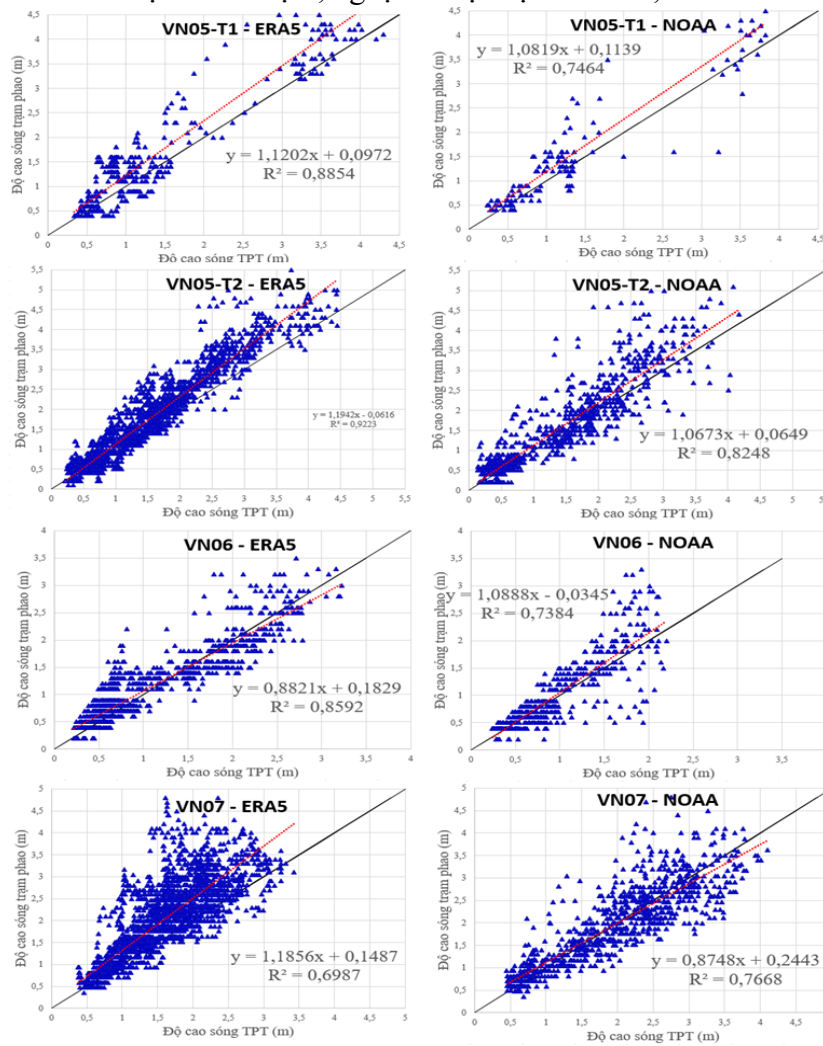


Hình 4. Tương quan giữa độ cao sóng tái phân tích ERA5 (trái) và NOAA (phải) với độ cao sóng quan trắc tại các trạm phao: VN-01, VN-02, VN-03, VN-04.

Hệ số tương quan Pearson (ρ) của ERA5 cao hơn rõ rệt NOAA tại 06/07 trạm ngoại trừ trạm VN-07, với các giá trị ρ ERA5 đạt mức tương quan cao, dao động trong khoảng (0,73-0,99), thể hiện sự tương đồng rất tốt của chuỗi ERA5 với thực đo. Theo tiêu chuẩn đánh giá chất lượng (Bảng 1), tại các trạm VN-03 và VN-04, chỉ số ρ vượt qua ngưỡng “rất tốt”, vượt qua ngưỡng 0,9. Tuy nhiên, tại khu vực trạm phao VN-07, chỉ số ρ chỉ ở mức “chấp nhận”.

Trong khi đó, các giá trị ρ của NOAA chỉ đạt 0,64 đến 0,97, dù ở mức chấp nhận và tốt nhưng vẫn kém chuỗi ERA5 rõ rệt. Theo tiêu chuẩn đánh giá chất lượng (Bảng 1), có thể thấy các khu vực trạm VN-03, VN-04, VN-05-T2, VN-07, ρ vượt qua ngưỡng “rất tốt”, đặc biệt tại trạm VN-04, chỉ số ρ vượt qua ngưỡng 0,97, trạm VN-05-T2 cũng có ρ vượt qua ngưỡng 0,9. Tuy nhiên tại khu vực trạm phao VN-02, chỉ số ρ chỉ đạt mức “chấp nhận” ($\rho = 0,64$), đạt mức tương quan kém nhất trong toàn chuỗi.

Chỉ số phân tán SI của hai chuỗi số liệu tái phân tích cũng đều ở mức thấp, thể hiện sự tương đồng tốt thực đo, trong đó xu thế tương tự khi so sánh SI ERA5 với NOAA. Giá trị SI ERA5 nhỏ hơn NOAA tại 06/07 trạm, ngoại trừ tại trạm VN-07, SI NOAA thấp hơn ERA5.



Hình 5. Tương quan giữa độ cao sóng tái phân tích ERA5 (trái) và NOAA (phải) với độ cao sóng quan trắc tại các trạm phao: VN-05-T1, VN-05-T2, VN-06, VN-07.

Tương tự, giá trị RSR của chuỗi số liệu ERA5 cũng tốt hơn NOAA, với giá trị dao động trong khoảng 0,16-0,74, trong đó các trạm VN-03 đến VN-06 đều đạt chất lượng “rất tốt”, trạm VN-01 đạt chất lượng “tốt”, trạm VN-02 và VN-07 là “không tốt” (0,70 và 0,74). Trường hợp chuỗi số liệu NOAA, chỉ số RSR dao động trong khoảng 0,45-0,88, trong đó chỉ có trạm VN-05-T2 và VN-07 là RSR “rất tốt”, trạm VN-05-T1 và VN-06 RSR đạt “tốt”, còn lại đều chỉ ở mức chấp nhận, thậm chí trạm VN-02 còn ở mức “không tốt”.

Hình 4, 5 thể hiện tương quan giữa độ cao sóng tái phân tích ERA5 và NOAA với độ cao sóng quan trắc tại 07 trạm phao. Dễ nhận thấy sự tương đồng tương đối tốt giữa số liệu mô hình và thực đo ở cả hai bộ số liệu tái phân tích, trong đó số liệu ERA5 thể hiện sự tương đồng tốt hơn NOAA. Sự tương đồng của cả hai chuỗi đạt mức tốt nhất với những giá trị sóng nhỏ, với các giá trị sóng lớn, sự phân tán càng rõ rệt, tức là mô hình không bắt được tốt các giá trị sóng lớn cực đại.

Khi so sánh với các trạm phao xa bờ (từ VN-01 đến VN-04), đường xu thế của chuỗi độ cao sóng của ERA5 nằm ở phía trên đường $x = y$, cho thấy giá trị độ cao sóng ERA5 nhỏ hơn thực đo. Ngược lại, đường xu thế tại 4 trạm này của chuỗi NOAA nằm dưới đường $x = y$, có nghĩa là giá trị độ cao sóng ERA5 lớn hơn thực đo (Hình 4). Trong khi đó, khi so sánh với các trạm phao gần bờ, đường xu thế của cả hai chuỗi tái phân tích đều nằm trên đường $x = y$,

thể hiện giá trị mô hình nhỏ hơn giá trị thực đo. Trạm VN-07, đường xu thế của NOAA gần với đường $x = y$ hơn so với ERA5, thể hiện mức tương quan của số liệu NOAA cao hơn ERA5 tại trạm phao này (Hình 5).

3.2. Hiệu chỉnh lại số liệu sóng tái phân tích theo hàm chuyển

Trên cơ sở mối tương quan giữa số liệu tái phân tích và số liệu quan trắc từ các trạm phao, hàm chuyển theo phương trình 1 được sử dụng để hiệu chỉnh lại số liệu độ cao sóng biển tái phân tích ERA5 và NOAA, được biểu thị trong bảng 4. Phương pháp sử dụng hàm chuyển tuyến tính là một phương pháp đơn giản về học thuật nhưng đã được áp dụng rất hiệu quả vào các nghiên cứu khoa học, trong đó có Khí tượng Thủy văn và Hải dương học. Nếu bộ cơ sở dữ liệu đủ chất lượng và số lượng đủ dài thì phương pháp vẫn có thể áp dụng tính sóng trong bão hoặc áp thấp nhiệt đới. Tuy nhiên, với hạn chế của mô hình sóng tái phân tích đã đề cập ở trên thì hiện tại số liệu sóng tái phân tích trong bão chưa đủ tốt. Nghiên cứu kiến nghị cần sử dụng phương pháp khác (sử dụng mô hình số trị cho địa phương) để mô phỏng, xác định sóng trong bão.

Bảng 4. Các hàm chuyển hiệu chỉnh độ cao sóng tái phân tích ERA5 và NOAA.

STT	Khu vực trạm phao	Hàm chuyển dùng cho nguồn số liệu ERA5	Hàm chuyển dùng cho nguồn số liệu NOAA
1	VN01	$H_{sim2} = 1,0693 H_{sim1} + 0,0078$	$H_{sim2} = 0,8349 H_{sim1} + 0,0508$
2	VN02	$H_{sim2} = 1,1322 H_{sim1} - 0,0911$	$H_{sim2} = 1,0479 H_{sim1} - 0,2054$
3	VN03	$H_{sim2} = 1,2424 H_{sim1} - 0,3275$	$H_{sim2} = 0,7912 H_{sim1} - 0,0059$
4	VN04	$H_{sim2} = 1,0872 H_{sim1} - 0,1163$	$H_{sim2} = 1,0819 H_{sim1} + 0,2123$
5	VN05-T1	$H_{sim2} = 1,1202 H_{sim1} + 0,0972$	$H_{sim2} = 1,1202 H_{sim1} + 0,1139$
6	VN05-T2	$H_{sim2} = 1,1942 H_{sim1} - 0,0616$	$H_{sim2} = 1,0673 H_{sim1} + 0,0649$
7	VN06	$H_{sim2} = 0,8821 H_{sim1} + 0,1829$	$H_{sim2} = 1,0888 H_{sim1} - 0,0345$
8	VN07	$H_{sim2} = 1,1856 H_{sim1} + 0,1487$	$H_{sim2} = 0,8748 H_{sim1} + 0,2443$

Trong đó: H_{sim1} : Độ cao sóng tái phân tích ban đầu; H_{sim2} : Độ cao sóng tái phân tích hiệu chỉnh.

Để đánh giá chất lượng của việc hiệu chỉnh, 05 chỉ số BIAS, RMSE, SI và RSR tiếp tục được sử dụng, cho thấy sự cải thiện đáng kể như được thể hiện trong bảng 5. Số liệu sóng tái phân tích của cả ERA5 và NOAA đã được cải thiện tốt hơn rõ rệt sau hiệu chỉnh. Ngoại trừ chỉ số tương quan không thay đổi, bốn chỉ số BIAS, RMSE, SI và RSR đều giảm, đặc biệt là chỉ số BIAS với hầu hết các trạm đều đạt xấp xỉ 0. Theo tiêu chí đánh giá chất lượng (Bảng 1), sau hiệu chỉnh tất cả các chỉ số RSR của chuỗi ERA5 đều đạt “tốt” đến “rất tốt”, còn chuỗi NOAA vẫn có trạm RSR “không tốt” (VN-02), số trạm đạt “rất tốt” cũng ít hơn ERA5.

Bảng 5. Chỉ số thống kê so sánh giữa số liệu sóng tái phân tích ERA5 và NOAA với số liệu trạm phao trước-sau hiệu chỉnh.

Trạm	N	Trạng thái	ERA5					NOAA						
			BIAS (m)	RMSE (m)	ρ	SI	RSR	N	Trạng thái	BIAS (m)	RMSE (m)	ρ	SI	RSR
VN-01	1952	Trước	0,09	0,36	0,86	0,27	0,53	653	Trước	-0,20	0,42	0,85	0,32	0,62
		Sau	0,00	0,34	0,86	0,26	0,51		Sau	0,00	0,35	0,85	0,27	0,52
VN-02	488	Trước	0,05	0,23	0,73	0,21	0,70	163	Trước	-0,14	0,29	0,64	0,27	1,17
		Sau	0,00	0,22	0,73	0,20	0,68		Sau	0,00	0,26	0,64	0,23	0,92
VN-03	635	Trước	0,11	0,31	0,97	0,16	0,32	211	Trước	-0,51	0,65	0,94	0,34	0,67
		Sau	0,00	0,23	0,97	0,12	0,23		Sau	0,00	0,33	0,94	0,17	0,34
VN-04	197	Trước	0,05	0,17	0,99	0,09	0,16	66	Trước	-0,49	0,71	0,97	0,37	0,66
		Sau	0,00	0,14	0,99	0,08	0,17		Sau	0,00	0,28	0,97	0,15	0,26
VN-05-T1	421	Trước	0,26	0,52	0,94	0,32	0,41	141	Trước	0,23	0,68	0,86	0,42	0,54
		Sau	0,00	0,43	0,94	0,26	0,34		Sau	0,00	0,64	0,86	0,39	0,50
VN-05-T2	2989	Trước	0,19	0,39	0,96	0,26	0,37	1001	Trước	0,15	0,48	0,91	0,32	0,45
		Sau	-0,01	0,30	0,96	0,20	0,28		Sau	0,00	0,45	0,91	0,30	0,42
VN-06	1524	Trước	0,07	0,27	0,93	0,26	0,41	506	Trước	0,05	0,34	0,86	0,34	0,52
		Sau	0,00	0,24	0,93	0,24	0,38		Sau	0,00	0,34	0,86	0,33	0,51

VN-07	3078	Trước	0,42	0,66	0,84	0,35	0,74	1029	Trước	0,01	0,45	0,88	0,24	0,50
		Sau	0,00	0,49	0,84	0,26	0,55		Sau	0,00	0,44	0,88	0,23	0,48

Sự cải thiện sau hiệu chỉnh thể hiện rõ hơn ở chuỗi NOAA, nguyên nhân vì ngay từ ban đầu nguồn số liệu này không tốt bằng nguồn số liệu ERA5, ngoại trừ số liệu tại trạm VN-07. Chuỗi số liệu ERA5 cải thiện tốt nhất tại trạm VN-07, với trước và sau hiệu chỉnh, chênh lệch chỉ số BIAS là 0,42, chênh lệch chỉ số RMSE là 0,17, chênh lệch chỉ số SI là 0,09, chênh lệch chỉ số RSR là 0,19, đây cũng là trạm được cải thiện tốt nhất của chuỗi ERA5. Còn chuỗi số liệu NOAA, trạm VN-03 và VN-04 được cải thiện tốt nhất. Tại trạm VN-03 và VN-04, trước và sau hiệu chỉnh, chênh lệch chỉ số BIAS lần lượt là 0,51 và 0,49, chênh lệch chỉ số RMSE lần lượt là 0,32 và 0,43, chênh lệch chỉ số SI lần lượt là 0,17 và 0,22, chênh lệch chỉ số RSR lần lượt là 0,33 và 0,40. Điều này cho thấy, các chuỗi số liệu sóng tái phân tích có mức tương đồng không tốt sẽ được cải thiện nhiều hơn so với các chuỗi có sự tương đồng tốt với thực đo, qua đó cũng thể hiện được hiệu quả cao của việc sử dụng hàm chuyển để hiệu chỉnh số liệu sóng tái phân tích từ mô hình.

Có thể thấy rằng, việc hiệu chỉnh sóng tái phân tích theo hàm chuyển đã đem lại kết quả khả quan trong việc cải thiện sự phù hợp với điều kiện địa phương. Sự cải thiện tốt nhất là ở khu vực trạm VN-07 với chuỗi số liệu ERA5 và ở khu vực trạm VN-03, VN-04 với chuỗi số liệu NOAA.

Nguồn số liệu độ cao sóng tái phân tích ERA5 và NOAA đạt độ tương đồng tốt với số liệu thực đo, đặc biệt sau khi hiệu chỉnh theo hàm chuyển. Sau quá trình so sánh và đánh giá, nguồn số liệu NOAA không đạt chất lượng tốt bằng nguồn số liệu ERA5. Trước hết, lượng số liệu so sánh từ nguồn số liệu ERA5 gấp 3 lần lượng số liệu từ nguồn số liệu NOAA, bởi số liệu của nguồn này được xuất 1 giờ 1 lần, tương ứng với số liệu xuất từ trạm phao, đây là một ưu thế lớn trước tiên của nguồn số liệu ERA5. Thêm vào đó, độ phân giải không gian của số liệu ERA5 (1/4 độ) cao hơn so với NOAA (1/2 độ), điều này dẫn đến sự phù hợp với điều kiện địa phương của số liệu sóng tái phân tích ERA5 tốt hơn so với NOAA. Kết quả cũng cho thấy, khi chưa hiệu chỉnh, nguồn số liệu ERA5 tốt hơn nguồn số liệu NOAA, thể hiện ở các chỉ số đánh giá hầu hết đều có giá trị tốt hơn, duy chỉ tại trạm VN-07, các chỉ số đánh giá cho thấy nguồn số liệu NOAA tốt hơn so với nguồn số liệu ERA5. Sau hiệu chỉnh theo hàm chuyển, tuy chất lượng số liệu độ cao sóng tái phân tích NOAA đã cao hơn nhưng vẫn kém so với số liệu ERA5 tại 06/07 trạm, trừ trạm VN-07.

4. Kết luận và kiến nghị

Kết quả nghiên cứu cho thấy sự tương đồng tương đối cao giữa độ cao sóng tái phân tích ERA5 và NOAA với độ cao sóng quan trắc tại các trạm phao tại Biển Đông, tuy nhiên cả hai nguồn số liệu tái phân tích đều thấp hơn số liệu thực đo đáng kể tại các thời điểm sóng lớn cực đại. Số liệu độ cao sóng ERA5 nhỏ hơn thực đo tại tất cả các trạm. Số liệu độ cao sóng NOAA có sự khác biệt giữa các trạm: 04 trạm xa bờ (từ VN-01 đến VN-04), độ cao sóng NOAA cao hơn thực đo, còn 03 trạm gần bờ (từ VN-05 đến VN-07), độ cao sóng NOAA nhỏ hơn thực đo, có thể yếu tố địa hình gây ra sự khác biệt này.

Sau hiệu chỉnh, số liệu sóng tái phân tích ERA5 và NOAA đã được cải thiện tốt hơn. Sự cải thiện tốt nhất là ở khu vực trạm VN-07 với chuỗi số liệu ERA5 và ở khu vực trạm VN-03, VN-04 với chuỗi số liệu NOAA. Qua đó, có thể kết luận việc hiệu chỉnh sóng theo hàm chuyển đã đem lại kết quả khả quan trong việc cải thiện sự phù hợp với điều kiện địa phương, đặc biệt tốt tại các khu vực xa bờ, nơi ít chịu ảnh hưởng của các yếu tố địa hình đến sóng. Việc sử dụng hàm chuyển để hiệu chỉnh thêm một lần cho thấy hiệu quả tốt trong nghiên cứu ứng dụng dữ liệu sóng tái phân tích.

So sánh trước và sau hiệu chỉnh giữa hai bộ số liệu độ cao sóng tái phân tích NOAA và ERA5 cho thấy, bộ số liệu ERA5 đạt chất lượng tốt hơn so với bộ số liệu NOAA, từ đó nhóm tác giả đưa ra khuyến nghị ưu tiên sử dụng bộ số liệu độ cao sóng ERA5 cho Biển Đông. Trong các nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả dự kiến nghiên cứu đánh giá nguồn số liệu sóng

từ vệ tinh, ứng dụng công nghệ hiện đại AI, đồng hóa dữ liệu quan trắc vào mô hình sóng để có được bộ số liệu sóng tốt với độ phân giải cao và cập nhật thường xuyên cho khu vực biển Việt Nam.

Phương pháp hiệu chỉnh số liệu sóng theo hàm chuyển tuyến tính đã thể hiện giá trị tích cực, bên cạnh đó, đã có nhiều nghiên cứu sử dụng các mô hình số trị để tính lan truyền sóng. Ưu điểm của các mô hình số trị là nắm bắt được đặc trưng địa phương qua quá trình hiệu chỉnh/kiểm định. Tuy nhiên, các mô hình số trị cần đòi hỏi các điều kiện đầu vào, biên, hiệu chỉnh/kiểm định phức tạp (địa hình, trường gió,...) và cần có một lượng thời gian/công sức đáng kể. Trong khi đó, các mô hình toàn cầu đã và đang được vận hành bởi các tổ chức có uy tín. Hạn chế của các sản phẩm này là chưa phản ánh được các yếu tố địa phương nên cần được hiệu chỉnh. Trên thế giới thường có hai cách hiệu chỉnh là chi tiết hóa động lực (dùng mô hình số trị) hoặc thống kê (hồi quy, như nghiên cứu này). Trong giai đoạn tiếp theo, nhóm nghiên cứu sẽ hướng đến sử dụng cách hiệu chỉnh bằng phương pháp chi tiết hóa động lực.

Qua nghiên cứu, có thể thấy tồn tại hai lý do không nên sử dụng phương pháp hiệu chỉnh bằng hàm chuyển tuyến tính cho khu vực nước nông ven bờ: (1) Do độ phân giải không gian của mô hình sóng tái phân quy mô toàn cầu (WaveWatch III) là chưa đủ tốt nên không thể mô tả được sóng cho ven bờ; (2) Bản thân mô hình WaveWatch III cũng không có khả năng mô phỏng một số hiệu ứng sóng đặc biệt là sóng phản xạ. Tính toán sóng cho vùng nước nông ven bờ cần phải sử dụng phương pháp tiếp cận khác, có thể sử dụng mô hình SWAN, MIKE21_SW (nếu không cần quan tâm sóng phản xạ) hoặc MIKE Boussinesq, XBeach (các mô hình tính được yếu tố sóng phản xạ).

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ sự trợ giúp từ đề tài cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường “Nghiên cứu xây dựng hệ thống dữ liệu tái phân tích trường sóng dựa trên mô hình số trị, kỹ thuật đồng hóa và các số liệu quan trắc phục vụ dự báo, cảnh báo sóng biển tại khu vực biển Việt Nam”, mã số TNMT.2023.06.13.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của mình, chưa từng công bố trước đó, không sao chép, đạo văn; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Sterl, A.; Komen, G.J. Fifteen years of global wave hindcasts using winds from the European Centre for medium-range weather forecasts reanalysis: Validating the reanalyzed winds and assessing the wave climate. *J. Geophys. Res.* **1998**, *103*, 5477–5492.
2. Caires, S.; Sterl, A.; Bidlot, J.R.; Graham, N. Climatological assessment of reanalysis ocean data. *J. Clim.* **2002**, *17*(10), 1893–1913.
3. Appendini, C.M.; Torres-Freyermuth, A.; Oropeza, F.; Salles, P.; López, J.; Mendoza, E.T. Wave modeling performance in the Gulf of Mexico and Western Caribbean: Wind reanalyses assessment. *Appl. Ocean Res.* **2013**, *39*, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2012.09.004>.
4. Reguero, B.G.; Menéndez, M.; Méndez, F.J.; Mínguez, R.; Losada, I. J. A Global Ocean Wave (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards. *Coastal Eng.* **2012**, *65*, 38–55. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.03.003>.
5. Barbariol, F.; Bidlot, J.R.; Cavaleri, L.; Sclavo, M.; Thomson, J.; Benetazzo, A. Maximum wave heights from global model reanalysis. *Prog. Oceanogr.* **2019**, *175*, 139–160. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.03.009>.
6. Cavaleri, L.; Alves, J.; Ardhuin, F.; Babanin, A.; Banner, M.; Belibassakis, K.; Benoit, M.; Donelan, M.; Groeneweg, J.; Herbers, T.; Hwang, P.; Janssen, P.A.E.M.; Janssen, T.; Lavrenov, I.V.; Magne, R.; Monbaliu, J.; Onorato, M.; Polnikov, V.;

- Resio, D.; Rogers, W.E.; Sheremet, A.; McKee Smith, J.; Tolman, H.L.; van Vledder, G.; Wolf, J.; Young, I. Wave modelling. The state of the art. *Prog. Oceanogr.* **2007**, *75(4)*, 603–674.
7. Akpınar, A.; van Vledder, G.P.; Kömürcü, M.I.; Özger M.; Evaluation of the numerical wave model (SWAN) for wave simulation in the Black Sea. *Cont. Shelf Res.* **2012**, *50–51*, 80–99. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.09.012>.
 8. Cavaleri, L.; Sclavo, M. The calibration of wind and wave model data in the Mediterranean sea. *Coastal Eng.* **2006**, *53*, 613–627.
 9. Booij, N.; Ris, R.; Holthuijsen, L. A third generation wave model for coastal region, I: model description and validation. *J. Geophys. Res.* **1999**, *104*, 769–7666.
 10. Cox, A.; Swail, V. A global wave hindcast over the period 1958–1997: Validation and climate assessment. *J. Geophys. Res.* **2001**, *106*, 2313–2329.
 11. Dodet, G.; Bertin, X.; Taborda, R. Wave climate variability in the north-east Atlantic ocean over the last six decades. *Ocean Modell.* **2010**, *31*, 120–131.
 12. Tolman, H.L.; Balasubramanian, B.; Burroughs, L.D.; Chalikov, D.V.; Chao, Y.Y.; Chen, H.S.; Gerald, V.M. Development and implementation of wind-generated ocean surface wave models at NCEP. *Weather Forecast.* **2002**, *17(2)*, 311–333. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(2002\)017<0311:DAIOWG>2.0.CO](https://doi.org/10.1175/1520-0434(2002)017<0311:DAIOWG>2.0.CO).
 13. Caires, S.; Sterl, A. A new nonparametric method to correct model data: Application to significant wave height from the ERA-40 re-analysis. *J. Atmos. Ocean. Technol.* **2005**, *22(4)*, 443–459. <https://doi.org/10.1175/JTECH1707.1>.
 14. Tomas, A.; Mendez, F.J.; Losada, I.J. A method for spatial calibration of wave hindcast data bases. *Cont. Shelf Res.* **2008**, *28(3)*, 391–398. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2007.09.009>.
 15. Mínguez, R.; Espejo, A.; Tomás, A.; Méndez, F.J.; Losada, I.J. Directional calibration of wave reanalysis databases using instrumental data. *J. Atmos. Ocean. Technol.* **2011**, *28(11)*, 1466–1485. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00008.1>.
 16. Mínguez, R.; Reguero, B.G.; Luceño, A.; Méndez, F.J. Regression models for outlier identification (Hurricanes and typhoons) in wave hindcast databases. *J. Atmos. Ocean. Technol.* **2012**, *29(2)*, 267–285. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00059.1>.
 17. Christian M.A.; Alec, T.F.; Fernando, O.; Paulo, S.; Jose, L.; Mendozaa, E.T. Wave modeling performance in the Gulf of Mexico and Western Caribbean: Wind reanalyses assessment. *Appl. Ocean Res.* **2012**, *39*, 20–30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apor.2012.09.004>.
 18. Cotton, P. A feasibility study for a global satellite buoy intercalibration experiment. Southampton Oceanography Centre Resolution Consultation Report 26, Southampton Oceanography Centre. Southampton Oceanography Centre, Southampton, UK, 1998, pp. 73.
 19. Bidlot, J.R.; Holmes, D.J.; Wittmann, P.A.; Lalbeharry, R.; Chen, H.S. Intercomparison of the performance of operational ocean wave forecasting systems with buoy data. *Weather Forecast.* **2002**, *17(2)*, 287–310. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(2002\)017<0287:IOTPOO>2.0.CO](https://doi.org/10.1175/1520-0434(2002)017<0287:IOTPOO>2.0.CO).
 20. Stopa, J.E.; Cheung, K.F. Intercomparison of wind and wave data from the ECMWF reanalysis interim and the NCEP climate forecast system reanalysis. *Ocean Modell.* **2014**, *75*, 65–83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2013.12.006>.
 21. Hiền, N.X.; Tiến, D.N.; Trang, N.T.; Chinh, P.V. Nghiên cứu hiệu chỉnh số liệu sóng tái phân tích từ mô hình toàn cầu cho khu vực ven biển miền Trung Việt Nam. *Tap chí Khoa học Biển đổi Khí hậu* **2024**, *29*, 77–84.
 22. Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Van Liew, M.W.; Bingner, R.L. Harmel, R.D.; Veith, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in

- watershed simulations. *Trans. ASABE* **2007**, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
23. Nga, P.T.T.; Huy, L.Q.; Tien, P.V.; Ha, D.T.T.; Thuy, T.T.; Anh, N.L.; Han, B.T. Wave analysis for the development of Thien Nga - Hai Au oil field. *Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2023**, 27, 11–22. <https://doi.org/10.55659/2525-2496/27.85950>
24. Trục tuyến: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form/>
25. Trục tuyến: <https://polar.ncep.noaa.gov/waves/hindcasts/nopp-phase1.php>.

Evaluate the applicability of reanalyzed wave data for East Sea

Nguyen Xuan Hien^{1*}, Duong Ngoc Tien¹, Vu Thi Vui¹, Giap Ngoc Anh¹, Cao Hoang Anh¹

¹ Center for Oceanography; nguyenxuanhien79@gmail.com;
duongngoctienht@gmail.com; vuivt89@gmail.com; ngocanhgiap2001@gmail.com;
hoanganhcao1991998@gmail.com

Abstract: The study focuses on evaluating the reliability and applicability of different sources of reanalysis wave height data in Vietnam's sea. Observation data from 07 buoy stations in Vietnam's sea are used to compare and evaluate the similarity with reanalyzed wave height data of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) and of the US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Evaluation results show that although there is a high similarity between the wave heights measured from buoy stations and the reanalyzed wave heights, statistical analyzes show that the reanalyzed wave heights of ECMWF have high level of similarity than NOAA. Besides, there is a significant difference between the measured data and the reanalyzed data in the case of large waves and also depends on the sea area. The study also proposes a plan to use transfer functions to calibrate and apply reanalysis wave data and evaluate the applicability of reanalysis wave data sources.

Keywords: Reanalysis waves; Buoy station; Transfer function; ECMWF ERA5; NOAA WAVEWATCH III.

Bài báo khoa học

Đánh giá ảnh hưởng của thay đổi sử dụng đất và đập chuyển nước đến thay đổi dòng chảy trên lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga

Đoàn Văn Bình^{1*}, Hồ Ngọc Như Ý¹

¹ Chương trình thạc sĩ Công nghệ, Tái sử dụng và Quản lý nước, Khoa Kỹ thuật, Trường Đại học Việt Đức; binh.dv@vgu.edu.vn; hongocnhuy0401@gmail.com

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

Ban Biên tập nhận bài: 15/6/2024; Ngày phản biện xong: 26/7/2024; Ngày đăng bài: 25/1/2025

Tóm tắt: Bài báo đã phân tích tác động của thay đổi sử dụng đất (TĐSDĐ) và đập chuyển nước đến sự biến đổi dài hạn của dòng chảy trên ba tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga, thuộc hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai (SGĐN) trong giai đoạn 1981-2021 bằng các công cụ thống kê khác nhau. Lưu lượng trung bình năm, tháng, mùa lũ và mùa cạn tại Thanh Bình và Đắk Nông đều tăng, đa số có ý nghĩa thống kê. Ngược lại, các lưu lượng tương ứng tại trạm Đại Nga đều giảm, đa số có ý nghĩa thống kê. Nhưng xu thế thay đổi lượng mưa (thường không có ý nghĩa thống kê) không hoàn toàn khớp với xu thế thay đổi lưu lượng trên ba tiểu lưu vực này. TĐSDĐ làm gia tăng lưu lượng dòng chảy ở Thanh Bình (đến 25,2% trong tháng 2) và Đắk Nông (đến 50,9% trong tháng 5), trong khi các đập chuyển nước liên lưu vực làm giảm lưu lượng ở Đại Nga (đến 55,7% trong tháng 1). Đóng góp của các nhân tố tác động đến lưu lượng dòng chảy năm cho kết quả khá nhỏ (6,2% tại trạm Thanh Bình) do có sự bù trừ giữa mùa lũ và mùa cạn. Nhưng các tính toán trên lưu lượng dòng chảy tháng cho kết quả ảnh hưởng cao, rõ ràng hơn (từ giảm 45,8% đến tăng 25,2% tại trạm Thanh Bình). Các phân tích định lượng, vì vậy, nên được tiến hành trên lưu lượng tháng. Có thể thấy, mặc dù mưa là nguồn gốc của dòng chảy trong sông, TĐSDĐ và đập chuyển nước mới là tác nhân chính làm thay đổi chế độ dòng chảy trong vùng nghiên cứu từ 1981 đến 2021. Do đó, quản lý tổng hợp nguồn nước trên quy mô lưu vực sông để đảm bảo phát triển bền vững là rất cần thiết, trong đó ngăn chặn phá rừng và thúc đẩy tái trồng rừng cần được ưu tiên.

Từ khóa: Thay đổi sử dụng đất; Đập; Sài Gòn - Đồng Nai; Lưu lượng; Thay đổi dòng chảy.

1. Giới thiệu

Chế độ dòng chảy giúp duy trì hệ sinh thái sông [1]. Khí hậu và chu kỳ ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) làm cho dòng chảy biến đổi theo tháng, theo mùa và theo năm [2-3]. Dòng chảy của nhiều sông trên thế giới đã và đang biến đổi do biến đổi khí hậu (BĐKH) vì sự nóng lên toàn cầu. BĐKH đã làm tăng tần suất và quy mô của các cơn mưa cực đoan, dẫn đến tăng tần suất và độ nghiêm trọng của các trận lũ lớn [4]. Đã có nhiều công trình phân tích tác động của BĐKH đến sự biến đổi chế độ dòng chảy [5-6]; nhưng mức độ và cơ chế tác động không giống nhau giữa các vùng nghiên cứu do khác nhau về vùng khí hậu và mức độ can thiệp của con người.

Lũ rất quan trọng đối với hệ sinh thái sông [7]. Lũ kết nối dòng sông chính với các vùng đất ven sông, tạo điều kiện cho thủy sản di cư, sinh sản và giúp mang nước, phù sa, dưỡng chất đến làm tăng độ màu mỡ cho đất canh tác nông nghiệp [8]. Ngoài những lợi ích, lũ lụt

cũng mang đến thiệt hại cho hàng triệu người dân trên toàn cầu [9]. Do dòng chảy được hình thành từ lượng mưa trên lưu vực [2] nên lũ lụt bị tác động mạnh mẽ từ BĐKH. Các công trình trước đây cho thấy, BĐKH đã, đang và sẽ làm tăng các trận lũ lớn cả về tần suất và quy mô [4]. Những thiệt hại do lũ gây ra sẽ trở nên nguy hiểm hơn do bão và các tác nhân nhân tạo như TĐSDĐ [2]. Tuy nhiên, lũ lụt có thể được giảm nhẹ bởi các công trình đập dâng thông qua việc điều tiết hồ chứa: trữ nước vào mùa lũ và xả ra trong mùa khô [10, 11].

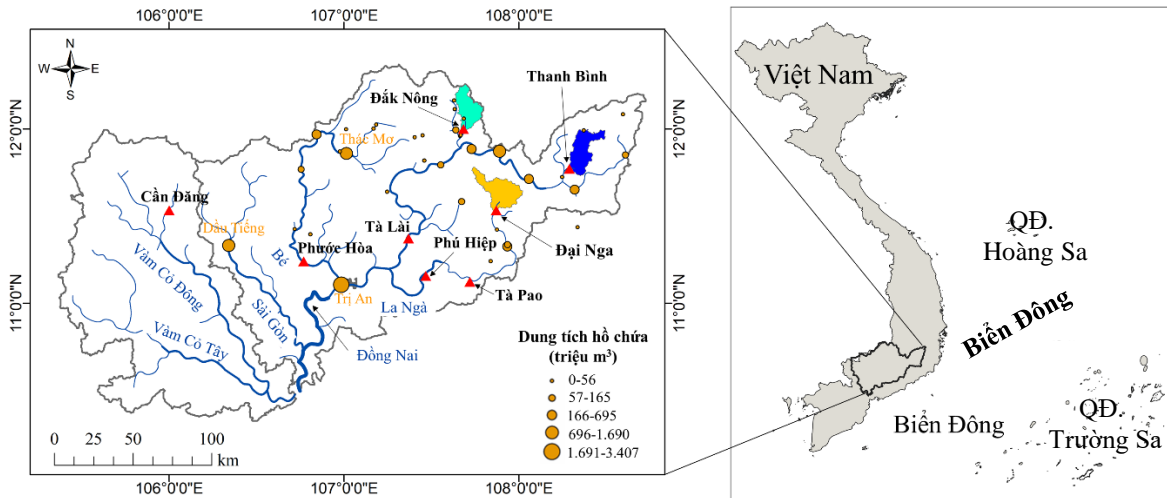
Bên cạnh đó, dòng chảy trong mùa cạn cũng rất quan trọng. Dao động dòng chảy mùa cạn (chu kỳ ngập và khô của các bãi bồi ven sông) là rất cần thiết trong hệ sinh thái ven sông. Cụ thể, nó cung cấp môi trường sống cho hệ động, thực vật ven sông. Do đó, bất kỳ sự thay đổi trái với quy luật tự nhiên nào của dòng chảy kiệt cũng có tác động tiêu cực lên hệ sinh thái. Chẳng hạn, nếu dòng chảy kiệt quá cao thì thời gian bị ngập của các bãi bồi ven sông sẽ tăng lên, từ đó làm gián đoạn chu kỳ sống và chu trình sinh sản của nhiều loài cá, sinh vật thủy sinh và thảm thực vật ngập nước [12]. Hơn thế nữa, nhiều người dân sẽ không thể tiếp tục canh tác trên các bãi bồi do bị ngập nước trong mùa cạn. Ngược lại, nếu dòng chảy kiệt quá thấp thì sẽ thiếu nước sinh hoạt, thiếu nước tưới và tăng nguy cơ xâm nhập mặn [8]. Hệ quả là, đời sống và canh tác nông nghiệp của người dân sẽ bị tác động tiêu cực. Nhiều công trình trước đây cho thấy, dòng chảy kiệt nhiều sông trên thế giới đã và đang biến đổi nhanh chóng dưới ảnh hưởng của con người và BĐKH [8].

Mạng sông Sài Gòn - Đồng Nai (SGĐN) rất quan trọng cho sự phát triển của Tp. Hồ Chí Minh, Đồng Nai và Bình Dương. Nó cung cấp nước cho khoảng 20 triệu người dân. Với tổng lưu lượng hàng năm là 32,5 tỷ m³ [13], hệ thống SGĐN lớn thứ hai khu vực phía Nam Việt Nam, chỉ sau sông Mê Kông. Tuy nhiên, SGĐN là hệ thống sông quốc nội (chỉ chảy trong nội địa) lớn nhất cả nước. Lũ lụt là một hiện tượng thường niên trên hệ thống sông SGĐN, gây ra những ảnh hưởng to lớn và làm gián đoạn giao thông ở Tp. Hồ Chí Minh. Nghiên cứu [14] đã phân tích tác động của mưa cực đoan và triều cường đến nguy cơ lũ lụt ở Tp. Hồ Chí Minh. Họ phát hiện rằng, hiện tượng ENSO và PDO (*Pacific Decadal Oscillation*) đã tác động đến tần suất và quy mô của mưa cực đoan, làm tăng thêm nguy cơ lũ lụt trong khu vực. Nghiên cứu [15] đã nghiên cứu xu thế thay đổi mực nước dài hạn dọc theo sông Đồng Nai, từ đó liên hệ đến quá trình đô thị hóa, xây dựng đê và đập trên lưu vực. Nghiên cứu [16] đã phân tích tác động của BĐKH và TĐSDĐ đến sự thay đổi cân bằng nước ở đầu nguồn sông Đồng Nai, trong khi [17] đã phân tích ảnh hưởng của TĐSDĐ đến xu thế biến đổi chế độ dòng chảy ở thượng nguồn sông Đồng Nai. Nghiên cứu [18] đã phân tích ảnh hưởng của TĐSDĐ đến dòng chảy và trầm tích trên lưu vực sông Bé.

Nhìn chung, đã có nhiều công trình nghiên cứu tác động của BĐKH và TĐSDĐ đến biến đổi chế độ dòng chảy trên hệ thống sông SGĐN. Nhưng vẫn còn một vài khoảng trống học thuật (*Research gaps*) cần được nghiên cứu thêm. Thứ nhất, nhiều nghiên cứu tập trung vào khu vực hạ nguồn (xung quanh Tp. Hồ Chí Minh, Đồng Nai và Bình Dương vì đây là ba đầu tàu kinh tế ở phía Nam) và ven biển, trong khi các nghiên cứu ở khu vực thượng nguồn còn hạn chế. Nghiên cứu [18] tập trung cho thượng nguồn lưu vực sông Bé, trong khi các tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắc Nông và Đại Nga trên sông Đồng Nai và La Ngà ít được quan tâm. Thứ hai, mức độ hiểu biết (lượng hóa) hiện nay về tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến thay đổi dòng chảy trong quá khứ ở lưu vực SGĐN vẫn còn tương đối hạn chế.

Chúng ta biết rằng, để có những định hướng phát triển và sử dụng nguồn nước hiệu quả từ ngắn đến dài hạn trong tương lai thì hiểu biết tường tận những thay đổi dòng chảy và tác nhân đã và đang diễn ra là rất quan trọng. Do đó, nghiên cứu này định lượng tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến sự biến đổi xu thế dòng chảy theo năm, mùa và tháng trên ba tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắc Nông và Đại Nga, thượng nguồn lưu vực sông SGĐN. Cụ thể, nghiên cứu dùng các công cụ thống kê để đánh giá định tính xu thế biến đổi của dòng chảy cùng với các tác nhân để tìm ra các tác nhân chính. Sau đó, nghiên cứu định lượng ảnh hưởng của các tác nhân chính bằng các công cụ thống kê phức tạp hơn. Sau cùng, bài báo đề xuất các kế hoạch quản lý chiến lược để hạn chế tác động của các nhân tố lên chế độ dòng

chảy trong khu vực, góp phần điều hòa dòng chảy xuống hạ lưu. Cách tiếp cận và các đề xuất trong bài báo này có thể dễ dàng được áp dụng cho các mạng sông khác ở Việt Nam.



Hình 1. Bản đồ thể hiện vị trí địa lý của mạng sông Sài Gòn - Đồng Nai với ba tiểu lưu vực nghiên cứu.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu sử dụng

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Hai sông chính (sông Đồng Nai và Sài Gòn) cùng với hai phụ lưu chính (sông Bé và La Ngà) đã hình thành hệ thống sông SGDN (Hình 1). Dòng chảy được chia thành 02 mùa chính: mùa lũ trong tháng 6 - tháng 11 và mùa cạn trong tháng 12 - tháng 5. Lũ lớn thường xảy ra trong tháng 8 - tháng 9. Lũ lụt là một trong các loại hình thiên tai nguy hiểm nhất trên hệ thống sông SGDN, làm gián đoạn nền kinh tế và làm hư hỏng nhiều công trình trên lưu vực. Có 7 trạm thủy văn, bao gồm Thanh Bình, Đắk Nông, Tà Lài, Phước Hòa, Đại Nga, Tà Pao và Phú Hiệp, có số liệu lưu lượng ngày từ những năm 1970s. Có 36 đập lớn phục vụ cho việc tưới tiêu, cấp nước và thủy điện đang hoạt động với tổng dung tích hồ chứa đến 10,6 tỷ m³, bao gồm một số hệ thống đập bậc thang, tất cả chiếm hơn 32,6% tổng lượng nước của hệ thống sông SGDN.

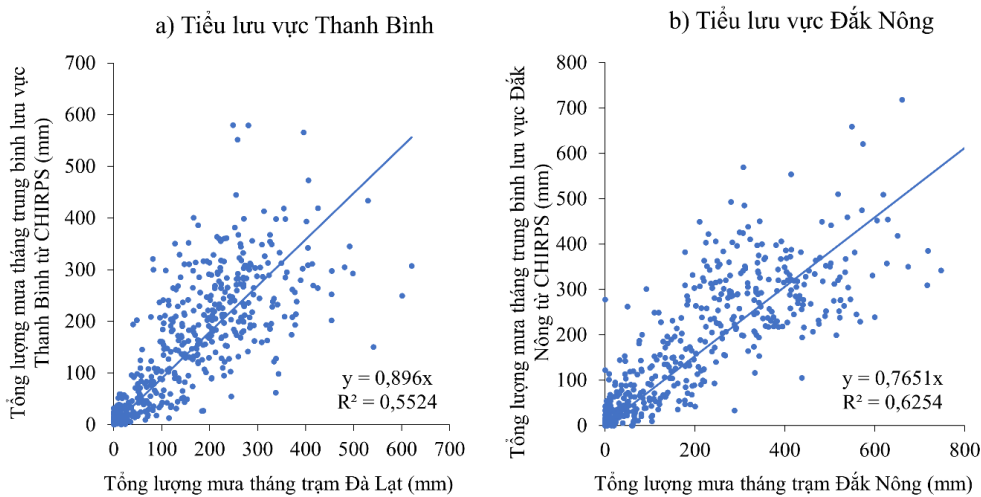
Khí hậu (dựa trên lượng mưa) và mục đích sử dụng đất đã thay đổi tương đối đáng kể trên lưu vực SGDN [18, 19]. Hai nhân tố này có thể đã làm biến đổi chế độ dòng chảy trên hệ thống. Để định lượng tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến chế độ dòng chảy, nghiên cứu đã chọn 03 tiểu lưu vực là Thanh Bình, Đắk Nông (trên sông Đồng Nai) và Đại Nga (trên nhánh La Ngà). Diện tích toàn lưu vực lần lượt là 326, 279 và 377 km², với lượng mưa trung bình lưu vực là 1.851, 2.148 và 2.060 mm/năm. Ba tiểu lưu vực nghiên cứu được chọn vì chúng ít bị ảnh hưởng của đập và hồ chứa lớn, ngoại trừ tiểu lưu vực Đại Nga có các đập chuyển nước sang Bình Thuận và tiểu lưu vực Tà Pao.

2.2. Số liệu

Bài báo sử dụng bản đồ cao độ số (DEM) SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (<https://dwtkns.com/srtm30m/>) để tách ba tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga từ ba trạm thủy văn tương ứng. SRTM DEM có độ phân giải pixel 30 m. Nghiên cứu này dùng công cụ "hydrology" thuộc phần mềm *ArcGIS@10* để tách ba tiểu lưu vực cần nghiên cứu.

Nghiên cứu thu thập liệt số liệu lưu lượng dòng chảy ngày từ 1981-2021 tại 03 trạm thủy văn Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga từ Trung tâm Thông tin và Dữ liệu Khí tượng Thủy văn thuộc Tổng cục Khí tượng Thủy văn. Lưu lượng trung bình trên liệt tài liệu thu thập tại trạm Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga lần lượt là 299 triệu m³/năm (hệ số phân tán $C_V = 0,21$), 493 triệu m³/năm ($C_V = 0,33$) và 512 triệu m³/năm ($C_V = 0,37$).

Các trạm đo mưa khá thưa thớt trên các tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắc Nông và Đại Nga. Theo số liệu nghiên cứu thu thập được, chỉ có trạm Đà Lạt là gần tiểu lưu vực Thanh Bình và trạm Đắc Nông thuộc tiểu lưu vực Đắc Nông. Trong khi đó, dòng chảy trong sông được hình thành do sự tập trung lượng mưa của toàn lưu vực. Vì vậy, lượng mưa tại các trạm mưa khó đại diện cho khu vực không gian rộng. Vì thế, nghiên cứu sử dụng mưa lưới để tính lượng mưa bình quân trong các tiểu lưu vực, từ đó phân tích mối liên hệ giữa mưa lưu vực và lưu lượng tại trạm thủy văn. Cụ thể, bài báo dùng dữ liệu mưa CHIRPS (tên đầy đủ là *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station, V20*) với độ phân giải $0,05^\circ$ ($5\text{km}\times 5\text{km}$) (<https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>) thời kỳ từ năm 1981 đến 2021. Đây là một sản phẩm dữ liệu mưa lưới, được tính toán bằng cách kết hợp mưa vệ tinh và hệ thống trạm mưa mặt đất [20]. Dữ liệu mưa CHIRPS đã được kiểm định cho nhiều lưu vực trên thế giới [21] và là bộ dữ liệu mưa lưới có chất lượng tốt, đáng tin cậy ở Việt Nam [22]. Trước khi sử dụng, nghiên cứu đã so sánh mưa CHIRPS với mưa thực đo tại trạm Đà Lạt và Đắc Nông. Hệ số xác định (*Coefficient of determination*) giữa mưa CHIRPS và thực đo trong lưu vực Thanh Bình là 0,55 và Đắc Nông là 0,62 (Hình 2). Tuy hệ số xác định không quá cao nhưng dữ liệu mưa CHIRPS có thể được coi là tin cậy ($R^2 > 0,5$) trong nghiên cứu này. Từ mưa lưới CHIRPS, nghiên cứu tính toán lượng mưa trung bình của ba tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắc Nông và Đại Nga bằng cách tính lượng mưa bình quân của tất cả các ô lưới trong mỗi tiểu lưu vực. Nghiên cứu tính toán tổng lượng mưa tháng, năm, lớn nhất, nhỏ nhất, mùa mưa và mùa khô từ liệt dữ liệu mưa ngày.

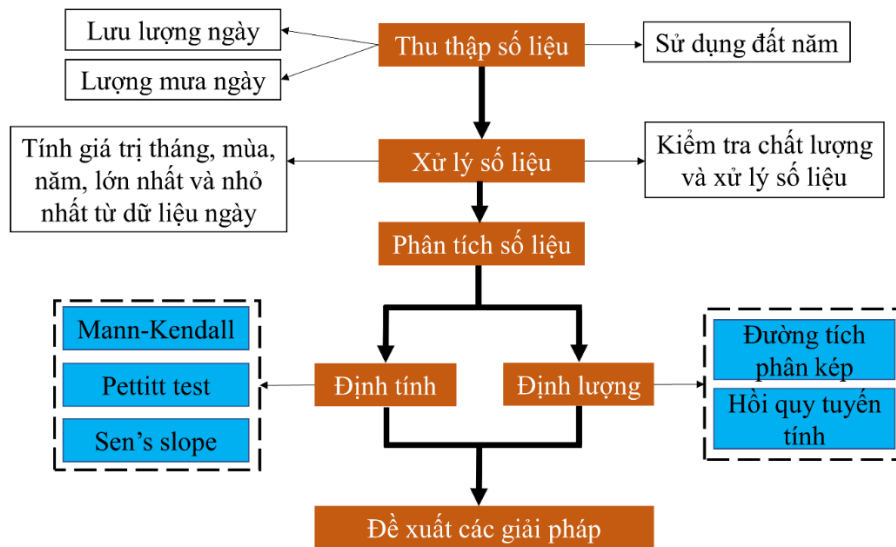


Hình 2. So sánh mưa lưới CHIRPS và mưa trạm trên tiểu lưu vực Thanh Bình và Đắc Nông.

Bài báo phân tích TĐSDĐ trong giai đoạn 1990-2020 từ bộ dữ liệu sử dụng đất hàng năm [23]. Nghiên cứu [23] đã kết hợp viễn thám với thuật toán rừng ngẫu nhiên (*Random Forest*) để thiết lập bản đồ sử dụng đất qua các năm từ dữ liệu vệ tinh. Có 10 loại hình sử dụng đất (dữ liệu cấp 1) ở độ phân giải không gian là $250\text{m}\times 250\text{m}$ từ các dữ liệu sử dụng đất sơ cấp [23]. Sau đó, nghiên cứu đã tái phân loại 10 loại dữ liệu sử dụng đất này thành bốn loại chủ đạo trong vùng nghiên cứu, gồm: đất rừng, đất nông nghiệp, đất đô thị và mặt nước. Dữ liệu sử dụng đất dạng lưới được tính trung bình cho ba tiểu lưu vực nghiên cứu giống như cách tính đối với mưa.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Hình 3 thể hiện phương pháp nghiên cứu tổng thể. Trước tiên, nghiên cứu thu thập lưu lượng ngày, mưa ngày và bản đồ sử dụng đất theo năm. Các dữ liệu này được kiểm tra và chỉnh biên để được bộ số liệu phù hợp cho các phân tích. Cuối cùng, bài báo tính toán định tính và định lượng các tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến dòng chảy trên vùng nghiên cứu.



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc thể hiện các bước nghiên cứu.

Về mặt định tính, bài báo dùng phương pháp phi tham số Mann-Kendall [24, 25] để đánh giá xu thế thay đổi trong dài hạn của lưu lượng (1981-2021), lượng mưa (1981-2021) và sử dụng đất (1990-2020). Phương pháp Pettitt [26] được dùng để tìm năm thay đổi xu thế trong các chuỗi dữ liệu, từ đó chuỗi số liệu được tách thành giai đoạn trước và sau thay đổi. Sau đó, phương pháp Sen's slope [27] được dùng để tính toán tốc độ thay đổi (độ dốc) của các liệt số liệu. Các công cụ này được thực hiện trên ngôn ngữ R (<https://www.r-project.org/>), trong gói (Package) "Kendall". Những cộng cụ thống kê này được tiến hành ở mức ý nghĩa 10%. Các phân tích trên được tính toán trên số liệu trung bình năm và tháng, lớn nhất, nhỏ nhất và trung bình mùa lũ và mùa cạn.

Về mặt định lượng, bài báo dùng phương pháp đường tích phân kép (Double mass curve) và hồi quy tuyến tính để tính toán tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến sự biến đổi của dòng chảy theo năm, mùa và tháng. Trước tiên, đường quan hệ giữa lưu lượng năm lũy tích (trục tung) và lượng mưa năm lũy tích (trục hoành) được thiết lập. Tiếp theo, đường hồi quy tuyến tính được thiết lập cho giai đoạn trước thay đổi (năm thay đổi có được từ phương pháp Pettitt). Nếu như trên hệ thống không có ảnh hưởng của con người thì đường quan hệ tuyến tính này sẽ được giữ nguyên cho giai đoạn sau thay đổi. Do đó, đường hồi quy tuyến tính cho giai đoạn trước thay đổi được dùng để tính lưu lượng năm cho giai đoạn sau thay đổi. Nói cách khác, các lưu lượng năm trong giai đoạn sau thay đổi được tính toán từ đường hồi quy tuyến tính chính là lưu lượng được tái xây dựng lại trong điều kiện tự nhiên (con người không có ảnh hưởng). Cuối cùng, sự khác nhau giữa lưu lượng năm được tính toán so với lưu lượng năm thực đo phản ánh ảnh hưởng của con người. Trong trường hợp ở 02 tiểu lưu vực Thanh Bình và Đắc Nông thì ảnh hưởng của con người chính là TĐSDĐ do không có các đập và hồ chứa lớn. Trong khi đó, các đập chuyển nước ra khỏi tiểu lưu vực Đại Nga sang Bình Thuận và tiểu lưu vực Tà Pao có thể có tác động lớn tới dòng chảy tại trạm thủy văn Đại Nga.

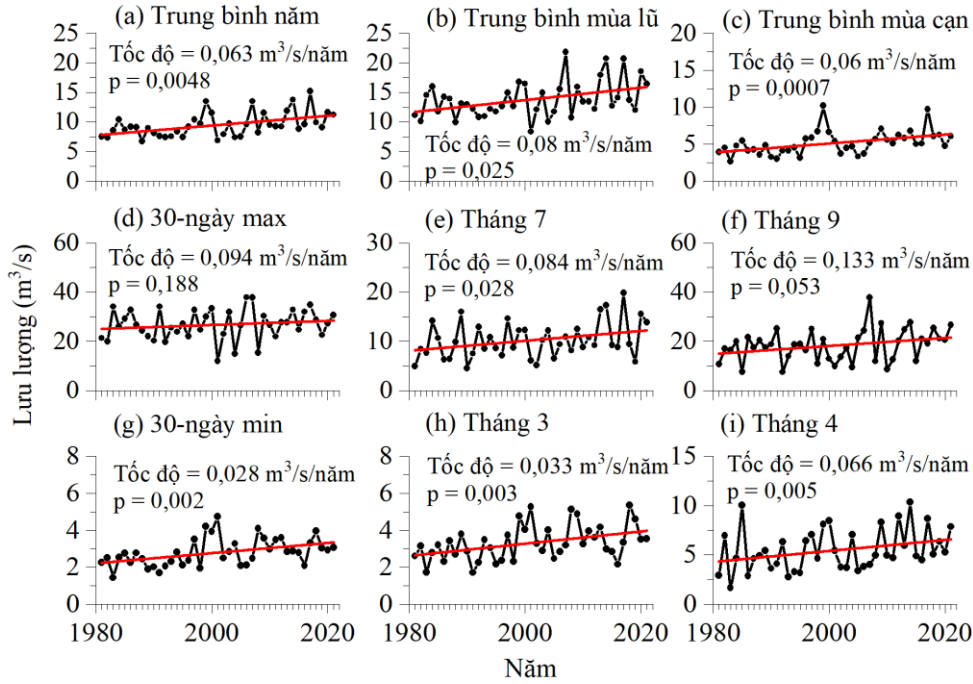
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Sự thay đổi của lưu lượng

3.1.1. Tiểu lưu vực Thanh Bình

Trong giai đoạn 1981-2021, lưu lượng dòng chảy năm, tháng, lớn nhất, nhỏ nhất, mùa lũ và mùa cạn tại trạm thủy văn Thanh Bình đều có xu thế tăng, đa số là có ý nghĩa thống kê (Hình 4, Bảng 1). Dòng chảy năm tăng 0,063 m³/s/năm ($p = 0,0048$). Năm thay đổi xu thế

của lưu lượng năm là 2005. Vào mùa lũ (tháng 6 - tháng 11), tháng 9 tăng nhiều nhất, bởi 0,133 m³/s/năm (p = 0,053), kế tiếp là tháng 8 bởi 0,126 m³/s/năm (p = 0,092) và tháng 7 bởi 0,084 m³/s/năm (p = 0,028). Các tháng 6, 10 và 11 tăng, nhưng p > 0,1. Lưu lượng 1-ngày max và 30-ngày max lần lượt tăng 0,44 m³/s/năm (p = 0,017) và 0,094 m³/s/năm (p = 0,188). Lưu lượng của tất cả các tháng mùa khô (tháng 12 - tháng 5) và lưu lượng 1-ngày min và 30-ngày min đều tăng với p < 0,1. Tháng 5 tăng cao nhất, bởi 0,122 m³/s/năm (p = 0,011), theo sau là tháng 4 bởi 0,066 m³/s/năm (p = 0,005) và tháng 1 bởi 0,05 m³/s/năm (p = 0,001). Lưu lượng 1-ngày min và 30-ngày min đều tăng 0,028 m³/s/năm (p < 0,01). Tương tự, lưu lượng trung bình mùa lũ và mùa cạn đều tăng, lần lượt bởi 0,08 m³/s/năm (p = 0,025) và 0,06 m³/s/năm (p = 0,0007).



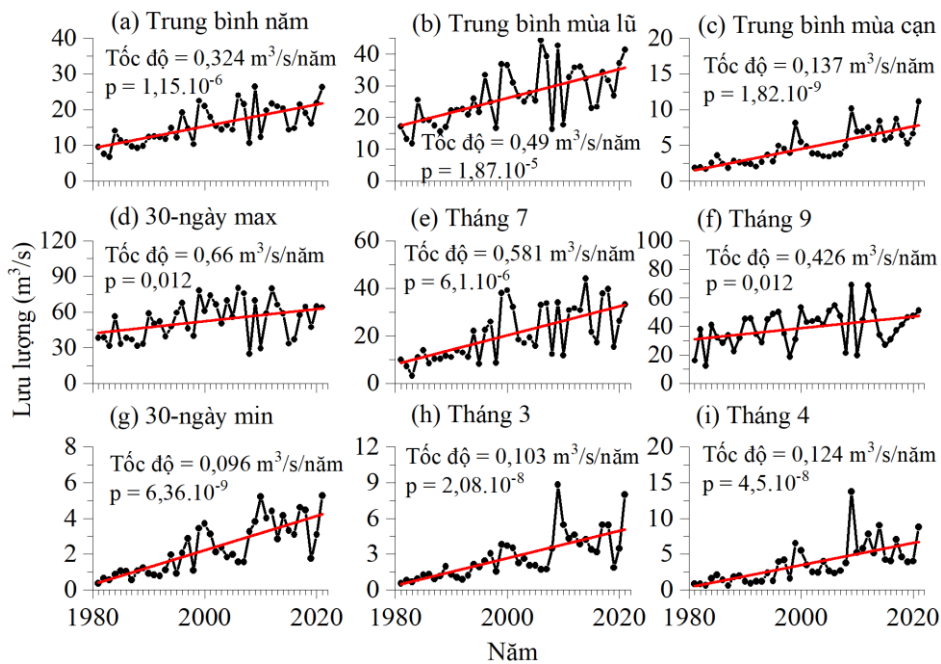
Hình 4. Thay đổi lưu lượng từ 1981 đến 2021 tại trạm thủy văn Thanh Bình.

Bảng 1. Kết quả phân tích xu thế thay đổi lưu lượng dòng chảy tại trạm Thanh Bình, Đắc Nông và Đại Nga (1981-2021). Dấu “+” thể hiện xu thế tăng, dấu “-” thể hiện xu thế giảm.

Chỉ số	Thanh Bình			Đắc Nông			Đại Nga		
	Tốc độ (m ³ /s/năm)	p	Xu thế	Tốc độ (m ³ /s/năm)	p	Xu thế	Tốc độ (m ³ /s/năm)	p	Xu thế
Tháng 1	0,05	0,001	+	0,127	6,5.10 ⁻⁷	+	-0,05	0,050	-
Tháng 2	0,026	0,01	+	0,091	2,1.10 ⁻⁷	+	-0,06	0,0007	-
Tháng 3	0,033	0,003	+	0,103	2,08.10 ⁻⁸	+	-0,03	0,154	-
Tháng 4	0,066	0,005	+	0,124	4,5.10 ⁻⁸	+	-0,04	0,438	-
Tháng 5	0,112	0,011	+	0,231	5,14.10 ⁻⁷	+	-0,06	0,506	-
Tháng 6	0,062	0,172	+	0,288	6,68.10 ⁻⁵	+	-0,32	0,044	-
Tháng 7	0,084	0,028	+	0,581	5,1.10 ⁻⁶	+	-0,14	0,522	-
Tháng 8	0,126	0,092	+	0,643	0,01	+	-0,61	0,044	-
Tháng 9	0,133	0,053	+	0,426	0,012	+	-0,61	0,005	-
Tháng 10	0,016	0,794	+	0,386	0,016	+	-0,35	0,071	-
Tháng 11	0,041	0,345	+	0,261	6,07.10 ⁻⁵	+	-0,3	0,004	-
Tháng 12	0,061	0,020	+	0,171	1,38.10 ⁻⁵	+	-0,15	0,014	-
Năm	0,063	0,0048	+	0,324	1,15.10 ⁻⁶	+	-0,17	0,061	-
1-ngày max	0,44	0,017	+	0,871	0,064	+	-0,85	0,031	-
30-ngày max	0,094	0,188	+	0,66	0,012	+	-0,63	0,005	-
Mùa lũ	0,08	0,025	+	0,49	1,87.10 ⁻⁵	+	-0,29	0,02	-
1-ngày min	0,028	3,76.10 ⁻⁴	+	0,082	9,23.10 ⁻¹⁰	+	-0,03	0,004	-
30-ngày min	0,028	0,002	+	0,096	6,36.10 ⁻⁹	+	-0,04	0,004	-
Mùa cạn	0,06	0,0007	+	0,137	1,82.10 ⁻⁹	+	-0,04	0,318	-

3.1.2. Tiêu lưu vực Đắc Nông

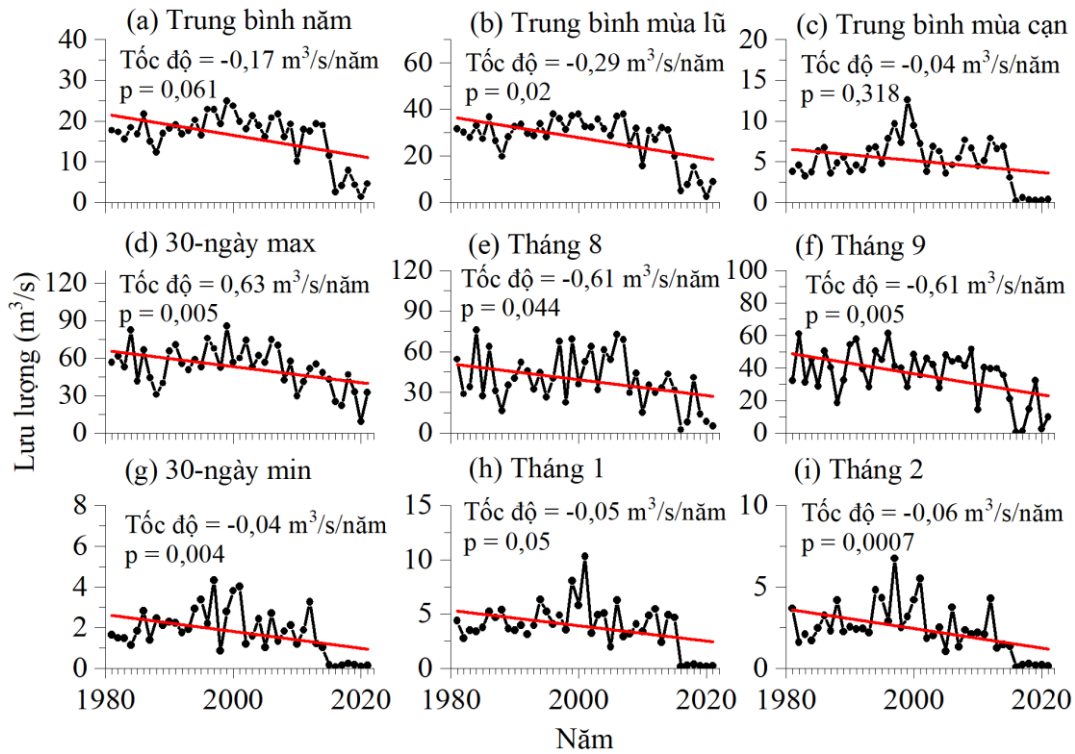
Biến đổi lưu lượng tại trạm Đắc Nông vào cả mùa lũ và mùa khô đều tăng với mức ý nghĩa thống kê rất cao (Hình 5, Bảng 1). Lưu lượng trung bình năm tăng $0,324 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 1,15 \cdot 10^{-6}$). Năm thay đổi dòng chảy năm là 1998. Các tháng mùa lũ (tháng 6 - tháng 11) có lưu lượng tăng lần lượt là: tháng 6 tăng $0,288 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 6,68 \cdot 10^{-5}$), tháng 7 tăng $0,581 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 5,1 \cdot 10^{-6}$), tháng 8 tăng $0,643 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,01$), tháng 9 tăng $0,426 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,012$), tháng 10 tăng $0,386 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,016$), và tháng 11 tăng $0,261 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 6,07 \cdot 10^{-5}$). Lưu lượng 1-ngày max và 30-ngày max tăng với tốc độ lần lượt là $0,871 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,064$) và $0,66 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,012$). Trong mùa cạn (tháng 12 đến tháng 5), lưu lượng tháng 12 tăng $0,171 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 1,38 \cdot 10^{-5}$), tháng 1 tăng $0,127 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 6,5 \cdot 10^{-7}$), tháng 2 tăng $0,091 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 2,1 \cdot 10^{-7}$), tháng 3 tăng $0,103 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 2,08 \cdot 10^{-8}$), tháng 4 tăng $0,124 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 4,5 \cdot 10^{-8}$), và tháng 5 tăng $0,231 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 5,14 \cdot 10^{-7}$). Lưu lượng 1-ngày min tăng với tốc độ $0,082 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 9,23 \cdot 10^{-10}$) và 30-ngày min tăng với tốc độ $0,096 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 6,39 \cdot 10^{-9}$). Cả lưu lượng trung bình mùa lũ và mùa cạn đều tăng, lần lượt là $0,49 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 1,87 \cdot 10^{-5}$) và $0,137 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 1,82 \cdot 10^{-9}$).



Hình 5. Xu thế thay đổi lưu lượng giai đoạn 1981-2021 tại trạm Đắc Nông.

3.1.3. Tiêu lưu vực Đại Nga

Khác với Thanh Bình và Đắc Nông, lưu lượng tháng, năm, lớn nhất, nhỏ nhất, mùa lũ và mùa cạn tại trạm thủy văn Đại Nga đều có xu thế giảm từ 1981 đến 2021 (Hình 6, Bảng 1). Lưu lượng trung bình hàng năm giảm với tốc độ $-0,17 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,061$). Năm thay đổi xu thế là 2014. Xu thế giảm của các tháng mùa lũ đều có ý nghĩa thống kê (trừ tháng 7). Cụ thể, tháng 6 giảm $-0,32 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,044$), tháng 8 giảm $-0,61 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,044$), tháng 9 giảm $-0,61 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,005$), tháng 10 giảm $-0,35 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,071$), và tháng 11 giảm $-0,3 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,004$). Lưu lượng 1-ngày max giảm nhiều nhất, với tốc độ $-0,85 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,031$), sau đó là 30-ngày max với tốc độ $-0,63 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,005$). Trong mùa cạn, chỉ có lưu lượng 1-ngày min, 30-ngày min, tháng 12 và tháng 2 là có xu thế giảm có ý nghĩa thống kê. Những tháng khác mặc dù có xu thế giảm nhưng lại không có ý nghĩa thống kê. Cụ thể, lưu lượng tháng 12 giảm $-0,15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,014$), tháng 2 giảm $-0,06 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,0007$), 1-ngày min giảm $-0,03 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,004$) và 30-ngày min giảm $-0,04 \text{ m}^3/\text{s}/\text{năm}$ ($p = 0,004$). Lưu lượng trung bình mùa lũ ($p = 0,02$) và mùa cạn ($p = 0,318$) đều giảm. Như vậy, bên cạnh lưu lượng 1-ngày max và 30-ngày max, tháng 8 và 9 có tốc độ giảm lưu lượng lớn nhất trong giai đoạn 1981-2021.



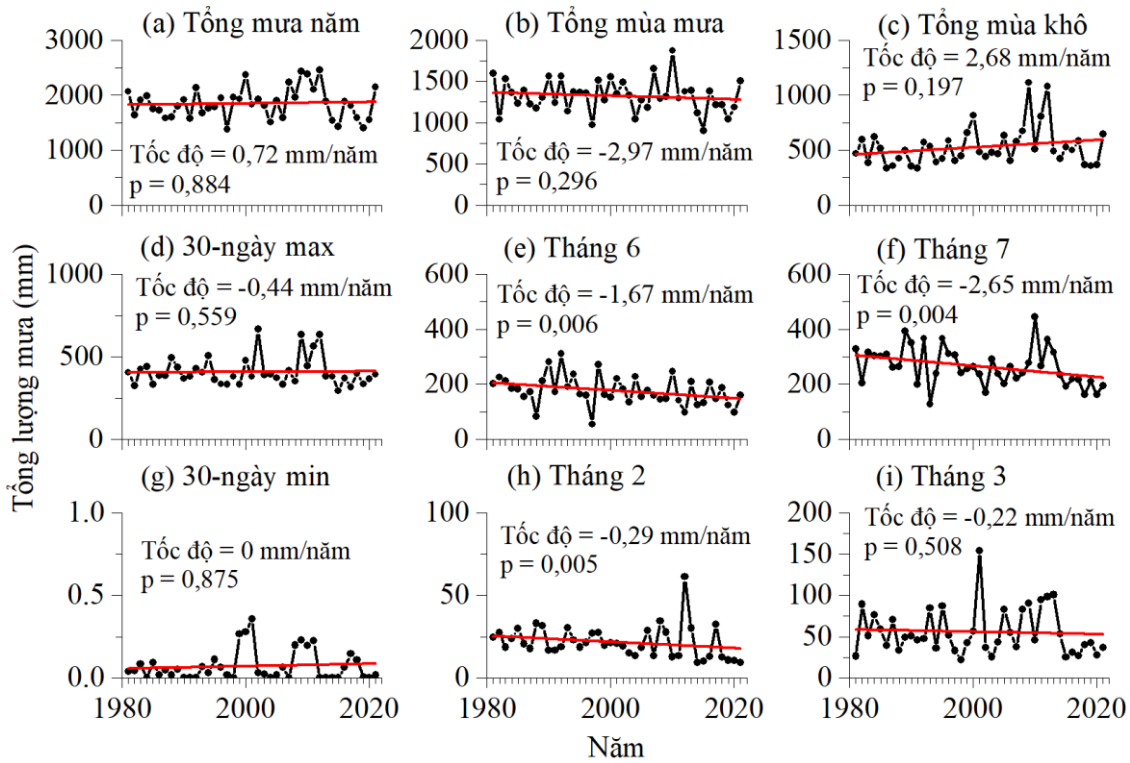
Hình 6. Xu thế thay đổi lưu lượng giai đoạn 1981-2021 tại trạm Đại Nga.

3.2. Thay đổi lượng mưa

Trong tiểu lưu vực Thanh Bình, tổng lượng mưa hàng năm tăng 0,72 mm/năm trong giai đoạn 1981-2021 ($p = 0,884$) (Hình 7, Bảng 2). Vào mùa mưa (tháng 6 - tháng 11), mưa có xu thế giảm (trừ tháng 11 với xu thế tăng). Trong đó, tháng 6, 7 giảm lần lượt là -1,67 mm/năm ($p=0,006$) và -2,65 mm/năm ($p = 0,004$). Tháng giảm nhiều nhất trong mùa mưa là tháng 7. Mưa 1-ngày max và 30-ngày max cũng có xu thế giảm, nhưng $p > 0,1$. Trong khi đó, tháng 11 có xu thế tăng, bởi 1,47 mm/năm ($p = 0,03$). Trong mùa khô, các tháng 1, 4, 5 và 12 là các tháng trong năm có lượng mưa tăng trong giai đoạn 1981-2021, nhưng chỉ có tháng 12 có $p < 0,1$ ($p = 0,076$). Trong khi đó, tháng 2 và tháng 3 đều có lượng mưa giảm, trong đó tháng 2 giảm bởi -0,29 mm/năm ($p = 0,005$). Mưa 1-ngày min và 30-ngày min không có xu hướng rõ ràng. Mùa mưa có lượng mưa trung bình giảm trong khi mùa khô có lượng mưa trung bình tăng, nhưng cả hai đều có $p > 0,1$.

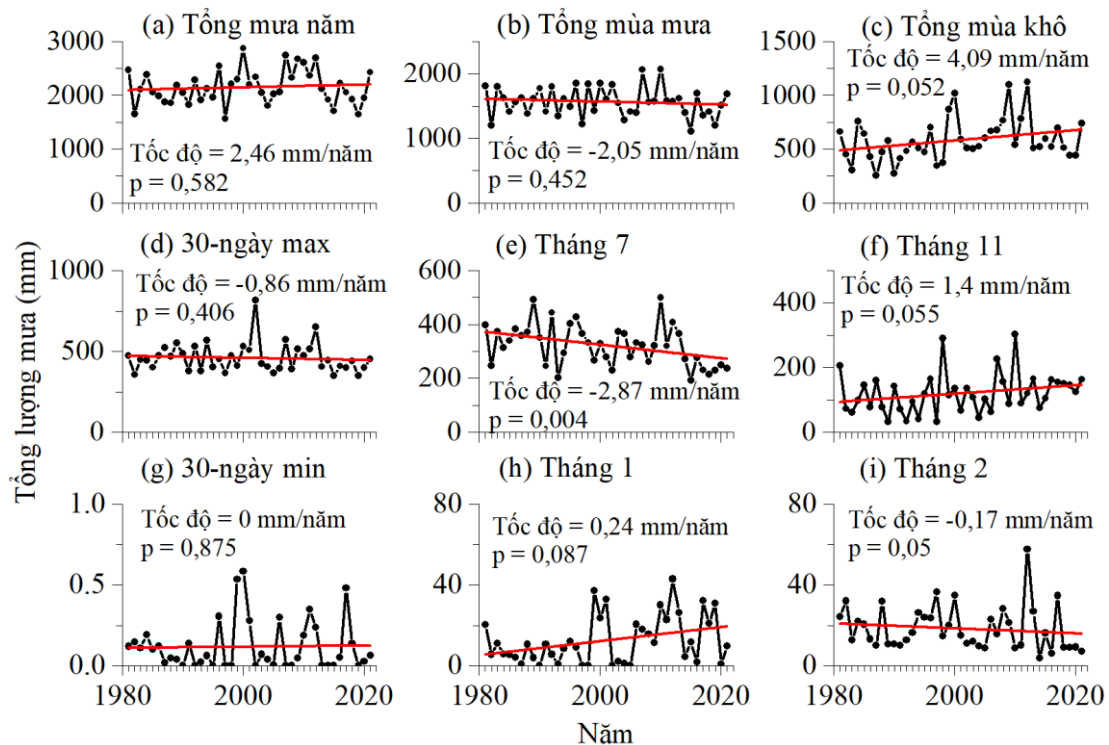
Trong tiểu lưu vực Đăk Nông, tổng lượng mưa trong năm có xu hướng tăng từ 1981 đến 2021, với $p = 0,582$ (Hình 8, Bảng 2). Trong mùa mưa, các tháng 6, 7, 10, 1-ngày max và 30-ngày max có xu thế giảm, nhưng chỉ có tháng 7 ($p = 0,004$) và 1-ngày max ($p = 0,008$) là có ý nghĩa thống kê. Tốc độ giảm lượng mưa trong tháng 7 là -2,87 mm/năm và 1-ngày max là -0,53 mm/năm. Các tháng 8, 9 và 11 có lượng mưa tăng, trong đó chỉ có tháng 11 là có $p < 0,1$ ($p = 0,055$). Mức độ tăng lượng mưa của tháng 11 là 1,4 mm/năm. Trong mùa khô, tháng 2, tháng 3 và 30-ngày min có xu thế lượng mưa giảm, với tháng 2 có $p < 0,1$ ($p = 0,05$) với tốc độ -0,17 mm/năm. Các tháng 1, 4, 5 và 12 có lượng mưa tăng, với tháng 1 và 12 có $p < 0,1$. Mức độ tăng của tháng 1 và 12 là 0,25 mm/năm ($p = 0,078$) và 0,46 mm/năm ($p = 0,062$). Lượng mưa trung bình mùa mưa giảm ($p = 0,452$) và mùa khô tăng ($p = 0,052$ với tốc độ 4,09 mm/năm).

Trong tiểu lưu vực Đại Nga, nhìn chung tính biến đổi của lượng mưa tại đây cũng giống như hai tiểu lưu vực Thanh Bình và Đăk Nông; biến đổi lượng mưa trong các tháng có sự khác nhau và không tuân theo một xu hướng nào (có tháng tăng, có tháng giảm) (Hình 9, Bảng 2). Tuy nhiên, những tháng (cả mùa mưa và mùa khô) mà có biến đổi mang ý nghĩa thống kê thì đều có lượng mưa giảm (trừ mưa trung bình mùa khô tăng).



Hình 7. Xu hướng thay đổi tổng lượng mưa trong giai đoạn 1981-2021 ở trạm Thanh Bình.

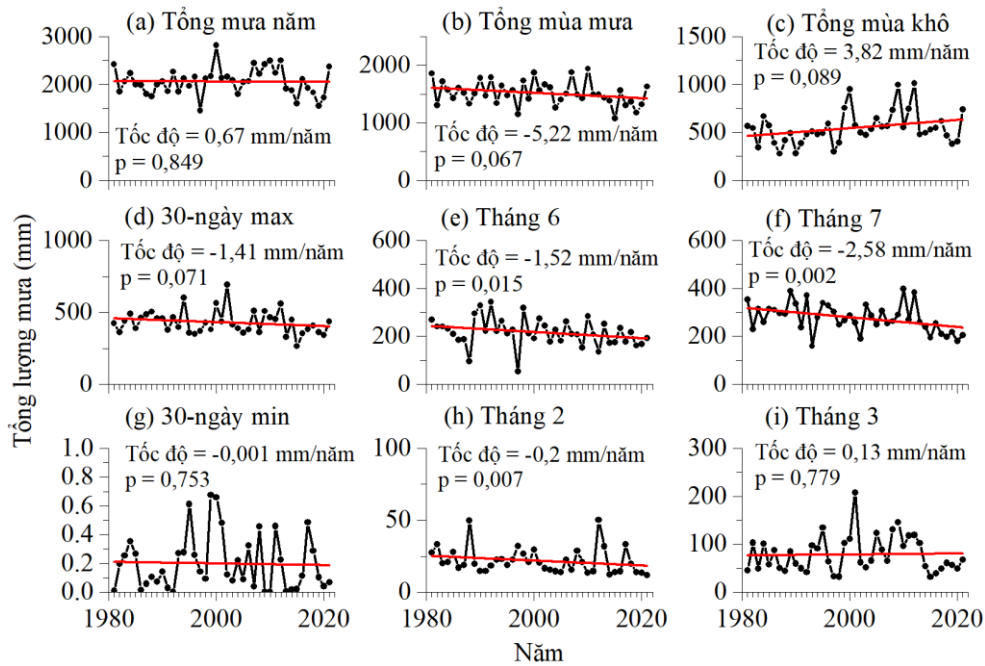
Tổng lượng mưa năm có xu hướng tăng, nhưng $p > 0,1$ ($p = 0,849$). Trong mùa mưa, tháng 6 giảm $-1,52$ mm/năm ($p = 0,015$), tháng 7 giảm $-2,58$ mm/năm ($p = 0,002$), 1-ngày max giảm $-0,54$ mm/năm ($p = 0,0006$) và 30-ngày max giảm $-1,41$ mm/năm ($p = 0,071$). Những tháng còn lại trong mùa mưa có lượng mưa giảm (trừ tháng 11 tăng), với $p > 0,1$. Mưa trong mùa khô có xu hướng tăng, trừ tháng 2 giảm $-0,20$ mm/năm ($p = 0,007$). Mùa mưa có lượng mưa trung bình giảm $-5,22$ mm/năm ($p = 0,067$) nhưng mùa khô có lượng mưa trung bình tăng $3,82$ mm/năm ($p = 0,089$).



Hình 8. Xu hướng thay đổi của lượng mưa từ 1981 đến 2021 ở trạm Đắk Nông.

Bảng 2. Kết quả phân tích xu hướng lượng mưa của tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga (1981-2021). Dấu “+” thể hiện xu thế tăng, dấu “-” thể hiện xu thế giảm.

Chỉ số	Thanh Bình			Đắk Nông			Đại Nga		
	Tốc độ (mm/năm)	P	Xu thế	Tốc độ (mm/năm)	P	Xu thế	Tốc độ (mm/năm)	P	Xu thế
Tháng 1	0,11	0,167	+	0,24	0,078	+	0,14	0,529	+
Tháng 2	-0,29	0,005	-	-0,17	0,05	-	-0,20	0,007	-
Tháng 3	-0,22	0,508	-	-0,17	0,645	-	0,13	0,779	+
Tháng 4	0,15	0,762	+	1,19	0,204	+	0,67	0,329	+
Tháng 5	1,06	0,329	+	1,41	0,167	+	1,36	0,174	+
Tháng 6	-1,67	0,006	-	-0,89	0,160	-	-1,52	0,015	-
Tháng 7	-2,65	0,004	-	-2,87	0,004	-	-2,58	0,002	-
Tháng 8	-0,16	0,919	-	0,32	0,779	+	-1,16	0,286	-
Tháng 9	-0,36	0,661	-	0,32	0,605	+	-0,43	0,567	-
Tháng 10	-0,82	0,582	-	-1,77	0,16	-	-2,19	0,204	-
Tháng 11	1,47	0,032	+	1,4	0,055	+	0,73	0,257	+
Tháng 12	0,44	0,076	+	0,46	0,062	+	0,60	0,160	+
Năm	0,72	0,884	+	2,46	0,582	+	0,67	0,849	+
1-ngày max	-0,20	0,351	-	-0,53	0,008	-	-0,54	0,0006	-
30-ngày max	-0,44	0,559	-	-0,86	0,406	-	-1,41	0,071	-
Mùa mưa	-2,97	0,296	-	-2,05	0,452	-	-5,22	0,067	-
1-ngày min	0	0	--	0	0	--	0	0	--
30-ngày min	0	0,875	--	-0,0003	0,483	-	-0,001	0,753	-
Mùa khô	2,68	0,197	+	4,09	0,052	+	3,82	0,089	+



Hình 9. Xu hướng thay đổi của lượng mưa từ 1981 đến 2021 ở trạm Đại Nga.

3.3. Thay đổi sử dụng đất

Đất rừng và đất nông nghiệp chiếm đa số trong các loại hình sử dụng đất trong ba tiểu lưu vực nghiên cứu. Tuy nhiên, tỷ trọng đất rừng và nông nghiệp trong từng tiểu lưu vực biến đổi mạnh từ 1990 đến 2020. Trong tiểu lưu vực Thanh Bình, trung bình đất rừng chiếm 57,2% trong giai đoạn 1990-2017, theo sau là đất nông nghiệp (trung bình 40,3%). Tuy nhiên, đất nông nghiệp chiếm 53,9% trong giai đoạn 2018-2020 so với 41,1% của đất rừng. Trong tiểu lưu vực Đắk Nông, đất rừng chiếm đa số trong giai đoạn 1990-2015 (trung bình 80,3%), kế tiếp là đất nông nghiệp (trung bình 19,6%). Tuy nhiên, trong đất nông nghiệp chiếm đa số trong giai đoạn 2016-2020 (trung bình 62,1%) so với 37,2% đất rừng. Trong tiểu lưu vực Đại Nga, quá trình chuyển đổi sang đất nông nghiệp từ đất rừng xảy ra sớm hơn, từ năm 1992.

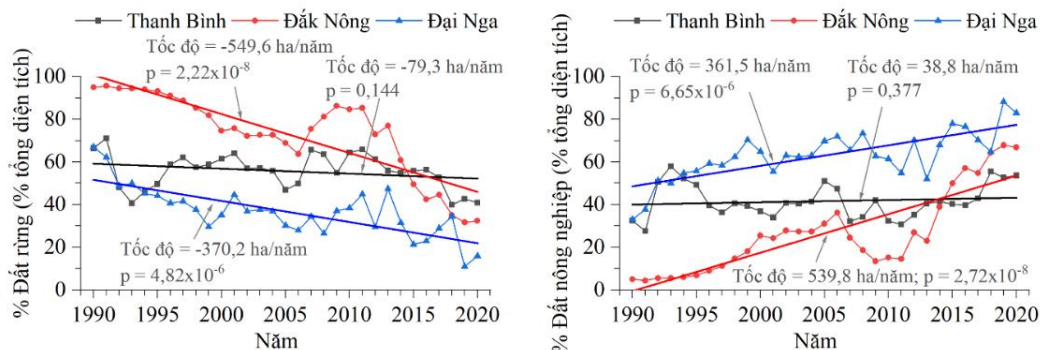
Nếu như đất rừng chiếm khoảng 64,6% trong giai đoạn 1990-1991 thì nó chỉ còn chiếm khoảng 34,8% trong giai đoạn 1992-2020. Ngược lại, đất nông nghiệp tăng từ 35,4% trong giai đoạn 1990-1991 lên 64,9% trong giai đoạn 1992-2020.

Phân tích thống kê cho thấy tiểu lưu vực Đắc Nông có tốc độ TĐSDĐ nhanh nhất so với hai tiểu lưu vực còn lại. Đắc Nông cũng là lưu vực mất đất rừng nhiều nhất, kèm theo sự mở rộng diện tích của khu vực xây dựng và nông nghiệp ở đây. Thanh Bình là lưu vực có diện tích rừng bị thu hẹp ít nhất và dữ liệu này cũng chưa mang ý nghĩa thống kê; tại lưu vực này chỉ có dữ liệu diện tích đất xây dựng được mở rộng là mang ý nghĩa thống kê.

TĐSDĐ trong tiểu lưu vực Thanh Bình nhìn chung nằm ở mức thấp so với những lưu vực còn lại. Trong giai đoạn 1990-2020, diện tích đất rừng ở Thanh Bình giảm -79,3 ha/năm ($p = 0,144$) (Hình 10). Đất rừng chủ yếu bị thay đổi thành đất nông nghiệp, mặt nước (chủ yếu là phát triển thủy điện) và đất ở. Diện tích đất của cả khu vực xây dựng và nông nghiệp tăng 79 ha/năm. Trong đó, đất xây dựng tăng 38,1 ha/năm ($p = 2,82 \times 10^{-12}$), đất nông nghiệp tăng 38,8 ha/năm ($p = 0,377$). Diện tích các vùng thủy vực tăng 0,83 ha/năm ($p = 0,022$).

Tiểu lưu vực Đắc Nông là khu vực có TĐSDĐ rõ rệt và mạnh mẽ nhất trong ba tiểu lưu vực nghiên cứu và là lưu vực có đất rừng/thảm thực vật bị giảm nhiều nhất. Có đến 549,6 ha/năm đất rừng bị thu hẹp ($p = 2,22 \times 10^{-8}$) trong giai đoạn 1990-2020 (Hình 10). Tương ứng, có 543 ha/năm diện tích đất cho khu xây dựng và nông nghiệp được mở rộng ($p = 2,46 \times 10^{-8}$). Trong đó, 539,8 ha/năm tăng dành cho khu vực nông nghiệp ($p = 2,72 \times 10^{-8}$) và 2,5 ha/năm tăng dành cho khu vực xây dựng ($p = 1,85 \times 10^{-9}$). Cùng với đó, diện tích của các vùng thủy vực cũng tăng 0,57 ha/năm ($p = 5,6 \times 10^{-8}$).

Đối với tiểu lưu vực Đại Nga, đất rừng cũng bị thu hẹp đáng kể, giảm đến 370,2 ha/năm ($p = 4,82 \times 10^{-6}$) (Hình 10). Cùng với đó, đất nông nghiệp tăng 361,5 ha/năm ($p = 6,65 \times 10^{-6}$) và 2,3 ha/năm đất xây dựng cũng được mở rộng ($p = 7,22 \times 10^{-8}$). Diện tích các vùng thủy vực tăng 6,25 ha/năm ($p = 7,64 \times 10^{-7}$).

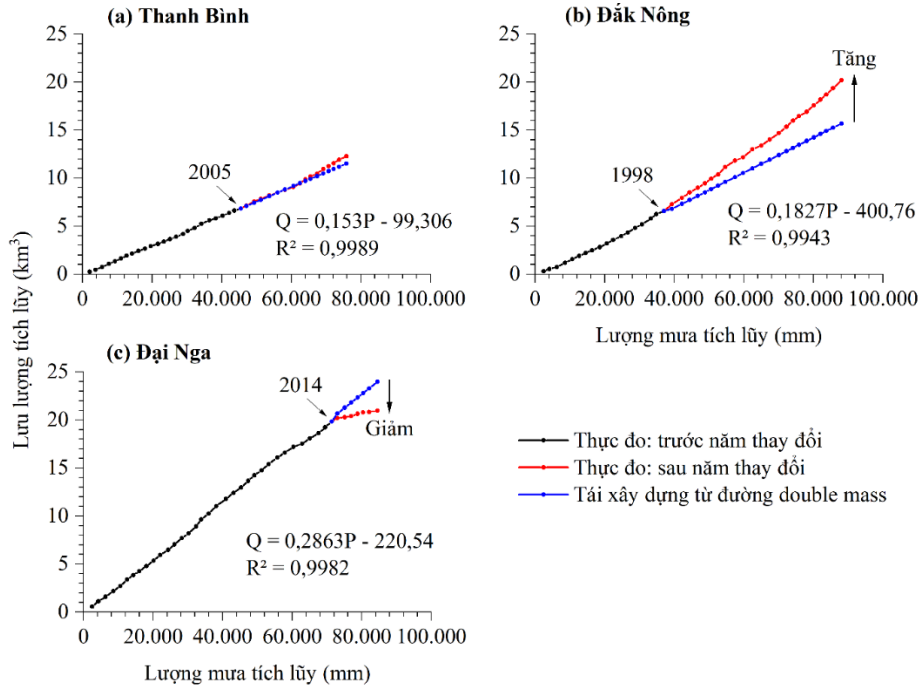


Hình 10. Thay đổi diện tích đất rừng và đất nông nghiệp trong ba tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắc Nông và Đại Nga từ 1990 đến 2020.

3.4. Định lượng ảnh hưởng của thay đổi sử dụng đất và đập chuyển nước đến thay đổi lưu lượng

Phân tích Pettitt cho thấy rằng lưu lượng trung bình năm trong giai đoạn 1981-2021 thay đổi xu thế vào năm 2005 tại trạm Thanh Bình ($p = 0,0048$), 1998 tại trạm Đắc Nông ($p = 1,15 \times 10^{-6}$) và 2014 tại trạm Đại Nga ($p = 0,061$) (Bảng 1). Do đó, đường hồi quy tuyến tính lần lượt được thiết lập cho giai đoạn 1981-2004, 1981-1997 và 1981-2013 tại trạm Thanh Bình, Đắc Nông và Đại Nga từ đường tích phân kép (double mass curve) giữa lượng mưa và lưu lượng năm tích lũy (Hình 11). Lưu lượng sau năm thay đổi tại từng trạm được tính toán tái xây dựng lại dựa vào phương trình tương quan từ lượng mưa tương ứng. Cuối cùng, sự khác nhau giữa lưu lượng thực đo (màu đỏ trong Hình 11) và lưu lượng tái xây dựng lại từ lượng mưa (màu xanh trong Hình 11) là sự đóng góp của con người, đa phần là từ TĐSDĐ trên tiểu lưu vực Thanh Bình và Đắc Nông và đập chuyển nước trên tiểu lưu vực Đại Nga.

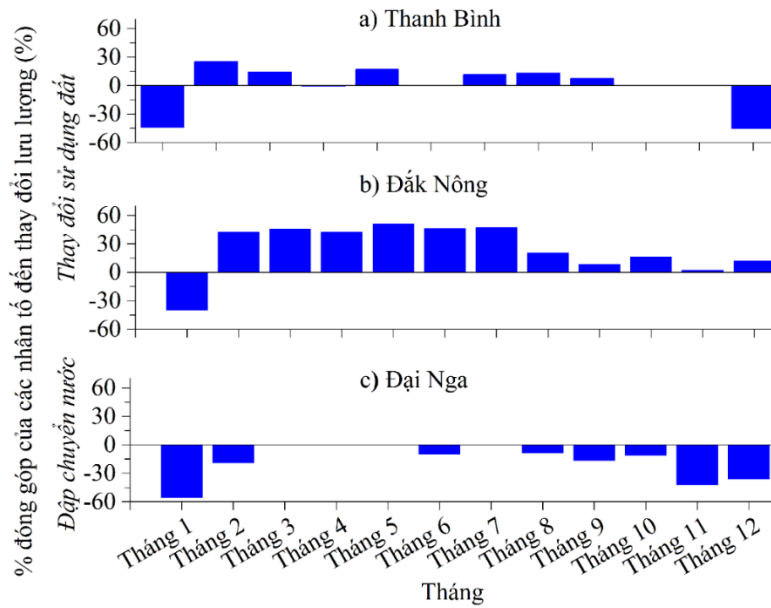
Tính toán định lượng cho kết quả TĐSDĐ đóng góp 6,2% lượng tăng lưu lượng năm tại trạm Thanh Bình và 22,3% lượng tăng lưu lượng năm tại trạm Đắc Nông vào năm 2021. Mặc dù TĐSDĐ trong tiểu lưu vực Đại Nga (đất rừng giảm nhưng đất nông nghiệp và đất ở tăng) về mặt nguyên lý có thể làm tăng lưu lượng tại trạm Đại Nga, nhưng lưu lượng trạm Đại Nga thực tế có xu thế giảm (Bảng 1). Chứng tỏ, các hồ chuyển nước từ tiểu lưu vực Đại Nga sang Bình Thuận và tiểu lưu vực Tà Pao là tác nhân chính làm giảm lưu lượng trong giai đoạn 1981-2021. Tổng hợp lại, đập chuyển nước (có thể có các yếu tố con người khác) đóng góp 14,2% lượng giảm lưu lượng năm tại trạm Đại Nga vào năm 2021.



Hình 11. Định lượng tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến thay đổi lưu lượng dòng chảy năm bằng phương pháp đường tích phân kép double mass curve và hồi quy tuyến tính. Các năm 2005, 1998 và 2014 trong các hình là các năm thay đổi xu thế lưu lượng từ phương pháp Pettitt. Q: lưu lượng, P: lượng mưa.

Bằng phương pháp tương tự, nghiên cứu đã tính toán tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến thay đổi lưu lượng theo tháng và mùa vào năm 2021 tại ba tiểu lưu vực nghiên cứu (Hình 12). Bài báo chỉ tính toán cho những tháng có giá trị $p < 0,1$ từ phương pháp Mann-Kendall. Trên tiểu lưu vực Thanh Bình, TĐSDĐ làm tăng lưu lượng của tháng 2-tháng 9 trong khoảng 7,3%-25,2% (ngoại trừ tháng 4 giảm 0,7%, mức giảm khá nhỏ). Bên cạnh đó, việc mở rộng đất nông nghiệp (tăng nhu cầu tưới trong mùa cạn) có thể là tác nhân chính đóng góp vào sự sụt giảm -44,1% và -45,8% lưu lượng tháng 1 và tháng 12 tại trạm Thanh Bình. Bình quân, TĐSDĐ làm giảm -5,7% lưu lượng trong mùa cạn và tăng 10,7% lưu lượng trong mùa lũ tại trạm Thanh Bình.

Trên tiểu lưu vực Đắc Nông, TĐSDĐ đóng góp 2,5%-50,9% lượng tăng lưu lượng của tháng 2-tháng 12 (Hình 12). Trong khi đó, việc tăng nhu cầu nước do đất nông nghiệp tăng có thể đã đóng góp 40,1% lượng giảm lưu lượng tháng 1. TĐSDĐ chiếm đa số trong sự gia tăng lưu lượng trong tháng 5 (50,9%), theo sau là tháng 7 (47,2%) và tháng 6 (46,2%). Trung bình, TĐSDĐ làm tăng 25,6% lưu lượng mùa cạn và tăng 23,6% lưu lượng mùa lũ tại trạm Đắc Nông. Trên tiểu lưu vực Đại Nga, đập chuyển nước là tác nhân chủ chốt trong sự sụt giảm lưu lượng của tất cả các tháng tính toán, dao động từ -8,9% (tháng 8) đến -55,7% (tháng 1) (Hình 12). Trung bình, đập chuyển nước đóng góp 37,1% lượng giảm lưu lượng mùa cạn và 17,7% lượng giảm lưu lượng mùa lũ tại trạm Đại Nga.



Hình 12. Định lượng tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến thay đổi lưu lượng theo tháng bằng đường tích phân kép double mass curve và hồi quy tuyến tính.

3.5. Thảo luận

Phân tích xu thế cho thấy sự thay đổi của mưa và lưu lượng không luôn luôn giống nhau ở tiểu lưu vực Thanh Bình và Đắk Nông. Nghĩa là, ngoài mưa thì TĐSDĐ là tác nhân quan trọng của việc tăng xu thế lưu lượng tại trạm Thanh Bình và Đắk Nông. Về nguyên lý, việc chuyển đổi đất rừng thành đất ở và đất nông nghiệp sẽ làm giảm hệ số thấm và tăng hệ số dòng chảy mặt. Vì vậy, thời gian tập trung dòng chảy mặt giảm xuống và lưu lượng dòng chảy mặt tăng lên. Hệ quả là, khi mưa xuất hiện trên lưu vực thì dòng chảy trong sông được hình thành sớm với lưu lượng cao. Tính toán định lượng cho thấy TĐSDĐ đóng góp 6,2% và 22,3% lượng tăng lưu lượng trung bình năm tại trạm Thanh Bình và Đắk Nông. Tuy nhiên, TĐSDĐ có đóng góp rất đáng kể đến thay đổi lưu lượng theo tháng, chẳng hạn đến 50,9% lượng tăng lưu lượng vào tháng 5 tại trạm Đắk Nông. Điều đó cho thấy, để hiểu tường tận hơn các tác động của con người thì các tính toán dòng chảy năm là chưa đủ do có sự bù trừ giữa mùa lũ và mùa cạn. Thay vào đó, các tính toán cần được thực hiện với dòng chảy tháng. Những kết quả này hàm ý rằng mặc dù mưa là nguồn gốc của dòng chảy trong sông nhưng TĐSDĐ mới là tác nhân chính tác động đến thay đổi xu hướng của dòng chảy trên tiểu lưu vực Thanh Bình và Đắk Nông trong giai đoạn 1990 đến 2020. Các nhận định này phù hợp với kết quả [15] khi nghiên cứu này cho rằng TĐSDĐ, thông qua đô thị hóa, là nguyên nhân chính của việc tăng mực nước trên sông Đồng Nai, mà Thanh Bình và Đắk Nông nằm ở đầu nguồn sông Đồng Nai.

Khác với lưu vực Thanh Bình và Đắk Nông, lưu lượng trong cả mùa lũ và mùa cạn ở Đại Nga giảm, đa số có ý nghĩa thống kê (Bảng 1). Nhưng xu thế lượng mưa không hoàn toàn giống với thay đổi lưu lượng: có tháng mưa tăng nhưng có tháng mưa giảm (Bảng 2). Đất rừng trong Đại Nga bị thay đổi sang đất nông nghiệp và khu vực xây dựng. Việc TĐSDĐ như vậy về nguyên lý có thể làm tăng lưu lượng dòng chảy do tăng hệ số chảy mặt và giảm hệ số thấm trên lưu vực. Tuy nhiên, lưu lượng thực tế có xu thế giảm. Nghĩa là, TĐSDĐ trên Đại Nga không thể là nguyên nhân của xu thế giảm lưu lượng trên lưu vực này. Thay vào đó, các hồ chuyển nước từ Đại Nga sang Bình Thuận và tiểu lưu vực Tà Pao là tác nhân chính của việc lưu lượng dòng chảy giảm. Tiếp theo, việc gia tăng sử dụng nước tưới do tăng diện tích đất canh tác có thể là nguyên nhân chính tiếp theo. Hiện tại, các tính toán trong bài báo này chưa phát hiện ảnh hưởng của BĐKH đến thay đổi dòng chảy trên tiểu lưu vực Đại Nga. Nghiên cứu dự đoán rằng các hoạt động nhân sinh (có thể một phần do BĐKH trong tương lai) có thể sẽ có tác động tiêu cực hơn đến lượng nước trong mùa khô trên tiểu

lưu vực Đại Nga, giống như khu vực Mê Kông [8] và Hoàng Hà ở Trung Quốc [28]. Điều này có thể sẽ làm tăng thêm gánh nặng cho người dân địa phương trong tương lai.

Tính toán định lượng cho thấy các hoạt động nhân sinh lần lượt đóng góp lên tới 44,1%, 40,1% và 55,7% lượng giảm lưu lượng tháng 1 tại trạm Thanh Bình, Đắc Nông và Đại Nga. Nguyên nhân có thể là do tăng nhu cầu dùng nước tưới do mở rộng đất nông nghiệp trên ba tiểu lưu vực, cùng với việc chuyển nước liên lưu vực ra khỏi Đại Nga. Việc giảm lưu lượng trong tháng mùa khô này làm tăng rủi ro khô hạn, từ đó có thể làm giảm năng suất và sản lượng cây trồng. Việc hạ thấp dòng chảy kiệt trong sông có thể làm hệ sinh thái ven sông bị ảnh hưởng tiêu cực.

Lưu lượng các tháng mùa lũ trong tiểu lưu vực Thanh Bình và Đắc Nông tăng đáng kể, có thể làm tăng rủi ro lũ lụt. Bên cạnh đó, chế độ thủy văn thay đổi có thể tác động đến lượng nước, độ ẩm đất và mức độ bổ cập nước ngầm, từ đó làm tăng nguy cơ và thiệt hại của hạn hán. Thay đổi hình thái mưa và xây dựng đập gây ra thay đổi chế độ dòng chảy sông ngòi [29]. Tuy nhiên, ảnh hưởng tương hỗ giữa BĐKH và các hoạt động nhân sinh đến chế độ dòng chảy rất phức tạp, không dễ để phân lập từng yếu tố [1]. Ví dụ, BĐKH được dự báo là tăng lũ trên Mê Kông [4] nhưng xây dựng đập lại giữ nước trong mùa lũ thông qua quá trình điều tiết hồ chứa [8]. Vì vậy, các nhà khoa học đã tăng cường nghiên cứu về ảnh hưởng kép của BĐKH và hoạt động nhân sinh đến thay đổi chế độ thủy văn, thủy lực trong sông. Những yếu tố này đặt ra nhiều khó khăn và sự không chắc chắn trong nghiên cứu, lập kế hoạch dùng nước và quản lý nguồn nước. Do đó, quản lý tổng hợp nguồn nước hay cao hơn là quản lý tổng hợp lưu vực sông thì rất cần thiết nhằm đảm bảo các kế hoạch phân phối tài nguyên nước một cách công bằng, khoa học và bền vững. Nó có thể bao gồm quản lý đập và hồ chứa, quản lý rủi ro thiên tai (lũ lụt và hạn hán), quản lý đô thị, quản lý nông nghiệp và quản lý đất đai. Trước mắt, giảm tỷ lệ thay đổi đất rừng qua đất nông nghiệp và đất ở là rất quan trọng nhằm giảm rủi ro lũ lụt và hạn hán.

Ngoài các kết quả khoa học đạt được, bài báo này vẫn còn một số hạn chế khách quan. Thứ nhất, các chuỗi dữ liệu mưa, lưu lượng và sử dụng đất có độ dài chưa đồng bộ, từ đó các phép so sánh chưa thật sự nhất quán. Tuy nhiên, các chuỗi dữ liệu đã được thu thập với độ tin cậy tốt, cập nhật, và đủ dài để tiến hành các phân tích xu thế. Thứ hai, mưa vệ tinh có sai số so với thực tế, từ đó ảnh hưởng đến các kết luận định lượng. Nhưng mưa vệ tinh vẫn có ý nghĩa khoa học cao và đã được dùng nhiều trên thế giới, đặc biệt là ở những nơi hiếm dữ liệu như Việt Nam và vùng nghiên cứu nói riêng. Ngoài ra, mưa vệ tinh cung cấp số liệu đầy đủ hơn về mặt không gian so với mưa trạm. Do đó, các kết quả tính toán có ý nghĩa khoa học, mang tính định hướng cao.

4. Kết luận

Bài báo đã phân tích, đánh giá tác động của của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến những thay đổi tương đối dài hạn về lưu lượng dòng chảy của ba tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắc Nông và Đại Nga trên thượng nguồn hệ thống sông SGĐN. Nghiên cứu thấy rằng thay đổi về lượng mưa không hoàn toàn giống với các biến đổi của lưu lượng. Thay vào đó, TĐSDĐ và đập chuyển nước là nguyên nhân chính của biến đổi dòng chảy trong vùng nghiên cứu. TĐSDĐ đóng góp 6,2% và 22,3% của lượng tăng lưu lượng dòng chảy năm nhưng đóng góp đến 25,2% và 50,9% lượng tăng lưu lượng tháng của trạm Thanh Bình và Đắc Nông. Ở tiểu lưu vực Đại Nga, các đập chuyển nước là tác nhân chủ yếu của việc giảm lưu lượng, đóng góp 14,2% đối với lưu lượng năm nhưng đến 55,7% đối với lưu lượng tháng. Do đó, để đánh giá tác động của các tác nhân đến chế độ dòng chảy thì các tính toán nên được thực hiện đối với dòng chảy tháng để đạt được các kết quả rõ ràng. Mặc dù mưa là nguồn gốc của chế độ dòng chảy sông, TĐSDĐ và đập chuyển nước là tác nhân chính của sự biến đổi lưu lượng trong giai đoạn 1981-2021 trên ba tiểu lưu vực nghiên cứu.

Nghiên cứu này dùng các công cụ thống kê tương đối đơn giản nhưng lại rất hiệu quả để phân lập tác động của các yếu tố đến sự biến đổi dòng chảy. Các công cụ và phương pháp

luận trong bài báo có thể dễ dàng được áp dụng cho các lưu vực sông khác của Việt Nam. Các công trình tiếp theo có thể dùng các mô hình số trị (chẳng hạn SWAT) để có thể đưa ra các kết quả chi tiết hơn, đặc biệt là có thể dự báo được mức độ tác động của BĐKH và các hoạt động nhân sinh đến chế độ dòng chảy trong tương lai cho ngắn, trung và dài hạn.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: D.V.B., H.N.N.Y.; Thu thập và phân tích số liệu: D.V.B.; Viết bản thảo bài báo: D.V.B., H.N.N.Y.; Chỉnh sửa bài báo: D.V.B.

Lời cảm ơn: Trường Đại học Việt Đức tài trợ nghiên cứu này trong đề tài cấp Cơ sở “Đánh giá tác động của đập đến dòng chảy, trầm tích và hình thái lưu vực sông Sài Gòn - Đồng Nai trong đề tài mã số DTCS2022-002”. KS. Lục Anh Tuấn đã hỗ trợ thu thập số liệu nghiên cứu.

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 nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

1. Chalise, D.R.; Sankarasubramanian, A.; Ruhi, A. Dams and climate interact to alter river flow regimes across the United States. *Earth's Future* **2021**, *9*, e2020EF001816. <https://doi.org/10.1029/2020EF001816>.
2. Nguyen, B.Q.; Kantoush, S.; Binh, D.V.; Saber, M.; Vo, D.N.; Sumi, T. Understanding the anthropogenic development impacts on long-term flow regimes in a tropical basin, Central Vietnam. *Hydrol. Sci. J.* **2023**, *37*, 3. <https://doi.org/10.1080/02626667.2022.2153298>.
3. Nguyen, T.T.H.; Li, M.H.; Vu, T.M.; Chen, P.Y. Multiple drought indices and their teleconnections with ENSO in various spatiotemporal scales over the Mekong River Basin. *Sci. Total Environ.* **2022**, *854*, 158589.
4. Try, S.; Tanaka, S.; Tanaka, K.; Sayama, T.; Lee, G.; Oeurng, C. Assessing the effects of climate change on flood inundation in the lower Mekong Basin using high-resolution AGCM outputs. *Prog. Earth Planet. Sci.* **2020**, *7*, 34. <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00353-z>.
5. De Girolamo, A.M.; Barca, E.; Leone, M.; Lo Porto, A. Impact of long-term climate change on flow regime in a Mediterranean basin. *J. Hydrol.: Reg. Stud.* **2022**, *41*, 101061. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101061>.
6. Wang, W.; Lu, H.; Leung, L.R.; Li, H.-Y.; Zhao, J.; Tian, F.; Yang, K.; Sothea, K. Dam construction in Lancang-Mekong River Basin could mitigate future flood risk from warming-induced intensified rainfall. *Geophys. Res. Lett.* **2017**, *44*, 10378–10386.
7. Rasanen, T.A.; Someth, P.; Lauri, H.; Koponen, J.; Sarkkula, J.; Kummu, M. Observed river discharge changes due to hydropower operations in the upper Mekong Basin. *J. Hydrol.* **2017**, *545*, 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.023>.
8. 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.
9. Karamouz, M.; Ahmadvand, F.; Zahmatkesh, Z. Distributed Hydrologic Modeling of Coastal Flood Inundation and Damage: nonstationary Approach. *J. Irrig. Drain. Eng.* **2017**, *143*, 04017019. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001173](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001173).
10. 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.
11. Li, D.; Long, D.; Zhao, J.; Lu, H.; Hong, Y. Observed changes in flow regimes in the Mekong River basin. *J. Hydrol.* **2017**, *551*, 217–232.

12. Ziv, G.; Baran, E.; Nam, S.; Rodríguez-Iturbe, I.; Levin, S.A. Trading-off fish biodiversity, food security, and hydropower in the Mekong River Basin. *PNAS* **2012**, *109*(15), 5609–5614.
13. Anh, L.N.; Tran, D.D.; Thong, N.; Van, C.T.; Vinh, D.H.; Au, N.H.; Park, E. Drastic variations in estuarine morphodynamics in Southern Vietnam: Investigating riverbed sand mining impact through hydrodynamic modelling and field controls. *J. Hydrol.* **2022**, *608*, 127572.
14. Binh, L.T.H.; Umamahesh, N.V.; Rathnam, E.V. High-resolution flood hazard mapping based on nonstationary frequency analysis: case study of Ho Chi Minh City, Vietnam. *Hydrol. Sci. J.* **2019**, *64*(3), 318–335.
15. Giang, N.N.H.; Quang, C.N.X.; Long, D.T.; Ky, P.D.; Vu, N.D.; Tran, D.D. Statistical and hydrological evaluation of water dynamics in the lower Sai Gon-Dong Nai River, Vietnam. *Water* **2022**, *14*, 130.
16. Hung, P.; Phu, V.L.; Trung, L.V.; Olivier, P.A. Water balance changes in the upper part of Dong Nai river basin. *J. Vietnamese Environ.* **2019**, *11*(2), 74–82.
17. Truong, N.C.Q.; Nguyen, H.Q.; Kondoh, A. Land use and land cover changes and their effect on the flow regime in the upstream Dong Nai River basin, Vietnam. *Water* **2018**, *10*, 1206.
18. Khoi, D.N.; Loi, P.T.; Sam, T.T. Impact of future land-use/cover change on streamflow and sediment load in the Be River basin, Vietnam. *Water* **2021**, *13*, 1244.
19. Phuong, D.N.D.; Linh, V.T.; Nhat, T.T.; Dung, H.M.; Loi, N.K. Spatiotemporal variability of annual and seasonal rainfall time series in Ho Chi Minh city, Vietnam. *J. Water Clim. Change* **2019**, *10*(3), 658–670.
20. Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Verdin, J.; Shukla, S.; Husak, G.; Rowland, J.; Harrison, L.; Hoell, A.; Michaelsen, J. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci. Data* **2015**, *2*, 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
21. Shen, Z.; Yong, B.; Gourley, J.J.; Qi, W.; Lu, D.; Liu, J.; Ren, L.; Hong Y.; Zhang, J. Recent global performance of the Climate Hazards group Infrared Precipitation (CHIRP) with Stations (CHIRPS). *J. Hydrol.* **2020**, *591*, 125284.
22. Le, M.H.; Lakshmi, V.; Bolten, J.; Bui, D. Adequacy of satellite-derived precipitation estimate for hydrological modeling in Vietnam basins. *J. Hydrol.* **2020**, *586*, 124820.
23. Phan, D.C.; Trung, T.H.; Truong, V.T.; Sasagawa, T.; Vu, T.P.T.; Bui, D.T.; Hayashi, M.; Tadono, T.; Nasahara, K.N. First comprehensive quantification of annual land use/cover from 1990 to 2020 across mainland Vietnam. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 9979.
24. Kendall, A.M.G. A new measure of rank correlation. *Oxford University Press* **1938**, *30*, 81–93.
25. Mann, H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* **1945**, *13*, 245–259.
26. Pettitt, A.N. A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Stat.* **1979**, *28*(2), 126–135.
27. Sen, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *J. Am. Stat. Assoc.* **1968**, *63*, 1379–1389.
28. Cui, T.; Tian, F.; Yang, T.; Wen, J.; Khan, M.Y.A. Development of a comprehensive framework for assessing the impacts of climate change and dam construction on flow regimes. *J. Hydrol.* **2020**, *590*, 125358.
29. Ahmed, Y.; Al-Faraj, F.; Scholz, M.; Soliman, A. Assessment of upstream human intervention coupled with climate change impact for a transboundary river flow regime: Nile River Basin. *Water Resour. Manage.* **2019**, *33*, 2485–2500.

Assessing the effects of land use changes and diversion dams on river flow in the Thanh Binh, Dak Nong, and Dai Nga basins

Doan Van Binh^{1*}, Ho Ngoc Nhu Y¹

¹ Master program in Water Technology, Reuse and Management, Faculty of Engineering, Vietnamese-German University; binh.dv@vgu.edu.vn; hongocnhuy0401@gmail.com

Abstract: This study assesses the effects of land use changes and diversion dams on the long-term flow alterations in three subbasins, namely Thanh Binh, Dak Nong, and Dai Nga, located upstream of the Sai Gon - Dong Nai (SGDN) River basin during 1981-2021 using statistical approaches. We found that the mean annual, flood-season, and dry-season discharges at Thanh Binh and Dak Nong hydrological stations have increased from 1981 to 2021, predominantly with statistical significance. On the contrary, the respective discharges at the Dai Nga hydrological station have decreased, largely with statistical significance. Meanwhile, the variations in the long-term rainfall (1981-2021) did not align perfectly with the alterations in the long-term discharges observed in the three studied subbasins. The findings suggest that land use changes, rather than climate change, were the main driver of the discharge increases in the Thanh Binh (up to 25.2% in February) and Dak Nong (up to 50.9% in May) subbasins, while diversion dams drove the discharge decreases in the Dai Nga subbasin (up to 55.7% in January). Quantitative analyses of human impacts on the mean annual discharge usually provided relatively low values (contributing 6.2% at Thanh Binh) because of the compensation between the flood and dry season. However, the analyses on the monthly discharge provided more obvious results (contributing from a 45.8% reduction to a 25.2% increase at Thanh Binh). Therefore, quantitative analyses should be conducted on the monthly discharge. Although rainfall still controlled river flow regimes, land use changes and diversion dams were the main driving factors of the significant discharge alterations in the studied areas over the period 1981-2021. Therefore, planning and implementing the river basin's integrated water resources management are necessary to facilitate sustainable development. In this regard, it is crucial to control deforestation strictly, and afforestation should be given higher priority.

Keywords: Land use changes; Dam; Sai Gon - Dong Nai; Discharge; Flow alterations.

Bài báo khoa học

Xây dựng công cụ phân tích biến động hình thái vùng cửa sông sử dụng ảnh Landsat: Áp dụng thí điểm Cửa Đại trên sông Trà Khúc

Lê Thiên Bảo¹, Trần Văn Bắc¹, Nguyễn Trọng Nhân^{1*}

¹ Đại Học Tài Nguyên và Môi Trường Thành Phố Hồ Chí Minh; ltbao@hcmunre.edu.vn; tvbac@hcmunre.edu.vn; ntnhan@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ntnhan@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-353164470

Ban biên tập nhận bài: 26/6/2024; Ngày phản biện xong: 5/8/2024; Ngày đăng bài: 25/1/2025

Tóm tắt: Dưới tác động của biến đổi khí hậu trong những năm qua đã làm biến đổi hình thái cửa sông như sự dịch chuyển vị trí cửa sông bởi quá trình sạt lở và bồi tụ, điển hình tại Cửa Đại sông Trà Khúc tỉnh Quảng Ngãi. Để theo dõi diễn biến đó, nghiên cứu thực hiện xây dựng công cụ có khả năng phân tách mặt nước và xác định vùng sạt lở, bồi tụ tại cửa sông bằng chuỗi ảnh Landsat từ những năm 1988 đến năm 2024 với sự hỗ trợ của ngôn ngữ lập trình Python và phần mềm ArcGIS Pro. Kết quả thực nghiệm cho thấy công cụ được xây dựng giúp xử lý tự động và nhanh chóng trong công tác xử lý, phân tích chiết tách mặt nước và đánh giá biến động (sạt lở, bồi tụ) hình thái cửa sông. Điển hình áp dụng tại Cửa Đại sông Trà Khúc cho thấy hình thái cửa sông thay đổi phức tạp bị thu hẹp dần trong giai đoạn 2001-2010 và đỉnh điểm vào năm 2005 với độ rộng còn 112,6 m do sự dịch chuyển cửa sông bởi quá trình bồi tụ hai bên bờ. Nhưng bắt đầu thời điểm 2016 cửa sông có dấu hiệu mở rộng và tiếp diễn qua các thời điểm còn lại với cửa sông rộng nhất vào thời điểm 2024 đạt 976,7 m do xuất hiện quá trình sạt lở bờ công tác nạo vét luồng trên sông và tác động của dòng chảy vào mùa lũ. Bên cạnh đó, hình thái cửa sông còn được thể hiện qua sự biến đổi mặt cắt tại bờ trong và bờ ngoài Cửa Đại với giá trị biến động dương có nghĩa cửa sông được bồi tụ và ngược lại giá trị biến động âm là bờ bị sạt lở. Qua đó cho thấy công cụ được xây dựng khá hiệu quả trong công tác theo dõi hình thái cửa sông và làm tiền đề để giám sát nhanh chóng, liên lục diễn biến sạt lở, bồi tụ tại các khu vực ven biển bằng tư liệu ảnh viễn thám.

Từ khóa: ArcGIS Pro; Công cụ; Diễn biến; Hình thái; Landsat.

1. Đặt vấn đề

Diễn biến hình thái vùng cửa sông là một hiện tượng tự nhiên xảy ra khá phức tạp có sự biến đổi về cấu trúc, hình dạng, kích thước, vị trí, độ cao địa hình và động lực tại vùng tiếp giáp môi trường sông và biển dưới tác động của các yếu tố tự nhiên cũng như tác động của con người [1]. Về khía cạnh địa mạo của môi trường ven biển thường bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi mặt nước biển, quá trình trầm tích, sự tiến triển của kiến tạo địa hình, cường độ dòng chảy, lưu lượng sông, thủy triều và cường độ sóng [2]. Sự biến đổi hình thái vùng cửa sông liên quan đến sự chuyển động kiến tạo của các dạng địa hình có gây ra tác động theo chiều hướng tiêu cực lẫn tích cực đến môi trường sinh thái và phát triển kinh tế địa phương, cụ thể quá trình xói lở làm giảm diện tích đất tự nhiên, sự bồi lắng hình thành các cù lao, dòi cát, bãi bồi dọc theo ven sông, ven biển hay sự dịch chuyển vị trí của cửa sông theo từng chu kỳ khác nhau [1, 2]. Chính vì vậy, để kịp thời đưa ra cảnh báo ngăn chặn hiện tượng thay đổi

hình thái tại cửa sông, cần có biện pháp giám sát thường xuyên quá trình sạt lở và bồi tụ. Vấn đề này được xem là một trong những mối quan tâm cấp bách trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

Đã có nhiều nhà khoa học ngoài nước tiếp cận nghiên cứu diễn biến hình thái vùng cửa sông bằng nhiều cách khác nhau [3–6] như đánh giá sự khác biệt bề mặt địa hình thông qua đường đồng mức của mô hình số độ cao DEM (*Digital Elevation Model*) được áp dụng để theo dõi sự thay đổi hình thái các đoạn sông tại cửa sông Min nằm ở phía Đông Nam, Trung Quốc [3]. Mô hình số độ cao DEM còn được sử dụng để xác định đối với đường bờ biển ngoài khơi kết hợp với mô hình suy luận biệt số hình thái học (*PMD-Profile Morphology Discriminant Inferential*) để xác định đối với đường bờ biển thẳng nhằm ước tính độ dốc trung bình của địa hình bãi bờ ven biển đã đem lại độ tin cậy khá cao trong việc phân tầng các đường bờ biển khi theo dõi hình thái cửa sông Sheyang, Liangduo, cảng Lianxing tại tỉnh Giang Tô, Trung Quốc [4]. Bên cạnh đó, phương pháp phân tích dữ liệu, số liệu quan trắc tự động hoặc bán tự động các yếu tố liên quan ảnh hưởng đến biến đổi hình thái vùng cửa sông như thông qua khảo sát dữ liệu độ sâu, nồng độ trầm tích lơ lửng (*SSC-Suspended Sediment Concentrations*), mực nước, lưu lượng nước, dòng triều nhằm phân tích hình thái và động lực học của SSC tại cửa sông Mocajuba bờ biển Amazon, Brazil [2]. Mặc dù phản ánh khá chính xác diễn biến hình thái cửa sông ven biển bằng bề mặt địa hình tự nhiên, các yếu tố liên quan khác nhưng việc thu thập dữ liệu thực địa trên diện rộng tốn nhiều chi phí và không hiệu quả đối với khu vực thường xuyên bị biến động do tác động của biến đổi khí hậu hay tác động của con người. Ngoài ra, hình thái ven biển được giám sát liên tục thông qua chuỗi ảnh vệ tinh kết hợp GIS hỗ trợ xác định hiện tượng xói mòn và bồi tụ tại cửa biển nói chung và đường bờ ven biển nói riêng. Điển hình tại cửa sông Meghna của đảo Bhola, Bangladesh đã phân ngưỡng tách mặt nước hiệu quả trên chuỗi ảnh vệ tinh khi sử dụng chỉ số MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*), đồng thời hình thái ven biển được phân tích đánh giá theo 2 cách phổ biến như sau: một là dựa vào sự thay đổi đường bờ thông qua chiều dài, diện tích bờ biển và hai là sự thay đổi của các loại đường bờ biển như xói mòn và bồi tụ [5]. Sự tiến triển hình thái của cửa sông Swarna của bờ biển phía Bắc, India được phân tích bằng tích hợp kết quả khảo sát thực địa dữ liệu địa hình, ảnh vệ tinh và mô hình thủy động lực được xây dựng thông qua mô hình hoá và mô hình dòng chảy giúp phát hiện thay đổi hình thái [6]. Để đánh giá động lực học đường bờ sông, ven biển có thể sử dụng hệ thống phân tích đường bờ kỹ thuật số (*DSAS-Digital Shoreline Analysis System*) nhằm mô tả chuyển động đường bờ biển với các mức độ xói mòn và bồi tụ khác nhau và tính được tốc độ thay đổi đường bờ thông qua các phương pháp thống kê như điểm đầu - cuối (*EPR-End-Point Rate*), tốc độ trung bình (*AOR - Average Of Rate*), hồi quy tuyến tính (*LR - Linear Regression*), trọng số hồi quy tuyến tính (*WLR-Weighted Linear Regression*), chuyển động rờng của đường bờ biển (*NSM - Net Shoreline Movement*), thay đổi đường bao của đường bờ biển (*SCE-Shoreline Change Envelope*),... [7, 8]. Nghiên cứu tại đường bờ sông Orashi, Nigeria đã khảo sát các phương pháp thống kê trên cho thấy phương pháp trọng số hồi quy tuyến tính WLR và NSM giúp phản ánh tốt xu hướng xói mòn và nhấn mạnh những chuyển dịch kiến tạo [7]. Nghiên cứu khác sử dụng NSM và SCE khá hiệu quả khi thể hiện rõ sự mở rộng của bờ biển và xói mòn tại vùng biển Kelantan, Malaysia [8]. Tuy nhiên việc lựa chọn phương pháp thống kê thích hợp còn gặp khó khăn và phụ thuộc nhiều vào chất lượng và số lượng đường bờ.

Ở Việt Nam, hình thái các con sông từ Bắc vào Nam thường xuyên bị thay đổi dưới tác động của biến đổi khí hậu [9]. Điển hình, sự biến đổi lớn tại cửa sông Cửa Đại về đặc điểm hình thái do sự dịch chuyển vị trí cửa sông theo chu kỳ từ những năm 1973 đến 2016 [10, 11]. Tuy nhiên, trong bối cảnh biến đổi khí hậu xảy ra hiện tượng mực nước biển dâng cao hay bão lũ xuất hiện với cường độ mạnh hơn và kéo dài vào mùa mưa qua các năm 2017, 2020, 2023 [12] đã tác động trực tiếp đến lưu lượng nước cũng như tốc độ dòng chảy [13] đổ ra biển và gián tiếp tác động đến hình thái sông gây ra vấn đề nghiêm trọng đến đời sống của người dân, giao thông đường thủy và tài nguyên nguồn nước. Để phân tích hình thái cửa sông

này, nghiên cứu [10] đã xây dựng mặt cắt ngang và dọc dựa vào dữ liệu địa hình với các đường đồng mức cho thấy hình dạng tại Cửa Đại có sự thay đổi rõ nét do tác động của dòng chảy trước và sau khi lũ xảy ra vào năm 2005. Mặc dù, dữ liệu đo đạc địa hình qua các thời điểm khác nhau giúp ích trong việc tính toán sự chênh lệch về địa hình thông qua mô hình DEM cũng hỗ trợ đánh giá diễn biến bồi tụ và xói lở vùng cửa sông Đà Nông [14] nhưng không khả thi trong công tác thu thập dữ liệu độ cao vì tốn nhiều thời gian và không phù hợp với khu vực thường biến động theo mùa. Thông qua hình ảnh sông Trà Khúc trên ảnh vệ tinh Landsat để xác định sự dịch chuyển Cửa Đại và Cửa Lở chưa đảm bảo độ chính xác về mặt không gian nhưng nghiên cứu [11] đã xây dựng được mặt cắt ngang thể hiện vị trí đường bờ cho thấy bờ phía Bắc, Cửa Đại bị xói mòn và bồi đắp xen nhau từ năm 1973 đến 2016 [11]. Bên cạnh đó, hệ thống phân tích đường bờ kỹ thuật số DSAS cũng được sử dụng khá hiệu quả trong tính toán tốc độ thay đổi đường bờ nhưng cần khảo sát nhiều phương pháp thống kê để đưa ra phương pháp tối ưu nhất [15]. Tuy nhiên, để phân tích hình thái sông đem lại kết quả tốt, cần đảm bảo độ tin cậy trong quá trình chiết tách mặt nước trên ảnh vệ tinh. Có nhiều phương pháp tách nước như sử dụng chỉ số NDWI (*Normalized Difference Water Index*) trên ảnh Landsat để phân tích diễn biến tình hình sạt lở ven bờ sông Tiên và sông Hậu tỉnh An Giang, Đồng Tháp giai đoạn 1989-2017 [16]. Một số nghiên cứu [17–19] sử dụng ảnh tỷ số Green/SWIR hoặc Green/NIR khá hiệu quả trong tách mặt nước trên ảnh quang học khi giá trị của ảnh tỷ số lớn hơn 1. Đối với ảnh radar sử dụng phương pháp OTSU có khả năng phân ngưỡng tự động chiết tách mặt nước nhưng vẫn còn tồn tại hạn chế với hiện tượng muối tiêu [20, 21], mặt khác phân tích biến động bằng phương pháp chồng lớp bề mặt nước tại hai thời điểm thông qua sự thay đổi về vị trí, hình dạng, diện tích nhằm xác định sự xuất hiện của quá trình xói lở và bồi tụ tại khu vực nghiên cứu [20, 21].

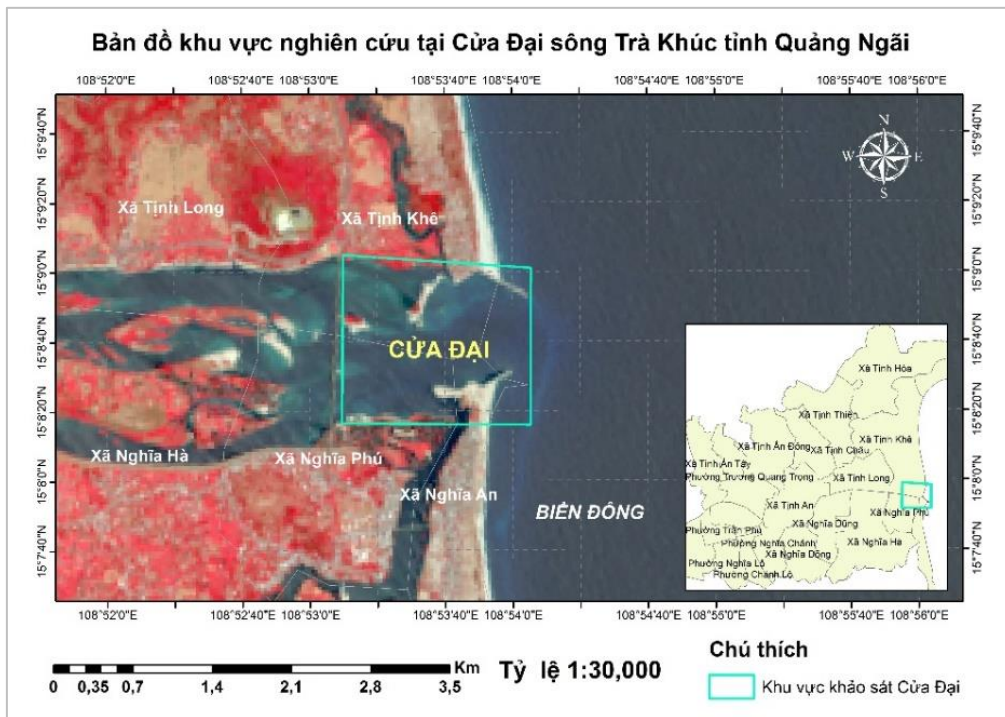
Căn cứ vào các cơ sở phân tích trên, các phương pháp được sử dụng khá hiệu quả nhưng thực hiện chưa nhanh chóng với nhiều bước phân tích đánh giá, do đó để giám sát nhanh chóng diễn biến hình thái cửa sông, nghiên cứu này đề xuất xây dựng công cụ tự động có khả năng phân tích biến động sự thay đổi hình thái cửa sông trên chuỗi ảnh vệ tinh bằng ứng dụng GIS. Công cụ của nghiên cứu đề xuất được xem là tính mới giúp tự động quy trình thực hiện, rút ngắn thời gian xử lý, chiết tách mặt nước và phân tích biến động theo dõi hình thái cửa sông. Tuy nhiên, còn hạn chế về mặt phương pháp, nghiên cứu đã kế thừa phương pháp ảnh tỷ số Green/SWIR với giá trị ngưỡng mặt nước lớn hơn 1 là một kỹ thuật phân ngưỡng đơn giản nhưng hiệu quả khi tách mặt nước với đất liền trên ảnh vệ tinh [17–19], đồng thời phân tích chồng lớp tại 2 thời điểm để xác định biến động sạt lở hay bồi tụ ở cửa sông. Vì thế, nghiên cứu tiến hành thực nghiệm tại cửa sông Cửa Đại của sông Trà Khúc qua 9 thời điểm từ những năm 1988 đến 2024. Mặt khác, để đảm bảo tính xuyên suốt về mặt thời gian giám sát trong năm quá khứ với những năm gần đây và đảm bảo tính đồng nhất về độ phân giải không gian, chính vì vậy, nghiên cứu sử dụng chuỗi ảnh quang học Landsat có độ phân giải 30 m thay vì ảnh Sentinel 2 độ phân giải cao hơn. Bên cạnh mục tiêu cụ thể xây dựng công cụ tự động trên phần mềm ArcGIS Pro bằng ngôn ngữ lập trình Python, nghiên cứu còn xây dựng biểu đồ biến đổi một số mặt cắt đánh giá diễn biến hình thái biến động cửa sông để có cái nhìn bao quát về sự thay đổi hình thái cửa sông Cửa Đại, sông Trà Khúc tỉnh Quảng Ngãi giai đoạn 1988-2024.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Sông Trà Khúc là một trong những con sông lớn của khu vực miền Trung, được bắt nguồn từ vùng núi cao thuộc dãy Trường Sơn Nam của tỉnh Kon Tum, chảy theo hướng Tây Nam - Đông Bắc, khi đến Tịnh Giang chuyển hướng sang Tây Bắc - Đông Nam, cuối cùng chảy qua tỉnh Quảng Ngãi và đổ ra biển Đông thông qua cửa sông Cửa Đại [10, 11]. Vị trí địa lý của sông nằm tại toạ độ 14°30'-15°20' vĩ độ Bắc và 180°07'-109°00' kinh độ Bắc (Hình

1), sông có chiều dài 135 km với diện tích lưu vực là 3.240km² được hình thành bởi hợp lưu của 3 sông lớn gồm sông Rhe, sông Đăk SeeLô và sông Đăk Đrinh [12]. Lưu vực sông Trà Khúc có địa hình phức tạp thấp dần từ Tây sang Đông do địa hình đồi núi dốc và xen kẽ địa hình đồng bằng đã phân nào chi phối dòng chảy và lưu lượng nước tác động đến hình thái của sông như tạo ra dòng chảy xiết mang một lượng bùn cát chảy về khu vực hạ lưu vào mùa mưa gây lũ lụt kéo dài trên diện rộng với 3-5 m [13]. Trong những năm qua có 3 trận lũ lớn nhất vào năm 2013, 2017, 2020 đã gây thiệt hại nặng nề cho vùng hạ du ảnh hưởng đến sản xuất nhưng vào mùa khô lại gây hạn hán, cản trở lưu thông đường thủy bởi dòng chảy cạn kiệt [13] với lưu lượng trung bình nhỏ hơn 100 m³/s góp phần hình thành các dòi cát do quá trình bồi lắng xảy ra trên sông thuận lợi cho việc mở rộng diện tích đất tự nhiên cho địa phương phát triển xây dựng công trình. Tuy nhiên, các dòi cát ở cửa biển được mở rộng và kéo dài dọc đường bờ theo hướng của dòng triều mang theo một lượng bùn cát vận chuyển đưa vào cửa sông, do đó cửa sông Cửa Đại ngày càng thị thu hẹp và nông dần vào những năm 2005 [10]. Nhưng cửa sông có dấu hiệu được mở rộng thông qua ảnh vệ tinh Landsat thời điểm 2015 [11]. Qua đó cho thấy hình thái cửa sông Cửa Đại trên sông Trà Khúc diễn ra bất thường, chính vì vậy cần theo dõi thường xuyên sự thay đổi bề mặt nước của sông để kịp thời đưa ra cảnh báo phòng chống sạt lở trong bối cảnh biến đổi khí hậu hiện nay.



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu thực hiện

Để theo dõi biến động hình thái cửa sông Cửa Đại tại hạ lưu sông Trà Khúc một cách bao quát theo chuyển biến của thời gian và không gian, đồng thời dưới tác động của biến đổi khí hậu, bão lũ liên miên kéo dài trong những năm 1999, 2009, 2010, 2011, 2013, 2020, 2023 [10, 13] đã để lại ảnh hưởng tiêu cực đến hình thái sông. Do đó, nghiên cứu đã sử dụng chuỗi ảnh vệ tinh Landsat 5,8,9 (trừ Landsat 7 do ảnh bị sọc và mất dòng không đảm bảo độ chính xác trong quá trình phân loại ảnh) với 9 thời điểm từ những năm 1988 đến năm 2024 (Bảng 1) có mức xử lý level 2 chứa hệ số phản xạ bề mặt đã được hiệu chỉnh khí quyển giúp tăng độ tương phản cho ảnh. Thời điểm ảnh được thu thập vào mùa khô lúc thủy triều lên nhằm đảm bảo tính ổn định của đường bờ sông theo mép nước cực đại của bề mặt nước [20]. Mặt khác, dòng triều lên dựa vào sắc màu tối đen của mặt nước so với các đối tượng khác được thể hiện rõ nét qua các kênh trong dải hồng ngoại do nước có bị hấp thụ hoàn toàn và mặt

nước bao phủ hết tất cả các doi cát, bãi bồi có địa hình thấp hơn. Các ảnh được tải miễn phí trên trang USGS (*United States Geological Survey*) có chất lượng tốt với độ phủ mây dưới 5%.

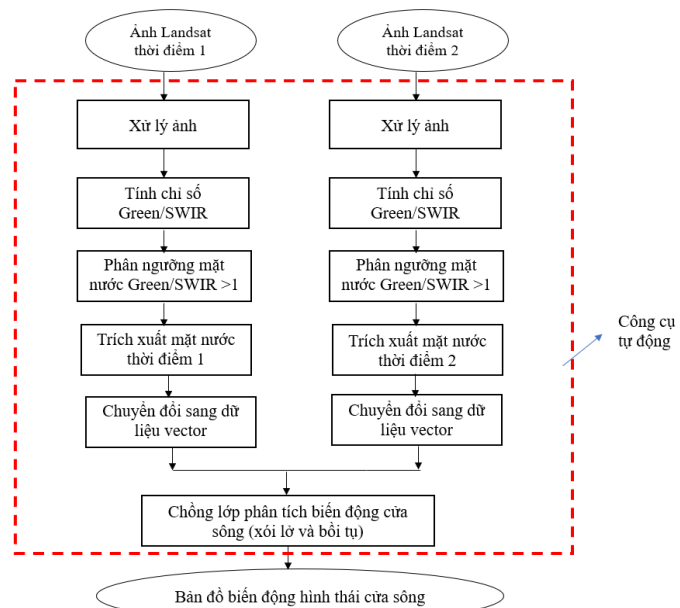
Bảng 1. Thông tin thu thập ảnh vệ tinh.

Thời gian	ID ảnh	Loại vệ tinh	Độ phân giải
07/01/1988	LT05_L2SP_124049_19880107_20200917_02_T1	Landsat 5	30m
17/03/1996	LT05_L2SP_124049_19960317_20200911_02_T1	Landsat 5	30m
26/01/2001	LT05_L2SP_124049_20010126_20200906_02_T1	Landsat 5	30m
10/03/2005	LT05_L1TP_124049_20050310_20200902_02_T1	Landsat 5	30m
04/02/2010	LT05_L2SP_124050_20100204_20200825_02_T1	Landsat 5	30m
06/03/2015	LC08_L1TP_124049_20150306_20200909_02_T1	Landsat 8	30m
19/03/2020	LC08_L2SP_124049_20200319_20200822_02_T1	Landsat 8	30m
15/01/2023	LC09_L2SP_124050_20230115_20230313_02_T1	Landsat 9	30m
06/03/2024	LC09_L2SP_124049_20240306_20240309_02_T1	Landsat 9	30m

2.3. Phương pháp thực hiện

Sự chuyển biến hình thái cửa sông Cửa Đại của sông Trà Khúc được thể hiện qua chuỗi ảnh Landsat với 9 thời điểm từ năm 1988 đến 2024, tuy nhiên, để xử lý phân tích và phân định vùng mặt nước nhằm xác định vùng sạt lở, bồi tụ trên ảnh vệ tinh bằng các phần mềm chuyên xử lý ảnh như ENVI, ERDAS hay QGIS,... còn gặp hạn chế về mặt thời gian. Do đó, để theo dõi diễn biến hình thái cửa sông Cửa Đại một cách nhanh chóng, nghiên cứu tiến hành xây dựng công cụ tự động xử lý ảnh theo ranh giới thực nghiệm, chiết tách mặt nước trên ảnh vệ tinh và xác định nhanh chóng vùng sạt lở và bồi tụ qua các bước trong sơ đồ hình 2 bằng ngôn ngữ lập trình Python chạy trên phần mềm ArcGIS Pro là một ứng dụng GIS Desktop của ESRI được cải tiến chức năng trực quan hoá, phân tích dữ liệu và tạo bản đồ 2D, 3D. Hơn nữa, ArcGIS Pro vẫn phát triển lập trình hướng đối tượng với ngôn ngữ lập trình Python [22] và cung cấp thư viện ArcPy là thư viện tiện ích khi tích hợp giữa công nghệ GIS và ngôn ngữ Python giúp cung cấp nhiều tính năng xử lý tự động như hiển thị, truy vấn và phân tích dữ liệu không gian địa lý và dữ liệu ảnh vệ tinh [23] đem lại hiệu quả trong công tác giám sát các nguồn tài nguyên thiên nhiên và môi trường [24, 25].

Nghiên cứu sử dụng phương pháp trích xuất mặt nước bằng cách tính ảnh tỷ số Green/SWIR là phương pháp hiệu quả trong việc phân tách mặt nước và đất liền trên ảnh quang học [18, 19]. Tận dụng đặc tính phản xạ phổ và khả năng hấp thụ hoàn toàn đối tượng nước trong dải sóng hồng ngoại giúp chiết tách mặt nước một cách dễ dàng với giá trị của tỷ số giữa kênh Green và SWIR lớn hơn 1 tương ứng là mặt nước và ngược lại, nhỏ hơn 1 là đối tượng khác không phải nước [17–19, 26]. Sau khi phân định mặt nước với giá trị ngưỡng k^* , tiến hành tạo ra ảnh nhị phân [0,1] bằng cách gán ID = 0 (đối tượng mặt đất) và ID = 1 (đối tượng nước). Để thuận tiện trong việc phân tích biến động, nghiên cứu chuyển định dạng dữ liệu từ



Hình 2. Quy trình thực hiện.

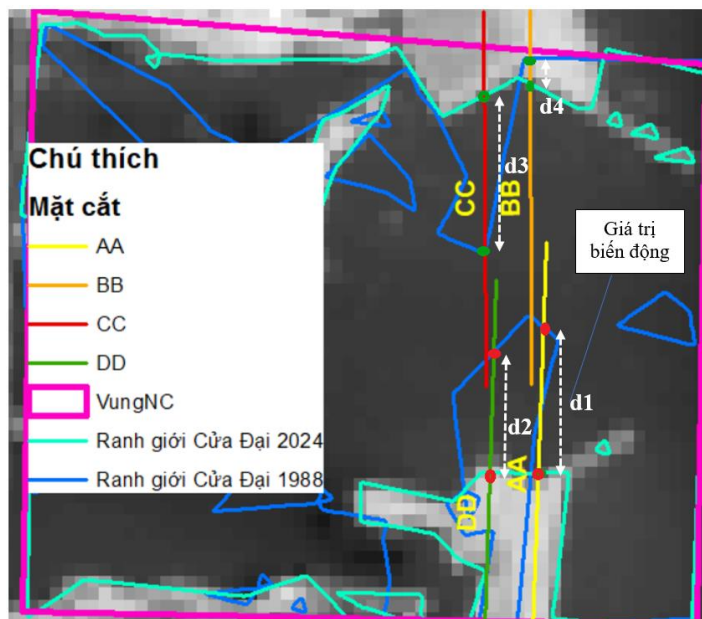
raster sang vector và sử dụng các phép phân tích chồng lớp nhằm xác định vùng cửa sông bị sạt lở và bồi tụ qua các thời điểm liên kề. Dựa trên quy trình hình 2, nghiên cứu tự động hoá quy trình thực hiện một nhanh chóng xác định vùng biến động tại cửa sông bằng cách xây dựng công cụ tự động với một số hàm/module theo các bước sau (Bảng 2).

Bảng 2. Hàm xử lý và phân tích dữ liệu.

Bước thực hiện	Hàm xử lý
1. Nhập dữ liệu đầu vào: kênh Green, SWIR tại 2 thời điểm liên kề và ranh giới khu vực nghiên cứu	GetParameterAsText(<i>index</i>)
2. Tính tỷ số Green/SWIR (tại 2 thời điểm)	Lập trình Python với các phép toán đại số để tính ảnh tỷ số
3. Cắt ảnh tỷ số theo ranh giới khu vực nghiên cứu	gp.ExtractByMask_sa(<i>in_raster</i> , <i>in_mask_data</i> , <i>out_raster</i>)
4. Xác định giá trị lớn nhất và nhỏ nhất trên ảnh tỷ số	Sử dụng hàm thống kê minimum và maximum
5. Phân ngưỡng và tái phân nhóm với mặt nước ID = 1	gp.Reclassify_sa(<i>in_raster</i> , <i>reclass_field</i> , <i>remap</i> , <i>reclassify</i>)
6. Trích xuất bề mặt nước (raster)	gp.ExtractByAttributes_sa(<i>in_raster</i> , <i>where_clause</i> , <i>out_raster</i>)
7. Chuyển đổi dữ liệu raster sang vector	RasterToPolygon_conversion(<i>in_raster</i> , <i>out_vector</i>)
8. Phân tích biến động xác định vùng sạt lở và bồi tụ	SymDiff_analysis(<i>input</i> , <i>output</i>) Intersect_analysis(<i>input</i> , <i>output</i>)
9. Tính diện tích biến động	CalculateField_management(<i>in_table</i> , <i>field</i> , <i>expression</i> , { <i>expression_type</i> }, { <i>code_block</i> }).
10. Xuất bề mặt nước tại 2 thời điểm	GetParameterAsText(<i>index</i>)

Bên cạnh đó, nghiên cứu còn tiến hành xây dựng biểu đồ biến đổi mặt cắt AA, BB, CC, DD của 2 bên bờ đối diện tại cửa sông Cửa Đại sông Trà Khúc do thường xuyên bị dịch chuyển thay đổi vị trí cửa sông theo hướng Đông Bắc hoặc Đông Nam dưới tác động của thủy triều và dòng chảy sau các trận lũ lớn qua nghiên cứu [10, 11]. Mặt khác, sau khi xác định vị trí sạt lở và bồi tụ bằng công cụ, kết quả cho thấy 4 vị trí khảo sát này có sự dịch chuyển lớn theo thời gian và không gian. Để thể hiện rõ sự thay đổi hình dáng của cửa sông, nghiên cứu sử dụng đường phân cách mặt nước tại thời điểm 1988 làm đường chuẩn cố định

mặt nước thủy triều nhằm quy chiếu cho các thời điểm liên kề khác [19] được minh họa qua hình 3. Tiến hành đo đạc giá trị biến động là khoảng chênh lệch từ 2 điểm cắt tại 2 ranh giới cửa sông của 2 thời điểm liên kề và được đo bằng công cụ Measure trên ArcGIS Pro với đơn vị mét. Hình 3 minh họa giá trị d1, d2, d3, d4 là giá trị biến động cần tìm để xây dựng biểu đồ biến đổi mặt cắt. Trong đó, nghiên cứu xét 4 vị trí mặt cắt tương đối theo bờ ngoài và bờ trong phía Nam tương ứng là mặt cắt AA, DD và đối với phía bờ Bắc ngoài và trong ứng với mặt cắt BB, CC do Cửa Đại liên tục dịch chuyển thay đổi theo thời gian dưới tác động của biến đổi khí hậu gây ra.

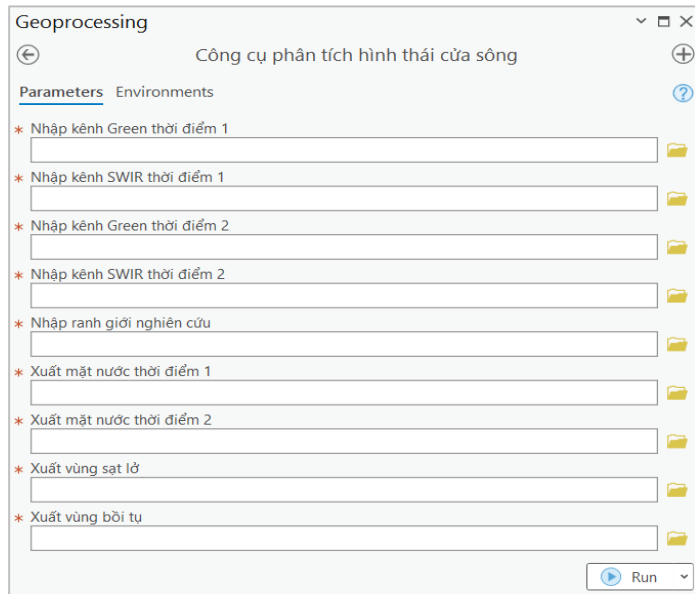


Hình 3. Vị trí khảo sát các mặt cắt tại Cửa Đại.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả xây dựng công cụ phân tích diễn biến hình thái cửa sông Cửa Đại

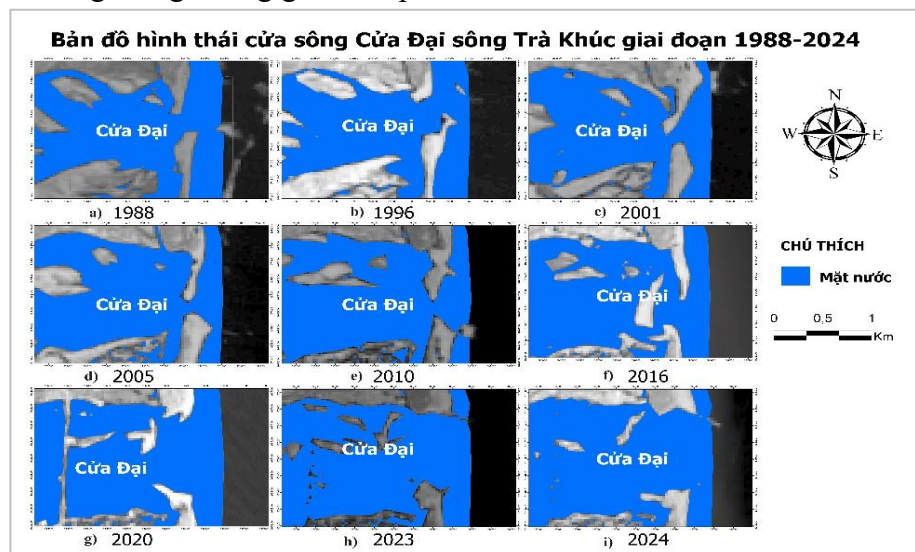
Công cụ phân tích hình thái cửa sông theo dõi quá trình sạt lở và bồi tụ được xây với sự hỗ trợ của ngôn ngữ lập trình Python và thư viện ArcPy trong phần mềm ArcGIS Pro (Hình 4). Công cụ thực thi một cách tự động, nhanh chóng chiết tách mặt nước trên ảnh vệ tinh tại mỗi thời điểm, đồng thời xác định và tính diện tích vùng sạt lở, bồi tụ giữa hai thời điểm liên tiếp. Giao diện công cụ đơn giản với 5 tham số đầu vào cần nhập kênh Green, SWIR tại 2 thời điểm với định dạng (*.tif) và nhập ranh giới nghiên cứu (*.shp) để cắt ảnh tỷ số. Kết quả công cụ xuất ra bề mặt nước của hai thời điểm và vùng sạt lở, bồi tụ với định dạng (*.shp).



Hình 4. Công cụ phân tích hình thái cửa sông trên ArcGIS Pro.

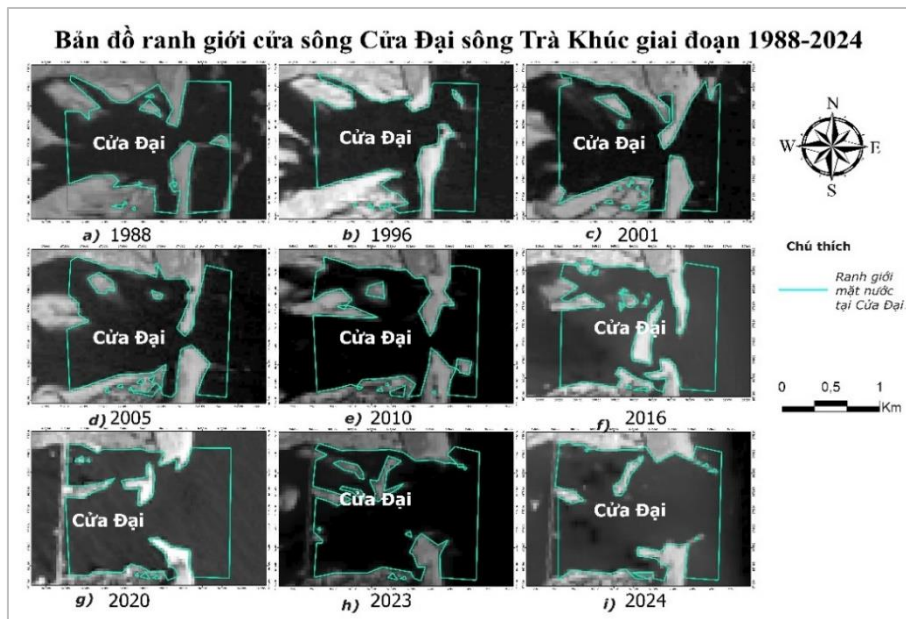
3.2. Kết quả phân tích hình thái cửa sông thí điểm tại Cửa Đại sông Trà Khúc

Công cụ nghiên cứu được sử dụng thí điểm tại khu vực cửa sông Cửa Đại sông Trà Khúc tỉnh Quảng Ngãi qua 9 thời điểm từ năm 1988 đến 2024. Kết quả bề mặt nước được chiết tách trên chuỗi ảnh Landsat (Hình 5) và ranh giới cửa sông qua các thời điểm (Hình 6) cho thấy có xảy ra sự chuyển dịch phức tạp về vị trí của cửa sông qua 36 năm và cửa sông bị thu hẹp trong giai đoạn 1988-2010, bắt đầu mở rộng với phạm vi lớn dần từ thời điểm 2016 đến 2024. Vào giai đoạn 1988-1996 có sự biến đổi nhẹ và xuất hiện sạt lở bờ phía Bắc chiếm ưu thế với 19,814 m² theo hướng Đông Bắc (Hình 8a) và giúp mở rộng cửa sông từ 213,5m (1988) đến 235,3 m (1996). Trong đó, độ rộng của cửa sông được xác định bằng công cụ đo Measure trên phần mềm ArcGIS Pro tính từ mép sâu bờ Bắc và vuông góc với mép bờ Nam tại vị trí cửa sông tạo đường thẳng vuông góc 2 mép nhằm đảm bảo độ chính xác khi đo đạc thủ công. Tuy nhiên sang thời điểm 2001, 2005, 2010 hình thái cửa sông có sự biến đổi mạnh mẽ (Hình 5c-5e, 6c-6e) với độ rộng cửa sông bị thu hẹp dần và giảm từ 86,4 m (2010) đến 100,9 m (2005) so với thời điểm 1988 (213,5 m) (Hình 7) do sự bồi tụ 2 bên bờ của cửa sông gây ra.



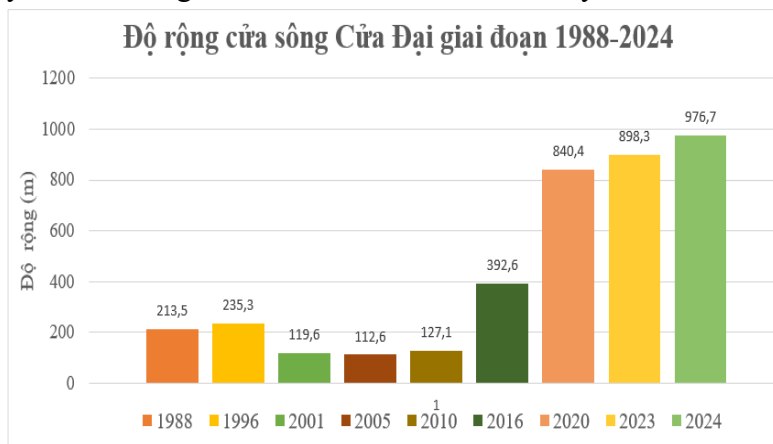
Hình 5. Bản đồ mặt nước tại Cửa Đại qua các thời điểm: (a) 1988, (b) 1996, (c) 2001, (d) 2005, (e) 2010, (f) 2016, (g) 2020, (h) 2023, (i) 2024.

Sự dịch chuyển này góp phần hình thành các doi cát do hiện tượng bồi lắng bùn cát, cho nên phần cửa sông thông với nước biển bị hẹp dần gây khó khăn trong việc lưu thông đường thủy. Giai đoạn 1996-2001, bờ Bắc được bồi tụ chiếm ưu thế với 212,2 m² và bờ Nam bị sạt lở 87,3 m² (Hình 8b). Trong khi đó giai đoạn 2001-2005, tại bờ Bắc sạt lở 41,9 m² bên phía trong cửa sông nhưng bồi tụ bên ngoài với 27,9 m² theo hướng Đông Bắc và tương tự bờ Nam cũng đan xen xảy ra sạt lở và bồi tụ nhưng ít hơn so với bờ Bắc (Hình 8c). Dưới tác động này đã làm cho cửa sông thu hẹp dần và đỉnh điểm cửa sông bị thu hẹp chỉ còn 112,6 m vào thời điểm 2005. Theo diễn biến hình thái cửa sông từ 1995 đến 2005 được mở rộng về phía Nam, doi cát bờ phía Bắc hầu như không dịch chuyển nhiều nhưng bề rộng nhỏ lại do xói lở, trong khi đó bờ phía Nam cũng bị xói lở và mở rộng cửa do ảnh hưởng của trận lũ lớn năm 2003 [10].



Hình 6. Bản đồ ranh giới tại Cửa Đại qua các thời điểm: (a) 1988, (b) 1996, (c) 2001, (d) 2005, (e) 2010, (f) 2016, (g) 2020, (h) 2023, (i) 2024.

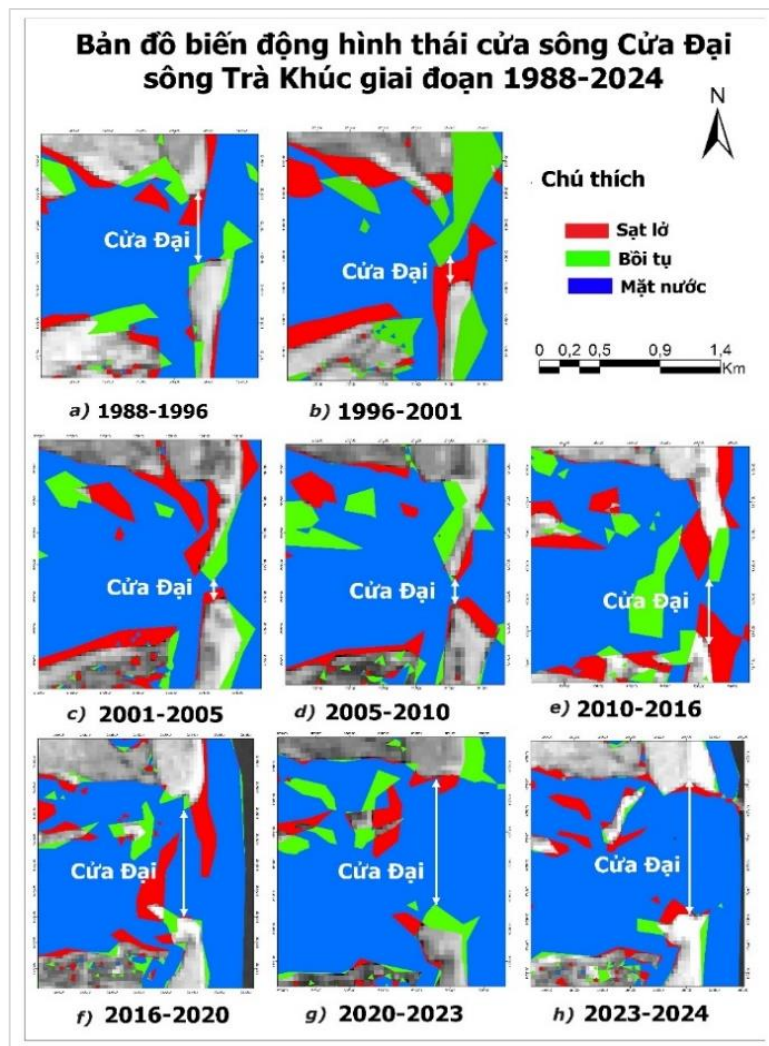
Vào giai đoạn 2010-2016, cửa sông có dấu hiệu mở rộng theo hướng Đông Nam với độ rộng là 392,6m (hình 7) do xói lở ở phía ngoài bờ Nam với diện tích 87,7 m² và gấp đôi so với phía trong bờ Bắc (Hình 5f, 6f, 8e). Sự dịch chuyển mạnh và liên tục theo hướng Đông Nam tại Cửa Đại vẫn xảy ra cho đến năm 2015 khoảng 750 m do tác động của việc nạo vét luồng trên sông [11]. Tuy nhiên, thời điểm 2016 phía trước Cửa Đại xuất hiện doi cát lớn do quá trình bồi tụ với diện tích khoảng 100m² chắn ngang đã gây ra sự cản trở lưu thông dòng chảy và tàu thuyền qua lại. Tuy nhiên, đến giai đoạn 2016-2020 doi cát này biến mất hoàn toàn và cùng với 82,7 m² bờ phía Bắc bị thụt lùi vào đất liền do xói lở diễn ra mạnh mẽ. Một phần do đòi cát chắn trước cửa sông làm dòng chảy xiết hơn khi thủy triều lên và xuống. Giai đoạn 2020-2023 và 2023-2024 thì hiện tượng sạt lở, bồi tụ cũng giảm dần rất nhiều tại cửa sông Cửa Đại. Mặt khác thời điểm 2020 cửa sông mở rộng khá lớn với độ rộng là



Hình 7. Biểu đồ thống kê độ rộng cửa sông Cửa Đại giai đoạn 1988-2024.

840,4 m hơn gấp hai lần so với thời điểm 2016 và tiếp diễn mở rộng cửa sông vào thời điểm 2023, cao nhất vào thời điểm 2024 với độ rộng là 976,7 m. Quá trình mở rộng cửa sông xảy ra đột ngột từ thời điểm 2020 đến 2024 và được mở rộng theo hướng Đông Bắc, do vào mùa cạn, dòng chảy trung bình có xu thế tăng tại giai đoạn 2016-2035 so với giai đoạn 1986-2005 tăng khoảng 5-16% theo kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng [13]. Mặt khác, vùng hạ lưu giáp với biển của con sông rất dễ bị phân nhánh thành nhiều hướng, trong khi đó, lòng sông bị biến dạng uốn khúc theo hình sin và thường xảy ra sự thay đổi hình thái dưới ảnh hưởng của quá trình bồi đắp và xói lở liên tục trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

Bên cạnh đó, diễn biến hình thái phức tạp tại cửa sông Cửa Đại được thể hiện qua sự biến đổi của các mặt cắt trong hình 9 với các số liệu biến động tại 4 vị trí AA, BB, CC, DD được đo đạc từ các đường phân cách mặt nước và đất liền sau khi chiết xuất mặt nước trên chuỗi ảnh Landsat. Mặt khác sự biến động phức tạp về hình dạng, biên độ và tốc độ vị trí cửa sông được thể hiện rõ qua hình 5,6,8 và nghiên cứu sử dụng ranh giới cửa sông năm 1988 làm chuẩn với giá trị bằng 0 xem như không biến động để so sánh với các thời điểm khác nhằm xác định giá trị biến động hay khoảng chênh lệch từ 2 điểm cắt tại 2 ranh giới cửa sông của 2 thời điểm liền kề. Nếu giá trị biến động mang dấu dương, điều này chứng minh đường bờ tại cửa sông xảy ra quá trình bồi tụ và ngược lại giá trị biến động mang dấu âm có nghĩa là xảy ra hiện tượng sạt lở hay bị bao phủ bởi nước biển dâng dưới tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu. Kết quả biến đổi mặt cắt bờ ngoài cửa sông tại AA, CC cho thấy sự đối nghịch biến đổi hình thái cửa sông, cụ thể thời điểm 1996 cửa sông bờ Nam nhô ra hướng Đông Bắc với 208,3m nhưng bờ Bắc thụt vào -207,7 m do xói lở. Sang thời điểm 2001 bờ ngoài phía Nam lại thụt vào với -358,2m trong khi đó bờ ngoài phía Bắc nhô ra nhanh chóng với chiều dài là 416,9 m làm cho cửa sông dần bị thu hẹp, tình trạng này kéo dài đến thời điểm 2005, 2010 mặc dù cả hai bờ cửa sông ngoài thụt vô không đáng kể. Tuy nhiên đến thời điểm 2016, quá trình thụt vào của 2 bờ cửa sông xảy ra mạnh mẽ, lớn nhất là -508,3 m do thực hiện công tác nạo vét lòng sông [10]. Tác động này đã khởi đầu cho quá trình mở rộng cửa sông và tiếp diễn cho các thời điểm 2020, 2023, 2024. Đối với sự biến đổi mặt cắt BB của bờ trong Cửa Đại cho thấy vào thời điểm 2001 xảy ra bồi lấp theo hướng Đông Nam với chiều dài 507,4 m nhưng bờ đối diện của mặt cắt DD bị sạt lở vào -103,1 m làm thu hẹp cửa sông. Tiếp diễn bờ trong Cửa



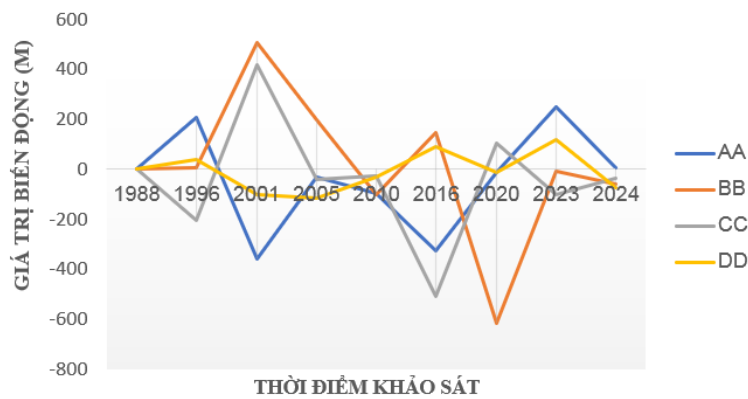
Hình 8. Bản đồ biến động hình thái cửa sông Cửa Đại qua các giai đoạn: (a) 1988-1996, (b) 1996-2001, (c) 2001-2005, (d) 2005-2010, (e) 2010-2016, (f) 2016-2020, (g) 2020-2023, (h) 2023-2024.

Đại biến dạng đan xen bồi tụ và sạt lở tại thời điểm 2005, 2010, 2016 nhưng riêng thời điểm 2020 bờ trong phía Nam của sự biến đổi mặt cắt BB thụt vào rất lớn với -617,3 m do tác động của dòng chảy trung bình tăng tại giai đoạn 2016-2035 theo kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng [13] làm cho cửa sông ngày càng được mở rộng cho các thời điểm tiếp theo 2023, 2024.

Bảng 3. Số liệu biến đổi mặt cắt (m).

	1988	1996	2001	2005	2010	2016	2020	2023	2024
AA	0	208,3	-358,2	-34,3	-99,3	-327,8	-12,2	246,8	7,2
BB	0	5,4	507,4	196,5	-104,5	147,1	-617,3	-11,1	-59,4
CC	0	-207,7	416,9	-43,3	-26,6	-508,3	101,7	-103,2	-36,6
DD	0	40,1	-103,1	-115,2	-30,8	88,3	-15,4	119,2	-72,8

Sự biến đổi mặt cắt giai đoạn 1988-2024 tại một số vị trí kiểm tra



Hình 9. Kết quả biến đổi một số mặt cắt tại Cửa Đại giai đoạn 1988-2024.

4. Kết luận

Diễn biến hình thái cửa sông Cửa Đại sông Trà Khúc tỉnh Quảng Ngãi được theo dõi bằng chuỗi ảnh Landsat giai đoạn 1988-2024. Qua thực nghiệm, nghiên cứu đã thành công xây dựng công cụ tự động có khả năng xử lý, phân tích chiết tách mặt nước và xác định vùng sạt lở, bồi tụ tại cửa sông với sự hỗ trợ của ngôn ngữ lập trình Python được thực thi trên phần mềm ArcGIS Pro. Kết quả phân tích biến động cho thấy hình thái cửa sông thay đổi phức tạp theo thời gian, cụ thể cửa sông bị thu hẹp dần trong giai đoạn 2001-2010 và đỉnh điểm vào năm 2005 với độ rộng của Cửa Đại chỉ còn 112,6 m do sự dịch chuyển cửa sông bởi quá trình bồi tụ 2 bên bờ gây ra. Nhưng bắt đầu thời điểm 2016 có dấu hiệu mở rộng cửa sông và tiếp diễn qua các thời điểm còn lại với cửa sông rộng nhất là 976,7m vào thời điểm 2024. Bên cạnh đó, hình thái cửa sông còn được thể hiện qua kết quả biến đổi tại một số mặt cắt của bờ trong và bờ ngoài Cửa Đại với giá trị biến động dương là bờ được bồi tụ và ngược lại giá trị biến động âm là bờ bị sạt lở hay bị bao phủ bởi nước biển dâng dưới tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu.

Mặc dù nghiên cứu đã thực hiện phân tích khả năng sạt lở, bồi tụ trong thời kỳ mùa kiệt để so sánh với đường mặt nước nhưng trong kết quả nghiên cứu vẫn còn tồn tại hạn chế là chưa phản ánh hết chế độ phân mùa dòng chảy, đặc biệt tác động của chế độ dòng chảy vào thời kỳ mùa lũ ở khu vực Trung Bộ. Tuy nhiên qua kết quả xây dựng công cụ được sử dụng khá hiệu quả trong việc phân tích nhanh chóng quá trình sạt lở-bồi tụ và làm tiền đề theo dõi hình thái cửa sông tại khu vực khác. Bên cạnh đó để giảm thiểu tác động khí quyển đối với ảnh quang học và nâng cao độ chính xác, cần sử dụng ảnh radar kết hợp với thuật toán OTSU hỗ trợ phân ngưỡng tự động đối tượng mặt nước. Đồng thời nghiên cứu tác động của chế độ dòng chảy vào thời kỳ mùa lũ trong đánh giá diễn biến thay đổi hình thái cửa sông.

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

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan nghiên cứu 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. Bình, L.T.H.; Thành, L.T. Diễn biến hình thái học của cửa sông Cổ Chiên và Cung Hầu thuộc hệ thống sông Cửu Long, Việt Nam. *Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường* **2014**, 46, 56–62.
2. Ariane, M.M.S.; Nils, E.A.; Vando, J.C.; Andrea, G.S.O. Impacts of inherited morphology and offshore suspended-sediment load in an Amazon estuary. *Estuaries Coasts*. **2023**, 46, 1709–1722.
3. Dai, P.; Zheng, J.; Ju, Y.; Yun Z. Analysis of sea bed evolution of min estuary. Proceeding of the Twenty-second International offshore and Polar Engineering Conference, Rhodes, Greece, 2012, pp. 12–358.
4. Yong, Z.; Dong, Z.; Mark, E.J.C.; Nan, X.; Xiao, H.W.; Hongjie, S.; Yongming, S. Estimating muddy intertidal flat slopes under varied coastal morphology using sequential satellite data and spatial analysis, *Estuarine. Coastal Shelf Sci.* **2021**, 251, 107–183.
5. Toa, S.; Ali, A.A.B.A. Remote sensing-based approach to identifying spatio-temporal changes in coastal morphology in Bhola District, Bangladesh. *J. Eng. Advancements* **2022**, 251, 76–90.
6. Kumar, A.; Jayappa, K.S.; Vethamony, P. Evolution of Swarna estuary and its impact on braided islands and estuarine banks, Southwest coast of India. *Environ. Earth Sci.* **2012**, 65(3), 835–848.
7. Oborie, E.; Onyebuchi, O. Shoreline change assessment in the Orashi River, Rivers State, Nigeria, using the digital shoreline analysis system (DSAS). *Sumerianz J. Sci. Res.* **2023**, 70–77.
8. Abd, W.; Muhammad, Z.A.; Osman, M. Comparative analysis in shoreline changes in Kelantan, Malaysia using digital shoreline analysis system (DSAS). *ESTEEM Acad. J.* **2023**, 19, 109–117.
9. Thành, L.Đ.; Cát, V.M.; Quý, N.B. Diễn biến cửa sông ven biển Miền Trung và những giải pháp ổn định. Nhà xuất bản Xây dựng, 2004, tr. 1–136.
10. Tùng, T.T. Phân tích diễn biến hình thái cửa sông Trà Khúc, tỉnh Quảng Ngãi. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2006**, 91–96.
11. Hoàng, V.C.; Bảo, L.X.; Hitoshi, T. Phân tích diễn biến hình thái cửa Đại-Sông Trà Khúc và Cửa Lở-Sông Vệ, Quảng Ngãi theo thời đoạn dài hạn bằng ảnh vệ tinh. Tuyển tập Hội nghị khoa học thường niên. 2017, tr. 12–14.
12. Tùng, N.B.; Đức, Đ.Đ.; Anh, T.N.; Thủy, N.H.; Nhung, Đ.T.H.; Nhung, P.T.H.; Cường, V.M. Đánh giá ảnh hưởng của hồ chứa Nước Trong đến hạ lưu sông Trà Khúc trong trường hợp khẩn cấp. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 741, 85–97.
13. Ngọc, N.T.B.; Tinh, T.V.; Hung, V.D.; Tú, T.T. Đánh giá tác động biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước lưu vực sông Trà Khúc, tỉnh Quảng Ngãi. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 751, 28–41.
14. Chính, P.Đ.; Anh, T.N.; Vĩnh, T.N.; Phương, Đ.T.L.P; Giang, N.T. Nghiên cứu ứng dụng GIS đánh giá diễn biến bồi xói vùng cửa sông Đà Nông tỉnh Phú Yên từ dữ liệu đo đạc địa hình thời kỳ 2001-2016. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 694, 1–7.
15. Thảo, P.T.P.; Duẩn, H.Đ.; Tỏ, Đ.V. Ứng dụng viễn thám và GIS trong theo dõi và tính toán biến động đường bờ khu vực Phan Thiết. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển* **2011**, 3, 1–13.

16. Điệp, N.T.H.; Minh, V.Q.; Trường, P.N.; Thành, L.K.; Vinh, L.T.Q. Diễn biến tình hình sạt lở ven bờ sông Tiền và sông Hậu tại đồng bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí khoa học Trường Đại Học Cần Thơ* **2019**, 2, 125–133.
17. Bảo, L.T.; Nhân, N.T. Ứng dụng Google Earth Engine giám sát biến động mặt nước Hồ Dầu Tiếng giai đoạn 1990–2022. Kỷ yếu hội thảo GIS toàn quốc, 2022, tr. 18–25.
18. Pritam, C.; Prasenjit, A. Shoreline change and sea level rise along coast of Bhitarkanika wildlife sanctuary, Orissa: An analytical approach of remote sensing and statistical techniques. *Int. J. Geomatics. Geosci.* **2010**, 1(3), 436–455.
19. Trung, N.V.; Khanh, N.V. Quan trắc sự biến động đường bờ sử dụng dữ liệu vệ tinh LANDSAT đa thời gian ở khu vực Cửa Đại, Sông Thu Bồn, Quảng Nam. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất* **2016**, 57, 81–89.
20. Long, L.T.; Nhân, N.T. Ứng dụng ảnh radar Sentinel-1 giám sát tình hình sạt lở và bồi tụ tại tỉnh Cà Mau giai đoạn 2015-2024 trên nền tảng Google Earth Engine. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 765, 27–38.
21. Nhân, N.T., Bảo, L.T. Ứng dụng phương pháp OTSU chiết tách mặt nước trong giám sát biến động ranh giới Hồ Dầu Tiếng trên nền tảng Google Earth Engine. *Tạp chí khoa học đất* **2022**, 69, 7–11.
22. Maribeth, H. Price, switching to ArcGIS Pro from ArcMap. ESRI Press, Redlands, California. **2019**, pp. 1–182.
23. Laura, T. Python for ArcGIS. Springer International Publishing Switzerland. **2015**. pp. 1–544.
24. Nhân, N.T.; Bảo, L.T. Xây dựng công cụ và hệ thống giám sát đất nhiễm mặn tại tỉnh Bến Tre. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 759, 87–95.
25. Nhân, N.T.; Khôi, T.N.N.; Bảo, L.T. Lập trình GIS xây dựng công cụ theo dõi nhiệt độ bề mặt tại tỉnh Bình Dương giai đoạn 1995-2024 bằng chuỗi ảnh Landsat. *Tạp chí Trắc địa Bản đồ* **2024**, 10(2), 35–43.
26. Alesheikh, A.; Nouri, N. Coastline change detection using remote sensing. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **2007**, 4, 61–66.

Building a tool to analyze estuary morphology changes using Landsat images: Case study at Cua Dai estuary on Tra Khuc river

Le Thien Bao¹, Tran Van Bac¹, Nguyen Trong Nhan^{1*}

¹ Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment;

ltbao@hcmunre.edu.vn; tvbac@hcmunre.edu.vn; ntnhan@hcmunre.edu.vn

Abstract: The impact of climate change in recent years has changed the morphology of river mouths such as the displacement of river mouths due to erosion and deposition, typically at the Tra Khuc river estuary in Quang Ngai province. To monitor this development, the study has developed a tool capable of separating water surfaces and determining erosion and deposition areas at river mouths using Landsat image series from 1988 to 2024 with the support of Python programming language and ArcGIS Pro software. Experimental results show that the developed tool helps to automatically and quickly process, analyze and extract water surfaces and evaluate changes (erosion, deposition) in river mouth morphology. Typically applied at the Cua Dai estuary on Tra Khuc river shows that the estuary morphology changed complexly, gradually narrowing in the period 2001-2010 and peaking in 2005 with a width of 112.6 m due to the displacement of the estuary by the process of sedimentation on both banks. However, starting in 2016, the estuary showed signs of widening and continued through the remaining periods with the widest estuary in 2024 reaching 976.7 m due to the appearance of erosion caused by dredging work on the river and the impact of the flow during the flood season. In addition, the morphology of the estuary is also shown through the cross-sectional changes at the inner and outer banks of Cua Dai with a positive change value meaning that the estuary is accreted and vice versa, a negative change value means that the bank is eroded. The tool is quite effective in monitoring the morphology of the estuary and is a premise for rapid and continuous monitoring of erosion and accretion in coastal areas using remote sensing images.

Keywords: ArcGIS Pro; Tools; Developments; Morphology; Landsat.

Bài báo khoa học

Ứng dụng phương pháp phân tích véc tơ biến động đánh giá biến động lớp phủ đất khu vực ven biển

Tống Sĩ Sơn^{1*}

¹ Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội (USTH), Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST); tong-si.son@usth.edu.vn

*Tác giả liên hệ: tong-si.son@usth.edu.vn; Tel.: +84-912828380

Ban Biên tập nhận bài: 2/6/2024; Ngày phản biện xong: 6/8/2024; Ngày đăng bài: 25/1/2025

Tóm tắt: Phân tích véc tơ biến động (CVA) là phương pháp đánh giá biến động trong viễn thám dựa trên sự sai khác về phổ phản xạ của đối tượng bề mặt trên ảnh viễn thám. Phương pháp CVA cho phép định lượng biến động thông qua xác định xu hướng và cường độ biến động của đối tượng. Nghiên cứu này áp dụng phương pháp CVA đánh giá biến động lớp phủ đất từ cặp ảnh Sentinel-2 chụp năm 2015 và 2023 khu vực các xã ven biển tỉnh Thái Bình. Cường độ biến động và hướng biến động được tính toán dựa trên sự thay đổi của chỉ số thực vật chuẩn hóa (NDVI) và chỉ số đất trống (BI). Bên cạnh đó, các thành phần biến động được đánh giá so sánh với 9 loại lớp phủ để xác định mối tương quan của lớp phủ đất và các thành phần biến động. Kết quả phân tích cho thấy, cường độ biến động cao xảy ra ở hướng biến động IV, xác định bởi sự gia tăng của chỉ số NDVI và giảm chỉ số BI, là đặc trưng của sự mở rộng diện tích rừng ngập mặn. Hướng biến động III là sự suy giảm đồng thời của BI và NDVI, chỉ dấu cho xói mòn bờ biển cửa sông Hồng. Bên cạnh đó, sự hình thành các doi cát ven biển được chỉ ra bởi hướng biến động I với sự gia tăng của cả NDVI và BI. Nghiên cứu chứng minh khả năng kết hợp phương pháp CVA và phân loại ảnh giúp giảm thiểu ảnh hưởng gây ra bởi sự khác biệt mùa giữa hai lần chụp ảnh trong đánh giá biến động khu vực ven biển.

Từ khóa: Phương pháp CVA; Biến động lớp phủ; Cường độ biến động; Xu hướng biến động; Khu vực ven biển.

1. Đặt vấn đề

Lớp phủ đất (*Landcover*) là lớp vật chất trên bề mặt trái đất như đất trống, thực vật, mặt nước. Các yếu tố môi trường và lớp phủ đất có ảnh hưởng tương hỗ, do đó biến động lớp phủ là một trong những hiện tượng quan trọng nhất trong các nghiên cứu liên quan đến biến động môi trường. Nghiên cứu biến đổi môi trường không thể thiếu các đánh giá biến động lớp phủ đất [1, 2]. Trong nghiên cứu lớp phủ đất, viễn thám là phương pháp tối ưu cho phép thu thập thông tin lớp phủ nhanh chóng với đa độ phân giải về không gian, thời gian, và với nhiều kênh phổ khác nhau phục vụ thành lập nhiều bản đồ biến động lớp phủ với đa dạng tỷ lệ và kích thước [3–5]. Hiện nay, nhiều kỹ thuật đã được phát triển cho tách chiết thông tin biến động trên ảnh viễn thám [3, 6], trong đó phân tích sự biến động phổ phản xạ của lớp phủ trên ảnh viễn thám chụp đa thời điểm giúp phát hiện những thay đổi nội tại trong các lớp cũng như cơ chế biến động của lớp phủ. Một số phương pháp đánh giá biến động lớp phủ khai thác sự thay đổi phản xạ phổ bao gồm: tỷ lệ các kênh ảnh, so sánh chỉ số thực vật, phân tích thành phần chính, so sánh phổ phản xạ, phân tích hồi quy và phân tích véc tơ biến động (CVA) (*Change-vector analysis*) [5, 7].

Phương pháp CVA đánh giá biến động lớp phủ dựa trên phân tích véc tơ biến động. Các véc tơ này sử dụng sự thay đổi phổ phản xạ trên các kênh ảnh, qua các thời điểm là thành

phần của véc tơ. Phương pháp CVA có ưu điểm đi sâu phân tích bản chất vật lý gây ra những thay đổi lớp phủ thông qua việc đo đạc cường độ biến động và xu hướng biến động của từng điểm ảnh (*Pixel*) trên ảnh vệ tinh chụp các thời điểm khác nhau [2]. Ngoài ra, phương pháp CVA còn có thể kết hợp phân xạ phổ từ nhiều kênh phổ để tạo ra một ảnh chỉ số duy nhất thể hiện cường độ thay đổi giữa hai hoặc nhiều ảnh vệ tinh [8]. Chính vì vậy, CVA là một kỹ thuật hữu ích để thu thập thông tin về sự biến động lớp phủ cho nhiều đối tượng nghiên cứu như: đánh giá sự thay đổi lớp phủ nhiều năm [5, 25]; phát hiện những thay đổi của rừng [9, 26]; đánh giá trạng thái đất ngập nước [10]; phát hiện sự thay đổi sử dụng đất, lớp phủ ở vùng ven nông thôn - thành thị [11]; giám sát biến động đường bờ [2]. Tại Việt Nam, phương pháp CVA đã được áp dụng phân tích biến động lớp phủ đất khu vực Duy Tiên, Hà Nam [18]. Tuy nhiên, việc áp dụng kỹ thuật CVA cũng phải đối mặt với một số thách thức như: độ tin cậy của phân xạ phổ thu được trên ảnh đa thời gian không đồng nhất gây ra do các khác biệt về bộ cảm biến, quỹ đạo bay của vệ tinh, phương pháp thu nhận hình ảnh, điều kiện khí tượng, hiệu chỉnh khí quyển. Bên cạnh đó, những khó khăn trong việc định lượng ngưỡng biến động phù hợp để phân tách các pixel thực sự biến động, những thách thức khi khai thác một số lượng lớn các kênh phổ phục vụ phân tích biến động cũng sẽ hạn chế độ chính xác khi áp dụng phương pháp CVA [7].

Bên cạnh tiếp cận CVA cơ bản xác định ngưỡng biến động cho cường độ biến động và xu hướng biến động, phương pháp CVA cũng được phát triển để kết hợp với các kỹ thuật phân tích thống kê để xác định tự động và nhanh các pixel thực sự biến động và không biến động. Các phương pháp kết hợp với CVA thường dùng là: Phương pháp phân loại sâu CVA (*deep CVA*) [19], phương pháp phân tích góc phổ trong không gian phổ (SAM) [20], phương pháp chuẩn tối ưu (Robust) [21], phương pháp Markov [22]. Nghiên cứu [23] đã thử nghiệm với các phương pháp trên để đánh giá biến động lớp phủ đất từ dữ liệu với các bộ cảm biến và độ phân giải khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy phương pháp CVA rất hiệu quả cho đánh giá biến động lớp phủ đất, hơn nữa, phương án kết hợp CVA với các công nghệ khác đều có những ưu và nhược điểm, việc sử dụng cho một mục đích và dữ liệu cụ thể cần có thử nghiệm đánh giá khi áp dụng [23]. Hơn nữa, áp dụng phương pháp CVA nào cũng cần đảm bảo 2 quá trình xử lý là hiệu chỉnh hình học và chuẩn hóa phổ giữa hai ảnh trước và sau biến động [24]. Để chuẩn hóa phổ giữa hai ảnh, hai bức ảnh cần được chụp cùng điều kiện môi trường, cùng điều kiện phổ hoặc cùng mùa nhằm đảm bảo sự khác biệt rõ về phổ phản xạ khu vực biến động và sự thay đổi không đáng kể về phổ của khu vực không biến động lớp phủ. Với khu vực nhiệt đới gió mùa thường xuyên bị mây bao phủ, việc thu thập các cặp ảnh vệ tinh đáp ứng điều kiện trên là thách thức đáng kể. Hơn nữa, với khu vực bãi triều ven biển bị ngập chìm theo chế độ thủy triều, việc xác thu thập được hai ảnh vệ tinh chụp tại cùng độ cao mực nước biển là rất khó khăn. Với khu vực ven biển, trong điều kiện nhiệt đới gió mùa như Việt Nam sẽ gia tăng thách thức khi áp dụng hiệu quả phương pháp CVA cho khai thác thông tin về biến động lớp phủ.

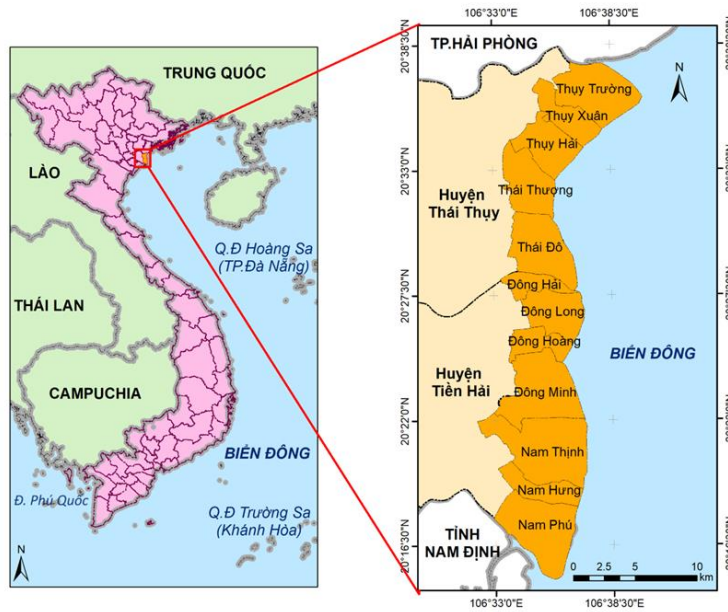
Để vượt qua thách thức trên, nghiên cứu ngày thử nghiệm kết hợp phương pháp CVA với phân loại lớp phủ trên ảnh vệ tinh Sentinel-2 trong điều kiện cặp ảnh chụp không cùng mùa nhưng có cùng độ cao mực nước thủy triều nhằm đánh giá biến động lớp phủ khu vực ven biển tỉnh Thái Bình.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Khu vực thực nghiệm là 12 xã dọc theo đường bờ biển tỉnh Thái Bình, bao gồm 5 xã thuộc huyện Thái Thụy và 7 xã thuộc huyện Tiền Hải (Hình 1) với tổng diện tích 30.000 ha. Khu vực nghiên cứu là một phần của sông Hồng, đặc trưng bởi các hoạt động nuôi trồng thủy hải sản và trồng lúa. Bên cạnh đó, khu vực nghiên cứu bao phủ toàn bộ diện tích hai Khu Bảo tồn thiên nhiên đất ngập nước Thái Thụy với 13.100 ha và Tiền Hải với 12.500 ha. Hai khu

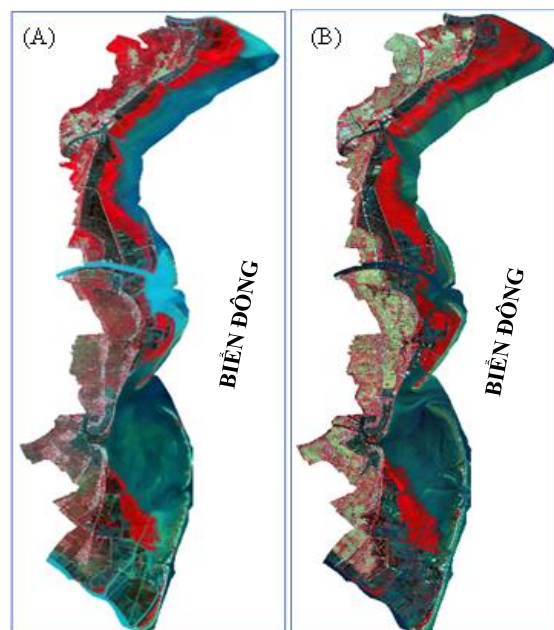
bảo tồn nằm trọn trong khu vực dự trữ sinh quyển Châu thổ sông Hồng được bao phủ bởi thảm rừng ngập mặn dày. Do đó, khu vực rừng ngập mặn được bảo vệ nghiêm ngặt và hạn chế tối đa sự biến đổi ảnh hưởng đến hệ sinh thái rừng. Tuy nhiên, vùng ven biển ngoài khu bảo tồn đang được đẩy mạnh để phát triển cơ sở hạ tầng, kinh tế - xã hội. Việc khai thác và phát huy các lợi thế của địa phương đã kéo theo sự chuyển đổi nhanh chóng đất nông nghiệp sang đất sản xuất công nghiệp, dịch vụ và đất ở. Hơn nữa, khu vực ven cửa sông Hồng đang bị xâm thực mạnh do ảnh hưởng bởi các nguyên nhân tự nhiên cũng như nhân tạo. Chính vì vậy, ngoài việc phải quan trắc sự thay đổi của các loại lớp phủ đất, thì công tác giám sát xu hướng biến động cũng là nhiệm vụ không thể thiếu nhằm hỗ trợ công tác quản lý môi trường.



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu ven biển Thái Bình.

2.2. Dữ liệu sử dụng

Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu bao gồm các ảnh đa phổ Sentinel-2 được cung cấp từ dự án Copernicus của Liên minh Châu Âu. Hai cảnh ảnh Sentinel-2 chụp lúc 10h30' ngày 10/08/2015 và ngày 01/11/2023 đã được tiền xử lý ở mức 2A. Ở mức xử lý 2A, các ảnh vệ tinh đã được hiệu chỉnh hình học để đưa về hệ tọa độ quốc tế, hiệu chỉnh ảnh hưởng của khí quyển và chuẩn hóa về giá trị phổ phản xạ mặt đất. Ảnh Sentinel-2 có 13 kênh phổ, bao trùm từ dải sóng nhìn thấy đến vùng hồng ngoại sóng ngắn. Các ảnh có độ phân giải không gian thay đổi với 10 m, 20 m và 60 m. Trong đó, nghiên cứu sử dụng 10 kênh ảnh gồm kênh 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8A, 11 và kênh 12 cho phân tích biến động phổ. Trước khi đưa vào phân tích, các kênh ảnh được đưa về cùng độ phân giải không gian 10 m bằng kỹ thuật người láng giềng gần nhất (nearest neighbor). Để nhận được giá trị tỷ lệ phản xạ phổ mặt đất, giá trị độ xám (DN) của các kênh ảnh được lần lượt được chia cho 10.000 theo quy ước của dữ liệu

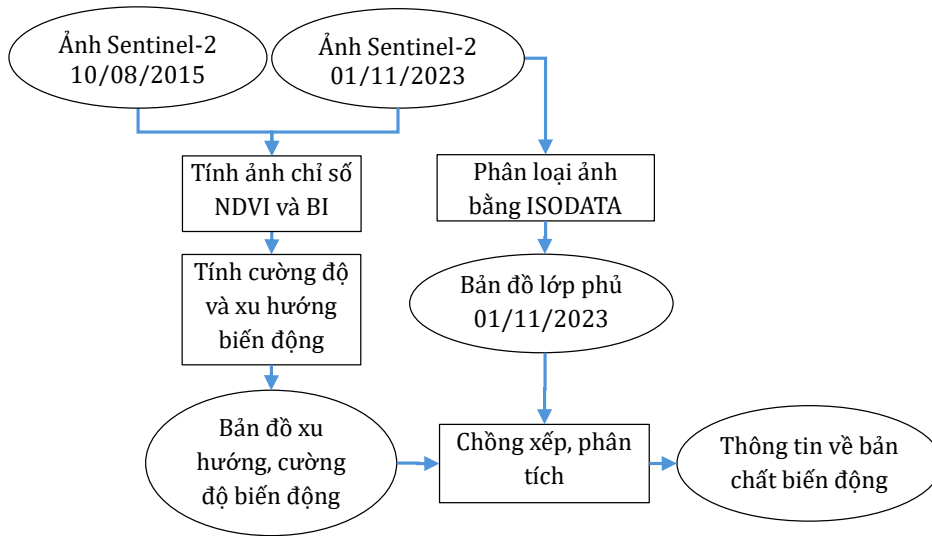


Hình 2. Tổ hợp màu giả chuẩn (màu RGB được gán tương ứng kênh cận hồng ngoại, đỏ, và xanh lục) của ảnh Sentinel-2 chụp ngày (A) 10/08/2015 và (B) 01/11/2023.

ảnh Sentinel 2 mức 2A. Các kênh ảnh phản xạ phổ được cắt theo ranh giới của khu vực nghiên cứu (Hình 2). Các ảnh được chụp cùng mức thủy triều 3,8 m (tại trạm Hòn Dấu), đảm bảo sự tương đồng về phần đất nổi lên trên mực nước biển trong hai lần chụp ảnh.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng hai phương pháp chính gồm phương pháp phân tích vector biến động và phương pháp phân loại lớp phủ đất. Bên cạnh đó các kỹ thuật xử lý ảnh như chồng xếp, cắt ghép, phân tích ảnh cũng được sử dụng để đánh giá biến động nội tại của lớp phủ đất khu vực nghiên cứu. Hình 3 biểu thị tổng quát các bước và trình tự xử lý dữ liệu trong quá trình nghiên cứu. Nội dung chi tiết của các phương pháp được trình bày trong các mục tiếp theo.



Hình 3. Sơ đồ tổng quát các bước và trình tự xử lý dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu. Hình chữ nhật biểu thị các bước xử lý, hình elip biểu thị dữ liệu, kết quả.

2.3.1. Phương pháp phân tích véc tơ biến động (CVA)

Phương pháp CVA mô tả sự thay đổi phổ phản xạ thông qua hai thành phần: hướng véc tơ biến động (góc tạo bởi véc tơ biến động) và độ lớn của véc tơ biến động xác định bởi hai hoặc nhiều ảnh chụp ở hai thời điểm khác nhau [9]. Phản xạ phổ của đối tượng bề mặt được xác định trên ảnh vệ tinh tương ứng ở các thời điểm chụp ảnh là T1 và T2. Trong đó:

$T_1 = (\rho_{11}, \rho_{12}, \rho_{13}, \dots, \rho_{1n})$ và $T_2 = (\rho_{21}, \rho_{22}, \rho_{23}, \dots, \rho_{2n})$. Với ρ và n là giá trị phản xạ phổ bề mặt và số lượng kênh phổ của ảnh tương ứng.

Véc tơ biến động $\Delta\rho$ được định nghĩa như sau:

$$\Delta\rho = T_2 - T_1 = \begin{bmatrix} \rho_{21} - \rho_{11} \\ \rho_{22} - \rho_{12} \\ \rho_{23} - \rho_{13} \\ \dots \\ \rho_{2n} - \rho_{1n} \end{bmatrix} \tag{1}$$

Cường độ biến động $(|\Delta\rho|)$ giữa hai thời điểm là độ dài của véc tơ biến động được tính dựa trên sự thay đổi phổ phản xạ của đối tượng trên tất cả các kênh ảnh.

$$|\Delta\rho| = \sqrt{(\rho_{21} - \rho_{11})^2 + \dots + (\rho_{2n} - \rho_{1n})^2} \tag{2}$$

Hướng biến động phổ phản xạ được xác định là góc tạo ra bởi véc tơ biến động và trục hoành. Góc véc tơ biến động thể hiện các loại thay đổi lớp phủ trong một khoảng thời gian

cụ thể. Phản xạ phổ của một pixel trong kênh ảnh có thể được thay thế bằng các ảnh chỉ số hoặc các kênh ảnh tỷ lệ để tính toán cường độ và xu hướng biến động.

Trong nghiên cứu này, chỉ số thực vật chuẩn hóa (NDVI-Normalized Difference Vegetation Index) và chỉ số đất trống (BI-Bare soil Index) được sử dụng để định lượng sự biến đổi lớp phủ đất các xã ven biển tỉnh Thái Bình. Chỉ số NDVI là chỉ thị cho quan hệ giữa hàm lượng diệp lục tố (Chlorophyll) trong lá và phản xạ phổ ở dải sóng đỏ (red) và cận hồng ngoại (NIR). Do đó, ảnh chỉ số NDVI được sử dụng phổ biến trong các nghiên cứu về thực vật như ước tính sinh khối, năng suất cây trồng, tỷ lệ che phủ rừng [12, 13]. Chỉ số BI được tính toán từ kênh hồng ngoại sóng ngắn (SWIR) và kênh sóng đỏ (Red), sử dụng để tăng cường sự xuất hiện đất trống không có thực phủ trên ảnh vệ tinh [14].

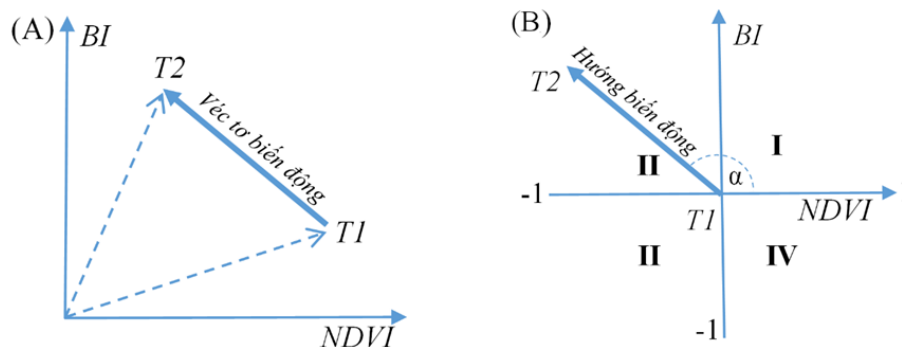
Công thức tính toán chỉ số NDVI và BI như sau:

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

$$BI = \frac{(\rho_{Swir} + \rho_{Red}) - (\rho_{Nir} + \rho_{Blue})}{(\rho_{Swir} + \rho_{Red}) + (\rho_{Nir} + \rho_{Blue})} \quad (4)$$

Trong đó $\rho_{Blue}, \rho_{Red}, \rho_{Nir}, \rho_{Swir}$ là phản xạ bề mặt của các kênh phổ blue, red, near-infrared, và cận hồng ngoại (Swir) tương ứng với các kênh 2, 4, 8 và 12 của ảnh Sentinel-2.

Phương pháp CVA áp dụng ảnh chỉ số NDVI và BI tính toán từ hai ảnh Sentinel-2 chụp ở hai thời điểm là 10/08/2015 và 01/11/2023 (Hình 4). Trong đó, hướng biến động được chia thành 4 khu vực: I, II, III và IV tương ứng với 4 góc (α) có thể có của véc tơ biến động (Hình 4B). Độ dài của véc tơ biến động, là chỉ thị của cường độ biến động, được phân chia theo các mức biến động thấp, trung bình và cao. Ngưỡng sử dụng cho phân cấp cường độ biến động được tính toán thực nghiệm dựa trên đồ thị thống kê tần suất của độ dài véc tơ biến động. Tham số thống kê độ dài biến động gồm: giá trị nhỏ nhất (min), giá trị trung bình (mean), giá trị lớn nhất (max) và độ lệch chuẩn (σ). Biến động thấp trong khoảng giá trị từ min đến -1σ , biến động trung bình tính từ -1σ đến $+1\sigma$ và biến động cao từ $+1\sigma$ đến max. Cụ thể: min, mean, max và σ của độ dài véc tơ biến động từ 2015 đến 2023 tương ứng là 0; 0,253; 1,789 và 0,159. Cường độ biến động được chia theo các ngưỡng bao gồm cường độ thấp: 0 - 0,094, cường độ trung bình: 0,094-0,412 và cường độ cao từ 0,412-1,789.



Hình 4. Phân tích véc tơ biến động dựa vào chỉ số NDVI, BI với (A) cường độ biến động là độ dài của véc tơ biến động và (B) hướng biến động. NDVI_1, NDVI_2, BI_1 và BI_2 là các chỉ số NDVI và BI ở hai thời điểm chụp ảnh T1 và T2 tương ứng [18].

2.3.2. Phương pháp phân loại ảnh thành lập bản đồ lớp phủ

Bản đồ lớp phủ đất các xã ven biển tỉnh Thái Bình được biên tập từ kết quả phân loại ảnh đa phổ Sentinel 2 chụp ngày 01/11/2023. Phương pháp phân loại không kiểm định ISODATA được sử dụng với các tham số đầu vào gồm 40 lớp và 20 vòng lặp trên 10 kênh ảnh đã lựa chọn. Phương pháp phân loại này tối đa hóa khả năng phân biệt các cụm lớp dựa trên giá trị phản xạ phổ đồng thời giảm thiểu tác động của phép nội suy trực quan đến kết

quả. Ảnh sau khi phân loại bằng phương pháp ISODATA được đối sánh với khóa giải đoán ảnh (Bảng 1) để xác định 9 lớp loại phủ khác nhau cho bản đồ lớp phủ đất.

Quá trình khảo sát thực địa được thực hiện ngày 04/5/2024 nhằm thu thập khóa giải đoán ảnh và các điểm mẫu lớp phủ cho đánh giá độ chính xác bản đồ lớp phủ sau phân loại ảnh vệ tinh.

Bảng 1. Bảng chú giải và khóa giải đoán ảnh cho phân loại ảnh Sentinel-2 chụp 01/11/2023.

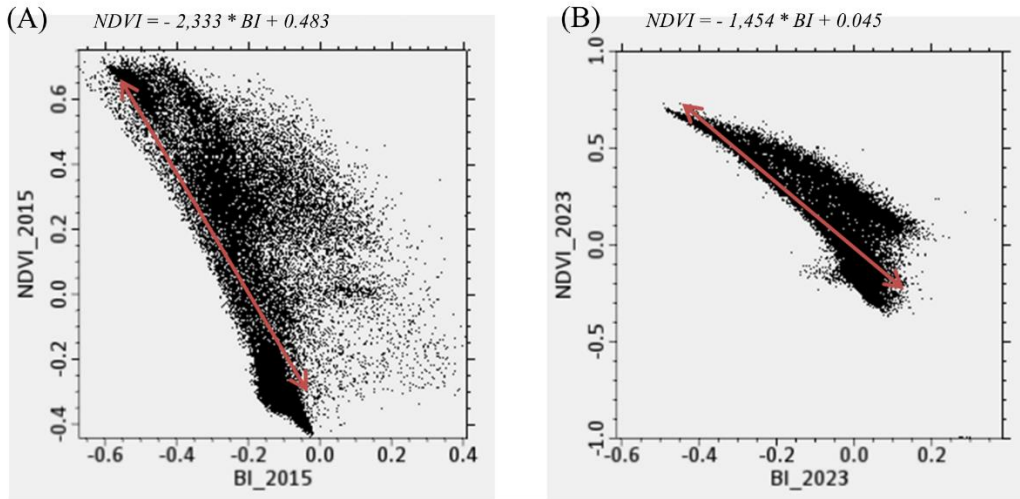
TT	Lớp phủ	Mô tả	Sentinel-2 chụp 01/11/2023 (R G B = Nir, Red, Green)	Ảnh thực địa
1	Đất lúa	Đất lúa đã được thu hoạch, ảnh có màu sáng và đồng nhất, cấu trúc theo hình chữ nhật		
2	Đất làm muối	Cấu trúc có hình dạng chữ nhật, ở giữa có đường trắng sáng. Xen lẫn cả màu nước, đất và thực vật.		
3	Rừng ngập mặn	Diện tích lớn, đồng nhất về màu sắc, mật độ cây lớn. Phân bố ở vùng ven biển và cửa các con sông		
4	Đất ở	Màu sắc và hình dạng có sự xen kẽ giữa nhà ở và thực vật, cấu trúc theo cụm.		
5	Đất xây dựng	Đường (cấu trúc theo dải), khu công nghiệp. Có màu trắng sáng.		
6	Đất trống	Những bãi cát, bãi bồi nằm dọc theo sông, ngoài bờ biển. Có màu sắc từ sáng đến tối.		
7	Nuôi trồng thủy hải sản	Có cấu trúc ô vuông hoặc hình chữ nhật, xung quanh có thực vật. Phân bố ven biển hoặc cửa sông. Màu sắc đồng nhất.		
8	Mặt nước	Sông, nước biển.		
9	Thực vật khác	Phi lao, cây trong khu dân cư, cây bụi. Đậm màu.		

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Cường độ và xu hướng biến động

Mối quan hệ không gian hai chiều giữa chỉ số NDVI và BI theo hai năm 2015 và 2023 được thể hiện ở Hình 5. Trong đó, NDVI và BI là hai thành phần của véc tơ biến động. Xu

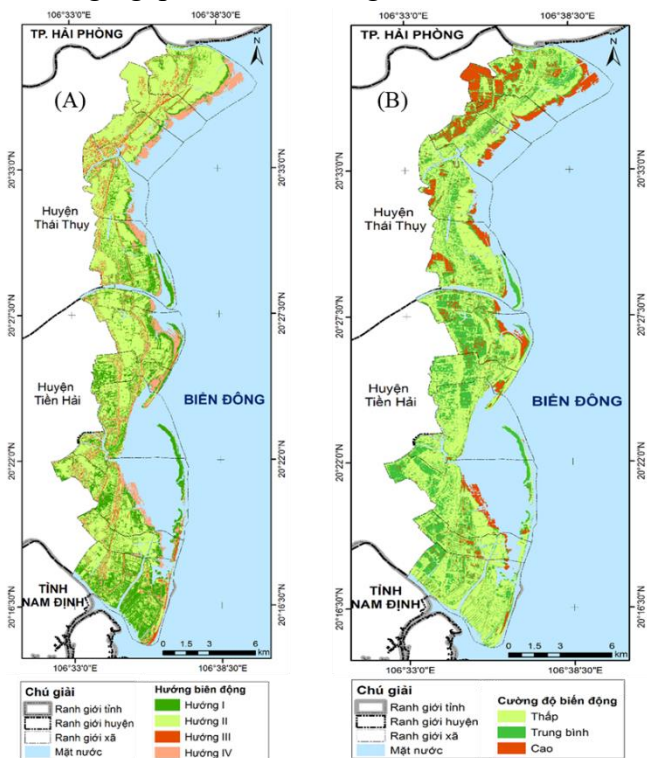
hướng phân bố của các pixel được biểu thị bằng mũi tên đỏ. Độ dốc của hàm tuyến tính là -2,333 năm 2015 (Hình 5a) và -1,454 năm 2023 (Hình 5b) cho thấy tương quan nghịch giữa hai thành phần. Sự tương quan nghịch là minh chứng cho thấy việc sử dụng hai chỉ số NDVI và BI phù hợp cho phát hiện rõ các thay đổi lớp phủ dựa trên véc tơ biến động, và là cơ sở xây dựng các bản đồ đáng tin cậy về cường độ biến động và xu hướng biến động.



Hình 5. Tương quan giữa chỉ số NDVI và BI: (A) năm 2015 và (B) năm 2023.

Hình 5a thể hiện 4 hướng biến động của khu vực nghiên cứu ven biển Thái Bình trong giai đoạn 2015-2023. Hướng I cho thấy sự gia tăng của cả hai chỉ số BI và NDVI. Hướng này tập trung chủ yếu ở ven bờ gần khu vực nuôi trồng thủy hải sản, nơi tập trung của các cây ngập mặn, thực vật nước lợ xen lẫn với thủy sản và thực vật khác như rừng phi lao ven bờ biển. Hướng II là những khu vực có giá trị BI tăng và NDVI giảm. Đây là hướng có diện tích lớn nhất, tập trung chủ yếu ở diện tích đất trồng lúa. Ngoài ra, hướng này còn phân bố ở khu vực nuôi trồng thủy hải sản và một phần rừng ngập mặn nằm trong khu Bảo tồn thiên nhiên đất ngập nước ở phía trong, giáp đất liền. Kiểu thay đổi ở hướng II thể hiện rõ nhất ở việc chuyển đổi diện tích từ đất nông nghiệp sang khu công nghiệp, xây dựng các tuyến đường và mở rộng thêm diện tích đất ở. Sự suy giảm cả hai giá trị NDVI và BI thuộc về hướng III, bao gồm phần diện tích đất trống là những bãi bồi, bãi cát nằm ở phía ngoài bờ biển. Hướng IV, được xác định bằng sự gia tăng NDVI và suy giảm của BI. Hướng này nằm trọn trong phần diện tích rừng ngập mặn ngoài bờ biển. Bên cạnh đó, một phần nhỏ của hướng IV nằm xen kẽ trong khu vực dân cư. Sự phân bố của hướng IV sẽ được thảo luận chi tiết hơn khi tích hợp với các dữ liệu khác như bản đồ lớp phủ và bản đồ cường độ thay đổi trong các phân tích tiếp theo.

Bản đồ cường độ biến động lớp phủ của dải ven biển tỉnh Thái Bình giai đoạn 2015-2023 được thể hiện ở Hình 6B. Cường độ biến động thấp thể hiện sự



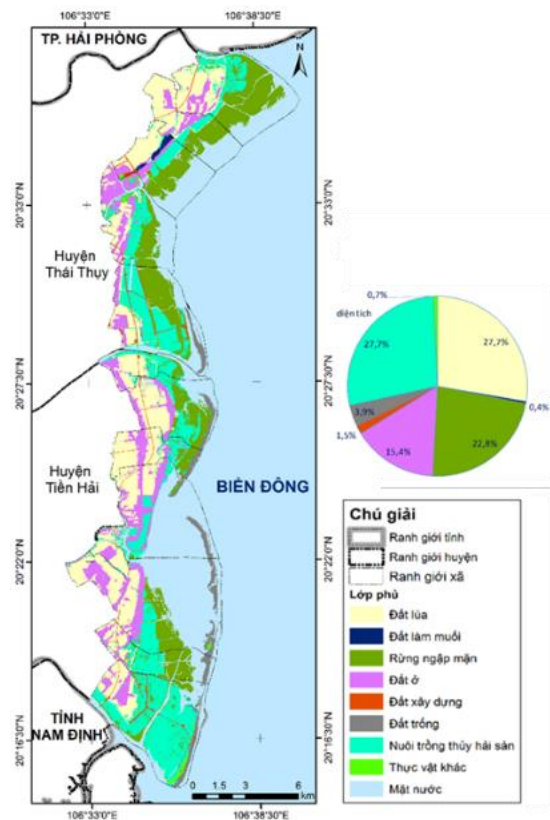
Hình 6. Bản đồ (A) hướng biến động, (B) cường độ biến động xây dựng bằng phương pháp CVA cho ảnh Sentinel-2 giai đoạn 2015-2023.

thay đổi phản xạ phổ ở mức rất nhỏ trong giai đoạn 2015-2023. Mức độ này không đủ mạnh để chỉ ra sự biến động của các loại lớp phủ đất. Do đó, cường độ biến động thấp bao trùm hầu hết toàn bộ khu vực nghiên cứu, bao gồm vùng nuôi trồng thủy hải sản, diện tích rừng ngập mặn trong Khu bảo tồn và khu vực trồng lúa. Cường độ biến động trung bình cho thấy sự chuyển đổi giữa các loại lớp phủ đất có đặc tính vật lý tương tự nhau. Ví dụ như chuyển đổi từ trồng lúa sang đất trồng cây hàng năm, cây lâu năm. Ngoài ra, mức độ thay đổi này còn phân bố thành từng lô nhỏ nằm rải rác trong khu vực nuôi trồng thủy hải sản và sự mở rộng của những bãi bồi nằm dọc theo những doi cát ngoài bờ biển. Cường độ biến động cao chỉ ra sự thay thế một lớp này bằng các lớp khác có đặc điểm vật lý khác nhau như sự mở rộng của diện tích rừng ngập mặn phía ngoài bờ biển hay chuyển đổi từ đất trồng lúa sang đất xây dựng hoặc đất trồng thay thế bằng thảm thực vật khác và ngược lại. Như vậy, cường độ biến động cao ở dải ven biển Thái Bình tập trung chủ yếu là vùng diện tích rừng ngập mặn được trồng bổ xung. Trong khi ở vùng đất nông nghiệp thì biến động cao chủ yếu là do thời điểm chụp ảnh lệch nhau nên có sự khác biệt giữa thời điểm đất lúa đã thu hoạch và chưa thu hoạch.

3.2. Bản đồ lớp phủ đất và đánh giá độ chính xác

Hình 7 thể hiện bản đồ 9 loại lớp phủ ven biển tỉnh Thái Bình được thành lập từ kết quả phân loại ảnh Sentinel-2 ngày 01/11/2023. Trong đó, diện tích đất trồng lúa và đất nuôi trồng thủy hải sản là tương đương nhau, đều đạt 27,7%. Tiếp đến là diện tích rừng ngập mặn: 22,8%, đất ở là 15,4%. Diện tích đất xây dựng chiếm 1,5%. Bên cạnh đó, vùng ven biển của tỉnh còn được đặc trưng bởi diện tích đất làm muối chiếm 0,4%, tập trung ở khu vực huyện Thái Thụy. Ngoài ra, diện tích đất trồng là các bãi bồi ven biển chiếm 3,9% gồm những doi cát, bãi triều nổi lên mặt nước tại thời điểm chụp ảnh.

Để kiểm chứng độ chính xác của bản đồ lớp phủ thành lập từ ảnh Sentinel-2, chúng tôi sử dụng 46 điểm khảo sát thực địa là nguồn dữ liệu chuẩn để tham khảo. Bảng 2 trình bày kết quả độ chính xác cho người sử dụng bản đồ và độ chính xác của nhà sản xuất theo từng loại lớp phủ khác nhau. Trong đó, độ chính xác tổng thể trên toàn khu vực là 78,3%. Độ chính xác người dùng cao nhất là 100% ở các lớp đất làm muối, rừng ngập mặn và đất ở. Độ chính xác thấp nhất là lớp đất trồng với 40%. Đây là loại lớp phủ rất dễ bị nhầm lẫn với phần đất trống ở trong khu vực dân cư, những bãi cỏ hoặc những ô nuôi trồng thủy hải sản bị cạn nước. Tương tự khu vực đất trống, đất thực vật khác có độ chính xác người dùng không cao với 50%. Đất thực vật khác thường là đất trồng cây hoa màu và thực vật trong khu dân cư, do đó lớp phủ này có sự biến động nhanh giữa thời điểm chụp ảnh và thời điểm khảo sát thực địa. Sự biến động giữa hai thời điểm làm giảm độ chính xác phân loại lớp phủ. Tuy nhiên, lớp đất trống và đất thực vật khác có diện tích rất ít, phân bố rải rác nên sai số của hai lớp phủ này ảnh hưởng không đáng kể đến độ chính xác chung của kết quả phân loại. Nhìn chung, bản đồ lớp phủ được thành lập với độ chính xác phù hợp với nhu cầu đánh giá tương quan với các trạng thái biến động.



Hình 7. Bản đồ lớp phủ từ kết quả phân loại ảnh Sentinel-2 ngày 01/11/2023.

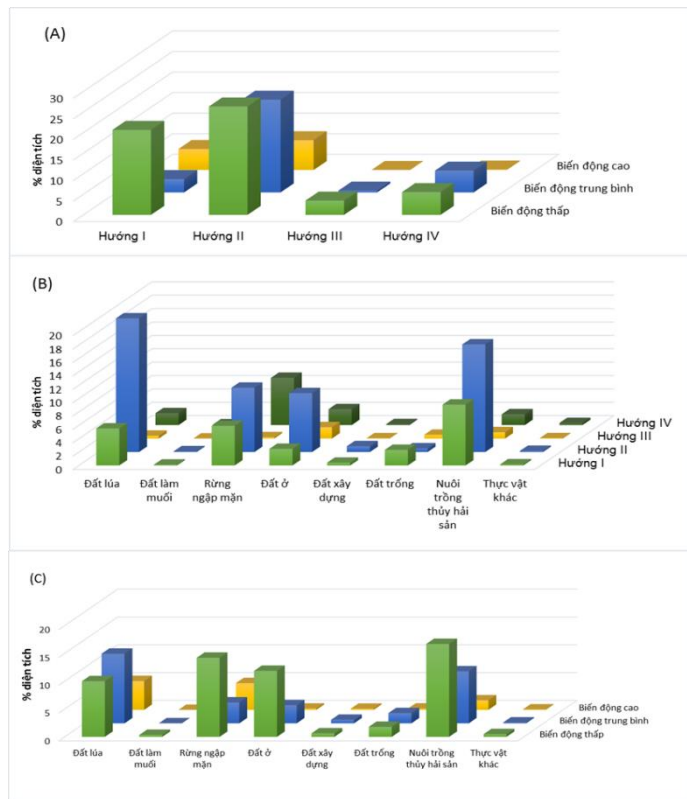
Bảng 2. Độ chính xác của bản đồ lớp phủ năm 2023.

Lớp phủ	Đất lúa	Đất làm muối	Rừng ngập mặn	Đất ở	Đất xây dựng	Đất trồng	Nuôi thủy hải sản	Mặt nước	Thực vật khác	Tổng	Độ chính xác người dùng (%)
Đất lúa	7	0	0	1	0	0	0	0	0	8	87,5
Đất làm muối	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	100,0
Rừng ngập mặn	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6	100,0
Đất ở	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	100,0
Đất xây dựng	0	0	0	1	3	0	0	0	0	4	75,0
Đất trồng	0	0	0	1	0	2	1	0	1	5	40,0
Nuôi thủy hải sản	0	0	1	0	0	0	6	0	0	7	85,7
Mặt nước	0	0	0	0	0	0	1	2	0	3	66,7
Thực vật khác	1	0	0	0	1	1	0	0	3	6	50,0
Tổng	8	2	7	8	4	3	8	2	4	46	
Độ chính xác nhà sản xuất (%)	87,5	100,0	85,7	62,5	75,0	66,7	75,0	100,0	75,0		78,3

3.3 Sự thay đổi theo thời gian của phản xạ phổ và các loại lớp phủ

Bản đồ các loại lớp phủ được chồng xếp với bản đồ cường độ và xu hướng biến động cung cấp thông tin chi tiết về biến động lớp phủ của khu vực các xã ven biển tỉnh Thái Bình giai đoạn 2015-2023. Hình 8A biểu thị tương quan về tỷ lệ diện tích giữa cường độ biến động và xu hướng biến động. Trong đó, sự biến động tập trung chủ yếu vào hai hướng I và II. Đây là hai hướng đều liên quan đến sự gia tăng của chỉ số BI. Cụ thể, hướng II chiếm nhiều nhất với 4.206 ha (chiếm 26,35%) và hướng I chiếm 3.295 ha (20,64%), tập trung chủ yếu ở mức cường độ biến động thấp. Đối chiếu với Hình 8C, cường độ biến động thấp này có diện tích lớn nhất là ở khu vực nuôi trồng thủy hải sản (16,69%), tiếp đến là rừng ngập mặn 14,21%. Cường độ biến động trung bình tập trung nhiều nhất theo hướng II với 22,55%. Trong đó, diện tích đất lúa theo hướng II chiếm tỷ trọng lớn nhất 3.190 (19,98%), thứ hai là nuôi trồng thủy hải sản với 2.566 ha (16,07%), tiếp đến là rừng ngập mặn 9,6% (Hình 8B).

Cường độ biến động cao chiếm diện tích ít nhất với 12% tổng diện tích, tập trung chủ yếu ở đất lúa với 5,18%, ở rừng ngập mặn là 4,81% (Hình 8C) và gần như không xuất hiện ở các loại lớp phủ khác. Khu vực đất trồng lúa có cường độ biến động cao có thể giải thích do sự khác biệt về thời điểm chụp ảnh, mặc dù cùng mùa nhưng khác giai đoạn sinh trưởng của cây lúa. Ảnh chụp vào tháng 8 năm 2015 là thời điểm ruộng lúa đã cấy xong và đang phát triển, trong khi ảnh chụp tháng 11 năm 2023 là thời điểm vụ lúa mùa đã được



Hình 8. Tỷ lệ diện tích của (A) cường độ biến động và hướng biến động, (B) các loại lớp phủ và hướng biến động, và (C) các loại lớp phủ và cường độ biến động.

thu hoạch, phần đất nông nghiệp này được để trống. Chính vì vậy, giá trị của chỉ số NDVI giảm mạnh và BI tăng ở vùng đất lúa, hay nói cách khác cường độ biến động cao ở hướng II trên diện tích đất lúa là do sự khác biệt trạng thái sinh trưởng của cây lúa.

Trong giai đoạn 2015-2023, biến động của hướng III rất ít chỉ chiếm 3,93%, gần như không có xuất hiện ở mức độ biến động trung bình và biến động cao. Hướng III xuất hiện trong Hình 6A là rất ít dải dài hẹp sát mép nước và gần cửa sông, tương ứng với diện tích rất nhỏ thực vật bị xói lở phá hủy thành mặt nước. Trong khi ở hướng IV, sự gia tăng của chỉ số NDVI và sự suy giảm chỉ số BI đáng kể cho thấy sự gia tăng của diện tích rừng ngập mặn với 1.125 ha chiếm 7,5% (Hình 8B). Sự mở rộng đáng kể rừng ngập mặn cũng được thể hiện trên Hình 6A với phần lớn diện tích hướng IV tập trung ngoài rìa vùng đất liền sát mép nước ven biển.

Các kết quả phân tích định lượng được quan hệ giữa cường độ biến động, xu hướng biến động và các loại lớp phủ đất. Trong đó, quá trình biến động được thể hiện phức tạp nhất ở cường độ biến động trung bình với hướng gia tăng chỉ số BI và giảm chỉ số thực vật NDVI. Biến động này tập trung vào các loại lớp phủ đất trồng lúa, khu vực nuôi trồng thủy, hải sản và rừng ngập mặn. Kết quả cho thấy bản chất của sự thay đổi được thể hiện rõ nét thông qua những thay đổi đặc trưng vật lý của lớp phủ đất.

3.4. Thảo luận

Phương pháp phân tích véc tơ biến động (CVA) dựa trên sự thay đổi bức xạ là một cách tiếp cận hiệu quả để khai thác những thông tin biến động. Trong đó, sự biến động được phân tích dựa trên sự thay đổi của hai thành phần là cường độ biến động và hướng biến động. Tuy nhiên, khó khăn liên quan đến việc xác định các ngưỡng thay đổi là biểu hiện của biến động có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của việc áp dụng phương pháp CVA. Nghiên cứu [7] đã đề cập rằng những thay đổi bức xạ của ảnh thu được ở hai thời điểm có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố thay đổi theo thời gian như góc mặt trời, độ ẩm đất, điều kiện khí quyển khác nhau, và trạng thái thực vật. Những yếu tố biến đổi nhanh chóng này có thể góp phần làm sai số của kết quả lớn hơn so với sự thay đổi phản xạ phổ xác định bằng phương pháp CVA. Để giảm thiểu sai số do sự thay đổi theo thời gian, cần phải sử dụng cặp ảnh vệ tinh thu được ở các điều kiện tương tự nhau. Nghiên cứu này sử dụng hai ảnh thu được vào cùng mùa canh tác nhưng khác tháng là 10/08/2015 và 01/11/2023. Tháng 8 là thời điểm vụ lúa mùa đã được gieo trồng, còn tháng 11 lúa đã được thu hoạch, đất nông nghiệp để trống. Như vậy, trạng thái của lớp đất lúa khác nhau, điều này làm cho khu vực đất nông nghiệp có cường độ biến động lớn, khi giá trị NDVI giảm đi rất nhiều vào thời điểm tháng 11/2023. Do đó, phân tích sự biến động diện tích trên đất lúa ở khu vực các xã ven biển Thái Bình cần phải bổ sung thêm những thông tin khác về lịch nông vụ, giống lúa, đặc điểm sinh trưởng. Ngoài ra, hai cặp ảnh Sentinel-2 mặc dù đều là những vệ tinh giống nhau, cùng phương pháp hiệu chỉnh ảnh hưởng của khí quyển, cùng độ phân giải không gian nhưng ảnh Sentinel-2A và Sentinel-2B có quỹ đạo chụp lệch nhau và bước sóng trung tâm của các kênh ảnh tương ứng không hoàn toàn đồng nhất. Điều này cũng tác động đến những thay đổi bức xạ của đối tượng mà bộ cảm biến vệ tinh thu nhận được. Sự khác biệt về cảm biến, thời gian chụp ảnh trong nghiên cứu này là ví dụ cho một số hạn chế nội tại khi áp dụng phương pháp CVA. Do đó, để áp dụng được phương pháp CVA hiệu quả nhất thì nên sử dụng cặp ảnh vệ tinh có cùng cảm biến và có cùng đặc điểm về thời gian chụp ảnh trong năm. Với khu vực ven biển ảnh hưởng bởi thủy triều, có khí hậu nhiệt đới như khu thực nghiệm, việc thu nhận cặp ảnh như mong muốn là rất khó thực hiện. Do đó, giải pháp kết hợp CVA với bản đồ phân loại lớp phủ sẽ cung cấp thông tin lớp phủ cho đánh giá rõ hơn hệ quả của biến động phổ đến các lớp phủ. Sự nhiễu thông tin do ảnh hưởng của sự khác biệt mùa vụ tại các thời điểm chụp ảnh sẽ được giảm thiểu khi kết hợp CVA và bản đồ phân loại lớp phủ.

Trong bốn xu hướng biến động, hướng III và IV là đặc trưng của biến động cho khu vực ven biển. Hướng III xác định bởi sự suy giảm đồng thời của NDVI và BI, phân bố tập trung

theo các giải hẹp sát mực nước biển (Hình 6A). Các dải hẹp sát cửa sông Hồng này trên thực tế đang bị xói lở rất mạnh do xâm thực. Trong những năm 2015, các dải đất này là khu vực bãi cát, trồng phi lao đã trưởng thành, phản xạ mạnh ở các kênh Nir, Swir với giá trị NDVI và BI cao. Tuy nhiên, khu vực này đã bị xói lở năm 2023, trở thành các bãi triều có độ ẩm cao, hấp thụ phần lớn phổ ở các kênh Nir, Swir. Sự suy giảm giá trị phản xạ phổ ở các kênh Nir, Swir là nguyên nhân của sự suy giảm trên cả NDVI và BI bắt nguồn từ quá trình xói lở bờ biển. Hướng biến động IV là khu vực có sự gia tăng về NDVI nhưng suy giảm giá trị BI, tập trung thành những vùng lớn sát mép nước (Hình 6A). Vùng này hoàn toàn trùng khớp với rừng ngập mặn (Hình 7), là minh chứng cho sự chuyển đổi từ đất bãi bồi thành lớp phủ thực vật với sự gia tăng đáng kể của chỉ số NDVI. Hướng biến động I cũng thể hiện rõ sự bồi tụ của các doi cát ven biển (Hình 6A). Sự biến đổi từ mặt nước biển thành cồn cát đã gia tăng đáng kể phản xạ phổ trong toàn giải quang phổ nhìn thấy và hồng ngoại sóng ngắn gây ra sự tăng lên đồng thời của NDVI và BI trong giai đoạn 2015-2023. Ứng dụng phương pháp CVA kết hợp với phân loại lớp phủ cho đánh giá biến động lớp phủ khu vực ven biển là một giải pháp phù hợp. Một trong những hạn chế của phương pháp CVA là khó trả lời chính xác được biến động từ lớp phủ cụ thể này thành lớp phủ khác. Do đó, mặc dù nhận định được nguyên nhân vật lý của biến động, phương pháp sẽ không đưa ra được con số cụ thể về diện tích biến động của mỗi loại lớp phủ trong khu vực.

Trong mô tả phương pháp, CVA có thể áp dụng cho đa dạng số lượng dải phổ, thậm chí có thể sử dụng cho một tỷ lệ bức xạ bất kỳ [9]. Tuy nhiên, việc sử dụng với nhiều kênh phổ có thể gây nhầm lẫn và khó phân biệt các loại thay đổi khi phân tích hướng biến động. Số lượng kênh phổ của ảnh càng nhiều thì việc phân tích hướng biến động càng phức tạp, đặc biệt với khu vực có đa dạng các loại lớp phủ khác nhau. Có ba phương án [7] được phát triển để giảm thiểu ảnh hưởng của vấn đề này bao gồm: sử dụng hàm lượng giác của góc véc tơ hai chiều [9]; sử dụng phương pháp phân tích thành phần chính với dữ liệu đa không gian và chụp ảnh đa thời gian [4]; và mã hóa các yếu tố theo nhiều hơn hai hướng phổ [15]. Trong nghiên cứu này, phương pháp mã hóa được sử dụng để phân chia thay đổi phổ thành 4 hướng. Mỗi hướng đại diện cho một kiểu biến động tương ứng với mỗi tương quan của hai chỉ số NDVI và BI. Hướng biến động này là cơ sở vật lý cho việc giải thích và xác định nguyên nhân biến động lớp phủ.

Một trong những khó khăn khi áp dụng phương pháp CVA là xác định các ngưỡng thích hợp để phân biệt các pixel có cường độ biến động phản ánh thực tế biến động lớp phủ. Không có phương pháp tự động hay bán tự động nào có thể xác định ngưỡng chính xác bởi các điều kiện về sinh thái và đặc điểm phổ thay đổi liên tục sẽ ảnh hưởng tới việc chọn ngưỡng biến động. Nghiên cứu [16] đã chỉ ra rằng, giá trị ngưỡng biến động thấp có thể làm tăng độ chính xác phát hiện biến động ở những khu vực có diện tích nhỏ nhưng đa dạng về đối tượng, tuy nhiên giá trị ngưỡng biến động cao lại dễ dàng xác định các biến động cho các loại lớp phủ đồng nhất trên một diện tích lớn. Do đó, đối với một khu vực nghiên cứu cụ thể, việc xác định các ngưỡng biến động cũng cần tham khảo kiến thức chuyên gia [17]. Nghiên cứu này xác định ngưỡng biến động dựa trên độ lệch chuẩn của ảnh cường độ biến động kết hợp với kiến thức về sự lớp phủ tại khu vực ven biển. Kết quả phân tích đã chứng minh tính hiệu quả của tích hợp CVA và phân loại ảnh cho một khu vực nhỏ như dải ven biển Thái Bình. Tuy nhiên, đối với khu vực quy mô lớn, như ở cấp vùng, cấp quốc gia với sự đa dạng về lớp phủ, việc sử dụng phương pháp CVA cho đánh giá biến động cần được nghiên cứu kỹ lưỡng.

4. Kết luận

Phương pháp phân tích véc tơ biến động (CVA) áp dụng với hai thành phần gồm chỉ số NDVI và BI là cách tiếp cận hiệu quả để phát hiện trạng thái biến động lớp phủ đất. Phương pháp này không chỉ khai thác yếu tố về cường độ mà còn khai thác cả yếu tố về xu hướng của biến động, phản ánh chính xác bản chất vật lý trong nghiên cứu biến động lớp phủ từ dữ liệu viễn thám. Kết quả chứng minh phương pháp CVA áp dụng cho ảnh Sentinel-2 phù hợp

để phân tích sâu về biến động lớp phủ ở khu vực dải ven biển tỉnh Thái Bình trong giai đoạn 2015-2023. Vị trí, tính chất của xói lở, bồi tụ và biến động rừng ngập mặn được chỉ ra bởi phương pháp CVA. Tuy nhiên, để chỉ ra được đặc trưng của các biến động, cần kết hợp kiến thức về đặc điểm của khu vực thực nghiệm và đặc trưng phản xạ phổ của mỗi đối tượng bề mặt. Sự biến đổi của các yếu tố môi trường theo thời gian, bộ cảm biến chụp ảnh vệ tinh cũng như các quá trình xử lý hình học, xử lý bức xạ của ảnh quang học sẽ ảnh hưởng đến khả năng ứng dụng của CVA. Sự thành công của nghiên cứu chứng minh khả năng kết hợp phương pháp CVA với phương pháp phân loại ảnh sẽ giảm ảnh hưởng do sự khác biệt về mùa giữa hai lần chụp ảnh mà vẫn khai thác thông tin về bản chất biến động của lớp phủ đất. Áp dụng phương pháp CVA cho dữ liệu radar để giảm thiểu ảnh hưởng của khí quyển hứa hẹn là giải pháp cho theo dõi sự phát triển của thực vật, đánh giá biến động khu vực ven biển trong điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa như Việt Nam trong tương lai.

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

Lời cam đoan: Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của riêng 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 về quyền tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Ansari, A.; Golabi, M.H. Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment for desert wetlands – A case study: Meighan Wetland, Iran. *Int. Soil Water Conserv. Res.* **2019**, *7(1)*, 64–70.
2. Dewi, R.; Bijker, W.; Stein, A. Change vector analysis to monitor the changes in fuzzy shorelines. *Remote Sens.* **2017**, *9(2)*, 147.
3. Chen, G.; Hay, G.J.; Carvalho, L.M.T.; Wulder, M.A. Object-based change detection. *Int. J. Remote Sens.* **2012**, *33(14)*, 4434–4457.
4. Lambin, E.F.; a.A.H.S. Change vector analysis in multi-temporal space: A tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal-resolution satellite data. *Remote Sens. Environ.* **1994**, *48*, 231–244.
5. Polykretis, C.; Grillakis, M.; Alexakis, D. Exploring the impact of various spectral indices on land cover change detection using change vector analysis: a case study of Crete Island, Greece. *Remote Sens.* **2020**, *12(2)*, 319.
6. Ding, Y.; Lunetta, C.D.E.A.R.S. Survey of multispectral methods for land cover change analysis. *Remote Sens. Change Detect. Environ. Monit. Methods Appl.* **1998**, *2*, 22–23.
7. Chen, J.; Gong, C.H.P.; Pu, R.; Chungyang, H. Land-use/land-cover change detection using improved change-vector analysis. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* **2003**, *69(4)*, 369–379.
8. Molina, I.; Martinez, E.; Arquero, A.; Pajares, G.; Sanchez, J. Evaluation of a change detection methodology by means of binary thresholding algorithms and informational fusion processes. *Sensors* **2012**, *12(3)*, 3528–3561.
9. Malila, W.A. An Approach for detecting forest changes with Landsat, in LARS Symposia. Purdue University: Lafayette, IN, USA, 1980, pp. 385–397.
10. Landmann, T.; Schramm, M.; Huettich, C.; Dech, S. MODIS-based change vector analysis for assessing wetland dynamics in Southern Africa. *Remote Sens. Lett.* **2012**, *4(2)*, 104–113.
11. He, C.; Wei, A.; Shi, P.; Zhang, Q.; Zhao, Y. Detecting land-use/land-cover change in rural–urban fringe areas using extended change-vector analysis. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2011**, *13(4)*, 572–585.
12. Richardson A.; a.C.W. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* **1977**, 1522–1541.

13. Rouse J.W.; Haas, J.A.S. R.H.; Deering, D.W.; Harla, J.C. Monitoring the vernal advancement retrogradation (Green Wave Effect) of natural vegetation. USANASA/GFSC, 1974, pp. 1–8.
14. Jamalabad, M.; Abkar, A. Forest canopy density monitoring, using satellite images. Proceeding of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B8. Beijing, 2008, pp. 1127–1130.
15. Virag, L.A.; Colwell, J.E. An improved procedure for analysis of change in Thematic Mapper image-pairs. Proceeding of the International Symposium on Remote Sensing Environment, 21st, Ann Arbor, 26-30 October, Ann Arbor, Michigan, 1987, MI, pp. 1101-1110.
16. Baker, C.; Lawrence, R.L.; Montagne, C.; Patten, D. Change detection of wetland ecosystems using Landsat image and change vector analysis. *Wetland* **2007**, 27(3), 610–619.
17. Jano, A.P.; Jeffries, A.R.F.R.R.L. The detection of vegetational change by multitemporal analysis of Landsat data: The effects of goose foraging. *J. Ecol.* **1998**, 86, 93–99.
18. Tong, S.S.; Pham, T.L.; Long, N. Q.; Le, T.T.H.; Trinh, L.H.; Cao, X.C.; Ahmad, A.; Tong, T.H.A. The study of land cover change using change vector approach integrated with unsupervised classification method: a case in Duy Tien (Vietnam). *Geogr. Environ. Sustainability* **2020**, 13(2), 175–184.
19. Saha, S., Bovolo, F.; Bruzzone, L. Unsupervised deep change vector analysis for multiple-change detection in VHR images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **2019**, 57(6), 3677–3693.
20. Zhuang, H.; Deng, K.; Fan, H.; Yu, M. Strategies combining spectral angle mapper and change vector analysis to unsupervised change detection in multispectral images. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* **2016**, 13(5), 681–685.
21. Thonfeld, F., Feilhauer, H.; Braun, M.; Menz, G. Robust Change Vector Analysis (RCVA) for multi-sensor very high resolution optical satellite data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2016**, 50, 131–140.
22. Bruzzone, L.; Prieto, D.F. Automatic analysis of the difference image for unsupervised change detection. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **2000**, 38(3), 1171–1182.
23. ZhiYong, L.; Wang, F.; Xie, L.; Sun, W.; Falco, N.; Benediktsson, J.A. ; You, Z. Diagnostic analysis on change vector analysis methods for LCCD using remote sensing images. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* **2021**, 14, 10199–10212.
24. Johnson, R.D.; Kasischke, E.S. Change vector analysis: A technique for the multispectral monitoring of land cover and condition. *Int. J. Remote Sens.* **1998**, 19(3), 411–426.
25. Vorovencii, I. Applying the change vector analysis technique to assess the desertification risk in the south-west of Romania in the period 1984–2011. *Environ. Monit. Assess.* **2017**, 189(10), 524.
26. Akkartal A.; Sunar, F. Land cover change assessment in Belek forest based on change vector analysis. *Remote Sens. Changing Europe.* **2009**, 571–577.

Application of the change vector analysis method for investigating land cover changes in coastal areas

Si Son Tong^{1*}

¹ University of Science and Technology Ha Noi (USTH), Vietnam Academy of Science and Technology (VAST), Hanoi, Viet Nam; tongson@gmail.com

Abstract: Change Vector Analysis (CVA) is a method integrating spectral reflectance differences from the land surface over time in remote sensing imagery to effectively investigate changes. CVA allows for the quantitative assessment of both the magnitude and direction of changes, providing valuable insights into the dynamics of landcovers. This study employs CVA for a pair of Sentinel-2 images acquired in 2015 and 2023 to explore landcover changes along the coastal expanse of Thai Binh province. The magnitude and orientation of changes are quantified through the examination of variations in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Brightness Index (BI). Subsequently, the change components are evaluated in conjunction with information of 9 landcover types in the study area to determine the relationship between landcovers and the components. The results show that a high magnitude of changes concentrates in direction IV, characterized by an increase in NDVI and a reduction in BI, indicative of the mangrove expansion. Direction III indicates the declines in both BI and NDVI, representing the coastal erosion along the Red River estuarine. Moreover, the formation of new sand bars is specified by direction I, where both NDVI and BI exhibit increments. This study proves the ability of integrating CVA and image classification for investigating landcover changes in the coastal area with a minimized seasonal effect caused by different times of image acquisitions.

Keywords: CVA method; Landcover change; Change magnitude; Change orientation; Coastal area.

Bài báo khoa học

Đánh giá mức độ và xu thế biến đổi mưa thành phố Hà Nội dựa trên dữ liệu mưa từ vệ tinh CHIRPS

Nguyễn Thị Bích Ngọc¹, Trần Văn Tinh^{1*}

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội; ntbngoc@hunre.edu.vn;
tvtinh@hunre.edu.vn.

*Tác giả liên hệ: tvtinh@hunre.edu.vn; Tel.: +84-977177618

Ban biên tập nhận bài: 30/6/2024; Ngày phản biện xong: 12/8/2024; Ngày đăng bài: 25/1/2025

Tóm tắt: Nghiên cứu so sánh và đánh giá chất lượng dữ liệu mưa vệ tinh *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS) với dữ liệu mưa ngày, tháng, mùa và năm tại 4 trạm khí tượng ở Hà Nội trong giai đoạn 1981-2023 thông qua các chỉ tiêu thống kê như khả năng nhận diện ngưỡng mưa, tổng lượng mưa và hệ số tương quan... Kết quả đánh giá về lượng mưa cho thấy, tương quan giữa mưa vệ tinh và mưa quan trắc ở thời đoạn tháng là tốt ($R > 0,8$), tuy giảm hơn ở thời đoạn năm và mùa (R từ 0,57-0,8) nhưng vẫn ở mức trung bình trở lên. Tương quan lượng mưa ngày không cao ($R < 0,4$), mưa vệ tinh mới chỉ phản ánh hiện tượng mưa với tỉ lệ dự báo đúng (PC) từ 0,65-0,68. Bài báo cũng đánh giá mức độ và xu thế biến đổi lượng mưa bằng phương pháp Mann-Kendall và Sen's slope, kết quả lượng mưa hàng năm và mưa mùa tại Hà Nội khá ổn định và tăng nhẹ, nhưng không đạt ý nghĩa thống kê. Trong năm, tháng VII và IX có lượng mưa tăng đáng kể. Đặc biệt tháng VIII, lượng mưa tăng đến 1,99 mm/năm, đạt mức ý nghĩa thống kê ($\alpha = 0,1$). Xu thế biến đổi không gian của lượng mưa vệ tinh tại Hà Nội biến đổi đồng đều nhưng giá trị biến đổi khác nhau theo khu vực.

Từ khóa: Hà Nội; Mưa vệ tinh; CHIRPS; Mann-Kendall; Xu thế mưa.

1. Mở đầu

Trong chu trình thủy văn toàn cầu, mưa là quá trình vô cùng quan trọng, ảnh hưởng mạnh mẽ đến sự phân bố theo không gian và thời gian của tài nguyên nước [1]. Mưa đóng vai trò là cầu nối của quá trình tương tác khí quyển với bề mặt trái đất. Dữ liệu mưa rất thiết yếu trong công tác quy hoạch, quản lý tài nguyên nước và giảm nhẹ thiên tai như lũ quét, lũ lụt, hạn hán...[2-4]. Vì vậy, dữ liệu mưa luôn là một trong những dữ liệu quan trọng được đo đạc trong mạng lưới quan trắc Khí tượng Thủy văn (KTTV) quốc gia. Theo Quyết định phê duyệt Quy hoạch mạng lưới trạm KTTV quốc gia thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050, tính đến năm 2024 trên toàn bộ lãnh thổ Việt Nam có 1835 trạm đo dữ liệu mưa bao gồm các trạm KTTV, trạm hải dương và 871 điểm đo mưa tự động độc lập [5]. Tuy nhiên, các trạm quan trắc mưa phân bố không đều, một số khu vực miền núi và hải đảo không có hoặc có rất ít trạm quan trắc mưa. Ngoài ra, trong nghiên cứu, đôi khi gặp phải vấn đề là số lượng trạm quan trắc mưa không đủ bao phủ toàn bộ khu vực nghiên cứu, đặc biệt là ở những khu vực nằm ngoài lãnh thổ Việt Nam, việc thu thập dữ liệu quan trắc mưa gặp rất nhiều khó khăn. Bên cạnh đó, dữ liệu mưa thời đoạn ngắn chủ yếu chỉ có tại các trạm Khí tượng cấp I, do đó, việc thu thập số liệu đầu vào cho các mô hình mô phỏng thủy văn, biến đổi khí hậu và môi trường đôi khi không đầy đủ. Chính những nguyên nhân này dẫn đến những hạn chế ảnh hưởng đến khả năng, chất lượng phỏng và dự báo hiện nay [4, 6]. Để khắc phục hạn chế này, việc bổ sung số liệu từ các sản phẩm dữ liệu mưa không gian, như mưa được mô phỏng từ

các mô hình khí hậu, mưa radar, mưa vệ tinh đã và đang được sử dụng rộng rãi nhằm cung cấp thêm thông tin về sự thay đổi lượng mưa, cường độ mưa theo không gian và thời gian. Dữ liệu mưa vệ tinh thể hiện dưới dạng mưa lưới có độ bao phủ rộng, đã giúp khắc phục phần nào hạn chế của dữ liệu mưa quan trắc tại trạm đo mưa trên mặt đất. Mặc dù vậy, dữ liệu mưa vệ tinh vẫn tiềm ẩn nhiều sai số [1, 7], và độ chính xác của nó cũng không đồng nhất giữa các khu vực cũng như loại số liệu mưa vệ tinh lựa chọn [4, 6, 8, 9]. Do đó, việc sử dụng cần được lựa chọn và đánh giá một cách cẩn trọng.

Hiện nay, các dữ liệu mưa vệ tinh nguồn mở tương đối phong phú và phổ biến, bao gồm: *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)*, *Global Precipitation Measurement (GPM)*, *Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP)*, *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS)*, ... Những dữ liệu lượng mưa này cũng có độ phân giải về không gian và thời gian khác nhau. Vệ tinh TRMM với nhiệm vụ đo lượng mưa vừa và lớn ở vùng nhiệt đới với thời đoạn 12 giờ. Mưa vệ tinh quốc tế GPM cung cấp số liệu quan trắc mưa và tuyết toàn cầu với độ phân giải thời gian 3 giờ [10]. Dữ liệu bản đồ lượng mưa toàn cầu GSMaP được xử lý đồng bộ dựa trên radar đo mưa và bức xạ hồng ngoại trên vệ tinh địa tĩnh, có độ phân giải không gian là 0,1 độ và độ phân giải thời gian là 1 giờ [11]. CHIRPS là sản phẩm kết hợp giữa dữ liệu từ các trạm Khí tượng quan sát theo thời gian thực và dữ liệu vệ tinh hồng ngoại để ước tính lượng mưa toàn cầu. Đây là bộ dữ liệu mưa ngày độ bao phủ gần như toàn cầu, với độ phân giải không gian 0,05 độ (~5 km) [12], CHIRPS là một trong những dữ liệu mưa vệ tinh có độ phân giải cao và đã được đánh giá tại nhiều quốc gia như Ethiopia [13, 14], Italy [15], Kenya [16], Trung Andes của Argentina [17], Pakistan [18] và Trung Quốc đại lục [19]. Những nghiên cứu [8, 20] đã chỉ ra rằng với thời đoạn mưa ngày, mưa tháng và mưa năm dữ liệu mưa lưới CHIRPS nhìn chung vượt trội hơn so với các sản phẩm mưa vệ tinh nguồn mở khác về độ phân giải không gian, độ chính xác và độ dài chuỗi số liệu.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu đánh giá chất lượng và ứng dụng mưa vệ tinh cũng đã được thực hiện trên các quy mô khác nhau, chẳng hạn như khu vực miền Trung [21], tỉnh Ninh Thuận, Bình Thuận [22], thành phố Hà Tĩnh [23] và đặc biệt chủ yếu theo phạm vi lưu vực sông. Điển hình là lưu vực sông Mê Kông, trong đó dữ liệu mưa vệ tinh đã được sử dụng để dự báo lũ từ Chiang saen đến Stung Treng [24, 25]. Nghiên cứu [26] đã đánh giá lượng mưa và cân bằng nước theo lưới trên lưu vực sông Mê Kông. Nghiên cứu [27] sử dụng mưa vệ tinh mô phỏng dòng chảy lưu vực sông Srepok. Các nghiên cứu đánh giá sản phẩm mưa vệ tinh lưu vực sông Mã [4], lưu vực sông Cả [6, 8].

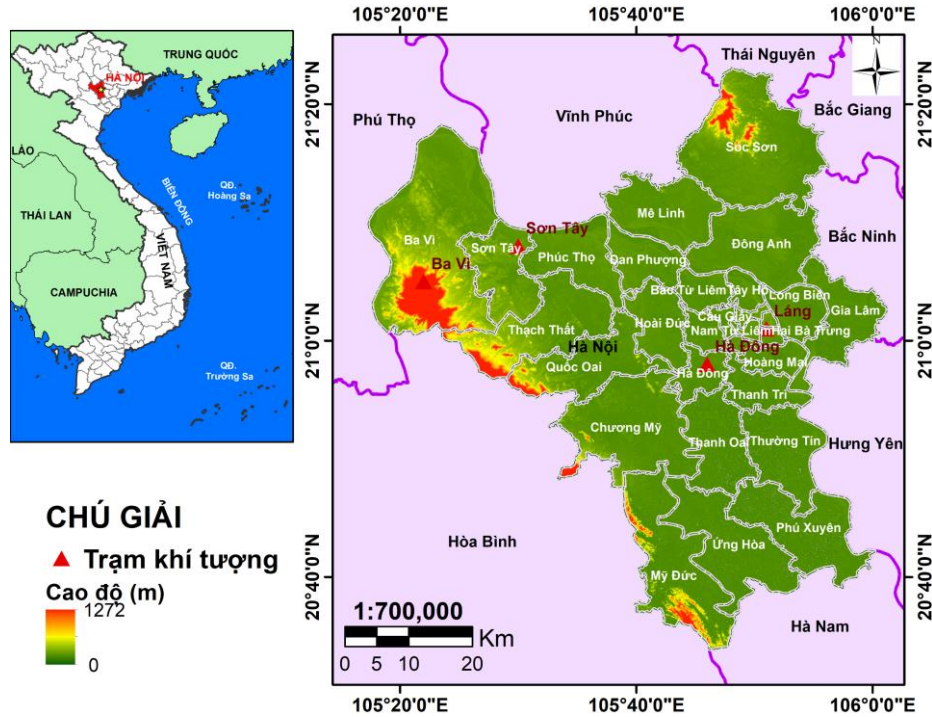
Dựa trên các nghiên cứu trong nước và quốc tế đã chỉ ra sự vượt trội của mưa vệ tinh CHIRPS so với các dữ liệu mưa lưới nguồn mở khác, bài báo này lựa chọn sử dụng dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS để đánh giá xu thế biến đổi lượng mưa tại khu vực thành phố Hà Nội. Để đạt được mục tiêu đã đề ra, nghiên cứu tập trung vào hai nội dung chính: (1) Đánh giá và so sánh chất lượng mưa vệ tinh CHIRPS trên khu vực nghiên cứu dựa vào số liệu mưa quan trắc tại các trạm khí tượng mặt đất; (2) Sử dụng mưa vệ tinh CHIRPS đánh giá mức độ và xu thế biến đổi lượng mưa tại thành phố Hà Nội trong giai đoạn 1981-2023.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Hà Nội là trung tâm chính trị, kinh tế, văn hóa và giáo dục của nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam, đồng thời là thủ đô của cả nước. Thành phố này gồm 30 đơn vị hành chính cấp huyện, bao gồm 12 quận, 17 huyện và 01 thị xã, với diện tích là 3.359,82 km² [28], dân số 8,4 triệu người [29], Hà Nội là thành phố lớn nhất Việt Nam. Thành phố có vị trí địa lý nằm ở phía Tây Bắc của trung tâm vùng đồng bằng châu thổ sông Hồng, trong phạm vi từ 20°34' đến 21°18' vĩ độ Bắc và từ 105°17' đến 106°02' kinh độ Đông (Hình 1) [30]. Khí hậu của thành phố mang đặc điểm khí hậu nhiệt đới gió mùa, với mùa hè nóng ẩm và mưa nhiều, trong khi mùa đông lạnh và ít mưa. Mùa mưa kéo dài từ tháng V đến tháng IX hoặc tháng X

hàng năm, chiếm khoảng 80% lượng mưa tổng lượng mưa năm. Tháng VII và tháng VIII là tháng có lượng mưa và số ngày mưa lớn nhất trong năm [31]. Do ảnh hưởng của địa hình, lượng mưa phân bố không đều trên toàn bộ thành phố.



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

2.2.1. Dữ liệu mưa vệ tinh

Như đã trình bày ở trên, nghiên cứu này đánh giá mức độ và xu thế biến đổi lượng mưa của thành phố Hà Nội dựa trên số liệu mưa từ vệ tinh CHIRPS. Bộ dữ liệu này được cung cấp dạng nguồn mở bởi các nhà khoa học của Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS) kết hợp với nhóm nghiên cứu Khí hậu nguy hiểm tại Đại học California (CHC). Đây là bộ dữ liệu mưa cung cấp theo thời đoạn ngày, với độ phân giải không gian 0,05 độ [12]. Người dùng có thể truy cập số liệu mưa tại địa chỉ <https://www.chc.uc-sb.edu/data/chirps>. Trong bài báo này sử dụng bộ dữ liệu mưa vệ tinh giai đoạn 1981-2023 trên nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine (GEE), được truy cập tại: https://developers.google.com/earth-engine/data-sets/catalog/UCSBCHG_CHIRPS_DAILY. Thành phố Hà Nội được chia tương ứng thành 116 ô lưới. Thông tin về dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông tin về số liệu mưa từ vệ tinh CHIRPS.

Tên	Độ phân giải	Thời đoạn	Chuỗi số liệu	Tổ chức	Vệ tinh liên quan
CHIRPS	0,05°	1 ngày, 5 ngày	1981 - nay	Mạng lưới Hệ thống cảnh báo sớm nạn đói của USAID (FEWS NET).	NOAA, RFE2, TARGAT, TRMM

2.2.2. Dữ liệu mưa thực đo

Dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS đã được công bố với chuỗi số liệu từ năm 1981 đến nay. Trong nghiên cứu này, dữ liệu mưa theo thời đoạn ngày tại 4 trạm khí tượng, bao gồm Láng, Hà Đông, Ba Vi và Sơn Tây giai đoạn 1981-2023, được sử dụng để đánh giá, so sánh. Số liệu thực đo thời đoạn ngày được sử dụng để làm cơ sở để đánh giá độ chính xác của dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS tại khu vực thành phố Hà Nội. Tọa độ vị trí các trạm được thể hiện trong hình 1 và bảng 2.

Bảng 2. Thông tin các trạm khí tượng sử dụng trong nghiên cứu.

STT	Tên trạm	Kinh độ	Vĩ độ
1	Láng	105,85	21,02
2	Hà Đông	105,77	20,77
3	Ba Vì	105,4	21,08
4	Sơn Tây	105,5	21,13

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp đánh giá, so sánh dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS

Nghiên cứu này sử dụng các chỉ số thống kê bao gồm hệ số tương quan (R), sai số quân phương (RMSE), sai số tuyệt đối trung bình (MAE) và độ lệch BIAS để đánh giá lượng mưa ước tính từ vệ tinh CHIRPS. Ngoài ra, nghiên cứu cũng đánh giá khả năng phát hiện sự kiện có mưa theo dữ liệu mưa ngày thông qua sử dụng ba chỉ số thống kê là: tỉ lệ dự báo đúng (PC), tỉ lệ dự báo thành công (CSI), tỷ lệ cảnh báo không (FAR) [1, 6] và sự kiện mưa vừa theo hai chỉ số CSI và FAR. Bảng 3 trình bày công thức, ý nghĩa và giá trị tốt nhất của các chỉ số thống kê được sử dụng để đánh giá độ chính xác của dữ liệu mưa vệ tinh dựa trên dữ liệu mưa quan trắc tại các trạm Khí tượng.

Bảng 3. Các chỉ số thống kê sử dụng để đánh giá mưa vệ tinh CHIRPS.

Chỉ số đánh giá	Đơn vị	Công thức	Ý nghĩa	Giá trị tốt nhất
Hệ số tương quan R	-	$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{td} - \bar{X}_{td})(X_{vt} - \bar{X}_{vt})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{td} - \bar{X}_{td})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{vt} - \bar{X}_{vt})^2}}$	Phản ánh mối tương quan giữa mưa thực đo và mưa vệ tinh	1
Sai số quân phương RMSE	mm	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{vt} - X_{td})^2}{n}}$	Đánh giá sự khác biệt trung bình giữa mưa thực đo và mưa vệ tinh	0
Sai số tuyệt đối trung bình MAE	mm	$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n X_{vt} - X_{td} }{n}$	Phản ánh giá trị sai số của ước tính trung bình	0
Độ lệch BIAS	%	$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n X_{vt} - X_{td} }{\sum_{i=1}^n X_{td}}$	Xu hướng lệch giữa mưa vệ tinh so với dữ liệu mưa quan trắc BIAS dương: mưa vệ tinh có xu hướng cao hơn mưa quan trắc. BIAS âm: mưa vệ tinh có xu hướng thấp hơn mưa quan trắc.	0
Tỉ lệ dự báo đúng PC	-	$PC = \frac{H+N}{H+M+F+N}$	Tỉ lệ dự báo đúng sự kiện mà mưa vệ tinh dự báo đúng	1
Tỉ lệ cảnh báo không FAR	-	$FAR = \frac{F}{H+F}$	Mô tả sự kiện có mưa được sản phẩm phát hiện nhưng không được quan sát	0
Tỉ lệ thành công CSI	-	$CSI = \frac{H}{H+M+F}$	Tỉ lệ sự kiện có mưa thực tế được phát hiện chính xác bởi các sản phẩm vệ tinh	1

Chú thích: X_{td} là giá trị lượng mưa quan trắc tại trạm; X_{vt} là giá trị lượng mưa vệ tinh CHIRPS tại ô lưới vị trí trạm quan trắc; H là tổng số lần phát hiện đúng ngưỡng mưa; M là tổng số lần cảnh báo mưa sai ngưỡng (cảnh báo không); F là tổng số lần không phát hiện được ngưỡng mưa (cảnh báo sót); N là tổng số lần sản phẩm vệ tinh ước tính chính xác không có hiện tượng mưa giống như kết quả quan trắc mưa tại trạm.

2.3.2. Phương pháp đánh giá xu thế biến đổi mưa

Các đặc trưng thống kê được sử dụng để đánh giá mức độ biến đổi của lượng mưa thành phố Hà Nội bao gồm: giá trị nhỏ nhất (min), giá trị lớn nhất (max), giá trị trung bình (μ), độ lệch chuẩn σ , hệ số biến thiên C_v [32, 33]. Nghiên cứu áp dụng phương pháp kiểm định phi tham số Mann Kendall [34, 35] và phương pháp xu thế Sen (Sen's slope) [36] đánh giá xu thế biến đổi lượng mưa hàng năm, theo mùa và theo tháng.

a) Giá trị nhỏ nhất (min), lớn nhất (max)

Min và max lần lượt là giá trị nhỏ nhất, lớn nhất của chuỗi số liệu mưa vệ tinh của các thời đoạn tháng, mùa hoặc năm tính trên toàn thành phố Hà Nội.

b) Giá trị trung bình (μ)

Giá trị trung bình của mưa vệ tinh các thời đoạn tháng, mùa hoặc năm được tính bằng tổng các giá trị lượng mưa trong chuỗi số liệu tương ứng chia cho số lượng các giá trị. μ được xác định theo công thức (1):

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

Trong đó X_i là lượng mưa vệ tinh năm thứ i của thời đoạn tháng, mùa hoặc năm, n là số năm tính toán.

c) Độ lệch chuẩn σ

Độ lệch chuẩn là chỉ số đo mức độ phân tán của chuỗi số mưa và được tính bằng căn bậc hai của phương sai. σ được tính theo công thức:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{n}} \quad (2)$$

d) Hệ số biến thiên C_v

Nghiên cứu này sử dụng hệ số biến thiên (C_v) để đánh giá độ phân tán của tất cả các điểm dữ liệu mưa so với giá trị trung bình của sự biến đổi lượng mưa. Hệ số biến thiên càng cao cho thấy mức độ biến đổi lượng mưa càng lớn [37], C_v được tính bằng công thức (3):

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \times 100 \quad (3)$$

Theo [38] mức độ biến động khí hậu thay đổi có thể được phân loại thành các cấp gồm: rất cao ($C_v > 40\%$), cao ($30\% < C_v < 40\%$), vừa phải ($20\% < C_v < 30\%$) và thấp ($C_v < 20\%$).

d) Kiểm định Mann-Kendall (M-K)

Kiểm định phi tham số M-K được sử dụng để nhận dạng và đánh giá xu hướng biến đổi của chuỗi số liệu mưa, nhiệt độ, dòng chảy theo thời gian. Đối với chuỗi số liệu theo trình tự thời gian x_1, x_2, \dots, x_N (biểu diễn N giá trị số liệu). Tại mỗi một thời điểm thì mỗi giá trị dữ liệu được so sánh với các giá trị trên toàn chuỗi thời gian [39].

Trị số S được xác định theo công thức sau:

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sign}(x_j - x_i) \quad (4)$$

$$\text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } x_j - x_i > 0 \\ 0 & \text{nếu } x_j - x_i = 0 \\ -1 & \text{nếu } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó x_j và x_i là giá trị lượng mưa trong năm j và i .

Giá trị ban đầu của trị số S tương ứng với việc không tồn tại xu hướng (hay $S = 0$), trong khi đó, giá trị của trị số S dương cho thấy một xu hướng tăng và ngược lại, giá trị của trị số S âm tương ứng với một xu thế giảm [40]. Mức ý nghĩa của một xu hướng (tăng hoặc giảm) được xác định thông qua giá trị chuẩn của S (kí hiệu là Z). Giá trị chuẩn của S được tính theo phương trình (6):

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{nếu } S > 0 \\ 0 & \text{nếu } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{nếu } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Phương sai của S (Var(S)) được tính theo công thức (7) [41]:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^m t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (7)$$

Trong đó, m là số các nhóm mà trong mỗi nhóm có các giá trị số liệu giống nhau, t_p là số các điểm số liệu trong nhóm thứ p.

Giá trị của Z được xác định dựa trên giả thuyết về phân bố chuẩn, với giá trị trung bình bằng 0 và phương sai bằng 1. Giá trị Z dùng để kiểm định xem chuỗi số liệu có xu hướng hay không, với mức ý nghĩa được xác định cho trước (trong nghiên cứu này, mức ý nghĩa α được chọn là 0,1).

e) Xu thế biến đổi Sen's slope [35,42]

Để xác định độ lớn của xu hướng trong chuỗi số liệu mưa X (hay còn gọi là độ dốc đường xu thế), ta sử dụng ước lượng Sen. X là trung vị (median) của chuỗi $n(n-1)/2$ phần tử, được tính theo công thức (8):

$$X = \text{median} \left\{ \frac{X_j - X_i}{j - i} \right\} \text{ với } i=1,2,\dots, n-1; j>i \quad (8)$$

Trong đó $X > 0$ mưa xu thế tăng và ngược lại.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phân tích đánh giá dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS

3.1.1. Đánh giá, so sánh dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS theo ngày

a) Đánh giá khả năng phát hiện mưa và mưa vừa trở lên

Nghiên cứu sử dụng các chỉ số PC, FAR và CSI để đánh giá khả năng phát hiện sự kiện có mưa và không có mưa ứng với ngưỡng 0,1 mm/ngày. Ngoài ra, dựa trên phân bố mưa tại các trạm ở Hà Nội, nghiên cứu cũng đánh giá khả năng phát hiện mưa vừa với ngưỡng giá trị 15 mm/ngày, sử dụng hai chỉ số FAR và CSI trong giai đoạn 1981-2023. Bảng 4 thống kê kết quả các chỉ số đánh giá số liệu mưa theo vệ tinh CHIRPS so với số liệu mưa ngày quan trắc tại 4 trạm: Láng, Hà Đông, Ba Vì và Sơn Tây.

Kết quả đánh giá khả năng phát hiện các ngưỡng mưa của mưa vệ tinh CHIRPS tại 4 trạm có sự tương đồng khá cao. Các chỉ số đánh giá với ngưỡng khả năng xuất hiện mưa (0,1 mm/ngày) tốt hơn so với ngưỡng phát hiện mưa vừa trở lên (> 15 mm/ngày). Tỷ lệ cảnh báo không của dữ liệu mưa vệ tinh còn khá cao; đối với ngưỡng phát hiện mưa, FAR trên 0,3 và với ngưỡng phát hiện mưa vừa trở lên, tỷ lệ cảnh báo sai còn lớn hơn, FAR tại các trạm đều trên 0,4. Chỉ số dự báo thành công CSI với ngưỡng mưa vừa tại các trạm chỉ đạt trên 0,2. Mặc dù chỉ số CSI cho việc phát hiện đúng sự kiện mưa chỉ khoảng 0,33 - 0,34, tỷ lệ dự báo đúng PC tại các trạm đều đạt mức khá, nằm trong khoảng 0,65 - 0,68. Kết quả đánh giá tại thành phố Hà Nội này tương tự như nghiên cứu [8] đánh giá cho lưu vực sông Cả.

b) Đánh giá lượng mưa ngày

Kết quả đánh giá và so sánh lượng mưa hàng ngày của vệ tinh CHIRPS và lượng mưa ngày quan trắc được trình bày trong bảng 4, thông qua các chỉ số R, RMSE, MAE và BIAS. Hệ số tương quan R cho mưa ngày đạt mức tương quan trung bình, nằm trong khoảng 0,34-0,36. Sai số tuyệt đối trung bình (MAE) đều trên 5 mm và sai số quân phương (RMSE) dao

động từ 14,7 đến 15,2 mm. Chỉ số độ lệch (BIAs) cho thấy mưa CHIRPS không biến động nhiều, nhưng vẫn có xu hướng thấp hơn so với mưa quan trắc tại trạm lượng mưa. Đặc biệt, tại trạm Ba Vì, dữ liệu mưa vệ tinh có sai số lớn nhất, với lượng mưa ngày có xu hướng thiên hơn so với thực đo (BIAs = -13,42).

Bảng 4. Các chỉ số đánh giá lượng mưa CHIRPS với số liệu mưa quan trắc theo ngày.

STT	Tên trạm	R	RMSE (mm)	MAE (mm)	BIAs	PC	FAR		CSI	
							Phát hiện mưa	Phát hiện mưa vừa	Phát hiện mưa	Phát hiện mưa vừa
1	Láng	0,36	14,7	5,8	-1,69	0,68	0,37	0,45	0,34	0,22
2	Hà Đông	0,34	14,9	5,8	0,94	0,67	0,36	0,45	0,34	0,21
3	Ba Vì	0,35	15,2	6,2	-13,42	0,65	0,36	0,43	0,33	0,21
4	Sơn Tây	0,36	14,9	6,1	2,18	0,67	0,36	0,46	0,34	0,22

Qua kết quả phân tích, có thể thấy rằng chuỗi số liệu mưa hàng ngày của CHIRPS mới chỉ phản ánh một phần các hiện tượng có mưa và không có mưa và sai số về lượng mưa hàng ngày là khá lớn. Mức độ tương quan lượng mưa ngày giữa lượng mưa vệ tinh CHIRPS và mưa quan trắc tại trạm vẫn còn thấp. Nguyên nhân của sự sai khác này có thể do sự khác biệt trong mức độ đại diện về không gian của từng nguồn dữ liệu mưa. Trong khi dữ liệu mưa từ trạm đo đại diện cho khu vực xung quanh trạm đó, dữ liệu mưa từ CHIRPS cung cấp thông tin với độ phân giải 0,05 độ.

3.1.2. Đánh giá, so sánh dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS theo tháng

Lượng mưa hàng tháng được xác định bằng tổng lượng mưa ngày từ dữ liệu CHIRPS trong từng tháng. Để đánh giá dữ liệu mưa tháng nghiên cứu xây dựng biểu đồ tương quan lượng mưa tháng thực đo tại 4 trạm và số liệu mưa vệ tinh CHIRPS. Biểu đồ này dựa trên 43 năm dữ liệu (1981-2023), với mỗi trạm có 516 dữ liệu tháng.

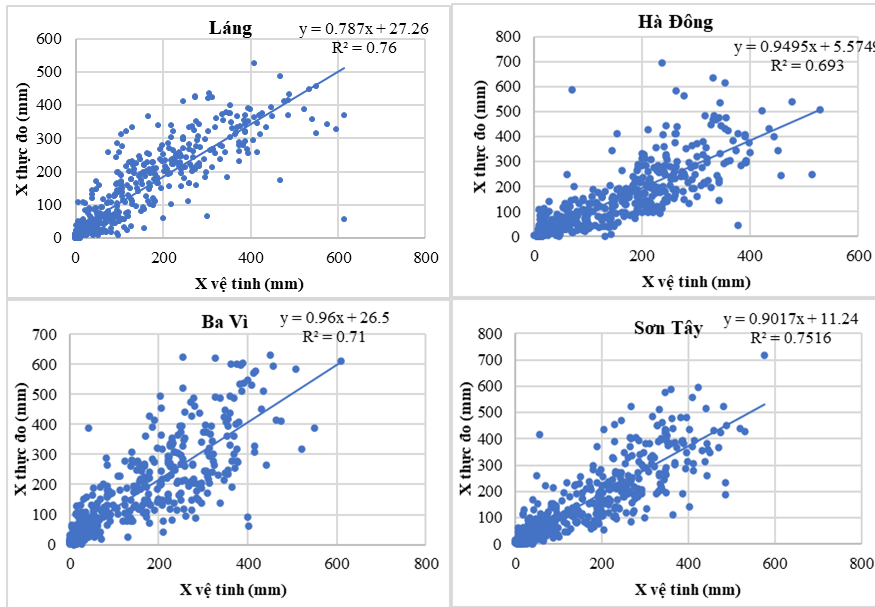
Bảng 5. Các chỉ số đánh giá lượng mưa CHIRPS với số liệu mưa quan trắc theo tháng.

STT	Tên trạm	R	RMSE (mm)	MAE (mm)	BIAs
1	Láng	0,87	67,1	42,1	-1,69
2	Hà Đông	0,83	74,6	46,1	0,94
3	Ba Vì	0,84	83,3	56,8	-13,42
4	Sơn Tây	0,87	70,6	46,8	2,18

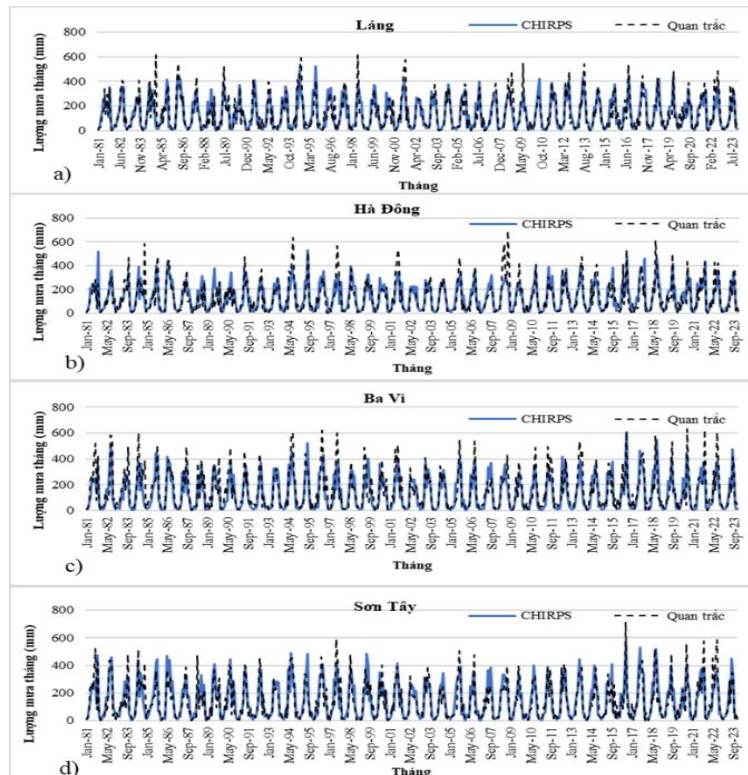
Hình 2 và bảng 5 cho thấy mức độ tương quan giữa lượng mưa tháng từ quan trắc và dữ liệu mưa vệ tinh cao hơn đáng kể so với khi đánh giá tương quan mưa ngày. Theo [43], điều này có thể là do những sai số trong giá trị hàng ngày được bù đắp khi tổng hợp thành giá trị hàng tháng. Kết quả hệ số tương quan R các trạm đều lớn hơn 0,8, thể hiện sự tương quan tốt giữa lượng mưa tháng của CHIRPS và mưa tháng quan trắc tại các trạm. Chỉ số BIAs của lượng mưa tháng cũng cho kết quả tương tự như với mưa ngày. Giá trị sai số tuyệt đối trung bình (MAE) của các trạm nằm trong khoảng 42-57 mm/tháng và sai số quân phương (RMSE) biến đổi từ 70,6 đến 83,3 mm/tháng (Bảng 5).

Theo hình 3, biểu đồ so sánh lượng mưa tháng giữa dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS và mưa quan trắc cho thấy rằng lượng mưa tháng được tính từ dữ liệu vệ tinh CHIRPS phản ánh khá chính xác quá trình biến đổi mưa tháng, đặc biệt trong mùa khô và thời kỳ đầu cũng như cuối mùa mưa. Dạng đường quá trình diễn biến lượng mưa hàng tháng của hai nguồn dữ liệu tương đối sát nhau cả về lượng và hình dạng đường. Tuy nhiên, chi riêng trong giai đoạn giữa mùa mưa, tháng VII và VIII có lượng mưa lớn, thì mưa vệ tinh lại có xu hướng thấp hơn so

với quan trắc. Nguyên nhân có thể do mưa vệ tinh khó phát hiện lượng mưa ban đầu bằng thuật toán [44].



Hình 2. Tương quan lượng mưa tháng tại các trạm đo với dữ liệu mưa CHIRPS.

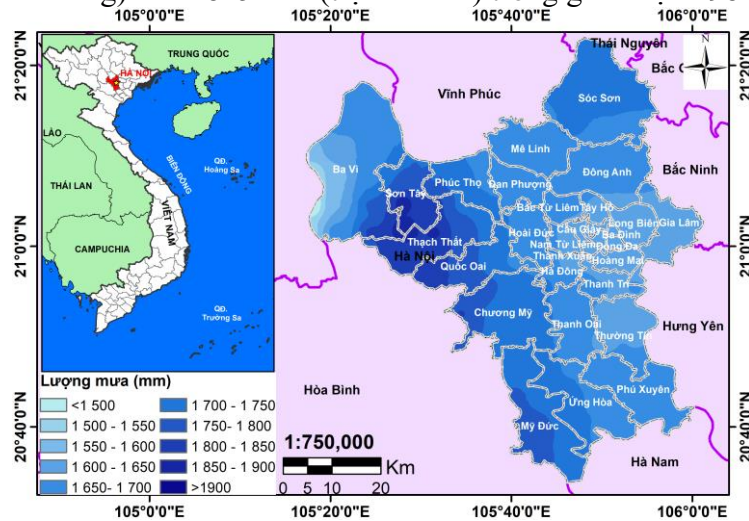


Hình 3. Biểu đồ lượng mưa tháng CHIRPS và thực đo giai đoạn 1981-2023.

3.1.3. Đánh giá, so sánh dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS theo năm và mùa

Hình 4 thể hiện phân bố lượng mưa năm của dữ liệu mưa CHIRPS khu vực Hà Nội. Trên bản đồ, lượng mưa được thể hiện bằng thang màu xanh lam, với độ đậm nhạt khác nhau: lượng mưa càng lớn thang màu càng đậm và ngược lại. Kết quả từ hình 4 cho thấy, sự phân bố không gian dữ liệu mưa có xu hướng thay đổi theo địa hình: khu vực đồng bằng lượng mưa năm thấp hơn, trong khi khu vực núi Sóc Sơn và núi Ba Vì có lượng mưa cao hơn, được

thể hiện rõ qua màu xanh lam đậm nổi bật trên bản đồ. Lượng mưa năm trung bình toàn thành phố biến đổi từ khoảng 1380 mm đến gần 2200 mm. Lượng mưa năm tính toán từ dữ liệu mưa vệ tinh khá phù hợp với lượng mưa năm trung bình quan trắc tại các trạm biến đổi từ 1608 mm (trạm Hà Đông) đến 1845 mm (trạm Ba Vì) trong giai đoạn 1981-2013.

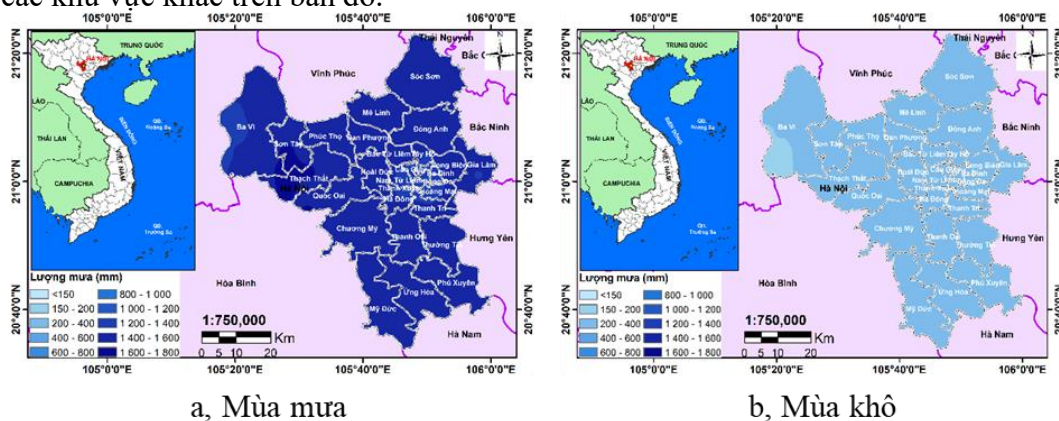


Hình 4. Phân bố không gian của tổng lượng mưa trung bình hàng năm ở khu vực Hà Nội trong giai đoạn 1981-2023 dựa trên cơ sở dữ liệu CHIRPS v2.0.

Bản đồ phân bố lượng mưa trong mùa mưa và mùa khô, được xây dựng dựa trên dữ liệu mưa CHIRPS tại khu vực Hà Nội (Hình 5), cho thấy sự khác biệt rõ rệt về lượng mưa giữa hai mùa. Với cùng một thang chia màu, bản đồ phân bố lượng mưa mùa mưa tại khu vực nghiên cứu có màu đậm hơn rõ rệt so với mùa khô.

Trên bản đồ hình 5a, tương tự như phân bố không gian của mưa hàng năm, trong mùa mưa, lượng mưa ở khu vực đồng bằng thấp hơn và tăng lên ở khu vực núi Sóc Sơn và Ba Vì. Lượng mưa trung bình trong mùa mưa trên toàn thành phố biến đổi trong khoảng 1240 mm đến 1660 mm, khá tương đồng với lượng mưa trung bình mùa mưa đo tại 4 trạm, từ 1420 mm đến 1620 mm. Đặc biệt, lượng mưa quan trắc trung bình mùa mưa tại trạm Ba Vì, nằm trên núi Ba Vì, là 1620 mm, gần bằng với lượng mưa lớn nhất trên bản đồ phân bố lượng mưa theo dữ liệu mưa CHIRPS.

Khác với mùa mưa, sự phân bố không gian lượng mưa trung bình trong mùa khô ít biến đổi, toàn thành phố gần như được thể hiện cùng một thang màu (Hình 5b). Lượng mưa trung bình trong mùa khô dao động trong từ 140 mm đến 270 mm. Khu vực có lượng mưa thấp nhất nằm ở phía tây thành phố, khuất sau dãy núi Ba Vì, được thể hiện qua màu nhạt hơn so với các khu vực khác trên bản đồ.



Hình 5. Phân bố không gian của tổng lượng mưa trung bình mùa khô, mùa mưa ở khu vực Hà Nội trong giai đoạn 1981-2023 dựa trên cơ sở dữ liệu CHIRPS v2.0.

Kết quả thống kê các chỉ số đánh giá lượng mưa của dữ liệu mưa CHIRPS so với lượng mưa quan trắc theo năm và theo mùa tại các trạm khí tượng được trình bày trong bảng 6.

Bảng 6. Các chỉ số đánh giá, so sánh lượng mưa CHIRPS với lượng mưa quan trắc theo năm và theo mùa.

Tên trạm	Năm				Mùa mưa				Mùa khô			
	R	RMSE (mm)	MAE (mm)	BIAs	R	RMSE (mm)	MAE (mm)	BIAs	R	RMSE (mm)	MAE (mm)	BIAs
Láng	0,67	241,1	193,5	-1,69	0,67	230,9	180,7	-1,69	0,68	146,9	93,7	-1,69
Hà Đông	0,62	336,0	250,8	0,94	0,58	332,2	245,2	0,94	0,61	162,6	112,7	0,94
Ba Vì	0,61	375,7	285,1	-13,42	0,57	314,8	221,3	13,42	0,80	234,3	197,9	13,42
Sơn Tây	0,68	234,4	191,6	2,18	0,63	230,5	187,8	2,18	0,76	135,5	96,2	2,18

Mặc dù hệ số tương quan mưa năm giữa mưa vệ tinh và mưa quan trắc đánh giá tại các trạm nhỏ hơn so với khi đánh giá mưa thời đoạn tháng nhưng hệ số tương quan đều đạt mức khá, R trên 0,6 (0,61-0,68). Sai số tuyệt đối trung bình MAE của lượng mưa năm tại các trạm biến đổi từ 193,5-285,1 mm/năm, trạm Ba Vì có sai số MAE lớn nhất (285,1 mm/năm, tương đương với 15,6% lượng mưa năm).

Trong 2 mùa, mùa khô mưa vệ tinh có kết quả tính toán tốt hơn, hệ số tương quan cao hơn rõ rệt (Bảng 6). Ở trạm Ba Vì hệ số R lượng mưa mùa khô giữa dữ liệu mưa CHIRPS với mưa quan trắc đạt kết quả rất cao là 0,8. Vào mùa mưa hệ số tương quan R đánh giá tại 4 trạm khí tượng so sánh với dữ liệu mưa CHIRPS chỉ đạt từ 0,57-0,67. Như đã đề cập trong nội dung đánh giá mưa tháng, lượng mưa các tháng giữa mùa mưa VII và VIII, mưa vệ tinh thường thiên nhỏ hơn so với mưa thực tế làm ảnh hưởng đến kết quả tính toán. Do vậy, khi sử dụng dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS để mô phỏng, tính toán trong thời kỳ mùa mưa cần chú ý đến đặc điểm này và có các phương pháp hiệu chỉnh phù hợp.

3.2. Mức độ và xu thế biến đổi lượng mưa thành phố Hà Nội

Dựa trên kết quả đánh giá sai số, dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS chỉ phản ánh chính xác lượng mưa thời đoạn tháng, mùa và năm. Với dữ liệu lượng mưa ngày, sai số giữa lượng mưa vệ tinh CHIRPS và mưa quan trắc lớn, mức độ tương quan không cao. Do đó, nghiên cứu chỉ sử dụng dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS để tính toán và đánh giá xu thế biến đổi mưa theo thời đoạn năm, mùa và tháng. Các kết quả đánh giá mức độ và xu thế biến đổi lượng mưa thành phố Hà Nội được trình bày như sau:

3.2.1. Mức độ biến đổi lượng mưa

Bảng 7 trình bày các đặc trưng thống kê tính trung bình trên 116 ô lưới cho Thành phố Hà Nội bao gồm các giá trị tối thiểu (min) và tối đa (max), giá trị trung bình, độ lệch chuẩn và hệ số biến đổi C_v của dữ liệu lượng mưa hàng năm, theo mùa và theo tháng của thành phố Hà Nội giai đoạn 1981-2023.

Lượng mưa hàng năm trung bình của thành phố Hà Nội là khoảng hơn 1960 mm, gần bằng với lượng mưa trung bình cả nước là 1990 mm [45]. Trong giai đoạn nghiên cứu, có sự biến đổi đáng kể về lượng mưa hàng năm với độ lệch chuẩn là 194,08 mm. Giá trị lượng mưa tối đa và tối thiểu hàng năm lần lượt ghi nhận là 2198,4 mm (2017) và 1383,9 mm (2009), khoảng biến thiên mưa năm lên đến hơn 800 mm. Hệ số biến thiên (C_v) của lượng mưa hàng năm tại thành phố Hà Nội là 0,115. Hệ số này khá thấp, cho thấy sự đồng đều và ổn định của lượng mưa hàng năm trong giai đoạn nghiên cứu. Mặc dù có sự thay đổi về lượng mưa từ năm này sang năm khác, nhưng mức độ biến động không quá lớn, cho thấy rằng lượng mưa hàng năm có xu hướng duy trì ở mức tương đối ổn định.

Ở khu vực nghiên cứu, lượng mưa thay đổi quanh năm và có sự khác biệt rõ rệt giữa mùa mưa và mùa khô. Lượng mưa mùa mưa trung bình 1466,2 mm chiếm 86,5% tổng lượng năm.

Độ lệch chuẩn của lượng mưa mùa mưa là 186,9 mm, cho thấy có sự thay đổi đáng kể giữa các năm, mặc dù sự thay đổi này không nhiều như lượng mưa hàng năm. Hệ số biến thiên (C_v) của lượng mưa mùa mưa khá thấp là 0,128, cho thấy lượng mưa mùa mưa có mức độ đồng đều cao. Tuy vậy, giá trị lớn nhất là 1978,4 mm (năm 2017), cao hơn giá trị trung bình hơn 500 mm. Giá trị tối thiểu 1157,6 mm (năm 2009), thấp hơn giá trị lượng mưa trung bình mùa mưa 308,6 mm. Chênh lệch giữa giá trị lượng mưa mùa mưa lớn nhất và nhỏ nhất lên đến 820,8 mm còn cao hơn khoảng lệch biến thiên mưa năm.

Bảng 7. Kết quả các đặc trưng thông kê biến đổi lượng mưa năm, mưa mùa và mưa tháng trung bình thành phố Hà Nội (1981-2023).

Thể loại mưa	Trung bình (mm)	Độ lệch chuẩn (mm)	C_v	Max (mm)	Min (mm)
Mưa năm	1693,3	194,1	0,115	2198,4	1383,9
Mùa mưa	1466,2	186,9	0,128	1978,4	1157,6
Mùa Khô	227,1	51,2	0,225	370,1	142,8
Tháng 1	10,8	9,1	0,868	46,7	0,7
Tháng 2	29,4	12	0,405	75,0	14,0
Tháng 3	44,8	25,7	0,575	135,5	12,5
Tháng 4	83,5	40,0	0,479	194,3	31,1
Tháng 5	242,7	73,8	0,305	499,0	122,9
Tháng 6	230,4	73,2	0,318	403,8	93,4
Tháng 7	312,7	80,7	0,259	486,5	152,0
Tháng 8	319,2	93,3	0,292	548,2	125,0
Tháng 9	230,6	92,8	0,402	427,2	67,4
Tháng 10	130,7	94,2	0,720	390,6	17,8
Tháng 11	41,1	27,1	0,662	126,5	10,4
Tháng 12	17,5	9,0	0,514	48,7	5,4

Mùa khô, kéo dài từ tháng XI đến tháng IV năm sau, có lượng mưa trung bình là 227,1 mm, chỉ chiếm 13,5% tổng lượng mưa hàng năm. Độ lệch chuẩn lượng mưa mùa khô là 51,2 mm và hệ số biến thiên (C_v) của lượng mưa mùa khô là 0,225, nằm trong khoảng từ 0,2 đến 0,3, như vậy mức độ biến động của lượng mưa mùa khô ở mức trung bình. Lượng mưa mùa khô có sự biến thiên tương đối lớn giữa các năm, giá trị lớn nhất là 370.1 mm, cao hơn giá trị trung bình gần 143 mm. Giá trị tối thiểu chỉ là 142,8 mm, thấp hơn giá trị trung bình mùa khô khoảng 84,3 mm. Chênh lệch giữa giá trị lượng mưa mùa khô lớn nhất và nhỏ nhất lên đến 227,3 mm.

Lượng mưa của các tháng trong năm biến đổi rất khác nhau. Các tháng trong mùa khô lượng mưa rất thấp và có sự biến động lớn cả về lượng mưa giữa các năm trong cùng một tháng và lượng mưa giữa các tháng trong năm. Trong cùng một tháng, tỉ lệ chênh lệch giữa lượng mưa tháng lớn nhất, nhỏ nhất so với lượng mưa trung bình tháng biến đổi từ 2 đến 4 lần. Lượng mưa trung bình tháng rất nhỏ, biến đổi từ 10,8 mm đến 83,5 mm. Trong đó, tháng I là tháng có lượng mưa nhỏ nhất và đây cũng là tháng có lượng mưa biến đổi hàng năm mạnh mẽ nhất, hệ số biến đổi C_v của tháng I lên đến 0,868. Các tháng còn lại trong mùa khô hệ số biến đổi C_v biến đổi đã giảm so với tháng I nhưng vẫn khá lớn. Tháng IV là tháng chuyển tiếp từ mùa khô sang mùa mưa, trong tháng sẽ xuất hiện những trận mưa đầu mùa làm gia tăng lượng mưa tháng.

Biến đổi lượng mưa trong các tháng mùa mưa ổn định hơn so với các tháng của mùa khô hệ số biến đổi C_v trong khoảng 0,25 đến 0,4. Tuy nhiên, chỉ có tháng X hệ số biến đổi C_v cao lên đến 0,72, vì đây là tháng chuyển tiếp từ mùa mưa sang mùa khô, dẫn đến sự khác biệt khá lớn về lượng mưa giữa các năm. Trong tháng X, biến đổi lượng mưa tháng giữa năm có lượng mưa lớn nhất và nhỏ nhất lên đến 373mm, gấp 2,85 lần giá trị lượng mưa trung bình của tháng trong giai đoạn nghiên cứu. Lượng mưa trung bình các tháng trong mùa mưa biến

đổi từ 130,7mm đến 319,2 mm. Hai tháng có lượng mưa lớn nhất trong năm là tháng VII và tháng VIII, lượng mưa hai tháng này chiếm gần 40% tổng lượng mưa năm.

Nhìn chung, kết quả tính toán cho thấy mức độ biến đổi lượng mưa trong thời kỳ mùa khô và thời kỳ chuyển tiếp từ mùa mưa sang mùa khô khá lớn. Vấn đề này đòi hỏi phải có các chiến lược quản lý và phân bổ nước hợp lý kết hợp với các biện pháp giảm nhẹ biến đổi khí hậu. Bên cạnh đó, cần xem xét lập kế hoạch dài hạn để đối phó với tình trạng khan hiếm nước tiềm ẩn và những thách thức nông nghiệp phát sinh từ những biến động về lượng mưa này.

3.2.2. Xu thế biến đổi lượng mưa

Bảng 8 trình bày kết quả phân tích xu hướng biến đổi mưa năm, mưa mùa và mưa tháng trong 43 năm (1981-2023) theo kiểm định phi tham số M-K (công thức (6)) và xu thế biến đổi Sen's slope (công thức (8)).

Bảng 8. Kết quả phân tích xu hướng lượng mưa hàng năm, theo mùa và theo tháng trung bình thành phố Hà Nội (1981-2023).

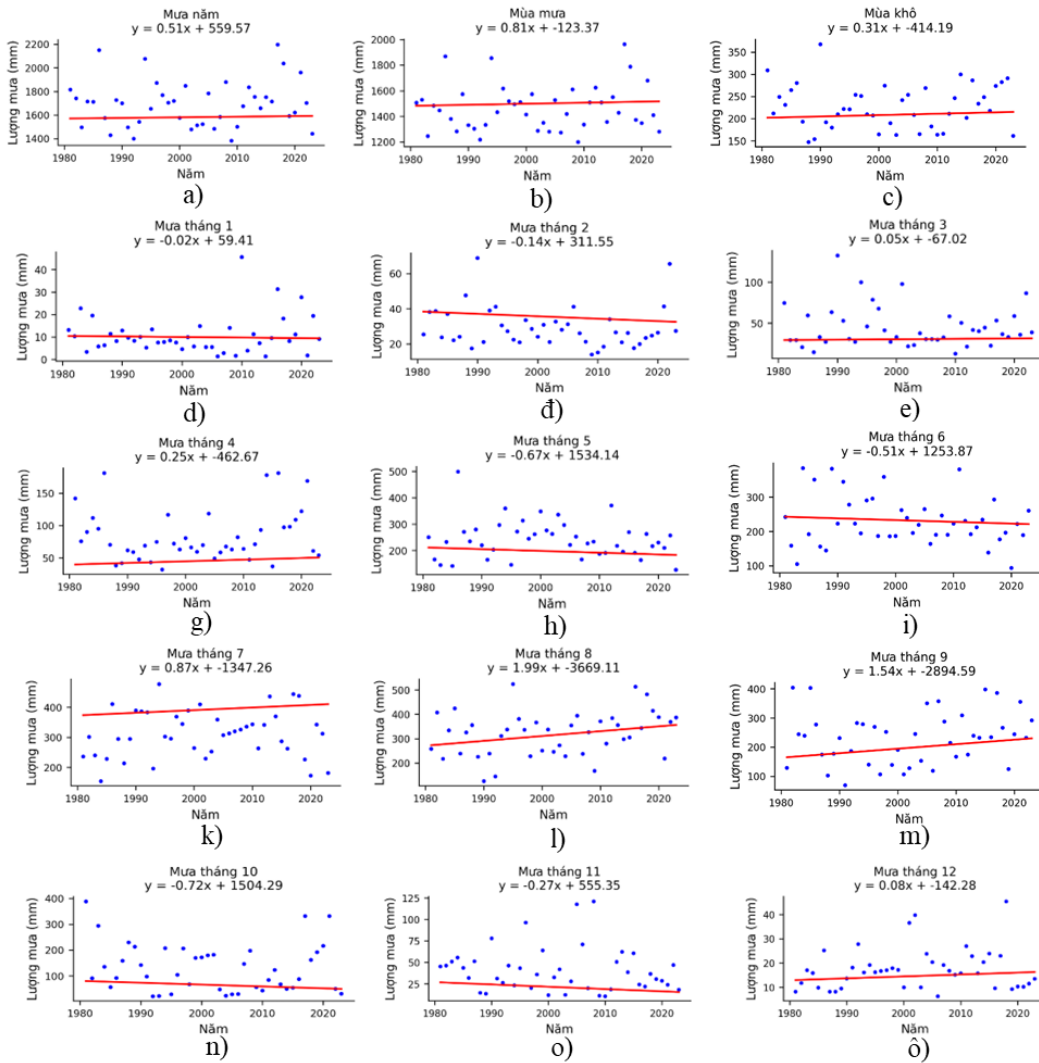
Mưa	alpha	p-value	M - K (Z)	Sen's Slope	Xu thế
Năm	0,1	0,79	0,27	0,51	Tăng
Mùa mưa	0,1	0,77	0,29	0,81	Tăng
Mùa khô	0,1	0,68	0,42	0,31	Tăng
Tháng 1	0,1	0,69	-0,40	-0,02	Giảm
Tháng 2	0,1	0,27	-1,11	-0,14	Giảm
Tháng 3	0,1	0,79	0,27	0,05	Tăng
Tháng 4	0,1	0,48	0,71	0,25	Tăng
Tháng 5	0,1	0,38	-0,88	-0,67	Giảm
Tháng 6	0,1	0,37	-0,90	-0,51	Giảm
Tháng 7	0,1	0,50	0,67	0,87	Tăng
Tháng 8	0,1	0,06	1,90*	1,99	Tăng
Tháng 9	0,1	0,26	1,13	1,54	Tăng
Tháng 10	0,1	0,56	-0,59	-0,72	Giảm
Tháng 11	0,1	0,20	-1,28	-0,27	Giảm
Tháng 12	0,1	0,31	1,03	0,08	Tăng

*Đảm bảo mức ý nghĩa α là 10%.

Qua bảng 8, có thể thấy rằng lượng mưa các thời đoạn năm, mùa trung bình trên thành phố Hà Nội đều có xu thế tăng nhẹ. Cụ thể, lượng mưa hàng năm có xu thế tăng với Sen's Slope là 0,51 mm/năm và giá trị M-K (Z) là 0,27. Tương tự, lượng mưa mùa mưa và mùa khô cũng có xu thế tăng với giá trị Sen's Slope lần lượt là 0,81 mm/năm và 0,31 mm/năm. Tuy nhiên, xu thế tăng này không quá lớn, vì vậy không đạt được mức ý nghĩa thống kê với α bằng 0,1. Giá trị p-value của cả lượng mưa năm và mùa mưa đều lớn hơn 0,1, điều này cho thấy rằng xu thế tăng của lượng mưa năm và mùa mưa không đủ lớn để khẳng định có sự thay đổi đáng kể trong giai đoạn nghiên cứu (Hình 6a–6c).

Xu thế biến đổi lượng mưa có sự khác biệt rõ rệt giữa các tháng trong giai đoạn nghiên cứu. Theo kết quả phân tích xu thế biến đổi Sen's Slope trong bảng 8 và hình 6, có 6 tháng ghi nhận xu thế tăng lượng mưa, bao gồm: tháng III, IV, VII, VIII, IX và XII, với mức tăng từ 0,08 mm/năm đến 1,99 mm/năm. Ngược lại, 6 tháng còn lại, gồm tháng I, II, V, VI, X và XI có xu thế giảm lượng mưa, với lượng mưa giảm từ 0,02 mm/năm đến 0,72 mm/năm. Tuy nhiên, tương tự như xu thế của lượng mưa năm và mùa mưa, các xu thế biến đổi tăng, giảm của lượng mưa hàng tháng không đạt mức ý nghĩa thống kê với $\alpha = 0,1$. Trong các tháng từ tháng I đến tháng VII (Hình 6d–6k) và các tháng X đến tháng XII (Hình 6m–6o) đường xu thế biến đổi (đường màu đỏ) hầu hết gần như đều nằm ngang song song với trục hoành. Trong khi đó, tháng VIII và tháng IX đường xu thế biến đổi lượng mưa tương đối dốc, lượng mưa tăng đáng kể. Tháng VIII ghi nhận lượng mưa tăng mạnh lên đến 1,99 mm/năm và đảm bảo mức ý nghĩa thống kê với $\alpha = 0,1$ (p-value = 0,06) (Bảng 8, Hình 6l). Mặc dù, tháng IX cũng

cho thấy xu thế tăng đáng kể (1,54 mm/năm), nhưng mức tăng này vẫn chưa đảm bảo mức ý nghĩa thống kê với $\alpha = 0,1$ (vì p-value = 0,26). Nhìn chung, xu thế lượng mưa tháng tăng lớn hơn so với xu thế lượng mưa tháng giảm, nhưng phần lớn các thay đổi này không đủ để khẳng định có sự biến đổi đáng kể trong giai đoạn nghiên cứu, ngoại trừ tháng VIII với lượng mưa tăng đáng kể đảm bảo mức ý nghĩa thống kê với $\alpha = 0,1$.



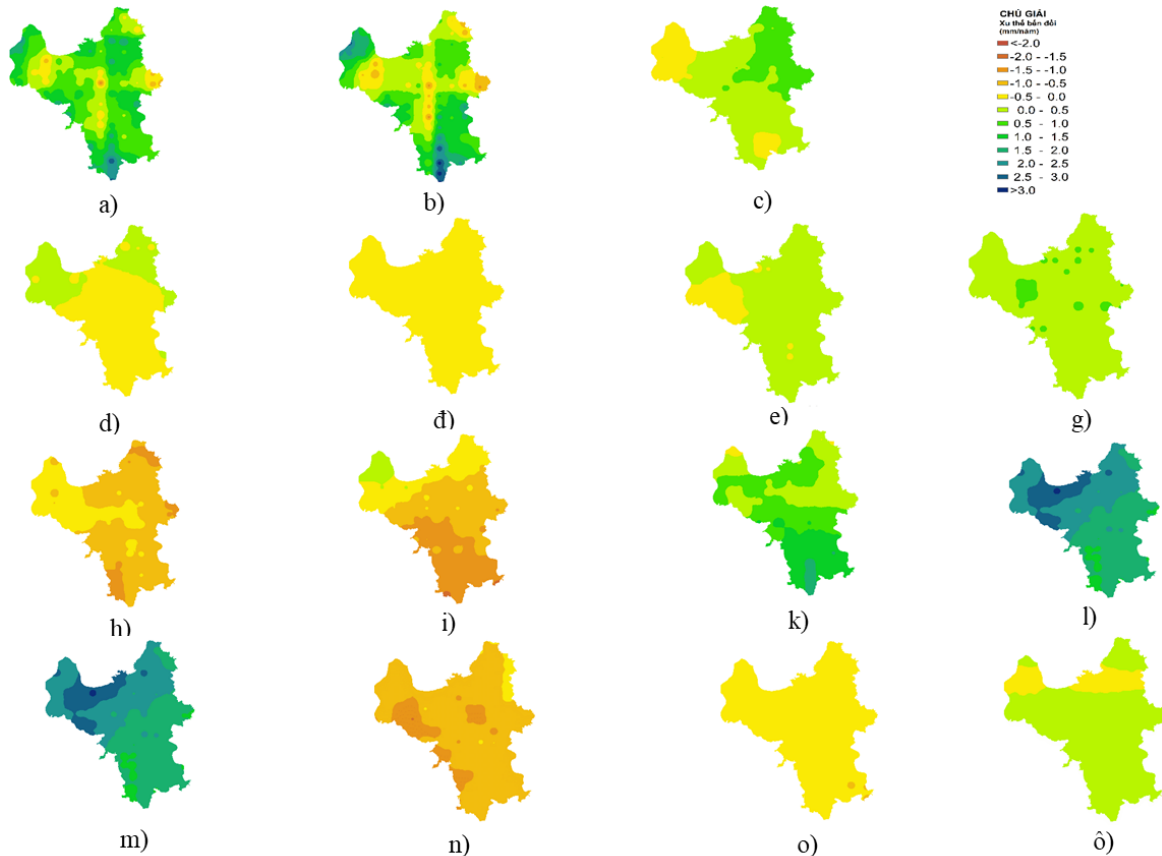
Hình 6. Xu thế biến đổi lượng mưa Sen's Slope hàng năm, mưa mùa, mưa tháng giai đoạn (1981 - 2023): a) Hàng năm; b) Mùa mưa; c) Mùa khô; d) Tháng 1; đ) Tháng 2; e) Tháng 3; g) Tháng 4; h) Tháng 5; i) Tháng 6; k) Tháng 7; l) Tháng 8; m) Tháng 9; n) Tháng 10; o) Tháng 11; ô) Tháng 12.

Sự phân bố không gian của xu thế biến đổi lượng mưa các thời đoạn năm, mùa và tháng được xác định bằng phương pháp xu thế biến đổi Sen's slope dựa trên dữ liệu lượng mưa hàng năm, mưa mùa và mưa tháng của 116 ô lưới phân bố trên thành phố Hà Nội. Trong hình 7, màu xanh lam và màu xanh lá biểu thị cho xu hướng lượng mưa tăng còn màu vàng và màu cam biểu thị cho xu hướng lượng mưa giảm.

Giai đoạn 1981-2023, lượng mưa năm và là lượng mưa mùa tại Hà Nội có xu thế tăng, với mức tăng toàn thành phố là không nhiều chỉ khoảng 0,5-1,5 mm/năm, màu sắc được biểu thị trong các hình 7a-7c chủ yếu là màu xanh lá cây bao phủ thành phố. Khu vực phía Nam thành phố có lượng mưa tăng đáng kể, trong khi khu vực núi Ba Vì, Sóc Sơn và khu vực trung tâm thành phố lại có xu hướng giảm lượng mưa trong mùa mưa và mưa năm (Hình 7a, 7b). Mùa khô, lượng mưa biến đổi rất ít chỉ khoảng -0,5 đến 1,0 mm.

Trong các tháng từ tháng I đến tháng IV, tháng XI và tháng XII, trên toàn thành phố lượng mưa biến đổi rất ít. Các hình từ 7d đến 7g, 7o và 7ô chủ yếu xuất hiện hai màu chủ đạo

là vàng và xanh lợt chuối, cho thấy lượng mưa các tháng này có xu thế biến đổi rất nhỏ chỉ từ -0,5 đến 0,5 mm. Trong các tháng đầu mùa mưa là tháng V, VI (thời kỳ chuyển tiếp từ mùa khô sang mùa mưa) và tháng X cuối mùa mưa (thời kỳ mùa mưa sang mùa khô), lượng mưa tại Hà Nội có xu thế giảm. Trên các hình 7h, 7i và 7n màu cam chiếm phần lớn diện tích thành phố, tương ứng với lượng mưa tháng có xu thế giảm từ 1-2,0 mm/năm. Tháng VII, VIII và IX là ba tháng có lượng mưa tăng (hình 7k, 7l và 7m). Trong đó, tháng VIII và tháng IX là hai tháng lượng mưa tăng nhiều khoảng từ 2-3,0 mm/năm trên toàn thành phố. Trên các hình 7l và 7m, màu xanh lam bao phủ cả khu vực nghiên cứu, cho thấy sự tăng lượng mưa đáng kể trong các tháng này.



Hình 7. Sự phân bố không gian của xu thế biến đổi lượng mưa hàng năm, theo mùa và theo tháng giai đoạn (1981 - 2023) dựa trên cơ sở dữ liệu CHIRPS: a) Hàng năm; b) Mùa mưa; c) Mùa khô; d) Tháng 1; đ) Tháng 2; e) Tháng 3; g) Tháng 4; h) Tháng 5; i) Tháng 6; k) Tháng 7; l) Tháng 8; m) Tháng 9; n) Tháng 10; o) Tháng 11; ò) Tháng 12.

3.3. Thảo luận

Nghiên cứu này đánh giá dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS bằng cách so sánh với số liệu mưa quan trắc tại các trạm khí tượng bao gồm dữ liệu mưa hàng ngày, tháng, mùa và năm. Kết quả nghiên cứu, tương tự như các nghiên cứu trước đây [3, 8, 35, 44], cho thấy rằng dữ liệu vệ tinh CHIRPS chỉ phản ánh tốt với lượng mưa theo tháng, mùa và năm. Đối với dữ liệu lượng mưa ngày, sai số giữa lượng mưa vệ tinh CHIRPS và mưa quan trắc tại các trạm khí tượng là khá lớn, mức độ tương quan không cao mà dữ liệu mưa từ vệ tinh CHIRPS mới chỉ phản ánh được một phần thông qua nhận biết hiện tượng có mưa và không có mưa. Vì vậy, khi sử dụng dữ liệu lượng mưa CHIRPS làm dữ liệu đầu vào cho các bài toán mô phỏng dòng chảy hoặc đánh giá, nên chỉ tiếp cận dữ liệu mưa với các thời khoảng hàng tháng, mùa hoặc hàng năm. Nếu sử dụng dữ liệu lượng mưa CHIRPS với thời khoảng ngày, cần thực hiện kiểm định và hiệu chỉnh cẩn thận để đảm bảo độ chính xác và đáng tin cậy.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã tiến hành đánh giá hiệu quả và độ chính xác của dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS ở thành phố Hà Nội, thông qua việc so sánh với số liệu mưa thực đo tại các trạm khí tượng. Kết quả so sánh sẽ làm cơ sở để sử dụng mưa vệ tinh CHIRPS đánh giá mức độ và xu thế biến đổi mưa khu vực nghiên cứu.

Kết quả đánh giá cho thấy sản phẩm mưa vệ tinh còn hạn chế đối với lượng mưa hàng ngày, chuỗi dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS chỉ phản ánh được thông qua việc nhận biết hiện tượng có mưa hoặc không có mưa. Mức độ tương quan lượng mưa ngày giữa lượng mưa vệ tinh và mưa quan trắc còn thấp, dưới 0,4. Tuy nhiên, khi phân tích theo hàng tháng, mùa và năm, chất lượng dữ liệu mưa của CHIRPS được cải thiện đáng kể. Hệ số tương quan đánh giá mưa tháng tốt, với tất cả các trạm giá trị R trên 0,8. Mặc dù hệ số tương quan đánh giá mưa mùa và mưa năm nhỏ hơn mưa tháng, nhưng R tại các trạm này đều đạt mức khá ($R \geq 0,57$).

Nghiên cứu cũng đã sử dụng mưa vệ tinh CHIRPS để phân tích sự biến đổi không gian và xu hướng dài hạn của lượng mưa hàng tháng, mùa và năm cho khu vực thành phố Hà Nội, trong giai đoạn 1981-2023. Kết quả cho thấy lượng mưa hàng năm và mùa mưa có sự ổn định cao, với hệ số biến đổi thấp. Ngược lại, lượng mưa tháng có sự biến động lớn hơn, đặc biệt trong mùa khô và thời kỳ chuyển tiếp giữa hai mùa, với hệ số biến đổi C_v dao động từ 0,4 đến 0,87.

Xu hướng biến đổi lượng mưa trong giai đoạn nghiên cứu cho thấy có sự tăng nhẹ về lượng mưa hàng năm, mùa mưa và mùa khô, nhưng mức độ tăng không đủ lớn để khẳng định có sự thay đổi đáng kể với mức ý nghĩa $\alpha = 0,1$. Trong năm, theo Sen's slope các tháng III, IV, VII, VIII, IX và XII có xu hướng lượng mưa tăng, trong đó, tháng VIII và IX đặc biệt đáng chú ý với lượng mưa tăng đáng kể. Xu thế biến đổi theo không gian của lượng mưa tháng tại Hà Nội biến đổi khá đồng đều về xu hướng nhưng giá trị biến đổi giữa các khu vực là khác nhau do ảnh hưởng của điều kiện địa hình và vị trí địa lý, với khu vực phía Nam thành phố có lượng mưa tăng lớn nhất, trong khi khu vực núi Ba Vì và Sóc Sơn có xu thế giảm.

Kết quả của nghiên cứu cung cấp cơ sở quan trọng để sử dụng dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS trong việc đánh giá biến đổi lượng mưa theo tháng, mùa và năm tại Hà Nội. Đối với các ứng dụng yêu cầu độ chính xác cao về lượng mưa hàng ngày, việc kết hợp dữ liệu mưa vệ tinh với các phương pháp hiệu chỉnh phù hợp là cần thiết.

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

Tài liệu tham khảo

1. Alsalal, S.T.; Leong, M.; Sämt, N.; Al-Bakri, J.T.; Longhui, L. Evaluation of CHIRPS and CFSR precipitation products over the Mujib Basin, Jordan. *Geografia Malaysian J. Soc. Space*. **2023**, *19*(2), 1–20. <https://doi.org/10.17-576/geo-2023-1902-01>.
2. Senent-Aparicio, J.; López-Ballesteros, A.; Pérez-Sánchez, J.; Segura-Méndez, F.J.; Pulido-Velazquez, D. Using multiple monthly water balance models to evaluate gridded precipitation products over peninsular Spain. *Remote Sens*. **2018**, *10*, 922. <https://doi.org/10.3390/rs10060922>.
3. Chung, T.B.; Phương, T.A.; Hằng, T.T.D.; Anh.N.T.; An, H.T.; Campbell, S.B. Nghiên cứu khả năng sử dụng số liệu mưa vệ tinh độ phân giải cao trong mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông thiếu số liệu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, *754*, 59–70.

4. Kiên, N.T.; An, N.L.; Thành, L.Đ. Đánh giá chất lượng mưa vệ tinh gsmmap mô phỏng mưa lớn - ứng dụng cho lưu vực sông Mã. *Tạp chí khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2019**, 64, 76–83.
5. Tổng cục Khí tượng Thủy Văn. Thống kê và cập nhật thông tin các trạm Khí tượng Thủy văn. 2024. Trục tuyến: <http://vmha.gov.vn/thong-bao-cua-tong-cuc-104/quyet-dinh-phe-duyet-quy-hoach-mang-luoi-tram-khi-tuong-thuy-van-quoc-gia-thoi-ky-2021-%E2%80%932030-tam-nhin-den-nam-2050-16672.html>
6. Ngọc, T.M.; Khá, Đ.Đ.; Tuấn, N.C.; Như, N.Y. Đánh giá chất lượng mưa vệ tinh CMORPH trên lưu vực sông Lam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 763, 24–34. doi:10.36335/VNJHM.2024(763).24-34.
7. Eng, J.; Hao, Z.; Wang, J.; Shao, Q. Suitability of TRMM satellite rainfall in driving a distributed hydrological model in the source region of Yellow River. *J. Hydrol.* **2014**, 509, 320–332.
8. Hải, B.T.; Tuấn, N.V. Nghiên cứu đánh giá và so sánh các dữ liệu mưa vệ tinh độ phân giải cao lưu vực sông Cả. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 695, 17–28.
9. Lành, N.V.; Dũng, N.V.; Dương, T.H.; Tâm, T.T. Sử dụng lượng mưa vệ tinh đánh giá khả năng hạn hán khí tượng dựa trên chỉ số SPI cho khu vực tỉnh Thanh Hóa. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 696, 1–9.
10. Kummerow, C.; Simpson, J.; Thiele, O.; Barnes, W.; Chang, A.T.C.; Stocker, E.; Adler, R.F.; Hou, A.; Kakar, R.; Wentz, F. The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. *J. Appl. Meteorol.* **2000**, 39(12), 1965–1982. [https://doi.org/10.1175/15200450\(2001\)040<1965:TSOTTR>-2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200450(2001)040<1965:TSOTTR>-2.0.CO;2).
11. Jaxa. Theo dõi lượng mưa toàn cầu Jaxa. Trục tuyến: <https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP>.
12. CHC, USGS. Ước tính lượng mưa từ máy đo mưa và quan sát vệ tinh CHIRPS. Trục tuyến: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>.
13. Duan, Z.; Tuo, Y.; Liu, J.; Gao, H.; Song, X.; Zhang, Z.; Yang, L.; Mekonnen, D.F. Hydrological evaluation of open-access precipitation and air temperature datasets using SWAT in a poorly gauged basin in Ethiopia. *J. Hydrol.* **2019**, 569, 612–626. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.026>.
14. Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Verdin, J.; Shukla, S.; Husak, G.; Rowland, J.; Harrison, L.; Hoell, A. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci. Data.* **2015**, 2(1), 1–21. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.
15. Duan, Z.; Liu, J.; Tuo, Y.; Chiogna, G.; Disse, M. Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. *Sci. Total Environ.* **2016**, 573, 1536–1553. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.213>.
16. Macharia, J.M.; Ngetich, F.K.; Shisanya, C.A. Comparison of satellite remote sensing derived precipitation estimates and observed data in Kenya. *Agric. For. Meteorol.* **2020**, 284, 107875. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.20-19.107875>.
17. Rivera, J.A.; Marianetti, G.; Hinrichs, S. Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. *Atmos. Res.* **2018**, 213, 437–449. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.06.023>.
18. Ullah, W.; Wang, G.; Ali, G.; Tawia Hagan, D.F.; Bhatti, A.S.; Lou, D. Comparing multiple precipitation products against in-situ observations over different climate regions of Pakistan. *Remote Sens.* **2019**, 11(6), 628. <https://doi.org/10.3390/rs11060628>.

19. Bai, L.; Shi, C.; Li, L.; Yang, Y.; Wu, J. Accuracy of CHIRPS satellite-rainfall products over mainland China. *Remote Sens.* **2018**, *10*(3), 362. <https://doi.org/10.3390/rs10030362>.
20. Guo, J.; Su, X. Parameter sensitivity analysis of SWAT model for streamflow simulation with multisource precipitation datasets. *Hydrol. Res.* **2019**, *50*(3), 861–877. <https://doi.org/10.2166/nh.2019.083>.
21. Tuan, T.L.; Matsumoto, J.; Duc, N.T.; Nodzu, M.I.; Inoue, T. Evaluation of satellite precipitation products over the Central of Vietnam. *Prog. Earth Planet. Sci.* **2019**, *6*, 1–16.
22. Thảo, N.H.P. Đánh giá chất lượng dữ liệu mưa CHIRPS tại khu vực tỉnh Ninh Thuận và Bình Thuận. Tuyển tập Hội nghị KHTN trường Đại học Thủy Lợi, 2019, tr. 724–726.
23. Liên, N.T.; Hung, N.Q.; Ngọc, T.M. Nghiên cứu đánh giá chất lượng dữ liệu mưa lưới một số trận mưa lớn trên khu vực thành phố Hà Tĩnh. *Tạp chí khoa học Biến đổi khí hậu* **2022**, *24*, 10–21.
24. Sơn, N.T.; Anh, N.Q. Khai thác sử dụng số liệu mưa vệ tinh trong dự báo lũ lưu vực sông Mê Kông (từ Chiang Saen đến Strung Treng). *Tạp chí Khoa học tự nhiên và Công nghệ* **2015**, *31*, 222–230.
25. Anh, N.Q. Khai thác sử dụng số liệu vệ tinh trong dự báo lũ lưu vực sông Mê Công (từ Chiang saen đến Stung Treng). Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. 2012.
26. Dinh, K.D.; Anh, T.N.; Nguyen, N.Y.; Bui, D.D.; Srinivasan, R. Evaluation of gridbased rainfall products and water balances over the Mekong river basin. *Remote Sens.* **2020**, *12*, 1858. <https://doi.org/10.3390/rs12111858>.
27. Thom, V.T.; Khoi, D.N.; Linh, D.Q. Using gridded rainfall products in simulating streamflow in a tropical catchment - A case study of the Srepok River Catchment, Vietnam. *J. Hydrol. Hydromech.* **2017**, *65*, 18–25. <https://doi.org/10.15-15/johh-2016-0047>.
28. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Phê duyệt và công bố kết quả thống kê diện tích đất đai năm 2020. Hà Nội. 2022.
29. Tổng cục Thống kê. Niên giám Thống kê Việt Nam năm 2022. 2023, tr. 109.
30. Đốc, L.Q. Địa lý Hà Nội. Đại học Sư phạm, 2011.
31. Thịnh, N.V. Địa lý Hà Nội. Hà Nội, 2021.
32. Thành, N.Đ. Giáo trình đánh giá biến đổi khí hậu. Đại học Quốc gia Hà Nội, 2021.
33. Tân, P.V. Phương pháp thống kê trong khí hậu. Đại học Quốc gia Hà Nội, 2005.
34. Kumar, U; Singh, D.K; Panday, S.C; Bisht, J.K; Kant, L. Spatio-temporal trend and change detection of rainfall for Kosi River basin, Uttarakhand using long-term (115 years) gridded data. *Arabian J. Geosci.* **2023**, *16*(3), 173. <https://doi.org/10.1007/s12517-023-11244-0>.
35. Kumar, A.; Kumar, S.; Rautela, K.S.; Shekhar, S.; Ray, T.; Thangavel, M. Assessing seasonal variation and trends in rainfall patterns of Madhya Pradesh, Central India. *J. Water Clim. Change* **2023**, *14*(10), 3692–3712. <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.280>.
36. Sen, P. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *J. Am. Stat. Assoc.* **1968**, *63*, 1379–1389.
37. Sarkar, A.; Saha, S.; Sarkar, D.; Mondal, P. Variability and trend analysis of the rainfall of the past 119 (1901–2019) years using statistical techniques: A case study of Uttar Dinajpur, India. *J. Clim. Change* **2021**, *7*(2), 49–61. <https://doi.org/10.3233/JCC210011>.
38. Asfaw, A.; Simane, B.; Hassen, A.; Bantider, A. Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: a case study in Woleka

- sub-basin. *Weather Clim. Extremes* **2018**, *19*, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2017.12.002>.
39. Silva, A.T. Introduction to nonstationary analysis and modeling of hydrologic variables. *Int. Fundam. Stat. Hydrol.* **2017**, 537–577.
40. Tadese, M.T.; Kumar, L.; Koech, R.; Zemadim, B. Hydro-Climatic Variability: A Characterisation and Trend Study of the Awash River Basin, Ethiopia. *Hydrol.* **2019**, *6*(2), 35.
41. Arrieta-Castro, M.; Donado-Rodríguez, A.; Acuña, G.J.; Canales, F.A.; Teegavarapu, R.S.V.; Kaźmierczak, B. Analysis of streamflow variability and trends in the Meta River, Colombia. *Water* **2020**, *12*(5), 1451. <https://doi.org/10.3390/w12051451>.
42. Tín, N.V. Đánh giá xu thế biến đổi của lượng mưa thời đoạn lớn nhất khu vực thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 1971-2016 bằng kiểm định phi tham số Mann-Kendall. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, *11*, 52–55.
43. Ren, P.; Li, J.; Feng, P.; Guo, Y.; Ma, Q. Evaluation of multiple satellite precipitation products and their use in hydrological modelling over the Luanhe River basin, China. *Water* **2018**, *10*(6), 677. <https://doi.org/10.3390/w10060677>.
44. Morales-Acuña, E.; Linero-Cueto, J.R.; Canales, F.A. Assessment of precipitation variability and trends based on satellite estimations for a heterogeneous Colombian region. *Hydrol.* **2021**, *8*, 128. <https://doi.org/10.3390/hydrology-8030128>.
45. Cục Quản lý Tài nguyên nước. Báo cáo Quy hoạch tài nguyên nước thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050. Hà Nội, Bộ Tài nguyên và Môi trường. 2021.

Assessment of rainfall variability and trends in Hanoi city using chirps satellite rainfall estimations

Nguyen Thi Bich Ngoc¹, Tran Van Tinh^{1*}

¹ Hanoi university of natural resources and environment, Hanoi, Vietnam;
ntbngoc@hunre.edu.vn; tvtinh@hunre.edu.vn

Abstract: This study used statistical indicators such as rainfall detection thresholds, total rainfall, and correlation coefficients to compare and evaluate the quality of satellite rainfall data from the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) against daily, monthly, seasonal, and annual rainfall data from four meteorological stations in Hanoi for the period 1981-2023. The evaluation results showed that the correlation between satellite rainfall data and observed rainfall data was strong on a monthly period ($R > 0.8$), though it decreased for annual and seasonal periods (R ranging from 0.57 to 0.8), but remained at or above a moderate level. Although the correlation for daily rainfall was low ($R < 0.4$), satellite rainfall did reflect rainfall phenomena with a forecast accuracy (PC) ranging from 0.65 to 0.68. Additionally, the paper evaluated rainfall trends using the Mann-Kendall test and estimated Sen's slope. The research results indicated that annual and seasonal rainfall in Hanoi is quite stable, with slight increasing trends. Within the year, August and September show a significant increase in rainfall, particularly in August, where rainfall increased by up to 1.99 mm/year and reached statistical significance ($\alpha = 0.1$). The spatial variation trend of satellite rainfall in Hanoi is uniform, but the magnitude of variation differs by region.

Keywords: Hanoi; Satellite rainfall; CHIRPS; Mann-Kendall; Rainfall trends.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu đánh giá và lựa chọn sản phẩm mưa vệ tinh độ phân giải cao mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông Mã

Nguyễn Thị Lan Anh¹, Lê Mạnh An², Trần Anh Phương^{1*}

¹ Viện khoa học Tài nguyên nước, Bộ Tài nguyên và Môi trường;
phuongtran.monre@gmail.com; anhlannguyentv@gmail.com

² Trung tâm Công nghệ Khí tượng thủy văn, Tổng Cục Khí tượng thủy văn, Bộ Tài nguyên và Môi trường; lemanhan82@gmail.com

*Tác giả liên hệ: phuongtran.monre@gmail.com; Tel.: +84-961776683

Ban Biên tập nhận bài: 5/7/2024; Ngày phản biện xong: 26/8/2024; Ngày đăng bài: 25/1/2025

Tóm tắt: Dữ liệu mưa vệ tinh đang ngày càng được sử dụng rộng rãi ở những vùng thiếu số liệu quan trắc. Nghiên cứu này đã so sánh hiệu quả của 4 nguồn mưa vệ tinh CHIRPS, GPM, CMORPH và ERA5_Ag để lựa chọn nguồn mưa phù hợp cho lưu vực sông Mã. Các nguồn mưa vệ tinh đã được đánh giá so sánh với dữ liệu mưa trạm và đánh giá tiềm năng làm đầu vào cho mô hình SWAT để mô phỏng quá trình mưa - dòng chảy trên lưu vực sông Mã. Kết quả cho thấy ở thời đoạn ngày mức độ phù hợp giữa mưa trạm và mưa vệ tinh tương đối kém. Tuy nhiên, ở thời đoạn tháng sự phù hợp giữa hai nguồn mưa tăng lên đáng kể. GPM là nguồn mưa phù hợp nhất cho lưu vực nghiên cứu. Cụ thể, ở thời đoạn tháng tháng các chỉ số đánh giá kết quả mô phỏng dòng chảy sử dụng mưa GPM là $R^2 = 0,81$, $NSE = 0,74$ và $PBIAS = 22,05\%$. Ở thời đoạn ngày, độ chính xác của mô phỏng dòng chảy giảm đi ($R^2 = 0,60$, $NSE = 0,55$ và $PBIAS = 20,82\%$) nhưng GPM vẫn cho kết quả khả quan hơn hẳn các nguồn mưa còn lại. Kết quả của nghiên cứu này sẽ là tiền đề quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo sử dụng dữ liệu mưa vệ tinh phục vụ công tác dự báo và quản lý tài nguyên nước.

Từ khóa: Mưa vệ tinh; GPM; Sông Mã; SWAT; Thiếu số liệu; Mưa-dòng chảy.

1. Mở đầu

Mưa được coi là yếu tố khí tượng quan trọng nhất ảnh hưởng đến độ chính xác của các mô hình thủy văn do biến động không gian và thời gian của nó ảnh hưởng đáng kể đến các quá trình thủy văn trên lưu vực [1–3]. Tuy nhiên, nhiều lưu vực trên thế giới đặc biệt là các lưu vực ở vùng miền núi, số liệu mưa từ các trạm đo mặt đất hay các trạm radar thời tiết thường phân bố thưa thớt vì chi phí xây dựng và quản lý cao [4, 5]. Do đó, việc mô phỏng, dự báo quá trình thủy văn trên các lưu vực này thường gặp rất nhiều khó khăn do thiếu số liệu đo để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Trong bối cảnh đó, các sản phẩm lượng mưa vệ tinh mở đã phát triển rất mạnh mẽ trong thời gian qua với độ che phủ toàn cầu và độ phân giải tương đối cao theo không gian và thời gian đã tạo điều kiện thuận lợi cho việc dự báo dòng chảy ở những lưu vực sông thiếu số liệu mưa [6]. Mặc dù đã đạt được các tiến bộ nhảy vọt về các công nghệ quan trắc từ xa như radar, vệ tinh nhưng các nguồn dữ liệu thu thập từ vệ tinh vẫn còn tiềm ẩn nhiều sai số do thiết bị thu nhận hay do sự khác biệt điều kiện khí hậu, mặt đệm giữa các vùng khác nhau trên thế giới [7, 8], và độ chính xác của nó cũng không đồng nhất giữa các khu vực cũng như loại số liệu mưa vệ tinh lựa chọn [9–11]. Do đó, việc sử dụng các dữ liệu mưa vệ tinh này cần được lựa chọn và đánh giá một cách cẩn trọng.

Hiện nay, các dữ liệu mưa vệ tinh nguồn mở tương đối phong phú và phổ biến như CMORPH (*Climate Prediction Center MORPHing Technique*), CHIRPS (*Climate Hazards*

Group InfraRed Precipitation with Station data), GPM (Global Precipitation Measurement), TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Những dữ liệu lượng mưa này cũng có độ phân giải về không gian và thời gian khác nhau. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra sự khác biệt về độ chính xác giữa các loại mưa vệ tinh, cũng như trong cùng một loại mưa vệ tinh ở các khu vực khác nhau. Chẳng hạn, các nghiên cứu [12–15] đã đánh giá và so sánh ưu điểm và nhược điểm của 29 loại mưa vệ tinh với các độ phân giải không gian và thời gian khác nhau liên quan đến khả năng mô tả lượng mưa toàn cầu của chúng. Nghiên cứu [16] đã đánh giá ba sản phẩm lượng mưa ở Ethiopia và thấy rằng CHIRPS tốt nhất trong số đó. Nghiên cứu [17] đã sử dụng số liệu mưa PERSIANN-CDR và CHIRPS để mô phỏng thủy văn ở lưu vực sông Beijiang ở Trung Quốc. Kết quả cho thấy rằng CHIRPS tốt hơn đáng kể so với PERSIANN-CDR. Tại Việt Nam, các nghiên cứu đánh giá chất lượng và ứng dụng mưa vệ tinh cũng đã được thực hiện trên các quy mô khác nhau. Nghiên cứu [18] đã phân tích và so sánh giữa các dữ liệu GPM, TRMM, CHIRPS, CMORPH với dữ liệu mưa tại 12 trạm đo mưa trên lưu vực sông Cả. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra khả năng nhận diện mưa ngày ở các dữ liệu mưa vệ tinh là khá tốt, tuy nhiên tương quan lượng mưa ngày với mưa trạm lại không cao. Tương quan lượng mưa tháng cho kết quả tốt hơn và dữ liệu CHIRPS cho kết quả ổn định nhất. Nghiên cứu [19] đánh giá khả năng sử dụng các sản phẩm mưa vệ tinh MSWEP, TMPA 3B42, TMPA 3B42RT, PERSIANN CDR, PERSIANN RT thông qua việc so sánh với giá trị mưa đo tại 6 trạm mưa trên lưu vực Nông Sơn - Quảng Nam. Kết quả cho thấy sai số của các sản phẩm mưa vệ tinh so với mưa trạm đo là khá lớn, gây ra khác biệt lớn trong kết quả mô phỏng dòng chảy. Các sản phẩm mưa vệ tinh dựa vào thông tin sóng siêu cao tần (MW) như TMPA cho kết quả mô phỏng dòng chảy và thời gian xuất hiện đỉnh lũ tốt hơn các sản phẩm mưa vệ tinh dựa vào thông tin sóng hồng ngoại (IR) như PERSIANN.

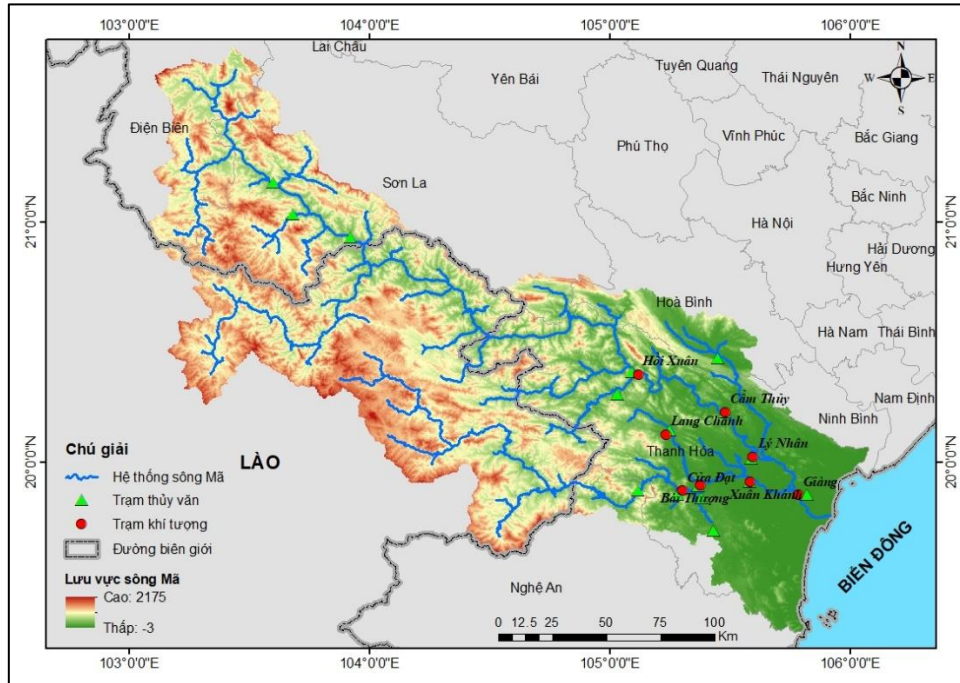
Lưu vực sông Mã là một trong những lưu vực sông lớn nhất của nước ta, đóng vai trò quan trọng đối với khai thác, sử dụng nước trên lưu vực. Tuy nhiên, là một lưu vực sông liên quốc gia với 38% diện tích nằm trên lãnh thổ Lào, phần lớn lưu vực nằm ở miền núi, mật độ các trạm khí tượng thủy văn trên lưu vực rất thưa thớt. Do thiếu dữ liệu mưa, việc tính toán tài nguyên nước trên lưu vực còn thiếu chính xác ảnh hưởng lớn đến công tác dự báo và quản lý tài nguyên nước trên lưu vực. Trong thời gian gần đây, một số nghiên cứu sử dụng dữ liệu mưa radar [20] hoặc mưa vệ tinh [9] trên lưu vực để bổ sung dữ liệu mưa trạm. Các nghiên cứu đã chỉ ra hiệu quả của việc sử dụng dữ liệu mưa radar và vệ tinh trong cải thiện chất lượng mô phỏng dòng chảy trên sông Mã. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chỉ dựa vào 1 nguồn mưa duy nhất để mô phỏng dòng chảy trên lưu vực. Trong khi đó, hiện nay có nhiều nguồn mưa vệ tinh khác cũng cung cấp dữ liệu mưa với độ chính xác tương đối cao. Nghiên cứu [18, 19] đã so sánh một số nguồn mưa khác nhau cho một số lưu vực sông ở Việt Nam. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chỉ đánh giá hiệu suất của mưa vệ tinh thông qua so sánh với các trạm đo mưa [18] hoặc qua mô hình mô phỏng dòng chảy [19]. Việc đánh giá chất lượng của mưa vệ tinh đồng thời với mưa trạm và mô phỏng dòng chảy ở các thời đoạn ngày và tháng chưa được thực hiện. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm lựa chọn được dữ liệu mưa vệ tinh phù hợp cho lưu vực sông Mã từ các sản phẩm mưa vệ tinh CHIRPS, GPM, CMORPH và ERA5_Ag sử dụng hai đánh giá chính: (1) So sánh giá trị lượng mưa của các sản phẩm mưa vệ tinh với dữ liệu mưa trạm theo thời đoạn ngày và tháng; (2) Đánh giá hiệu quả của mưa vệ tinh trong mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông Mã sử dụng mô hình SWAT.

2. Phương pháp và số liệu nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Sông Mã là lưu vực sông lớn thứ 5 nước ta nằm ở sườn Đông của dãy Trường Sơn thuộc cực Bắc của Trung Bộ, Trung Lào và Tây bắc Bắc Bộ với tổng diện tích toàn lưu vực là 28,400 km² trong đó diện tích thuộc lãnh thổ Việt Nam là 17,720 km², chiếm 62% tổng diện tích diện tích toàn lưu vực. Lưu vực sông thuộc địa phận 5 tỉnh Điện Biên, Sơn La, Hòa Bình,

Nghệ An, Thanh Hóa trong đó Thanh Hóa chiếm phần lớn diện tích lưu vực (Hình 1). Lưu vực sông Mã có lượng dòng chảy khá dồi dào nhưng phân bố không đều trong năm. Trong 4 tháng mùa lũ tổng lượng dòng chảy chiếm tới 74% tổng lượng dòng chảy năm. Trong khi đó, vào mùa khô, tổng lượng dòng chảy chỉ có 4,76 tỷ m³, tương đương với 26% dòng chảy năm. Do sự phân phối dòng chảy không đồng đều trong năm, lũ lụt thường xuyên xảy ra vào mùa lũ và tình trạng hạn hán thiếu nước xuất hiện vào mùa khô, ảnh hưởng lớn đến các ngành dùng nước trên lưu vực.



Hình 1. Bản đồ lưu vực sông Mã.

2.2. Dữ liệu

2.2.1. Dữ liệu mưa thực đo

Trong nghiên cứu này, dữ liệu mưa ngày tại 8 trạm khí tượng gồm: Hội Xuân, Bái Thượng, Cẩm Thủy, Cửa Đạt, Giàng, Lang Chánh, Lý Nhân, Xuân Khánh giai đoạn 1992-2012 được sử dụng để đánh giá, so sánh với số liệu mưa thực đo (Hình 1). Số liệu thực đo thời đoạn ngày được sử dụng để làm cơ sở để đánh giá độ chính xác của các dữ liệu mưa vệ tinh.

2.3.2. Dữ liệu mưa vệ tinh

Nghiên cứu này sử dụng 4 bộ dữ liệu mưa vệ tinh phổ biến với độ phân giải cao để đánh giá, so sánh. Dữ liệu được thu thập từ nguồn mở Climate Engine (<https://app.climateengine.org/climateEngine>) trong thời đoạn mưa ngày từ năm 2001 đến 2012. Các dữ liệu mưa vệ tinh gồm:

a) Dữ liệu mưa CHIRPS:

CHIRPS là một sản phẩm dữ liệu lượng mưa toàn cầu có từ năm 1981 đến nay. Dữ liệu này kết hợp thông tin từ nhiều vệ tinh quan sát lượng mưa và dữ liệu lượng mưa mặt đất để tạo ra bản đồ lượng mưa toàn cầu với độ phân giải không gian 0,05°.

b) Dữ liệu mưa GPM:

GPM sử dụng công nghệ tiên tiến để xác định lượng mưa toàn cầu từ tổ hợp các vệ tinh khác nhau. Độ phân giải của GPM từ 10 km, cung cấp số liệu mưa từ năm 2000 đến nay.

c) Dữ liệu mưa CMORPH:

CMORPH là một sản phẩm dữ liệu lượng mưa toàn cầu được tạo ra bởi Trung tâm Dự báo Khí hậu (CPC) thuộc NOAA (Cơ quan Quản lý Đại dương và Khí quyển Quốc gia Hoa Kỳ). Dữ liệu này kết hợp thông tin từ nhiều vệ tinh quan sát lượng mưa để tạo ra bản đồ lượng mưa toàn cầu với độ phân giải không gian từ 0,25° đến 1°, cho phép theo dõi lượng mưa gần thời gian thực. Dữ liệu có sẵn từ năm 1998 đến nay.

d) Dữ liệu mưa ERA5_Ag:

Dữ liệu mưa ERA5_Ag là một sản phẩm dữ liệu tái phân tích toàn cầu về lượng mưa hàng ngày, được tạo bởi Trung tâm Dự báo Khí hậu Toàn cầu (ECMWF) dựa trên dữ liệu vệ tinh và các mô hình khí hậu. Dữ liệu có độ phân giải 0,25° có từ năm 1979 đến nay.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp phân tích thống kê

Để đánh giá độ tin cậy, so sánh các sản phẩm mưa vệ tinh, nghiên cứu so sánh các dữ liệu mưa toàn cầu với dữ liệu mưa trạm theo thời đoạn ngày và tháng sử dụng các chỉ số thống kê sau: Hệ số tương quan (CC) đại diện cho mức độ tương quan giữa dữ liệu lượng mưa trạm và mưa vệ tinh; trung bình bình phương căn phương (RMSE) tính toán mức độ sai khác trung bình của hai dữ liệu; độ lệch tương đối (BIAS) và sai số trung bình (ME) đánh giá mức độ thiên lệch của dữ liệu mưa thực đo và dữ liệu mưa vệ tinh; xác suất phát hiện (POD) là tỷ lệ phản ánh số lần lượng mưa vệ tinh và mưa trạm đều phát hiện mưa so với tổng số lần mưa; tỷ lệ cảnh báo sai (FAR) biểu thị tần suất lượng mưa được phát hiện bằng lượng mưa vệ tinh nhưng không được phát hiện bằng lượng mưa thực đo [20, 21]. Bảng 1 trình bày biểu thức xác định các chỉ số này như sau:

Bảng 1. Các chỉ số thống kê sử dụng để đánh giá sản phẩm mưa vệ tinh.

Chỉ số thống kê	Đơn vị	Phương trình	Điểm hoàn hảo
Hệ số tương quan (CC)	-	$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}}$	1
Lỗi bình phương trung bình gốc (RMSE)	mm	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i)^2}$	0
Sai số trung bình (ME)	mm	$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i)$	0
Độ lệch tương đối (BIAS)	%	$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - G_i)}{\sum_{i=1}^n G_i}$	0
Xác suất phát hiện (POD)	%	$POD = \frac{H}{H+M}$	1
Tỷ lệ cảnh báo sai (FAR)	%	$FAR = \frac{F}{H+F}$	0

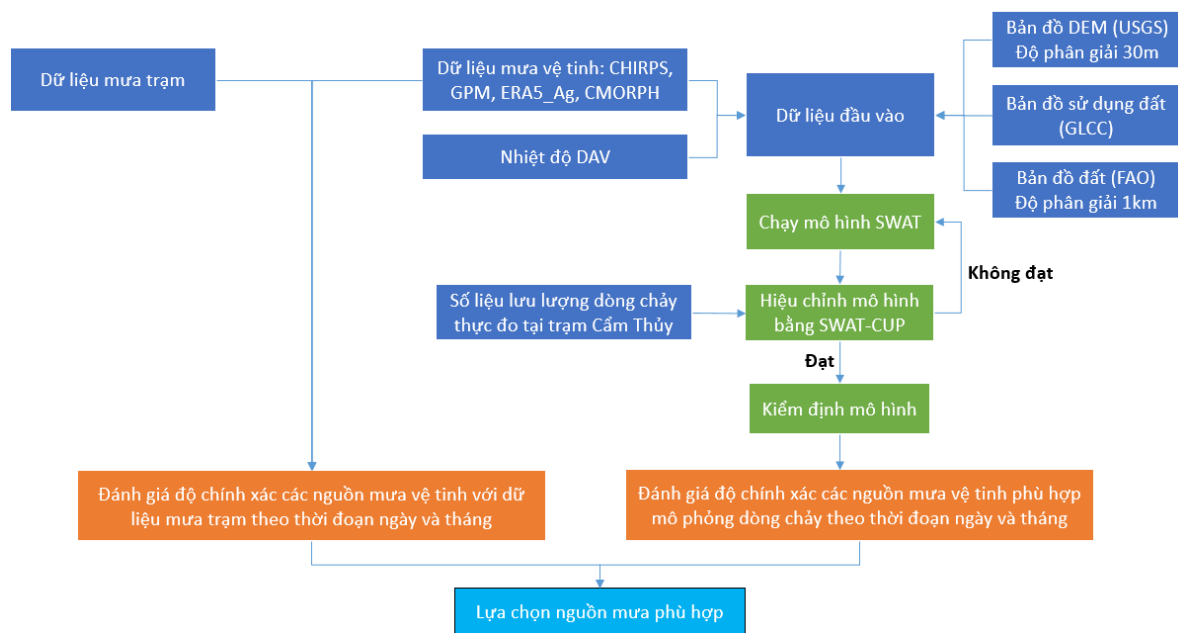
Trong đó G_i là lượng mưa thực đo, S_i là lượng mưa vệ tinh, \bar{G} là lượng mưa trung bình thực đo, \bar{S} là lượng mưa trung bình vệ tinh, H biểu thị khi thực đo và vệ tinh đều phát hiện sự kiện mưa, M biểu thị thực đo phát hiện ra một sự kiện mưa, F biểu thị vệ tinh phát hiện ra một sự kiện mưa.

2.3.2. Mô hình thủy văn

Để so sánh khả năng của các nguồn mưa vệ tinh trong mô phỏng quá trình mưa - dòng chảy, cần thiết phải thiết lập mô hình thủy văn với đầu vào là các dữ liệu mưa vệ tinh. Trong

nghiên cứu này, mô hình SWAT (*Soil & Water Assessment Tool*) được lựa chọn. SWAT là mô hình thủy văn bán phân bố được phát triển bởi Trung tâm phục vụ nghiên cứu nông nghiệp thuộc Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ và Đại học Texas A&M, Hoa Kỳ [22]. Mô hình SWAT cho phép mô phỏng quá trình vật lý trong một lưu vực và cho phép phân chia lưu vực thành các tiểu lưu vực, các đơn vị thủy văn (HRU) dựa trên bản đồ sử dụng đất, điều kiện địa hình, thổ nhưỡng để mô phỏng chi tiết hơn theo không gian. Thông tin chi tiết về mô hình được trình bày chi tiết ở [23]. So với các mô hình khác SWAT có nhiều ưu việt vì mặc dù mô phỏng tương đối chi tiết quá trình hình thành dòng chảy trên lưu vực với mức độ chi tiết không gian cao, mô hình yêu cầu tương đối ít các tham số cần hiệu chỉnh do các tham số được xác định trực tiếp từ các bản đồ thảm phủ và thổ nhưỡng đầu vào. Mô hình có mã nguồn mở, miễn phí sử dụng được trên nhiều nền tảng (Windows, Mac OS, Linux) và được tích hợp trên các phần mềm GIS thông dụng (ArcGIS, QGIS). Giao diện mô hình thân thiện người dùng, có cộng đồng người dùng lớn, nhiều dữ liệu toàn cầu như dữ liệu khí tượng, sử dụng đất, địa hình, loại đất được cung cấp cùng với mô hình. Do đó, mô hình rất phù hợp cho nghiên cứu này.

SWAT yêu cầu một lượng lớn dữ liệu đầu vào bao gồm bản đồ địa hình (DEM); bản đồ sử dụng đất, thảm phủ; các số liệu về khí tượng thủy văn,... Cụ thể, số liệu đầu vào cho mô hình SWAT ở nghiên cứu này bao gồm các thành phần như trình bày ở Bảng 2. Độ chính xác của các loại mưa vệ tinh khác nhau sẽ được đánh giá trong các giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định mô hình sử dụng các chỉ tiêu để đánh giá mô hình bao gồm hệ số hiệu quả Nash & Sutcliffe, hệ số tất định R^2 và PBIAS như ở Bảng 3. Với mỗi nguồn mưa, mô hình SWAT sẽ được hiệu chỉnh tự động bằng công cụ SWAT-CUP (*SWAT Calibration and Uncertainty Procedure*) sử dụng thuật toán SUFI-2 (*Sequential Uncertainty Fitting*).



Hình 2. Sơ đồ đánh giá, so sánh nguồn mưa vệ tinh phù hợp với lưu vực sông Mã.

Bảng 2. Các dữ liệu đầu vào của mô hình SWAT.

Dữ liệu	Độ phân giải	Nguồn	Mục đích sử dụng
DEM	30m x 30m	USGS (https://earthexplorer.usgs.gov/)	
Bản đồ sử dụng đất	Cơ sở dữ liệu vectơ	USGS Global Land Cover	
Bản đồ đất	Độ phân giải 1km	FAO soil and land legacy maps	Thiết lập mô hình
Dữ liệu nhiệt độ	0,5°x0,5°	POWER Data Access Viewer (DAV)	

Dữ liệu	Độ phân giải	Nguồn	Mục đích sử dụng
Dữ liệu mưa	8 Trạm thực đo và 4 loại mưa vệ tinh	- Tổng cục Khí tượng Thủy văn -CLIMATE ENGINE (https://app.climateengine.org/climateEngine)	
Lưu lượng dòng chảy	Trạm quan trắc Cẩm Thủy (thời gian ngày)	Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia	Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Bảng 3. Chi tiêu thống kê đánh giá khả năng của mô hình thủy văn.

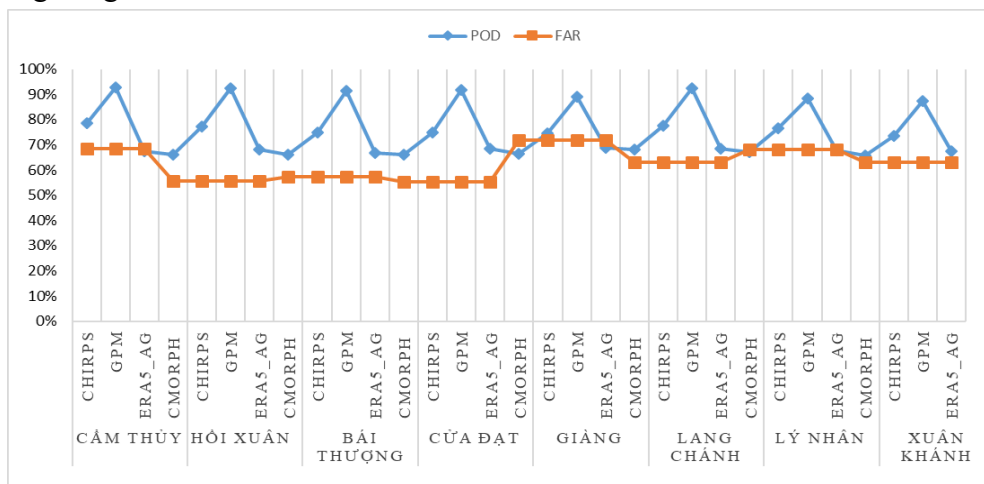
Xếp hạng	NSE & R ²	PBIAS
Rất tốt	0,75 < NSE & R ² ≤ 1,00	PBIAS < 10
Tốt	0,65 < NSE & R ² ≤ 0,75	10 ≤ PBIAS < 15
Đạt yêu cầu	0,5 < NSE & R ² ≤ 0,65	15 ≤ PBIAS < 25
Không đạt yêu cầu	NSE & R ² ≤ 0,5	PBIAS ≥ 25

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phân tích, so sánh dữ liệu mưa vệ tinh và mưa trạm theo thời đoạn ngày

3.1.1. Phân tích khả năng giám sát sự kiện mưa

Phân tích chỉ số POD và FAR của 4 nguồn dữ liệu mưa vệ tinh cho 8 trạm đo mưa trong Hình 3. Kết quả so sánh cho thấy CHIRPS và GPM nổi trội hơn hẳn về khả năng giám sát chính xác sự kiện mưa. Cụ thể, POD của hai nguồn dữ liệu này thường trên 80%, thậm chí đạt 90% tại một số trạm như Cửa Đạt, Giàng và Xuân Khánh. Trong khi đó, ERA5_AG và CMORPH cho thấy POD thấp hơn, dao động từ 60% đến 80%, tuy nhiên ERA5_AG có POD tương đương CHIRPS tại Cẩm Thủy và Bái Thượng. Mặc dù khả năng phát hiện mưa tốt, cả bốn sản phẩm vẫn tồn tại tỷ lệ sai (FAR) đáng kể, dao động khoảng 50-70%. Trong đó, ERA5_AG có xu hướng cho FAR thấp hơn một chút so với ba nguồn còn lại, nhưng sự khác biệt không đáng kể.



Hình 3. Giá trị POD và FAR của các sản phẩm lượng mưa.

3.1.2. So sánh lượng mưa ngày giữa mưa vệ tinh và mưa thực đo

Nghiên cứu này đã phân tích mối tương quan giữa dữ liệu lượng mưa hàng ngày từ năm 2001 đến 2012 tại 8 trạm đo mưa với 4 nguồn dữ liệu mưa vệ tinh: CHIRPS, GPM, ERA5_Ag và CMORPH. Với mỗi trạm đo, ô lưới mưa vệ tinh gần nhất sẽ được sử dụng để so sánh, đánh giá. Các chỉ số thống kê CC, RMSE, ME, BIAS được tính toán để đánh giá hiệu quả của từng nguồn dữ liệu và trình bày ở Bảng 4. Nhìn chung, có sự sai khác lớn giữa dữ liệu mưa trạm và mưa vệ tinh theo thời đoạn ngày. So sánh hiệu suất của bốn sản phẩm lượng mưa vệ tinh cho thấy ERA5_Ag nổi bật với độ chính xác cao và sai số dự báo thấp nhất (RMSE dao động

từ 10,60 đến 14,71). GPM thể hiện hiệu suất ở mức khá ổn định. Trong khi đó, CHIRPS cho kết quả trung bình, thì CMORPH lại kém hiệu quả nhất với độ chính xác thấp và sai số lớn, thể hiện rõ nhất qua chỉ số RMSE cao bất thường tại Bái Thượng (70,58).

Bảng 4. Các chỉ số thống kê sản phẩm lượng mưa vệ tinh so với trạm thực đo.

Mưa vệ tinh	Trạm đo mưa	Hồi Xuân	Bái Thượng	Cắm Thủy	Cửa Đạt	Giàng	Làng Chánh	Lý Nhân	Xuân Khánh
CHIRPS	CC	0,23	0,26	0,26	0,22	0,16	0,25	0,23	0,21
	RMSE	11,76	12,48	11,22	14,75	10,61	13,09	10,70	10,83
	ME	-0,30	-1,04	-0,95	-1,11	-0,68	-1,05	-0,71	-0,72
	BIAS	-0,29	-0,95	-0,95	-0,83	-0,76	-0,96	-0,76	-0,77
GPM	CC	0,25	0,29	0,26	0,24	0,22	0,24	0,31	0,28
	RMSE	11,71	12,15	11,93	14,70	10,47	12,85	10,50	10,65
	ME	-0,17	-0,77	-0,67	-1,05	-0,57	-0,81	-0,60	-0,62
	BIAS	-0,16	-0,70	-0,67	-0,79	-0,64	-0,74	-0,65	-0,65
ERA5_Ag	CC	0,09	0,08	0,07	0,09	0,07	0,07	0,09	0,08
	RMSE	12,09	12,27	12,05	14,71	10,60	12,88	10,74	10,86
	ME	-0,06	-0,47	-0,41	-0,75	-0,42	-0,46	-0,46	-0,47
	BIAS	-0,06	-0,43	-0,41	-0,56	-0,47	-0,42	-0,49	-0,50
CMORPH	CC	0,11	0,09	0,10	0,12	0,10	0,12	0,08	0,21
	RMSE	12,74	70,58	79,93	35,04	81,35	18,17	81,48	10,83
	ME	-0,06	8,79	10,62	4,38	10,31	1,80	10,28	-0,72
	BIAS	-0,06	8,03	10,62	3,27	11,50	1,65	11,05	-0,77

3.2. Phân tích, so sánh và đánh giá dữ liệu mưa tháng

Kết quả đánh giá cho thấy các sản phẩm vệ tinh ước tính tổng lượng mưa tháng hiệu quả hơn hẳn so với lượng mưa ngày. Trong đó, CHIRPS và GPM cho thấy khả năng nắm bắt tốt xu hướng biến động của lượng mưa thực tế, thể hiện qua hệ số tương quan (CC) cao. Mưa GPM cho độ chính xác cao nhất, theo sau là mưa CHIRPS. Mặc dù có độ chính xác dự báo cao và ổn định (RMSE thấp), ERA5_Ag lại chưa cho thấy khả năng nắm bắt tốt xu hướng biến động của lượng mưa do CC chỉ ở mức trung bình. Cuối cùng, CMORPH cho thấy hiệu suất kém nhất với độ chính xác thấp và sai số dự báo lớn, đặc biệt tại trạm Bái Thượng, cho thấy CMORPH có thể không phù hợp để sử dụng trong khu vực nghiên cứu (Bảng 5).

Bảng 5. Kết quả tính các chỉ số CC, RMSE, ME, BIAS.

Mưa vệ tinh	Trạm đo mưa	Hồi Xuân	Bái Thượng	Cắm Thủy	Cửa Đạt	Giàng	Làng Chánh	Lý Nhân	Xuân Khánh
CHIRPS	CC	0,83	0,84	0,80	0,77	0,69	0,84	0,90	0,76
	RMSE	0,35	0,74	0,69	0,83	0,53	0,78	0,37	0,56
	ME	-0,01	-0,03	-0,03	-0,04	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02
	BIAS	-0,29	-0,95	-0,95	-0,83	-0,75	-0,96	-0,76	-0,77
GPM	CC	0,85	0,78	0,75	0,76	0,74	0,76	0,90	0,78
	RMSE	0,33	0,60	0,56	0,81	0,48	0,66	0,31	0,50
	ME	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02
	BIAS	-0,16	-0,70	-0,67	-0,79	-0,63	-0,74	-0,65	-0,65
ERA5_Ag	CC	0,70	0,56	0,52	0,57	0,54	0,55	0,64	0,55
	RMSE	0,44	0,58	0,55	0,76	0,49	0,62	0,28	0,51
	ME	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02
	BIAS	-0,05	-0,42	-0,41	-0,56	-0,47	-0,42	-0,48	-0,49
CMORPH	CC	0,64	0,66	0,66	0,64	0,57	0,62	0,75	0,63
	RMSE	0,44	5,97	7,14	2,97	6,99	1,23	7,06	6,59
	ME	0,00	0,29	0,35	0,14	0,34	0,06	0,34	0,34
	BIAS	-0,06	8,07	10,69	3,30	11,58	1,66	11,22	10,96

3.3. Đánh giá hiệu suất của mưa vệ tinh trong mô phỏng dòng chảy

3.3.1. Kết quả đánh giá mô hình theo thời đoạn ngày

Mô hình được hiệu chỉnh dựa vào số liệu dòng chảy thực đo tại trạm thủy văn Cẩm Thủy với thời đoạn từ 1/1/1992 đến 31/12/2012, trong đó giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định được thiết lập lần lượt là 2001-2006 và 2009-2011 (Hình 4). Các thông số mô hình được đưa vào xem xét hiệu chỉnh và kiểm định được trình bày ở Bảng 7. Với mỗi nguồn mưa, mô hình SWAT được chạy lặp 500 lần sử dụng công cụ SWAT CUP.

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình dòng chảy ngày, được trình bày tại Hình 4 và Bảng 6, cho thấy dữ liệu GPM vượt trội hơn hẳn so với CHIRPS, ERA5_Ag và CMORPH. Cụ thể, GPM đạt hiệu suất mô phỏng tốt với hệ số xác định R² đạt 0,60, hiệu suất mô hình NSE đạt 0,55 và sai số PBIAS là 20,82% trong giai đoạn hiệu chỉnh. Hiệu suất mô hình với GPM tiếp tục duy trì ở mức đạt trong giai đoạn kiểm định (R² = 0,56, NSE = 0,52, PBIAS = 15,69%). Trong khi đó, CHIRPS cho kết quả kém khả quan hơn với NSE thấp (0,31) và PBIAS cao (46,55%), mặc dù R² ở mức chấp nhận được (0,59). Tương tự, ERA5_Ag và CMORPH cho thấy hiệu suất mô phỏng kém hơn đáng kể so với GPM. Kết quả này cho thấy GPM là nguồn dữ liệu mưa phù hợp nhất cho mô hình dòng chảy lưu vực sông Mã, đáp ứng các tiêu chí đánh giá chất lượng mô hình tại Bảng 3.

Bảng 6. Đánh giá kết quả mô phỏng dòng chảy giai đoạn hiệu chỉnh, kiểm định theo quy mô hàng ngày.

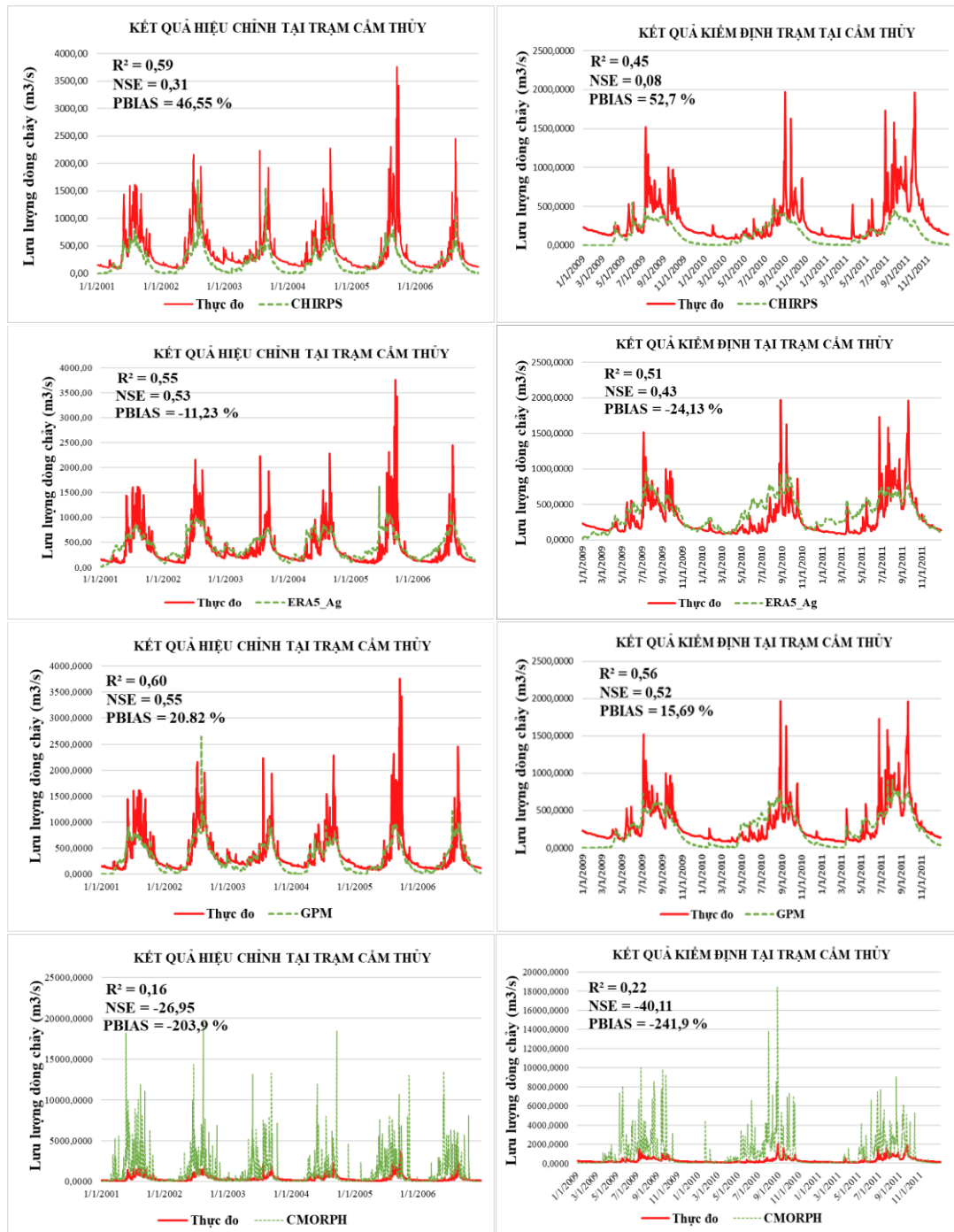
Giai đoạn		Giá trị		
		R ²	NSE	PBIAS
Hiệu chỉnh (01/01/2001 - 31/12/2006)	CHIRPS	0,59	0,31	46,55
	ERA5_Ag	0,55	0,53	-11,23
	GPM	0,60	0,55	20,82
	CMORPH	0,16	-26,95	-203,9
Kiểm định (01/01/2009 - 31/12/2011)	CHIRPS	0,45	0,08	52,7
	ERA5_Ag	0,51	0,43	-24,13
	GPM	0,56	0,52	15,69
	CMORPH	0,22	-40,11	-241,9

Bảng 7. Các thông số tối ưu được hiệu chỉnh cho cả bốn mô hình.

Tên thông số	Mô tả	Khoảng giá trị mặc định		Khoảng giá trị tối ưu	
		Min	Max	Min	Max
V_CN2	Chỉ số CN ứng với điều kiện ẩm II	35	98	35,02	37,02
V_ALPHA_BF	Hệ số triết giảm dòng chảy ngầm	0	1	0,195	0,23
V_GW_DELAY	Thời gian trữ nước tầng ngầm (ngày)	0	500	25	25,3
V_GWQMN	Ngưỡng sinh dòng chảy ngầm	0	5000	0,02	1,28
V.GW_REVAP	Hệ số tái tạo nước ngầm	0,02	0,2	0,02	0,06
V_REVAPMN	Ngưỡng độ sâu của nước trong tầng chứa nước nông để xảy ra hiện tượng “bốc hơi” (mm)	0	500	28,5	252
V_ESCO	Hệ số bốc hơi của đất	0	1	0,07	0,45
V_OV_N	Giá trị “n” của Manning cho dòng chảy trên mặt đất	0,01	1	0,10	1,00
V_SOL_AWC	Khả năng trữ nước của đất	0	1	0,005	1,00

3.3.2. Kết quả đánh giá mô hình theo thời đoạn tháng

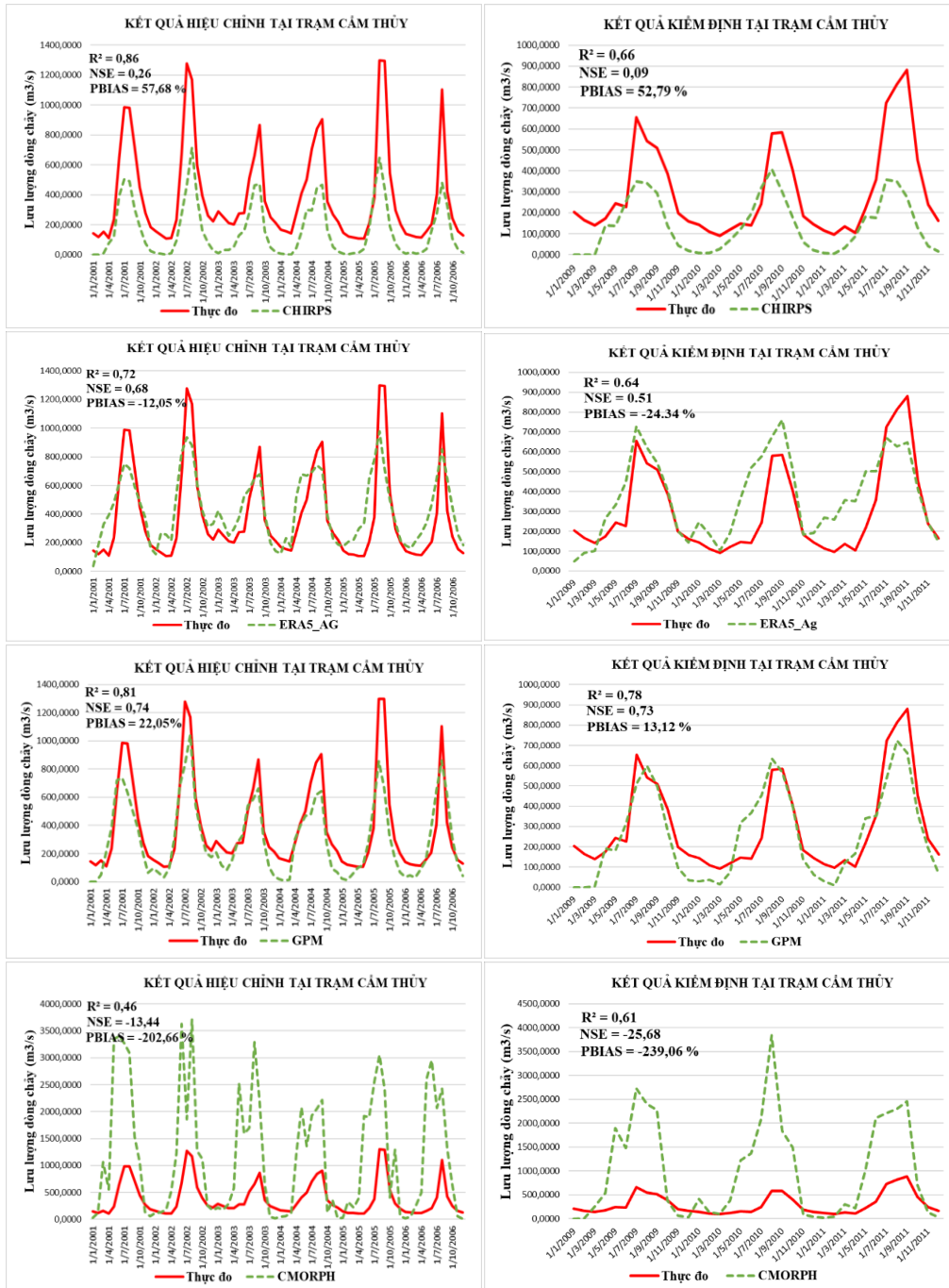
Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình dòng chảy ở bước thời gian tháng (Bảng 8, Hình 5) cho thấy dữ liệu mưa GPM cho hiệu quả tốt nhất và ổn định nhất. Cụ thể, trong giai đoạn hiệu chỉnh, GPM đạt R² = 0,81, NSE = 0,74, PBIAS = 22,05%. Hiệu suất của GPM tiếp tục được duy trì ở giai đoạn kiểm định với R² = 0,78, NSE = 0,73, PBIAS = 13,11%. Mặc dù CHIRPS và ERA5_Ag đạt R² khả quan nhưng lại cho hệ số NSE thấp. CMORPH cho kết quả kém nhất, không phù hợp cho mô hình dòng chảy. Như vậy, dữ liệu CMORPH không tốt khi so sánh với dữ liệu mưa trạm và khi mô phỏng dòng chảy.



Hình 4. Đường quá trình lưu lượng thực đo và mô phỏng từ mô hình SWAT tại trạm Cẩm Thủy theo thời đoạn ngày giai đoạn hiệu chỉnh (01/01/2001-31/12/2006) và kiểm định (01/01/2009-31/12/2011).

Bảng 8. Đánh giá kết quả mô phỏng dòng chảy giai đoạn hiệu chỉnh, kiểm định theo quy mô hàng tháng.

Giai đoạn		Giá trị		
		R ²	NSE	PBIAS
Hiệu chỉnh (01/01/2001 - 31/12/2006)	CHIRPS	0,86	0,26	57,68
	ERA5_Ag	0,72	0,68	-12,05
	GPM	0,81	0,74	22,05
	CMORPH	0,46	-13,44	-202,66
Kiểm định (01/01/2009 - 31/12/2011)	CHIRPS	0,66	0,09	52,79
	ERA5_Ag	0,64	0,51	-24,34
	GPM	0,78	0,73	13,11
	CMORPH	0,61	-25,68	-239,06



Hình 5. Đường quá trình lưu lượng thực đo và mô phỏng từ mô hình SWAT tại trạm Cầm Thủy theo thời đoạn tháng giai đoạn hiệu chỉnh (01/01/2001-31/12/2006) và kiểm định (01/01/2009-31/12/2011).

4. Kết luận

Nghiên cứu này tập trung đánh giá và so sánh hiệu quả của bốn sản phẩm mưa vệ tinh độ phân giải cao (CHIRPS, ERA5_Ag, GPM và CMORPH) trong mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông Mã, một trong những lưu vực sông liên quốc gia chính của Việt Nam. Kết quả cho thấy khi so sánh với dữ liệu mưa trạm, các sản phẩm mưa vệ tinh đều có khả năng nhận diện mưa khá tốt, đạt độ chính xác khoảng 80%. Tuy nhiên, tương quan về lượng mưa thời đoạn ngày giữa mưa trạm và mưa vệ tinh tương đối thấp, cho thấy sự khác biệt đáng kể về lượng giữa hai nguồn dữ liệu. Điều này là do các sai số liên quan đến phạm vi không gian của mưa vệ tinh và mưa trạm cũng như sai số đo đạc của cả 2 loại nguồn mưa. Với thời đoạn tháng, kết quả hai nguồn mưa có sự phù hợp với nhau tương đối tốt với hệ số tương quan

(CC). Mưa GPM và CHIRPS là 2 nguồn mưa phù hợp nhất với dữ liệu mưa trạm với hệ số tương quan của lượng mưa tháng của 2 nguồn này với các trạm đo mưa đều lớn hơn 0.75. Trong khi đó, dữ liệu mưa CMORPH có độ phù hợp với mưa trạm kém nhất. Khi sử dụng các nguồn mưa vệ tinh làm đầu vào để mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông Mã, mưa GPM cũng cho kết quả tốt nhất, vượt trội hơn hẳn so với CHIRPS, ERA5_Ag và CMORPH ở cả thời đoạn ngày và tháng. Kết quả mô phỏng dòng chảy sử dụng dữ liệu GPM cho độ chính xác cao với $R^2 = 0,81$, $NSE = 0,74$ và $PBIAS = 22,05\%$ ở quy mô tháng và $R^2 = 0,60$, $NSE = 0,55$ và $PBIAS = 20,82\%$ ở quy mô ngày. Mặc dù tương quan của dòng chảy thực đo và mô phỏng tương đối tốt, sai số tổng lượng tương đối lớn. Điều này là do các nguồn mưa vệ tinh chưa được hiệu chỉnh. Trong thời gian tới, nghiên cứu sẽ tiến hành hiệu chỉnh dữ liệu mưa vệ tinh để phù hợp với điều kiện lưu vực sông Mã.

Mặc dù nghiên cứu mới chỉ đánh giá bốn nguồn dữ liệu mưa vệ tinh phổ biến và giới hạn trong phạm vi lưu vực sông Mã, phương pháp và kết quả của nó có thể được tham khảo và ứng dụng cho các lưu vực sông khác tại Việt Nam, đặc biệt là những nơi thiếu số liệu quan trắc. Việc mở rộng nghiên cứu sang các lưu vực sông với đặc điểm tự nhiên và điều kiện khí hậu thủy văn khác nhau sẽ giúp khẳng định tính hiệu quả và khả năng ứng dụng rộng rãi của phương pháp này cứu.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.A.P.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.A.P., N.T.L.A., L.M.A.; Xử lý số liệu: N.T.L.A.; L.M.A.; Thiết lập mô hình: N.T.L.A., L.M.A.; Viết bản thảo bài báo: N.T.L.A.; Chỉnh sửa bài báo: T.A.P., L.M.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.

Tài liệu tham khảo

- Galván, L.; Olías, M.; Izquierdo, T.; Cerón, J.C.; Villarán, R.F. Rainfall estimation in SWAT: An alternative method to simulate orographic precipitation. *J. Hydrol.* **2014**, *257*–265.
- Lobligeois, F.; Andréassian, V.; Perrin, C.; Tabary, P.; Loumagne, C. When does higher spatial resolution rainfall information improve streamflow simulation? An evaluation using 3620 flood events. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2014**, *18*, 575–594.
- Roth, V.; Lemann, T. Comparing CFSR and conventional weather data for discharge and soil loss modelling with SWAT in small catchments in the Ethiopian Highlands. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2016**, *20*, 921–934.
- Kidd, C.; Becker, A.; Huffman, G.J.; Muller, C.L.; Joe, P.; Skofronick-Jackson, G.; Kirschbaum, D.B. So, how much of the Earth's surface is covered by rain gauges?. *Bull. Am.* **2017**, *98*, 69–78.
- Alsallal, S.T.; Leong, M.; Sämt, N.; Al-Bakri, Jawad, T.; Longhui, L. Evaluation of CHIRPS and CFSR precipitation products over the Mujib Basin, Jordan. *Geografia Malaysian J. Soc. Space* **2023**, *19*(2), 1–20.
- Serrat-Capdevila, A.; Valdes, J.B.; Stakhiv, E.Z. Water management applications for satellite precipitation products: Synthesis and recommendations. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **2014**, *50*, 509–525.
- Mekonnen, G.; Menberu, M.B.; Feyera, A.H.; Gebrehiwot, N.T. Accuracy of satellite rainfall estimates in the Blue Nile Basin: Lowland plain versus highland mountain. *Water Resour. Res.* **2014**, *50*(11), 8775–8790.
- Guo, H.; Chen, S.; Bao, A.; Hu, J.; Gebregiorgis, A.S.; Xue, X.; Zhang, X. Inter-comparison of high-resolution satellite precipitation products over Central Asia. *Remote Sens.* **2015**, *7*, 7181–7211.
- Kiên, N.T.; An, N.L.; Thành, L.Đ. Đánh giá chất lượng mưa vệ tinh GSMaP mô phỏng mưa lớn-ứng dụng cho lưu vực sông Mã. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2019**, *64*, 76–83.

10. Ngọc, T.M.; Khá, Đ.Đ.; Tuấn, N.C.; Như, N.Y. Đánh giá chất lượng mưa vệ tinh CMORPH trên lưu vực sông Lam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 763, 24–34.
11. Lành, N.V.; Dũng, N.V.; Dương, T.H.; Tâm, T.T. Sử dụng lượng mưa vệ tinh đánh giá khả năng hạn hán khí tượng dựa trên chỉ số SPI cho khu vực tỉnh Thanh Hóa. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 696, 1–9.
12. Gao, Z.; Long, D.; Tang, G.; Zeng, C.; Huang, J.; Hong, Y. Assessing the potential of satellite-based precipitation estimates for flood frequency analysis in ungauged or poorly gauged tributaries of China's Yangtze River basin. *J. Hydrol.* **2017**, 550, 478–496. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.025>.
13. Zambrano-Bigiarini, M.; Nauditt, A.; Birkel, C.; Verbist, K.; Ribbe, L. Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2017**, 21, 1295–1320. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1295-2017>.
14. Luo, X.; Wu, W.; He, D.; Li, Y.; Ji, X. Hydrological simulation using TRMM and CHIRPS precipitation estimates in the lower Lancang-Mekong river basin, Chinese. *Geogr. Sci.* **2019**, 29, 13–25. <https://doi.org/10.1007/s11769-019-1014-6>.
15. Sun, Q.; Miao, C.; Duan, Q.; Ashouri, H.; Sorooshian, S.; Hsu, K.L. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Rev. Geophys.* **2018**, 56, 79–107. <https://doi.org/10.1002/2017RG000574>.
16. Duan, Z.; Tuo, Y.; Liu, J.; Gao, H.; Song, X.; Zhang, Z.; Yang, L.; Mekonnen, D.F. Hydrological evaluation of open-access precipitation and air temperature datasets using SWAT in a poorly gauged basin in Ethiopia. *J. Hydrol.* **2019**, 569, 612–626. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.026>.
17. Lai, C.; Zhong, R.; Wang, Z.; Wu, X.; Chen, X.; Wang, P.; Lian, Y. Monitoring hydrological drought using long-term satellite-based precipitation data. *Sci. Total. Environ.* **2019**, 649, 1198–1208. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.245>.
18. Hải, B.T.; Tuấn, N.V. Nghiên cứu đánh giá và so sánh các dữ liệu mưa vệ tinh độ phân giải cao lưu vực sông Cả. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 695, 17–28.
19. Hung, P.T.; Bình, N.Q.; Phước, V.N.Đ. Đánh giá khả năng sử dụng các sản phẩm mưa vệ tinh để mô phỏng dòng chảy bằng mô hình thủy văn. *Tap chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2021**, 74, 103–111.
20. Minh, N.H.; Dũng, P.T.; Vân, V.T.T.; Đại, H.V.; Khiêm, M.V.; Nhung, N.P. Nghiên cứu hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar phục vụ nâng cao chất lượng mô phỏng dòng chảy. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 743, 23–35.
21. Alsalal, S.T.; Leong, M.; Sämt, N.; Al-Bakri, J.T; Longhui, L. Evaluation of CHIRPS and CFSR precipitation products over the Mujib Basin, Jordan. *Geografia Malaysian J. Soc. Space.* **2023**, 19(2), 1–20.
22. Pang, J.; Zhang, H.; Xu, Q.; Wang, Y.; Wang, Y.; Zhang, O.; Hao, J. Hydrological evaluation of open-access precipitation data using SWAT at multiple temporal and spatial scales. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2020**, 24, 3603–3626.
23. Arnold, J. SWAT-soil and water assessment tool. 1994.
24. Neitsch, S.; Arnold, J.; Kiniry, J.; Srinivasan, R.; Williams, J.J.G.r. Soil and water assessment tool user's manual version 2000, 2012, pp. 202.
25. Azarnivand, A.; Camporese, M.; Alaghmand, S.; Daly, E. Simulated response of an intermittent stream to rainfall frequency patterns. *Hydrol. Processes* **2019**, 34, 615–632.
26. Wen, T.; Xiong, L.; Jiang, C.; Hu, J.; Liu, Z. Effects of climate variability and human activities on suspended sediment load in the Ganjiang river basin, China. *J. Hydrol. Eng.* **2019**, 24(11), 1943–5584.

A study on evaluation and comparison of high-resolution satellite precipitation for streamflow simulation in the Ma river basin

Nguyen Thi Lan Anh¹, Le Manh An¹, Tran Anh Phuong^{1*}

¹ Water Resources Institute, Ministry of Natural Resources and Environment;
phuongtran.monre@gmail.com; anhlannguyentv@gmail.com

² Center for Hydrometeorological Technology, Viet Nam Meteorological and
Hydrological Administration, Ministry of Natural Resources and Environment;
lemanhan82@gmail.com

Abstract: The increasing availability of satellite precipitation has opened up opportunities to supplement ground-based observations, especially in data-sparse regions. This study compared the effectiveness of four satellite precipitation sources including CHIRPS, GPM, CMORPH and ERA5_Ag to select the appropriate satellite precipitation source for the Ma River basin. To achieve this goal, satellite precipitation sources were evaluated in comparison with station precipitation data and evaluated for their potential as inputs for the SWAT model to simulate the rainfall-runoff process in the Ma River basin. The results show that in the daily period, the degree of agreement between station rain and satellite rain is relatively poor. However, in the monthly period, the compatibility between the two rain sources increases significantly. GPM precipitation source is the most suitable data source for the study basin with better evaluation indexes than other precipitation sources when simulating hydrological processes in the basin, especially at the monthly time step. Specifically, GPM achieved $R^2 = 0.81$, $NSE = 0.74$ and $PBIAS = 22.05\%$ at the monthly scale, showing the ability to simulate accurate flow. At the daily scale, although the accuracy decreased slightly ($R^2 = 0.60$, $NSE = 0.55$ and $PBIAS = 20.82\%$), GPM still gave better results than the remaining precipitation sources. This study has identified the application potential of satellite precipitation data and selected a reliable satellite precipitation data source to simulate flow for the Ma river basin, serving the forecasting and management of water resources.

Keywords: Satellite precipitation; GPM; Ma river; SWAT; Data scarce; Rainfall-runoff.

Bài báo khoa học

Đánh giá rủi ro ngập lụt khu vực hạ lưu sông Trà Khúc - sông Vệ, tỉnh Quảng Ngãi dưới tác động của các hoạt động kinh tế - xã hội

Hoàng Thái Bình², Nguyễn Bách Tùng¹, Nguyễn Hồng Thủy¹, Mai Đức Hoàng¹, Đào Đình Châm², Nguyễn Tường Vĩ³, Trần Ngọc Anh^{1*}

¹ Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; bachtung_cefd@hus.edu.vn; tranngocanh@hus.edu.vn; nguyenhongthuy@hus.edu.vn, maiduchoang_t65@hus.edu.vn

² Viện Địa lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; htbinh@ig.vast.vn

³ Chi cục Thủy lợi, Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh Bình Định; vint@snnptnt.binhding.gov.vn

*Tác giả liên hệ: tranngocanh@hus.edu.vn; Tel.: +84-915051515

Ban biên tập nhận bài: 15/7/2024; Ngày phản biện xong: 29/8/2024; Ngày đăng bài: 25/1/2025

Tóm tắt: Trong những năm qua, lũ lụt đã và đang gây ra rất nhiều những thiệt hại nghiêm trọng về kinh tế - xã hội và con người trên thế giới cũng như tại Việt Nam. Tại Việt Nam, hàng năm lũ thường xuyên xảy ra gây thiệt hại rất lớn cho các khu vực miền trung các tỉnh có sông lớn như sông Mã, sông Cả, sông Vu Gia - Thu Bồn, sông Trà Khúc - sông Vệ,... Hiện nay, các phương pháp đánh giá rủi ro thường mang tính chất định tính, diện tích rủi ro chưa được cụ thể giá trị trên các lưu vực sông lớn đặt biệt như lưu vực sông Trà Khúc - sông Vệ. Do vậy, nghiên cứu này đã thống kê thiệt hại, rủi ro do lũ, ngập lụt gây ra bằng công cụ DEFLT-FIAT để đánh giá rủi ro do lũ với kết quả tính toán được quy ra đơn vị tiền (VNĐ). Trong nghiên cứu đã sử dụng kết quả tính toán ngập lụt (dữ liệu hiểm họa theo các kịch bản tương ứng với tần suất xuất hiện được mô phỏng bằng mô hình MIKE), dữ liệu sử dụng đất (độ lộ diện) và các hàm thiệt hại của các đối tượng khác nhau làm đầu vào cho công cụ DEFLT-FIAT. Nghiên cứu đã tính toán với mức độ rủi ro do lũ hàng năm khoảng 12,8 tỷ. Các khu vực có mức độ rủi ro do lũ lớn sẽ tập chung tại TP. Quảng Ngãi, Sơn Tịnh và Tư Nghĩa.

Từ khóa: Ngập lụt; Rủi ro do ngập lụt; Sông Trà Khúc - sông Vệ.

1. Giới thiệu

Lũ lụt là một dạng thiên tai gây ra những thiệt hại nghiêm trọng về người và tài sản. Tại Việt nam hàng năm, lũ lụt không chỉ gây ra cái chết và thương tích cho hàng trăm người, phá hủy hàng nghìn ngôi nhà, cơ sở hạ tầng: đường sá, cầu cống, trường học ..., nền kinh tế bị đình trệ do giao thông bị chia cắt, sản xuất nông nghiệp bị mất trắng..., làm tăng nguy cơ bùng phát các dịch bệnh sau thiên tai [1-3]. Trước những thiệt hại nặng nề do lũ lụt gây ra, nhằm phòng tránh và giảm thiểu thiệt hại đã có nhiều nghiên cứu của cả trong và ngoài nước [4] về các hướng như: nghiên cứu cảnh báo, dự báo lũ lụt; xây dựng các bản đồ ngập lụt phục vụ phòng tránh và giảm nhẹ thiên tai; nghiên cứu quy hoạch bố trí các công trình chính trị ...

Sử dụng các phương pháp lượng hóa được mức độ tổn thất do lũ lụt và xây dựng bản đồ phân bố không gian của rủi ro lũ lụt là xu hướng được áp dụng phổ biến ở các nước tiên tiến và bước đầu đã được áp dụng tại Việt Nam. Đã có nhiều nghiên cứu thành lập các bản đồ ngập lụt dựa trên việc điều tra khảo sát vết lũ [5], kết hợp mô hình toán và công cụ GIS [6],

sử dụng ảnh viễn thám và công cụ GIS [7], hay như: kết hợp dữ liệu mưa IFS thiết lập mô hình mô phỏng độ sâu ngập hỗ trợ các nhà quản lý hoạch định kế hoạch phòng chống trong tương lai [8], xây dựng hành lang thoát lũ cho các lưu vực sông bằng việc sử dụng mô hình mô phỏng lũ kết hợp chồng chập các bản đồ sử dụng đất, sử dụng mô hình toán nhằm dự báo các kịch bản vỡ đập gây ngập lụt [9]... Có thể thấy trong các phương pháp nghiên cứu về lũ lụt, phương pháp sử dụng mô hình để xây dựng bản đồ ngập lụt trên cơ sở tần suất trong quá khứ nhằm xây dựng các kịch bản phòng chống, giảm nhẹ thiên tai và ước lượng thiệt hại do lũ lụt gây ra là phương pháp đã được sử dụng nhiều và cho kết quả đáng tin cậy.

Để đánh giá tác động của các loại hình thiên tai đến các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội thường được sử dụng thông qua các hàm thiệt hại. Tuy nhiên, chưa có một mô hình toàn diện nào được đề xuất, lý do là sự phụ thuộc mạnh mẽ của quan hệ giữa các biến thiên tai (lũ lụt, hạn hán, xâm nhập mặn ...), mức độ thiệt hại do nó gây ra với các điều kiện địa lý, điều kiện khí hậu, sự phát triển kinh tế - xã hội như: sử dụng đất, phát triển kinh tế ...; độ chính xác của đánh giá thiệt hại còn phụ thuộc vào yếu tố bất định trong các nguồn dữ liệu được sử dụng [10, 11]. Chính vì các yếu tố nêu trên nên hàm thiệt hại có tính địa lý và thường được hiệu chỉnh cho từng khu vực, từng mục tiêu cụ thể và loại hình sử dụng đất, điển hình là các nghiên cứu cho khu vực đầy đủ dữ liệu có thể xây dựng các hàm thiệt hại riêng hoặc khung phương pháp chuẩn để đánh giá rủi ro thiên tai [12–17]; hoặc những nước đang phát triển với số liệu về các loại hình thiên tai thường không được cung cấp đầy đủ, dữ liệu tương đối ít [18–21].

Ở Việt Nam, đánh giá thiệt hại và tác động do lũ lụt gây ra [17] đã xác định tỷ lệ nhạy cảm của cây trồng tại từng độ sâu ngập khác nhau dựa trên dữ liệu thu thập tại tỉnh Quảng Nam, [16] giả định thiệt hại do lũ tăng theo độ sâu ngập theo 3 dạng hàm đơn biến (hàm bậc hai, hàm mũ và hàm chữ S). Xây dựng hàm lookup đa biến để ước lượng thiệt hại do lũ lụt đối với cây lúa dựa trên phương pháp nghiên cứu thứ cấp, bao gồm việc thu thập và tích hợp các nguồn thông tin thứ cấp phân mảnh về thiệt hại lúa do ngập lụt và dữ liệu thu thập được theo các trận lũ ở khu vực nông thôn phía nam lưu vực sông Cả [22].

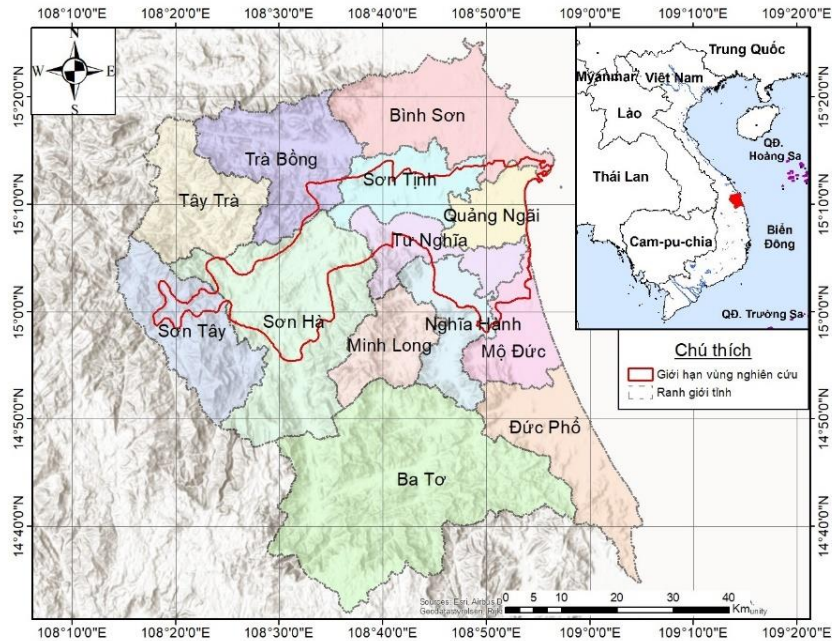
Hàng năm lũ thường xuyên xảy ra gây thiệt hại rất lớn cho các khu vực miền trung các tỉnh có sông lớn như sông Mã, sông Cả, sông Vu Gia - Thu Bồn, sông Trà Khúc - sông Vệ,... Hiện nay, các phương pháp đánh giá rủi ro thường mang tính chất định tính, diện tích rủi ro chưa được cụ thể giá trị trên các lưu vực sông lớn đặt biệt như lưu vực sông Trà Khúc - sông Vệ. Lưu vực sông Trà Khúc - sông Vệ có diện tích lưu vực nằm gần trọn vẹn thuộc tỉnh Quảng Ngãi, là lưu vực lớn thuộc các tỉnh Trung Trung Bộ, có vai trò quan trọng trong sự phát triển kinh tế - xã hội của tỉnh và cả khu vực Trung Trung Bộ. Hàng năm trên lưu vực thường xuất hiện lũ lớn gây thiệt hại tới sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy hải sản, ngập lụt các khu đô thị, dân cư thuộc địa bàn thành phố Quảng Ngãi ... Do vậy, nghiên cứu này đã thống kê thiệt hại, rủi ro do lũ, ngập lụt gây ra bằng công cụ DEFLT-FIAT để đánh giá rủi ro do lũ với kết quả tính toán được quy ra đơn vị tiền (VNĐ).

2. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

Quảng Ngãi là một tỉnh ven biển nằm ở vùng Duyên hải Nam Trung bộ, trải dài từ 14°32' đến 15°25' vĩ độ Bắc, từ 108°06' đến 109°04' kinh độ Đông, tựa vào dãy núi Trường Sơn hướng ra biển Đông. Nền kinh tế của tỉnh có vai trò quan trọng đối với sự phát triển của tỉnh cũng như khu vực. Năm 2023, tổng sản phẩm trên địa bàn (GRDP) tăng (2,24%) so với năm 2022; GRDP bình quân đầu người ước đạt 4.283 USD/người; Cơ cấu kinh tế: Công nghiệp-xây dựng và dịch vụ chiếm tỷ trọng 68,6% (kế hoạch 66-67%); năng suất lao động xã hội tăng 2,4%; vốn đầu tư thực hiện trên địa bàn đạt 31.181 tỷ đồng; tỷ lệ đô thị hóa đạt 37,0% [23]. Hạ lưu hệ thống sông Trà Khúc - sông Vệ bao gồm phần diện tích tự nhiên của lưu vực sông Trà Khúc - sông Vệ được tính từ đập Thạch Nham và hệ thống kênh chính Bắc, Nam về phía biển, là nơi tập trung các khu dân cư, hành chính và kinh tế lớn của tỉnh. Theo QĐ 1456/QĐ-TTg [24] khu vực hạ lưu sông Trà Khúc - sông Vệ được quy hoạch thành cụm đô thị và trung tâm dịch vụ, trung tâm đầu mối sinh thái biển, hậu cần nghề cá, vùng kinh tế

nông nghiệp. Diện tích này bao gồm diện tích tự nhiên các huyện Sơn Tịnh, Tư Nghĩa, Mộ Đức, Nghĩa Hành và thành phố Quảng Ngãi. Với diện tích tự nhiên khoảng 1055,39 km², trong đó đất nông nghiệp chiếm 49,28%, đất lâm nghiệp chiếm 25,5%, đất ở chiếm 6,5%, còn lại là các loại đất khác [20].

Địa hình đồng bằng hạ lưu sông Trà Khúc - sông Vệ có độ cao trung bình từ 5-30 m, vùng cửa sông ven biển có cấu trúc dạng lagoon, cửa sông bị bồi lấp vào mùa kiệt và mở rộng vào cuối mùa lũ. Vùng nghiên cứu có địa hình bị phân chia bởi các sông, đồi núi xen kẽ, thể hiện tính chất của đồng bằng phù sa và đồng bằng gò đồi. ven biển xuất hiện các dải cát cao, chạy song song với đường bờ. Hạ lưu hướng



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

chảy của sông có hướng Tây - Đông. Khu vực gần cửa sông Trà Khúc - sông Vệ là trọng điểm thường xuyên bị ngập lụt bởi các yếu tố địa hình sông đều dốc ở phần thượng lưu, mạng lưới sông có dạng nan quạt, nước tập trung nhanh. Khu vực cửa sông bị các dải cát ven biển che chắn làm giảm khả năng thoát lũ gây nên hiện tượng ngập lụt [21].

2.1. Dữ liệu sử dụng

2.1.1. Dữ liệu địa hình

- Sử dụng bản đồ tỷ lệ 1/10.000 toàn bộ khu vực hạ lưu và 1/2.000, 1/5.000 khu vực thành phố Quảng Ngãi thuộc hạ lưu sông Trà Khúc.
- Địa hình lòng dẫn khu vực từ trạm thủy văn Sơn Giang đến cửa biển trên sông Trà Khúc, được kế thừa từ tài liệu dự án Đập dâng Trà Khúc đo đạc năm 2018. Địa hình lòng dẫn sông Trà Khúc từ đập Nước Trong đến cửa biển được đo mới và đo bổ sung, sông Đăk Đrinh được đo đạc năm 2020.
- Số liệu địa hình các tuyến đê, đường giao thông chính khu vực dự án được đo đạc bởi Tổng Công ty TVXDTL Việt Nam đo vẽ năm 2019.
- Dữ liệu đo đạc địa hình bổ sung do Viện Địa lý thực hiện trong dự án CT0649.01/21-23: “Ứng dụng công nghệ Địa không gian trong việc xây dựng các mô hình phục vụ cảnh báo tai biến thiên nhiên” các năm 4/2022, 3/2023 và 5/2024.

2.1.2. Dữ liệu khí tượng, thủy văn

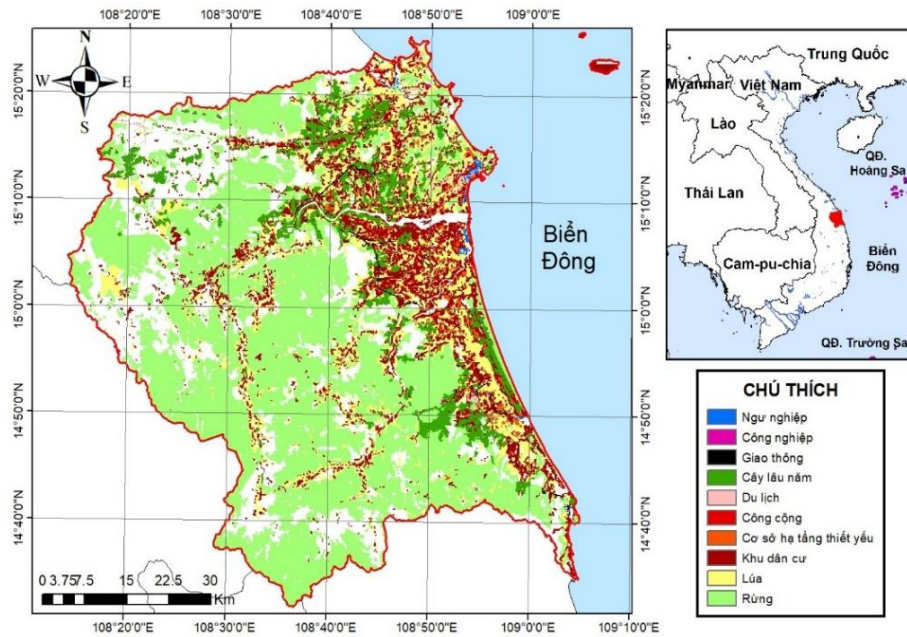
- Tài liệu mưa: Mưa giờ thời đoạn các năm hiện trạng trong vùng dự án có các trạm: Ba Tư, Giá Vực, Sơn Tây, Sơn Hà, Sơn Giang, Minh Long, Trà My, Trà Bồng, An Chỉ, Sông Vệ, Trà Khúc, Châu Ổ và Quảng Ngãi có số liệu đo mưa giờ tương đối đầy đủ và tin cậy. Dó đó lựa chọn các trận mưa với thời đoạn sau để đưa vào hiệu chỉnh, kiểm định mô hình và tính toán mưa hiện trạng cho mô hình thủy lực: 28/9/2009 ÷ 4/10/2009; 14 ÷ 20/11/2013; 3 ÷ 9/11/2017; 27/10/2020 ÷ 02/11/2020.
- Tài liệu thủy văn: Quá trình (Q~t) đến và xả các hồ Đăk Đrinh, Nước Trong thời đoạn 3 ÷ 9/11/2017; 27/10 ÷ 02/11/2020. Quá trình (Q~t) tại trạm thủy văn Sơn Giang và An Chỉ các thời đoạn: 28/9/2009 ÷ 4/10/2009; 14 ÷ 20/11/2013; 3 ÷ 9/11/2017; 27/10 ÷ 02/11/2020.

2.1.3. Dữ liệu về kinh tế - xã hội

- Tài liệu bản đồ hệ thống thủy hệ bao gồm: sông, hồ, ao, kênh rạch...vùng hạ du lưu vực sông Trà Khúc.
- Tài liệu giao thông bao gồm: các đường liên xã, liên thôn và các công trình giao thông như cầu, cống qua sông suối.
- Tài liệu bản đồ các công trình công cộng vùng dự án như trường học, am miếu, Ủy ban Nhân dân,...
- Tài liệu báo cáo tổng kết kinh tế - xã hội, quy hoạch, niên giám thống kê của tỉnh Quảng Ngãi giai đoạn 2015 - 2020, niên giám thống kê tỉnh Quảng Ngãi năm 2021, 2022.

2.1.4. Dữ liệu bản đồ sử dụng đất

Dữ liệu sử dụng đất được thu thập từ Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Quảng Ngãi, sau đó đã được xử lý để làm đầu vào cho công cụ DEFLT FIAT tính toán thiệt hại cho 10 nhóm đất chính gồm: đất sản xuất nông nghiệp, đất ngư nghiệp, đất trồng lúa, đất lâm nghiệp, đất dân cư, đất du



Hình 1. Bản đồ sử dụng đất theo nhóm đất trên địa bàn tỉnh Quảng Ngãi [25].

lich, đất cơ sở hạ tầng thiết yếu, đất công nghiệp, đất giao thông và đất công cộng. Bản đồ sử dụng đất sau khi xử lý được thể hiện dưới Hình 2.

2.1.5. Dữ liệu giá trị đất

Giá trị kinh tế của đất dựa theo số liệu từ Dự án Tăng cường hỗ trợ ứng phó với thiên tai vùng ven biển Việt Nam - Giai đoạn 2 do ICEM thực hiện. Các giá trị này là cho từng quốc gia và dựa theo mối quan hệ GDP [26]. Các giá trị không có trong báo cáo thì sẽ được thu thập từ các nguồn khác: từ các dự án tham khảo, thiệt hại do địa phương đánh giá và ý kiến của các chuyên gia dựa trên kinh nghiệm bản địa. Các giá trị đã được điều chỉnh đến năm 2023.

Bảng 1. Giá trị kinh tế từng loại đất [26].

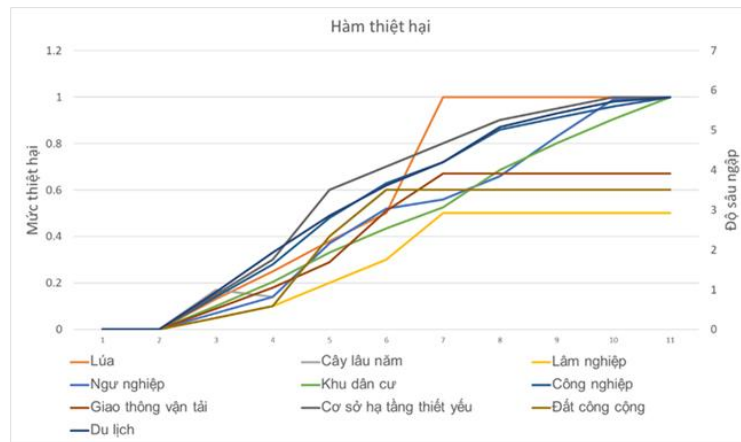
TT	Loại đất	Giá trị kinh tế thu thập từ nguồn	Năm của nguồn	Giá trị kinh tế (2023) VND/m ²	Nguồn
1	Lúa	1749 US\$/ha	2010	9.843,8	JRC Vietnam
2	Cây lâu năm	1749 US\$/ha	2010	9.843,8	JRC Vietnam
3	Rừng	0.17 US\$/m ²	2016	8.054	Sri Lanka 2017
4	Ngư nghiệp	1749 US\$/ha	2010	9.843,8	JRC, Vietnam
5	Khu dân cư	42 US\$/m ²	2010	2.371.458,3	JRC, Vietnam Residential

TT	Loại đất	Giá trị kinh tế thu thập từ nguồn	Năm của nguồn	Giá trị kinh tế (2023) VND/m ²	Nguồn
6	Công nghiệp	86 US\$/m ²	2010	4.877.150,2	JRC, Vietnam
7	Giao thông	1 US\$/m ²	2010	58.167,8	JRC, Vietnam
8	Cơ sở hạ tầng thiết yếu	129 US\$/m ²	2010	7.293.353	Expert Judgement
9	Công cộng			4.474,4	Estimated 50% of Agriculture for landscaping
10	Du lịch	95 US\$/m ²	2010	5.369.339,6	JRC, Vietnam

2.1.6. Dữ liệu hàm thiệt hại

Hàm thiệt hại sử dụng trong nghiên cứu này đã được kế thừa các nghiên cứu trước đây: cụ thể trong Dự án Tăng cường hỗ trợ ứng phó với thiên tai vùng ven biển Việt Nam - Giai đoạn 2 do ICEM thực hiện [26] đã xây dựng hàm thiệt hại do lũ đối với 10 loại đất. Đối với các loại đất được phân loại, hàm thiệt hại và giá trị kinh tế được thu thập dựa trên tài liệu và giá trị địa phương thích ứng. Các yếu tố thiệt hại có ngưỡng bắt đầu từ 10cm để giải thích cho sự không chắc chắn của mô hình và có ý kiến chung rằng một vài cm ngập lụt sẽ không gây ra thiệt hại. Tương ứng với mỗi mức độ sâu ngập lụt sẽ tương ứng với mức độ thiệt hại trên giá trị đất. Cụ thể được minh họa trong Hình 3.

	A	B
	Độ sâu ngập (m)	Mức độ thiệt hại
1	0	0
2	0	0
3	0.1	0
4	0.35	0.13
5	0.5	0.25
6	1	0.38
7	1.5	0.5
8	2	1
9	3	1
10	4	1
11	5	1
12	6	1



Hình 2. Giá trị hàm thiệt hại đối với mỗi loại đất.

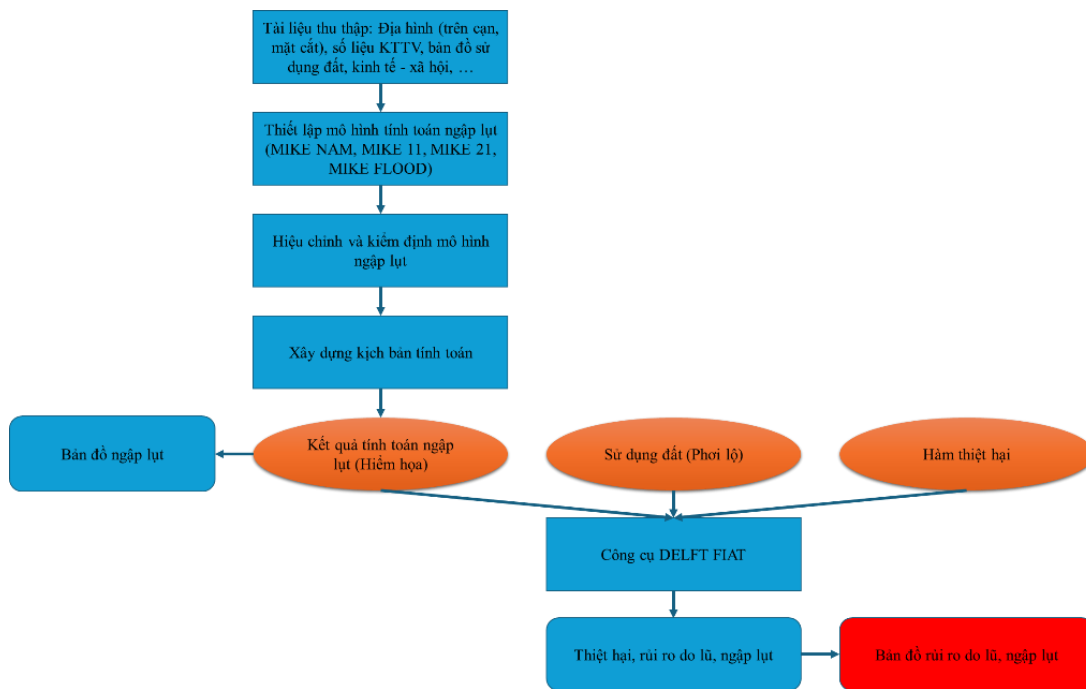
2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu đã tiếp cận từ việc thu thập các dữ liệu đầu vào (địa hình, số liệu khí tượng thủy văn, bản đồ sử dụng đất, tài liệu kinh tế - xã hội,...) cho mô hình, công cụ tính toán rủi ro do lũ. Sau đó tiến hành xây dựng mô hình ngập lụt từ các nguồn dữ liệu đã thu thập để tính toán, xây dựng bản đồ ngập lụt theo các kịch bản (dữ liệu hiếm họa). Song song với đó, nghiên cứu đã xử lý dữ liệu sử dụng đất thành 10 loại sử dụng đất (dữ liệu phơi lộ) và xử lý dữ liệu hàm thiệt hại. Các dữ liệu sau khi đã chuẩn hóa sẽ thành đầu vào cho công cụ DEFLT FIAT để tính toán thiệt hại, rủi ro do lũ, ngập lụt. Kết quả tính toán từ công cụ DEFLT FIAT sẽ được trình bày lên bản đồ thông qua công cụ GIS. Cụ thể các bước thực hiện, sơ đồ nghiên cứu thể hiện trong Hình 4.

2.2.1. Phương pháp mô hình

Phương pháp này được thực hiện trên cơ sở tận dụng tối đa sự phát triển của công nghệ thông tin trong lĩnh vực nghiên cứu phát triển mô hình ngập lụt trong nước và trên thế giới, cụ thể là các mô hình toán thủy văn thủy lực họ mô hình MIKE như MIKE NAM, MIKE 11,

MIKE 21, MIKE FLOOD. Sử dụng công cụ mô hình để tính toán, mô phỏng dòng chảy đến, lượng mưa sinh ra dòng chảy, diễn toán dòng chảy trong sông, dòng chảy lũ, ngập lụt.

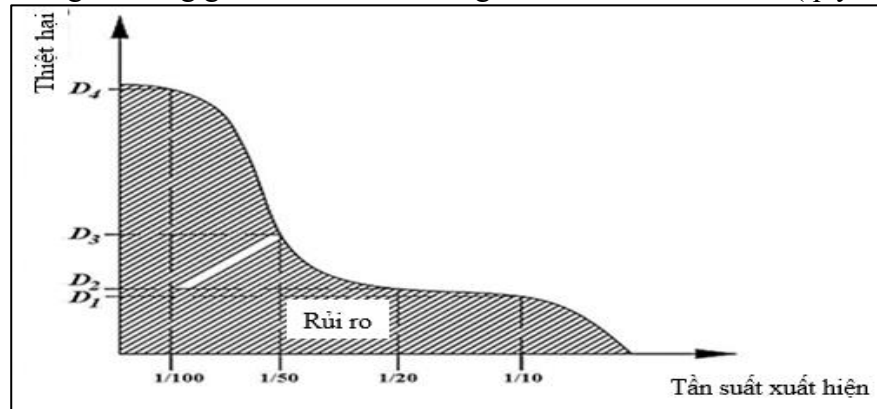


Hình 3. Sơ đồ các bước nghiên cứu.

2.2.2. Phương pháp đánh giá rủi ro

DEFLT-FIAT là một công cụ mã nguồn mở được xây dựng và phát triển dựa trên Python bởi Deltares dùng để đánh giá tác động kinh tế trực tiếp đến các đối tượng qua các lớp sử dụng đất theo mục đích sử dụng. Trong bài báo này, phương pháp đánh giá rủi ro ngập lụt sử dụng DEFLT-FIAT làm công cụ trung gian để tính toán các giá trị về thiệt hại, rủi ro (quy ra tiền tệ) được tính toán cho các kịch bản tần suất lũ.

Nếu thiệt hại là những tổn thất do 1 sự kiện lũ gây ra (tính theo đơn vị tiền tệ), thì rủi ro là tổng tất cả các tổn thất do các sự kiện lũ gây ra, giá trị rủi ro sẽ có đơn vị tính là: “tiền/ năm” [27]. Cụ thể được thể hiện trong Hình 5.



Hình 4. Nguyên lý tính toán rủi ro dựa trên thiệt hại.

Công cụ DEFLT - FIAT cho phép tính toán tác động do của lũ lụt lên nhiều đối tượng khác nhau. Công cụ gồm 2 thành phần chính: thành phần thiết lập thông số (gồm các file đầu vào dạng GeoTiff hoặc ASCII của các đối tượng phơi nhiễm, các hàm thiệt hại của những đối tượng cần đánh giá và giá trị ngưỡng thiệt hại lớn nhất của chúng), việc khai báo các thông số kỹ thuật sẽ thực hiện trên file excel cấu hình; và thành phần lõi tính toán (gồm chương trình tính đã được đóng gói) [27]. Sau khi thiết lập các tham số trong thành phần 1, lõi tính toán này sẽ sử dụng để đưa ra các kết quả đánh giá dưới dạng bản đồ & báo cáo. Các bản đồ này có thể được mở bằng nhiều chương trình GIS phổ biến hiện nay như ArcGIS,...

DEFLT - FIAT đã và đang được áp dụng trong một số dự án: Trong phiên bản mới Mô hình SSM 2015 cho Hà Lan; Ứng dụng trong dự án EU-FP7; Các dự án ở Thổ Nhĩ Kỳ; Dự

án hỗ trợ khả năng phục hồi các nguy cơ ven biển Việt Nam; Và nhiều nghiên cứu của sinh viên ở Campuchia, Bangladesh, Ấn Độ [27].

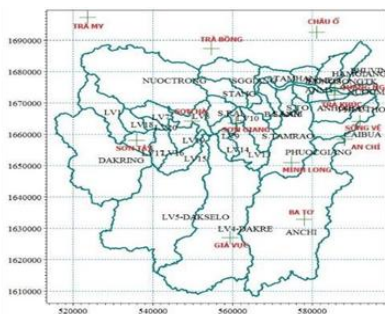
2.2.3. Phương pháp xây dựng bản đồ ngập lụt, rủi ro

Sử dụng kết hợp mô hình tính toán thủy văn thủy lực kết hợp với công cụ GIS để xây dựng bản đồ ngập lụt. Sử dụng công cụ mô hình để tính toán, mô phỏng dòng chảy đến, lượng mưa sinh ra dòng chảy, diễn toán dòng chảy trong sông, dòng chảy lũ, ngập lụt. Sau đó từ các kết quả tính toán mức độ ngập lụt của mô hình thủy động lực và các số liệu về kinh tế - xã hội phân theo hành chính sẽ sử dụng phương pháp bản đồ để phân tích tác động theo không gian đến các hoạt động sản xuất nông lâm ngư nghiệp, hoạt động công nghiệp, dịch vụ và các hoạt động kinh tế khác trong điều kiện hiện trạng và quy hoạch hiện có và hiển thị các khu vực có ngập lụt lên trên bản đồ. Từ các kết quả tính toán mức độ rủi ro do ngập lụt và các số liệu về kinh tế - xã hội phân theo hành chính sẽ sử dụng phương pháp bản đồ để thể hiện các kết quả hiển thị lên bản đồ. Mức độ rủi ro lũ lụt có thể được phản ánh trong vùng ngập lụt với các mức độ thiệt hại được phân chia theo giá trị tiền (VNĐ).

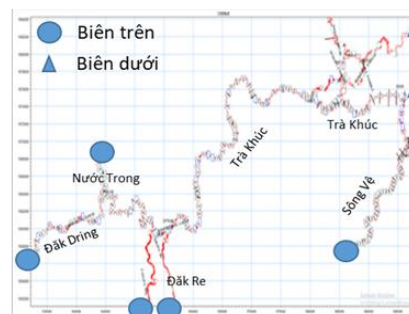
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả tính toán ngập lụt

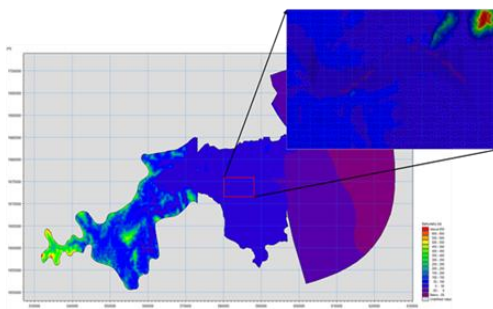
Trong nghiên cứu, bộ mô hình MIKE 11 được thiết lập với biên trên là lưu lượng xả qua hồ tại hạ lưu hồ chứa Đắc Đrinh, Nước Trong, Sơn Trà 1, Đắc Re (thuộc phần sông chính Trà Khúc) trạm thủy văn An Chi (sông vệ) và các nhập lưu khu giữa được tính toán bằng mô hình MIKE NAM, biên dưới tại cửa Đại (Quảng Ngãi) (Hình 6a, Hình 6b). Mô hình MIKE 21 với diện tích phần tử lớn nhất là 2.580.150 m² (khu vực ngoài biển), diện tích phần tử nhỏ nhất 225 m² (khu vực tuyến công trình), diện tích phần tử trung bình khoảng 6700 m². Lưới tính toán sử dụng lưới hỗn hợp phi cấu trúc kết hợp lưới cong trục giao, tổng số phần tử là 100.079 cho khu vực hạ lưu sông Trà Khúc (Hình 6c) và kết nối với mạng sông trong MIKE 11 bằng công cụ MIKE FLOOD (Hình 6d) [27].



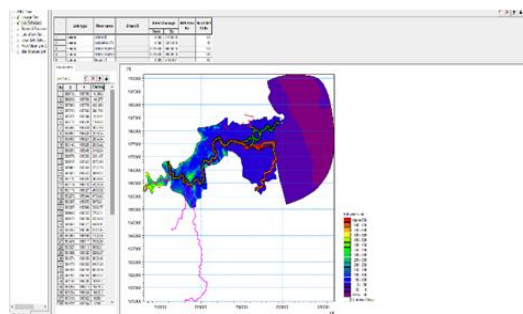
a - Sơ đồ mô hình MIKE NAM.



b - Sơ đồ mô hình 1 chiều.

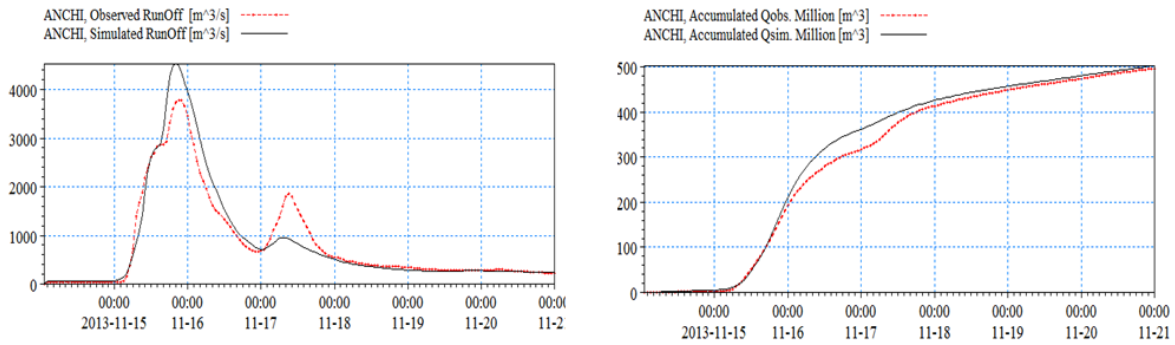


c - Lưới tính toán 2D trong mô hình MIKE 21.

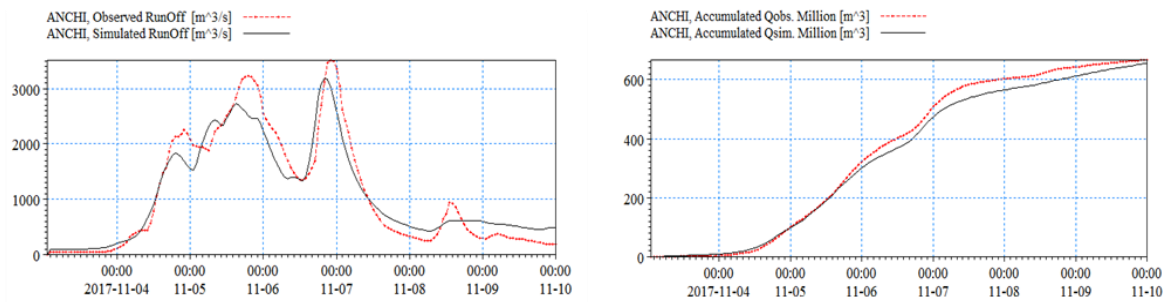


d - Kết nối mô hình 1D-2D trong MIKE FLOOD.

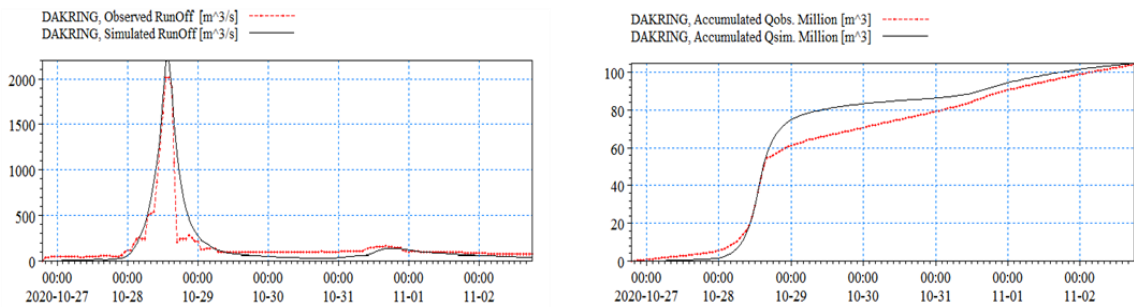
Hình 6. Thiết lập mô hình MIKE tính toán mức độ ngập lụt.



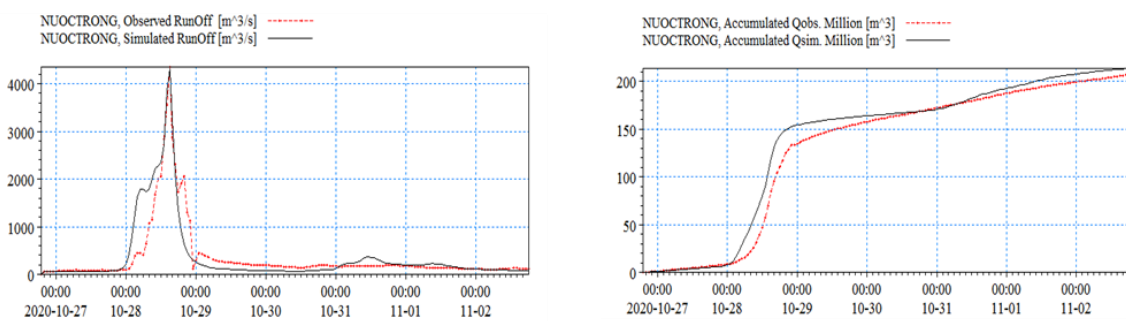
Hình 5. Đường quá trình lưu lượng và tổng lượng lũ đến và thực đo tại An Chi năm 2013.



Hình 6. Đường quá trình lưu lượng và tổng lượng lũ đến và thực đo tại An Chi năm 2017.



Hình 7. Đường quá trình lưu lượng và tổng lượng lũ đến và thực đo tại hồ Đăk Đrinh năm 2020.



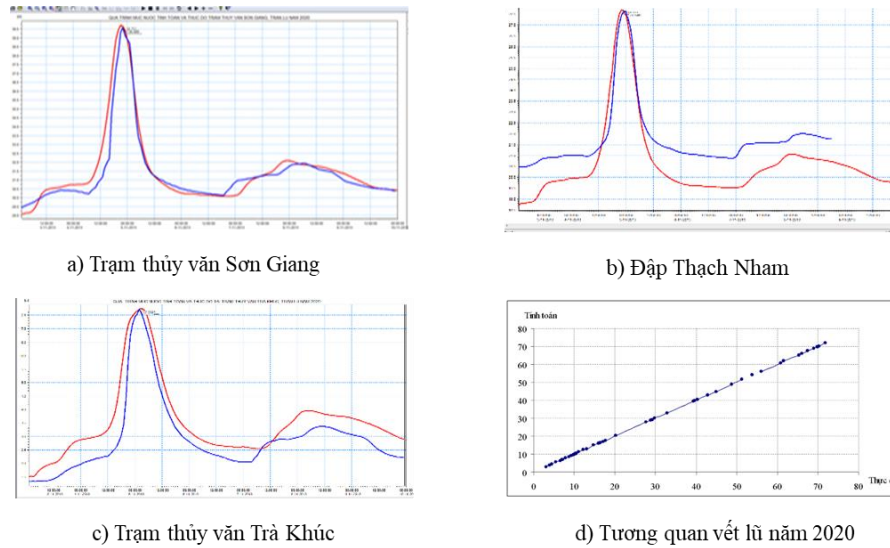
Hình 8. Đường quá trình lưu lượng và tổng lượng lũ đến và thực đo đến hồ Nước Trong năm 2020.

Bộ thông số mô hình MIKE NAM cho kết quả kiểm định khá tốt, sai số gốc quân phương trung bình tổng cộng R^2 và sai số tổng lượng tại trạm Thủy văn An Chi khá cao: $R^2 > 0,9$; $WLB < 2\%$. Tại hồ Nước Trong và Đăk Đrinh: R^2 dao động từ 0,7 đến 0,83 qua các năm, WLB dao động từ 0,5% đến 9,1%. Quá trình lũ thực đo và tính toán tại trạm thủy văn Sơn Giang năm 2013 và 2017 khi có vận hành hai hồ là khá sát nhau. Do đó sử dụng bộ thông số này để tính toán quá trình lũ đến các lưu vực nhập lưu cho toàn bộ lưu vực hạ lưu sông Trà Khúc - sông Vệ. Kết quả so sánh được thể hiện dưới Bảng 2.

Bảng 2. Sai số tính toán hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE NAM.

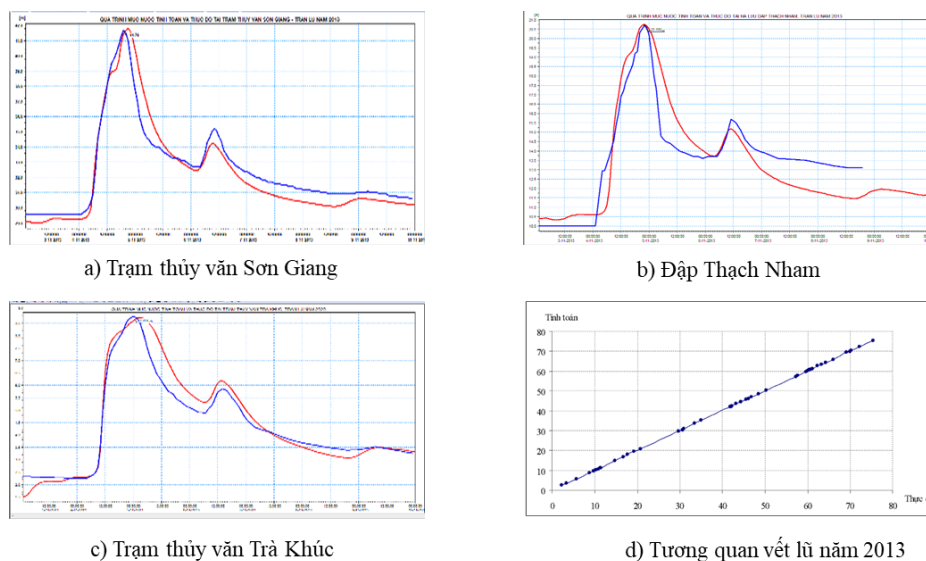
STT	Trạm	Hiệu chỉnh/Kiểm định	Năm	R ²	Sai số tổng lượng (%)
1	An Chi	Hiệu chỉnh	2013	0,90	-1,2
2	An Chi	Kiểm định	2017	0,92	1,6
3	Đắk Đrinh	Kiểm định	2020	0,84	-0,5
4	Nước Trong	Kiểm định	2020	0,77	-3,2%

Sau khi nghiên cứu hệ thống sông, hồ chứa, các tài liệu khí tượng thủy văn trên toàn lưu vực Trà Khúc - sông Vệ đã lựa chọn trận lũ đại diện như trận lũ cuối tháng 10/2020 để hiệu chỉnh mô hình và kiểm định lại với 2 trận lũ tháng 11/2013 và trận lũ 11/2017 và các vết lũ được điều tra tại thực địa trong đợt khảo sát các năm xảy ra lũ tương ứng [27].

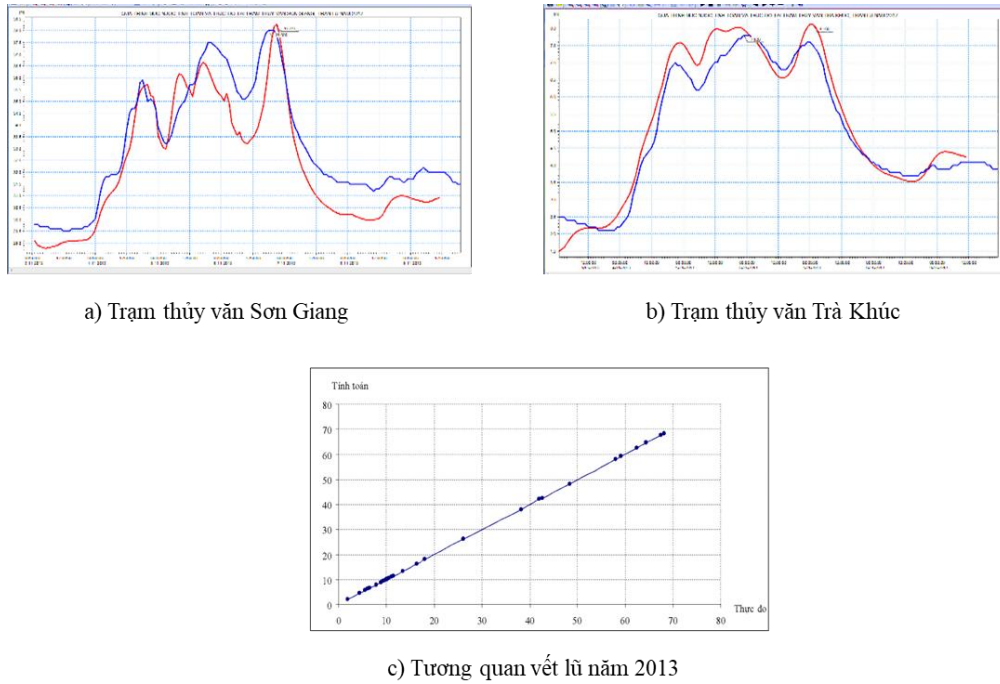


Hình 9. Đường quá trình mực nước, vết lũ tính toán và thực đo tại các trạm và các điểm dọc trên sông Trà Khúc, trận lũ năm 2020 (Màu đỏ: Tính toán, Màu xanh: Thực đo).

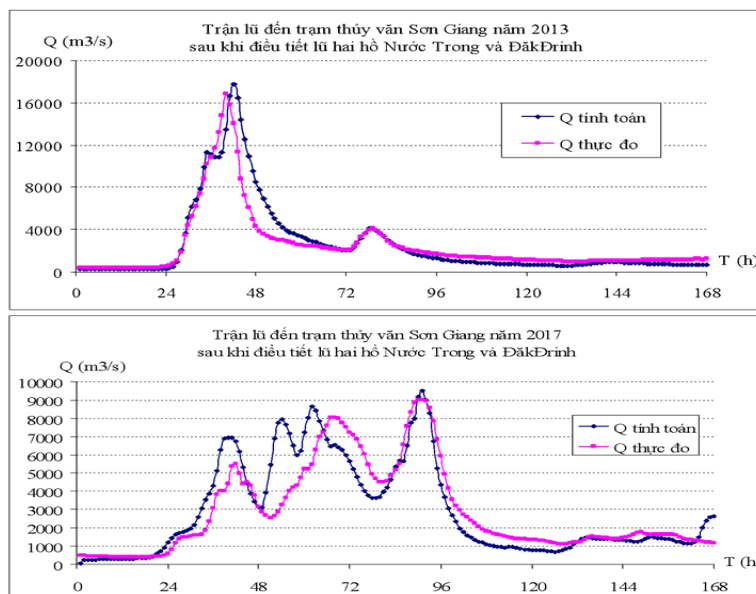
Kết quả tính toán mô hình mưa dòng chảy MIKE NAM được sử dụng làm biên đầu vào cho mô hình thủy lực MIKE 11, MIKE 21 và ngập lụt MIKE FLOOD. Kết quả điều tra các vết lũ đã xảy ra trong trận lũ tháng 11/2013 và tháng 11/2017 dọc các sông, trong các khu vực dân cư và vùng ngập để kiểm định bộ thông số cho mô hình ngập lụt. Sử dụng bộ thông số nhóm thu được từ quá trình hiệu chỉnh mô hình ngập lụt ở trên độc lập mô phỏng kiểm định lại cho 2 trận lũ tháng 11/2013 và tháng 11/2017 [27].



Hình 10. Đường quá trình mực nước tính toán và thực đo tại một số vị trí trên sông Trà Khúc, trận lũ năm 2013 (Màu đỏ: Tính toán, Màu xanh: Thực đo).



Hình 11. Đường quá trình mực nước tính toán và thực đo tại một số vị trí trên sông Trà Khúc, trận lũ năm 2017 (Màu đỏ: Tính toán, Màu xanh: Thực đo).



Hình 12. Đường quá trình lưu lượng tính toán và thực đo tại trạm Sơn Giang trận lũ năm 2013 và năm 2017.

Bảng 3. Sai số tính toán hiệu chỉnh và kiểm định mô hình ngập lụt.

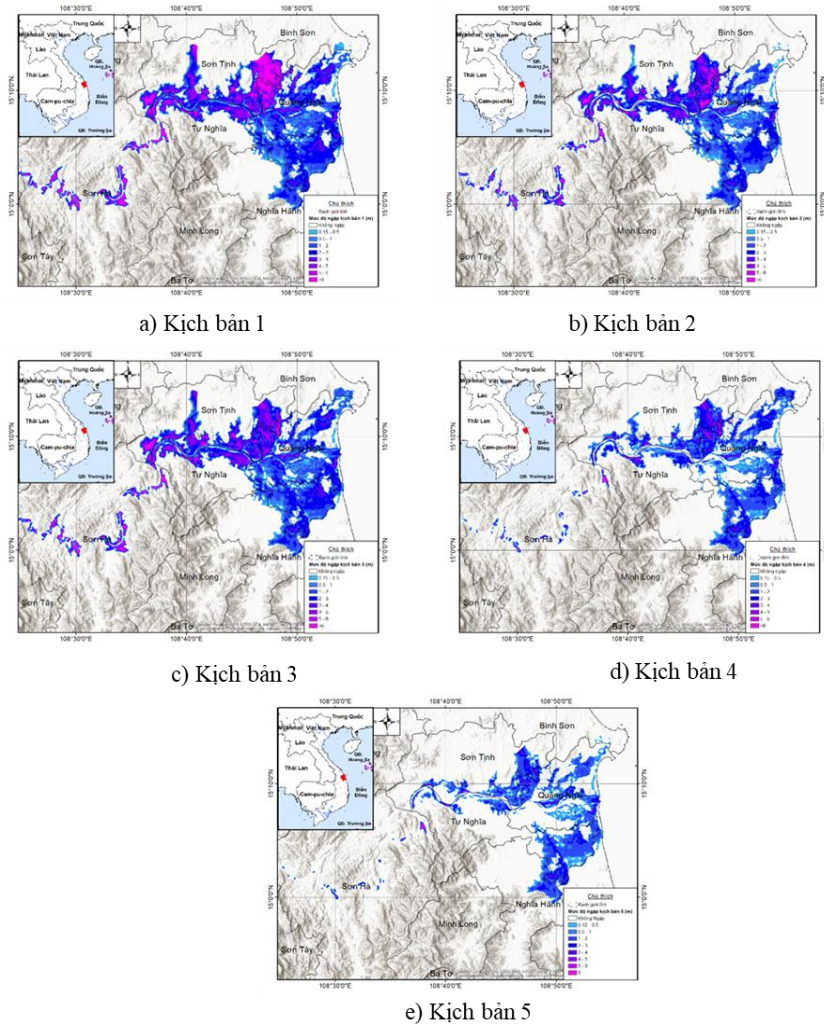
STT	Trạm	Hiệu chỉnh/ Kiểm định	Năm	NASH
1	Sơn Giang	Hiệu chỉnh	2020	85,2
2	Trà Khúc	Hiệu chỉnh	2020	80,2
3	Đập Thạch Nham	Hiệu chỉnh	2020	78,3
4	Sơn Giang	Kiểm định	2013	80,6
5	Trà Khúc	Kiểm định	2013	82,6
6	Đập Thạch Nham	Kiểm định	2013	75,1
7	Sơn Giang	Kiểm định	2017	78,2
8	Trà Khúc	Kiểm định	2017	82,2

Sau quá trình dò tìm từ kết quả tính toán mô phỏng hiệu chỉnh trận lũ cuối tháng 10/2020 và kiểm định lại với trận lũ tháng 11/2013 và 11/2017 cho mô hình ngập lụt hạ du các hồ chứa và hệ thống sông Trà Khúc như trên cho kết quả chênh lệch không nhiều, các vết lũ điều tra được tin cậy, mực nước tính toán phù hợp, đủ tin cậy để áp dụng vào việc nghiên cứu tính toán mô phỏng các kịch bản lũ cho vùng hạ du như xây dựng bản đồ ngập lụt hạ du [27]. Với mục đích xác định được mức độ thiệt hại có thể ảnh hưởng trực tiếp đến vùng hạ lưu và đặc biệt khi xảy ra sự cố thì chế độ lũ của sông vùng ảnh hưởng tiềm ẩn các nguy cơ về ngập lụt. Vì vậy, kịch bản được xây dựng dựa trên tần suất lũ thiết kế các hồ chứa trên thượng nguồn và trạm thủy văn Sơn Giang kết hợp với tần suất mưa thiết kế ứng với tần suất tương ứng tại các trạm trên lưu vực sông. Cụ thể các kịch bản tính toán sẽ như sau:

- KB1: Trường hợp lũ tần suất $P = 0,02 \%$ và mưa hạ lưu có tần suất tương ứng.
- KB2: Trường hợp lũ với tần suất $P = 1 \%$ và mưa hạ lưu có tần suất tương ứng.
- KB3: Trường hợp lũ với tần suất $P = 2 \%$ và mưa hạ lưu có tần suất tương ứng.
- KB4: Trường hợp lũ với tần suất $P = 5 \%$ và mưa hạ lưu có tần suất tương ứng.
- KB5: Trường hợp lũ với tần suất $P = 10 \%$ và mưa hạ lưu có tần suất tương ứng.

3.2. Ứng dụng DEFLT-FIAT tính toán rủi ro do ngập lụt đến kinh tế - xã hội hạ lưu sông Trà Khúc - sông Vệ

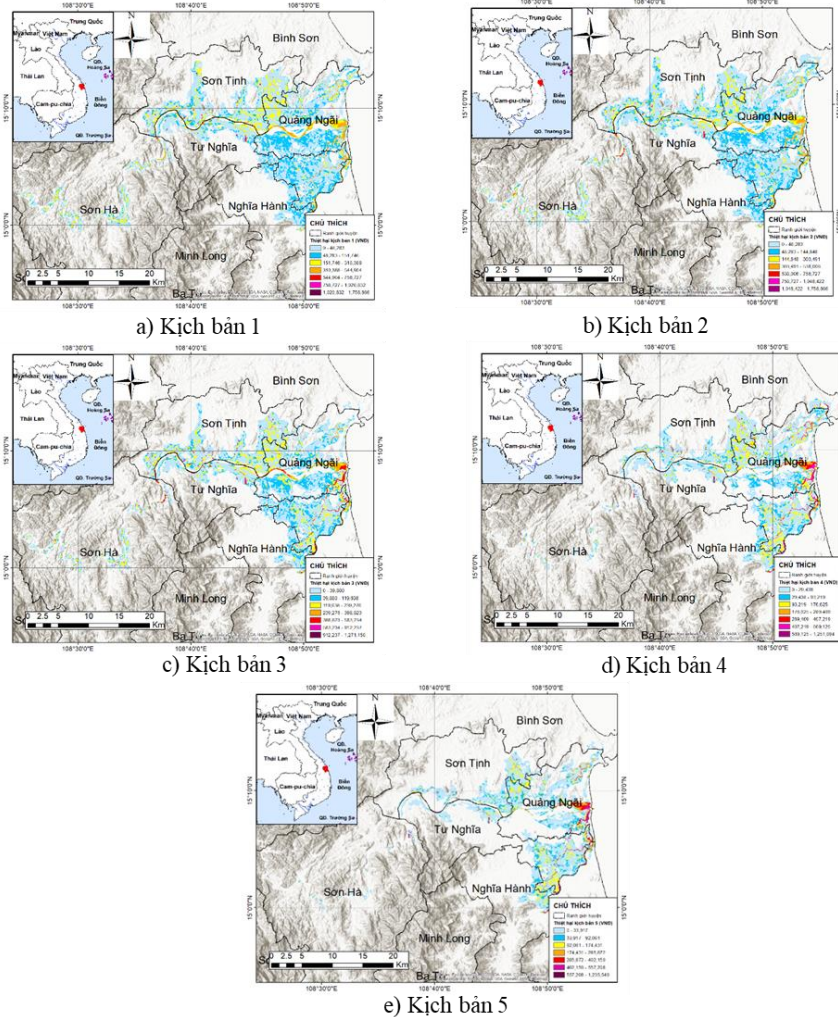
Sau khi thiết lập xử lý các dữ liệu đầu vào cho mô hình DEFLT-FIAT để tính toán mức độ rủi ro do ngập lụt đến kinh tế - xã hội hạ lưu sông Trà Khúc - sông Vệ. Kết quả cho thấy, mức độ rủi ro do ngập lụt theo kịch bản 1, thiệt hại ở thành phố Quảng Ngãi là lớn nhất với mức thiệt hại là 80,2 tỷ VNĐ, huyện Bình Sơn thiệt hại nhỏ nhất, chỉ 213,4 triệu VNĐ. Đối với các nhóm ngành và sử dụng đất, khu dân cư chịu thiệt hại lớn nhất lên đến 120,2 tỷ VNĐ; đất công cộng chịu thiệt hại bé nhất, chỉ 3 triệu VNĐ. Tổng thiệt hại toàn tỉnh lên đến 220,1 tỷ VNĐ. Ngoài ra, theo tính toán tổng thiệt hại do ngập lụt kịch bản 2 là 195,3 tỷ VNĐ; theo kịch bản 3, tổng thiệt hại toàn tỉnh lên đến 166,1 tỷ VNĐ; Theo kịch bản 4, tổng thiệt hại toàn tỉnh lên đến 109,3 tỷ VNĐ; Theo kịch bản 5 thấp nhất thì tổng thiệt hại toàn tỉnh lên đến 80,6 tỷ VNĐ trong đó: thiệt hại ở thành phố Quảng Ngãi là lớn nhất với mức thiệt hại là 34,2 tỷ VNĐ, huyện Bình Sơn thiệt hại nhỏ nhất, chỉ 39,1 triệu VNĐ. Đối với các nhóm ngành và



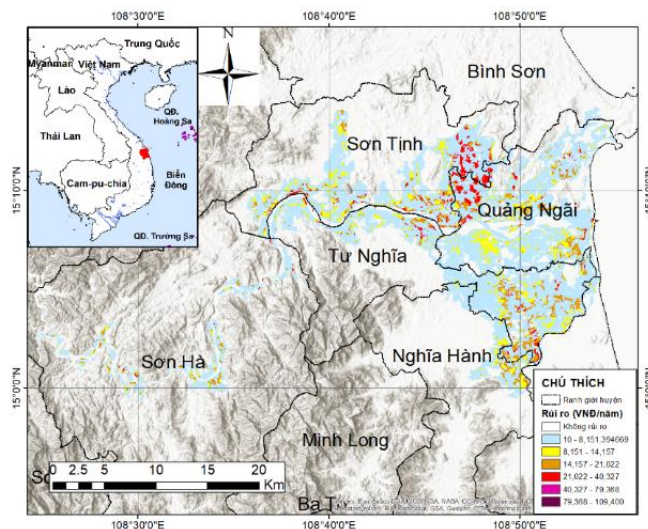
Hình 13. Bản đồ minh họa ngập lụt theo các kịch bản.

sử dụng đất, khu dân cư chịu thiệt hại lớn nhất lên đến 36,4 tỷ VNĐ; đất công cộng chịu thiệt hại bé nhất, chỉ 0,65 triệu VNĐ.

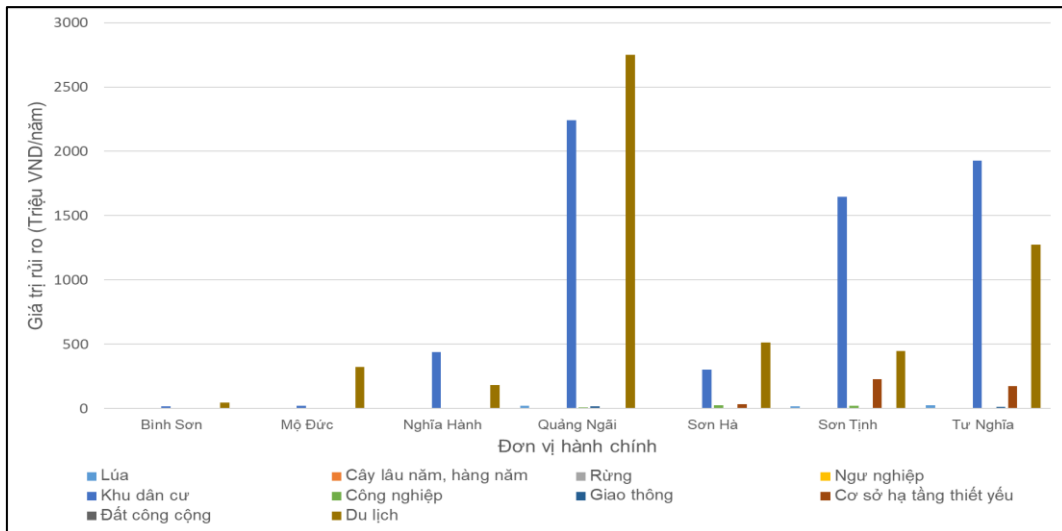
Như vậy, theo kết quả tính toán rủi ro hàng năm ở thành phố Quảng Ngãi là lớn nhất, có giá trị lên đến 5 tỷ VNĐ/năm; tiếp đến là huyện Tư Nghĩa với mức rủi ro hàng năm lên đến 3,42 tỷ VNĐ. Trong khi đó, rủi ro ở huyện Bình Sơn thấp nhất, chỉ 61,7 triệu VNĐ/năm. Khu dân cư chịu rủi ro lớn nhất, với mức rủi ro lên đến 6,6 tỷ VNĐ/năm và rủi ro cho nhóm đất công cộng là thấp nhất, chỉ 0,16 triệu VNĐ/năm. Cụ thể kết quả được thể hiện theo Hình 18.



Hình 14. Bản minh họa mức độ thiệt hại do ngập lụt tỉnh Quảng Ngãi theo các kịch bản.



Hình 15. Bản đồ minh họa mức độ rủi ro do lũ tỉnh Quảng Ngãi.



Hình 16. Thống kê rủi ro do ngập lụt cho các đơn vị hành chính và các nhóm ngành tỉnh Quảng Ngãi.

4. Kết luận

Nghiên cứu này được kế thừa các dữ liệu: địa hình, khí tượng thủy văn, kinh tế - xã hội từ các nghiên cứu trước đây của nhóm tác giả thực hiện. Ngoài ra, nghiên cứu đã cập nhật bổ sung các dữ liệu mới như dữ liệu địa hình và dữ liệu đo đạc bổ sung của dự án CT0649.01/21-23 do Viện Địa lý chủ trì các năm 2022, 2023, 2024 ở khu vực cửa sông Trà Khúc. Tuy nhiên, để so sánh được kết quả tính toán rủi ro của nghiên cứu so với số liệu thực tiễn thì chưa có nguồn dữ liệu tin cậy tại địa phương để so sánh.

Mô hình tính toán ngập lụt được xây dựng bằng bộ mô hình MIKE, bao gồm MIKE NAM, MIKE11, MIKE21 và MIKE FLOOD, được hiệu chỉnh và kiểm định với các năm lũ lịch sử như năm 2013, 2017, 2020 cho kết quả tốt. Bộ mô hình sau khi hiệu chỉnh và kiểm định được sử dụng tính toán cho các kịch bản lũ với các tần suất: 0,02%, 1%, 2%, 5%, 10%. Kết quả ngập lụt theo các kịch bản và bản đồ sử dụng đất đã được xử lý để công cụ DEFLT-FIAT được sử dụng để tính toán rủi ro do ngập lụt đến các hoạt động kinh tế - xã hội khu vực hạ lưu sông Trà Khúc - sông Vệ, tỉnh Quảng Ngãi. Kết quả tính toán cho thấy theo các kịch bản vùng hạ lưu sông Trà Khúc - sông Vệ có tổng thiệt hại do lũ từ 80,6-220,1 tỷ đồng, tập chung chủ yếu vào TP. Quảng Ngãi (34,2-80,2 tỷ), huyện Sơn Tịnh, Tư Nghĩa và thấp nhất là huyện Bình Sơn (39,1-213,4 triệu đồng). Tổng rủi ro ước tính hàng năm do lũ, ngập lụt tại vùng hạ lưu sông Trà Khúc - sông Vệ khoảng 12,8 tỷ. Các khu vực có mức độ rủi ro do lũ lớn sẽ tập chung tại TP. Quảng Ngãi, Sơn Tịnh và Tư Nghĩa.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.N.A., Đ.Đ.C., N.B.T.; Xử lý số liệu: H.T.B., M.Đ.H., N.T.V.; Viết bản thảo bài báo: N.B.T., M.Đ.H.; Chính sửa bài báo: N.B.T., N.H.T.

Lời cảm ơn: Bài báo cảm ơn dự án CT0649.01/21-23: “Ứng dụng công nghệ Địa không gian trong việc xây dựng các mô hình phục vụ cảnh báo tai biến thiên nhiên” đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

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. Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên Hợp Quốc (FAO). Báo cáo về ảnh hưởng của lũ lụt đối với sản xuất nông nghiệp và an ninh lương thực tại Việt Nam. 2020.
2. Ngân hàng Thế giới (World Bank). Báo cáo về thiệt hại kinh tế do lũ lụt và các biện pháp phòng chống.

3. Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn. Các báo cáo và thống kê về thiệt hại do lũ lụt hàng năm.
4. Burby, R.J. Involving citizens in hazard mitigation planning: Making the right decisions. *Aust. J. Emerg. Manage.* **2001**, 16(3), 45–54.
5. Van der Sande, C.J. The use of remote sensing for flood monitoring and impact assessment. *Hydrol. Processes.* **2001**, 15(7), 1151–1162.
6. Edmund, C.; Penning, R. The benefits of flood alleviation: A manual of assessment techniques. *Gower Tech. Press.* **1977**, pp. 81.
7. UNSW (University of New South Wales). Floodplain Management: A Guide for Local Government. Water Research Foundation of Australia. 1981.
8. Davis, D.W. Flood Damage Estimation - A Review of Urban Stage-Damage Curves and Loss Functions. *Water Resour. Bull.* **1985**, 21(1), 81–88.
9. USACE (U.S. Army Corps of Engineers). Flood damage reduction analysis. *Engineer Manual.* **1996**, 1110–1619.
10. Burby, R.J. Involving citizens in hazard mitigation planning: Making the right decisions. *Aust. J. Emerg. Manage.* **2001**, 16(3), 45–54.
11. Messner, F.; Meyer, V. National flood damage evaluation methods: A review of applied methods in England, the Netherlands, the Czech Republic and Germany. UFZ-Discussion Papers, Department of Economics, UFZ Leipzig, 2005.
12. Kawagoe, S.; Sato, A.; Kazama, S. Evaluating the cost of flood damage based on changes in extreme rainfall in Japan. *Sustainability Sci.* **2009**, 4(1), 61–69.
13. Ganji, S.; Ardalani, A.; Sadeghi, M. Flood risk assessment in the urban areas: A case study of Tehran, Iran. *Nat. Hazard.* **2012**, 63(2), 761–785. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0190-4>.
14. Guo, K.W.; Lo, W.; Chau, S.L. Flood risk management and risk-based analysis: A review. *Water Resour. Manage.* **2015**, 29(12), 4069–4083. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1077-1>.
15. Domeneghetti, A.; Vorogushyn, S.; Castellarin, A.; Merz, B.; Brath, A. Probabilistic flood hazard mapping: Effects of uncertain boundary conditions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2015**, 19(1), 3245–3259. <https://doi.org/10.5194/hess-19-3245-2015>.
16. Chau, V.N.; Cassells, S.; Holland, J. Economic impact upon agricultural production from extreme flood events in Quang Nam, central Vietnam. *Nat. Hazard.* **2015**, 75, 1747–1765. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1395-x>.
17. Nguyen, Y.N.; Yutaka, I.; Hiroshi, I. Establishing flood damage functions for agricultural crops using estimated inundation depth and flood disaster statistics in data - scarce regions. *Hydrol. Res. Lett.* **2017**, 11, 12–18.
18. Ủy ban nhân dân tỉnh Quảng Ngãi. Quy hoạch tổng thể phát triển kinh tế - xã hội tỉnh Quảng Ngãi đến năm 2020. Quyết định số 1456/QĐ-TTg, 2009.
19. Sở Kế hoạch và Đầu tư tỉnh Quảng Ngãi. Báo cáo tình hình kinh tế - xã hội năm 2018. 2018.
20. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Quảng Ngãi. Báo cáo đánh giá tác động môi trường. 2017.
21. Viện Quy hoạch Thủy lợi Miền Trung. Nghiên cứu đánh giá lũ lụt và đề xuất giải pháp giảm thiểu ngập lụt tại hạ lưu sông Trà Khúc - Vệ. 2019.
22. Nguyen, Y.N.; Kha, D.D.; Yutaka, I. Developing a multivariable lookup table function for estimating flood damages of rice crop in Vietnam using a secondary research approach. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* **2021**, 58, 102208. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102208>.
23. Cục thống kê tỉnh Quảng Ngãi. Niên giám thống kê tỉnh Quảng Ngãi 2023. 2024.
24. Ủy ban nhân dân tỉnh Quảng Ngãi. Quyết định số 1456/QĐ-TTg về Quy hoạch tổng thể phát triển kinh tế - xã hội tỉnh Quảng Ngãi đến năm 2020. 2009.

25. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Quảng Ngãi. Hiện trạng sử dụng đất năm 2020. 2020.
26. ICEM - International Centre for Environmental Management. Tăng cường hỗ trợ ứng phó với thiên tai vùng ven biển Việt Nam- Giai đoạn 2. 2019.
27. Dennis, W.; Kymo, S.; Joan, S.C. Delft-FIAT: An open-source flood impact analysis tool. *Zenodo* **2017**. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1400183>.
28. Tùng, N.B.; Đức, Đ.Đ.; Anh, T.N.; Thủy, N.H.; Nhung, Đ.T.H.; Nhung, P.T.H.; Cường, V.M. Đánh giá ảnh hưởng của hồ chứa Nước Trong đến hạ lưu sông Trà Khúc trong trường hợp khẩn cấp. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 741, 85–97.

Flood risk assessment in the downstream area of Tra Khuc - Ve River, Quang Ngai province under the impact of socio-economic activities

Hoang Thai Binh², Nguyen Bach Tung¹, Nguyen Hong Thuy¹, Mai Duc Hoang¹, Dao Dinh Cham², Nguyen Tuong Vi³, Tran Ngoc Anh^{1*}

¹ Center for Environmental Fluid Dynamics, VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi; bachtung_cefd@hus.edu.vn; tranngocanh@hus.edu.vn; nguyenhongthuy@hus.edu.vn, maiduchoang_t65@hus.edu.vn

² Institute of Geography, Vietnam Academy of Science and Technology; htbinh@ig.vast.vn

³ Sub-Department of Water Resources, Department of Agriculture and Rural Development of Binh Dinh Province; vint@snnptnt.binhdinh.gov.vn

Abstract: In recent years, floods have caused severe economic, social, and human damage worldwide, including in Vietnam. Annually, floods frequently occur in Vietnam, causing significant damage to the central regions of provinces with large rivers such as the Ma river, Ca river, Vu Gia - Thu Bon river and Tra Khuc - Ve river, etc. Currently, risk assessment methods are often qualitative, and the at-risk areas have not been specifically quantified for large river basins, particularly the Tra Khuc - Ve river basin. Therefore, this study used the DEFLT-FIAT tool to evaluate flood risks, with the calculation results converted into monetary units (VND). The study employed flood calculation results (hazard data under scenarios corresponding to occurrence frequencies simulated using the MIKE model), land use data (exposure levels), and damage functions of different objects as input for the DEFLT-FIAT tool. The study calculated the annual flood risk level to be approximately 12.8 billion VND. Areas with the highest flood risk levels are concentrated in Quang Ngai City, Son Tinh district, and Tu Nghia district.

Keywords: Flooding; Flood risk; Tra Khuc - Ve river.

Table of content

- 1** Nhu, N.D.Q.; Tuan, L.N. Assessing the current status of domestic solid waste management at the dormitory of National University Ho Chi Minh City. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *769*, 1–13.
- 14** Hien, N.X.; Tien, D.N.; Vui, V.T.; Anh, G.N.; Anh, C.H. Evaluate the applicability of re-analyzed wave data for East Sea. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *769*, 14–26.
- 27** Binh, D.V.; Y, H.N.N. Assessing the effects of land use changes and diversion dams on river flow in the Thanh Binh, Dak Nong, and Dai Nga basins. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *769*, 27–43.
- 44** Bao, L.T.; Bac, T.V.; Nhan, N.T. Building a tool to analyze estuary morphology changes using Landsat images: Case study at Cua Dai estuary on Tra Khuc river. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *769*, 44–56.
- 57** Son, T.S. Application of the change vector analysis method for investigating land cover changes in coastal areas. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *769*, 57–70.
- 71** Ngoc, N.T.B.; Tinh, T.V. Assessment of rainfall variability and trends in Hanoi City using chirps satellite rainfall estimations. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *769*, 71–88.
- 89** Anh, N.T.L.; An, L.M.; Phuong, T.A. A study on evaluation and comparison of high-resolution satellite precipitation for streamflow simulation in the Ma river basin. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *769*, 89–101.
- 102** Binh, H.T.; Tung, N.B.; Thuy, N.H.; Hoang, M.D.; Cham, D.D.; Vi, N.T.; Anh, T.N. Flood risk assessment in the downstream area of Tra Khuc - Ve river, Quang Ngai Province under the impact of socio-economic activities. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *769*, 102–116.