

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Vietnam Journal of Hydro - Meteorology

ISSN 2525 - 2208



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

Số chuyên đề
06-2023



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

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. GS. TS. Trần Hồng Thái | 14. PGS. TS. Mai Văn Khiêm |
| 2. GS. TS. Trần Thực | 15. PGS. TS. Nguyễn Bá Thủy |
| 3. GS. TS. Mai Trọng Nhuận | 16. TS. Tống Ngọc Thanh |
| 4. GS. TS. Phan Văn Tân | 17. TS. Đinh Thái Hưng |
| 5. GS. TS. Nguyễn Kỳ Phùng | 18. TS. Võ Văn Hòa |
| 6. GS. TS. Phan Đình Tuấn | 19. TS. Nguyễn Đắc Đồng |
| 7. GS. TS. Nguyễn Kim Lợi | 20. GS. TS. Kazuo Saito |
| 8. PGS. TS. Nguyễn Văn Thắng | 21. GS. TS. Jun Matsumoto |
| 9. PGS. TS. Dương Văn Khảm | 22. GS. TS. Jaecheol Nam |
| 10. PGS. TS. Dương Hồng Sơn | 23. TS. 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 TNHH Đầu Tư Nông Nghiệp Việt Nam
ĐT: 0243.5624399

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

Giá bán: 40.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN
SỐ 750(1) - 06/2023

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- 1 Trần Thị Tuyết, Nguyễn Thanh Thủy:** Phân tích độ bất định trong xây dựng bản đồ ngập lụt dựa trên phương pháp mô phỏng
- 16 Vũ Đức Long, Nguyễn Thị Thu Loan, Trần Quang Năng, Phạm Hoàng Hùng:** Quản lý hoạt động dự báo, cảnh báo khí tượng thủy văn trong bối cảnh chuyển đổi số và công nghệ 4.0: Thực trạng và giải pháp
- 29 Nguyễn Quốc Khánh:** Xây dựng quy trình phân tích nhanh bằng dữ liệu ảnh viễn thám kết hợp với mô hình hóa trong dự báo biến động lớp phủ mặt đất
- 45 Trần Thanh Chi, Đinh Quang Hưng, Nguyễn Thị Thu Hương:** Nghiên cứu hiện trạng và lập kế hoạch thu gom, vận chuyển và xử lý chất thải y tế trên địa bàn thành phố Hà Nội
- 53 Phạm Thị Minh, Lê Thị Mai Liên, Nguyễn Thị Hằng, Trần Thị Hồng Tường:** Nghiên cứu đánh giá xu thế và mức độ biến đổi nhiệt độ cực trị tỉnh Khánh Hòa giai đoạn 1981–2020
- 67 Vũ Đình Hiếu, Phạm Văn Hiếu, Nguyễn Thị Thúy, Nguyễn Thị Diệu Thúy, Nguyễn Thị Mỹ Quỳnh, Caleb Kruse:** Xây dựng bản đồ vị trí bãi rác, bãi chôn lấp, đánh giá nguy cơ thất thoát rác thải nhựa thông qua dữ liệu ảnh vệ tinh có độ phân giải cao từ chương trình Copernicus
- 78 Nguyễn Linh Trang, Lê Anh Trung, Lê Lan Anh, Chu Thị Thu Hương:** Nghiên cứu mối quan hệ giữa ENSO với cường độ của áp thấp Aleut
- 89 Ngô Thanh Toàn, Lâm Tấn Phát, Nguyễn Thái An, Huỳnh Vương Thu Minh, Trần Văn Tỷ:** Đánh giá hiệu quả chuyển đổi mô hình vận hành cửa van của hệ thống công dưới đê biển Tây thuộc vùng Tứ Giác Long Xuyên, tỉnh Kiên Giang

Bài báo khoa học

Phân tích độ bất định trong xây dựng bản đồ ngập lụt dựa trên phương pháp mô phỏng

Trần Thị Tuyết¹, Nguyễn Thanh Thủy^{2*}

¹ Viện Thủy điện và năng lượng tái tạo; trantuyettl96@gmail.com

² Trường Đại học Thủy Lợi; thanhthuy_rt@tlu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: thanhthuy_rt@tlu.edu.vn; Tel.: +84-366171387

Ban Biên tập nhận bài: 12/5/2023; Ngày phản biện xong: 3/6/2023; Ngày đăng bài: 25/6/2023

Tóm tắt: Lũ lụt là loại hình thiên tai xảy ra phổ biến trên thế giới và ở Việt Nam với những thiệt hại đáng kể về người và tài sản. Bản đồ ngập lụt được coi là một công cụ hữu hiệu trong việc quản lý rủi ro ngập lụt và được xây dựng bằng nhiều phương pháp khác nhau. Trong đó, phương pháp mô phỏng bằng mô hình toán cho các trận mưa hay sự cố công trình với các tần suất khác nhau thường được sử dụng. Nghiên cứu đã tiến hành thu thập, tổng hợp và phân tích các nghiên cứu trong và ngoài nước về xây dựng bản đồ ngập lụt nói chung và có xét tới độ bất định nói riêng. Các nghiên cứu đều chỉ ra rằng việc đưa ra giải giá trị hay đánh giá độ bất định trong kết quả tính toán là rất cần thiết. Tuy nhiên, độ bất định trong xây dựng mô phỏng bản đồ ngập lụt chủ yếu được đề cập trong các nghiên cứu nước ngoài trong khi các nghiên cứu trong nước gần như không đề cập tới. Các nghiên cứu hiện nay chưa đánh giá ảnh hưởng của độ bất định trong thiết lập mô hình mưa thiết kế đến bản đồ ngập lụt.

Từ khóa: Bản đồ ngập lụt; Độ bất định; Mưa dòng chảy; Thủy lực; Mưa thiết kế.

1. Giới thiệu

Lũ lụt là một trong những loại hình thiên tai thường xuyên xảy ra, gây thiệt hại lớn đến người và tài sản. Lũ lụt được hình thành với nhiều nguyên nhân khác nhau như do mưa lớn, ảnh hưởng bão, áp thấp nhiệt đới hay vỡ đập. Đặc biệt, với tốc độ đô thị hóa nhanh chóng đã làm tăng diện tích bề mặt bê tông hóa, giảm lượng nước thấm và tăng thành phần dòng chảy mặt hình thành nên ngập lụt. Theo số liệu thống kê từ 1990 đến 2018, trung bình mỗi năm có khoảng từ 5-6 cơn bão đổ bộ Việt Nam, trong đó có 2-3 cơn bão mạnh từ cấp 12 trở lên [1]. Cũng theo báo cáo của Bộ Tài nguyên và môi trường, đến cuối thế kỷ số lượng các cơn bão và áp thấp nhiệt đới ảnh hưởng đến Việt Nam có xu hướng giảm nhưng số lượng bão mạnh đến rất mạnh có xu hướng tăng rõ rệt. Mực nước biển khu vực ven biển và hải đảo Việt Nam có xu hướng tăng từ Bắc vào Nam với mực nước biển dâng từ 49-107 cm vào năm 2100 theo kịch bản RCP 8.5 [1]. Hàng nghìn hồ chứa lớn nhỏ trên cả nước đem lại nhiều lợi ích kinh tế và xã hội như phòng chống lũ, cấp nước nông nghiệp, sinh hoạt và phát điện thì vẫn tồn tại rủi ro vỡ đập gây ngập lụt cho khu vực hạ du nơi thường tập trung đông dân cư ở các khu vực đô thị. Việt Nam là một trong những quốc gia có tốc độ đô thị hóa nhanh ở khu vực Đông Á với tỉ lệ đô thị hóa toàn quốc đạt 41,5% tính đến tháng 9/2022. Điều này đồng nghĩa với việc rủi ro lũ lụt có xu hướng gia tăng trong tương lai. Một trong những giải pháp quan trọng trong quản lý và kiểm soát lũ là cung cấp những thông tin đáng tin cậy về hiểm họa ngập lụt bao gồm khả năng xảy ra, phạm vi và độ sâu ngập lụt tới cộng đồng và các bên liên quan.

Bản đồ ngập lụt là một loại bản đồ chuyên đề, trên đó thể hiện các vùng ngập lụt hạ du ở một thời điểm nhất định (Theo tiêu chuẩn kỹ thuật TCKT03:2015). Bản đồ ngập lụt là cơ sở khoa học cho việc xác định được diện tích ngập, mức ngập ở các khu vực khác nhau cũng như những đối tượng nằm trong khu vực ngập lụt như nhà cửa, các công trình công cộng, hệ thống đường giao thông, đất nông nghiệp,... Ngày 07 tháng 6 năm 2018, Thủ tướng chính phủ đã ban hành quyết định số 705/QĐ-TTg phê duyệt chương trình cập nhật bản đồ phân vùng rủi ro thiên tai, lập bản đồ cảnh báo thiên tai, đặc biệt là các thiên tai liên quan đến bão, nước dâng do bão, lũ, lũ quét, sạt lở đất, hạn hán, xâm nhập mặn. Trong cùng năm, ngày 04 tháng 9 Chính phủ đã ban hành nghị định số 114/2018/NĐ-CP về quản lý an toàn đập, hồ chứa nước trong đó có yêu cầu xây dựng bản đồ ngập lụt ứng với các tình huống khẩn cấp.

Với ý nghĩa vô cùng quan trọng đó, bản đồ ngập lụt đã được xây dựng cho nhiều khu vực, lưu vực trên thế giới và ở Việt Nam. Các phương pháp với yêu cầu về số liệu đầu vào, thời gian tính toán, mức độ chính xác và chi tiết khác nhau đã được ứng dụng trong xây dựng bản đồ ngập lụt. Ví dụ như [2] đã xây dựng bản đồ ngập lụt cho lưu vực sông Awash ở Ethiopia sử dụng công cụ GIS và mô hình HEC-GeoRAS/ HEC - RAS ứng với chu kỳ lũ lặp lại là 5, 10, 25, 50 và 100 năm, từ đó đánh giá ý nghĩa của quản lý sử dụng đất và trồng rừng trong việc giảm thiểu tác động tiêu cực của lũ lụt, đặc biệt là ở các vùng trũng thấp dễ xảy ra lũ lụt. Trong một nghiên cứu khác, [3] đã xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu hồ chứa Suối Mỡ, tỉnh Bắc Giang dựa trên kết hợp mô hình thủy lực 1-2 chiều MIKE 11, MIKE 21 trong MIKE FLOOD cùng với công cụ hệ thống thông tin địa lý (GIS) đã được ứng dụng trong xây dựng các bản đồ ngập lụt ứng với các kịch bản vỡ đập và xả lũ khác nhau.

Các bản đồ ngập lụt nói chung và đặc biệt ở Việt Nam thường không xem xét đến ảnh hưởng của các yếu tố bất định (ví dụ như mưa, dòng chảy, tỉ lệ bản đồ địa hình, thông số và kỹ thuật mô hình, hệ thống công trình) được sử dụng để xây dựng chúng. Ảnh hưởng của từng yếu tố riêng lẻ và ảnh hưởng các yếu tố đến tổng thể bản đồ ngập lụt như thế nào cũng không được hiểu rõ. Do ảnh hưởng của các yếu tố này nên bản đồ ngập lụt sẽ được bao quanh bởi một vùng bất định (*uncertainty zone*). Khi tính bất định trong số liệu và kỹ thuật được sử dụng để xây dựng bản đồ ngập lụt càng tăng, thì vùng bất định càng rộng và ngược lại. Nói cách khác, phạm vi ngập lụt nằm trong khoảng không gian nào đó với mức độ tin cậy nhất định. Việc không xem xét tới độ bất định trong xây dựng bản đồ ngập lụt sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác trong việc ra quyết định. Tuy nhiên, các nghiên cứu phân tích về độ bất định trong xây dựng bản đồ ngập lụt còn rất ít và ở Việt Nam thì chưa có. Vì vậy, nghiên cứu giới thiệu các phương pháp xây dựng bản đồ ngập lụt và đưa ra bức tranh tổng quan về các yếu tố cấu thành nên độ bất định trong bản đồ ngập lụt được xây dựng từ phương pháp mô phỏng bằng các mô hình toán.

2. Các phương pháp xây dựng bản đồ ngập lụt

Bản đồ ngập lụt được xây dựng dựa trên bốn phương pháp gồm: (i) phương pháp thống kê vết lũ lịch sử, (ii) phương pháp sử dụng ảnh chụp trên cao, (iii) phương pháp sử dụng bản đồ địa hình địa mạo, và (iv) phương pháp mô phỏng bằng các mô hình toán.

Với phương pháp thống kê, các bản đồ ngập lụt sẽ được xây dựng dựa trên cơ sở điều tra diện ngập, vết lũ của các trận lũ lớn đã xảy ra trong quá khứ còn để lại vết nước trên các công trình, nhà cửa hay từ thông tin do người dân vùng lũ cung cấp. Ưu điểm của phương pháp này là dễ thực hiện, thể hiện được vùng ngập và độ sâu ngập của các trận lũ trong quá khứ. Tuy nhiên phương pháp chỉ cho phép tái hiện lại các trận lũ đã xảy ra, không xây dựng được bản đồ ngập lụt ứng với các kịch bản lũ chưa xảy ra trong lịch sử. Đồng thời, tính chính xác của bản đồ ngập lụt phụ thuộc vào số lượng vết lũ thu thập được cũng như tính chủ quan của người cung cấp thông tin vết lũ.

Tương tự như phương pháp thống kê, bản đồ ngập lụt được xây dựng từ ảnh chụp trên cao (ảnh vệ tinh và không ảnh) cho các trận lũ lụt đã xảy ra trong quá khứ. Các ảnh viễn thám thường được sử dụng như LANDSAT, MSS, MODIS với độ phân giải và chu kỳ bay khác

n nhau. Cơ sở của phương pháp này là dựa trên đặc tính phản xạ của các đối tượng đối tượng trên bề mặt khu vực được chụp với ánh sáng ở các bước sóng khác nhau, từ đó xây dựng quy trình công nghệ để xác định ranh giới của vùng ngập và không ngập. Công nghệ viễn thám và GIS được ứng dụng rộng rãi trong thu thập dữ liệu, phân tích không gian và hiển thị đồ họa. Đã có nhiều nghiên cứu về ứng dụng của ảnh viễn thám để giám sát và xác định vùng ngập như: [4] đã lập bản đồ ngập lụt năm 2015 ở huyện Quảng Điền, tỉnh Thừa Thiên Huế thông qua chỉ số mặt nước (*land surface water index - LSWI*) và chỉ số thực vật tăng cường (*enhanced vegetation index - EVI*) được tính toán từ ảnh Landsat-7/TM; [5] đã đánh giá ảnh hưởng của sự thay đổi tốc độ dòng chảy lũ đến thực vật vùng ngập bằng cách sử dụng ảnh vệ tinh có độ phân giải rất cao; [6] đã kết hợp dữ liệu thực đo và chuỗi thời gian của các chỉ số thực vật bao gồm NDVI (*normalized difference vegetation index*), EVI, MSAVI (*modified soil adjusted vegetation index*), và chỉ số mặt nước LSWI để xác định sự biến đổi của lớp phủ thực vật và cao độ bãi triều của một vùng đất ngập nước tại cửa sông; [7] đã dựa trên sự khác biệt giữa hai ảnh viễn thám được chụp trước và trong khi xảy ra ngập để xác định vùng ngập cho lưu vực sông Bùi trong trận lũ lịch sử vào tháng 7 năm 2018; [8] đã thiết lập bản đồ ngập lụt từ các dữ liệu cầu cảm biến viễn thám radar chủ động như Sentinel-1, Alos Palsar. Phương pháp thứ hai cho phép xác định vùng ngập trên một phạm vi rộng tuy nhiên độ chính độ chính xác và khả năng ứng dụng của phương pháp này phụ thuộc nhiều vào độ phân giải, chu kỳ bay và điều kiện thời tiết. Bên cạnh đó, độ sâu ngập lụt được xác định từ ảnh viễn thám hay không ảnh có độ chính xác không cao.

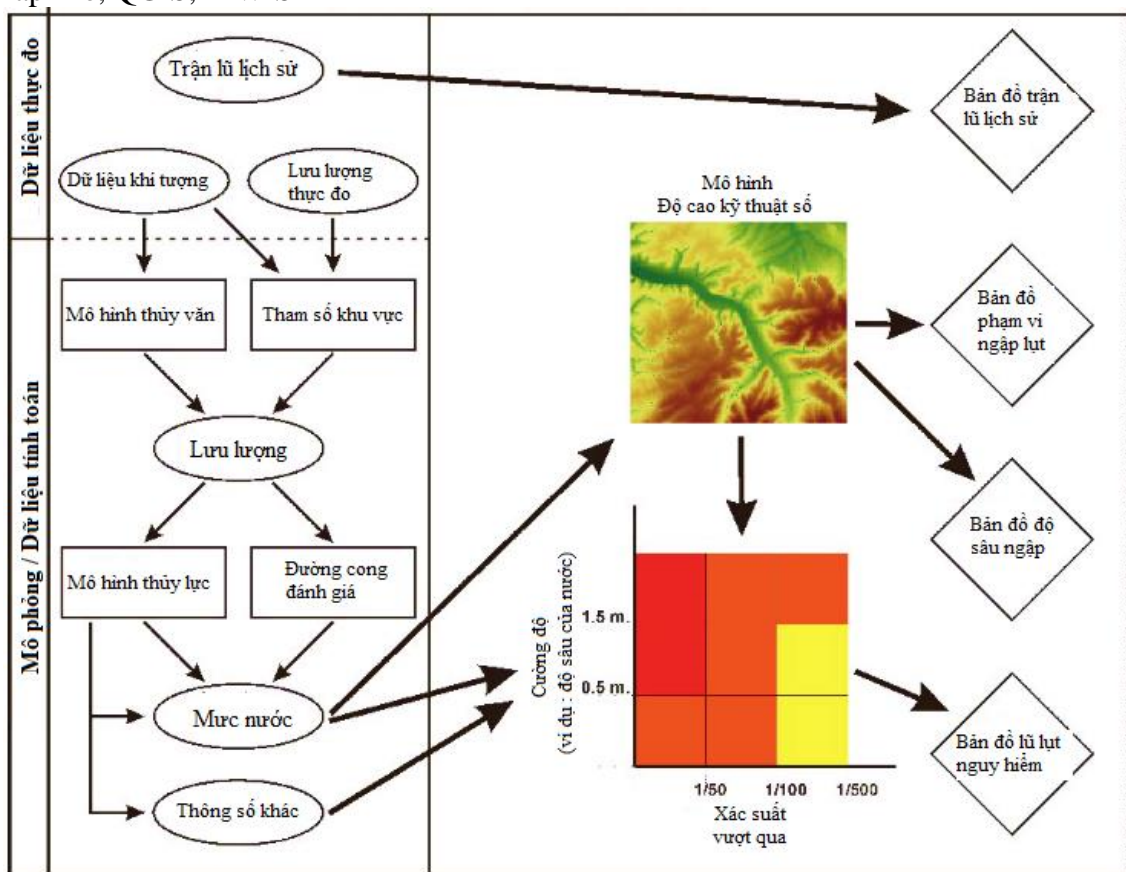
Trong phương pháp thứ ba, bản đồ ngập lụt được xây dựng từ các bản đồ địa hình, địa mạo với các đường đồng mức, các điểm cao độ. Các đặc trưng địa hình, địa mạo của các lưu vực sông được phân loại thành các dạng khác nhau. Dựa vào bản đồ địa hình, địa mạo, các lưu vực sông và các khu vực trên cùng một lưu vực sông sẽ được phân thành các dạng khác nhau. Khu vực với địa hình thấp, tương đối bằng phẳng với các bãi bồi, gò đất tự nhiên và đồng bằng phù sa, ... thường xảy ra ngập lụt. Do đó, các khu vực với đặc trưng địa hình, địa mạo như vậy thường được điều tra khảo sát chi tiết để dự đoán nguy cơ ngập lụt. Ưu điểm của phương pháp là dựa vào điều kiện địa hình thực tế để xác định vùng ngập. Tuy nhiên phương pháp chưa xét đến các yếu tố khác ảnh hưởng tới sự hình thành và mức độ ngập lụt như điều kiện mặt đệm, điều kiện sử dụng đất, các các trình thủy lực trên lưu vực,... Bên cạnh đó, độ chính xác của bản đồ ngập lụt phụ thuộc vào mức độ chi tiết của bản đồ địa hình, địa mạo và mức độ cập nhật dữ liệu. Ngoài ra, các phân tích chủ yếu là định tính nên chỉ phục vụ cho việc đánh giá rủi ro ngập lụt khi thực hiện quy hoạch vùng.

Để khắc phục nhược điểm của ba phương pháp trên, phương pháp mô phỏng thường được sử dụng. Trong phương pháp này, các mô hình toán được sử dụng bao gồm mô hình thủy văn và mô hình thủy lực với nhiều hướng tiếp cận có độ phức tạp khác nhau, tùy thuộc vào nguồn dữ liệu sẵn có, thời gian tính toán và yêu cầu riêng của từng bài toán cụ thể,... Tuy nhiên, khung tính toán và lập bản đồ thường bao gồm ba bước (Hình 1).

- Bước đầu tiên là ước tính lưu lượng dòng chảy lũ thiết kế ứng với tần suất cụ thể. Các dạng hàm phân phối sẽ xác định xác suất xuất hiện của các giá trị dựa vào các giá trị cực đại thực đo để tính toán. Tuy nhiên, trên thực tế các dữ liệu dòng chảy thực đo thường chưa đủ để xây dựng các đường tần suất, đồng thời việc sử dụng các công thức tính lưu lượng đỉnh lũ đối với các lưu vực lớn, nhiều điểm tính toán còn hạn chế, vì thế các mô hình thủy văn được sử dụng rộng rãi hơn. Dựa trên cơ sở xem xét, mô tả mối quan hệ giữa các biến đầu vào và biến đầu ra mà mô hình thủy văn có thể được chia thành mô hình ngẫu nhiên và mô hình tất định. Các mô hình thủy văn ngẫu nhiên coi quá trình thủy văn mang tính chất ngẫu nhiên và biến đầu ra được xác định từ các biến đầu vào theo các quy luật thống kê. Ngược lại, các mô hình tất định dựa trên việc mô tả các quá trình vật lý từ mưa sinh ra dòng chảy để ước tính dòng chảy. Dựa vào việc mô tả các đặc trưng lưu vực theo không gian, mô hình tất định được phân thành mô hình thông số tập trung TANK, NAM... và mô hình bán/hoàn toàn phân bố như: HBV, TOP-MODEL, SWAT, HEC-HMS, TOKAPI, ...

- Bước thứ hai là tính toán các đặc trưng dòng chảy trên sông và đồng bằng ngập: các mô hình thủy lực sử dụng biến đầu vào là lưu lượng dòng chảy từ các mô hình thủy văn, diễn toán dòng chảy trong sông bằng mô hình một chiều thu được các đặc trưng vật lý dòng chảy trong sông (vận tốc, độ sâu mực nước, lưu lượng) và tính toán mô phỏng chi tiết nước chảy tràn trên bề mặt lưu vực mô phỏng phạm vi ngập lụt với cấp độ ngập khác nhau bằng mô hình hai chiều. Việc sử dụng mô hình thủy lực đặc biệt hữu ích trong các khu vực phức tạp về thủy lực như hợp lưu sông, vùng đất lấn biển hoặc hệ thống sông có sự thay đổi nhiều do sự tác động của các công trình nhân tạo trên sông bao gồm hồ chứa, cầu, cống hay những công trình bảo vệ bờ (đê, kè, ...), những khu vực đồng bằng đông dân cư sinh sống với mạng lưới đường ống phức tạp ảnh hưởng đến việc thoát lũ. Hơn nữa các mô hình thủy động lực học cho phép xem xét các thông số liên quan đến lũ lụt như vận tốc dòng chảy, sự lan truyền, thời gian, tốc độ và mực nước dâng lên theo thời gian. Một số mô hình thủy lực được sử dụng rộng rãi hiện nay như bộ mô hình MIKE của DHI (gồm MIKE 11, MIKE 21, MIKE 21FM, MIKE FLOOD, MIKE URBAN), mô hình HEC-RAS của trung tâm Kỹ thuật thủy văn – Quân đội Mỹ.

- Bước cuối cùng là biên tập bản đồ: Kết quả vùng ngập sẽ được trích xuất từ mô hình thủy lực hai chiều kết hợp với bản đồ số hóa độ cao DEM và hiện trạng các công trình, dân cư, ... sẽ được biên tập đưa ra các bản đồ ngập với các tần suất khác nhau ở thời điểm nhất định. Các công cụ, phần mềm được sử dụng trong biên tập bản đồ ngập lụt như Arc-GIS, MapInfo, QGIS, ILWIS....



Hình 1. Các bước xây dựng bản đồ ngập lụt [9].

Cho đến nay, đã có nhiều phương pháp lập bản đồ đã được nghiên cứu và phát triển với các lý thuyết khác nhau như phương pháp tiếp cận thủy văn, khí tượng, địa hình địa mạo, ... biểu thị vùng ngập trên quy mô của các lưu vực sông với ưu nhược điểm khác nhau. Mặc dù ba phương pháp đầu tiên có thể được thực hiện nhanh với khối lượng công việc ít hơn và dễ thực hiện hơn. Tuy nhiên các phương pháp này có nhược điểm chung là không xem xét đến ảnh hưởng của các đặc trưng trên lưu vực, do đó không thể hiện được sự biến đổi của vùng

ngập trong các kịch bản thay đổi điều kiện lưu vực. Trong khi đó, các mô hình toán xác định các đặc trưng thủy văn, thủy lực đầu ra dựa trên mối quan hệ toán học giữa các đại lượng này với các biến đầu vào theo từng vị trí và thời điểm. Vì vậy, các bản đồ ngập lụt sử dụng các mô hình thủy lực đã thể hiện được diễn biến của các sự kiện lũ bao gồm phân bố theo không gian, thời gian cũng như các yếu tố thủy lực liên quan. Đặc biệt phương pháp này cho phép mô phỏng với các kịch bản khác nhau nhằm đưa ra những phương án ứng phó phù hợp, giảm thiểu tác hại do lũ lụt gây ra. Đây cũng là phương pháp được nghiên cứu và sử dụng rộng rãi hiện nay trong các nghiên cứu liên quan đến ngập lụt và giảm nhẹ thiên tai. Mặt khác, phương pháp mô phỏng yêu cầu số liệu, thời gian tính toán và có độ phức tạp cao hơn các phương pháp khác.

3. Phân tích độ bất định trong xây dựng bản đồ ngập lụt dựa trên phương pháp mô phỏng

3.1. Các yếu tố bất định trong xây dựng bản đồ ngập lụt

Năm 2003, [10] đã đưa ra khái niệm về độ bất định như sau: “Độ bất định là độ lệch so với giá trị lý tưởng không thể có được ...”. Hay có thể hiểu độ bất định là sai số giữa giá trị ước tính và giá trị thực tế. Dựa vào nguồn gốc phát sinh, độ bất định có thể được chia thành 4 loại: (i) Bất định trong số liệu đầu vào; (ii) Bất định trong cấu trúc mô hình; (iii) Bất định trong thông số mô hình và (iv) Bất định trong số liệu thực đo dùng trong hiệu chỉnh và kiểm định.

3.1.1. Tính bất định trong số liệu đầu vào và số liệu thực đo dùng trong hiệu chỉnh và kiểm định

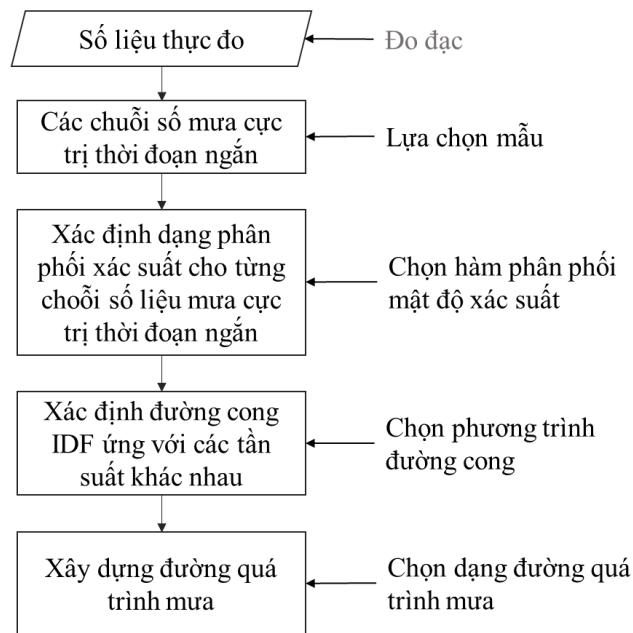
a) Dữ liệu mưa, dòng chảy

Trong trường hợp không có số liệu dòng chảy trong thời gian dài, dòng chảy lũ ứng với 1 tần suất cụ thể được xác định từ mô hình mưa dòng chảy với số liệu mưa có tần suất tương ứng. Các thành phần cấu thành nên tính bất định trong số liệu mưa được trình bày trong sơ đồ ở Hình 2.

Đầu tiên, dữ liệu mưa là đầu vào quan trọng trong các mô hình thủy văn, từ số liệu mưa thời đoạn ngắn đo đạc trong thời gian dài, các giá trị mưa thời đoạn ngắn lớn nhất được lựa chọn mỗi năm 1 giá trị. Trong số liệu thực đo bao gồm sai số do đo đạc (ví dụ như thiết bị, người đọc, ghi chép, ...) và việc lựa chọn mẫu cũng như chiều dài của số liệu ảnh hưởng đến tính đại biểu cho tổng thể. Bước tiếp theo, lựa chọn hàm phân phối xác suất cũng được coi là một bước quan trọng và cũng là một trong những thách thức lớn ảnh hưởng trực tiếp tới lượng mưa thiết kế, cũng như kết quả tính toán đầu ra của mô hình thủy văn. Vì vậy, việc lựa chọn các hàm phân phối với giá trị của các thông số phù hợp với từng chuỗi mưa thời đoạn ngắn sẽ được xác định, nhằm hạn chế việc lựa chọn hàm phân phối xác suất không phù hợp có thể dẫn đến cường độ mưa thiết kế thiên lớn hoặc thiên bé so với thực tế. Đã có nhiều nghiên cứu được thực hiện nhằm xác định được dạng hàm phân bố xác suất phù hợp cho một khu vực nhất định như: [11] nghiên cứu dữ liệu lượng mưa ngày lớn nhất trong năm, mùa và tháng cho Đảo Sagar, nằm trên thềm lục địa của Vịnh Bengal, nhận thấy rằng phân bố chuẩn (N) là phù hợp nhất với thời kỳ cả năm, giai đoạn sau gió mùa và mùa hè, trong khi Lognormal (LN2), Weibull (W2) và Pearson V phù hợp nhất với thời kỳ trước gió mùa, khi xảy ra gió mùa và mùa đông. Phân phối LN2 là phân phối xác suất phù hợp nhất cho lượng mưa ngày lớn nhất ở Ấn Độ [12], đã chỉ ra Log-Pearson III (LP3) với chuỗi số liệu lượng mưa ngày lớn nhất ở các khu vực phía bắc của Pakistan [13]. Trong khi đó, hàm phân phối giá trị cực trị tổng quát (GEV) và phân phối Pearson loại 3 (P3) được xác định là phù hợp nhất với chuỗi giá trị lượng mưa tháng lớn nhất ở Iran [14]. Đối với lượng mưa lớn nhất tháng, hàm phân phối Gumber (GUM) được nhận định là phù hợp nhất cho Ấn Độ [15] và Gamma cho các vùng khô hạn ở Libya [16].

Lượng mưa cường độ ngắn ứng với tần suất cụ thể được xác định từ hàm phân bố mật độ xác suất được sử dụng trong xây dựng đường cong IDF. Do đó, các dạng hàm phân phối khác nhau (ví dụ như Gumbel, GEV, Log-Pearson III) sẽ cho các đường IDF khác nhau. Để xác định đường quá trình mưa, mưa các thời đoạn khác nhau bao gồm các thời đoạn không có số liệu thực đo được sử dụng. Vì vậy, đường cong IDF lý thuyết cần được xác định. Cùng với một chuỗi số liệu, các dạng phương trình đường cong khác nhau có thể được sử dụng (ví dụ như công thức của Chow hay Sherman) và dẫn đến sự sai khác giữa các giá trị cường độ mưa được nội/ngoại suy. Và cuối cùng, từ bộ đường cong IDF, đường quá trình mưa có thể được xác định theo các phương pháp khác nhau. Đường quá trình mưa có thể được xác định bằng các phương pháp khác nhau, ví dụ như phương pháp mưa tam giác, thu phóng theo trận mưa điển hình và phương pháp khối xen kẽ - phương pháp được sử dụng nhiều nhất trong mô phỏng ngập lụt đô thị. Việc sử dụng các phương pháp khác nhau cho đường quá trình mưa khác nhau và có thể ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng ngập lụt.

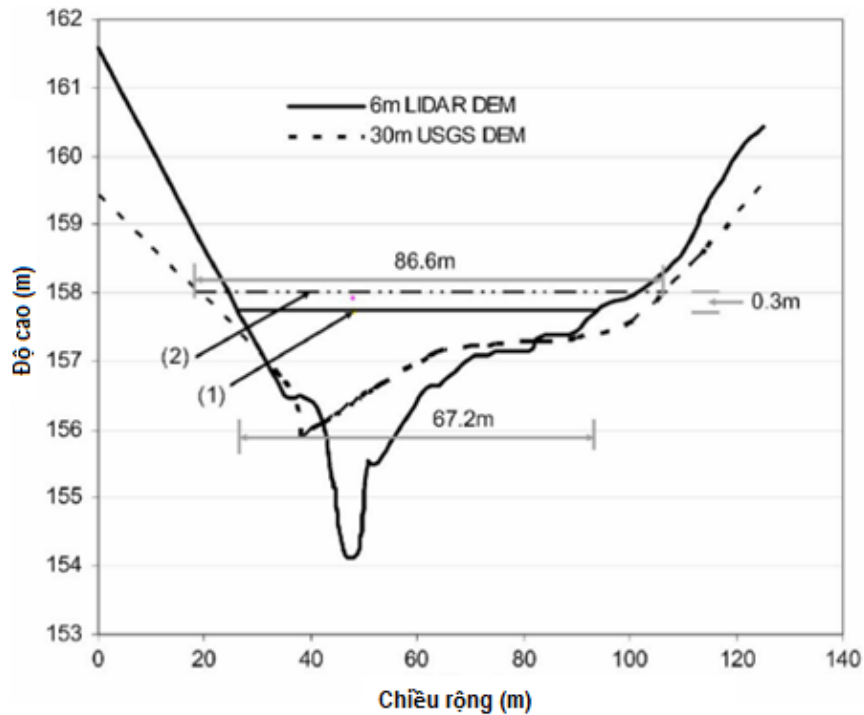
Đối với bài toán mô phỏng ngập lụt, điều quan trọng nhất là phải tìm được các hàm xác suất phù hợp nhất đối với vùng nghiên cứu, từ đó xác định phương trình đường cong cường độ mưa IDF và dạng đường quá trình mưa để giảm thiểu các sai số do khách quan hay chủ quan từ đó làm ảnh hưởng đến việc tính toán điều kiện biên trước khi đưa vào mô hình hóa quá trình dòng chảy, truyền lũ gây ngập úng. Chính vì vậy, có thể coi đây là một trong những yếu tố ảnh hưởng đến mức độ chính xác của những tính toán sau này, cần được tiến hành cẩn thận, tỉ mỉ.



Hình 2. Sơ đồ mô tả độ bất định trong các bước xây dựng đường quá trình mưa ứng tần suất.

b) Dữ liệu địa hình

Dữ liệu địa hình được sử dụng trong xác định lưu vực cho mô hình thủy văn, xác định mặt cắt cho mô hình thủy lực và lập bản đồ mực nước ngập, vì thế chất lượng của dữ liệu địa hình sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến việc xác định vùng ngập lụt. Sai số trong độ cao địa hình góp phần vào độ bất định trong việc lập bản đồ ngập lụt do lũ lụt theo ba cách. Đầu tiên, nó ảnh hưởng đến giá trị lưu lượng ước tính từ các mô hình thủy văn [17]. Thứ hai, nó ảnh hưởng đến độ cao mặt nước lấy từ các mô hình thủy lực [18]. Thứ ba, nó ảnh hưởng đến phạm vi vùng ngập của bản đồ ngập lụt [19]. Hình 3 cho thấy sự khác nhau của một mặt cắt của sông Strouds Creek ở Bắc Carolina lấy từ hai tập dữ liệu địa hình: DEM USGS 30 m và DEM LIDAR 6 m, và độ cao bề mặt nước với kết quả được tính bằng mô hình HEC-RAS [20].



Hình 3. So sánh mặt cắt ngang sông đối với dữ liệu DEM USGS 30 m và DEM LIDAR 6 m [20].

Các vấn đề liên quan đến dữ liệu địa hình bao gồm chất lượng của dữ liệu thô (bao gồm các điểm cao độ địa hình, dữ liệu bản đồ đường đồng mức, các điểm khảo sát địa hình đặc biệt, mặt cắt và DEM), các phương pháp được sử dụng để nội suy dữ liệu địa hình thô thành mô hình bề mặt, tích hợp hoặc kết hợp các tập dữ liệu khác nhau, kiểu dữ liệu được lựa chọn (TIN so với Raster/GRID), phương pháp được sử dụng để xác định lưu vực trong các mô hình thủy văn và độ phân giải không gian của mô hình bề mặt (kích thước ô cho lưới) trong mô hình thủy lực. Bên cạnh sai số liên quan đến việc đo độ cao, các đặc tính như khoảng đồng mức, mật độ, và khoảng cách của các mặt cắt ngang sông, cũng góp phần vào độ bất định trong dữ liệu địa hình [21].

Một yếu tố khác ảnh hưởng đến độ bất định của địa hình phát sinh từ các phương pháp được sử dụng để nội suy dữ liệu địa hình thô để tạo bề mặt. Các phương pháp nội suy được sử dụng phổ biến nhất bao gồm nghịch đảo trọng số khoảng cách [22], Spline [23], Triangulation Delaunay, và các phương pháp thống kê địa lý [24]. Độ chính xác theo phương thẳng đứng của các bề mặt địa hình sẽ tùy thuộc vào phương pháp nội suy khác nhau. Mặc dù tổng thể những thay đổi này có thể nhỏ, nhưng ở những khu vực có địa hình không đồng nhất, chẳng hạn như kênh sông, nơi có độ dốc không đồng hướng, ảnh hưởng của các phương pháp liên kết có thể ảnh hưởng đến kết quả mô hình thủy lực [25]. Hầu hết các thuật toán phân tích địa hình, đặc biệt là những thuật toán được sử dụng cho việc xác định mạng lưới dòng chảy dựa trên các đại diện raster của bề mặt đất, trong khi lập bản đồ ngập lụt sử dụng cả tập dữ liệu raster và TIN. Nói cách khác, việc lập bản đồ ngập lụt cho một phạm vi tiếp cận nhất định trên một phạm vi duy nhất liên quan đến việc sử dụng cùng một dữ liệu địa hình ở các định dạng khác nhau ở các bước khác nhau. Tuy nhiên, khi lưới được chuyển đổi thành TIN, không phải tất cả các giá trị ô đều được kết hợp vào TIN dưới dạng nút, do đó một số thông tin bị mất, làm tăng thêm độ bất định cho dữ liệu.

Các phương pháp được sử dụng để xử lý dữ liệu địa hình nhằm tạo ra các ranh giới lưu vực và dòng chảy để lập mô hình thủy văn cũng làm tăng thêm độ bất định. Ví dụ: mạng lưới sông ngòi được tạo bằng cách sử dụng mô hình tám điểm sẽ khác với mạng được tạo bởi thuật toán D [26]. Chính biên cao độ của các ô điểm ảnh (Fill sinks) là một bước phổ biến được tích hợp vào nhiều công cụ xử lý địa hình (ArcHydro, ArcSWAT ...), nhưng một số

chương trình (WISE) không có bước này trong khi khoanh vùng lưu vực. Vì vậy, các kỹ thuật khác nhau được sử dụng để tính toán độ dốc sử dụng DEM cũng tạo ra các kết quả khác nhau [27].

3.1.2. Tính bất định trong cấu trúc mô hình

Mục đích của các mô hình toán là mô phỏng lại các hệ thống trong thế giới thực bằng các phương trình toán học thể hiện mối liên hệ giữa các biến đầu vào, nhân tố tác động và các biến đầu ra. Việc thiết lập mô hình thường dựa trên các giả thiết để đơn giản thế giới thực và sử dụng các phương trình, phương pháp giải khác nhau. Những yếu tố này đã cấu thành nên tính bất định của kết quả mô phỏng từ cấu trúc mô hình. Cụ thể:

a) Mô hình thủy văn

Theo [28] các yếu tố ảnh hưởng đến dòng chảy trong các mô hình thủy văn bao gồm: đặc điểm lưu vực, quá trình mưa, và điều kiện ban đầu. Cấu trúc mô hình thủy văn thường biểu hiện cho tổn thất ban đầu (bao gồm tổn thất tích đọng và điền trũng), bốc thoát hơi, thấm và quá trình hình thành dòng chảy bốc thoát hơi với các thông số đặc trưng cho mỗi khu vực cụ thể. Các mô hình phân bố/bán phân bố với cấu trúc và thông số phức tạp hơn với khả năng mô tả được sự thay đổi theo không gian và thời gian của các quá trình thủy văn nhằm giảm độ bất định trong mô phỏng. Tuy nhiên trên thực tế, việc sử dụng các mô hình phức tạp không làm tăng độ chính xác của kết quả mô phỏng do thiếu dữ liệu cũng như hiểu biết khả năng sinh dòng chảy từ mưa với các thời đoạn thời gian khác nhau (ví dụ thời gian trận mưa, mùa, năm...) trên các bề mặt khác nhau (sườn dốc, đất trồng, bê tông hoá, ...) ở những điều kiện độ ẩm khác nhau sẽ sinh ra dòng chảy khác nhau.

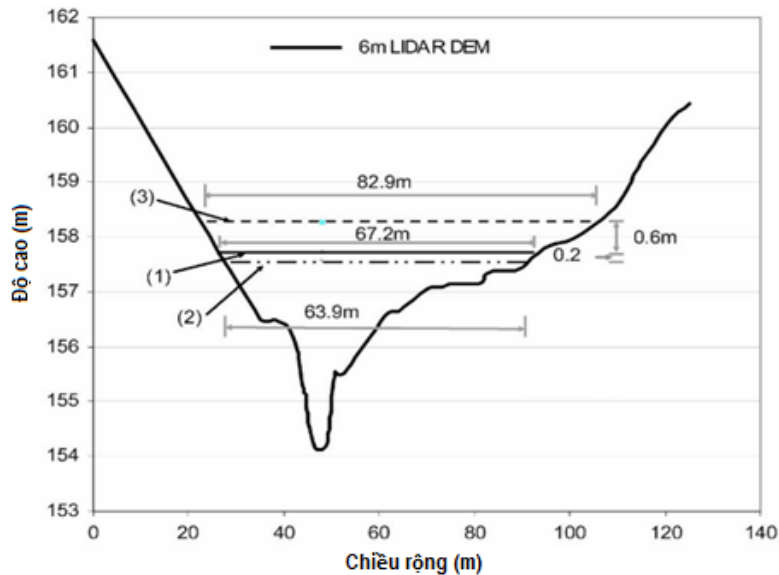
b) Mô hình thủy lực

Tính bất định trong cấu trúc mô hình thủy lực liên quan đến các dữ liệu địa hình (số lượng mặt cắt ngang, khoảng cách giữa các mặt cắt ngang, độ dốc đáy và chất lượng của lưới phân tử hữu hạn, ...) và các thông số mô hình (độ nhám n), và sự biểu diễn của các công trình như cầu, cống, kè, đập, ... thông qua các thông số thiết lập các đối tượng trong mô hình. Bên cạnh các yếu tố này, việc xem xét sự biến đổi của các yếu tố động lực, các đặc trưng thủy lực theo các phương khác nhau cũng cho kết quả không giống nhau. Các mô hình thủy lực được chia thành nhiều loại khác nhau tùy thuộc vào kích thước, khả năng và giả định của chúng trong việc mô hình hóa chuyển động của nước [29–30]. Dựa vào số thành phần của các đặc trưng thủy lực theo các phương được xem xét, các mô hình thủy lực có thể được chia thành ba loại bao gồm: mô hình 1 chiều (1D), 2 chiều (2D) và 3 chiều (3D). Nền tảng của các mô hình này là các phương trình cơ bản của động lực học chất lỏng: phương trình liên tục, phương trình động lượng và phương trình năng lượng. Trên thực tế, phương trình tổng quát Navier-Stokes được áp dụng để giải các dòng chất lỏng phức tạp dưới dạng mô hình thủy lực ba chiều (3D) [31]. Tuy nhiên, mô hình này vẫn còn rất phức tạp để trong sử dụng ở điều kiện thực tế, vì vậy các phương trình Navier-Stokes đã được đơn giản hóa thành dạng phương trình Saint-Venant [32] và được áp dụng để xây dựng các mô hình thủy lực một chiều và hai chiều đơn giản hơn ở mức độ tin cậy nhất định. Các mô hình thủy lực một chiều thường được sử dụng trong mô phỏng dòng chảy trên sông, vì thế việc sử dụng mô hình một chiều trong lập bản đồ ngập lụt là chưa đủ và thường được kết hợp với mô hình hai chiều trong mô phỏng ngập hai bên bờ và trên các bãi tràn. Do đó, tùy thuộc vào việc thiết lập hệ thống trong mô hình thủy lực 1D, chia lưới trong mô hình 2D và liên kết giữa các ô lưới, giữa các mặt cắt và ô lưới, kết quả tính toán mô phỏng mực nước và vùng ngập có thể khác nhau. Tương tự như mô hình 2D, sự phân chia lưới tính toán phù hợp đóng vai trò quan trọng trong các mô hình 3D mô phỏng các khu vực có điều kiện địa hình lòng sông biến đổi phức tạp [33–35].

3.1.3. Tính bất định trong tham số mô hình

Trong các mô hình thủy lực, mức độ cản trở của lòng dẫn đến chuyển động của dòng nước được đặc trưng bởi hệ số nhám Manning (n). Đặc điểm của lòng dẫn biến đổi theo cả

không gian và thời gian. Tuy nhiên, hệ số này thường được xem là hằng số, không biến đổi theo độ sâu mực nước và xác định bằng cách sử dụng các bảng tra cứu tiêu chuẩn cho các loại bề mặt khác nhau (kích thước các hạt vật liệu đáy sông và thảm thực vật). Giá trị của hệ số nhám Manning (n) có thể dao động từ 0,035 đến 0,065 ở sông chính và 0,080 đến 0,150 ở vùng bãi tràn [36]. Hình 4 cho thấy mực nước tại một mặt cắt nhất định ứng với các giá trị n trong mô phỏng thủy lực 1D [20]. Mực nước giảm 0,2 m với giá trị độ nhám thấp nhất và tăng 0,6 m khi sử dụng giá trị độ nhám cao nhất, thay đổi chiều rộng của mặt cắt ướt lên đến 19 m.



Hình 4. Sự thay đổi mực nước tại một mặt cắt khi thay đổi các giá trị độ nhám [20].

3.2. Các nghiên cứu về độ bất định trong mô phỏng ngập lụt trên thế giới và ở Việt Nam

3.2.1. Các nghiên cứu trên thế giới

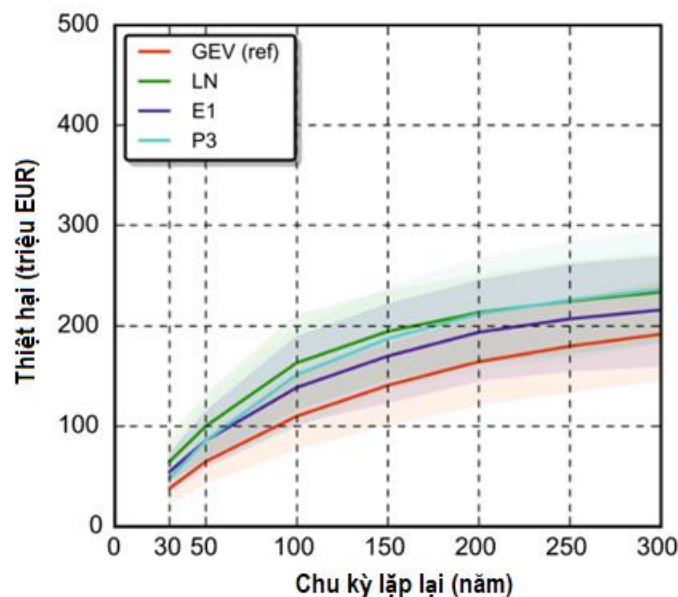
Đã có rất nhiều nghiên cứu trên thế giới đánh giá độ bất định trong mô phỏng thủy văn nói chung và thủy văn đô thị nói riêng. Các nghiên cứu có thể được chia thành 2 nhóm: (i) xem xét tổ hợp các yếu tố cấu thành nên tính bất định trong kết quả mô phỏng và (ii) xem xét các yếu tố một cách độc lập.

[37] đã xem xét tính bất định từ thông số mô hình và số liệu đầu vào trong mô phỏng dòng chảy trong hệ thống thoát nước. Nghiên cứu đã xem xét xác suất cùng xảy ra của các thông số và số liệu đầu vào. Điều này cho phép ước tính được độ bất định trong kết quả mô phỏng tốt hơn. Tuy nhiên, mức độ ảnh hưởng giữa các yếu tố đến độ bất định trong kết quả mô phỏng không được xác định. Ngoài ra, nghiên cứu này chỉ đánh ra cho lưu lượng tại cửa ra hệ thống thoát nước mà chưa xác định được mức độ ảnh hưởng đến sai số trong mô phỏng ngập lụt. Trong khi đó, [38] đã xem xét tính bất định từ 3 yếu tố bao gồm số liệu đầu vào, thông số mô hình và cấu trúc mô hình. Tuy nhiên, phạm vi hay giá trị của các yếu tố được xem xét trong nghiên cứu này còn khá hạn chế. Cụ thể, DEM thô và DEM sau xử lý, bộ giá trị của thông số mô hình trước và sau khi hiệu chỉnh, mô hình 1D/2D và 2D được sử dụng trong nghiên cứu này. Hay nói cách khác, mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào, thông số và cấu trúc mô hình được xác định thông qua so sánh giữa kết quả của 8 mô phỏng. Vì vậy, kết quả đánh giá có thể chưa phản ánh chính xác mức độ đóng góp của từng yếu tố.

Nghiên cứu [39] đã có những phân tích hệ thống về tính bất định của mô hình ngập lụt 2D với hai thử nghiệm khác nhau với các đặc tính thủy động lực học tương phản: Thử nghiệm Glasgow với hiện tượng tràn cống (*culvert overtopping event*) dẫn đến lũ nhanh trên bề mặt (< 1 giờ) ở vùng Greenfield và thử nghiệm Mexborough với sự kiện lũ tràn trên sông xảy ra ở Mexborough, nam Yorkshire vào tháng 7 năm 2007. Các yếu tố ảnh hưởng đến mô hình

được lựa chọn trong phân tích bao gồm: cấu trúc mô hình, kích thước ô lưới, đầu vào thủy văn, độ nhám, lỗi ngẫu nhiên trong mô hình độ cao kỹ thuật số DEM và các phương pháp tiếp cận để biểu diễn dòng chảy qua các toà nhà. Đối với mỗi đầu vào, một giá trị lớn nhất và nhỏ nhất sẽ được lựa chọn và được chia thành các giá trị rời rạc, giới hạn trên và dưới này sẽ mặc nhiên giả định phạm vi của các giá trị trong một phân phối đồng nhất. Nghiên cứu đã sử dụng bốn mô-đun bao gồm: ATS, ACC, Roe và Rusanov với độ phức tạp khác nhau trong mô hình thủy lực LISFLOOD-FP để đánh giá độ bất định trong cấu trúc mô hình. Kết quả cho thấy độ ảnh hưởng khác nhau của từng tham số đầu vào đến độ bất định của mô hình là đáng kể trong chế độ dòng chảy phức tạp nhưng sẽ giảm đi trong các sự kiện lũ điển hình. Hình 5 minh họa cho ảnh hưởng từng yếu tố đầu vào so sánh với giá trị trung bình $F(2)$ trên mỗi cấp độ của mỗi yếu tố với các cấp độ khác của các yếu tố khác đối với trường hợp kiểm tra Glasgow (trong đó $F(2)$ là giá trị trên trục y của tất cả các biểu đồ và trục x trong mỗi cột là các giới hạn cho tham số được đặt tên). Phương pháp đánh giá kết quả đầu ra của mô hình cũng được coi là quan trọng trong việc xác định ảnh hưởng tổng thể của các tham số.

Phần lớn các nghiên cứu xem xét các yếu tố cấu thành nên tính bất định trong kết quả mô phỏng một cách độc lập tập trung vào thông số mô hình như [40–42]. Muleta và cs đã sử dụng phương pháp Bayesian trong xác định độ bất định của các thông số mô hình thoát nước đô thị SWMM5 cho một khu vực đô thị thuộc lưu vực Los Angeles, California, Hoa Kỳ [40]. Kết quả cho thấy, ảnh hưởng của độ bất định trong các thông số mô hình tới kết quả mô phỏng là không đáng kể so với sai số trong số liệu đầu vào và cấu trúc mô hình. Trong một nghiên cứu khác, Pang và cs đã áp dụng phương pháp GLUE-TOPSIS (*Generalized Likelihood Uncertainty Estimation-Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) với 4 đặc trưng là hệ số NSE, độ lệch thể tích VB, độ lệch đỉnh VP và hệ số tương quan R cho mô phỏng hệ thống thoát nước đô thị trên mô hình SWMM cho lưu vực Dahongmen, Bắc Kinh, Trung Quốc [41]. Nghiên cứu đã chỉ ra GLUE-TOPSIS cho phép xác định khoảng giá trị của mô phỏng chính xác và độ bất định của thông số mô hình đóng vai trò quan trọng trong kết quả mô phỏng dòng chảy với 90% số điểm thực đo nằm trong dải giá trị. Để đánh giá ảnh hưởng của các hàm phân phối khác nhau đến kết quả mô hình rủi ro do lũ lụt gây ra, Winter và cs đã sử dụng bốn hàm phân phối bao gồm: Gumbel hai tham số (E1), Lognormal (LN) và phân phối Pearson III (P3) ba tham số và Giá trị cực đại tổng quát (*GEV- Generalised Extreme Value*) [43]. Hình 5 cho thấy việc sử dụng các hàm phân phối khác nhau cũng ảnh hưởng đến độ không đảm bảo của kết quả mô hình ứng với tần suất thiết kế khác nhau.



Hình 5. Ảnh hưởng của các hàm phân phối đến mô đun rủi ro (Hazard module) [43].

Trong một hướng dẫn về tính dòng chảy thiết kế ở Hoa Kỳ, tiểu ban thủy văn của Ủy ban Cố vấn Liên ngành về Dữ liệu Nước (IACWD [44]) đã khuyến nghị sử dụng phân phối xác suất Log-Person III để ước tính các tham số phân phối. Tuy nhiên, các nghiên cứu gần đây, [45–46] đã chỉ ra rằng các kỹ thuật mới kết hợp thông tin lũ lịch sử có thể cung cấp các giá trị dòng chảy cao hơn đối với các tần suất nhất định so với các giá trị thu được bằng áp dụng phương pháp Log-Person III. Vì vậy, việc lựa chọn kỹ thuật được sử dụng để ước tính các tham số của phân phối Log-Person III sẽ làm tăng thêm độ không đảm bảo cho các giá trị dòng chảy được tính toán.

Để xác định độ bất định từ việc chọn mẫu và chiều dài của mẫu, [47] đã sử dụng phương pháp lấy mẫu bootstrap để xác định giá trị trung bình và sai số chuẩn của các thông số của hàm phân phối mật độ xác suất đã chọn. Nghiên cứu được thực hiện cho lưu vực sông Langat ở Malaysia. Kết quả cho thấy, việc lựa chọn mẫu và chiều dài chuỗi số liệu có ảnh hưởng lớn đến giá trị của cường độ mưa thời đoạn ngắn và chu kỳ lặp lại dài. Hay trong một nghiên cứu khác, [48] đã chia miền tính toán của lưu vực hồ Malpasset (Pháp) thành lưới vuông với kích thước 40 m và 30 m để diễn toán lũ. Sau khi tiến hành mô phỏng, mô hình với kích thước ô lưới lớn hơn cho kết quả tốt nhất mô hình với kích thước ô lưới nhỏ hơn.

Pappenberger và cs đã nghiên cứu ảnh hưởng của hệ số nhám Manning n đến kết quả của các thành phần dòng chảy của mô hình một chiều HEC-RAS sử dụng phương pháp GLUE (*generalised likelihood uncertainty estimation*) [49]. Mô hình được chạy với hệ số nhám thay đổi trong phạm vi từ 0,001-0,9, kết quả được so sánh với dữ liệu ngập lụt và dòng chảy trên sông. Kết quả mô phỏng cho thấy, nhiều bộ giá trị thông số khác nhau cùng cho kết quả tốt tương tự nhau. Tuy nhiên, điều này còn phụ thuộc vào khu vực mô phỏng và điều kiện biên.. Nghiên cứu cũng nhấn mạnh sự cần thiết phải phân biệt giữa thông số nhậy và ý nghĩa vật lý của các thông số. Kết quả của phân tích này có thể được sử dụng để tạo ra các bản đồ xác suất động (*dynamic probability maps of flooding*) trong một trận lũ.

[50] cũng đã phân tích độ bất định của mô hình thủy lực hai chiều sử dụng phương pháp ước lượng điểm (*the point estimate method - PEM*). PEM là phương pháp ước tính giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của một hàm phân phối xác suất của tổng thể bằng cách sử dụng các mô men thống kê của các biến đầu vào ngẫu nhiên. Nghiên cứu đã xem xét độ không đảm bảo của ba biến đầu vào chính bao gồm: tốc độ dòng chảy, thông số Manning và địa hình. Mô hình thủy lực 2D và H2D2 được sử dụng để giải các phương trình nước nông, ứng dụng trong phạm vi 46 km của sông Richelieu, Canada. Kết quả nghiên cứu cho thấy độ lệch chuẩn của độ sâu nước trung bình là < 27 cm đối với các lưu lượng dòng chảy được xem xét là 759, 824, 936, 1113 m³/s. Độ lệch chuẩn cao hơn thu được ở thượng nguồn sông Richelieu gần bãi cạn. Các kết quả cũng cho thấy rằng phương pháp PEM có thể được áp dụng với mô hình H2D2 để thực hiện phân tích độ bất định đối với các biến đầu vào.

3.2.2. Các nghiên cứu ở Việt Nam

Các nghiên cứu về độ bất định trong mô phỏng thủy văn cho các lưu vực ở Việt Nam còn ít và xem xét các yếu tố một cách độc lập. Năm 2015, [51] đã công bố kết quả nghiên cứu về đánh giá ảnh của độ bất định trong thông số mô hình đến kết quả mô phỏng dòng chảy tại cửa ra của lưu vực sông Sêrêpôk. Tác giả đã áp dụng 4 phương pháp khác nhau bao gồm GLUE, ParaSol, PSO, and SUFI-2 để đánh giá độ bất định trong các thông số trong mô đun thủy văn của mô hình SWAT. Sau khi tiến hành phân tích kết quả, tác giả đã kết luận (i) SUFI-2 có khả năng đưa ra dải giá trị với số lượng mô phỏng là ít nhất và (ii) với phần lớn các giá trị lưu lượng thực đo nằm trong dải giá trị, độ bất định trong thông số mô hình có ảnh hưởng lớn tới kết quả mô phỏng dòng chảy. Đến năm 2018, [52] đã đánh giá ảnh hưởng của độ bất định các thông số mô hình đến kết quả mô phỏng dòng chảy của mô hình HEC-HMS. Nghiên cứu được tiến hành cho lưu vực sông Ba và sử dụng phương pháp Bayesian và GLUE. Cả hai phương pháp đều cho phép xác định được giá trị thông số có khả năng xảy ra cao nhất và phân phối của thông số. Phương pháp Bayesian cho phép xác định các phân vị lưu lượng

tốt hơn. Bên cạnh hai nghiên cứu về độ bất định từ thông số mô hình, tác giả [53] đã có một nghiên cứu về độ bất định của cấu trúc mô hình đến xây dựng bản đồ ngập lụt cho lưu vực sông Vu Gia-Thu Bồn. Trong nghiên cứu, tác giả đã thực hiện mô phỏng trên 4 mô hình bao gồm 1D, 2D, giả 2D và kết hợp 1D/2D. Kết quả mô phỏng cho thấy sự khác biệt đáng kể giữa diện tích ngập lụt và thời gian thực hiện mô phỏng. Trong trường hợp thiếu số liệu như số liệu địa hình thì việc sử dụng mô hình kết hợp 1D/2D cho kết quả tốt nhất. [54] đánh giá sự phụ thuộc của kết quả diễn toán lũ trong tình huống vỡ đập vào kích thước ô lưới thông qua việc tiến hành mô phỏng thủy lực với 4 trường hợp ứng với các kích thước ô lưới khác nhau (30, 40, 50 và 90 m). Nghiên cứu được thực hiện cho đập Nam Chiến, tỉnh Sơn La. Kết quả nghiên cứu cho thấy, kích thước ô lưới càng nhỏ thì thời gian truyền sóng càng lớn, sóng vỡ đập lan truyền đi càng chậm.

4. Kết luận

Bản đồ ngập lụt là một công cụ thiết yếu trong quy hoạch và phát triển đô thị nói chung và quản lý ngập lụt đô thị nói riêng. Bản đồ ngập lụt được xây dựng bằng 4 phương pháp: thống kê, điều tra vết lũ các trận lũ lịch sử, sử dụng bản đồ địa hình địa mạo, ảnh sử dụng ảnh vệ tinh và mô phỏng bằng các mô hình toán sử dụng công cụ mô phỏng. Trong đó, phương pháp mô phỏng cho phép đưa ra bản đồ ngập lụt với các giá định hay kích bản tính toán khác nhau và được sử dụng phổ biến nhất. Khu vực nghiên cứu được mô hình hóa bằng các mô hình thủy văn, thủy lực. Trong quá trình tiến hành mô phỏng, sai số trong số liệu đầu vào, lựa chọn mô hình, hiệu chỉnh thông số của mô hình và sai số của số liệu thực đo dùng để hiệu chỉnh thông số mô hình có thể dẫn đến sai số trong kết quả đầu ra, cụ thể là bản đồ ngập lụt. Vì vậy việc đưa ra giải giá trị hay đánh giá độ bất định trong kết quả tính toán là rất cần thiết. Các nghiên cứu cho thấy mức độ ảnh hưởng hay đóng góp của độ bất định trong số liệu đầu vào, thông số, cấu trúc mô hình trong sai số mô phỏng là không giống nhau giữa các nghiên cứu cho các khu vực khác nhau. Bên cạnh đó, các nghiên cứu mới chủ yếu dừng ở đánh giá kết quả mô phỏng lưu lượng mà chưa xem xét đến đầu ra cuối cùng của các bài toán mô phỏng lũ là bản đồ ngập lụt. Ngoài ra, các nghiên cứu về độ bất định trong số liệu đầu vào đến bản đồ ngập lụt nói chung và ngập lụt đô thị nói riêng ở cả Việt Nam và trên thế giới chưa được thực hiện. Trong khi đó, các bản đồ hiểm họa ngập lụt đô thị ứng với các tần suất khác nhau được xây dựng từ mưa tần suất bao gồm các yếu tố bất định trong số liệu đo đạc của mưa thời đoạn ngắn, lựa chọn hàm mật độ phân phối xác suất của chuỗi mưa thời đoạn ngắn, lựa chọn dạng phương trình đường cong IDF và dạng đường quá trình mưa. Do đó, độ bất định trong xác định mô hình mưa tần suất cần được nghiên cứu và đánh giá mức độ ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng ngập lụt, cụ thể là bản đồ ngập lụt (gồm diện tích và độ sâu ngập).

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.T.T., N.T.T.; Xử lý số liệu: T.T.T., P.T.M.L.; Viết bản thảo bài báo: T.T.T., Chính sửa bài báo: N.T.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. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu. Nhà xuất bản Tài nguyên – môi trường và bản đồ Việt Nam. 2021.
2. Getahun, Y.S.; Gebre, Y.S. Flood Hazard Assessment and Mapping of Flood Inundation Area of the Awash River Basin in Ethiopia using GIS and HEC-GeoRAS/HEC-RAS Model. *J. Civil Environ. Eng.* **2015**, 5(04), 1–12.
3. Châu, T.K.; Lan, P.T.H. Ứng dụng mô hình thủy lực 1 & 2 chiều kết hợp xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu hồ chứa Suối Mỡ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 676, 37–46.

4. Ngọc, N.B.; Ngử, N.H.; Đức, T.T.; Quý, L.N.P. Sử dụng ảnh viễn thám giám sát lũ và đánh giá thiệt hại đến đất nông nghiệp tại huyện Quảng Điền, tỉnh Thừa Thiên Huế. *Tap chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2019**, 55(2), 154–163.
5. White, D.C.; Lewis, M.M. A new approach to monitoring spatial distribution and dynamics of wetlands and associated flows of Australian Great Artesian Basin springs using QuickBird satellite imagery. *J. Hydrol.* **2011**, 408, 140–152.
6. Zhao, B.; Yan, Y.; Guo, H.; He, M.; Gu, Y.; Li, B. Monitoring rapid vegetation succession in estuarine wetland using time series MODIS-based indicators: An application in the Yangtze River Delta area. *Ecol. Indic.* **2009**, 9(2), 346–356.
7. Toàn, N.T.; Châu, T.K.; Tâm, D.T.; Linh, N.H. Ứng dụng công nghệ viễn thám xây dựng bản đồ ngập lụt cho khu vực sông Bùi trong trận lũ lịch sử 2018. *Tap chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2019**, 66, 81–87.
8. Luân, N.T.; Hùng, N.T.; Cường, V.Đ.; Huyền, N.T.; Sơn, P.Q. Nghiên cứu thành lập bản đồ ngập lụt từ ảnh viễn thám Radar áp dụng cho hạ lưu vực sông Trà Khúc, sông Vệ, tỉnh Quảng Ngãi. *Tap chí Khoa học Và Công nghệ Thủy lợi* **2017**, 39, 1–8.
9. Moel, H.D. Uncertainty in Flood Risk. PhD Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam, 2012.
10. Walker, W.; Rotmans, J.; Janssen, P. Defining Uncertainty: A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support. *Integr. Assess.* **2003**, 4, 4–17.
11. Mandal, S.; Choudhury, B.U. Estimation and prediction of maximum daily rainfall at Sagar Island using best fit probability models. *Theor. Appl. Climatol.* **2015**, 121, 87–97.
12. Kumar, A. Prediction of annual maximum daily rainfall of Ranichauri (Tehri Garhwal) based on probability analysis. *Indian J. Soil Conserv.* **2000**, 28, 178–180.
13. Amin, M.T.; Izwan, M.; Alazba, A.A. A best-fit probability distribution for the estimation of rainfall in northern regions of Pakistan. *Open Life Sci.* **2016**, 11(1), 432–440.
14. Eslamian, S.S.; Feizi, H. Maximum monthly rainfall analysis using L-moments for an arid region in Isfahan Province, Iran. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **2007**, 46(4), 494–503.
15. Bhakar, S. Probability analysis of rainfall at Kota. *Indian J. Agric. Res.* **2008**, 42(3), 201–206.
16. Şen, Z.; Eljadid, A.G. Distribution statistique et prédétermination des pluies mensuelles en Libye. *Hydrol. Sci. J.* **1999**, 44(5), 665–680.
17. Hancock, G.R. The use of digital elevation models in the identification and characterization of catchments over different grid scales. *Hydrol. Processes* **2005**, 19(9), 1727–174.
18. Marks, K.; Bates, P. Integration of high-resolution topographic data with floodplain flow models. *Hydrol. Processes* **2000**, 14, 2109–2122.
19. Tate, E.C.; Maidment, D.R.; Olivera, F.; Anderson, D.J. Creating a Terrain Model for Floodplain Mapping. *J. Hydrol. Eng.* **2002**, 7, 100–108.
20. Merwade, V.; Olivera, F.; Arabi, M.; Edleman, S. Uncertainty in Flood Inundation Mapping: Current Issues and Future Directions. *J. Hydrol. Eng.* **2008**, 13(7), 608–620.
21. Yilmaz, M.; Usul, N.; Akyurek, Z. Modeling the Propagation of DEM Uncertainty in Flood Inundation. Proceeding of the 24th Annual ESRI International User Conference, San Diego, 2004.
22. Philip, G.M.; Watson, D.F. A precise method for determining contoured surfaces, Aust. *Pet. Explor. Assoc. J.* **1982**, 22, 205–212.
23. Dierckx, P. Curve and surface fitting with splines. 1995.
24. Isaaks, E.H.; Sirivastava, R.M. Applied geostatistics. New York, Oxford University Press, 1989, pp. 561.
25. Merwade, V.M.; Maidment, D.R.; Goff, J.A. Anisotropic considerations while interpolating river channel bathymetry. *J. Hydrol.* **2006**, 331(3–4), 731–741.
26. Tarboton, D.G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resour. Res.* **1997**, 33(2), 309–319.

27. Warren, S.D.; Hohmann, M.G.; Auerswald, K.; Mitasova, H. An evaluation of methods to determine slope using digital elevation data. *Catena* **2004**, 58(3), 215–233.
28. Singh, V.P. Effect of spatial and temporal variability in rainfall and watershed characteristics on streamflow hydrograph. *Hydrol. Process.* **1997**, 11, 1649–1669.
29. Hunter, N.M.; Bates, P.D.; Horritt, M.S.; Wilson, M.D. Simple spatially-distributed models for predicting flood inundation: A review. *Geomorphology* **2007**, 90(3–4), 208–225.
30. Wurbs, R.A. Computer Models for Water-Resources Planning and Management: National Study of Water Management. 1994.
31. Bates, P.D.; De Roo, A.P.J. A simple raster-based model for flood inundation simulation. *J. Hydrol.* **2000**, 236(1–2), 54–77.
32. Morales-Hernández, M.; García-Navarro, P.; Burguete, J.; Brufau, P. A conservative strategy to couple 1D and 2D models for shallow water flow simulation. *Computers Fluids*. **2013**, 81, 26–44.
33. Crowder, D.W.; Diplas, P. Using two-dimensional hydrodynamic models at scales of ecological importance. *J. Hydrol.* **2000**, 230, 172–191.
34. Aronica, G.; Hankin, B.; Beven, K. Uncertainty and equifinality in calibrating distributed roughness coefficients in a flood propagation model with limited data. *Adv. Water Resour.* **1998**, 22(4), 349–365.
35. French, J.R.; Clifford, N.J. Hydrodynamic modelling as a basis for explaining estuarine environmental dynamics: Some computational and methodological issues, *Hydrol. Processes* **2000**, 14(11–12), 2089–2108.
36. Chow, V.Te.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. Applied hydrology. 1988.
37. Del Giudice, D.; Honti, M.; Scheidegger, A.; Albert, C.; Reichert, P.; Rieckermann, J. Improving uncertainty estimation in urban hydrological modeling by statistically describing bias. *HESS*. **2013**, 10(7), 4209–4225.
38. Reinstaller, S.; Krebs, G.; Pichler, M. Identification of High-Impact Uncertainty Sources for Urban Flood Models in Hillside Peri-Urban Catchments. *Water* **2022**, 14(12), 1–25.
39. Willis, T.; Wright, N.; Sleigh, A. Systematic Analysis of Uncertainty in 2D Flood Inundation Models. *Environ. Model. Softw.* **2019**, 122, 104520.
40. Muleta, M.K.; McMillan, J.; Amenu, G.G.; Burian, S.J. Bayesian Approach for Uncertainty Analysis of an Urban Storm Water Model and Its Application to a Heavily Urbanized Watershed. *J. Hydrol. Eng.* **2009**, 18(10), 1992.
41. Pang, B.; Shi, S.; Zhao, G.; Shi, R.; Peng, D.; Zhu, Z. Uncertainty assessment of urban hydrological modelling from a multiple objective perspective. *Water* **2020**, 12(5), 1393.
42. Kobarfard, M.; Fazloulou, R.; Zarghami, M.; Akbarpour, A. Evaluating the uncertainty of urban flood model using glue approach. *Urban Water J.* **2022**, 19(6), 600–615.
43. Winter, B.; Schneeberger, K.; Huttenlau, M.; Stötter, J. Sources of uncertainty in a probabilistic flood risk model. *Nat. Hazards* **2018**, 91(2), 431–446.
44. I.A.C. on Waster Data (IACWD). Guidelines for determining flood flow frequency, Bulletin 17B of the Hydrology Subcommittee. 1982.
45. England, J.F.; Salas, J.D.; Jarrett, R.D. Comparisons of two moments-based estimators that utilize historical and paleoflood data for the log Pearson type III distribution. *Water Resour. Res.* **2003**, 39(9), 1243.
46. Griffi, V.W.; Stedinger, J.R. Evolution of Flood Frequency Analysis with Bulletin 17. *J. Hydroinf.* **2007**, 12, 283–297.
47. Huang, Y.F.; Mirzaei, M.; Amin, M.Z.M. Uncertainty Quantification in Rainfall Intensity Duration Frequency Curves based on Historical Extreme Precipitation Quantiles. *Procedia Eng.* **2016**, 154, 426–432.
48. Wang, Y. Numerical Improvements for Large-Scale Flood Simulation. PhD thesis, 2011.
49. Pappenberger, F.; Beven, K.; Horrit, M.; Blazkova, S. Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations. *J. Hydrol.* **2005**, 302(1–4), 46–69.

50. Oubennaceur, K.; Chokmani, K.; Nastev, M.; Tanguy, M.; Raymond, S. Uncertainty Analysis of a Two-Dimensional Hydraulic Model. *Water* **2018**, 10(3), 272.
51. Khoi, D.N.; Thom, V.T. Parameter uncertainty analysis for simulating streamflow in a river catchment of Vietnam. *Glob. Ecol. Conserv.* **2015**, 4, 538–548.
52. Phuong, C.T.; Ball, J.E.; Hung, D.N. Uncertainty estimation using the Glue and Bayesian approaches in flood estimation: A case study - Ba river, Vietnam. *Water J.* **2018**, 10(11), 1641.
53. Duong, V.N.; Gourbesville, P. Model Uncertainty in Flood Modelling. Case Study at Vu Gia Thu Bon Catchment – Vietnam. *Procedia Eng.* **2016**, 154, 450–458.
54. Hùng, L.T. Nghiên cứu sự lan truyền sóng lũ tới hạ lưu công trình trong tình huống vỡ đập vòm Nậm Chiến bằng mô hình toán. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2017**, 38, 1–8.

Uncertainty in model-based flood hazard mapping: A review

Tran Thi Tuyet¹, Nguyen Thanh Thuy^{2*}

¹ Institute for Hydro Power and Renewable Energy; trantuyettl96@gmail.com

²Thuyloi University; thanhthuy_rt@tlu.edu.vn

Abstract: Flood is a natural disaster that occurs commonly in the world and in Vietnam with significant loss of life and property. Flood maps are considered an effective tool in flood risk management and are developed with different methods. In which, flood maps corresponding to different rainstorm events or construction incidents are often derived by mathematical models. The study has collected, synthesized and analyzed domestic and foreign researches on flood mapping in general and taking into account uncertainty in particular. All researches have shown that it is necessary to consider or evaluate the uncertainty in the calculated results. However, uncertainties in the model-based flood maps are mainly mentioned in foreign studies while domestic studies almost do not mention it. Current researches have not evaluated the influence of uncertainty in the designed rainstorm on the flood maps.

Keywords: Flood hazard map; Inundation map; Uncertainty; Hydrology, Hydraulic model; Designed rainstorm.

Bài báo khoa học

Quản lý hoạt động dự báo, cảnh báo khí tượng thủy văn trong bối cảnh chuyển đổi số và công nghệ 4.0: Thực trạng và giải pháp

Vũ Đức Long^{1*}, Nguyễn Thị Thu Loan¹, Trần Quang Năng¹, Phạm Hoàng Hùng¹

¹ Vụ Quản lý dự báo khí tượng thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn;
longkttv@gmail.com; loanthunguyen268@gmail.com; trannang030984@gmail.com;
phhung@gmail.com

*Tác giả liên hệ: longkttv@gmail.com; Tel: +84-914081981

Ban Biên tập nhận bài: 8/4/2023; Ngày phản biện xong: 12/6/2023; Ngày đăng bài: 25/6/2023

Tóm tắt: Trong bối cảnh chuyển đổi số và công nghệ 4.0 đang diễn ra mạnh mẽ ở tất cả các ngành, nghề, lĩnh vực tại các nước trên thế giới, trong đó có Việt Nam, việc thực hiện chuyển đổi số trong hoạt động dự báo, cảnh báo khí tượng thủy văn (KTTV) là một xu hướng tất yếu. Điều này đòi hỏi công tác quản lý về hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV cũng cần phải có những điều chỉnh, thay đổi căn bản để có thể làm tốt vai trò của mình. Đó là điều chỉnh, thay đổi từ tư duy quản lý đến phương thức điều hành, tổ chức thực hiện hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV một cách thống nhất, đồng bộ, hiệu quả. Khi đó, công tác quản lý hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV sẽ trở lên dễ dàng hơn, hiệu quả và tiết kiệm chi phí hơn. Phương pháp phân tích, tổng hợp, thống kê được sử dụng trong bài báo này để đánh giá và đề xuất được các giải pháp cụ thể trong quản lý hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV khi thực hiện ứng dụng công nghệ thông tin và chuyển đổi số. Những kết quả nghiên cứu này là một trong những cơ sở để đề xuất sửa đổi, bổ sung các quy trình, quy định pháp lý nhằm nâng cao hiệu quả quản lý, giám sát hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV trên phạm vi cả nước trong bối cảnh chuyển đổi số và công nghệ 4.0.

Từ khóa: Quản lý dự báo, cảnh báo KTTV; Chuyển đổi số; Công nghệ 4.0.

1. Mở đầu

Chuyển đổi số là quá trình thay đổi tổng thể và toàn diện của các cá nhân, tổ chức về cách sống, cách làm việc và phương thức sản xuất dựa trên các công nghệ số [1]. Chuyển đổi số là xu thế tất yếu và đang trở lên phổ biến, lan tỏa mọi ngành nghề, lĩnh vực trên toàn cầu. Không nằm ngoài xu hướng đó, chuyển đổi số trong lĩnh vực KTTV cũng đang diễn ra mạnh mẽ tại các nước trên thế giới, trong đó có Việt Nam trên cả ba trụ cột chính: quan trắc; lưu trữ và xử lý thông tin; dự báo, cảnh báo KTTV. Công nghệ số và thông tin kỹ thuật số đã cung cấp khả năng thu thập dữ liệu chính xác, liên tục từ các cảm biến tự động và hệ thống giám sát từ xa. Các trạm quan trắc KTTV truyền thống cũng đã được nâng cấp để thu nhận và truyền dữ liệu theo thời gian thực đến người dùng. Mô hình thời tiết số (NWP) phát triển cho phép phân tích dữ liệu và dự báo thời tiết với độ chính xác cao hơn.

Trên thế giới, sự tích lũy các tiến bộ trong khoa học máy tính, thiết kế phần cứng, truyền thông và công nghệ pin trong hai thập kỷ qua đã hình thành một hệ sinh thái không giới hạn thiết bị công nghệ thông tin được kết nối với nhau, có khả năng tự động trao đổi thông tin qua hạ tầng mạng Internet (Internet vạn vật-IoT), đó là một hệ sinh thái công nghệ mới của các thiết bị kết nối với nhau và nó sẽ cho phép kích hoạt hàng tỷ thiết bị thông

minh ở tất cả các tầng của mạng máy tính. Ngoài ra, với sự phát triển vượt bậc của công nghệ điện toán đám mây (*Cloud Computing*), đã và đang làm thay đổi cách tổ chức thông tin, dữ liệu hiện nay. Với mô hình tích hợp điện toán đám mây điển hình của, một bên là Data Producer (người tạo ra dữ liệu và cung cấp cho điện toán đám mây), ở giữa là Hệ thống điện toán đám mây (hệ thống tính toán mạnh mẽ và thông minh), và ở phía bên kia là Data Consumer (tương tác với một hệ thống đám mây để sử dụng dữ liệu) [2]. Trong bài toán quan trắc KTTV, có hai kịch bản khả thi cho hệ thống trạm KTTV tự động (AWS) trong tương lai: (i) Edged IoT AWS (trạm tự động sử dụng công nghệ internet vạn vật lớp biên) và (ii) AWS (trạm quan trắc tự động) ảo dựa trên đám mây. Trong kịch bản đầu tiên, công nghệ IoT cùng với các thiết bị thông minh sẽ thay đổi các đặc tính của các hệ thống quan trắc bề mặt truyền thống, các công nghệ mới sẽ biến AWS thành một thành phần quan trọng trong hệ thống quan trắc KTTV. Các thiết bị Edged IoT AWS sẽ đóng vai trò quan trọng trong việc thu thập, xử lý, lưu trữ và cung cấp dữ liệu cho người dùng cuối hoặc phục vụ các bài toán tính toán cao hơn và hoạt động như các Hệ thống xử lý biên (*Edge Processing Systems*) [3–4].

Cũng theo báo cáo của WMO, trong tương lai gần, các công nghệ đột phá trong viễn thông và tính toán có thể loại bỏ nhu cầu sử dụng các hệ thống AWS hiện nay [4]. Trong trường hợp này, nếu triển khai mạng lưới quan trắc trên các khu vực rộng lớn với hàng trăm, hàng ngàn nút và sử dụng thiết bị đo ứng dụng công nghệ mạng không dây (LPWAN) mới như các công nghệ truyền thông không dây (*LoRa hoặc Narrow Band-IoT*), sẽ có khả năng tạo ra các trạm KTTV ảo dựa trên nhu cầu cụ thể hoặc sở thích nghiên cứu của mỗi đơn vị, cá nhân. Với kịch bản này, bản đồ số hóa các vị trí của thiết bị đầu cuối cũng sẽ hiển thị tất cả các thông tin về trạng thái của thiết bị đầu cuối, số lượng và loại cảm biến được kết nối với các nút và tần suất đo của mỗi cảm biến.

Đối với hệ thống thu thập và xử lý số liệu KTTV: Theo xu hướng phát triển, thông tin, dữ liệu KTTV đang dần trở thành yếu tố quan trọng nhất đối với hoạt động của mọi ngành nghề, lĩnh vực. Mọi quyết định đều cần dựa trên kết quả phân tích dữ liệu. Do đó, việc xây dựng một hệ thống công nghệ thông tin (bao gồm phần cứng, phần mềm) có khả năng thu thập, xử lý dữ liệu ngày càng đa dạng, dung lượng và tần suất trao đổi lớn nhưng vẫn đảm bảo tính chính xác, kịp thời, ổn định để phục vụ các công tác chuyên môn là yêu cầu thiết yếu. Hiện tại, các nước phát triển trên thế giới đều đã và đang đầu tư, xây dựng, hoàn thiện hệ thống quản trị dữ liệu KTTV tập trung trên nền tảng phân tích dữ liệu lớn (*Big Data*).

Với sự phát triển mạnh mẽ về công nghệ quan trắc, công nghệ lưu trữ và truyền thông tin tốc độ cao đã giúp đa dạng hóa nguồn dữ liệu về môi trường trái đất, bao gồm từ khảo sát thực địa, quan trắc tự động trên mặt đất, quan trắc dựa trên IoT, từ các cảm biến tự động trên tàu, máy bay không người lái (UAV) và từ các hệ thống vệ tinh giám sát Trái đất (*Earth Observation Satellite - EOS*). Bên cạnh các nguồn dữ liệu rất lớn trên không gian lưới của các hệ thống mô hình số khí tượng, hải dương ở độ phân giải ngày càng tinh hơn (do năng lực tính toán được tăng lên vượt bậc của các hệ thống tính song song hiệu năng cao, các siêu máy tính). Do đó, dung lượng dữ liệu quan trắc, dự báo trong các lĩnh vực khoa học Trái Đất được tăng cấp số mũ sau mỗi năm [5].

Dữ liệu về ra đa thời tiết và vệ tinh thời tiết cũng là một xu thế mới của số liệu KTTV. Hệ thống mạng lưới ra đa và vệ tinh thời tiết ngày càng tinh vi sẽ hỗ trợ rất lớn trong theo dõi thiên tai và dự báo, cảnh báo sớm các hiện tượng thời tiết, thủy văn nguy hiểm. Để đảm bảo chất lượng của dữ liệu ra đa và vệ tinh thời tiết, thông thường, các dữ liệu này sẽ được truyền đến trung tâm dữ liệu điện toán đám mây tập trung qua mạng để kiểm soát. Tuy nhiên, nguồn dữ liệu quét liên tục từ radar thời tiết thế hệ mới khiến cho dung lượng dữ liệu tăng theo cấp số nhân, trong khi mô hình dịch vụ điện toán đám mây không thể đáp ứng yêu cầu về kiểm soát, xử lý chất lượng dữ liệu này [6]. Vì vậy, để kiểm soát, đảm bảo chất lượng dữ liệu ra đa thời tiết, cung cấp kịp thời cho hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV, phương pháp kết hợp điện toán đám mây và điện toán biên (*edge*) trong đó cho phép ra đa

thời tiết trở thành một thiết bị biên với khả năng tính toán và lưu trữ đã được áp dụng [7]. Điều này đã mở rộng các nguồn lực tính toán và lưu trữ tập trung đến biên, giảm đáng kể áp lực lên băng thông mạng. Mặt khác, việc sử dụng điện toán đám mây như một bổ sung cho năng lực tính toán hạn chế hiện nay.

Trong hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV, những năm gần đây, chất lượng dự báo, cảnh báo KTTV đã được cải thiện đáng kể nhờ hệ thống quan trắc hiện đại, năng lực tính toán nhảy vọt khi có sự xuất hiện của các siêu máy tính. Nhìn chung, không gian để tăng cường chất lượng dự báo vẫn còn rất lớn và có thể cải tiến. Nhờ ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI) và các công nghệ khoa học dữ liệu, nhất là học máy và khai thác dữ liệu đã nâng cao độ chính xác, thu hẹp khoảng cách giữa dự báo mô hình số và dự báo nghiệp vụ. Các kỹ thuật AI cũng trích xuất thông tin không thể có được từ mô hình dự báo bằng cách kết hợp kết quả mô hình với số liệu quan trắc để cung cấp hỗ trợ quyết định bổ sung cho nhà dự báo và người dùng.

Yêu cầu tổng quát thường định hướng đến kết quả chính là phân loại được các hiện tượng với những đặc trưng cụ thể (có mưa hay không mưa,...) và định lượng hóa thông tin về những yếu tố KTTV (diễn biến của nhiệt độ, độ ẩm, gió, mưa,... theo thời gian, không gian hoặc cho một địa điểm cụ thể). Các thuật toán Học máy (*Machine Learning - ML*), Học sâu (*Deep Learning- DL*) là cách thức thực hiện cụ thể của khái niệm trí tuệ nhân tạo. Việc ứng dụng ML/DL là quá trình lựa chọn phù hợp cho từng dạng bài toán dự báo KTTV cụ thể, thông qua tiếp cận theo chức năng phân nhóm/lựa chọn đặc trưng hoặc theo chức năng cách hiểu của mô hình thống kê hồi quy thông thường [8].

Để nâng cao chất lượng dự báo, cảnh báo KTTV, nhiều nước thế giới đã chuyển sang hướng sang tiếp cận liên ngành, trong đó ưu tiên ứng dụng những thành tựu đột phá trong công nghệ thông tin nói chung và trong lĩnh vực dữ liệu lớn, trí tuệ nhân tạo nói riêng. Bởi khả năng tập hợp thông tin tổng hợp đa dạng và kịp thời cho dự báo viên thông qua việc bổ sung các công cụ trong nghiệp vụ với tính chất trực quan, kịp thời dựa trên nền tảng dữ liệu lớn và hệ thống trí tuệ nhân tạo. Các hệ thống này ngoài việc cho phép truy cập đa dạng các nguồn dữ liệu, còn cho phép đưa ra các “thông tin” kịp thời cho các dự báo viên về những nguy cơ, hệ quả khác nhau trong công tác dự báo, cảnh báo KTTV, giảm thiểu việc bỏ sót quá trình giám sát dự báo. Có thể kể đến như Chương trình Phát triển của Liên Hợp Quốc (UNDP) đã tạo ra một hệ thống cảnh báo sớm đa nguy cơ (MHEWS), áp dụng Big data, công nghệ Học máy ML và AI dựa trên dữ liệu do các nước cung cấp để hỗ trợ Georgia dự báo chính xác và cảnh báo sớm cho người dân, giúp giảm 30% thiệt hại nhân sự và tài chính. Hay tại Mỹ, Tập đoàn công nghệ đa quốc gia IBM đã phát triển Big Data, xử lý Dữ liệu có cấu trúc và phi cấu trúc, được xử lý bởi Operations Risk Insight (ORI), một nền tảng Big data áp dụng AI và ML để trực quan hóa và hỗ trợ quá trình ra quyết định, đưa ra tới 26 triệu dự báo hàng ngày [9].

Ở trong nước, Tổng cục KTTV cũng đã và đang thực hiện nghiên cứu, ứng dụng các công nghệ cao và chuyển đổi số trong hoạt động quan trắc, thu thập, lưu trữ thông tin, dữ liệu và dự báo, cảnh báo KTTV. Điển hình như việc xây dựng hệ thống quản lý dữ liệu dùng chung (CDH), xây dựng hệ thống hỗ trợ dự báo SmartMET để tạo ra các bản tin dự báo điểm,... đặc biệt phải kể đến việc Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia trực thuộc Tổng cục KTTV đã ứng dụng công nghệ WEB-GIS để tạo ra các bản tin cảnh báo cho Trung tâm hỗ trợ dự báo thời tiết nguy hiểm khu vực Đông Nam Á, hay việc thiết lập bổ sung các dự báo điểm và cho phép lựa chọn linh hoạt trên tảng web cho lãnh thổ nước Lào trong phạm vi của biên bản ghi nhớ giữa Việt Nam và Lào từ năm 2021 đến nay [10].

Trong những năm vừa qua, việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo để nhận dạng, hỗ trợ dự báo và dự báo, cảnh báo các hiện tượng khí tượng, thủy văn, hải văn nguy hiểm như cảnh báo đông cực ngắn, nhận dạng bão, áp thấp nhiệt đới hoạt động trên Biển Đông, mưa lớn diện rộng, không khí lạnh, dự báo dị thường dòng chảy thủy văn, dự báo nước biển dâng, sóng lớn,... cũng được các đơn vị trực thuộc Tổng cục KTTV nghiên cứu thực hiện [11–14]. Một

trong những nghiên cứu được công bố ở quốc tế có tính thực tiễn cao đó là đề xuất một phương pháp nâng cao năng lực dự báo mưa, lũ của một cặp mô hình KTTV bằng cách tạo ra lượng mưa tổ hợp kết hợp với lượng mưa dự báo dựa trên ra đa và sai số không gian của lượng mưa dự báo [15].

Tại các đơn vị dự báo thuộc hệ thống dự báo, cảnh báo KTTV quốc gia cũng đã có những nghiên cứu bước đầu về ứng dụng công nghệ AI trong việc thu thập dữ liệu phục vụ dự báo thời tiết, dự báo mặn như Đài KTTV khu vực Trung Trung Bộ [9, 16] và Đài KTTV khu vực Nam Bộ [9, 17]... để nâng cao chất lượng, hiệu quả phục vụ.

Để có thể thực hiện tốt các bài toán dự báo, cảnh báo KTTV, việc sử dụng các siêu máy tính với tốc độ tính toán lớn và nhanh cũng là thành phần quan trọng không thể thiếu trong việc ứng dụng công nghệ cao và chuyên đổi số. Trước đây, Tổng cục KTTV sử dụng các máy tính bó song song còn một số hạn chế, thì nay đã được thay bằng hệ thống siêu máy tính CrayXC40 - hệ thống tính toán dành cho bài toán dự báo khí tượng mạnh trong khu vực Đông Nam Á. Hệ thống này được đánh giá tương đương với hệ thống CrayXC40 của Cơ quan khí tượng Singapore. Hệ thống CrayXC40 của Việt Nam được trang bị 56 máy chủ tính toán với trên 2.100 bộ vi xử lý, cho phép đạt năng lực tính toán đạt xấp xỉ 80TFLOPS và thực hiện bài toán dự báo thời tiết ở quy mô 2-3 km cho toàn bộ lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông, dự báo 3 ngày trong thời gian 30-40 phút. Với hệ thống siêu máy tính này, ngành KTTV đã và đang thực hiện đồng hóa số liệu, tích hợp toàn bộ các hệ thống quan trắc thời gian thực, bao gồm vệ tinh, radar, quan trắc bề mặt, đo mưa tự động,... trên cơ sở đó đưa ra các tính toán, phân tích dự báo các hiện tượng thời tiết cực đoan trong tương lai, từ ngày, tuần đến tháng [18]. Bên cạnh đó, Tổng cục KTTV cũng đã phối hợp với các viện nghiên cứu, các trung tâm nghiên cứu toán, AI cập nhật, đưa vào các công cụ mới để tăng cường được tính tự động hóa, số hóa trong việc thiết lập các loại hình bản tin dự báo KTTV và đã bước đầu mang lại hiệu quả nhất định.

Nhờ ứng dụng kịp thời và hiệu quả các thành tựu tiến bộ khoa học, công tác dự báo, cảnh báo của Ngành KTTV đã có những chuyển biến rõ rệt cả về lượng và chất cũng như đa dạng hóa hình thức thông tin hướng đến từng đối tượng sử dụng. Cụ thể như: Mở rộng thời hạn dự báo thời tiết, cảnh báo sớm thiên tai tới 10 ngày; nội dung và hình thức bản tin đã có nhiều thay đổi, tập trung cung cấp các thông tin dự báo ở quy mô nhỏ hơn (cấp huyện, cấp xã) và thời gian dài hơn. Dự báo, cảnh báo các thiên tai KTTV nguy hiểm cũng có nhiều cải tiến như mưa lớn diện rộng đã được cảnh báo trước 2-3 ngày với độ tin cậy khoảng 75%; đối với mưa lớn cục bộ hoặc mưa lớn trong cơn dông, cảnh báo trước từ 30 phút đến 03 giờ; dự báo, cảnh báo rét đậm, rét hại gây ra bởi không khí lạnh trước 02-03 ngày với độ tin cậy 80-90%; dự báo, cảnh báo các đợt nắng nóng diện rộng trước từ 02-03 ngày với độ tin cậy từ 70-80%, thời điểm kết thúc các đợt nắng nóng diện rộng chính xác từ 80-90%;...[19-20].

Đánh giá chung, việc ứng dụng các kỹ thuật tiên tiến trong thời kỳ chuyển đổi số như IoT, AI, dữ liệu lớn, điện toán đám mây,... trong lĩnh vực quan trắc, xử lý thông tin dữ liệu và dự báo KTTV trên thế giới và ở nước ta mang lại nhiều lợi ích, nhưng cũng đi kèm với một số hạn chế, tồn tại và phụ thuộc vào từng khu vực, từng cơ quan KTTV mỗi nước. Cụ thể: (i) để triển khai các công nghệ mới như IoT và big data, yêu cầu một hạ tầng mạng phức tạp và băng thông cao, do đó rất khó triển khai ở các quốc gia hoặc các vùng chưa đủ điều kiện; (ii) sự thành công của IoT và big data cũng như các công nghệ 4.0 phụ thuộc vào khả năng thu thập dữ liệu chính xác và liên tục. Việc triển khai các thiết bị cảm biến và hệ thống quan trắc đòi hỏi đầu tư và phát triển phức tạp, đặc biệt là trong các khu vực khó tiếp cận và thiên tai khắc nghiệt. Việc xử lý và phân tích một khối lượng dữ liệu khổng lồ từ các thiết bị quan trắc hiện đại. Các kỹ thuật và công nghệ phức tạp như AI được sử dụng để xử lý dữ liệu, dự báo, cảnh báo KTTV chưa giải quyết được các bài toán dự báo lớn và vẫn phải có những hướng phát triển mạnh hơn, đặc biệt là các khu vực nhiệt đới như Việt Nam có sự biến động lớn về mặt động lực khí quyển.

Việc ứng dụng các nghiên cứu lỗi trong thời kì 4.0 như Big-Data, AI vào ngành khoa học trái đất nói chung và trong lĩnh vực KTTV trên thực tế đang ở giai đoạn bắt đầu nhưng có tiềm năng phát triển mạnh mẽ. Việc thiếu hụt dữ liệu quan trắc, giám sát trái đất và đặc thù, bản chất là một bài toán dự báo, khác với những thế mạnh trong phân tích dữ liệu, tổng hợp dữ liệu và nhận dạng đặc điểm mà công nghệ Big-Data và AI đang đạt được. Do đó, việc thay đổi, cập nhật phương pháp dự báo cần có những nghiên cứu, đặt bài toán một cách phù hợp để có được những kết quả trong thời gian tới. Như vậy có thể thấy, việc chuyển đổi số trong ngành KTTV cần tập trung chính vào phương thức sản xuất ra các bản tin dự báo KTTV ở hai vấn đề bao gồm: ứng dụng được phát triển mạnh của thời kì 4.0 trong quá trình tạo ra bản tin dự báo KTTV (ví dụ như các công cụ mới dựa trên Big-data, AI) và cả việc tiếp cận cập nhật, hỗ trợ các sản phẩm cốt lõi để dự báo viên tạo ra các sản phẩm dự báo - là dữ liệu dự báo từ các mô hình số trị, dữ liệu viễn thám trong giám sát và cảnh báo, dự báo cực ngắn. Sản phẩm cuối cùng của những sự thay đổi này chính là một cơ sở dữ liệu dự báo KTTV dạng số sẵn sàng ứng dụng một cách linh hoạt cho mọi nền tảng và làm đầu vào cho các loại mô hình cảnh báo dự báo khác (dự báo tác động, dự báo dựa trên thiệt hại tài chính..) [10].

Mục đích của việc nghiên cứu thực trạng về ứng dụng chuyển đổi số và công nghệ 4.0 trong hoạt động dự báo và cảnh báo KTTV nhằm tổng quan các tiềm năng, lợi ích của việc áp dụng chuyển đổi số và công nghệ 4.0 trong lĩnh vực KTTV. Trên cơ sở đó đưa ra các định hướng về quản lý hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV trong bối cảnh chuyển đổi số đảm bảo hiệu lực, hiệu quả.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là thực trạng công tác chuyển đổi số và ứng dụng công nghệ 4.0 trong hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV và việc định hướng quản lý các hoạt động này trong bối cảnh ứng dụng tiến bộ công nghệ nhằm nâng cao hiệu quả phục vụ phát triển kinh tế - xã hội, bảo đảm quốc phòng, an ninh, nhất là trong công tác phòng chống thiên tai; phạm vi nghiên cứu được thực hiện đối với Ngành KTTV.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp phân tích, tổng hợp các tài liệu tham khảo

Nghiên cứu thực hiện: (i) Thu thập các tài liệu sẵn có, bao gồm các quy định pháp luật hiện có về dự báo, cảnh báo KTTV ở Việt Nam; các nghiên cứu, giới thiệu về chuyển đổi số trong lĩnh vực KTTV đã được công bố chính thức, có độ tin cậy; các nghiên cứu, định hướng của Đảng, Nhà nước và của Ngành về công tác dự báo, cảnh báo KTTV trong bối cảnh ứng dụng chuyển đổi số; (ii) Tổng hợp, phân loại, đánh giá, phân tích, lựa chọn các thông tin, dữ liệu thu thập được để đảm bảo phù hợp với các yêu cầu, từ đó đề xuất các giải pháp quản lý trong hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV phù hợp với định hướng phát triển.

2.2.2. Phương pháp chuyên gia

Cùng với tác động của BĐKH, công tác dự báo, cảnh báo KTTV còn đứng trước thách thức rất lớn của nền cách mạng công nghiệp số 4.0, trong đó những công nghệ cũ sẽ được thay thế bằng các tiến bộ mới. Vì vậy, việc ứng dụng chuyển đổi số trong công tác chuyên môn cũng như trong công tác quản lý dự báo, cảnh báo KTTV đã và đang trở thành yêu cầu cấp thiết nhưng thực tế hiện chưa có các quy định chi tiết về khái niệm, tiêu chí, phân loại, đánh giá khả năng áp dụng các tiến bộ này. Do đó, để tìm ra cách tiếp cận, phương pháp đánh giá phù hợp với vấn đề mới này, nhóm tác giả đã tiến hành tham vấn kinh nghiệm của các chuyên gia về KTTV trong quá trình nghiên cứu này.

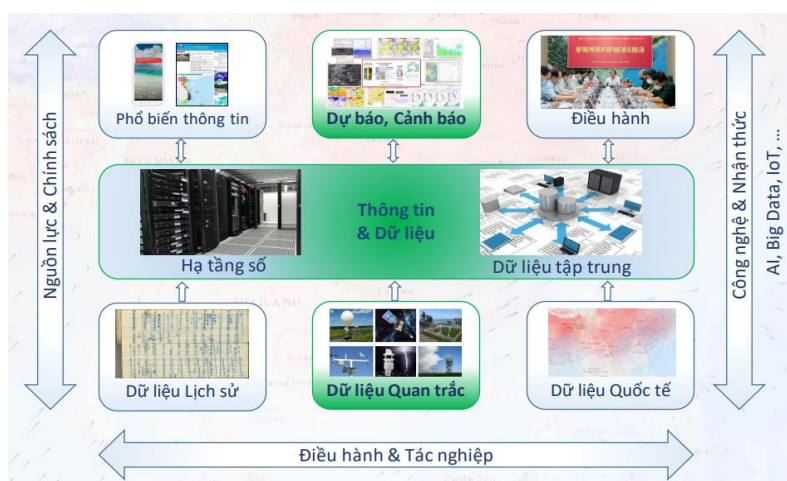
2.2.3. Phương pháp lấy phiếu điều tra, khảo sát

Nhằm có được các kết quả đánh giá tổng thể về hệ thống quản lý dự báo, cảnh báo KTTV và khả năng ứng dụng chuyển đổi số trong lĩnh vực này, nhóm tác giả đã thực hiện thu thập thông tin thông qua các phiếu điều tra, khảo sát bao gồm: phiếu lấy ý kiến các đơn vị thuộc hệ thống dự báo, cảnh báo KTTV quốc gia, phiếu lấy ý kiến các đơn vị quản lý nhà nước về KTTV ở địa phương và các bộ, ban, ngành ở trung ương và địa phương có liên quan, phiếu lấy ý kiến các tổ chức đã được cấp có thẩm quyền cấp giấy phép hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV. Đây là một trong những cơ sở để đưa ra các định hướng đề xuất sửa đổi các quy định pháp lý về dự báo, cảnh báo KTTV trong bối cảnh chuyển đổi số và ứng dụng công nghệ 4.0 cho phù hợp.

3. Kết quả và thảo luận

Trong bối cảnh ứng dụng chuyển đổi số và công nghệ 4.0 phát triển mạnh mẽ, nhằm đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của xã hội thì công tác dự báo, cảnh báo KTTV cũng ngày càng phải được cải tiến, đa dạng hơn, hướng tới dự báo tác động của các yếu tố KTTV đến đời sống, kinh tế - xã hội, đảm bảo phục vụ đa mục đích, nhiều đối tượng, nhiều ngành nghề khác nhau và đòi hỏi số hóa cao. Theo mục tiêu đặt ra đến năm 2030 tại Chiến lược phát triển ngành KTTV đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045, công tác dự báo KTTV hàng ngày trong điều kiện bình thường có độ tin cậy đạt 80-85%. Dự báo đủ độ tin cậy quỹ đạo và cường độ áp thấp nhiệt đới trước 02-03 ngày; tăng thời hạn cảnh báo quỹ đạo và cường độ bão trước 03-05 ngày. Dự báo, cảnh báo lũ đủ độ tin cậy cho các hệ thống sông lớn ở Bắc Bộ trước 02-03 ngày, ở Trung Bộ trước 01-02 ngày, ở Nam Bộ trước 10 ngày; tăng chất lượng dự báo định lượng mưa lớn trước 02-03 ngày lên thêm 5-10% so với năm 2020; cảnh báo đủ độ tin cậy lũ quét, sạt lở đất trước 06-24 giờ; tăng thời hạn dự báo thời tiết đến 10 ngày, dự báo xu thế diễn biến các hiện tượng KTTV nguy hiểm đến 1 tháng, cảnh báo hiện tượng ENSO và tác động đến Việt Nam, dự báo hạn hán, xâm nhập mặn từ 03 tháng đến 01 năm. Cung cấp 100% thông tin phân vùng thiên tai, rủi ro thiên tai, giám sát biến đổi khí hậu, tài nguyên khí hậu, tài nguyên nước phục vụ xây dựng, thực hiện các chiến lược, quy hoạch, kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội, dự án trọng điểm quốc gia [21].

Để đạt được các mục tiêu trên cùng với việc ứng dụng chuyển đổi số và công nghệ 4.0, Ngành KTTV cần ưu tiên thực hiện ba nhóm công việc chính phục vụ công tác KTTV, bao gồm: (i) Điều hành, tác nghiệp; (ii) Nguồn lực, chính sách; (iii) Công nghệ và Nhận thức. Ba nhóm nội dung này có mối quan hệ tương hỗ lẫn nhau trong quá trình triển khai thực hiện nên cần được quan tâm phát triển đồng thời. Trong đó, hệ thống điều hành tác nghiệp phải đảm bảo hệ thống thông tin dữ liệu được tập trung, số hóa, chia sẻ trong nước và quốc tế phục vụ công tác dự báo, cảnh báo và truyền tin thiên tai KTTV (Hình 1).



Hình 1. Mối quan hệ tương hỗ trong chiến lược ưu tiên chuyển đổi số lĩnh vực KTTV.

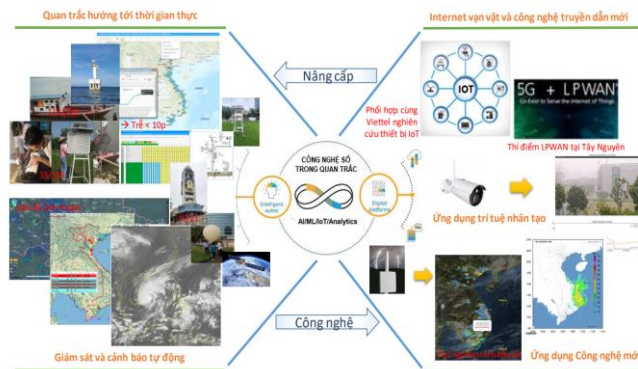
Trên cơ sở các mục tiêu phát triển chung của ngành, công tác quản lý hoạt động KTTV nói chung và hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV nói riêng cũng cần thay đổi, điều chỉnh theo các nhóm nhiệm vụ sau:

3.1. Thay đổi về tư duy quản lý

Xu hướng quản lý trên nền tảng chia sẻ đang là một trong những ưu tiên trong ứng dụng công nghệ mới hiện nay. Do đó việc thay đổi tư duy trong công tác quản lý và vận hành từ thực hiện quan trắc, thu thập, xử lý, quản lý các nguồn thông tin, dữ liệu phục vụ dự báo, cảnh báo đến thực hiện các quy trình, quy định chuyên môn về dự báo, cảnh báo KTTV cũng không nằm ngoài xu hướng đó. Cụ thể:

3.1.1. Thay đổi về thực hiện quan trắc KTTV phục vụ dự báo, cảnh báo

Để giảm bớt chi phí trong vận hành, việc quan trắc KTTV bằng công nghệ thủ công sẽ dần được thay thế bằng công nghệ khi thực hiện chuyển đổi số. Theo xu hướng đó, hiện nay, các phương tiện đo thô sơ các yếu tố KTTV cũng đang từng bước được thay thế bằng các máy kỹ thuật số; các quan trắc, đo đạc từ đơn chỉ tiêu đang dần được thay thế bằng đa chỉ tiêu. Các hệ thống quan trắc tự động cũng đã và đang được đưa vào sử dụng ngày càng rộng rãi hơn. Đặc biệt, các công nghệ quan trắc từ xa bằng vệ tinh, camera, AI cũng đang được áp dụng, thử nghiệm trên mạng lưới. Phương pháp quan trắc mới bằng công nghệ viễn thám cũng đang dần chiếm vị trí đáng kể trong hoạt động quan trắc phục vụ giám sát, dự báo trên diện rộng về KTTV. Như vậy, việc thực hiện đo đạc, quan trắc KTTV hiện đã và đang có những chuyển biến mạnh mẽ. Tuy nhiên, trong kỷ nguyên số hóa, yêu cầu mạng lưới quan trắc cần phải hướng đến phục vụ bài toán dự báo thời gian thực với độ trễ thời gian chỉ từ vài phút; các thiết bị quan trắc sử dụng các cảm biến thông minh, thông tin quan trắc phải được hỗ trợ cảnh báo đến các dự báo viên theo các ngưỡng khác nhau và có thể được truyền, lưu trữ theo các công nghệ truyền dẫn mới và Internet vạn vật (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ minh họa chuyển đổi số trong lĩnh vực quan trắc KTTV.

3.1.2. Thay đổi về cung cấp thông tin, dữ liệu nhanh chóng phục vụ dự báo, cảnh báo

Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ thông tin và truyền thông nói chung và sự phát triển của hạ tầng thông tin quốc gia nói riêng, việc thực hiện quan trắc thủ công không còn phù hợp. Các hệ thống quan trắc tự động dần được thay thế, thực hiện truyền tin theo thời gian thực hoàn toàn về trung tâm xử lý cách xa hàng trăm, thậm chí hàng nghìn km để phục vụ cho việc đưa ra các dự báo, cảnh báo KTTV kịp thời, chính xác hơn. Tuy nhiên, để đảm bảo việc thu nhận, quản lý các nguồn thông tin dữ liệu, đòi hỏi hạ tầng công nghệ thông tin của Tổng cục KTTV cần phải được hoàn thiện ở cả cấp trung ương và địa phương; trong đó, hệ thống quản lý, chia sẻ dữ liệu tập trung của ngành KTTV phải được tích hợp với cơ sở dữ liệu KTTV quốc gia trên nền tảng công nghệ xử lý dữ liệu lớn. Nhờ đó, các cơ quan, tổ chức trong Tổng cục KTTV, trong Bộ Tài nguyên và Môi trường, thậm

chí với các Bộ, ngành, địa phương sẽ tăng cường sự liên kết, trao đổi, cung cấp thông tin với nhau để phục vụ công tác dự báo, cảnh báo KTTV đảm bảo hiệu quả hơn; đồng thời qua đó, đều có thể dễ dàng nắm bắt được nhờ thông tin trên hệ thống. Điều này sẽ giúp tăng tính minh bạch trong tổ chức và tối ưu hiệu suất làm việc của tất cả các thành viên trong tổ chức.

Bên cạnh đó, do số liệu quan trắc KTTV có vai trò là thông tin đầu vào trong xây dựng các chiến lược, quy hoạch, kế hoạch, dự án phát triển kinh tế - xã hội; các thông tin dự báo, cảnh báo thiên tai KTTV cũng có vai trò vô cùng quan trọng trong đời sống kinh tế - xã hội, nhất là trong công tác phòng, tránh, giảm nhẹ thiệt hại do thiên tai gây ra. Vì vậy, việc chuyển đổi số trong lĩnh vực thông tin dữ liệu KTTV phải ưu tiên vào tập trung hóa số liệu, số hóa các tài liệu cũ bằng giấy, áp dụng công nghệ chia sẻ số liệu điện toán đám mây để tăng tối đa khả năng lưu trữ và giúp cho các dự báo viên dễ dàng truy cập, xử lý số liệu để xây dựng bản tin dự báo, cảnh báo KTTV mọi lúc, mọi nơi đáp ứng yêu cầu của các đối tượng sử dụng. Nhờ đó, các nhà quản lý cũng dễ dàng theo dõi và cập nhật thông tin để nhanh chóng đưa ra các quyết định chính xác trong dự báo, cảnh báo KTTV, nhất là trong điều kiện thời tiết, thủy văn nguy hiểm cần phải đưa ra những nhận định đòi hỏi có độ chính xác cao, kịp thời để các cấp, các ngành đưa ra các phương án chỉ đạo phòng chống thiên tai hiệu quả, giảm thiểu thiệt hại do thiên tai gây ra (Hình 3).



Hình 3. Sơ đồ minh họa chuyển đổi số trong lĩnh vực thông tin dữ liệu KTTV.

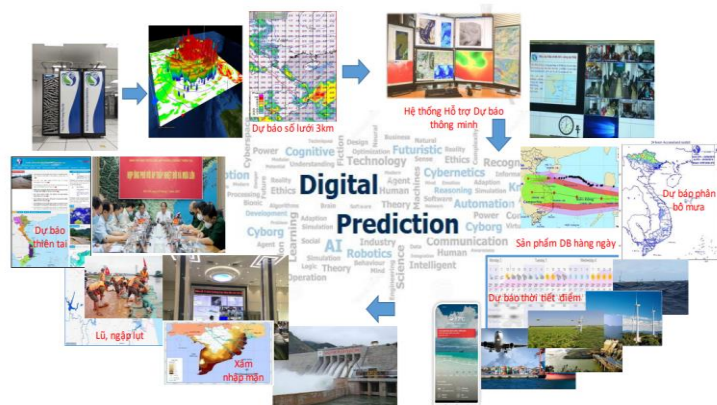
Việc quản lý thông tin dữ liệu KTTV bằng cơ sở dữ liệu tập trung CDH cũng có vai trò vô cùng quan trọng trong công tác chuyển đổi số nhằm đảm bảo tính đồng bộ, thống nhất toàn bộ dữ liệu thu nhận được từ mạng lưới quan trắc KTTV quốc gia đến các dữ liệu KTTV thu nhận được từ các trạm KTTV chuyên dùng của các bộ, ngành, tổ chức, cá nhân để phục vụ cho công tác dự báo, cảnh báo KTTV. Cơ sở dữ liệu này là tài sản của đơn vị thực hiện dự báo cũng như của đơn vị quản lý nhà nước về KTTV, nó giúp cho việc quản lý, khai thác và sử dụng dữ liệu được thuận lợi hơn.

3.1.3. Thay đổi về thực hiện công tác chuyên môn dự báo, cảnh báo KTTV

3.1.3.1. Xây dựng hệ thống hỗ trợ dự báo thông minh

Một trong những yêu cầu quan trọng nhất để tăng cường năng lực dự báo là cần phải xây dựng các hệ thống hỗ trợ kỹ thuật, phát triển công nghệ dự báo số; xây dựng hệ thống mô hình khu vực phân giải cao, đồng hóa số liệu từ nguồn số liệu radar thời tiết, vệ tinh, trạm thám không vô tuyến. Song song với đó là một cơ sở dữ liệu dự báo KTTV dạng số, sẵn sàng ứng dụng một cách linh hoạt cho mọi nền tảng và làm đầu vào cho các loại mô hình cảnh báo, dự báo khác. Tuy nhiên, để thực hiện được chuyển đổi số trong công tác dự báo, cảnh báo KTTV, cần phải tập trung vào việc xây dựng hệ thống tính toán hiệu năng cao hay các siêu máy tính, sử dụng các hệ thống hỗ trợ dự báo thông minh như Smartmet để có thể hiệu chỉnh và dự báo trên lưới; đồng thời cần tập trung phát triển các mô hình số phân giải rất cao có đồng hóa số liệu quan trắc địa phương nhằm nâng cao độ chính xác,

tính kịp thời của các sản phẩm dự báo, cảnh báo, hiệu quả của chất lượng dịch vụ công và nâng cao năng lực cạnh tranh của các đơn vị (Hình 4).



Hình 4. Sơ đồ minh họa chuyển đổi số trong lĩnh vực dự báo, cảnh báo KTTV.

Với hệ thống hỗ trợ dự báo thông minh, việc dự báo, cảnh báo KTTV đã và được triển khai thực hiện thông qua các hội thảo trực tuyến giữa các đơn vị dự báo ở trung ương và địa phương, giữa các đơn vị dự báo ở Đài KTTV khu vực với đơn vị dự báo Đài KTTV tỉnh. Đồng thời, việc thực hiện dự báo không giấy cũng được triển khai mạnh mẽ trong những năm gần đây, xóa bỏ dần các bản đồ hình thê thời tiết được vẽ bằng phương pháp thủ công, thay bằng thực hiện dự báo thông qua các bản đồ số, tham khảo kết quả dự báo của các mô hình số.

3.1.3.2. Cung cấp thông tin về dự báo, cảnh báo dựa trên nền tảng số

Để đáp ứng được yêu cầu ngày càng cao của xã hội, hướng tới phục vụ đa mục đích, nhiều đối tượng, nhiều ngành nghề khác nhau, các sản phẩm dự báo, cảnh báo KTTV cần được cải tiến, thay đổi nội dung, chi tiết hóa các bản tin dự báo KTTV mang tới các sản phẩm chất lượng, dịch vụ đáp ứng được nhu cầu của từng đối tượng sử dụng. Bên cạnh đó, thông tin dự báo, cảnh báo KTTV cũng cần phải được truyền tải ở nhiều dạng và phương thức khác nhau. Hiện nay, thông tin dự báo thời tiết của các cơ quan khí tượng trên thế giới được truyền tải trên các nền tảng số như Zalo, facebook,... đã mang lại hiệu quả rõ rệt. Do đó, việc tiếp cận và thực hiện đăng tải thông tin dự báo, cảnh báo KTTV thông qua nền tảng số cần được quan tâm đầy mạnh nhằm truyền tải thông tin tới người sử dụng với thời gian nhanh nhất, đơn giản và dễ hiểu nhất và có thể truyền tải được nhiều thông tin cần thiết nhất, trực tiếp đến từng đối tượng sử dụng.

3.2. Thay đổi về phương thức quản lý, điều hành

Với việc ứng dụng công nghệ số, bản thân chức năng quản lý nhà nước về dự báo, cảnh báo KTTV cũng có sự điều chỉnh, chuyển đổi. Chuyển đổi số, ứng dụng công nghệ mới đã làm thay đổi từ nhận thức đến phương thức thực hiện, giải quyết các vấn đề liên quan đến hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV. Do đó, phương thức quản lý, điều hành cũng cần phải chuyển đổi kịp thời nhằm khai thác tối đa hiệu quả các nguồn lực, nhất là các nguồn lực mới do cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư mang lại.

3.2.1. Hoàn thiện cơ chế, quy trình, quy định pháp lý về dự báo, cảnh báo KTTV

Việc hoàn thiện môi trường pháp lý về dự báo, cảnh báo KTTV khi thực hiện chuyển đổi số là vô cùng quan trọng nhằm đảm bảo tính nguyên tắc, đồng bộ, thống nhất trong quản lý, thúc đẩy hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV phát triển cũng như đề cao trách nhiệm của các đơn vị quản lý. Đặc biệt ưu tiên xây dựng các cơ chế, chính sách thúc đẩy

đổi mới sáng tạo, huy động hiệu quả mọi nguồn lực phát triển và tạo môi trường đầu tư kinh doanh về dự báo, cảnh báo KTTV thuận lợi, công bằng cho các tổ chức, cá nhân khi tham gia. Để thực hiện được chuyển đổi số trong hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV, các quy trình, quy định chuyên môn cũng phải được điều chỉnh theo hướng “mở”, đảm bảo có sự kết nối, chia sẻ để các tổ chức, cá nhân cùng tham gia thực hiện nhưng vẫn phải thực hiện theo nguyên tắc chung, đặc biệt là theo quy định về dự báo, cảnh báo KTTV của Tổ chức Khí tượng Thế giới.

Bên cạnh đó, để có các thông tin đầu vào cho các mô hình số dự báo, cảnh báo KTTV, bên cạnh các nguồn thông tin, dữ liệu thu thập được từ nguồn mạng lưới trạm KTTV quốc gia, mạng lưới trạm quan trắc KTTV chuyên dùng, nguồn thông tin về các hoạt động kinh tế - xã hội để làm đầu vào cho dự báo tác động, hướng tới từng đối tượng sử dụng cũng cần được cung cấp và Luật hóa nội dung này. Song hành với đó là những quy định về bảo mật thông tin, bảo vệ quyền và lợi ích của các đơn vị khi tham gia chia sẻ thông tin phục vụ dự báo, cảnh báo KTTV cũng như các đơn vị trực tiếp ban hành các bản tin dự báo, cảnh báo KTTV. Đây không chỉ tạo hành lang pháp lý mà còn là lá chắn bảo vệ hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV trên môi trường số cho tất cả các đơn vị tham gia thực hiện dự báo, cảnh báo KTTV và các đơn vị cũng cấp thông tin dữ liệu phục vụ dự báo, cảnh báo KTTV.

3.2.2. Số hóa hoạt động quản lý dự báo, cảnh báo KTTV

Để đảm bảo công tác chỉ đạo, kiểm tra, giám sát công tác dự báo, cảnh báo KTTV của các đơn vị thực hiện dự báo, cảnh báo KTTV trong bối cảnh chuyển đổi số và ứng dụng công nghệ 4.0, cần phải có các công cụ hỗ trợ, các phần mềm quản lý trên nền tảng số cho các cán bộ quản lý. Công tác dự báo, cảnh báo KTTV đã được số hóa, được thực hiện trên môi trường công nghệ tiên tiến từ số liệu đầu vào cho đến thực hiện công tác chuyên môn, đòi hỏi công tác quản lý cũng phải được chuyển đổi từ phương thức “quản lý thủ công” sang phương thức “quản lý tự động”. Một trong những yêu cầu tối thiểu nhất phục vụ quản lý nhà nước về dự báo, cảnh báo KTTV hiện nay đó là việc xây dựng công cụ thực hiện giám sát, kiểm tra, đánh giá chất lượng sản phẩm dự báo, cảnh báo KTTV nhằm đảm bảo minh bạch, công bằng giữa các đơn vị tham gia thực hiện dự báo, đồng thời tối ưu hiệu suất làm việc cho các cán bộ quản lý.

3.2.3. Đẩy mạnh nền hành chính công nghệ số về dự báo, cảnh báo KTTV

Số hóa nền hành chính công về công tác dự báo, cảnh báo KTTV thông qua việc công khai, minh bạch các thủ tục hành chính; thực hiện cắt, giảm các điều kiện cấp giấy phép hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV; đẩy mạnh việc thực hiện cung cấp dịch vụ công trực tuyến, thủ tục hành chính số, tạo điều kiện thuận lợi, rút ngắn thời gian giải quyết việc cấp giấy phép hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV cho các tổ chức, cá nhân có nhu cầu. Đây cũng là điều kiện cần thiết để nâng cao năng lực cạnh tranh trong hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV, nhất là đối với các đơn vị dự báo, cảnh báo KTTV công lập, đang hoạt động dưới sự bảo trợ của nhà nước.

3.3. Thay đổi về tổ chức thực hiện

3.3.1. Nâng cao chất lượng đội ngũ cán bộ làm công tác quản lý

Đội ngũ cán bộ thực hiện công tác quản lý nhà nước về dự báo, cảnh báo KTTV cần phải có tư duy mới và tầm nhìn thời đại. Đó là khả năng nhận diện và giải quyết các vấn đề mới phát sinh cũng như những vấn đề cũ đã thay đổi trong quá trình quản lý do tác động của công tác chuyển đổi số. Đồng thời, đội ngũ cán bộ quản lý cần phải có khả năng tổng hợp thông tin, biết sử dụng, khai thác hệ thống cơ sở dữ liệu KTTV phục vụ công tác quản lý hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV.

3.3.2. Chuyển đổi nhận thức, quy trình làm việc

Việc thay đổi quy trình làm việc hay đơn giản chỉ là từng bước thay đổi thói quen công việc hàng ngày của các cơ quan, đơn vị và nhất là các cấp quản lý về hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV bằng ứng dụng, sử dụng công nghệ thông tin. Chuyển đổi sẽ giúp các nhà chức trách dễ dàng quản lý công việc, không cần phải đến tận từng đơn vị dự báo, cảnh báo KTTV để kiểm tra việc thực hiện. Nhờ hệ thống báo cáo thông suốt, kịp thời, các nhà lãnh đạo ra quyết định nhanh chóng và chính xác hơn. Qua đó, các nhà quản lý cũng sẽ đánh giá được hiệu suất làm việc của từng cơ quan, đơn vị thực hiện dự báo, thậm chí là hiệu suất làm việc của từng dự báo viên dựa trên chính các sản phẩm dự báo, cảnh báo KTTV mà họ làm ra; đồng thời phát hiện được các dự báo viên là các nhân lực quý để tập trung bồi dưỡng phát triển nhằm tạo ra được các bản tin dự báo, cảnh báo có độ chính xác cao hơn.

4. Kết luận và kiến nghị

Thời gian qua, việc ứng dụng chuyển đổi số và công nghệ 4.0 ở Tổng cục KTTV đã có nhiều thành tựu và đạt được những kết quả tích cực. Các bản tin dự báo, cảnh báo KTTV có độ tin cậy cao hơn, thời gian dự báo dài hơn giúp người dân, các tổ chức và các lĩnh vực chủ động hơn trong việc đưa ra quyết định các hoạt động ứng phó với thời tiết, thiên tai, giảm thiểu thiệt hại. Tuy nhiên, để đảm bảo công tác dự báo, cảnh báo KTTV hoạt động đồng bộ, hiệu lực, hiệu quả trên phạm vi cả nước trong bối cảnh ứng dụng các công nghệ mới, tiên tiến, việc điều chỉnh, thay đổi từ tư duy quản lý đến phương thức điều hành, tổ chức thực hiện trong hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV là vô cùng cần thiết.

Thứ nhất, thay đổi tư duy trong công tác quản lý và vận hành từ thực hiện quan trắc, thu thập, xử lý, quản lý các nguồn thông tin, dữ liệu phục vụ dự báo, cảnh báo đến thực hiện các quy trình, quy định chuyên môn về dự báo, cảnh báo KTTV đảm bảo các sản phẩm dự báo, cảnh báo KTTV phải đáp ứng được yêu cầu ngày càng cao của xã hội, hướng tới phục vụ đa mục đích, nhiều đối tượng, nhiều ngành nghề khác nhau; được truyền tải tới người sử dụng với thời gian nhanh nhất, đơn giản và dễ hiểu nhất và có thể truyền tải được nhiều thông tin cần thiết nhất, trực tiếp đến từng đối tượng sử dụng.

Thứ hai, thay đổi về phương thức quản lý, điều hành, trong đó việc hoàn thiện cơ chế, quy trình, quy định pháp lý về dự báo, cảnh báo KTTV là yếu tố cốt lõi của vấn đề. Các quy định pháp lý phải được điều chỉnh theo hướng “mở” nhưng vẫn phải đảm bảo thực hiện theo nguyên tắc chung, thông tin, dữ liệu được quản lý tập trung, chia sẻ nhưng vẫn phải có tính bảo mật cao, không chỉ là tạo hành lang pháp lý mà còn là lá chắn bảo vệ hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV trên môi trường số cho tất cả các đơn vị tham gia thực hiện dự báo, cảnh báo KTTV cũng như các đơn vị cung cấp thông tin dữ liệu làm đầu vào cho hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV.

Thứ ba, phải xây dựng được các công cụ hỗ trợ, các phần mềm quản lý trên nền tảng số cho các cán bộ quản lý. Thực hiện chuyển đổi phương thức quản lý sang quản lý tự động, quản lý tập trung; đẩy mạnh nền hành chính công nghệ số về dự báo, cảnh báo KTTV góp phần đẩy mạnh xã hội hóa công tác dự báo, cảnh báo KTTV, qua đó nâng cao năng lực cạnh tranh trong hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV hướng tới cung cấp các sản phẩm dự báo, cảnh báo KTTV ngày càng có độ tin cậy cao hơn, hướng tới nhiều đối tượng sử dụng hơn và được truyền tải nhanh chóng, kịp thời hơn trên các nền tảng số.

Cuối cùng, thay đổi về việc tổ chức thực hiện, trong đó đội ngũ cán bộ thực hiện công tác quản lý nhà nước về dự báo, cảnh báo KTTV cần phải có tư duy mới và tầm nhìn thời đại; từng bước thay đổi thói quen công việc hàng ngày của các cơ quan, đơn vị và nhất là các cấp quản lý về hoạt động dự báo, cảnh báo KTTV bằng ứng dụng, sử dụng công nghệ thông tin.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của nhiệm vụ: “Nghiên cứu cơ sở lý luận và thực tiễn đề xuất hoàn thiện các quy định pháp luật về dự báo, cảnh báo khí tượng thủy văn phục vụ quản lý nhà nước”, mã số: TNMT.01.28 thuộc Chương trình khoa học và công nghệ trọng điểm cấp bộ “Nghiên cứu cơ sở lý luận và thực tiễn phục vụ xây dựng, hoàn thiện chính sách, pháp luật về tài nguyên và môi trường giai đoạn 2021-2025”, mã số chương trình: TNMT.01/21-25.

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

Tài liệu tham khảo

1. Bộ Thông tin và Truyền thông, Cẩm nang Chuyển đổi số, 2021.
2. Shi, W.; Cao, J.; Zhang, Q.; Li, Y.; Xu, L. Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet Things J.* **2016**, *3*(5), 637–646. doi:10.1109/JIOT.2016.2579198.
3. Pietrosemoli, E.; Rainone, M.; Zennaro, M. On Extending the Wireless Communications Range of Weather Stations Using LoRaWAN. In Proceedings of the Proceedings of the 5th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good; Association for Computing Machinery: New York, NY, USA, 2019, pp. 78–83.
4. Guide to Instruments and Methods of Observation, Volume III – Observing Systems. World Meteorological Organization: Geneva, 2018.
5. Sugumaran, R.; Burnett, J.; Armstrong, M.P. Using a cloud computing environment to process large 3D spatial datasets. In H. Karimi, ed., *Big Data: Techniques and Technologies in Geoinformatics*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2014, pp. 53–65.
6. Zhangwei, W.; Hao, C.; Han, W. Research on improving detection capability of small and medium scales based on dual polarization weather radar. Proceeding of the 2019 international conference on meteorology observations (ICMO), 2019, pp. 1-7.
7. Ramamurthy, M. Geoscience cyberinfrastructure in the cloud: Data-proximate computing to address big data and open science challenges. Proceeding of the 2017 IEEE 13th international conference on e-science (e-science), 2017, pp. 444–445.
8. Chen, R.; Zhang, W.; Wang, X. Machine Learning in Tropical Cyclone Forecast Modeling: A Review. *Atmosphere* **2020**, *11*, 676. <https://doi.org/10.3390/atmos11070676>.
9. Trục tuyến: <https://monre.gov.vn/Pages/ung-dung-khi-tue-nhan-tao-trong-hoat-dong-tac-nghiep-ve-khi-tuong-thuy-van.aspx> (Truy cập: 29/3/2023)
10. Trục tuyến: <https://baotainguyenmoitruong.vn/tien-toi-he-thong-du-bao-dinh-luong-so-phuc-vu-chuyen-doi-so-trong-linh-vuc-khi-tuong-thuy-van-348288.html> (Truy cập: 23/12/2012)
11. Mạnh, N.V. và cs. Nghiên cứu cơ sở khoa học và giải pháp ứng dụng trí tuệ nhân tạo để nhận dạng, hỗ trợ dự báo và cảnh báo một số hiện tượng khí tượng thủy văn nguy hiểm trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại Việt Nam, Đề tài NCKH cấp Nhà nước của Bộ Tài nguyên và Môi trường, Mã số: BĐKH.34/16-20, 2020.
12. Tiến, D.Đ. và cs. Nghiên cứu xây dựng hệ thống trí tuệ nhân tạo ứng dụng trong dự báo xoáy thuận nhiệt đới ở Biển Đông và ảnh hưởng đến Việt Nam hạn đến 3 ngày. Đề tài NCKH cấp Nhà nước của Bộ Tài nguyên và Môi trường, Mã số: KC-4.0/19-25, 2022.
13. Hà, B.M. và cs. Nghiên cứu đổi mới công nghệ dự báo sóng biển, nước dâng do bão thời hạn 24 giờ bằng kỹ thuật xử lý dữ liệu lớn và học máy, Đề tài NCKH cấp Bộ, Mã số: TNMT.2022.06.04.
14. Thành, N.H. và cs. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ số mới để dự báo định lượng mưa hạn cực ngắn cho khu vực trung du, miền núi Việt Nam. Đề tài NCKH cấp Bộ, Mã số: TNMT.2022.06.06.

15. Nguyen, H.M.; Bae, D.H. An approach for improving the capability of a coupled meteorological and hydrological model for rainfall and flood forecasts. *J. Hydrol.* **2019**, 577(2), 124014.
16. Xây dựng công cụ ước lượng mưa từ độ phản hồi radar bằng công nghệ AI. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 747, 70-80.
17. Quyền, L.N.; Hung, N.V.; Long, Đ.T.; Quyết, L.Đ.; Đông, N.P.; Thanh, Đ.Q.; Dũng, L.M.; Thảo, N.T.T.; Trang, H.T.P.; Hoạt, Đ.H. Nghiên cứu, xây dựng và triển khai thử nghiệm hệ thống cảnh báo sớm ngập lụt đô thị dựa trên nền tảng trí tuệ nhân tạo tại Thành phố Hồ Chí Minh. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 747, 81-97.
18. Trục tuyến: <https://monre.gov.vn/Pages/chuyen-doi-so---cu-hich-cho-nganh-khi-tuong-thuy-van.aspx> (Truy cập: 08/2/2022)
19. Báo cáo số 762/TCKTTV-QLDB ngày 20 tháng 6 năm 2022 của Tổng cục Khí tượng Thủy văn về kết quả thực hiện Nghị quyết số 54-NQ/TW ngày 14 tháng 9 năm 2005 của Bộ Chính trị khóa IX về phát triển kinh tế - xã hội và bảo đảm quốc phòng an ninh vùng đồng bằng sông Hồng.
20. Báo cáo số 350/TCKTTV-QLDB ngày 31 tháng 3 năm 2023 của Tổng cục Khí tượng Thủy văn về tổng kết 10 năm thực hiện Nghị quyết số 24-NQ/TW khóa XI về chủ động ứng phó với biến đổi khí hậu, tăng cường quản lý tài nguyên và bảo vệ môi trường.
21. Quyết định số 1970/QĐ-TTg ngày 23 tháng 11 năm 2021 của Thủ tướng Chính phủ quy định Chiến lược phát triển Ngành Khí tượng Thủy văn đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.

Management of hydro-meteorological forecasting activities in the context of digital transformation and the 4.0 technology: Current situation and solutions

Vu Duc Long^{1*}, Nguyen Thi Thu Loan¹, Tran Quang Nang¹, Pham Hoang Hung¹

¹ Department of Hydro-Meteorological Forecasting Management, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; longkttv@gmail.com; loanthunguyen268@gmail.com; trannang030984@gmail.com; phhung@gmail.com

Abstract: In the context of digital transformation and the 4.0 technology taking place across all sectors and industries worldwide, including Vietnam, the implementation of digital transformation in hydro-meteorological forecasting (HMF) activities is an essential trend. This requires fundamental adjustments and changes in the management of forecasting and HMF operations to effectively fulfill their roles. This includes adjustments and changes in management thinking, operational methods, and organizational implementation of forecasting and HMF activities in a unified, synchronized, and efficient manner. As a result, the management of forecasting and HMF activities will become easier, more efficient, and cost-effective. The analytical, synthesis, and statistical methods used in this study are employed to evaluate and propose specific solutions in the management of forecasting and HMF activities when applying information technology and digital transformation. These research findings serve as a basis for proposing modifications and additions to processes and legal regulations aimed at enhancing the effectiveness of forecasting and HMF management and supervision nationwide in the context of digital transformation and the 4.0 technology.

Keywords: Management of Hydro-Meteorological; Digital Transformation; The 4.0 Technology.

Bài báo khoa học

Xây dựng quy trình phân tích nhanh bằng dữ liệu ảnh viễn thám kết hợp với mô hình hóa trong dự báo biến động lớp phủ mặt đất

Nguyễn Quốc Khánh^{1*}

¹ Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; khanhrsc@gmail.com

*Tác giả liên hệ: khanhrsc@gmail.com; Tel.: +84-969679559

Ban Biên tập nhận bài: 10/5/2023; Ngày phản biện xong: 13/6/2023; Ngày đăng bài: 25/6/2023

Tóm tắt: Hiện nay việc sử dụng các mô hình để xây dựng các kịch bản tài nguyên môi trường là rất quan trọng để đưa ra các quyết định và chính sách bảo vệ môi trường bền vững. Các mô hình này có thể giúp cho các chuyên gia đánh giá tác động của các hoạt động con người đến tài nguyên môi trường, đưa ra các giải pháp và kế hoạch phục hồi tài nguyên, giảm thiểu rủi ro và ảnh hưởng của các sự cố môi trường. Việc áp dụng các mô hình này cần sự chính xác và chuẩn xác để đưa ra những kết quả chính xác và đáng tin cậy. Các kịch bản này là công cụ quan trọng trong việc đưa ra quyết định và lập kế hoạch giúp cho người quản lý có thể dự đoán được những hậu quả có thể xảy ra và tìm cách giảm thiểu rủi ro. Ngoài ra, các kịch bản còn giúp cho người quản lý có thể đưa ra những quyết định chính xác và hiệu quả hơn, đồng thời giúp cho các chính sách quản lý và quy hoạch lãnh thổ được thực hiện một cách đúng đắn. Tuy nhiên, việc xây dựng các kịch bản biến động sử dụng đất là một thách thức đối với các nhà quản lý đất đai và người nghiên cứu. Có rất nhiều yếu tố phức tạp và khó đo lường ảnh hưởng đến quá trình này, bao gồm sự tăng trưởng dân số, sự phát triển kinh tế, cấu trúc dân cư và nhu cầu sử dụng đất. Việc xây dựng các kịch bản này đòi hỏi sự đồng thuận và tập trung của các chính phủ và các bộ. Để đáp ứng yêu cầu công tác quản lý đất đai Việt Nam cần phải xây dựng quy trình phân tích nhanh bằng dữ liệu ảnh viễn thám kết hợp với mô hình hóa trong dự báo biến động lớp phủ mặt đất là hết sức cần thiết, giúp nhà quản lý có cơ sở khoa học để đưa ra những quyết định chính xác trong công tác quản lý đất đai.

Từ khóa: Phân tích nhanh; Mô hình hóa; Dự báo biến động lớp phủ mặt đất.

1. Giới thiệu

Việt Nam đã có những bước tiến đáng kể trong việc phát triển kinh tế trong 20 năm qua. Điều này được chứng minh bằng việc GDP của Việt Nam đã tăng trung bình 6-7% mỗi năm và đạt mức 240 tỷ USD vào năm 2018. Ngoài ra, Việt Nam đã thu hút được nhiều đầu tư nước ngoài và trở thành nước xuất khẩu hàng đầu trong khu vực.

Tuy nhiên, Việt Nam vẫn còn nhiều thách thức để vượt qua như cải cách thể chế, tăng cường năng lực cạnh tranh và phát triển các ngành công nghiệp hiện đại. Việc thực hiện các biện pháp đối phó với các thách thức này sẽ giúp Việt Nam tiếp tục phát triển một cách bền vững và tăng trưởng kinh tế trong tương lai.

Mật độ dân số đô thị và các khu công nghiệp ngày càng tăng, quy hoạch hạ tầng chưa đồng bộ là một vấn đề lớn đối với nhiều thành phố và khu vực đô thị trên thế giới. Để giải quyết vấn đề này, cần phải thiết kế và triển khai các kế hoạch quy hoạch đất đai bền vững và đồng bộ hơn để đảm bảo sử dụng tài nguyên đất đai một cách hiệu quả và bền vững. Các giải

pháp có thể bao gồm việc tăng cường quản lý và giám sát sử dụng đất đai, xây dựng hạ tầng đô thị thông minh, tăng cường sử dụng các công nghệ tiên tiến trong quản lý tài nguyên đất đai và thúc đẩy sự phát triển bền vững trong các khu công nghiệp.

Việc áp dụng các thành tựu khoa học để đưa ra dữ liệu chính xác về biến động lớp phủ đất là cần thiết. Do đó, việc nghiên cứu và đưa ra các kịch bản biến động lớp phủ đất cần được đẩy mạnh và tăng cường để cung cấp thông tin hữu ích cho quy hoạch sử dụng đất và quản lý tài nguyên đất đai. Các kịch bản này cũng có thể giúp định hướng cho các hoạt động khác như bảo tồn đa dạng sinh học, phát triển du lịch, xây dựng hạ tầng, sản xuất nông nghiệp và công nghiệp, đồng thời đảm bảo bền vững về kinh tế, xã hội và môi trường.

Như vậy sự thay đổi của các yếu tố ảnh hưởng đến biến động sử dụng đất thường xuyên được quan tâm và nghiên cứu trong ngành địa lý, kinh tế học và quản lý đất đai. Các công cụ mô hình hóa như GIS (Hệ thống thông tin địa lý) và các phần mềm mô phỏng sử dụng đất được sử dụng để dự đoán và đánh giá các hậu quả của việc thay đổi sử dụng đất, cũng như các kịch bản phát triển tương lai. Tuy nhiên, đối với những yếu tố khó đo lường như thay đổi nhu cầu của xã hội, các chính sách của chính phủ và sự thay đổi trong ý thức của người dân thì có thể gây ra những khó khăn trong việc đưa ra dự đoán chính xác về biến động sử dụng đất.

Các phương pháp mô phỏng sử dụng đất phổ biến nhất hiện nay bao gồm: Mô hình hồi quy đa biến, Mô hình địa lý, Mô hình mạng nơ-ron nhân tạo, Mô hình dự báo chuỗi thời gian, Mô hình tương tự, Mô hình lý thuyết trò chơi ... Tuy nhiên, để tạo ra một mô hình mô phỏng sử dụng đất tốt, cần có số liệu đầy đủ và chính xác, cùng với việc kiểm chứng và đánh giá hiệu quả mô hình thường xuyên. Do đó, việc xây dựng một phương pháp giám sát và dự đoán những biến động sử dụng đất phù hợp với điều kiện cụ thể của địa phương là cần thiết.

Mô hình hóa còn giúp cho các chuyên gia, nhà quản lý và các nhà nghiên cứu có thể dự đoán hoạt động của hệ thống hay quá trình, từ đó đưa ra các giải pháp và quyết định một cách chính xác và hiệu quả. Nó cũng giúp cho việc truyền đạt thông tin, giải thích phức tạp một cách trực quan và dễ dàng hơn.

Việc áp dụng mô hình hóa sẽ giúp cho các chuyên gia có thể đưa ra các dự báo chính xác hơn về tình hình sử dụng đất và lớp phủ mặt đất trong tương lai, từ đó có thể xây dựng các kế hoạch phát triển bền vững và bảo vệ môi trường hiệu quả hơn. Đồng thời, việc sử dụng mô hình hóa còn giúp cho các nhà quản lý có thể đưa ra các quyết định đúng đắn về việc sử dụng đất và xây dựng các chính sách phù hợp với nhu cầu của người dân và phục vụ tốt cho công tác hoạch định các chính sách về đất đai để có hiệu quả lâu dài.

2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập tài liệu

2.1. Xây dựng quy trình phân tích nhanh bằng ảnh viễn thám kết hợp với mô hình hóa trong dự báo biến động lớp phủ mặt đất

Nghiên cứu biến động lớp phủ mặt đất là một trong những lĩnh vực quan trọng và khó khăn trong điều tra, giám sát môi trường, trong đó ảnh vệ tinh đã được sử dụng như một công cụ hữu hiệu. Nhiều cơ quan nghiên cứu khoa học, điều tra cơ bản, giáo dục ở nước ta đã quan tâm đến ứng dụng công nghệ viễn thám để thực hiện nhiệm vụ này như Viện Địa lý, Địa chất, Vật lý, Nghiên cứu biển thuộc Trung tâm Khoa học Tự nhiên và Công nghệ Quốc gia, Trung tâm Viễn thám, Liên đoàn Bản đồ Địa chất thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường, Viện Quy hoạch và Thiết kế Nông nghiệp, Viện Điều tra Quy hoạch Rừng thuộc Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (Đại học Quốc gia Hà Nội)... , đã tiến hành nhiều thử nghiệm dưới dạng các đề tài nghiên cứu, các dự án và đã thu được những kết quả ban đầu quan trọng.

Trong chương trình của Cục Bảo vệ Môi trường và Trung tâm Viễn thám quốc gia - Bộ Tài nguyên và Môi trường và một số cơ quan khác đã sử dụng ảnh vệ tinh đa thời gian để khảo sát biến động của bờ biển, lòng sông, biến động rừng ngập mặn, diễn biến rừng, biến

động lớp phủ mặt đất và sử dụng đất (ở một số vùng); thành lập các bản đồ rừng ngập mặn tỉ lệ 1:100.000 phủ trùm toàn dải ven biển và tỉ lệ lớn hơn cho từng vùng, bản đồ đất ngập nước toàn quốc tỉ lệ 1:250.000. Nhóm nghiên cứu của Viện Quy hoạch và Thiết kế Nông nghiệp đã ứng dụng tư liệu viễn thám và hệ thống tin địa lý trong đánh giá biến động lớp phủ và sử dụng đất ở lưu vực Srepok, Tây Nguyên, Việt Nam. Kết quả nghiên cứu cho thấy chặt phá rừng để mở rộng đất canh tác nông nghiệp là xu hướng chính trong biến động sử dụng đất ở khu vực này. Nghiên cứu sự biến động lớp phủ thực vật bằng ảnh đa thời gian và ảnh hưởng của nó tới đa dạng sinh học ở các khu vực bảo tồn thiên nhiên ở Nam Bộ [1]. Đề tài này mới tập trung phân tích biến động của lớp phủ thực vật và chưa đi vào phân tích những ảnh hưởng của các yếu tố tự nhiên, kinh tế xã hội đến sự biến động; và đề tài cũng chưa đưa ra được giải pháp kỹ thuật áp dụng mô hình phân tích cũng như bản đồ dự báo biến động trong tương lai. Năm 2016, Cục Viễn thám quốc gia đã thực hiện dự án “Giám sát việc thực hiện quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất đai bằng công nghệ viễn thám”. Trong Dự án này đã sử dụng ảnh viễn thám như SPOT 4,5,6, VNREDSat-1, Landsat8 để thành lập bản đồ giám sát quy hoạch sử dụng đất. Tuy nhiên, trong Dự án này, mục đích chính là dùng ảnh viễn thám để cập nhật, xác định hiện trạng việc thực hiện quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất đã được cấp có thẩm quyền phê duyệt nhằm phát hiện những sai phạm trong việc thực hiện quy hoạch sử dụng đất mà không thực hiện việc phân tích, đánh giá biến động cũng như phân tích dự báo biến động sử dụng đất. Ngoài ra, trong dự án này cũng không phân tích những tác động của các yếu tố tự nhiên, kinh tế-xã hội đến sự biến động sử dụng đất.

Bên cạnh đó có thể kể ra một số các công trình đã được thực hiện và công bố nghiên cứu: Phân loại sử dụng đất và lớp phủ đất đô thị ở Hà Nội bằng dữ liệu Terra ASTER [2]; Nghiên cứu khả năng ứng dụng kết hợp ảnh vệ tinh radar và quang học để thành lập một số thông tin về lớp phủ mặt đất [3]; Ứng dụng GIS và viễn thám trong việc thành lập bản đồ hiện trạng thảm thực vật năm 2008 tỷ lệ 1:50000, huyện Kỳ Anh, tỉnh Hà Tĩnh [4].

Bên cạnh việc phát triển các phương pháp phân tích dữ liệu thì phương pháp mô hình hóa biến động đất đai để xây dựng các kịch bản sử dụng đất nhằm dự báo xu hướng biến động sử dụng đất trong tương lai cũng được phát triển mạnh. Các mô hình mô phỏng và dự báo biến động đất đai có thể kể đến như: Mô hình *Markov - Cellular Automata (MCA)*; Mô hình *Land Change Modeler (LCM)*; Mô hình *Cellular Automata (CA)*; *Conversion of Land Use and its Effects (CLUE)* với hai phiên bản là *CLUE-s (CLUE at Small regional extent)* và *CLUMondo*. Trong số các mô hình này thì các mô hình LCM, CLUE-s và CLUMondo đang được đánh giá cao bởi việc mô phỏng thay đổi sử dụng đất ở nhiều tỷ lệ khác nhau, từ cấp tỉnh đến cấp quốc gia và cấp vùng bằng cách sử dụng các quan hệ định lượng thực nghiệm giữa biến động sử dụng đất trong quá khứ và các yếu tố tác động đến sự biến động sử dụng đất như các yếu tố tự nhiên: địa hình, thổ nhưỡng, khí hậu,...; các yếu tố kinh tế - xã hội, chính sách,... kết hợp giữa các kiểu sử dụng đất. Hạn chế của việc sử dụng các mô hình trong dự báo biến động là sự thay đổi các điều kiện biên không kiểm soát được như thay đổi về chính sách sử dụng đất của nhà nước.

Ở Việt Nam, ba mô hình trên đã được nhiều nghiên cứu thử nghiệm và được ứng dụng trong thực tế ở một số vùng, địa phương. Tuy nhiên, mỗi mô hình đều có những ưu điểm, nhược điểm khác nhau. Mô hình LCM được tích hợp trong phần mềm IDRISI, là mô hình có thể sử dụng kết hợp đồng thời cả hai yếu tố tự nhiên và kinh tế-xã hội phục vụ quá trình xây dựng bản đồ dự báo (kịch bản) biến động sử dụng đất dựa trên các phép phân tích Hồi quy lo-gic hoặc Mạng thần kinh nhân tạo và sử dụng chuỗi Markov để mô phỏng. Trong khi các mô hình CLUE-s và CLUMondo mạnh về phân tích sự ảnh hưởng của các yếu tố kinh tế-xã hội đến xu thế biến động sử dụng đất; trong đó mô hình CLUE-s thường cho kết quả tốt khi áp dụng trên diện hẹp, trong khi mô hình CLUMondo có thể áp dụng ở nhiều tỉ lệ khác nhau.

Dự án *Climate change affecting land use in the Mekong Delta: Adaptation of rice-based cropping systems (Dự án CLUES)*. Viện Nghiên cứu Biến đổi khí hậu, Đại học Cần Thơ thực hiện năm 2014 đã đánh giá ảnh hưởng của Biến đổi khí hậu (BĐKH) lên hiện trạng canh tác

lúa của đồng bằng sông Cửu Long, trong đó đã sử dụng mô hình CLUES để xây dựng được bản đồ độ mặn hiện tại, đến năm 2030, năm 2050.

Nghiên cứu biến động sử dụng đất trong mối quan hệ với một số yếu tố nhân khẩu học thuộc khu vực huyện giao thủy, tỉnh Nam Định [5] đã nghiên cứu và lựa chọn phương pháp phù hợp nhằm xác định mối quan hệ giữa biến động sử dụng đất và các yếu tố nhân khẩu học. Đồng thời trong nghiên cứu này, tác giả cũng đã sử dụng mô hình phương pháp mô hình hóa và dự báo biến động sử dụng đất ở khu vực nghiên cứu trên cơ sở tích hợp mô hình MultiLogistic-Markov-Cellular Automata nhằm dự báo biến động đất xây dựng và đất nuôi trồng thủy sản huyện Giao Thủy. Ứng dụng viễn thám và GIS nghiên cứu mối quan hệ giữa biến động sử dụng đất với điều kiện tự nhiên vùng ven biển đồng bằng sông Hồng [6], bước đầu đã định lượng hóa được mối quan hệ giữa biến động sử dụng đất với điều kiện tự nhiên thông qua phân tích hồi quy logistic và dự báo được biến động sử dụng đất đến năm 2021 ở hai huyện ven biển đồng bằng sông Hồng phục vụ quy hoạch phát triển bền vững. Ứng dụng mô hình Markov và Cellular Automata trong nghiên cứu dự báo biến đổi lớp phủ bề mặt [7].

Tuy nhiên, việc giám sát hiện trạng lớp phủ đất hiện nay chủ yếu vẫn được thực hiện qua việc sử dụng các số liệu thống kê, chưa được cung cấp đầy đủ thông tin về đặc tính của lớp phủ mặt đất, như độ dày, cấu trúc, độ thoát nước và độ bền vững của lớp đất đó. Vì vậy, việc áp dụng các kỹ thuật đo và giám sát địa chất, viễn thám, đo đạc địa hình hay sử dụng các thiết bị hiện đại như máy quét laser và radar có thể giúp tăng tính hệ thống và khách quan trong việc giám sát và đánh giá diễn biến biến động lớp phủ đất theo thời gian.

Để cho công tác nghiên cứu quy hoạch đất đai trở nên chính xác và tin cậy, các giả thuyết và thông tin phải được xác định rõ ràng và có tài liệu chứng minh. Ngoài ra, việc tích hợp các thông tin khác nhau trong một thể thống nhất là rất quan trọng để đảm bảo tính hiệu quả và độ chính xác của nghiên cứu. Việc sử dụng các mô hình phân tích phù hợp cũng góp phần rất lớn để đưa ra kết luận đúng đắn và có giá trị.

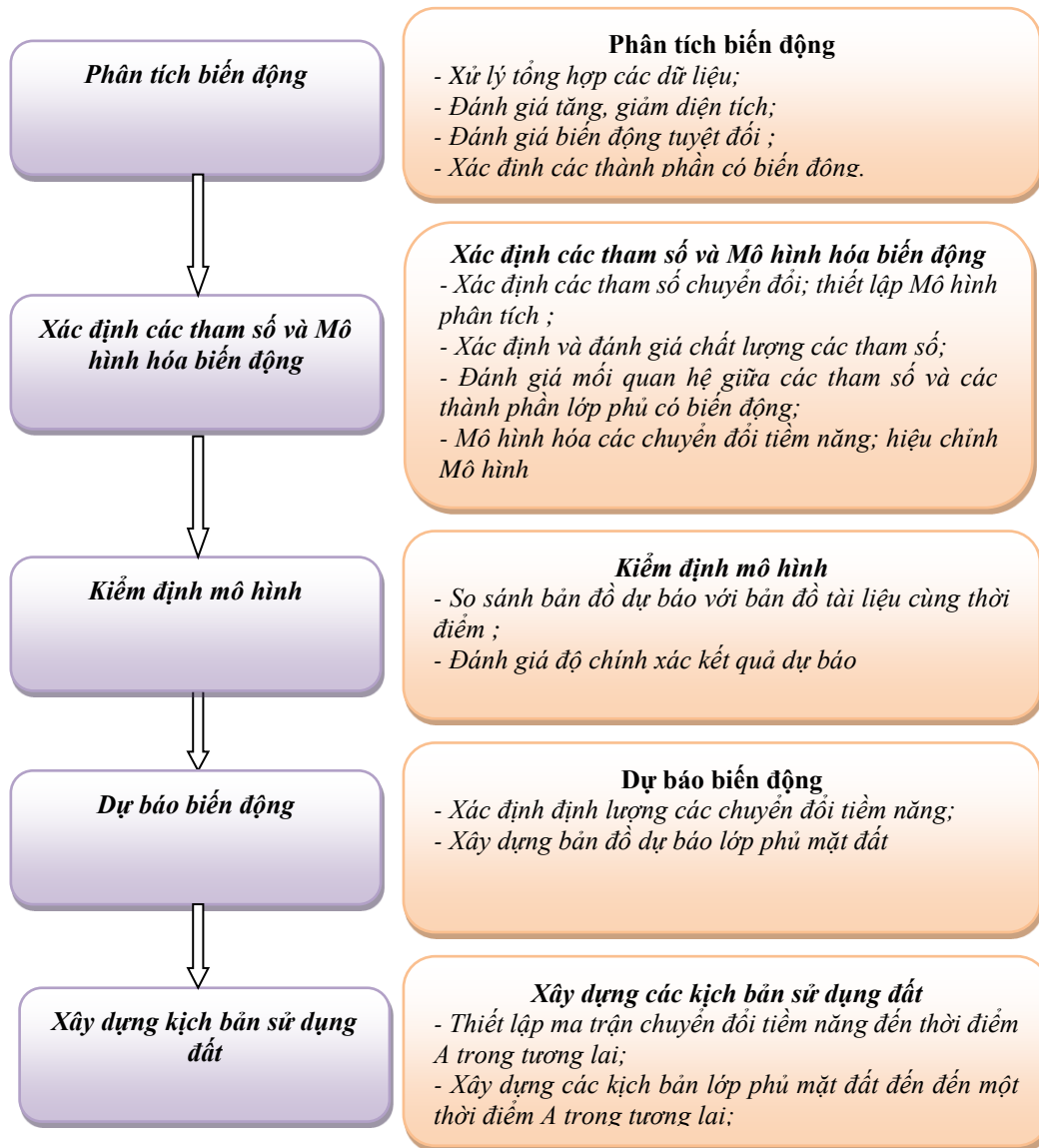
Để đảm bảo độ tin cậy của kết quả, ta cần phải đánh giá và kiểm định các mô hình để chọn ra mô hình phù hợp nhất. Đồng thời, cần thu thập và kiểm tra chất lượng các dữ liệu đầu vào để đảm bảo tính chính xác. Độ tin cậy của các kịch bản lớp phủ mặt đất tùy thuộc vào số lượng cũng như chất lượng các biến giải thích đưa vào trong mô hình, nó có thể bao gồm các thông số về kinh tế - xã hội, khí hậu, môi trường...[8]. Các bước của quy trình phân tích nhanh bằng ảnh viễn thám kết hợp với mô hình hóa trong dự báo biến động lớp phủ mặt đất được tóm tắt trong hình 1.

Trong quy trình trên, trước tiên sự biến động lịch sử về lớp phủ mặt đất được xác định dựa trên việc phân tích đa thời gian của các bản đồ hiện trạng lớp phủ mặt đất; tiếp theo, các yếu tố thực sự có ảnh hưởng (các tham số) đến sự biến động trên được đánh giá và xác định. Những biến động lịch sử về lớp phủ mặt đất và các nguồn thông tin mô tả các biến giải thích được tích hợp vào mô hình để xây dựng các kịch bản lớp phủ mặt đất với thuật toán nào đó đã được xác định; bước thứ 3 là áp dụng thuật toán để xây 01 bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất ở một thời điểm hiện tại nhằm hiệu chỉnh mô hình; bước thứ 4 là tiến hành đánh giá kết quả hiệu chỉnh mô hình bằng cách so sánh bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất với bản đồ tài liệu ở cùng thời điểm; cuối cùng là xây dựng các kịch bản lớp phủ mặt đất trong ngắn hạn, trung hạn và dài hạn.

2.1.1. Phân tích biến động

Giai đoạn này cho phép phân tích nhanh chóng biến động lớp phủ mặt đất trong quá khứ trên cơ sở đánh giá định lượng tăng và giảm của các lớp; và sự chuyển đổi qua lại giữa các lớp [9]. Sự biến động trên có thể được thể dưới dạng bản đồ hoặc dưới dạng biểu đồ. Ngoài ra, giai đoạn này còn cho phép phân tích xu hướng biến động của từng lớp đối tượng trên khu vực nghiên cứu. Để đánh giá biến động, mô hình cần 02 bản đồ hiện trạng lớp phủ mặt đất ở 2 thời điểm khác nhau. Các loại hình lớp phủ mặt đất có biến động qua lại trong giai đoạn giữa 2 thời điểm phân tích sẽ được xác định và tích hợp vào trong mô hình để thực hiện bước

tiếp theo. Việc phân tích biến động gồm các bước: Xử lý tổng hợp các dữ liệu, đánh giá tăng, giảm diện tích, đánh giá biến động tuyệt đối, xác định các thành phần có biến động.



Hình 1. Quy trình dự báo biến động sử dụng đất thông qua biến động lớp phủ mặt đất sử dụng mô hình phân tích.

2.1.2. Xác định các tham số và mô hình hóa biến động

Mô hình hóa biến động là mô hình hóa các chuyển đổi tiềm năng là quá trình cho phép đánh giá và xác định các biến đổi tiềm năng của từng loại hình lớp phủ mặt đất và các tham số (hoặc biến giải thích), nó được thực hiện qua 03 bước: Thiết lập Mô hình chuyển đổi, đánh giá chất lượng các tham số và chạy Mô hình phân tích.

a) Thiết lập Mô hình chuyển đổi tiềm năng

Bước đầu tiên của quá trình mô hình hóa các chuyển đổi tiềm năng là xây dựng (thiết lập) Mô hình phân tích. Mô hình này cho phép tích hợp các biến số là các chuyển đổi tiềm năng đã được xác định trong quá trình phân tích biến động.

b) Đánh giá chất lượng các biến giải thích

Đây là bước thứ hai của quá trình mô hình hóa các chuyển đổi tiềm năng, nó cho phép đánh giá chất lượng cũng như xác định trọng số của các tham số đưa vào tính toán khả năng biến động. Các tham số này có vai trò rất quan trọng trong quá trình xây dựng bản đồ dự báo biến động lớp phủ mặt đất; trên thực tế nó chính là các yếu tố (tự nhiên/ con người) có ảnh

hường và có khả năng ảnh hưởng đến quá trình biến động lớp phủ mặt đất như địa hình, độ dốc, hướng sườn, mạng lưới thủy văn, giao thông,...

Để đánh giá chất lượng các tham số, chỉ số đánh giá thường được áp dụng. Ví dụ đối với mô hình sử dụng chuỗi Markov thường sử dụng chỉ số Cramer's V để đánh giá chất lượng các tham số đưa vào mô hình. Chỉ số này cho phép đánh giá tầm quan trọng cũng như tính hữu dụng tiềm năng của các tham số [9]. Các tham số có giá trị chỉ số Cramer's V cao, cho thấy tầm quan trọng của chúng; trong khi các tham số nếu có giá trị chỉ số Cramer's V thấp sẽ bị loại bỏ, không nên sử dụng để đưa vào Mô hình tính toán.

c) Chạy Mô hình phân tích

Bước cuối cùng của mô hình hóa quá trình chuyển đổi tiềm năng là chạy Mô hình phân tích. Để chạy mô hình này, thường có nhiều lựa chọn dựa trên các thuật toán cũng như cách tiếp cận khác nhau. Ví dụ đối với mô hình sử dụng chuỗi Markov, có 02 lựa chọn được sử dụng là: Mạng thần kinh đa lớp (MLP) hoặc hồi quy logistic (Relog).

Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng sử dụng Mạng thần kinh đa lớp trong dự báo sử dụng đất cho kết quả có độ chính xác khá cao, trên 85% [10–12].

Nói chung, sự khác biệt về độ chính xác bản đồ dự báo biến động lớp phủ mặt đất thu được từ các giải pháp là có sự khác biệt. Do đó, việc lựa chọn giải pháp hay cách tiếp cận nào sẽ phụ thuộc vào nhiều yếu tố, ví dụ sự đòi hỏi số lượng các tham; khối lượng tính toán; và tính phù hợp nhất trong việc mô hình hóa các quá trình chuyển đổi [9].

2.1.3. Kiểm định mô hình

Bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất được thành lập sẽ được so sánh với bản đồ có sẵn hoặc tài liệu tham khảo ở cùng thời điểm. Kết quả so sánh này sẽ cho phép xác nhận mô hình phân tích sử dụng có đảm bảo độ chính xác trong xây dựng các bản đồ dự báo hay không. Việc so sánh được thực hiện trên cơ sở đánh giá độ chính xác của từng lớp đối tượng lớp phủ mặt đất, hệ số Kappa và độ chính xác chung của toàn bộ bản đồ dự báo. Bản đồ được coi là đạt chất lượng, nếu độ chính xác chung đạt ít nhất 85% [8, 13–14].

2.1.4. Dự báo biến động

Dự báo biến động lớp phủ mặt đất là quá trình thành lập các bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất (hay còn gọi là kịch bản lớp phủ mặt đất). Các bản đồ dự báo được thành lập trên cơ sở sử dụng các chuyển đổi tiềm năng, là các chuyển đổi đã được mô hình hóa sau khi chạy Mô hình phân tích. Quá trình thành lập bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất được thực hiện qua 2 bước: (1) yêu cầu mô hình hóa các chuyển đổi và (2) xây dựng bản đồ dự báo.

a) Yêu cầu mô hình hóa các chuyển đổi

Yêu cầu mô hình hóa các chuyển đổi (*Change Demand Modeling*) là công đoạn cho phép xác định định lượng các chuyển đổi của từng lớp sẽ xảy ra đến một thời điểm cụ thể xác định trong tương lai trên cơ sở áp dụng một thuật toán nào đó đã được xác định trước. Ví dụ việc áp dụng chuỗi Markov trong lĩnh vực sử dụng đất/lớp phủ mặt đất có rất nhiều giả thuyết khác nhau [15]. Tuy nhiên, một trong những giả thuyết được chấp nhận và sử dụng rộng rãi đó là coi lớp phủ mặt đất và biến động lớp phủ mặt đất như là một quá trình ngẫu nhiên, và mỗi một lớp (loại hình) lớp phủ mặt đất là một trạng thái của một chuỗi Markov [15–17]. Một chuỗi được coi là một quá trình ngẫu nhiên, nếu nó có một giá trị (X_t) ở thời điểm t mà giá trị này không phụ thuộc vào giá trị (X_{t-1}) ở thời điểm $t-1$, và cũng không phụ thuộc vào chuỗi giá trị $X_{t-2}, X_{t-3}, \dots, X_0$ (những giá trị của chuỗi ở thời điểm trước thời điểm $t-1$). Khi đó có thể xác định được ma trận xác suất chuyển đổi $P\{X_t = a_j \mid X_{t-1} = a_i\}$. Ma trận này cho thấy xác suất một của một quá trình mà làm cho một chuyển đổi từ trạng thái a_i sang trạng thái a_j sau một khoảng thời gian t . Sau (L) bước cần thiết được thực hiện để thiết lập chuyển đổi này, ma trận $P\{X_t = a_j \mid X_{t-1} = a_i\}$ được gọi là ma trận xác suất chuyển đổi (L) bước ($P_{ij}^{(L)}$), nếu ($P_{ij}^{(L)}$) là độc lập với biến thời gian và nó không phụ thuộc vào các tham số a_i, a_j , và (L).

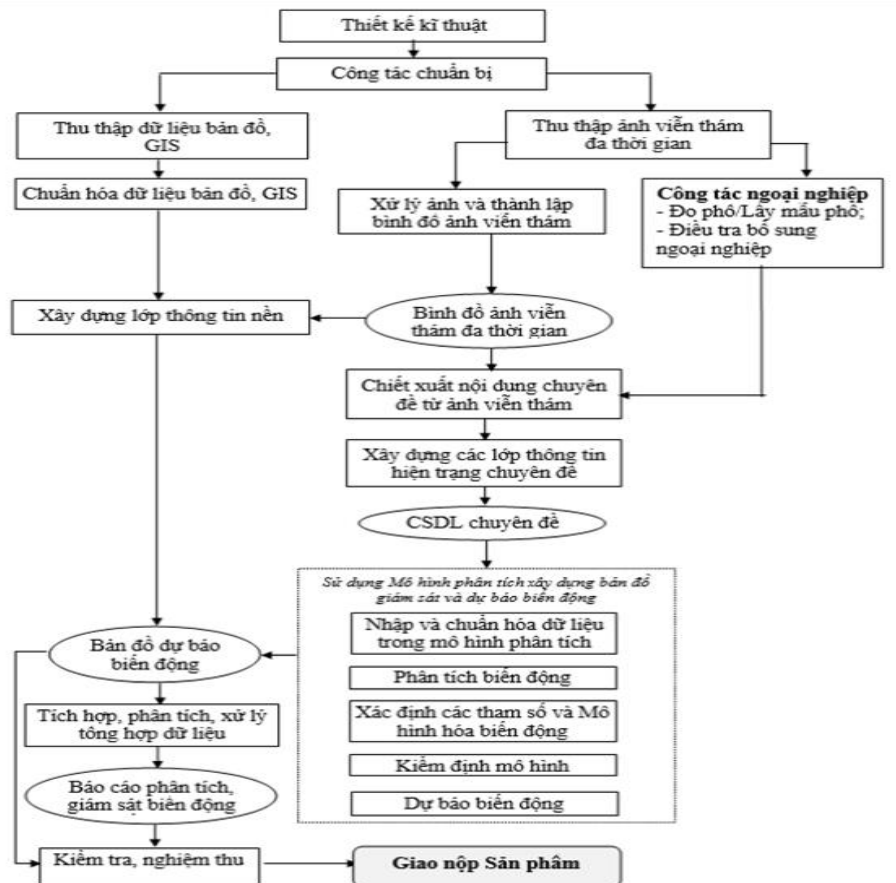
Sau khi chạy mô hình với chuỗi Markov để dự báo lớp phủ mặt đất đến thời điểm $t+1$, một ma trận xác suất chuyển đổi ở thời gian đó sẽ được thành lập; ma trận này đưa ra một cách định lượng khả năng chuyển đổi của từng lớp đối tượng lớp phủ mặt đất. Trong ma trận xác suất chuyển đổi trên, các cột tương ứng với các lớp đối tượng lớp phủ mặt đất ở thời điểm $t+1$ trong tương lai cần dự báo và các hàng tương ứng với các lớp đối tượng lớp phủ mặt đất ở thời điểm t (thời điểm hiện tại). Những giá trị trên đường chéo chính của ma trận cho thấy độ ổn định (không có biến động) của các lớp đối tượng lớp phủ mặt đất và biến đổi trong khoảng giá trị từ 0.0 đến 1.0, tương ứng 0% đến 100%. Những giá trị tiệm cận gần đến 1.0 cho thấy lớp đối tượng đó có độ ổn định rất cao, ngược lại, những giá trị tiến gần đến 0.0 cho thấy các lớp đối tượng sử dụng đất này sẽ có sự biến động mạnh mẽ.

b) Thành lập bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất

Trên cơ sở ma trận xác suất chuyển đổi được xây dựng ở bước trên, bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất đến thời điểm $t+1$ trong tương lai sẽ được xây dựng. Bản đồ này sẽ có số lượng và thuộc tính các lớp đối tượng như bản đồ lớp phủ mặt đất ban đầu, là bản đồ đầu vào sử dụng trong mô hình. Thông thường, ở giai đoạn này, bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất sẽ được thành lập đến một thời điểm ở hiện tại mà có các bản đồ hoặc số liệu tham khảo để kiểm tra chất lượng bản đồ dự báo. Chất lượng của bản đồ dự báo sẽ phản ánh độ tin cậy của mô hình cũng như độ tin cậy của các tham số sử dụng để mô hình hóa các chuyển đổi tiềm năng.

2.1.5. Xây dựng kịch bản sử dụng đất

Nếu bản đồ dự báo trong trường hợp này đạt độ chính xác theo yêu cầu, mô hình phân tích lúc này coi như được hiệu chỉnh tốt và có thể áp dụng để xây dựng các kịch bản lớp phủ mặt đất trong tương lai. Trong trường hợp này, các tham số của bản đồ dự báo sẽ áp dụng với các tham số và các biến giải thích như đã sử dụng trong Mô hình ở bước hiệu chỉnh mô hình. Quy trình sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh viễn thám đa thời gian, GIS kết hợp với mô hình phân tích giám sát và dự báo biến động lớp phủ mặt đất được thể hiện trên hình 2.



Hình 2. Sơ đồ quy trình sử dụng dữ liệu viễn thám đa thời gian, GIS kết hợp với mô hình phân tích giám sát và dự báo biến động lớp phủ mặt đất.

2.2. Tài liệu sử dụng

Nhóm thực hiện đã tiến hành khảo sát thu thập tài liệu hiện có tại khu vực thử nghiệm trên địa bàn Thành phố Hải Phòng, đang được lưu giữ ở nhiều ngành, cơ quan Trung ương ở Hà Nội và ở Hải Phòng và đã thu thập được các tài liệu sau phục vụ công tác thử nghiệm:

+ Bản đồ địa hình tỷ lệ 1/50.000 UTM của Mỹ xuất bản năm 1966, 1967 có phiên hiệu: 6250-I-II, 6350-I-II-III, IV là bản đồ tin tức với lượng thông tin đã cũ, dùng để tham khảo.

+ Bản đồ địa hình GAUSS tỷ lệ 1/100.000: Do Cục đo đạc bản đồ bộ tổng tham mưu xuất bản năm 1991 gồm các mảnh F-48-117, F-48-118, F-48-129, F-48-130, với lượng thông tin đã cũ, chỉ dùng để tham khảo.

+ Bản đồ địa hình VN2000 tỷ lệ 1/100.000: gồm các mảnh F-48-70 (6351), F-48-82 (6350), F-48-83 (6450), F-48-81 (6250) do Nhà Xuất bản Bản đồ biên vẽ năm 2001-2005 là tài liệu sử dụng chính.

+ Bản đồ địa hình và địa hình đáy biển tỷ lệ 1/50.000 được thành lập năm 2000 do NXB Bản đồ thực hiện, hệ toạ độ VN2000: gồm các mảnh F-48-69-D, F-48-70-(C,D), F-48-71-C, F-48-81-(B,D), F-48-82-(A,B,C,D), F-48-83-(A,C).

+ Bản đồ địa hình tỷ lệ 1/25.000 hệ VN-2000, gồm các mảnh: F- 48- 81- B-d ; F- 48- 81- D- b,d; F- 48- 82- A- a,b,c,d ; F- 48- 82 - B - c,d F- 48- 82- C-a,b,c,d ; F- 48- 82- D-a; F - 48 - 83 - A - c; F - 48 - 83 - C - a,b;

+ Bản đồ hành chính Hải Phòng tỉ lệ 1: 35 000 (03 mảnh);

+ Bản đồ hành chính Hải Phòng tỉ lệ 1: 50 000 (04 mảnh). Cơ quan xuất bản : Bộ Tài nguyên và Môi trường. Bản đồ được thành lập, chế in tại Nhà Xuất bản Bản đồ.

+ Bản đồ tài nguyên du lịch tự nhiên nông thôn Hải Phòng. Tỉ lệ 1:200 000. Tác giả: Phạm Văn Luân - Sở Du lịch Hải Phòng.

+ Bản đồ tài nguyên du lịch nhân văn Hải Phòng. Tỉ lệ 1: 200 000. Tác giả: Phạm Văn Luân - Sở Du lịch Hải Phòng.

+ Bản đồ hiện trạng sử dụng đất thành phố Hải Phòng năm 2000, 2005, 2010, 2015 (dạng số), số liệu kiểm kê đất năm 2019 và các bảng biểu diện tích.

+ Cơ sở dữ liệu Nền địa lý tỷ lệ 1:50.000 do Cục Công nghệ thông tin thành lập năm 2013

+ Cảnh ảnh vệ tinh SPOT5 số hiệu 271-308/5 chụp ngày 23 tháng 12 năm 2003.

+ Cảnh ảnh vệ tinh SPOT5 số hiệu 272-308/6 chụp ngày 23 tháng 11 năm 2005.

+ Cảnh ảnh vệ tinh SPOT5 số hiệu 272-308 chụp ngày 07 tháng 1 năm 2004.

+ Cảnh ảnh Spot 5 có số hiệu 272-309 chụp ngày 23/10/2010 có độ phân giải 2,5 m;

+ Cảnh ảnh vệ tinh LANDSAT 7 ETM+ số hiệu 126-046 chụp ngày 16 tháng 11 năm 2001 và ảnh vệ tinh viễn thám Landsat ETM+ năm 2005, 2010, 2015, 2018.

+ Cảnh ảnh vệ tinh ASTER số hiệu ASTL1A 0605060334280605090026 chụp ngày 06 tháng 05 năm 2006.

+ Cảnh ảnh vệ tinh ASTER số hiệu ASTL1A 0208310336210210180037 chụp ngày 31 tháng 08 năm 2002.

+ Ảnh vệ tinh SPOT6 các cảnh ảnh số hiệu sau: ID SO17013069-3 chụp ngày 31 tháng 07 năm 2016; ID: SO17013069-4 chụp ngày 26 tháng 08 năm 2016; ID: SO17013069-5 chụp ngày 26 tháng 08 năm 2016; ID: SO17013069-6 chụp ngày 26 tháng 08 năm 2016.

+ Ảnh vệ tinh SPOT7 các cảnh ảnh số hiệu sau: ID SO17013069-2 chụp ngày 02 tháng 12 năm 2016; ID: SO17013069-7 chụp ngày 26 tháng 05 năm 2017.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả ứng dụng dữ liệu viễn thám và mô hình sử dụng chuỗi Markov thành lập bản đồ dự báo biến động lớp phủ mặt đất tại khu vực Hải Phòng

Trên cơ sở lý thuyết và quy trình dự báo biến động sử dụng đất đã nghiên cứu và đề xuất ở trên, tiến hành thực nghiệm xây dựng bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất đến năm 2030 như sau:

3.1.1. Mô hình hóa các chuyển đổi tiềm năng

Việc mô hình hóa các chuyển đổi tiềm năng là một bước quan trọng nhằm thiết lập Mô hình chuyển đổi phụ và xây dựng các biến giải thích để đưa vào Mô hình chuyển đổi phụ.

a) Thiết lập Mô hình chuyển đổi phụ

Mô hình chuyển đổi phụ được thiết lập nhằm xác định các chuyển đổi tiềm năng của các lớp đối tượng sử dụng đất.

Để thiết lập mô hình này, bước đầu tiên là xác định các chuyển đổi (transition) đã xảy ra thông qua phân tích biến động sử dụng đất trong quá khứ, đó là hiện trạng các chuyển đổi qua lại giữa các đối tượng lớp phủ mặt đất trong giai đoạn 2000-2010. Danh mục các chuyển đổi lớp phủ mặt đất cơ bản được thống kê trong bảng 1.

Bảng 1. Danh mục các chuyển đổi sử dụng đất được xác định trong giai đoạn 2002-2010.

Chuyển đổi			Chuyển đổi		
STT	Chuyển từ	Đến	STT	Chuyển từ	Đến
1	Đất nông nghiệp	Đất dân cư	4	Đất Mặt nước	Bãi bồi
2	Bãi bồi	Đất rừng	5	Đất Mặt nước	Đất thủy sản
3	Bãi bồi	Đất thủy sản	6	Đất thủy sản	Đất dân cư

Sau khi xác định danh mục các chuyển đổi sử dụng đất thực tế đã diễn ra trong giai đoạn 2002-2010, Mô hình chuyển đổi phụ sẽ được thiết lập. Mỗi một chuyển đổi trên đây sẽ là một tham số được nhập vào Mô hình chuyển đổi phụ để tính toán và xác định khả năng chuyển đổi các đối tượng sử dụng đất trong tương lai.

b) Xây dựng các biến giải thích và đánh giá chất lượng các biến giải thích

Như đã trình bày, sự biến động lớp phủ mặt đất bị tác động bởi nhiều yếu tố, trong đó có các yếu tố tự nhiên như Địa hình (độ dốc, hình thái, hướng sườn), hệ thủy văn, thổ nhưỡng, nhiệt độ, lượng mưa,... và có cả những yếu tố do con người gây ra như giao thông, dân cư, đô thị hóa,... Mỗi một yếu tố trên được coi là một biến giải thích khi đưa vào Mô hình chuyển đổi phụ. Nghiên cứu đã xác định và lựa chọn 7 biến giải thích đặc trưng được áp dụng trong xây dựng bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất, được thống kê trong bảng 2.

Bảng 2. Các biến giải thích áp dụng trong Mô hình chuyển đổi phụ.

STT	Tên yếu tố	Mô tả	Tên biến giải thích trong mô hình chuyển đổi phụ
1	Thủy văn	Hệ thống thủy văn, bao gồm sông, suối, hồ	Khoảng cách đến hệ thủy văn
2	Đường giao thông	Hệ thống giao thông chính	Distance du réseau routier
3	Điểm dân cư	Các điểm dân cư chính như thị trấn, thị xã, thành phố	Khoảng cách đến điểm dân cư
4	Địa hình	Yếu tố địa hình bề mặt được thể hiện dưới dạng Mô hình số địa hình (DEM)	DEM
5	Độ dốc	Yếu tố địa hình bề mặt được thể hiện dưới dạng độ dốc	Độ dốc (%)
6	Hình thái bề mặt	Yếu tố địa hình bề mặt được thể hiện dưới dạng hình thái bề mặt, hướng sườn	Aspect
7	Các lớp sử dụng đất	Phân bố loại hình sử dụng đất	Sử dụng đất

Các tham số trong bảng có mức độ và vai trò ảnh hưởng đến sự biến động sử dụng đất là khác nhau, do đó các biến giải thích trong mô hình chuyển đổi phụ có trọng số khác nhau.

Việc xác định vai trò cũng như chất lượng của của biến giải thích được đánh giá thông qua chỉ số Cramer’s V (tiêu chuẩn đối với các biến giải thích đã được trình bày trong Bảng 4.3). Các biến giải thích với giá trị Cramer’s V cao được coi như có mối liên kết chặt chẽ đến biến động sử dụng đất. Trong nghiên cứu này, các giá trị Cramer’s V đối với các biến giải thích được thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Hệ số Cramer’s V của các biến giải thích.

Biến giải thích	SDD	V₁	V₂	V₃	V₄	V₅	V₆
Khoảng cách đường GT		0.000	0.2395	0.1335	0.2106	0.8277	0.1472
Biến động SDD		0.3723	0.2800	0.3734	0.2815	0.7934	0.3792
Evidence likelihood		0.2706	0.3086	0.3115	0.1923	0.1067	0.5241
DEM		0.1346	0.1529	0.1026	0.0424	0.4034	0.2208
Slope		0.0932	0.0901	0.1440	0.0243	0.1981	0.1323
Aspect		0.0892	0.0664	0.1404	0.0109	0.1723	0.1247
Khoảng cách đến rừng		0.2774	0.0723	0.2074	0.1865	0.1427	0.2474
Khoảng cách đến nông nghiệp		0.1401	0.1473	0.5503	0.2319	0.8284	0.0717
Khoảng cách đến bãi bồi		0.3414	0.1205	0.3800	0.4328	0.1080	0.2891
Khoảng cách đến thủy văn		0.0242	0.0433	0.3869	0.0244	0.1144	0.0721
Khoảng cách đến dân cư, cơ sở hạ tầng		0.0308	0.1005	0.3969	0.0207	0.8143	0.1403
Khoảng cách đến thủy sản		0.2257	0.0981	0.1072	0.1063	0.1301	0.2210

Bảng trên cho thấy, với giá trị trung bình Cramer’s V của từng biến giải thích đều lớn hơn 0.14, điều đó cho thấy tất cả các yếu tố đều trên đều có mối quan hệ khăng khít đến biến động lớp phủ mặt đất trong khu vực. Trên cơ sở phân tích của bảng 4.3, chúng tôi sẽ lựa chọn các biến giải thích có giá trị Cramer’s V lớn hơn 1.4 đối với từng lớp phủ mặt đất để đưa vào mô hình phụ nhằm tính toán khả năng biến động trong tương lai của lớp sử dụng đất đó, thông qua mô hình phân tích hồi quy. Ví dụ trong trường hợp tính toán biến động cho đất dân cư, chúng tôi sẽ chọn tổ hợp 7 tham số để đưa vào mô hình hồi quy, gồm: Khoảng cách đến giao thông, DEM, Slope, Aspect, khoảng cách đến đất nông nghiệp và khoảng cách đến đô thị.

c) Chạy Mô hình chuyển đổi phụ

Sau khi thiết lập Mô hình chuyển đổi phụ trên cơ sở các chuyển đổi đã xảy ra trong giai đoạn 2002-2011, các biến giải thích đã được xác định và đưa vào Mô hình. Bước tiếp theo là tiến hành chạy Mô hình chuyển đổi phụ sử dụng mô hình hồi quy lô-gic.

Bảng dưới thể hiện các giá trị ROC của từng tham số trong mô hình hồi quy lô-gic. Các giá trị trong bảng 4 cho thấy toàn bộ giá trị ROC đều lớn hơn 0.9, điều đó cho thấy có sự tương quan mạnh mẽ giữa các biến giải thích và các khả năng chuyển đổi. Kết quả đó một lần nữa khẳng định mô hình hồi quy lô-gic hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu trong quá trình tính toán các chuyển đổi tiềm năng và các chuyển đổi đó sẽ được áp dụng cho chuỗi Markov để xây dựng bản đồ dự báo biến động lớp phủ mặt đất.

Bảng 4. Giá trị tối ưu của các tham số hiệu chỉnh mô hình.

Khả năng chuyển đổi	ROC	Biến giải thích	Hệ số
Đất nông nghiệp chuyển sang đất dân cư, cơ sở hạ tầng	0,9770	Biến độc lập	0,35832663
		Khoảng cách đường GT	-0,00029176
		Biến động SDD	-0,39687580
		Khoảng cách đến nông nghiệp năm 2002	14,69867086
		DEM	0,01699039
		Slope	0,01566885
		Aspect	0,00019433
		Khoảng cách đến dân cư, cơ sở hạ tầng năm 2002	-0,06000800

Khả năng chuyển đổi	ROC	Biến giải thích	Hệ số
Bãi bồi chuyển sang rừng	0,9046	Biến độc lập	2,03525097
		Khoảng cách đến bãi bồi năm 2002	0,00137940
		Biến động SĐĐ	-14,08222536
		Evidence likelihood	508,79400104
		DEM	0,08083993
		Khoảng cách đến thùy sản năm 2002	-0,02837650
		Khoảng cách đến thùy văn năm 2002	-0,00149289
Bãi bồi sang thùy sản	0,9340	Khoảng cách đến rừng năm 2002	-0,17452711
		Biến độc lập	5,82801064
		Khoảng cách đường GT	-0,00049901
		Biến động SĐĐ	-1,52195036
		Evidence likelihood	53,88216143
		DEM	0,13992960
		Khoảng cách đến thùy sản năm 2002	0,05545459
Thùy văn sang bãi bồi	0,9994	Khoảng cách đến rừng năm 2002	-0,00278848
		Khoảng cách đến nông nghiệp năm 2002	-0,08170973
		Biến độc lập	1,60317384
		Khoảng cách đến nông nghiệp năm 2002	0,00013851
		Biến động SĐĐ	-1,14689466
		Evidence likelihood	40,01519180
		Khoảng cách đến thùy văn năm 2002	0,01231108
Thùy văn sang thùy sản	0,9957	Khoảng cách đến dân cư, cơ sở hạ tầng năm 2002	-0,01000394
		Khoảng cách đến rừng năm 2002	0,00099697
		Khoảng cách đến bãi bồi năm 2002	-0,05130228
		Biến độc lập	6,25399401
		Biến động SĐĐ	-0,31022520
		Evidence likelihood	-4,03613827
		DEM	-0,02285445
Aquaculture to Built-up area	0,9559	Khoảng cách đến rừng năm 2002	-0,00652818
		Khoảng cách đến bãi bồi năm 2002	0,00000088
		Khoảng cách đến nông nghiệp năm 2002	-0,11040541
		Biến độc lập	1,46295473
		Khoảng cách đường GT	-0,00299672
		Biến động SĐĐ	-0,25803023
		Distance to the agriculture in 2002	11,06506787
DEM	0,01637263		
Slop	0,02950012		
Aspect	0,00077991		
		Khoảng cách đến dân cư, cơ sở hạ tầng năm 2002	-0,11302383

3.2. Thành lập bản đồ dự báo sử dụng đất

Sau quá trình chạy Mô hình chuyển đổi phụ và tính toán được 6 biến chuyển đổi tiềm năng, cho phép chúng tôi tiến hành thành lập bản đồ dự báo đến năm 2019. Mục đích của việc xây dựng bản đồ dự báo đến năm 2019 là nhằm so sánh với bản đồ sử dụng đất năm

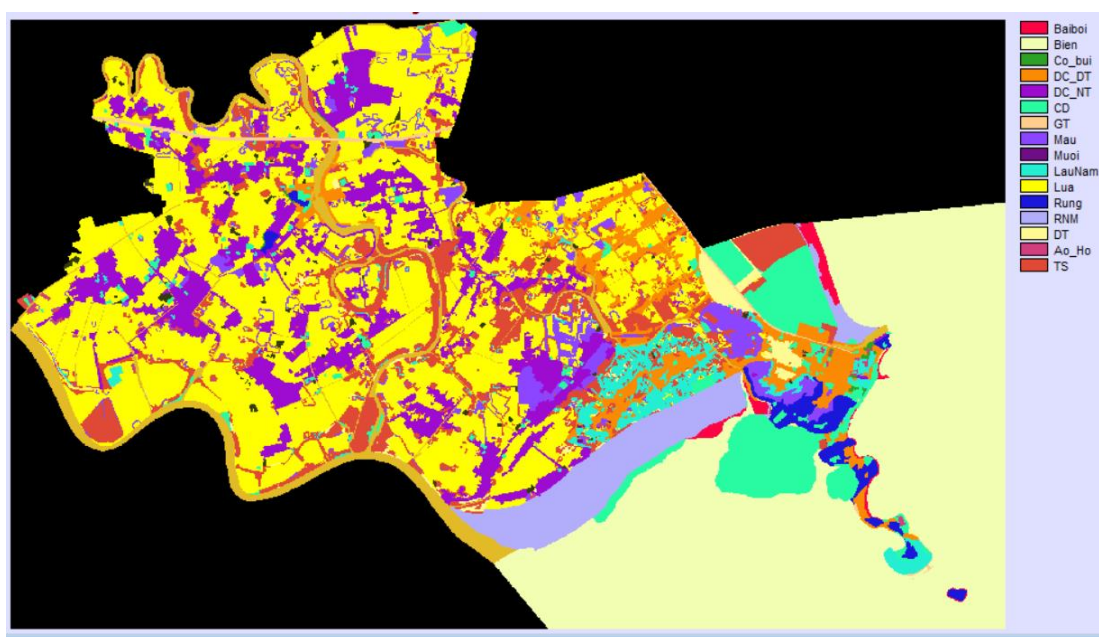
2019 được thành lập từ ảnh viễn thám. Các bước thành lập bản đồ dự báo sử dụng đất bao gồm 02 bước như sau:

a) Yêu cầu mô hình hóa các chuyển đổi

Bước này cho phép xác định định lượng những biến đổi sử dụng đất có thể xảy ra đến năm 2019 trên cơ sở sử dụng chuỗi Markov. Kết quả của bước này là ma trận khả năng chuyển đổi sử dụng đất đến năm 2019. Trong ma trận này, các hàng tương ứng với các lớp phủ mặt đất năm 2010 và các cột tương ứng với các đối tượng lớp phủ mặt đất được dự báo đến năm 2019. Các giá trị nằm trên đường chéo chính của ma trận thể hiện mức độ biến động của 1 đối tượng sử dụng sử dụng đất sang các đối tượng khác trong giai đoạn 2002-2010.

b) Xây dựng bản đồ dự báo sử dụng đất đến năm 2019

Trên cơ sở ma trận khả năng chuyển đổi đã thiết lập, bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất huyện Kiến Thụy và quận Đồ Sơn đến năm 2019 đã được thành lập (Hình 3). Bản đồ này có các lớp đối tượng sử dụng đất đồng nhất với bản đồ sử dụng đất năm 2002 và 2010, là những bản đồ đầu vào của mô hình LCM.



Hình 3. Bản đồ dự báo sử dụng đất đến năm 2017.

3.2.1. Đánh giá độ chính xác bản đồ dự báo sử dụng đất

Để đánh giá độ chính xác bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất đến năm 2019, chúng tôi đã so sánh bản đồ này với bản đồ được thành lập từ ảnh viễn thám ở cùng thời điểm. Trong trường hợp này, bản đồ năm 2019 được thành lập từ ảnh viễn thám được coi là tài liệu tham khảo có độ chính xác tốt và đã được kiểm chứng. Mục đích của việc đánh giá độ chính xác này là nhằm xác nhận độ tin cậy của mô hình LCM trong việc dự báo biến động sử dụng đất. Quá trình này được thực hiện thông qua đánh giá độ chính xác từng lớp đối tượng lớp phủ mặt đất, hệ số Kappa và độ chính xác chung của bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất.

Kết quả cho thấy, độ chính xác chung của bản đồ dự báo đến năm 2019 đạt 89% và hệ số Kappa khoảng 0.88; điều này cho thấy độ chính xác bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất đến năm 2019 là khá cao. Kết quả này phản ánh độ tin cậy của mô hình LCM và cho phép tiến hành xây dựng kịch bản lớp phủ mặt đất đến năm 2030.

3.2.2. Xây dựng bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất đến năm 2030

Trên cơ sở kết quả đánh giá độ chính xác bản đồ dự báo lớp phủ mặt đất đến năm 2019, tiến hành xây dựng kịch bản lớp phủ mặt đất đến năm 2030. Trong pha xây dựng kịch bản

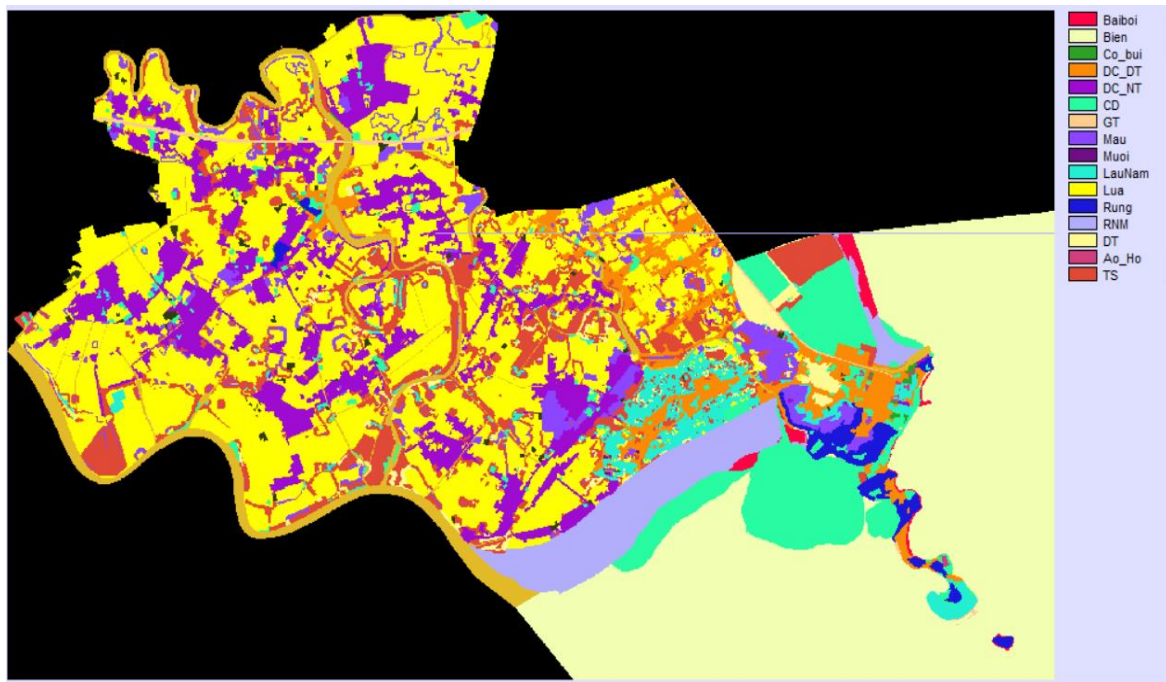
lớp phủ mặt đất, các thông số của Mô hình chuyển đổi phụ và các biến giải thích được giữ nguyên như trong pha hiệu chỉnh Mô hình.

Bảng 5 thể hiện ma trận khả năng chuyển đổi lớp phủ mặt đất huyện Kiến Thụy và quận Đồ Sơn đến năm 2030. Trong ma trận này, các hàng tương ứng với các lớp phủ mặt đất năm 2019 và các cột tương ứng với các đối tượng lớp phủ mặt đất được dự báo đến năm 2030. Các giá trị nằm trên đường chéo chính của ma trận thể hiện mức độ biến động của 1 đối tượng lớp phủ mặt đất sang các đối tượng khác trong giai đoạn 2019-2030.

Bảng 5 cho thấy, hầu hết các đối tượng sử dụng đất đều có khả năng biến động đến năm 2030. Trong số đó, khả năng chuyển đổi sang các nhóm đất khác nhiều nhất là nhóm đất nông nghiệp, đất bãi bồi và đất mặt nước (các giá trị trên đường chéo chính dưới khoảng 0,5 đến 0,7); trong khi các đối tượng khác như đất rừng, đất dân cư cho thấy nhóm này ít bị chuyển đổi sang nhóm đất khác (các giá trị trên đường chéo chính trong khoảng 0,8-0,9).

Bảng 5. Ma trận khả năng chuyển đổi lớp phủ mặt đất huyện Kiến Thụy và quận Đồ Sơn đến năm 2030.

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11	Cl. 12
Cl.1	0.3510	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cl.2	0.0000	0.9274	0.0000	0.0000	0.0000	0.0723	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cl.3	0.0000	0.0000	0.6754	0.0000	0.0573	0.0022	0.0001	0.0000	0.0000	0.0062	0.0000	0.2588
Cl.4	0.0000	0.0000	0.0000	10,000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cl.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9934	0.0000	0.0066	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cl.6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000
Cl.7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	10,000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cl.8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0062	0.0229	0.0136	0.0048	0.3281	0.0000	0.0582	0.4243	0.0000
Cl.9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0463	0.0066	0.0064	0.0092	0.0839	0.0029	0.7082	0.0409	0.0000
Cl.10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0342	0.0118	0.0128	0.0231	0.0010	0.0000	0.8211	0.0027	0.0000
Cl.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.0079	0.0063	0.0016	0.0539	0.0000	0.0045	0.8491	0.0000
Cl.12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0003	0.0291	0.0005	0.0000	0.0000	0.0784	0.0000	0.8888
Cl.13	0.0227	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0005	0.0000
Cl.14	0.0006	0.0000	0.0000	0.0001	0.0004	0.0010	0.0001	0.0010	0.0000	0.0016	0.0028	0.0000
Cl.15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1179	0.0097	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cl.16	0.0000	0.0000	0.0000	0.0033	0.0132	0.0328	0.0029	0.0283	0.0000	0.0517	0.0950	0.0000
Cl.17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cl.18	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.0009	0.0000	0.0000	0.0022	0.0000



Hình 4. Bản đồ dự báo sử dụng đất đến năm 2030.

Trên cơ sở ma trận khả năng chuyên đổi lớp phủ mặt đất đến năm 2030 đã được thiết lập thông qua chuỗi Markov, bản đồ lớp phủ mặt đất huyện Kiến Thụy và quận Đồ Sơn đến năm 2030 đã được xây dựng (Hình 4).

4. Kết luận

Thông qua việc phân tích nhanh bằng dữ liệu ảnh viễn thám kết hợp với mô hình hóa trong dự báo biến động lớp phủ mặt đất, có thể rút ra một số kết luận sau:

- Ảnh viễn thám đa thời gian cho phép chúng ta quan sát và phân tích sự thay đổi của mặt đất trong quá khứ, từ đó đưa ra các biện pháp quản lý và bảo vệ môi trường phù hợp. Nó cũng giúp tăng cường khả năng dự báo và đưa ra các kế hoạch phát triển bền vững cho các khu vực đang có nguy cơ bị ảnh hưởng bởi các thay đổi địa hình.

- Việc sử dụng các công cụ mô hình hóa để mô phỏng sự tương tác giữa các thành phần đất đai trong quá trình sử dụng với các yếu tố tự nhiên, kinh tế - xã hội là cực kỳ quan trọng trong việc quản lý đất đai hiệu quả và bền vững. Nhờ đó, người quản lý có thể đưa ra được các kế hoạch sử dụng đất phù hợp, giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường và đảm bảo sự phát triển kinh tế-xã hội bền vững.

- Việc mô phỏng và dự báo xu hướng biến động đất đai là rất quan trọng trong việc định hướng phát triển kinh tế - xã hội và đầu tư các dự án xây dựng trên đất đai. Nhiều tổ chức và cơ quan chính phủ đã sử dụng các công cụ mô phỏng và dự báo như hệ thống thông tin địa lý (GIS), hệ thống thông tin viễn thám (RS) và các mô hình mô phỏng để đưa ra các kịch bản phát triển đất đai phù hợp với xu hướng biến động đất đai trong tương lai. Việc sử dụng các công cụ này không chỉ giúp giảm thiểu rủi ro cho các dự án xây dựng mà còn đảm bảo sự bền vững và phát triển bền vững của kinh tế - xã hội. Dự báo biến động lớp phủ mặt đất cũng có thể giúp các nhà quản lý tài nguyên đất đối phó với những thách thức và rủi ro trong tương lai, đồng thời giúp tối ưu hóa sử dụng đất và tài nguyên. Ngoài ra, dự báo biến động lớp phủ mặt đất còn đóng vai trò quan trọng trong đánh giá tác động của các hoạt động con người đến môi trường và đưa ra các giải pháp bảo vệ môi trường hiệu quả.

Như vậy, việc xây dựng quy trình phân tích nhanh bằng dữ liệu ảnh viễn thám kết hợp với mô hình hóa trong dự báo biến động lớp phủ mặt đất sẽ cung cấp một công cụ hữu hiệu, đảm bảo độ tin cậy đối với các nhà quản lý trong việc xây dựng các kịch bản lớp phủ mặt đất, ta có thể sử dụng các phương pháp như học máy, mô hình hóa thống kê và hệ thống thông tin địa lý. Các mô hình này sẽ đưa ra dự đoán về sự biến động của lớp phủ mặt đất trong tương lai dựa trên các biến giải thích được đưa vào phục vụ giám sát, đánh giá biến động sử dụng đất giúp tiết kiệm chi phí, đem lại hiệu quả cao trong việc xây dựng chính sách quản lý đất đai.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của đề tài: Nghiên cứu ứng dụng dữ liệu viễn thám đa thời gian và lựa chọn mô hình trong việc giám sát và dự báo biến động sử dụng đất dưới tác động của điều kiện tự nhiên và kinh tế - xã hội, thử nghiệm tại thành phố Hải Phòng. Mã số: TNMT.2018.08.05 do TS, Nguyễn Quốc Khánh là chủ nhiệm đề tài.

Lời cam đoan: 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. Sinh, N.V. Nghiên cứu sự biến động lớp phủ thực vật bằng ảnh đa thời gian và ảnh hưởng của nó tới đa dạng sinh học ở các khu vực bảo tồn thiên nhiên ở Nam Bộ. Trung tâm Viễn thám Quốc gia, 2008.

2. Minh, N.Đ. Phân loại sử dụng đất và lớp phủ đất đô thị ở Hà Nội bằng dữ liệu Terra ASTER. Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2009.
3. Tùng, C.H. và cs. Nghiên cứu khả năng ứng dụng kết hợp ảnh vệ tinh radar và quang học để thành lập một số thông tin về lớp phủ mặt đất. Trung tâm Viễn thám Quốc gia, 2008.
4. Tuấn, T.Q.; No, T.V.; Hương, Đ.T.V. Ứng dụng GIS và viễn thám trong việc thành lập bản đồ hiện trạng thảm thực vật năm 2008 tỷ lệ 1:50000, huyện Kỳ Anh, tỉnh Hà Tĩnh. Trường đại học Khoa học, Đại học Huế, 2008.
5. Hà, L.T.T. Nghiên cứu biến động sử dụng đất trong mối quan hệ với một số yếu tố nhân khẩu học thuộc khu vực huyện giao thủy, tỉnh Nam Định. Luận án Tiến sỹ, Trường Đại học Mỏ-Địa chất, 2016.
6. Làn, P.T. Ứng dụng viễn thám và GIS nghiên cứu mối quan hệ giữa biến động sử dụng đất với điều kiện tự nhiên vùng ven biển đồng bằng sông Hồng. Luận án Tiến sỹ, Trường Đại học Mỏ-Địa chất, 2016.
7. Tuấn, T.A. Ứng dụng mô hình Markov và Cellular Automata trong nghiên cứu dự báo biến đổi lớp phủ bề mặt. Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2011.
8. Corgne, S. Modélisation prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif: application à la couverture hivernale des sols en Bretagne. Thèse de doctorat se l'Université de Rennes 2-Haute-Bretagne, 2004, pp. 230.
9. Eastman, J.R. IDRISI Taiga: Guide to GIS and image processing. Clack Lab-Clack University. Manual version 16.02, 2009, pp. 342.
10. Dadhich, P.N.; Hanaoka, S. Markov method integration with multi-layer perceptron classifier for simulation of urban growth of jaipur city. Selected topics in Power systems and Remote sensing, 2010, pp. 118-123. ISBN: 978-960-474-233-2.
11. Nghiem, V.T.; Nedjai, R.; Messaoud, N.N. The consequences of changes in forest land cover in the Alpine and Jurassic massifs on the physico-chemical status of deep lake waters. *J. Alpine Res.* 2011, 99(3), pp. 12. Doi:10.4000/rga.1611.
12. Nghiem, V.T.; Nedjai, R.; Le, V.A.; Charleux, L. Application of gis and remote sensing for predicting land-use change in the french jura mountains with the LCM model: the impact of variables on the disturbance model. Proceeding of the 34th Asian Conference on Remote Sensing-Bali, Indonesia. 2013, pp. 2588-2595. ISBN: 978-602-9439-33-5.
13. Anderson, J.R. et al. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Geological Survey Professional Paper 964, 1976, pp. 41.
14. Anderson, J.R. et al. Land use classification schemes used in selected recent geographic applications of remote sensing: Photogramm.Eng., 1971, 37(4), 379-387.
15. Stewart, W.J. Introduction to the numerical solution of markov chains. Princeton, NJ: Princeton. 1994.
16. Haan, C.T. Statistical methods in hydrology. Ames, Iowa: The Iowa State University Press. 1977.
17. Griffiths, R.B. Stochastic Processes. Lecture Notes on Quantum Mechanics No. 8. qmc082.tex. Version of 30 September 2010, pp. 1-10.

Building a fast analysis process using remote sensing image data combined with modeling in forecasting land cover changes

Nguyen Quoc Khanh^{1*}

¹ Vietnam institute of meteorology, Hydrology and Climate change; khanhrsc@gmail.com

Abstract: Currently, the use of models to build environmental resource scenarios is very important to make decisions and policies for sustainable environmental protection. These models can help experts assess the impact of human activities on environmental resources, come up with solutions and plans for resource recovery, and reduce risks and impacts of events. environmental problem. The application of these models needs accuracy and precision to give accurate and reliable results. These scenarios are important tools in decision making and planning. They help managers anticipate possible consequences and find ways to minimize risks. In addition, scenarios also help managers make more accurate and effective decisions, and help management policies and territorial planning be properly implemented. However, the development of land use change scenarios is a challenge for land managers and researchers. Many complex and difficult-to-measure factors influence this process, including population growth, economic development, population structure, and land use demand. The development of these scenarios requires the consensus and focus of governments and ministries. To meet the requirements of land management in Vietnam, it is necessary to develop a rapid analysis process using remote sensing image data combined with modeling in forecasting land cover changes. Managers have a scientific basis to make accurate decisions in land management.

Keywords: Rapid Analysis; Modeling; Forecasting land cover change.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu hiện trạng và lập kế hoạch thu gom, vận chuyển và xử lý chất thải y tế trên địa bàn thành phố Hà Nội

Trần Thanh Chi^{1*}, Đinh Quang Hưng¹, Nguyễn Thị Thu Hương¹

¹ Viện Khoa học và Công nghệ môi trường, Đại học Bách Khoa Hà Nội;
chi.tran thanh@hust.edu.vn; hung.dinh quang@hust.edu.vn;
huong.nguyenthithu@hust.edu.vn

*Tác giả liên hệ: chi.tran thanh@hust.edu.vn; Tel.: +84–973761680

Ban Biên tập nhận bài: 8/5/2023; Ngày phản biện xong: 16/6/2023; Ngày đăng bài: 25/6/2023

Tóm tắt: Nghiên cứu sử dụng phương pháp khảo sát để đánh giá quy mô, mức độ phát sinh chất thải rắn y tế tại các bệnh viện/ cơ sở y tế trên địa bàn thành phố Hà Nội, từ đó xác định phương án thu gom, vận chuyển và xử lý cho dòng thải này. Hiện nay, trên địa bàn Thành phố Hà Nội có tổng số khoảng 3.676 cơ sở khám chữa bệnh, bao gồm: cơ sở khám chữa bệnh tuyến trung ương; cơ sở y tế cấp thành phố; cơ sở y tế tuyến quận/huyện/thị xã; trạm y tế xã/phường/thị trấn và các cơ sở y tế tư nhân. Theo thống kê, tổng lượng chất thải y tế phát sinh trên địa bàn thành phố khoảng 27.522 kg/ngày; trong đó chất thải rắn y tế nguy hại khoảng 8.448 kg/ngày (khoảng 30%), chất thải rắn không nguy hại khoảng 19.074 kg/ngày. Nghiên cứu đề xuất phương án thu gom, vận chuyển và xử lý theo các phương thức: mô hình xử lý tại chỗ; mô hình xử lý theo cụm; mô hình xử lý tập trung. Phương án đề xuất dựa trên khối lượng phát sinh, quãng đường vận chuyển, công suất, công nghệ xử lý, chi phí xử lý... tiến tới có thể giúp nâng cao hiệu quả quản lý chất thải rắn y tế tại Hà Nội.

Từ khóa: Chất thải y tế; Bệnh viện/cơ sở y tế; Thu gom; Vận chuyển; Xử lý.

1. Giới thiệu

Về cơ bản, chất thải được phân loại thành nhiều loại dựa trên trạng thái, độ nguy hại, nguồn gốc, thành phần và tính chất vật lý/hóa học của chúng. Đặc biệt là chất thải y tế được phân loại thành các nhóm như chất thải bệnh lý, chất thải dược phẩm, chất thải lây nhiễm ... [1]. Nhiều nghiên cứu đã đề cập đến cách thức phân loại riêng cho đối với chất thải y tế [2–4]. Chất thải y tế là chất thải phát sinh từ các cơ sở y tế, phòng thí nghiệm và phòng khám ... [5–6]. Loại chất thải này được đề cập với nhiều tên gọi khác nhau, bao gồm: chất thải y tế, chất thải chăm sóc sức khỏe, và chất thải bệnh viện. Chất thải y tế có thể được chia thành nhóm chất thải nguy hại hoặc nhóm chất thải không nguy hại, tùy thuộc vào sự hiện diện của các thành phần nguy hại. Sự gia tăng tỷ lệ chất thải nguy hại trong chất thải y tế đòi hỏi nỗ lực cao hơn của các cơ quan chức năng nhằm đảm bảo việc thu gom, vận chuyển và xử lý an toàn đối với những dòng thải này.

Tại các quốc gia phát triển, công nghiệp chăm sóc sức khỏe đang có tốc độ phát triển nhanh chóng, dẫn đến việc phát sinh một lượng đáng kể chất thải y tế, đặc biệt là từ các bệnh viện, phòng khám và các cơ sở chăm sóc sức khỏe khác. Tại các quốc gia đang phát triển, lượng chất thải y tế phát sinh phụ thuộc vào nhiều yếu tố và điển hình có thể dao động từ 0,5 đến 2,5 kg/giường bệnh/ngày [7]. Lượng chất thải y tế ngày càng tăng gây ra những lo ngại đáng kể về sức khỏe cộng đồng và môi trường trên toàn cầu. Chất thải y tế (kim tiêm, dao

mồ, bông băng, bông dính máu, bộ phận cơ thể) dễ dàng gây ra các bệnh truyền nhiễm [8]. Bên cạnh đó, một lượng không nhỏ chất thải y tế là các chất độc hại, chất gây ung thư và chất phóng xạ [9–10]. Báo cáo của WHO công bố rằng các ống kim tiêm bị ô nhiễm đã gây ra 21 triệu bệnh viêm gan B, 2 triệu bệnh viêm gan C và ít nhất 260.000 ca nhiễm vi rút gây suy giảm miễn dịch ở người (HIV) [11]. Bên cạnh đó, các bệnh tiêu chảy, bệnh leptospirosis, thương hàn, tả và lao là những bệnh nghiêm trọng khác có thể gây ra bởi chất thải y tế nguy hại [12] và hàng năm có khoảng 2,5 triệu người chết do quản lý chất thải y tế không phù hợp [13]. Ảnh hưởng đến sức khỏe của nhân viên y tế và cộng đồng cũng được xác nhận là do quản lý chất thải y tế không phù hợp [14]. Quản lý chất thải y tế yếu kém có thể gây ra những rủi ro lâu dài và không mong muốn đối với sức khỏe cộng đồng và là nguồn tái nhiễm tiềm ẩn, gây nên những đe dọa đáng kể đối với môi trường. Do đó việc quản lý chất thải y tế đòi hỏi sự quan tâm đặc biệt và ưu tiên cao [15].

Tại các quốc gia đang phát triển, việc quản lý chất thải y tế không đầy đủ từ các bệnh viện, phòng khám và các cơ sở tương tự gây ra các mối nguy hiểm về nghề nghiệp và sức khỏe cộng đồng cho bệnh nhân, nhân viên y tế, nhân viên xử lý chất thải, nhân viên vận chuyển và người dân nói chung. Hơn nữa, nó có thể dẫn đến ô nhiễm không khí, nước và đất, do đó ảnh hưởng đến các dạng sống khác nhau. Ngoài ra, việc xử lý chất thải không đúng cách có thể dẫn đến việc thu gom và bán lại các dụng cụ, vật tư y tế dùng một lần, đặc biệt là ống tiêm, bởi những người thu gom chất thải không chính thức, do đó gây ra nguy cơ lây lan các bệnh nguy hiểm.

Hà Nội là thành phố đông dân thứ hai cả nước sau Thành phố Hồ Chí Minh với dân số ước tính 8,25 triệu người vào năm 2020 [16]. Hiện nay, trên địa bàn thành phố Hà Nội có tổng số khoảng 3.676 cơ sở khám chữa bệnh, bao gồm các cơ sở khám chữa bệnh tuyến Trung ương; cơ sở y tế cấp thành phố; cơ sở y tế tuyến quận/huyện/thị xã; trạm y tế xã/phường/thị trấn và các cơ sở y tế tư nhân [17]. Theo thống kê, tổng lượng chất thải rắn y tế phát sinh trên địa bàn thành phố khoảng 27.522 kg/ngày; trong đó chất thải rắn y tế nguy hại khoảng 8.448 kg/ngày (khoảng 30%), chất thải rắn không nguy hại khoảng 19.074 kg/ngày. Quản lý hiệu quả chất thải y tế phụ thuộc vào các quy trình quan trọng như thu gom, vận chuyển, lưu trữ và xử lý. Tuy nhiên, việc quản lý chất thải y tế ở Hà Nội còn nhiều thách thức liên quan đến việc lưu giữ, thu gom và mô hình xử lý dẫn đến phát sinh nhiều vấn đề liên quan đến kiểm soát các yếu tố nguy hại tại các cơ sở y tế nhằm bảo vệ sức khỏe cộng đồng, cán bộ, nhân viên y tế và người bệnh. Chất thải y tế phát sinh từ các cơ sở khám chữa bệnh lớn được thu gom và vận chuyển đến các khu vực lưu giữ, sau đó được xử lý tại các lò thiêu đốt nằm ngay trong cơ sở hoặc ký hợp đồng vận chuyển và xử lý đối với các cơ sở xử lý chất thải đã được cấp phép. Tuy nhiên, đối với các cơ sở khám chữa bệnh nhỏ lẻ do, công tác thu gom, lưu giữ và vận chuyển chất thải y tế chưa được chú trọng đúng mức, đặc biệt là công tác phân loại và lưu giữ chất thải tại nguồn (chất thải y tế thông thường, chất thải y tế nguy hại...) [18].

Nghiên cứu này tập trung vào khảo sát phát sinh, thu gom, quản lý và xử lý chất thải y tế, y tế nguy hại trên địa bàn thành phố Hà Nội; làm cơ sở để đánh giá quy mô, mức độ phát sinh chất thải rắn y tế tại các bệnh viện/cơ sở y tế trên địa bàn thành phố Hà Nội, từ đó xác định phương án thu gom, vận chuyển và xử lý. Trên cơ sở kết quả khảo sát, nghiên cứu đề xuất phương án thu gom, vận chuyển và xử lý theo một số phương thức: Mô hình xử lý tại chỗ; mô hình xử lý theo cụm; mô hình xử lý tập trung phù hợp với đặc thù của thành phố Hà Nội.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp khảo sát thực địa kết hợp phỏng vấn

Phương pháp này được sử dụng để đánh giá quy mô và mức độ phát sinh chất thải y tế tại các bệnh viện/ cơ sở y tế trên địa bàn thành phố Hà Nội.

Hình 1 là bản đồ khu vực thành phố Hà Nội. Tổng số phiếu điều tra là 2000. Số phiếu thu được là 1580. Thời gian thực hiện tháng 10 và tháng 11 năm 2021.

Nội dung khảo sát tập trung vào lượng phát sinh chất thải y tế, hiện trạng thu gom, vận chuyển và xử lý chất thải; tọa độ của từng cơ sở thành lập bản đồ; mức độ đồng thuận nếu đề xuất thành lập cụm để quản lý; mức độ sẵn sàng của hạ tầng kỹ thuật; khả năng mở rộng và nâng công suất; v.v... Số liệu khảo sát được xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel và tổng hợp thành cơ sở dữ liệu về hiện trạng phát sinh và quản lý chất thải y tế tại Hà Nội. Ngoài ra, đây còn là thông tin đầu vào cho việc lập bản đồ cụm cơ sở y tế trên địa bàn các quận, huyện của Hà Nội.



Hình 1. Bản đồ thành phố Hà Nội.

2.2. Phương pháp lập bản đồ

Phương pháp này được sử dụng để: (i) Lập bản đồ các cơ sở y tế dựa trên thông tin khảo sát; (ii) Phân vùng và đề xuất các cơ sở xử lý và lưu trữ chất thải cho cụm dựa trên lượng phát sinh, khoảng cách vận chuyển, công suất, công nghệ xử lý và kinh phí xử lý; (iii) Lập bản đồ các cơ sở y tế trong từng cụm (iv) Xây dựng kế hoạch thu gom, vận chuyển, xử lý và tiếp nhận chất rắn từ các cơ sở về cụm xử lý. Phương pháp bao gồm hai bước chính.

2.2.1. Quá trình phân tích không gian địa lý

Quá trình này giúp nhập, lưu trữ, cập nhật, khai thác, sử dụng và lập bản đồ thông tin không gian. Thông tin không gian mô tả vị trí và hình dạng của các đối tượng địa lý và mối quan hệ không gian giữa chúng. Đầu tiên là tạo cơ sở dữ liệu bản đồ số. Việc này đòi hỏi phải lưu trữ thông tin rõ ràng, có cách thức cấu trúc dữ liệu và sử dụng cơ sở dữ liệu phù hợp. Quá trình phân tích địa lý có thể bao gồm các bước sau: (1) Đặt vấn đề; (2) Chuẩn bị dữ liệu cho phân tích không gian; (3) Thực hiện các phép toán không gian; (4) Chuẩn bị dữ liệu để phân tích thuộc tính; (5) Tiến hành phân tích thuộc tính; (6) Đánh giá kết quả; (7) Xác định và phân tích lại nếu cần thiết; (8) Trình bày kết quả cuối cùng [19].

2.2.2. Trực quan hóa và kết xuất dữ liệu

Dữ liệu địa lý được tổ chức trong cơ sở dữ liệu địa lý và cơ sở dữ liệu đó có thể được coi là một tập hợp dữ liệu được tham chiếu không gian đóng vai trò là mô hình của thế giới thực. Dữ liệu địa lý có hai thành phần quan trọng, vị trí địa lý và các thuộc tính của nó. Bước này sẽ kết nối dữ liệu không gian và các thuộc tính của đối tượng để có được thông tin đầy đủ về thế giới thực. Dữ liệu không gian ở đây là bản đồ số liên quan trực tiếp đến các vị trí nhất định trên mặt đất [20]. Dữ liệu bảng chứa thông tin mô tả về đối tượng, là thông tin thu được từ quá trình điều tra, khảo sát.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Quy mô, mức độ phát sinh chất thải rắn y tế trên địa bàn Hà Nội

Các kết quả khảo sát về phát sinh và thu gom chất thải y tế tại Hà Nội được tổng hợp và xem xét với các thông tin liên quan. Lượng chất thải y tế của Hà Nội năm 2021 và dự báo đến năm 2030 được thể hiện trong Bảng 1. Theo đó, lượng chất thải y tế nguy hại chiếm khoảng 30%. Lượng chất thải y tế thu gom chiếm 75% lượng phát sinh. Lượng chất thải y tế đến năm 2030 được dự báo dựa trên Quy hoạch phát triển hệ thống y tế Hà Nội đến năm 2020, định

hướng đến năm 2030 và Quy hoạch xử lý chất thải rắn thành phố Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Tỷ lệ thu gom chất thải tế theo kế hoạch là 100% vào năm 2030.

Bảng 1. Lượng chất thải y tế tại Hà Nội năm 2021 và dự báo đến năm 2030.

Loại chất thải y tế	Lượng chất thải y tế (kg/ngày)			
	2021		Dự báo đến năm 2030	
	Lượng phát sinh	Thu gom	Lượng phát sinh	Thu gom
Chất thải rắn y tế nguy hại	8.448	6.336	11.099	11.099
Chất thải rắn y tế không nguy hại	19.074	14.306	25.060	25.060
Total	27.522	20.642	36.159	36.159

3.2. Lập bản đồ các cơ sở y tế

Nghiên cứu đã lập 30 bản đồ cơ sở y tế trên cơ sở tọa độ khảo sát. Cụ thể, có các cơ sở y tế thuộc các đơn vị hành chính cấp quận, huyện sau: Ba Đình, Bắc Từ Liêm, Cầu Giấy, Đống Đa, Hà Đông, Hai Bà Trưng, Hoàn Kiếm, Hoàng Mai, Long Biên, Nam Từ Liêm, Tây Hồ, Thanh Xuân, Ba Vì, Chương Mỹ, Đan Phượng, Đông Anh, Gia Lâm, Hoài Đức, Mê Linh, Mỹ Đức, Phú Xuyên, Phúc Thọ, Quốc Oai, Sóc Sơn, Thạch Thất, Thanh Oai, Thanh Trì, Thường Tín, Ứng Hòa, Sơn Tây. Các bản đồ được lập trên cơ sở phân vùng địa lý của các quận, huyện để phục vụ cho việc đề xuất các mô hình quản lý và xử lý chất thải y tế. Bảng 2 thể hiện số lượng đơn vị hành chính quận, huyện của Hà Nội. Hình 2a–2b lần lượt là hai ví dụ về bản đồ các cơ sở y tế của quận Ba Đình và Đan Phượng trong tổng số 30 bản đồ được thực hiện.

Bảng 2. Số đơn vị hành chính và số cụm cơ sở y tế đề nghị thành lập.

TT	Quận/Huyện	Phường	Xã	Thị trấn	Số cụm y tế	TT	Quận/Huyện	Phường	Xã	Thị trấn	Số cụm y tế
1	Ba Đình	14	-	-	3	16	Đông Anh	-	23	1	3
2	Bắc Từ Liêm	13	-	-	2	17	Gia Lâm	-	20	2	3
3	Cầu Giấy	8	-	-	4	18	Hoài Đức	-	19	1	2
4	Đống Đa	21	-	-	4	19	Mê Linh	-	16	2	1
5	Hà Đông	17	-	-	4	20	Mỹ Đức	-	21	1	3
6	Hai Bà Trưng	18	-	-	1	21	Phú Xuyên	-	25	2	1
7	Hoàn Kiếm	18	-	-	1	22	Phúc Thọ	-	20	1	1
8	Hoàng Mai	14	-	-	2	23	Quốc Oai	-	20	1	1
9	Long Biên	14	-	-	2	24	Sóc Sơn	-	25	1	6
10	Nam Từ Liêm	10	-	-	4	25	Thạch Thất	-	22	1	1
11	Tây Hồ	8	-	-	4	26	Thanh Oai	-	20	1	1
12	Thanh Xuân	11	-	-	2	27	Thanh Trì	-	15	1	1
13	Ba Vì	-	30	-	4	28	Thường Tín	-	28	1	1
14	Chương Mỹ	-	25	-	4	29	Ứng Hòa	-	28	1	1
15	Đan Phượng	-	15	1	2	30	Sơn Tây	9	6	-	1

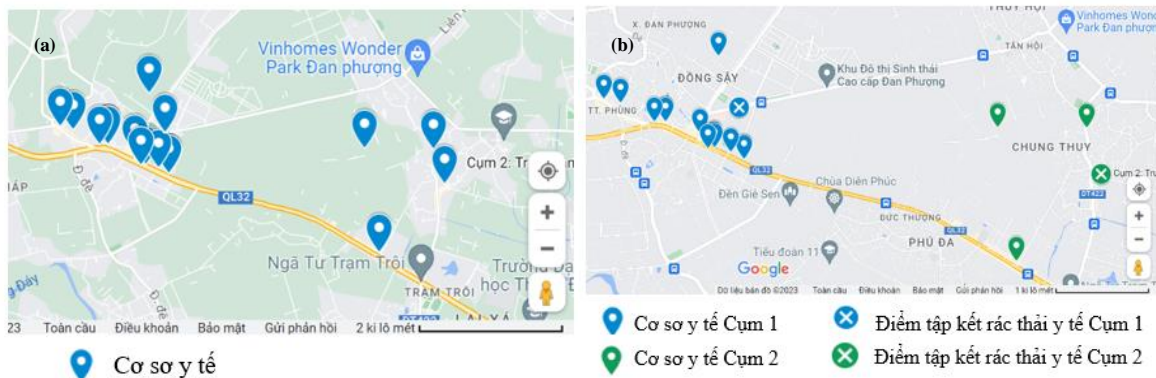


Hình 2. (a) Bản đồ các cơ sở y tế trên địa bàn Quận Ba Đình; (b) Bản đồ các điểm lưu giữ chất thải y tế theo cụm trên địa bàn Quận Ba Đình.

3.3. Lập bản đồ lưu giữ chất thải theo cụm và mô hình xử lý chất thải rắn y tế tại Hà Nội

3.3.1. Lập bản đồ tập kết rác thải theo cụm tại Hà Nội

Đề xuất lưu giữ tạm thời theo cụm và vận chuyển về xử lý tập trung cho các trung tâm y tế quận, huyện, bao gồm hệ thống trạm y tế phường và các phòng khám trực thuộc. Thông thường, mỗi trung tâm y tế quận, huyện sẽ có từ một đến một số cụm cơ sở (tùy theo khoảng cách và khối lượng phát sinh) tiếp nhận và lưu giữ tạm thời chất thải cho cụm. Cơ sở y tế được chọn làm điểm lưu giữ của cụm thường là cơ sở có đủ diện tích để bố trí khu lưu giữ chất thải y tế. Chất thải y tế sau khi được vận chuyển về điểm lưu giữ của cụm sẽ được chuyển đến đơn vị xử lý thông qua hợp đồng xử lý với Trung tâm Y tế huyện. Việc đề xuất phân vùng theo cụm cơ sở y tế dựa trên các tiêu chí sau: (i) Lượng chất thải y tế phát sinh không quá 600kg/năm/cơ sở; (ii) Không có diện tích đất để lưu giữ chất thải y tế đảm bảo theo quy định; (iii) Khoảng cách từ cơ sở vật chất đến điểm lưu trữ của cụm dưới 5 km, thuận tiện di chuyển; (iv) Chi phí thu gom và vận chuyển đến nơi xử lý quá cao. Ví dụ, đối với quận Ba Đình, các cơ sở y tế được xác định trên bản đồ Hình 2a sẽ được chia thành 03 cụm lưu trữ với 03 màu khác nhau như Hình 2b. Các cơ sở y tế của huyện Đan Phượng xác định trên bản đồ Hình 3a sẽ được chia thành 02 cụm với 02 màu khác nhau như Hình 3b. Các quận còn lại cũng được phân chia và lập bản đồ các cụm kho lưu trữ theo nguyên tắc tương tự. Số lượng cụm lưu trữ chất thải y tế ở mỗi huyện được liệt kê trong Bảng 2.



Hình 3. (a) Bản đồ các cơ sở y tế trên địa bàn Huyện Đan Phượng; (b) Bản đồ các điểm lưu giữ chất thải y tế theo cụm trên địa bàn Huyện Đan Phượng.

3.3.2. Mô hình xử lý chất thải rắn y tế tại Hà Nội

Việc xử lý chất thải y tế tại Hà Nội được áp dụng theo 03 mô hình: (i) xử lý theo cụm; (ii) xử lý tại chỗ và; (iii) xử lý tập trung. Về mô hình xử lý theo cụm, Hà Nội có 06 cụm tiếp nhận chất thải y tế từ các cơ sở y tế hoặc cụm lưu trữ và ký hợp đồng với các đơn vị có chức năng xử lý chất thải y tế. Đó là Bệnh viện Đa khoa Thanh Nhàn, Bệnh viện Đa khoa Đức Giang, Bệnh viện Đa khoa Sóc Sơn, Bệnh viện Đa khoa Hà Đông, Bệnh viện Đa khoa Phú Xuyên và Bệnh viện Đa khoa Thạch Thất. Về mô hình xử lý tại chỗ, hiện có một số bệnh viện áp dụng công nghệ đốt bên cạnh một số cơ sở áp dụng công nghệ vi sóng kết hợp hơi nước bão hòa. Ngoài ra, các bệnh viện tuyến Trung ương và 100% bệnh viện trực thuộc thành phố, trung tâm y tế quận, huyện đều xử lý chất thải y tế theo mô hình xử lý tập trung và ký hợp đồng với các đơn vị chức năng đã được cấp phép xử lý chất thải rắn y tế. Các cơ sở xử lý tập trung gồm: Công ty Môi trường đô thị Hà Nội 10 - URENCO 10; Công ty Cổ phần Môi trường Đô thị Hà Nội 13-URENCO 13; lò Nedo (công suất 75 tấn/ngày); Khu xử lý chất thải rắn Việt Hùng (huyện Đông Anh).

3.4. Kế hoạch thu gom, vận chuyển, xử lý và tiếp nhận CTRSH tại Hà Nội

Phần này tập trung mô tả các phương án quản lý chất thải y tế trên địa bàn thành phố Hà Nội.

a) Phương án thu gom, phân loại, lưu trữ

- Thu gom, phân loại: Các cơ sở y tế có trách nhiệm thu gom, phân loại chất thải y tế nguy hại theo quy định tại Thông tư liên tịch số 58/2015/TTLT-BYT-BTNMT, trong đó lưu ý:

+ Phải phân loại chất thải rắn y tế nguy hại và chất thải rắn y tế thông thường tại nơi phát sinh và tại thời điểm phát sinh.

+ Tần suất thu gom chất thải lây nhiễm từ nơi phát sinh đến nơi lưu giữ chất thải trong khuôn viên cơ sở y tế ít nhất 01 lần/ngày. Riêng đối với cơ sở y tế có lượng phát sinh chất thải lây nhiễm dưới 5 kg/ngày, tần suất thu gom chất thải lây nhiễm sắc nhọn từ nơi phát sinh đến nơi lưu giữ tạm thời hoặc xử lý, tiêu hủy ít nhất 1 lần/tuần.

- Lưu giữ: Cơ sở y tế phải bố trí khu lưu giữ chất thải y tế trong khuôn viên cơ sở y tế đáp ứng các yêu cầu sau:

+ Các cơ sở y tế xử lý chất thải y tế nguy hại đối với cụm cơ sở y tế, bệnh viện phải có khu lưu giữ chất thải y tế nguy hại đáp ứng yêu cầu kỹ thuật theo quy định.

+ Các cơ sở y tế còn lại phải có khu lưu giữ chất thải y tế nguy hại đáp ứng yêu cầu kỹ thuật theo quy định.

- Chất thải y tế nguy hại và chất thải y tế thông thường phải được để riêng tại khu lưu giữ chất thải trong khuôn viên cơ sở y tế.

- Chất thải lây nhiễm và chất thải nguy hại không lây nhiễm phải được lưu giữ riêng, trừ trường hợp các chất thải này áp dụng cùng một phương pháp xử lý.

b) Kế hoạch vận chuyển

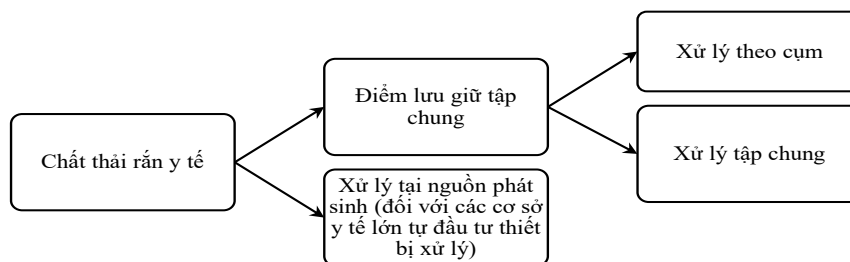
- Đối với cơ sở xử lý tại chỗ: Thực hiện vận chuyển chất thải y tế nguy hại từ nơi phát sinh đến khu lưu giữ chất thải y tế của đơn vị để xử lý đúng quy trình.

- Đối với cơ sở xử lý theo cụm: Việc vận chuyển chất thải y tế nguy hại từ các cơ sở y tế trong cụm đến cơ sở xử lý của cụm phải được thực hiện theo các hình thức sau:

+ Cơ sở y tế trong cụm thuê đơn vị bên ngoài có Giấy phép xử lý chất thải nguy hại hoặc Giấy phép hành nghề quản lý chất thải nguy hại để vận chuyển chất thải của cơ sở y tế về cơ sở xử lý cho cụm.

+ Các cơ sở y tế trong cụm tự vận chuyển chất thải y tế nguy hại của mình đến cơ sở xử lý cho cụm. Trong đó, các cơ sở y tế trong cụm hoặc đơn vị được thuê vận chuyển chất thải y tế nguy hại sử dụng xe tải thùng kín hoặc xe cách nhiệt chuyên dụng để vận chuyển chất thải rắn y tế nguy hại từ cơ sở của mình đến cơ sở xử lý của cụm.

Hình 4 thể hiện dòng chất thải rắn y tế tại Hà Nội. Đây cũng là phương án quản lý tổng thể chất thải rắn y tế của Hà Nội.



Hình 4. Sơ đồ dòng chất thải y tế tại Hà Nội.

4. Kết luận

Trên cơ sở điều tra và thống kê tổng thể về tình hình phát sinh, thu gom, quản lý và xử lý chất thải y tế tại Hà Nội, nghiên cứu đã lập bản đồ các cơ sở y tế dựa trên thông tin điều tra. Căn cứ vào khối lượng phát sinh, cự ly vận chuyển, công suất, công nghệ xử lý, chi phí xử lý..., nghiên cứu đã phân vùng, đề xuất các cụm lưu giữ chất thải và phương án thu gom, vận chuyển, xử lý chất thải y tế. Kết quả của nghiên cứu có thể giúp xây dựng kế hoạch thu gom, vận chuyển và xử lý chất thải y tế trên địa bàn thành phố Hà Nội để trình UBND thành phố xem xét, phê duyệt.

Đóng góp của tác giả: Phương pháp luận, Điều tra, Thu thập và xử lý số liệu, giám sát: T.T.C.; Thu thập và xử lý số liệu: Đ.Q.H., N.T.T.H.; Tất cả các tác giả đã đọc và đóng góp cho bản thảo.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Chi Cục Bảo vệ Môi trường Hà Nội theo dự án số 1811/2021/HDVC-CCBVMT.

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. WHO. The world health report: health systems: improving performance. World Health Organization, 2000.
2. Windfeld, E.S.; Brooks, M.S.L. Medical waste management - A review. *J. Environ. Manage.* **2015**, *163*, 98–108.
3. Cheng, Y.W.; Sung, F.C.; Yang, Y.; Lo, Y.H.; Chung, Y.T.; Li, K.C. Medical waste production at hospitals and associated factors. *Waste Manage.* **2009**, *29(1)*, 440–444.
4. Zamparas, M.; Kapsalis, V.C.; Kyriakopoulos, G.L.; Aravossis, K.G.; Kanteraki, A.E.; Vantarakis, A.; Kalavrouziotis, I.K. Medical waste management and environmental assessment in the Rio university hospital, western Greece. *Sustain. Chem. Pharm.* **2019**, *13*, 100163.
5. Marinković, N.; Vitale, K.; Holcer, N.J.; Džakula, A.; Pavić, T. Management of hazardous medical waste in Croatia. *Waste Manage.* **2008**, *28(6)*, 1049–1056.
6. Abor, P.A. Medical waste management practices in a southern African hospital. *J. Appl. Sci. Environ. Manag.* **2007**, *11(3)*, 91–96.
7. Zafar, S. Medical waste management in developing countries. <https://www.bioenergyconsult.com/medical-waste-management/>. Accessed on May 16, 2022.
8. Chen, C.; Chen, J.; Fang, R.; Ye, F.; Yang, Z.; Wang, Z.; Shi, F.; Tan, W. What medical waste management system may cope with COVID-19 pandemic: lessons from Wuhan. *Resour. Conserv. Recycl.* **2021**, *170*, 105600.
9. Korkmazer, C.; Aktar Demirtaş, E.; Erol, D. Selection of disposal contractor by multi criteria decision making methods. *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.* **2016**, *22(4)*, 305–313.
10. Manga, V.E.; Forton, O.T.; Mofor, L.A.; Woodard, R. Health care waste management in Cameroon: a case study from the Southwestern Region. *Resour. Conserv. Recycl.* **2011**, *57*, 108–116.
11. Liu, H.C.; Wu, J.; Li, P. Assessment of health-care waste disposal methods using a VIKOR-based fuzzy multi-criteria decision-making method. *Waste Manage.* **2013**, *33(12)*, 2744–2751.
12. Azizkhani, N.A.; Gholami, S.; Yusif, S.; Moosavi, S.; Miri, S.F.; Kalhor, R. Comparison of health-care waste management in urban and rural areas in Iran: application of multi-criteria decision making method. *Health Scope* **2021**, *10(2)*, e113282.
13. Chartier, Y. World Health Organization. Safe management of wastes from health-care activities; Nonserial Publication; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2014.
14. Arab, M.; Rouhollah Askari, B.; Tajvar, M.; Pourreza, A.; Omrani, G.; Mahmoudi, M. The assessment of hospital waste management: A case study in Tehran. *Waste Manag. Res.* **2008**, *26*, 304–308.

15. Wafula, S.T.; Musiime, J.; Oporia, F. Health care waste management among health workers and associated factors in primary health care facilities in Kampala city, Uganda: A cross-sectional study. *BMC Public Health* **2019**, *19*, 203.
16. General Statistics Office of Vietnam. Statistical Yearbook of Vietnam. Statistic Publisher, 2020.
17. Hanoi Department of Health. Annual health activity report of Hanoi city, 2020.
18. Lan, N.M.; Tiên, L.C. Hiện trạng quản lý chất thải rắn y tế tại Bệnh viện 71 Trung ương, Thanh Hóa. *Tap chí môi trường, Chuyên đề II*, 2021.
19. DeMers, M.N. Fundamentals of Geographic Information Systems (2nd Ed.) Wiley, 2000.
20. Burrough, P.A.; McDonnell, R.A.; Lloyd, C.D. Principles of geographical information systems, Oxford University Press, 3rd Edition, 2015.

Studying the current situation to plan the collection, transportation, and treatment of medical solid waste in Hanoi City

Tran Thanh Chi^{1*}, Dinh Quang Hung¹, Nguyen Thi Thu Huong¹

¹ School of Environmental Science and Technology, Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam; chi.tranthanh@hust.edu.vn; hung.dinhquang@hust.edu.vn; huong.nguyenthithu@hust.edu.vn

Abstract: The study used a survey method to assess the scale and level of medical solid waste generation at hospitals/health facilities in Hanoi city, thereby determining the plan of collection, transportation and treatment. Currently, in Hanoi City, there are a total of about 3,676 medical facilities, including: central medical facilities; city-level medical facilities; health facilities at district/district/town level; commune/ward/town health stations and private medical facilities. According to statistics, the total amount of medical waste generated in the city is about 27,522 kg.day⁻¹; in which hazardous medical waste is about 8,448 kg.day⁻¹ (about 30%), non-hazardous solid waste is about 19,074 kg.day⁻¹. The study proposed a plan for collection, transportation, and treatment in several ways: on-site treatment model; cluster processing model; centralized processing model. The proposed plan is based on the generated volume, transportation distance, capacity, treatment technology, treatment cost, etc. The completed plan can help improve the efficiency of medical solid waste management in Hanoi.

Keywords: Medical solid waste; Hospitals/health facilities; Collection; Transportation; Treatment.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu đánh giá xu thế và mức độ biến đổi nhiệt độ cực trị tỉnh Khánh Hòa giai đoạn 1981–2020

Phạm Thị Minh^{1*}, Lê Thị Mai Liên², Nguyễn Thị Hằng³, Trần Thị Hồng Tường⁴

¹ Khoa Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM; minhpt201@gmail.com

² Sinh viên Khoa Khí tượng Thủy văn và Biến đổi Khí hậu, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM; halinhvtml@gmail.com

³ Khoa Đại cương, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM; hang.nguyen687@gmail.com

⁴ Khoa hệ thống thông tin và Viễn thám; tthtuong@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: minhpt201@gmail.com; Tel: +84–936069249

Ban Biên tập nhận bài: 5/5/2023; Ngày phản biện xong: 20/6/2023; Ngày đăng bài: 25/6/2023

Tóm tắt: Trong bài báo này tác giả sử dụng số liệu trong 40 năm qua (1981-2020) về nhiệt độ cực trị của 02 trạm khí tượng cơ bản: Nha Trang, Cam Ranh để đánh giá xu thế đổi nhiệt độ cực trị của tỉnh Khánh Hòa. Kết quả cho thấy xu thế biến đổi nhiệt độ cực trị có tốc độ tăng giảm khác nhau qua từng thời kì và có sự khác nhau giữa các khu vực nghiên cứu. Nhiệt độ tối cao tuyệt đối tại trạm Cam Ranh có tốc độ tăng nhanh trong giai đoạn 2001-2020, tốc độ tăng xấp xỉ $+0,24^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$, gấp 2,0 lần tốc độ tăng của trạm Nha Trang (xấp xỉ $+0,12^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$). Nhiệt độ tối thấp tuyệt đối tăng nhưng không có sự chênh lệch nhiều giữa các trạm, đều tăng nhanh với tốc độ tăng xấp xỉ $+1,0^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ trong giai đoạn hai thập kỉ gần nhất. Nhiệt độ cực tiểu tăng với tốc độ nhanh hơn so với cực đại làm cho khoảng cách chênh lệch giữa hai giá trị cực trị giảm đi, chính sự tăng lên của nhiệt độ tối thấp góp phần quan trọng trong quá trình ấm lên vì nhiệt độ tối thấp cao đồng nghĩa đêm ấm kéo dài và sẽ làm nhiệt độ cao duy trì trong thời gian dài làm ảnh hưởng tới các hiện tượng cực đoan như nắng nóng. Số ngày nắng nóng trạm Nha Trang chỉ tăng rất ít với 0,7 ngày/thập kỉ, trong khi đó trạm Cam Ranh có tốc độ tăng nhanh hơn rất nhiều với giá trị đạt 12 ngày/thập kỉ.

Từ khóa: Xu thế; Nhiệt độ cực trị; Cực trị; Cực đoan.

1. Mở đầu

Nhiệt độ cực trị bao gồm nhiệt độ tối thấp (cực tiểu) và nhiệt độ tối cao (cực đại). Những tác động của biến đổi khí hậu làm thay đổi nhiệt độ trung bình ngày và nhiệt độ cực trị đều có xu hướng tăng lên. Trong đó, nhiệt độ cực tiểu tăng nhanh, đồng nghĩa với nhiệt độ ban đêm được duy trì ở mức cao, do đó làm tăng các đợt nắng nóng, hạn hán [1]. Các Nghiên cứu trên thế giới cũng minh chứng cho điều này. Theo nghiên cứu của Dulamsuren Dashkhuu và cs 2015 chỉ ra sự gia tăng rõ rệt của ngày hè và giảm đáng kể số ngày sương giá. Và biến đổi giá trị lớn nhất của nhiệt độ tối cao ngày và giá trị nhỏ nhất của nhiệt độ tối thấp ngày ở những khu vực và vị trí địa lý khác nhau thì không giống nhau [2]. Trong khi đó nghiên cứu [3] đã sử dụng số liệu từ 49 trạm quan trắc ở Italia trong giai đoạn 1961-2004. Kết quả cho thấy, xu thế ấm xảy ra trong thời kỳ từ 1961-1981. Ngược lại, xu thế dương xảy ra rõ rệt trong thời kỳ 1981-2004, còn biên độ nhiệt độ trung bình ngày thì tăng lên trong toàn bộ thời

kỳ. Còn tác giả [4] trong nghiên cứu về đặc điểm biến đổi theo không gian và thời gian của cực trị nhiệt độ ở tỉnh Vân Nam, Trung Quốc đã sử dụng số liệu quan trắc từ 28 trạm từ 1958-2013. Kết quả chỉ ra rằng những biến đổi của nhiệt độ cực trị là thay đổi đáng kể theo cả không gian và thời gian. Tại Thailand, tác giả [5] đã phân tích xu hướng của cực trị nhiệt độ cho khu vực phía Tây (hai lưu vực sông là sông Mae Ping và Mae Klong), sử dụng dữ liệu quan trắc nhiệt độ tối thấp và nhiệt độ tối cao để tính các chỉ số cực trị. Mức độ của các xu hướng được ước tính bằng phương pháp hồi quy tuyến tính, ý nghĩa thống kê sử dụng cho giá trị P là 5% và cách kiểm chứng của Kendall-tau. Kết quả cho thấy sự gia tăng đáng kể số ngày nóng và đêm nóng, giảm đáng kể số ngày lạnh và đêm lạnh, chỉ số về thời gian nóng có xu hướng gia tăng. Tác giả [6] phân tích sự thay đổi theo không gian và thời gian của nhiệt độ cực đoan ở Serbia, thực hiện bằng cách sử dụng các nhiệt độ tối thấp và tối cao hàng ngày từ 26 trạm khí tượng trong giai đoạn 1961-2010. Giai đoạn nghiên cứu được chia thành hai giai đoạn nhỏ (1961-1980 và 1981-2010). Kết quả cho thấy nhiệt độ tối cao trung bình hàng năm có xu hướng giảm trong giai đoạn 1961-1980 và xu hướng tăng đáng kể ở tất cả các trạm trong kỳ 1981-2010, với tỷ lệ trung bình của khu vực là 0.56°C mỗi thập kỷ.

Tương tự như ở Việt Nam, việc nghiên cứu, đánh giá xu thế biến đổi nhiệt độ cũng như nhiệt độ cực trị ở hầu hết các tỉnh, thành trong cả nước đã được tiến hành với chuỗi số liệu mới nhất và được đánh giá một cách chi tiết trong nhiều tài liệu [7-14]. Kết quả của các Nghiên cứu đều chỉ ra rằng mức tăng của nhiệt độ tối cao (Tx) chậm hơn so với nhiệt độ tối thấp Tm. Trong đó, nghiên cứu xu thế biến đổi nhiệt độ cực trị ở Việt Nam trong giai đoạn 1961-2007 [1], kết quả cho thấy nhiệt độ cực tiểu tháng tăng lên trung bình gần 0,9°C/thập kỉ, trong khi nhiệt độ cực đại tháng giảm nhẹ khoảng 0,1°C/thập kỉ. Mức độ biến đổi của cực trị là không đồng nhất trên khắp Việt Nam. Sự tăng nhanh của nhiệt độ cực tiểu tháng là nguyên nhân dẫn tới gia tăng số đợt nắng nóng và hạn hán.

Như vậy, xu thế biến đổi của nhiệt độ cực trị tác động đáng kể đến các hiện tượng khí hậu cực đoan như nắng nóng và hạn hán [1-2, 4]. Ngoài ra xu thế biến đổi nhiệt độ cực trị ở những vị trí không gian và địa lý khác nhau là khác nhau [1-2, 4]. Mặt khác trong những năm gần đây, do chịu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu toàn cầu, ở Nam Trung Bộ nói chung và tỉnh Khánh Hòa nói riêng đều bị tác động và ảnh hưởng đến nền kinh tế biển và du lịch biển. Ví dụ năm 2015-2016, hoạt động mạnh mẽ của El-Nino gây nên tình trạng nắng nóng và nắng nóng gay gắt cho Trung Bộ nói chung và Khánh Hòa nói riêng, làm gia tăng mức độ hạn hán, thiếu nước sinh hoạt và sản xuất nông nghiệp nghiêm trọng cho khu vực vùng núi phía Tây và phía Nam tỉnh [15]. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp hồi quy tuyến tính để thấy được ảnh hưởng rõ hơn của BĐKH đã và đang xảy ra trên địa bàn tỉnh Khánh Hòa dựa trên chuỗi số liệu trong 40 năm qua về nhiệt độ cực trị của 02 trạm khí tượng cơ bản: Nha Trang, Cam Ranh.

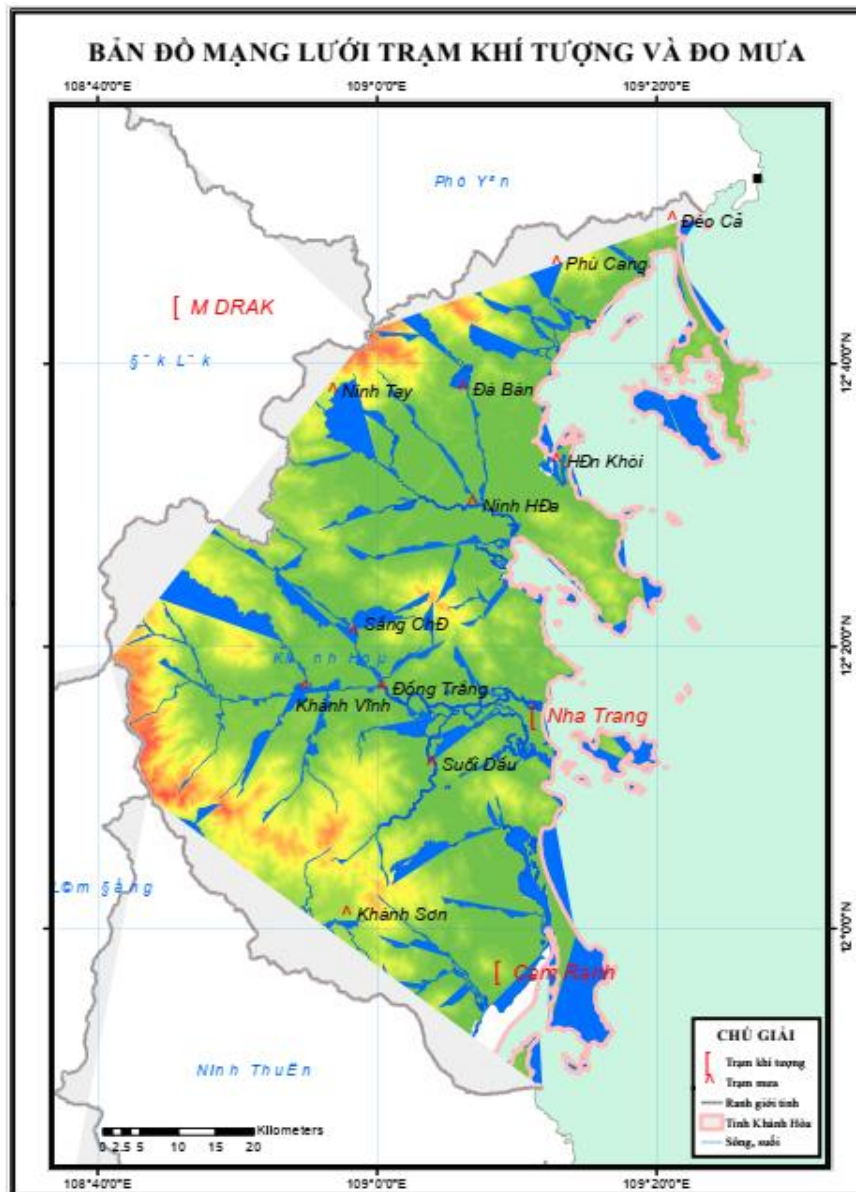
2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở dữ liệu

Số liệu được sử dụng trong nghiên cứu này là nhiệt độ không khí cực đại và cực tiểu được quan trắc từ trạm khí tượng bề mặt của tỉnh Khánh Hòa. Độ dài chuỗi số liệu được sử dụng là 40 năm kể từ 1981-2020. Sau khi thu thập số liệu, các sai số thô phát sinh trong quá trình lưu trữ và quan trắc được loại bỏ. Danh sách các trạm khí tượng lấy số liệu để tính toán, phân tích được thể hiện trong bảng 1 và hình 1.

Bảng 1. Danh sách các trạm khí tượng lấy số liệu tại tỉnh Khánh Hòa [15].

Tên Trạm	Kinh độ	Vĩ độ	Độ dài chuỗi
Nha Trang	109°12'E	12°13'N	1981-2020
Cam Ranh	109°10'E	11°57'N	1981-2020



Hình 1. Bản đồ mạng lưới trạm tỉnh Khánh Hòa [16].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phân tích đặc điểm

a) Giá trị trung bình

Chức năng của trung bình số học trong nghiên cứu khí hậu là phản ánh một cách khái quát độ lớn của các thành phần trong chuỗi, dung hòa được các dao động thăng giáng và biểu thị trạng thái trung gian hay giá trị nền của chuỗi. Để phân tích được đặc điểm nhiệt độ cực trị ở tỉnh Khánh Hòa tác giả sử dụng công thức tính giá trị trung bình trên chuỗi số liệu. Giả sử đại lượng khí hậu X có các quan trắc là $\{x_t, t=1 \dots n\}$, [17–18] trung bình số học được xác định bởi:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t \quad (1)$$

Trong đó \bar{x} là giá trị trung bình trường khí tượng; x_t giá trị trường khí tượng; n độ dài chuỗi số liệu.

b) Giá trị lớn nhất

Nhiệt độ tối cao tuyệt đối của chuỗi số liệu là giá trị lớn nhất của chuỗi quan trắc X_{Max} : $X_{Max} = \text{Max}\{X_t\}$. Trong đó t là thời gian; X_t là giá trị quan trắc.

c) Giá trị nhỏ nhất

Nhiệt độ tối thấp tuyệt đối của chuỗi số liệu là giá trị nhỏ nhất của chuỗi quan trắc X_{min} : $X_{min} = \text{Min}\{X_t\}$. Trong đó t là thời gian. X_t là giá trị quan trắc.

d) Biên độ

Biên độ của chuỗi là hiệu giữa giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của các thành phần trong chuỗi. Ký hiệu biên độ là Q_A , ta có:

$$Q_A = \max \{x_t, t=1 \dots n\} - \min \{x_t, t=1 \dots n\} = x_{max} - x_{min}$$

2.2.2. Phân tích xu thế

a) Phân tích xu thế biến đổi nhiệt độ cực trị

Đối với nhiệt độ, do ý nghĩa thực tế của nhiệt độ cực trị (nhiệt độ tối thấp tháng I - TNn và nhiệt độ tối cao tháng VII - TXx) đối với sự phát triển kinh tế xã hội của Khánh Hòa là tương đối quan trọng, nên trong phần này tác giả chỉ xem xét xu thế biến đổi nhiệt độ cực trị. Xu thế biến đổi nhiệt độ cực trị được biểu diễn bằng phương trình hồi quy tuyến tính một biến dị thường cực trị so với giá trị trung bình cực trị nhiều năm của chuỗi số liệu (40 năm) là hàm của thời gian:

$$y = A_0 + A_1t \tag{2}$$

Trong đó y là dị thường nhiệt độ cực trị; t là số thứ tự năm và A_0, A_1 là các hệ số hồi qui. Hệ số A_1 cho biết hướng dốc của đường hồi quy, nói lên xu thế biến đổi tăng hay giảm của giá trị cực trị theo thời gian. Nếu $A_1 < 0$ thì xu thế giảm, $A_1 > 0$ thì xu thế tăng nghĩa là nhiệt độ giảm hoặc tăng theo thời gian [17–18].

b. Mức độ biến đổi nhiệt độ cực trị

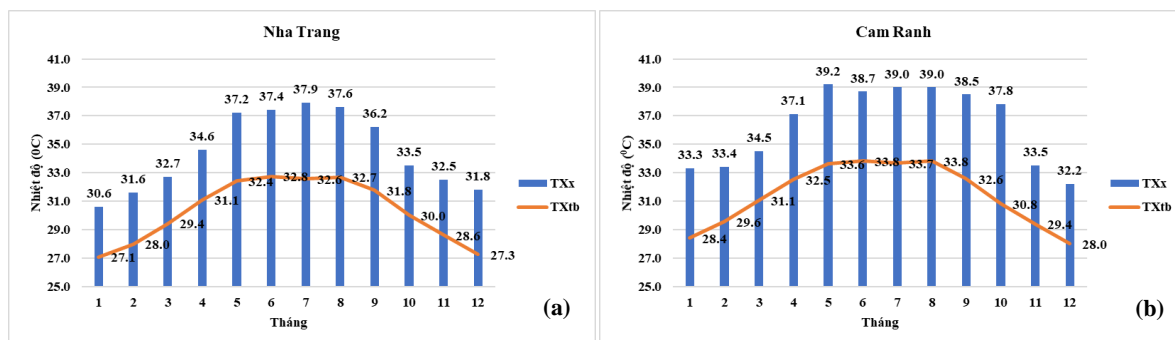
Hệ số A_1 là một dấu hiệu tốt để đánh giá đồng thời xu thế và mức độ biến đổi cực trị trên phạm vi khu vực nghiên cứu. Dấu của A_1 cho biết xu thế tăng hay giảm, trị số tuyệt đối của hệ số A_1 càng lớn nghĩa là giá trị cực trị càng biến đổi mạnh, và ngược lại. Ngoài ra, hàm mật độ xác suất của chuẩn sai cho biết biến đổi của nhiệt độ cực trị tập trung chủ yếu trong khoảng nào. Tính tần suất xảy ra trong từng khoảng chuẩn sai cách nhau 1°C, sau đó vẽ phân bố tần suất của chuẩn sai hai trạm khí tượng [17–18].

3. Kết quả và thảo luận

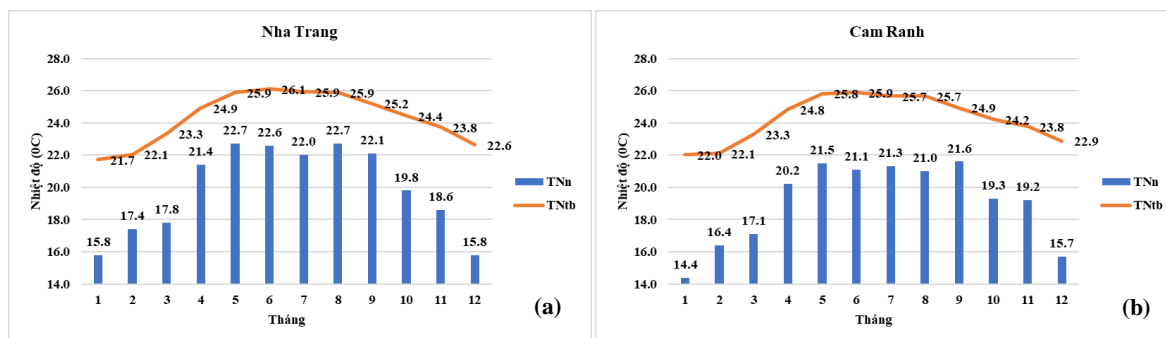
3.1. Đặc điểm và xu thế biến đổi nhiệt độ cực trị tỉnh Khánh Hòa

3.1.1. Đặc điểm nhiệt độ cực trị

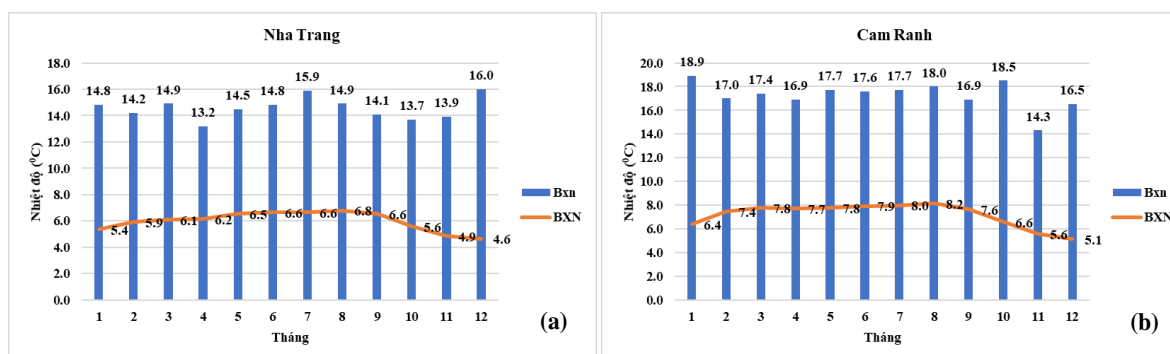
Nhiệt độ không khí là yếu tố khí hậu thể hiện rõ nhất sự ảnh hưởng của vị trí địa lý, hoàn lưu khí quyển cũng như địa hình. Nằm trong vành đai nhiệt đới Bắc bán cầu, khu vực Nam Trung Bộ nói chung và tỉnh Khánh Hòa nói riêng có một nền nhiệt độ cao và khá ổn định. Do đó, nhiệt độ cực trị của tỉnh Khánh Hòa có những đặc điểm riêng và khác biệt trong vùng.



Hình 2. Biến trình tháng của TXx và TXtb trạm Nha Trang (a) và Cam Ranh (b) giai đoạn 1981-2020.



Hình 3. Biến trình tháng của TNn và TN_{tb} trạm Nha Trang (a) và Cam Ranh (b) giai đoạn 1981-2020.



Hình 4. Biến trình tháng Bxn và BXN trạm Nha Trang (a) và Cam Ranh (b) giai đoạn 1981-2020.

Hình 2, Hình 3 biểu diễn biến trình tháng của nhiệt độ cực trị - TXx, TNn (dạng cột) và nhiệt độ cực trị trung bình - TXtb, TNtb (dạng đường) theo từng tháng trong suốt giai đoạn nghiên cứu 1981-2020 tại hai trạm khí tượng Nha Trang và Cam Ranh. Nhìn chung, nhiệt độ cực trị tỉnh Khánh Hòa có sự biến đổi theo thời gian gồm một cực tiểu và một cực đại trong năm và có sự khác nhau giữa các khu vực trong một tỉnh.

Trong chuỗi số liệu 40 năm nghiên cứu, TXtb đều trên 27,0°C. Quá trình tăng rõ nét xảy ra từ tháng IV đến tháng IX với mức nhiệt dao động 31,1-32,8°C (Nha Trang đạt đỉnh vào tháng VI) và 32,5-33,8°C (Cam Ranh đạt đỉnh vào tháng VI hoặc VIII). Từ tháng X đến tháng III năm sau, nền nhiệt TXtb có xu hướng giảm mạnh với mức nhiệt dao động 27,1-29,4°C (Nha Trang) và 28,0-29,6°C (Cam Ranh). TXtb thấp nhất xảy ra vào tháng I với giá trị 27,1°C tại Nha Trang và 28,0°C tại Cam Ranh vào tháng XII. Nguyên nhân chủ yếu là do trong giai đoạn này, gió mùa Tây Nam hoạt động yếu dần và lui về phía xích đạo, trong khi đó hình thể thời tiết chi phối chính trong những tháng của tỉnh Khánh Hòa là rìa xa phía Nam trung tâm áp cao lạnh lục địa tăng cường mạnh từng đợt xuống phía Nam, khối không khí lạnh khô bị biến tính, mang nhiều hơi ẩm khi đi qua vùng Biển Đông rộng lớn, trời nhiều mây làm giảm nhiệt độ tối cao ban ngày [20]. Thời gian này trùng với mùa mưa của khu vực. Chênh lệch giữa TXtb Cam Ranh và TXtb Nha Trang thấp xảy ra trong các tháng mùa mưa (tháng IX-XII) dao động từ 0,7-0,8°C và cao xảy ra vào mùa khô (tháng I-VIII) dao động từ 1,1-1,6°C.

Đối với TXx (dạng cột) đều trên 30,0°C. Từ tháng V đến tháng IX, cả tỉnh đều có mức nhiệt trên 35,0°C, ghi nhận giá trị lớn nhất trong chuỗi số liệu thu thập tại trạm Nha Trang 37,9°C (Tháng VII năm 2015) thấp hơn giá trị tại trạm Cam Ranh 39,2°C (Tháng V năm 2002). Tháng XI đến tháng III năm sau, TXx có xu hướng giảm nhanh và nhiệt độ không vượt quá 35,0°C trên toàn tỉnh. Riêng trong tháng IV và tháng X, tại Cam Ranh có thể nhiệt độ tối cao tuyệt đối lên tới 37,0°C, trong khi đó nhiệt độ 2 tháng này trạm Nha Trang chỉ dao động 33,5-34,6°C. Chênh lệch nhiệt độ TXx từng tháng giữa Cam Ranh và Nha Trang thấp nhất chỉ 0,40C (tháng XII) và cao nhất 4,3°C (tháng X). Điều này cho thấy sự phân bố theo không gian không đồng đều của nhiệt độ tối cao tuyệt đối trong tỉnh. Trong thời gian từ tháng IV đến tháng IX, khu vực trạm Cam Ranh chịu ảnh hưởng mạnh mẽ của gió mùa Tây Nam

gây hiệu ứng Phơn trong khi đó trạm Nha Trang có vị trí ngay sát biển nên có phần ít bị tác động hơn.

Đặc trưng thứ hai của nhiệt độ cực trị là nhiệt độ tối thấp ngày (TNn), giá trị này cũng được thống kê theo tháng và theo năm. Hình 2 và Hình 3 cho thấy nhiệt độ tối thấp tuyệt đối trung bình trong năm của TNtb (dạng đường) đều trên 21,5°C. TNtb thấp vào các tháng X đến tháng III năm sau, với nhiệt độ dao động 21,7-24,4°C (Nha Trang) và 22,0-24,2°C (Cam Ranh). TNtb thì vào các tháng IV đến IX, với nhiệt độ dao động 24,9-26,1°C (Nha Trang) và 24,8-25,9°C (Cam Ranh). Từ tháng XI đến tháng III, trạm Nha Trang có TNtb thấp hơn Cam Ranh từ -0,1 đến -0,3°C, các tháng còn lại thì trạm Nha Trang lại có TNtb cao hơn Cam Ranh từ 0,1 đến 0,3°C. Qua đó có thể thấy TNtb có giá trị chênh lệch ít hơn so với TXtb.

Giá trị nhiệt độ tối thấp tuyệt đối - TNn (dạng cột) hầu hết đều trên 15°C, giá trị thấp nhất trong giai đoạn nghiên cứu tại trạm Cam Ranh 14,4°C và trạm Nha Trang 15,8°C đều xảy ra vào tháng I, tháng hoạt động mạnh mẽ của gió mùa mùa đông. Vào các tháng từ XII đến tháng III năm sau, TNn của cả hai trạm đều dưới 18,0°C (nguyên nhân không phải do ảnh hưởng trực tiếp của không khí lạnh mà chủ yếu là đến từ yếu tố địa phương khi ban ngày bầu trời ít mây đến quang mây, mặt đất hấp thụ nhiệt sau đó phát xạ nhiệt mạnh vào ban đêm, làm nhiệt độ giảm sâu). Các tháng sau đó TNn tăng dần, đạt cực đại tại Cam Ranh là 21,6°C (tháng IX) và 22,7°C tại Nha Trang (tháng V hoặc VIII). Sự chênh lệch TNn giữa trạm Nha Trang - Cam Ranh cả năm luôn dao động từ 0,1-1,7°C, riêng tháng XI trạm Nha Trang lại thấp hơn Cam Ranh 0,6°C.

Trong giai đoạn từ tháng V đến tháng IX, tại hai trạm khí tượng đều xuất hiện một cực tiểu phụ của TNn xảy ra vào tháng VI hoặc VII (22,0°C và 21,1°C - giá trị này không thấp bằng các tháng cao điểm hoạt động của áp cao lạnh lục địa tăng cường mạnh), nguyên nhân dẫn đến hiện tượng giảm TNn giai đoạn này là do khu vực chịu ảnh hưởng mạnh của gió mùa Tây Nam, không khí mang theo nhiều hơi ẩm từ Vịnh Bengal thổi về phía Việt Nam, mây đối lưu phát triển mạnh sau buổi chiều, và gây mưa rào và dông vào chiều tối cho đến đêm làm Tn giảm.

Hiệu giữa giá trị tối cao và giá trị tối thấp của nhiệt độ hàng ngày gọi là biên độ nhiệt ngày. Biên độ ngày chịu tác động mạnh của độ che phủ mây trên bầu trời, vào những ngày quang mây, bức xạ Mặt Trời ban ngày lớn làm cho nhiệt độ tối cao trở nên lớn hơn, cùng với sự phát xạ vào ban đêm cũng lớn làm cho nhiệt độ tối thấp nhỏ hơn, kết quả biên độ nhiệt ngày lớn. Ngược lại, khi trời nhiều mây, giá trị cực đại ban ngày thấp, giá trị cực tiểu ban đêm cao và biên độ nhiệt ngày nhỏ. Hình 4 biểu diễn biên độ nhiệt trung bình - Bxn (dạng đường) và biên độ nhiệt tuyệt đối - BXN (dạng cột) theo từng tháng tại trạm Nha Trang và Cam Ranh.

Nhìn chung, Bxn, BXN không chênh lệch nhiều giữa các tháng trong năm, lần lượt khoảng 4,6-6,8°C và 13,2-16,0°C (Nha Trang); và 5,1-8,2°C và 14,3-18,9°C (Cam Ranh). Trạm Cam Ranh có Bxn và BXN cao hơn Nha Trang lần lượt từ 0,5-1,4°C và 0,9-2,9°C. Nguyên nhân chủ yếu dẫn tới sự chênh lệch nhiệt độ là do địa hình phức tạp, tiếp giáp với biển và núi.

3.1.2. Xu thế biến đổi nhiệt độ cực trị

Trong phần này tác giả xem xét xu thế biến đổi nhiệt độ tối thấp tuyệt đối (TNn) xảy ra vào tháng I; và xu thế biến đổi nhiệt độ tối cao tuyệt đối (TXx) xảy ra vào tháng VII. Trong đó xu thế biến đổi của nhiệt độ cực trị được biểu diễn bằng phương trình hồi quy của dị thường của TXx và TNn so với trung bình nhiều năm của chuỗi số liệu là hàm của thời gian. Đường xu thế được nghiên cứu trong các giai đoạn 1981-2020, 1981-2000, 2001-2020 sẽ được vẽ cho hai trạm khí tượng Nha Trang, Cam Ranh và toàn tỉnh.

Trong suốt giai đoạn 1981-2020, tại trạm Nha Trang, Cam Ranh và toàn tỉnh của TXx có xu hướng tăng lần lượt là +0,12°C/thập kỷ, +0,24°C/thập kỷ và +0,18°C/thập kỷ; TNn lần lượt là +0,61°C/thập kỷ, +0,44°C/thập kỷ và +0,52°C/thập kỷ. Qua đó cho thấy giá trị TNn

có xu thế tăng mạnh hơn so với TXx. Tốc độ tăng của TNn so với TXx tại trạm Nha Trang cao gấp 5,2 lần, trạm Cam Ranh gần gấp 2 lần và tổng thể toàn tỉnh TNn tăng nhanh gấp 3 lần TXx. Tốc độ tăng TXx và TNn còn có sự khác nhau giữa hai trạm. Đối với TXx, tại trạm Cam Ranh tăng nhanh gấp 2 lần trạm Nha Trang, trong khi đó đối với TNn, tại trạm Nha Trang lại có tốc độ tăng nhanh hơn 1,4 lần trạm Cam Ranh.

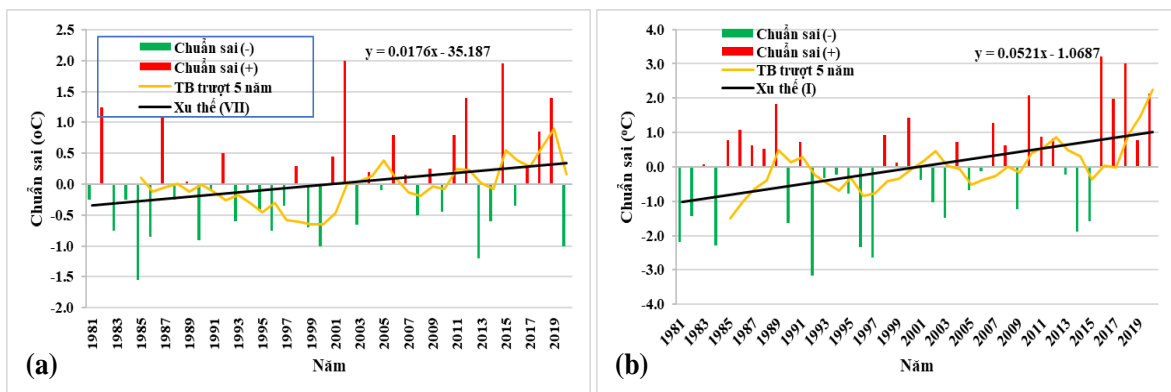
Hình 5 đến Hình 10 biểu diễn xu thế biến đổi của chuẩn sai TXx, TNn xét trong thời kỳ ngắn 1981-2000 và 2001-2020. Tại trạm Nha Trang, trong giai đoạn 1981-2000 nhiệt độ TXx có xu hướng giảm $-0,63^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ và tăng $+0,21^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ trong giai đoạn 2001-2020, tốc độ tăng bằng một phần ba lần tốc độ giảm. TNn cả hai giai đoạn đều tăng mạnh với tốc độ lần lượt là $0,9^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ và $1,0^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$. Trong khi đó, tại trạm Cam Ranh TXx giai đoạn đầu tăng $0,2^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$, sau đó có xu hướng giảm nhẹ $-0,01^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$, tốc độ tăng gần gấp 16 lần tốc độ giảm. TNn trong giai đoạn đầu giảm $-0,45^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ và tăng mạnh ở giai đoạn sau với tốc độ $+0,96^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$. Xét cho toàn tỉnh, tốc độ biến đổi toàn tỉnh của TXx trong giai đoạn đầu là giảm $-0,21^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$, tốc độ giảm cao hơn gấp 2 lần tốc độ tăng giai đoạn sau chỉ đạt $+0,10^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$. TNn tăng trong cả hai giai đoạn nghiên cứu, giai đoạn sau gấp 5 lần giai đoạn trước từ $+0,22^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ lên $+0,98^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$.

Giữa hai trạm khí tượng cũng có sự tăng giảm TXx, TNn không đồng đều từng giai đoạn. Đối với TXx, giai đoạn đầu trạm Nha Trang giảm $-0,63^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ trong khi trạm Cam Ranh tăng $+0,21^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$, tuy nhiên sang đến giai đoạn sau thì TXx trạm Cam Ranh lại giảm nhẹ $-0,01^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ và còn trạm Nha Trang tăng $+0,21^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$. Đối với TNn thì giai đoạn đầu tại trạm Nha Trang tăng mạnh $+0,89^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$, trong khi trạm Cam Ranh giảm $-0,45^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$. Đến giai đoạn sau, cả hai trạm đều có tốc độ tăng tương tự nhau lần lượt là $+1,0^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ (Nha Trang) và $+0,98^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ (Cam Ranh).

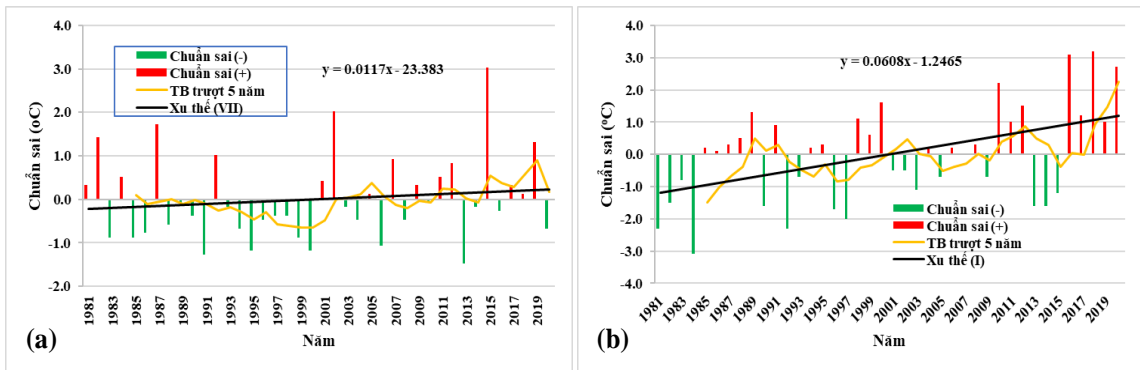
Kết quả xu thế biến đổi có thể được tóm tắt trong bảng 2. Xét giai đoạn 1981-2000, cho thấy nhiệt độ tối thấp đều có xu thế tăng ngoại trừ trạm Cam Ranh. Còn TXx có xu thế giảm hoặc tăng nhẹ. Đối với giai đoạn 2001-2020, xu thế biến đổi TNn tăng mạnh còn TXx có xu thế giảm hoặc tăng nhẹ. Đối với cả giai đoạn, 1981-2020, xu thế biến đổi của TXx tăng nhẹ diễn ra trong toàn tỉnh và trong cả 2 trạm Nha Trang và Cam Ranh, còn TNn có xu thế tăng với tốc độ tăng lớn hơn gấp 2 đến 3 lần so với tốc độ tăng của TXx. Như vậy có thể thấy, ngưỡng nhiệt độ ở tỉnh Khánh Hòa nói chung và trên từng trạm nói riêng đang bị thu hẹp.

Bảng 2. Hệ số A_1 của TXx và TNn các giai đoạn nghiên cứu (Đơn vị: $^{\circ}\text{C}/\text{năm}$).

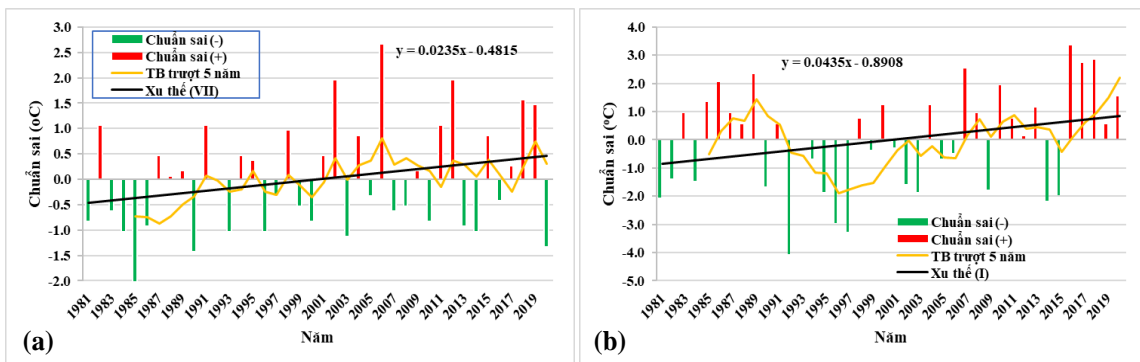
Giai đoạn	Trạm Nha Trang		Trạm Cam Ranh		Tỉnh	
	TXx	TNn	TXx	TNn	TXx	TNn
1981-2000	-0,0627	0,0891	0,0205	-0,0450	-0,0211	0,0221
2001-2020	0,0212	0,1003	-0,0013	0,0956	0,0099	0,0979
1981-2020	0,0117	0,0608	0,0235	0,0435	0,0176	0,0521



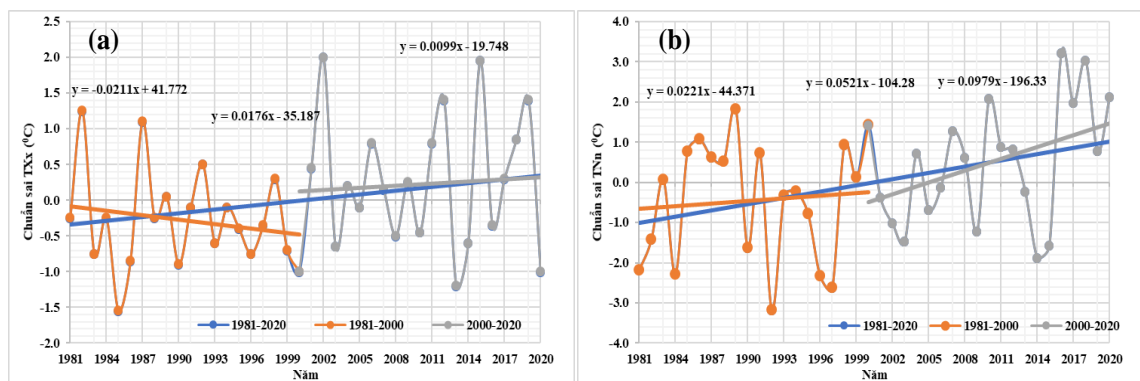
Hình 5. Chuẩn sai của TXx tháng VII (a), TNn tháng I (b) và trung bình trượt 5 năm toàn tỉnh cùng với đường xu thế tuyến tính giai đoạn 1981-2020.



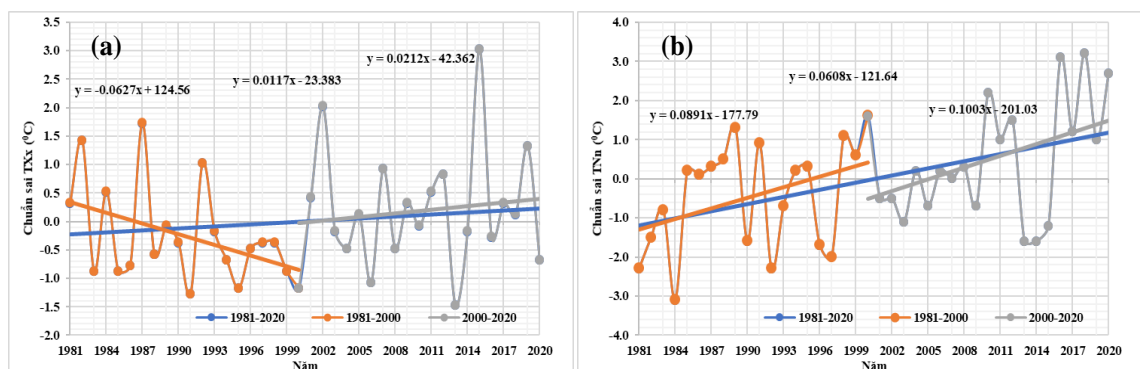
Hình 6. Chuẩn sai của TXx tháng VII (a) TNn tháng I (b) và trung bình trượt 5 năm trạm Nha Trang cùng với đường xu thế tuyến tính giai đoạn 1981-2020.



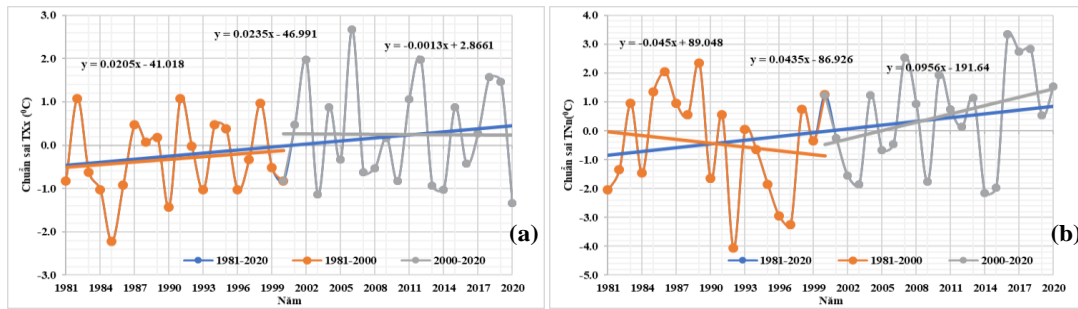
Hình 7. Chuẩn sai của TXx tháng VII (a) TNn tháng I (b) và trung bình trượt 5 năm trạm Cam Ranh cùng với đường xu thế tuyến tính giai đoạn 1981-2020.



Hình 8. Xu thế biến đổi của chuẩn sai TXx tháng VII (a), TNn tháng I (b) toàn tỉnh trong các giai đoạn 1981-2020, 1981-2000, 2001-2020.



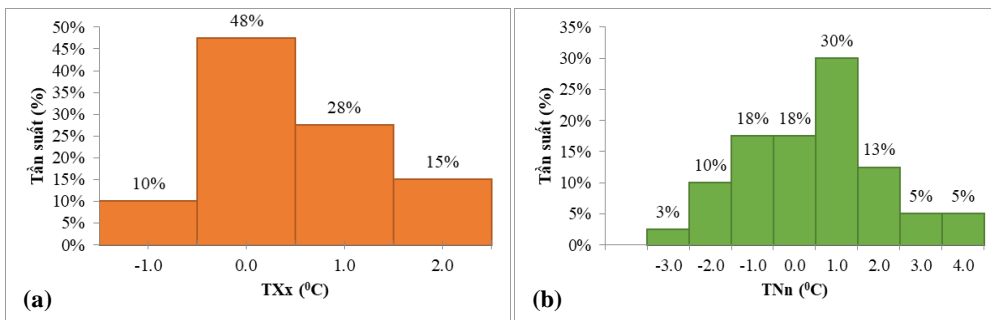
Hình 9. Xu thế biến đổi của chuẩn sai TXx tháng VII (a), TNn tháng I (b) trạm Nha Trang trong các giai đoạn 1981-2020, 1981-2000, 2001-2020.



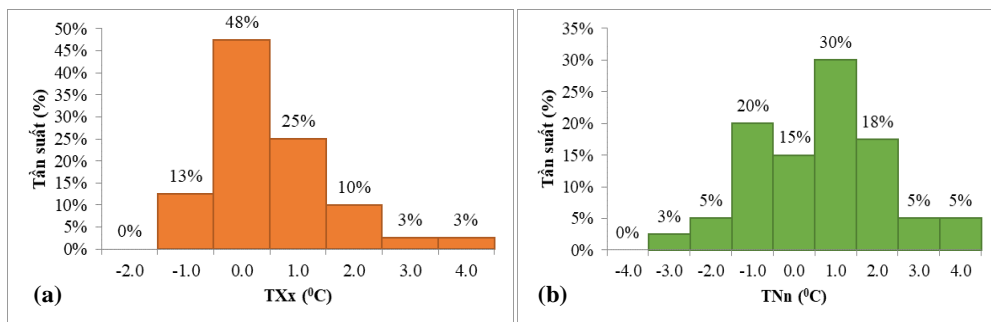
Hình 10. Xu thế biến đổi của chuẩn sai TXx tháng VII (a), TNn tháng I (b) trạm Cam Ranh trong các giai đoạn 1981-2020, 1981-2000, 2001-2020.

3.1.3 Mức độ biến đổi nhiệt độ cực trị

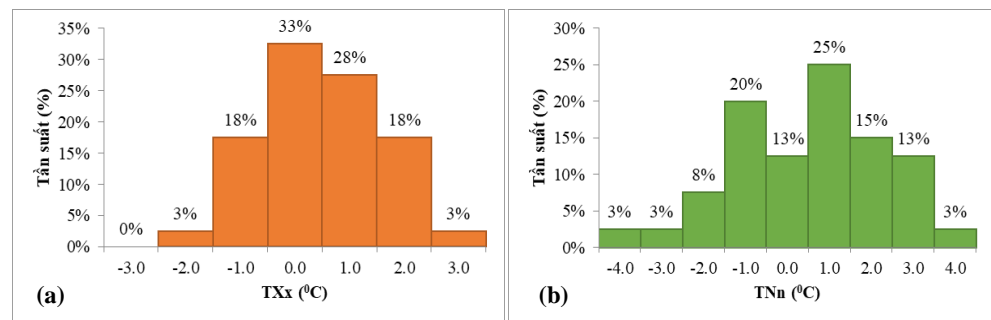
Trong phần này sẽ xem xét mức độ biến đổi khả năng có thể xảy ra trên từng khu vực của Khánh Hòa. Phân bố tần suất của chuẩn sai TNn và TXx được tính để xem xét biến đổi của nhiệt độ cực trị tập trung chủ yếu trong khoảng nào. Hình 11, 12, 13 biểu diễn phân bố tần suất của chuẩn sai TXx tháng VII và TNn tháng I của toàn tỉnh Khánh Hòa, trong đó trục hoành là các khoảng chia nhiệt độ, cách nhau 1,0°C và trục tung là giá trị tần suất (%).



Hình 11. Phân bố tần suất của chuẩn sai TXx tháng VII (a), TNn tháng I (b) toàn tỉnh trong giai đoạn 1981-2020.



Hình 12. Phân bố tần suất của chuẩn sai TXx tháng VII (a), TNn tháng I (b) trạm Nha Trang trong giai đoạn 1981-2020.



Hình 13. Phân bố tần suất của chuẩn sai TXx tháng VII (a), TNn tháng I (b) trạm Cam Ranh trong giai đoạn 1981-2020.

Nhìn chung, phân bố tần suất của TXx và TNn trên toàn tỉnh Khánh Hòa (Hình 11) là gần chuẩn. TXx thiên âm với xu hướng giảm trong khoảng [-1, 0] đạt 48%, tăng trong khoảng [0, 1] chiếm 28%, còn lại [-2, -1] và [1, 2] dao động lần lượt từ 10-15%. TNn thiên dương, tần suất tăng [0, 1] chiếm 30%, tiếp đến là tần suất giảm [-2, -1] và [-1, 0] cùng chiếm 18%, biến đổi cũng xảy ra trong khoảng [-3, -2] và [1, 2] với tần suất 10-13%. Một vài trường hợp xảy ra ngoài [2, 4] và [-4, -3] với tần suất lần lượt dao động 3-5%. Phổ biến đổi của TNn chủ yếu nằm trong khoảng [-4, 4] rộng hơn phổ của TXx chỉ nằm trong khoảng [-2, 2].

Đối với TNn xảy ra vào tháng I tại trạm Nha Trang (Hình 12) có phân bố tần suất chuẩn sai tương đối chuẩn, thiên dương. Tần suất chiếm tỉ lệ cao nhất nằm trong khoảng từ [0, 1] chiếm 30%, tiếp đến là [-2, -1] chiếm 20%, [1, 2] chiếm 18% và [-1,0] chiếm 15%. Biến đổi cũng xảy ra ngoài đoạn [-4, -2] và [2, 4] với tần suất thấp hơn chỉ chiếm 3-5%. Phân bố tần suất của TXx tháng VII đối với trạm Nha Trang là gần chuẩn, thiên âm, với xu hướng giảm trong khoảng [-1, 0] với tần suất lớn nhất 48% và xu hướng tăng [0, 1] đạt 25%. Tần suất giảm [-2, -1] đạt 13%, biến đổi cũng xảy ra tần suất tăng trong khoảng [1, 2] và [2, 3] lần lượt chiếm 10% và 6%.

Phân bố tần suất chuẩn sai của trạm Cam Ranh (Hình 13) tương đối gần chuẩn, thiên dương, với tần suất tăng [0, 1] chiếm tỉ lệ cao nhất là 25%. Tiếp đến là khả năng giảm từ [-2, -1] chiếm 20%. Tần suất tăng trong các khoảng [1, 2] và [2, 3] và giảm [-1, 0] dao động trong khoảng từ 13-15%. Biến đổi cũng xảy ra ngoài đoạn [-4, -2] và [3, 4] với tần suất nhỏ từ 3-8%. Phổ biến đổi tần suất chuẩn sai TNn tại trạm Cam Ranh lớn hơn Nha Trang. Trong khi đó, biến đổi tần suất chuẩn sai TXx tại trạm Cam Ranh có phân bố phổ chuẩn hơn Nha Trang, thiên dương, độ nhọn lớn hơn cho thấy các biến đổi của TXx tập trung hơn và thể hiện mức độ biến đổi rõ rệt hơn. Tần suất biến đổi lớn nhất 33% và 28% giảm trong khoảng [-1, 0] và tăng trong khoảng [0, 1]. Xu thế tăng [1, 2], và giảm [-2, -1] lần lượt là 18%. Ngoài ra cũng có sự biến động nhỏ nằm trong khoảng giảm từ [-3, -2] và [2, 3] với tần suất 3%.

Như vậy, trong khoảng thời gian nghiên cứu 1981-2020, trên tỉnh Khánh Hòa, TNn chủ yếu biến đổi tăng trong khoảng từ 1-2°C, do đóng góp từ trạm Nha Trang và trạm Cam Ranh. Những biến đổi nhỏ hơn 1 khá phổ biến; Những biến đổi lớn hơn 2 cũng tồn tại nhưng với tần suất nhỏ. Biến đổi cũng xảy ra ngoài đoạn [-3, 3] nhưng với tần suất nhỏ, do đóng góp của trạm Nha Trang và trạm Cam Ranh, phổ biến đổi của TNn rộng hơn phổ biến đổi của TXx. Còn TXx tháng VII trên toàn tỉnh Khánh Hòa biến đổi tăng trong khoảng 0-1°C, do sự đóng góp của cả 2 trạm Nha Trang và trạm Cam Ranh. Những biến đổi ngoài khoảng [-2, 2] không xảy ra.

3.1.4. Đánh giá đồng thời xu thế và mức độ biến đổi nhiệt độ cực trị

Để đánh giá đồng thời xu thế và mức độ biến đổi của nhiệt độ cực trị tại Khánh Hòa, hệ số A_1 (cũng là độ dốc của đường hồi quy như đã trình bày ở mục 3.1.2). Dấu của A_1 cho biết xu thế tăng hay giảm nhiệt độ và độ lớn của A_1 cho biết mức độ biến đổi. Những thông tin này kết hợp với giá trị trung bình của TNn và TXx giai đoạn 1981-2020 của hai trạm Nha Trang và Cam Ranh để biết mức độ ảnh hưởng của sự biến đổi nhiệt độ đến mỗi khu vực tỉnh Khánh Hòa.

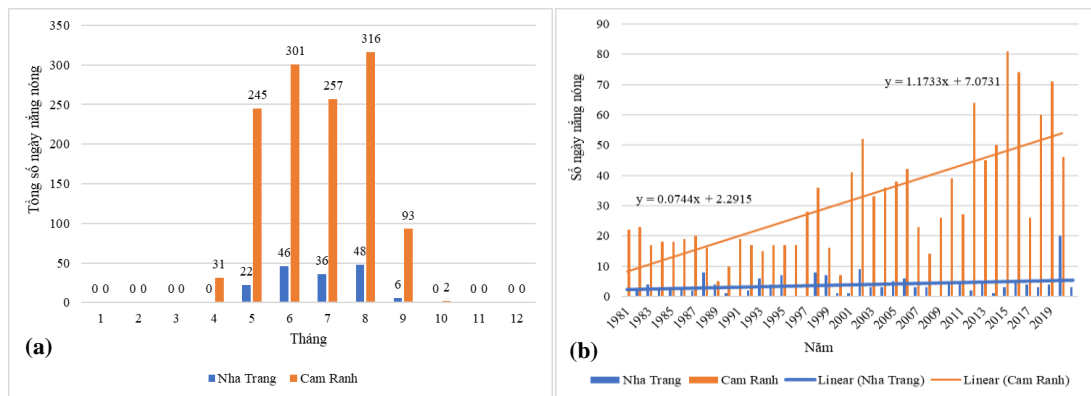
Đối với giá trị nhiệt độ tối thấp, có thể thấy khu vực trạm Cam Ranh có giá trị trung bình của TNn tháng I (22,0°C) cao hơn trạm Nha Trang (21,7°C) nhưng có hệ số A_1 trạm Cam Ranh (0,0435°C/năm) lại thấp hơn trạm Nha Trang (0,0608°C/năm), điều đó có nghĩa là những khu vực có nhiệt độ cực tiểu thấp có xu hướng ấm lên còn những khu vực cực tiểu cao có xu hướng ổn định hoặc lạnh đi. Xét trên khoảng thời gian dài, hệ thống khí hậu có xu hướng tự điều chỉnh về trạng thái cân bằng phiếm định.

Tuy nhiên, trong trường hợp nhiệt độ TXx, khu vực trạm Cam Ranh có giá trị trung bình của TXx (33,7°C) cao hơn trạm Nha Trang (32,6°C), đồng thời có hệ số A_1 trạm Cam Ranh (0,0235°C/năm) lại cao hơn so với trạm Nha Trang (0,0117°C/năm). Điều đó chứng tỏ, tại

những khu vực có nhiệt độ TXx cao nhiệt độ vẫn tiếp tục tăng. Dấu hiệu ấm lên của tỉnh Khánh Hòa phù hợp với xu thế chung của Việt Nam và trên toàn cầu.

3.2. Quan hệ giữa nhiệt độ cực trị và các hiện tượng thời tiết cực đoan

Rét đậm và rét hại là những hiện tượng thời tiết cực đoan nguy hiểm, đặc trưng cho khí hậu mùa đông miền Bắc. Theo tiêu chuẩn của Tổng cục Khí tượng và Thủy văn, rét đậm xảy ra khi nhiệt độ trung bình ngày nhỏ hơn 15,0°C và rét hại dưới 13,0°C [19]. Như đã trình bày ở mục 3.1.1, ngay cả nhiệt độ tối thấp trung bình tháng của cả hai trạm đều trên 20,0°C (Nha Trang: 21,7°C, và Cam Ranh: 22,0°C) nên không đủ điều kiện để xét tính cực đoan của hiện tượng rét đậm hay rét hại trên khu vực tỉnh Khánh Hòa.



Hình 14. Tổng số ngày nắng nóng theo tháng (a) và xu thế biến đổi số ngày nắng nóng (b) trạm Nha Trang (màu xanh) và Cam Ranh (Màu vàng) giai đoạn 1981-2020.

Nắng nóng là hiện tượng thường xảy ra trong mùa hè (từ tháng IV đến tháng IX) ở hầu khắp khu vực trên lãnh thổ Việt Nam nói chung và Khánh Hòa nói riêng. Cũng theo các tiêu chuẩn của Tổng cục Khí tượng và Thủy văn, nắng nóng xuất hiện khi nhiệt độ tối cao ban ngày lớn hơn hoặc bằng 35,0°C, nắng nóng gay gắt trên 37,0°C, nắng nóng đặc biệt gay gắt trên 39,0°C [15, 20–21]. Hình 14 mô tả tổng số ngày nắng nóng và trên mức nắng nóng tại 2 trạm khí tượng của tỉnh Khánh Hòa trong suốt 40 năm nghiên cứu, qua đó có thể thấy chỉ số trên mức nắng nóng (nắng nóng gay gắt và nắng nóng đặc biệt gay gắt) tại hai khu vực này tương đối ít, nên khi xem xét xu thế biến đổi trong tác giả chỉ đề cập đến chỉ số nhiệt độ ở mức nắng nóng. Những năm có chỉ số nhiệt độ lên mức nắng nóng đặc biệt gay gắt tại trạm Cam Ranh rơi vào những năm El Nino hoạt động mạnh như 1985, 2002, 2006, 2015, 2016.

Tổng số ngày nắng nóng theo tháng tại Khánh Hòa trong 40 năm trong chuỗi số liệu nghiên cứu được thể hiện trong hình 14a, có thể thấy sự chênh lệch lớn giữa trạm Nha Trang và Cam Ranh về cả mức độ nắng nóng, số ngày nắng nóng và thời gian xuất hiện nắng nóng. Trạm Cam Ranh có thời gian nắng nóng kéo dài từ tháng IV cho đến tháng IX, bắt đầu sớm và kết thúc muộn hơn một tháng so với trạm Nha Trang. Số ngày nắng nóng của trạm Nha Trang cũng thấp hơn rất nhiều so với trạm Cam Ranh, số ngày nắng nóng trung bình 1 năm trạm Nha Trang có khoảng gần 4 ngày, trong khi đó trạm Cam Ranh có khoảng 31 ngày. Các tháng cao điểm nắng nóng (từ tháng VI đến tháng VIII thì độ chênh lệch từ 6-7 lần), các tháng V và tháng IX lên đến 11-15 lần. Số ngày nắng nóng gay gắt trạm Cam Ranh gần gấp 13 lần trạm Nha Trang với giá trị lần lượt là 11 và 139 ngày.

Hình 14b biểu diễn xu thế biến đổi của tổng số ngày nắng nóng theo năm tại trạm Nha Trang và Cam Ranh từ năm 1981-2020, cách tính hệ số biến đổi tương tự như nhiệt độ cực trị, xu thế biến đổi của số ngày nắng nóng được biểu diễn bằng phương trình hồi quy tuyến tính một biến $y = A_0 + A_1t$. Qua đó có thể thấy rõ cả hai khu vực nghiên cứu đều có xu hướng tăng với tốc độ khác nhau, trạm Nha Trang chỉ tăng rất ít với 0,7 ngày/thập kỷ, trong khi đó trạm Cam Ranh có tốc độ tăng nhanh hơn rất nhiều với giá trị đạt 12 ngày/thập kỷ. Vào năm

2015, kỉ lục số ngày nắng nóng tại trạm Cam Ranh lên đến 81 ngày, gần 3 tháng nhiệt độ tối cao ban ngày trên $35,0^{\circ}\text{C}$, đây cũng là năm hoạt động mạnh mẽ của hiện tượng El Nino.

Như vậy, xu thế tăng nhanh của nhiệt độ tối thấp dẫn đến nền nhiệt cao và làm gia tăng hiện tượng nắng nóng trên toàn tỉnh Khánh Hòa.

4. Kết luận

Nghiên cứu sử dụng phương pháp thống kê kết hợp với phân tích xu thế trên chuỗi số liệu nhiệt độ cực trị trong 40 năm (1981-2020) của hai trạm khí tượng Nha Trang và trạm Cam Ranh trên tỉnh Khánh Hòa. Nghiên cứu đã thu được một số kết quả sau:

- Kết quả phân tích đặc điểm của nhiệt độ cực trị tỉnh Khánh Hòa cho thấy thời gian nhiệt độ tối thấp nhất thường xảy ra vào tháng I, và nhiệt độ tối cao thường xuất hiện vào tháng VII. Kết quả này khá tương đồng với điều kiện khí hậu của tỉnh Khánh Hòa [21].

- Qua phân tích xu thế của từng trạm cho thấy xu thế biến đổi của TNn và TXx trong cả giai đoạn nghiên cứu (1981-2020) đều có xu thế tăng, với tốc độ tăng của TNn lớn hơn gấp 2 đến 3 lần tốc độ tăng của TXx. Đối với các giai đoạn 20 năm, xét giai đoạn 1981-2000, cho thấy nhiệt độ tối thấp đều có xu thế tăng ngoại trừ trạm Cam Ranh. Còn TXx có xu thế giảm hoặc tăng nhẹ. Đối với giai đoạn 2001-2020, xu thế biến đổi TNn tăng mạnh còn TXx có xu thế giảm hoặc tăng nhẹ.

- Đối với mức độ biến đổi trong khoảng thời gian nghiên cứu 1981-2020, trên tỉnh Khánh Hòa, TNn chủ yếu biến đổi tăng trong khoảng từ $1-2^{\circ}\text{C}$, do đóng góp từ trạm Nha Trang và trạm Cam Ranh. Kết quả này khác biệt so với kết quả nghiên cứu của tác giả Hồ Thị Minh Hà và Phan Văn Tân 2009 khi sử dụng chuỗi số liệu từ 1961-2007, TNn của khu vực Nam Trung Bộ biến đổi tăng trong khoảng $0-1^{\circ}\text{C}$. Những biến đổi nhỏ hơn 1 khá phổ biến; Những biến đổi lớn hơn 2 cũng tồn tại nhưng với tần suất nhỏ. Biến đổi cũng xảy ra ngoài đoạn $[-3, 3]$ nhưng với tần suất nhỏ, do đóng góp của trạm Nha Trang và trạm Cam Ranh, phổ biến đổi của TNn rộng hơn phổ biến đổi của TXx. Còn TXx tháng VII trên toàn tỉnh Khánh Hòa biến đổi tăng trong khoảng $0-1^{\circ}\text{C}$, do sự đóng góp của cả 2 trạm Nha Trang và trạm Cam Ranh. Những biến đổi ngoài khoảng $[-2, 2]$ không xảy ra.

- Xu thế biến đổi số ngày nắng nóng ở Cam Ranh có xu thế tăng với tốc độ tăng nhanh hơn rất nhiều so với tốc độ của tăng tại Nha Trang với giá trị đạt 12 ngày/thập kỷ. Vào năm 2015, kỉ lục số ngày nắng nóng tại trạm Cam Ranh lên đến 81 ngày, gần 3 tháng nhiệt độ tối cao ban ngày trên $35,0^{\circ}\text{C}$, đây cũng là năm hoạt động mạnh mẽ của hiện tượng El Nino.

Như vậy, có thể nói ở tỉnh Khánh Hòa, những nơi vốn đã lạnh thì ngày một ấm lên, tương tự những nơi vốn có nhiệt độ cực đại cao thì tốc độ ấm lên chậm hơn so với những nơi có nhiệt độ cực đại thấp. Tuy nhiên, tốc độ tăng của nhiệt độ TNn thường nhanh hơn so với tốc độ tăng của TXx. Do đó, ngưỡng nhiệt độ của tỉnh Khánh Hòa đang bị thu hẹp, TNn thấp đồng nghĩa với đêm ấm kéo dài làm cho nhiệt độ duy trì ở mức cao dẫn đến các hiện tượng khí hậu cực đoan như nắng nóng.

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

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

Tài liệu tham khảo

1. Hà, H.T.M.; Tân, P.V. Xu thế và mức độ biến đổi của nhiệt độ cực trị ở Việt Nam trong giai đoạn 1961–2007. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2009**, 25(3S), 412–422.

2. Dulamsuren, D.; Jong, P.K.; Jong, A.C.; Woo-Seop, L. Long-term trends in daily temperature extremes over Mongolia. *Weather Clim. Extremes* **2015**, 8, 26–33.
3. Toreti, A.; Desiato, F. Temperature trends over Italy from 1961 to 2004. *Theor. Appl. Climatol.* **2008**, 91, 81.
4. Xu, Z.X.; Yang, X.J.; Zuo, D.P.; Chu, Q.; Liu, W.F. Spatiotemporal characteristics of extreme precipitation and temperature: A case study in Yunnan Province, China. *Proc. IAHS* **2015**, 369, 121–127.
5. Sharma, D.; Babel, M.S. Trends in extreme rainfall and temperature indices in the western Thailand. *Int. J. Climatol* **2014**, 34, 2393–2407.
6. Ruml, M.; Enike, G.; Mirjam, V.; Slavica, R.; Gordana, M.; Ana, V.; Vesna, P.; Djurdja, S. Observed changes of temperature extremes in Serbia over the period 1961–2010. *Atmos. Res.* **2017**, 183, 26–41.
7. Lành, N.V. Một số kết quả nghiên cứu về biến đổi khí hậu trên khu vực Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2007**, 560, 33–38.
8. Tân, P.V. Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu đến các yếu tố và hiện tượng khí hậu cực đoan ở Việt Nam, khả năng dự báo và giải pháp chiến lược ứng phó. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp nhà nước KC08.29/06–10. 2010.
9. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu. Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam năm 2015 được cập nhật theo lộ trình đã được xác định trong Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu.
10. Ngũ, N.Đ. Tác động của ENSO đến thời tiết, khí hậu, môi trường và kinh tế - xã hội ở Việt Nam. Hội thảo chuyên đề về Đa dạng sinh học và Biến đổi khí hậu. 2007.
11. Phùng, N.K.; Phùng, L.T.; Phùng, H.L.T.; Hoàng, T.X.; Tuấn, L.N. Xu thế biến đổi một số yếu tố khí tượng Thủy văn tại tỉnh Đồng Nai. *Tạp chí khoa học biến đổi khí hậu* **2017**, 2, 16–24.
12. Hoàng, T.X.; Tuấn, L.N. Nghiên cứu xu thế biến đổi nhiệt độ trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại Thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí khoa học đại học Sài Gòn* **2016**, 23 (48), 139–147.
13. Nam, L.H.; Tín, N.V.; Toàn, H.C.; Hoàng, T.T.; Long, P.T. Đánh giá xu thế và xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu cho tỉnh Bình Phước. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 717, 32–43.
14. Tuấn, L.N.; Tín, N.V.; Hoàng, T.T.; Long, P.T.; Phùng, N.K. Xây dựng kịch bản biến đổi nhiệt độ trong bối cảnh biến đổi khí hậu cho khu vực tỉnh Tây Ninh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 710, 58–69.
15. Đài KTTV Khu Vực Nam Trung Bộ. Đặc điểm Khí hậu Thủy văn tỉnh Khánh Hòa, Bình Định, Bình Thuận. 2001. <http://kttvntb.gov.vn>.
16. Dự án “Điều chỉnh, bổ sung quy hoạch phát triển thủy lợi tỉnh Khánh Hòa giai đoạn 2015–2025 và định hướng 2035”. Viện quy hoạch Thủy lợi. 2016.
17. Wilks, D.S. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Ithaca New York. **1997**, 59, pp. 255.
18. Tân, P.V. Phương pháp thống kê khí hậu học. Đại học Quốc Gia Hà Nội. 1999.
19. Tổng cục khí tượng Thủy văn. <http://tckttv.gov.vn/>.
20. Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Nam Trung Bộ. Báo cáo tổng kết nhiệm vụ “Đánh giá khí hậu tỉnh Khánh Hòa”. Sở Khoa học và công nghệ tỉnh Khánh Hòa, 2021.
21. Toàn, P.N.; Đắc, P.T. Khí hậu Việt Nam. *Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật Hà Nội* **1992**, 232, 201–206.

Research to assess the trend and degree of extreme temperature change in Khanh Hoa province in the period 1981–2020

Minh Thi Pham^{1*}, Lien Mai Thi Le², Hang Thi Nguyen³, Tuong Hong Thi Tran⁴

¹ Department of Meteorology, Hydrology and Climate change, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; minhpt201@gmail.com

² Student of Department of Meteorology, Hydrology and Climate change, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; halinhvtml@gmail.com

³ Department of General Science Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; hang.nguyen687@gmail.com

⁴ Department of Information Systems and Remote Sensing, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; ttthuong@hcmunre.edu.vn

Abstract: In this article, the author uses data over the past 40 years (1981-2020) on the extreme temperatures of two basic meteorological stations: Nha Trang, Cam Ranh to assess the trend of extreme temperature change in Khanh Hoa province. Hoa. The results show that the trend of extreme temperature change has a different rate of increase and decrease over time and there are differences between the study areas. The absolute maximum temperature at Cam Ranh station has a rapid increase in the period 2001-2020, the rate of increase is approximately $+0.24^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, 2.0 times higher than that of Nha Trang station (approximately $+0.12^{\circ}\text{C}/\text{decade}$). The absolute minimum temperature increased but there was not much difference between stations, both increased rapidly with an increase rate of approximately $+1.0^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ in the last two decades. The minimum temperature increases at a faster rate than the maximum, causing the difference between the two extreme values to decrease. It is the increase of the minimum temperature that plays an important role in the warming process because T_n is high. This means that warm nights will last for a long time and will cause high temperatures to remain for a long time, affecting extreme events such as heat. The number of hot days at Nha Trang station increased only very little with 0.7 days/decade, while Cam Ranh station had a much faster growth rate with a value of 12 days/decade.

Keywords: The trend of temperature; Rain; Temperature.

Bài báo khoa học

Xây dựng bản đồ vị trí bãi rác, bãi chôn lấp, đánh giá nguy cơ thất thoát rác thải nhựa thông qua dữ liệu ảnh vệ tinh có độ phân giải cao từ chương trình Copernicus

Vũ Đình Hiếu¹, Phạm Văn Hiếu^{1*}, Nguyễn Thị Thúy¹, Nguyễn Thị Diệu Thúy², Nguyễn Thị Mỹ Quỳnh², Caleb Kruse³

¹ Viện Nghiên cứu biển và hải đảo, Bộ Tài nguyên và Môi trường;

vudinhhiu@gmail.com; hieupv.env@gmail.com; thuynt34@gmail.com

² Tổ chức Quốc tế về Bảo tồn Thiên nhiên tại Việt Nam (WWF-Việt Nam);

thuy.nguyendieu@wwf.org.vn; quynh.nguyenmy@wwf.org.vn

³ Earthrise Media; caleb@earthrise.media

*Tác giả liên hệ: hieupv.env@gmail.com; Tel.: +84-986967661

Ban Biên tập nhận bài: 13/5/2023; Ngày phản biện xong: 22/6/2023; Ngày đăng bài: 25/6/2023

Tóm tắt: Dựa trên các dữ liệu ảnh vệ tinh có độ phân giải cao từ Cơ quan Vũ trụ Châu Âu, nền tảng Global Plastic Watch (GPW) đã được thiết lập nhằm theo dõi và đánh giá khả năng rò rỉ tại các bãi chôn lấp tại một số quốc gia trên thế giới. GPW sử dụng công cụ phân tích dữ liệu vệ tinh để phát hiện các bãi rác, bãi chôn lấp dựa vào hai mạng nơ-ron tích chập (*Convolutional Neural Network (CNN)*), phân tích và kết hợp các tín hiệu quang phổ, không gian và thời gian từ dữ liệu do vệ tinh Sentinel-2 thu thập và xác định được 198 bãi rác, bãi chôn lấp nằm trong 10 địa phương thuộc phạm vi Dự án Giảm thiểu Rác thải Nhựa đại dương tại Việt Nam do Tổ chức Quốc tế về Bảo tồn thiên nhiên WWF-Đức và WWF-Việt Nam tài trợ. Căn cứ vào các kết quả kiểm định, xác thực về vị trí, diện tích, mật độ dân cư, độ cao và độ dốc bãi, khoảng cách từ bãi tới dòng chảy, thủy vực, nghiên cứu đã đề xuất được tiêu chí đánh giá khả năng rò rỉ rác thải nhựa từ các bãi rác, bãi chôn lấp, kiểm định lại số liệu từ kết quả mô hình và ảnh viễn thám và xác định được 17 vị trí có nguy cơ rò rỉ rác thải nhựa ra sông và biển cao nhất tại Việt Nam.

Từ khóa: Bãi rác; Bãi chôn lấp; Rác thải nhựa; Thất thoát; Ảnh vệ tinh.

1. Mở đầu

Báo cáo của Tổ chức Hợp tác và Phát triển Kinh tế (OECD) cho thấy, 460 triệu tấn nhựa đã được sử dụng vào năm 2019, con số này tăng gần gấp đôi kể từ năm 2000 (234 triệu tấn). Tuy nhiên, chỉ 9% rác thải nhựa trên toàn thế giới được tái chế mỗi năm, trong đó, 19% được xử lý theo phương pháp thiêu hủy và gần 50% được chuyển đến các bãi chôn lấp hợp vệ sinh. 22% rác thải nhựa còn lại được xử lý tại các bãi rác không được kiểm soát, trong các bãi chôn lấp lộ thiên hoặc rò rỉ ra môi trường [1].

Tại Việt Nam, rác thải nhựa phát sinh ra môi trường chủ yếu từ nguồn chất thải rắn sinh hoạt với tỉ lệ thành phần nhựa trung bình là 12%. Khối lượng rác thải nhựa phát sinh năm 2021 tại Việt Nam khoảng 2,93 triệu tấn/năm. Khối lượng rác thải nhựa có xu thế gia tăng trong những năm gần đây (xấp xỉ 2,7 triệu tấn vào năm 2018; 2,83 triệu tấn vào năm 2019; khoảng 2,93 triệu tấn vào năm 2021). Khối lượng rác thải nhựa phát sinh ở 28 tỉnh/thành phố ven biển là khoảng 4.286 tấn/ngày (tương đương 1,56 triệu tấn/năm), so với 3.753 tấn/ngày

(tương đương 1,37 triệu tấn/năm) của các tỉnh/thành phố còn lại. Ở khu vực đô thị, rác thải nhựa phát sinh với khối lượng 4.460 tấn/ngày, tương ứng với 1,63 triệu tấn/năm. Ở khu vực nông thôn, rác thải nhựa phát sinh khoảng 3.561 tấn/ngày, tương ứng 1,3 triệu tấn/năm. Tỷ lệ rác thải nhựa được thu gom ở khu vực đô thị khá cao, nhưng lại tương đối thấp ở khu vực nông thôn. Tổng khối lượng rác thải nhựa được phân loại cho tái chế là 0,79 triệu tấn từ nguồn thu gom và khoảng 0,11 triệu tấn từ nguồn không được thu gom chính thức. Khối lượng nhựa được đưa vào tái chế xấp xỉ 0,78 triệu tấn. Tổng khối lượng rác thải nhựa không thể tái chế từ nguồn thu gom và thất thoát từ quá trình tái chế được chôn lấp hoặc xử lý phù hợp (đốt, phát điện,...) là 1,81 triệu tấn [2]. Khoảng 70% khối lượng chất thải rắn sinh hoạt được thu gom được xử lý bằng phương pháp chôn lấp với khối lượng khoảng 35.000 tấn/ngày nhưng chỉ có khoảng 20% trong số các bãi chôn lấp là bãi chôn lấp hợp vệ sinh, còn lại là các bãi chôn lấp không hợp vệ sinh hoặc các bãi tập kết chất thải cấp xã [3]. Lượng rác thải thất thoát từ đất liền đi vào môi trường các thủy vực (sông, suối, ao hồ, biển,...) ở Việt Nam năm 2022 là khoảng 0,07 triệu tấn/năm [2] thấp hơn nhiều so với công bố của tác giả [4].

Báo cáo của WorldBank [5] và tác giả [6] về kết quả giám sát rác thải tại một số bãi biển tại Việt Nam đã chỉ ra rác thải nhựa là loại chất thải phổ biến nhất được thu thập trong các cuộc khảo sát thực địa, trong đó ngư cụ và mảnh nhựa mềm đóng góp nhiều nhất. Quá trình phân hủy rác thải nhựa kích thích lớn thành vi nhựa trong môi trường biển đã trở thành một mối quan tâm về môi trường trên toàn thế giới và tác động tới hệ sinh thái và sức khỏe con người [7] do 77% rác nhựa lượng rác thải thất thoát ra biển có nguồn gốc đất liền và tập trung tại khu vực đường bờ hoặc trôi nổi trong vùng nước gần bờ [8].

Đã có các nghiên cứu trên thế giới trong đánh giá ô nhiễm rác thải nhựa trên biển đều tập trung vào phát hiện và phân loại rác thải nhựa trên biển và dự đoán các khu vực có nguy cơ ô nhiễm rác thải nhựa trên cơ sở phân tích mối quan hệ với các đặc trưng về thủy, hải văn. [9–10] đã chỉ ra rằng các chỉ số thu được từ dữ liệu Sentinel-2 đa phổ là đủ để xác định rác thải nhựa trôi nổi trên biển. Trên đất liền, sự đa dạng quang phổ của rác thải và lớp phủ khiến cho việc đưa ra các chỉ số quang phổ có thể phân biệt rác thải một cách hiệu quả trở nên khó khăn. Nghiên cứu [11] đã phát triển phương pháp phát hiện các bãi chôn lấp lớn, được quản lý ở Kuwait dựa trên sự gia tăng nhiệt độ bề mặt đất từ ảnh Landsat. Nghiên cứu [12] đã phát triển một phương pháp phân loại áp dụng với rác thải nhựa và lốp xe ở Scotland sử dụng dữ liệu Sentinel-1 và Sentinel-2.

Tại Việt Nam, nghiên cứu [13] đã sử dụng công nghệ GIS/GPS trong quan trắc rác thải nhựa khu vực dân cư ven sông Hàn, Đà Nẵng. Nghiên cứu [14] sử dụng dữ liệu ảnh Sentinel-2 để đánh giá tải lượng rác thải nhựa thất thoát ra biển tại lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn. Các bãi rác và bãi chôn lấp, tiếp nhận chất thải rắn sinh hoạt chưa được phân loại tại nguồn, có thành phần hữu cơ cao nên tính ổn định thấp, chiếm dụng diện tích đất lớn, gây ô nhiễm môi trường do mùi hôi, khí thải, nước rỉ rác, nhiều trường hợp gây ra sự cố phải xử lý phức tạp và tốn kém và sẽ bị thất thoát vào các thủy vực gây ô nhiễm nguồn nước và điếm cuối là biển và đại dương [15] nhưng số lượng và vị trí các bãi rác thải chưa được quản lý đầy đủ. Cơ sở dữ liệu về các bãi rác thải đã được xây dựng nhưng chưa được cập nhật thường xuyên và kịp thời hiện trạng của các bãi rác thải đã tồn tại cũng như các bãi rác thải phát sinh mới. Chiến lược Quốc gia về Quản lý chất thải rắn đã đặt mục tiêu thu gom, vận chuyển và xử lý 100 % chất thải ngoài hộ gia đình vào năm 2025 và 85 % chất thải của các hộ gia đình vào năm 2025 ở các khu vực đô thị. Dự kiến ưu tiên các cơ sở xử lý quy mô lớn sử dụng công nghệ hiện đại và tập trung đáng kể vào việc tái chế và nâng cấp các bãi chôn lấp để ngăn chặn các tác động môi trường và sức khỏe [3]. Do đó, cần có hệ thống thông tin thống nhất quản lý về chất thải rắn trong đó các thông tin về bãi rác, đánh giá nguy cơ thất thoát rác thải nhựa được cập nhật với phạm vi trên toàn quốc nhằm đề ra những biện pháp mang tính thực tế và bền vững, giảm thiểu rác thải nhựa thất thoát ra môi trường.

Từ năm 2019, nền tảng số Giám sát nhựa toàn cầu (*Global Plastic Waste - GPW*) đã thành lập bản đồ ô nhiễm nhựa trên thế giới theo thời gian thực sử dụng hình ảnh vệ tinh có

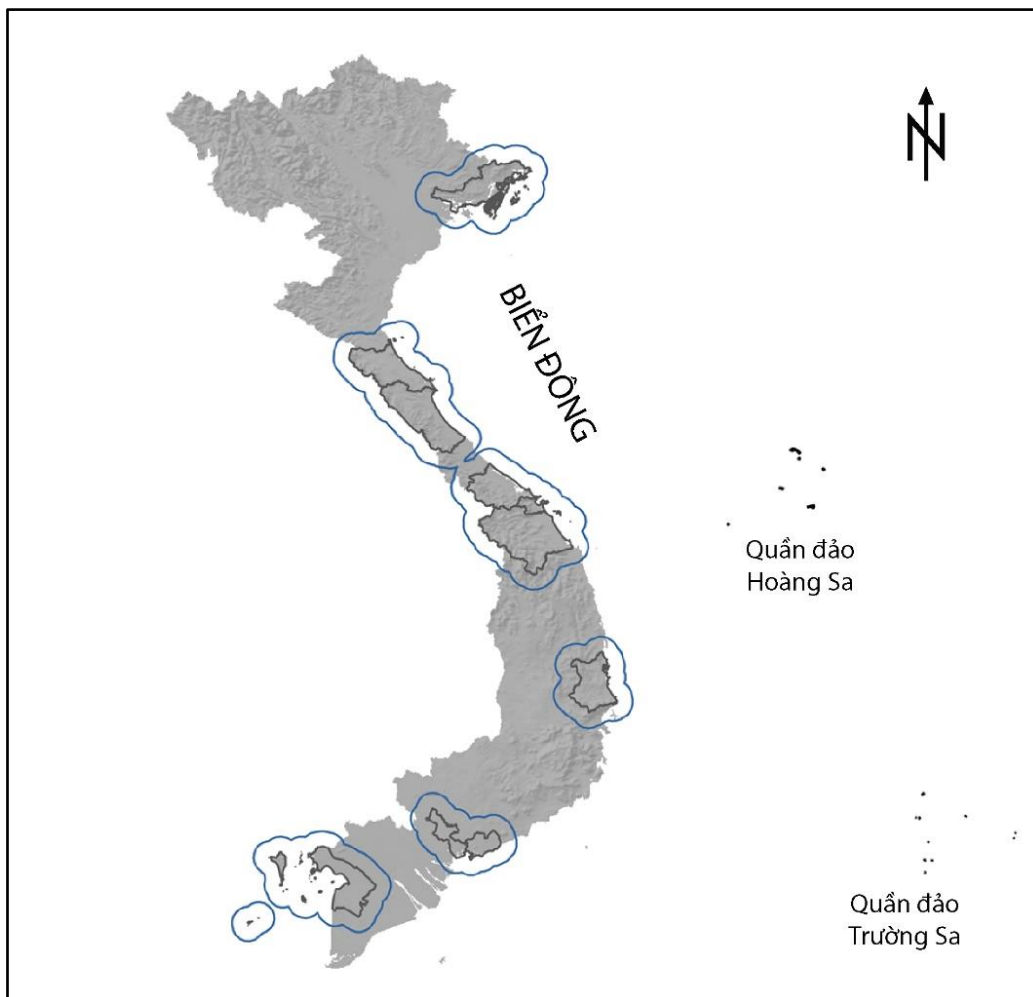
độ phân giải cao từ Cơ quan Vũ trụ Châu Âu và trí tuệ nhân tạo nhằm xác định, theo dõi biến động và đánh giá khả năng rò rỉ tại các bãi chôn lấp tại một số quốc gia trên thế giới [16]. Thông qua sự hỗ trợ của Tổ chức Quốc tế về Bảo tồn thiên nhiên WWF-Đức và WWF-Việt Nam, chúng tôi đã phối hợp với GPW thực hiện nghiên cứu “Xây dựng bản đồ vị trí bãi rác, bãi chôn lấp, đánh giá nguy cơ thất thoát rác thải nhựa thông qua dữ liệu ảnh vệ tinh có độ phân giải cao từ Chương trình Copernicus”.

2. Phạm vi và phương pháp nghiên cứu

2.1. Phạm vi nghiên cứu

GPW đã đánh giá toàn bộ các pixel ảnh Sentinel-2 10×10 m được chụp trên toàn Việt Nam ($3,30 \times 10^5 \text{ km}^2$) ở chín giai đoạn từ tháng 1 năm 2019 đến tháng 6 năm 2022 tạo ra 39,6 tỷ dự đoán ở cấp độ pixel và 110 triệu phân loại từ các bản cập nhật. Để giảm phương sai, GPW tính trung bình các đầu ra theo từng giai đoạn để đi đến đánh giá cuối cùng về sự hiện diện của rác thải.

GPW đã sử dụng mô hình giải đoán và tính toán cho cả nước, tập trung vào 10 địa phương thuộc phạm vi Dự án Giảm thiểu Rác thải Nhựa đại dương tại Việt Nam. Theo các nghiên cứu trước đây, khoảng 80% rác thải nhựa toàn cầu thất thoát ra biển qua các hệ thống sông [17], do đó, một số khu vực bãi rác nằm ngoài phạm vi nghiên cứu cũng được xem xét, đánh giá. Bên cạnh đó, rác thải có thể được vận chuyển giữa các địa phương, do đó, phạm vi áp dụng mô hình giải đoán và tính toán được mở rộng cho các địa phương thêm 0.25° (Hình 1).



Hình 1. Các địa phương thuộc phạm vi nghiên cứu (phần màu xanh là vùng lân cận, được mở rộng tính toán trong nghiên cứu).

2.1. Phương pháp nghiên cứu

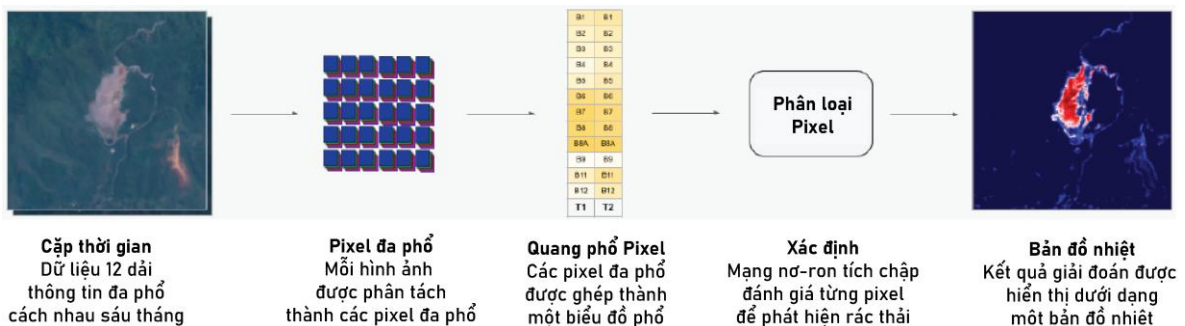
2.2.1. Phân tích và giải đoán hình ảnh

Sự đa dạng quang phổ đặc trưng của đối tượng rác thải và thổ nhưỡng đã gây khó khăn cho việc lựa chọn các chỉ số quang phổ để phân biệt rác thải và các đối tượng khác nhau. Chính vì vậy, GPW đã phát triển công cụ phân tích dữ liệu vệ tinh để phát hiện các bãi rác, bãi chôn lấp dựa vào hai mạng nơ-ron tích chập (*Convolutional Neural Network (CNN)*), phân tích và kết hợp các tín hiệu quang phổ, không gian và thời gian từ dữ liệu do vệ tinh Sentinel-2 thu thập. Dữ liệu này gồm 12 dải quang phổ, thu được ánh sáng hồng ngoại và khả kiến. Độ phân giải của dữ liệu là 10 mét trên mỗi pixel, thấp hơn đáng kể so với không ảnh có độ phân giải cao thường bao phủ 30 cm trên mỗi pixel, nhưng dữ liệu Sentinel 2 được cập nhật thường xuyên hơn là điều kiện cần thiết để xác định chính xác vị trí các bãi rác, bãi chôn lấp. Ví dụ về một bãi rác trong hình ảnh có độ phân giải cao với biên màu đỏ ở bên trái và vị trí tương tự trong dữ liệu Sentinel-2 ở hình bên phải (Hình 2).



Hình 2. So sánh dữ liệu ảnh có độ phân giải cao với biên màu đỏ (hình bên trái) và vị trí tương ứng trong dữ liệu Sentinel-2 (hình bên phải).

Trước tiên, công cụ phân tích dữ liệu sẽ đánh giá từng pixel trong khu vực được dự đoán là bãi rác, bãi chôn lấp để phân loại xem có rác thải ở đó không. Đối với mỗi pixel, CNN sẽ phân tích tất cả 12 dải thông tin quang phổ tại hai thời điểm để xác định xem có phát hiện rác thải hay không. Những dự đoán pixel này sau đó được kết hợp thành một bản đồ nhiệt, mô tả quá trình biến động diện tích bãi rác, bãi chôn lấp. Sơ đồ phân tích và xử lý ảnh được mô tả tại Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ giải đoán và phân loại hình ảnh để xác định các bãi rác, bãi chôn lấp.

Kết quả giải đoán kết hợp được đánh giá bởi hệ nơ-ron phân loại thứ cấp (*neural network classifier - NNC*) để đánh giá xem địa điểm này có phải điểm nóng về rò rỉ rác thải nhựa hay không. Đối với mỗi bãi rác, bãi chôn lấp được xác định, GPW tập hợp thêm tham số địa vật lý và môi trường bao gồm: Thông tin về loại đất (tỷ lệ phần trăm đất sét và cát, tỷ trọng và

nhóm đất (OpenLandMap), độ cao và độ dốc của địa điểm (SRTM), loại địa hình (Dạng địa hình ALOS toàn cầu), dân số lân cận (WorldPop), tốc độ gió trung bình (Bản đồ gió toàn cầu) và khoảng cách đến thủy vực và dòng chảy gần nhất được tính toán từ dữ liệu có sẵn thông qua OpenStreetMap (đây là yếu tố quan trọng nhất để đánh giá nguy cơ thất thoát rác thải).

2.2.2. Xác thực và kiểm định kết quả

Các địa điểm được xác định bởi 2 mạng CNN và NNC được tiếp tục xác thực bằng các dữ liệu có sẵn thông qua phân tích ảnh vệ tinh có độ phân giải rất cao được lưu trữ trên nền tảng Google Earth và Mapbox (có độ phân giải từ dưới 60 cm đến tối đa 5 m). Với độ phân giải này, có thể xác định được những đặc trưng thường thấy ở các bãi rác, bao gồm kết cấu công trình, màu sắc, giao thông, hoạt động của máy móc vận chuyển và xử lý rác thải, khói từ lò đốt.

Ngoài ra, có thể dựa vào dữ liệu từ tính năng xem trực tiếp từ hiện trường (Street view) để bổ sung thông tin về loại hình rác thải. Một số, nguồn dữ liệu từ Planet Planetscope và OpenStreetMap có thể được sử dụng làm nguồn thông tin bổ sung để xác thực địa điểm. Dữ liệu từ các nguồn này giúp rà soát sơ bộ về kết quả giải đoán, tuy nhiên, các dữ liệu có độ phân giải cao thường cũ hơn dữ liệu được sử dụng để phát hiện trong nghiên cứu. Do đó, một số địa điểm sẽ được đánh dấu là “chưa chắc chắn”, cần xác thực bằng các thông tin bổ sung.

Nghiên cứu đã thực hiện cập nhật thông tin bản đồ bãi rác, bãi chôn lấp tại 9 tỉnh, thành phố (Hà Tĩnh, Quảng Bình, Thừa Thiên Huế, Quảng Nam, Đà Nẵng, Phú Yên, Côn Đảo (Bà Rịa - Vũng Tàu), Long An, Kiên Giang) trong khoảng thời gian từ 20/8/2022 đến 15/9/2022. Trong đó, chỉ có Long An là địa phương không giáp biển, 08 địa phương còn lại đều có địa giới hành chính giáp biển. Các địa phương tập trung chủ yếu ở khu vực Bắc Trung Bộ (Hà Tĩnh, Quảng Bình, Thừa Thiên - Huế), Nam Trung Bộ (Quảng Nam, Đà Nẵng, Phú Yên), Đông Nam Bộ (Bà Rịa - Vũng Tàu), Tây Nam Bộ (Long An, Kiên Giang). Nguồn thông tin, dữ liệu phục vụ đánh giá hiện trạng bãi rác, bãi chôn lấp bao gồm: (1) Thông tin thu thập từ Sở Tài nguyên và Môi trường 09 tỉnh, thành phố thuộc phạm vi nghiên cứu; (2) Thông tin, dữ liệu từ các Niên giám thống kê của Tổng cục Thống kê và của cơ quan thống kê các cấp ở địa phương; (3) Báo cáo hiện trạng môi trường; Quy hoạch xử lý chất thải rắn; (4) Bản đồ hiện trạng và quy hoạch sử dụng đất của các địa phương thuộc phạm vi nghiên cứu; (5) Báo cáo Đánh giá tác động môi trường các dự án Xây dựng và vận hành bãi chôn lấp chất thải. Dữ liệu về bãi rác, bãi chôn lấp sau được thu thập và thể hiện trên bản đồ kèm theo các thông tin về đặc tính của bãi rác: vị trí, diện tích, công suất. Các số liệu mật độ dân cư, độ cao và độ dốc bãi, khoảng cách từ bãi tới khu dân cư, dòng chảy được đo đạc, tính toán trực tiếp trên bản đồ và hiệu chỉnh cùng GPW trước khi công bố kết quả trên trang web: <https://globalplasticwatch.org/map#vietnam>.

2.2.3. Đánh giá nguy cơ thất thoát rác thải nhựa

Nguy cơ thất thoát rác thải được đánh giá tổng hợp dựa trên diện tích địa điểm (càng nhỏ càng tốt), khoảng cách tới thủy vực và dòng chảy (càng xa càng tốt), dân số trong phạm vi 5 km (càng ít càng tốt), tỷ lệ đất sét (càng cao càng tốt để tránh ô nhiễm nước ngầm).

Điểm số z (khoảng cách của biến so với mức trung bình) được tính cho từng biến tại mọi địa điểm bằng cách sử dụng giá trị dân số của tất cả các địa điểm rác thải được phát hiện trên toàn cầu. Bởi vì tất cả các biến khác với % đất sét đều tuân theo phân phối log-chuẩn, nên log của giá trị được lấy trước khi tính toán điểm z. Khoảng cách đến đường thủy được bù bằng +10 mét để tránh giá trị log bằng 0.

Về mặt toán học, điểm số z được thể hiện như sau:

$$Z_{\text{variable}}(x) = \frac{\mu_{\text{variable}} - x}{\sigma_{\text{variable}}} \quad (1)$$

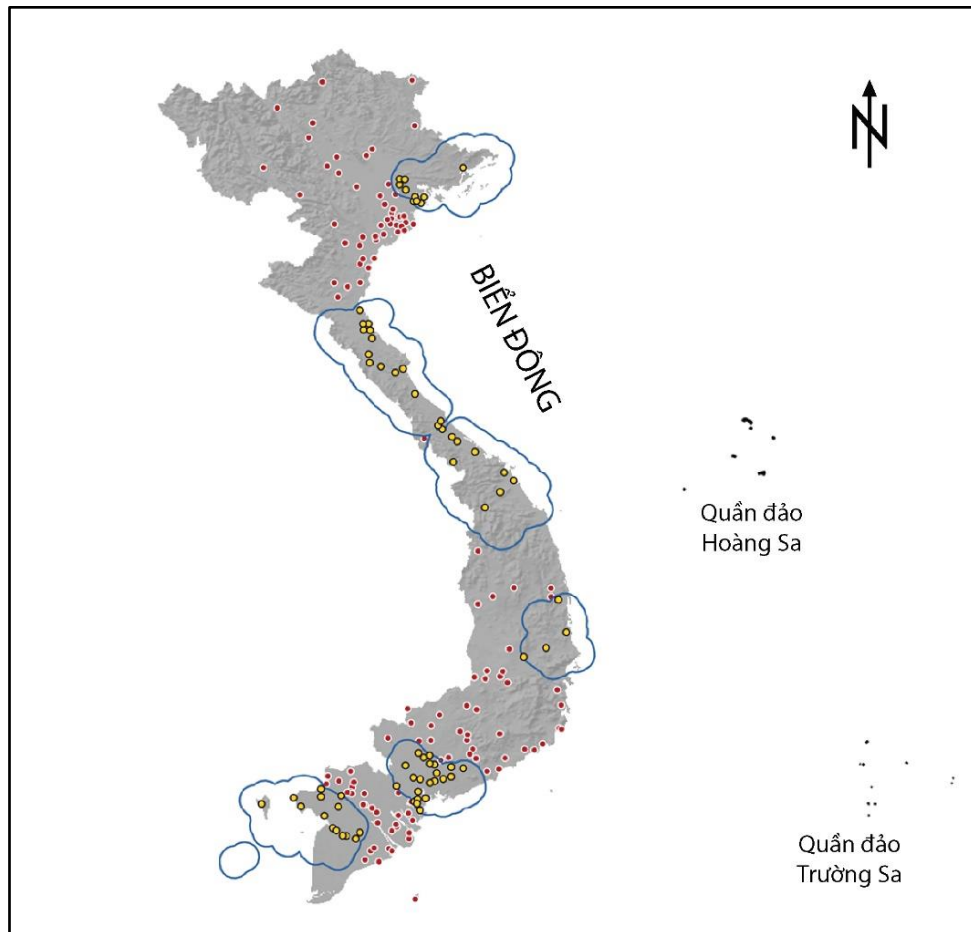
Trong đó μ biểu thị giá trị trung bình của biến và σ biểu thị độ lệch chuẩn của biến đó. Giá trị điểm z được nhân với hệ số tỷ lệ theo phương pháp được phát triển bởi [18]. Kết quả này phản ánh thực tế là bãi rác gần dòng chảy có rủi ro lớn hơn nhiều so với bãi rác nằm gần khu dân cư. Hệ số rủi ro của các bãi rác, bãi chôn lấp (risk) liên hệ với giá trị về dòng chảy, dân số và lượng rác thải theo ngày theo công thức sau:

$$\text{risk}(x) = \frac{69 \times z_{\log(\text{water.dist})}(\log(x+10)) + 41 \times z_{\text{day}}(x) - 61 \times z_{\log(\text{area})}(\log(x)) - 21 \times z_{\log(\text{population})}(\log(x))}{69 + 41 + 61 + 21} \quad (2)$$

3. Kết quả nghiên cứu

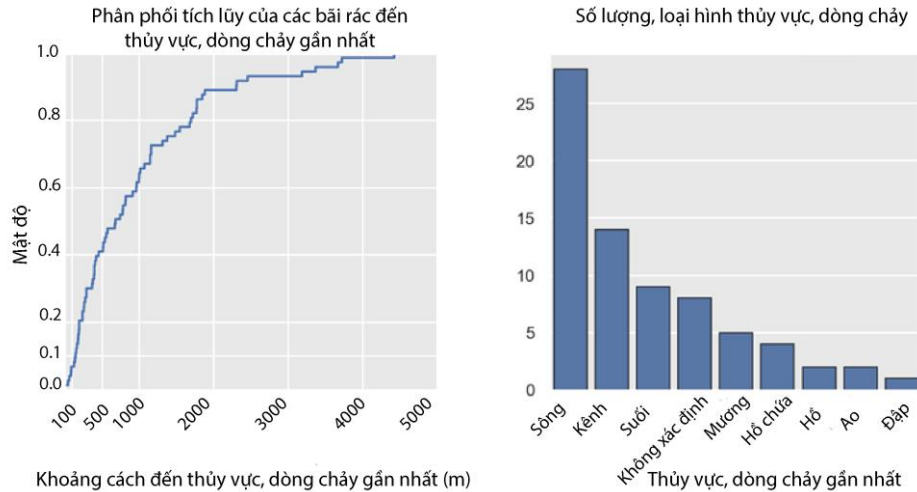
3.1. Giải đoán hình ảnh, thành lập bản đồ các bãi rác, bãi chôn lấp

GPW đã xác định được 198 bãi rác thải trên toàn quốc, trong đó có 17 địa điểm tập trung chất thải công nghiệp. Các bãi thải công nghiệp là những bãi chứa chất thải từ xây dựng, khai thác mỏ, nhà máy hoặc các hoạt động liên quan khác. 16 địa điểm không thể xác thực. 31 trong số các địa điểm được xác định nằm trong phạm vi nghiên cứu “Giảm thiểu Rác thải Nhựa đại dương tại Việt Nam” và 80 địa điểm nằm trong các địa bàn lân cận (Hình 4).



Hình 4. Kết quả giải đoán, xác định các vị trí các bãi rác, bãi chôn lấp của GPW (điểm màu vàng).

Trong số 80 địa điểm được xác định trong khu vực nghiên cứu, 18 (23%) được tìm thấy nằm cách thủy vực và dòng chảy 250 mét và 5 (6,2%) nằm cách 100 mét. Loại hình dòng chảy gần nhất đến các bãi rác, bãi chôn lấp là sông (35% địa điểm). Đáng lưu ý là tới 60% số bãi rác nằm cách thủy vực và dòng chảy chưa đến 1 km (Hình 5). Các địa điểm có nguy cơ thất thoát rác thải nhựa đã được đánh giá và xác định vị trí, chi tiết tại: <https://earthrise-media.github.io/vietnam-waste/vietnam-chips-v1.0>.

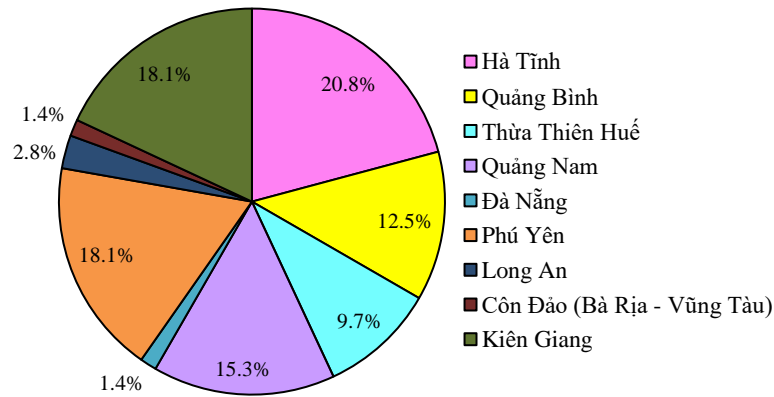


Hình 5. Phân bố tích lũy thể hiện tỷ lệ các bãi rác trong các tỉnh nghiên cứu thủy vực và dòng chảy gần nhất (hình bên trái) và loại hình dòng chảy được liệt kê trên OpenStreetMap (hình bên phải).

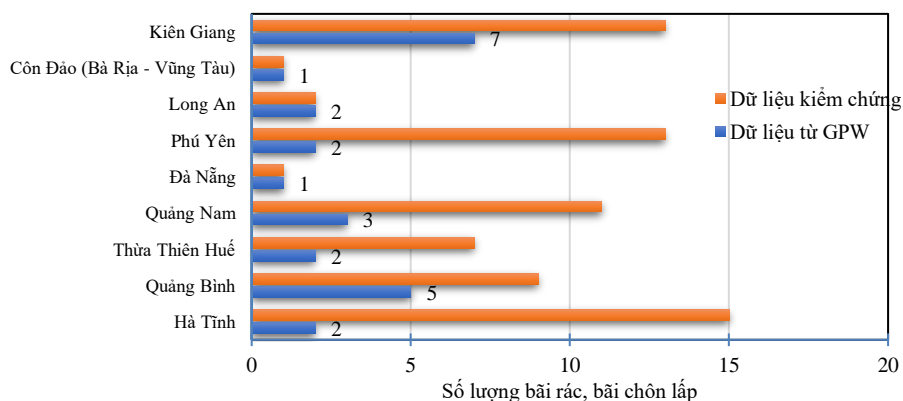
3.2. Xác thực và kiểm định kết quả

3.2.1. Số lượng và vị trí các bãi rác

Nghiên cứu đã thu thập xác định được 72 bãi rác, bãi chôn lấp nhiều hơn 47 bãi so với dữ liệu sẵn có của GPW. Dữ liệu từ một số địa phương không có sự khác biệt so với các dữ liệu từ GPW như Đà Nẵng, Côn Đảo (Bà Rịa - Vũng Tàu). Một số địa phương như Phú Yên, Hà Tĩnh có số lượng dữ liệu được thu thập trong nghiên cứu này gấp 6-7 lần so với dữ liệu của GPW. So sánh số liệu bãi rác từ nghiên cứu và GPW được thể hiện tại Hình 6 và Hình 7.



Hình 6. Tỷ lệ các cơ sở xử lý rác thải theo các địa phương khảo sát.



Hình 7. So sánh số lượng bãi rác, bãi chôn lấp được thu thập, kiểm chứng và dữ liệu từ GPW.

3.2.2. Đặc tính của bãi chôn lấp

Về diện tích, nghiên cứu đã khảo sát, thu thập và xác định được diện tích của toàn bộ 72 cơ sở xử lý rác thải. Hầu hết các bãi rác, bãi chôn lấp đều có diện tích nhỏ (dưới 1 ha) và vừa (1-20 ha), đây đều là các cơ sở xử lý rác nội bộ của địa phương, có phạm vi phục vụ ở quy mô nhỏ (huyện, xã). Số lượng bãi rác có diện tích lớn (> 20 ha) chiếm số lượng nhỏ. Diện tích của các bãi rác, bãi chôn lấp cũng có sự khác biệt giữa dữ liệu của GPW và dữ liệu kiểm định thực tế tại các địa phương.

Về khoảng cách đến dòng chảy và loại hình dòng chảy (Bảng 1), nghiên cứu đã làm rõ được tên các dòng chảy (tên sông, kênh, rạch) so với số liệu của GPW. Các bãi rác, bãi chôn lấp ở khu vực Bắc Trung Bộ và Nam Trung Bộ đều nằm lân cận các sông, suối, có độ cao địa hình lớn, xa trung tâm đô thị, các cụm dân cư, các công trình văn hoá du lịch (các cơ sở thuộc tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình, Thừa Thiên Huế). Khoảng cách đến dòng chảy theo kết quả đo đạc, kiểm định thực tế tại các địa phương đều nhỏ hơn giá trị của GPW. Trong khi đó, các bãi rác thuộc khu vực Nam Bộ đều nằm tại các khu vực bằng phẳng, gần các kênh rạch. Hầu hết các bãi rác, bãi chôn lấp đều nằm ở khu vực đồi, núi, xa trung tâm đô thị, các cụm dân cư, các công trình văn hoá du lịch (các cơ sở thuộc tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình, Thừa Thiên Huế), chỉ có một số ít cơ sở xử lý nằm tại các khu vực ven biển như bãi rác Bãi Nhát (Côn Đảo) chỉ nằm cách bờ biển 500 m.

Mật độ dân số theo dữ liệu thu thập nghiên cứu đều thấp hơn so với dữ liệu cung cấp từ GPW (Bảng 1), tuy nhiên, các từ nghiên cứu được cập nhật từ địa phương có tính chính xác hơn so với dữ liệu về mật độ dân số từ GPW. Ví dụ, theo dữ liệu GPW, bãi rác xã Lâm Hóa (tọa độ 17°56'27.41" N, 105°48'39.40" E) nằm trên địa bàn các tỉnh Quảng Bình lại có mật độ dân số cao (232 người/km²) nhưng theo dữ liệu của nghiên cứu, khu vực này chỉ có mật độ dân số ở mức rất thấp (12 người/km²) (Bảng 1). Một số bãi rác nằm trong khu du lịch, danh lam thắng cảnh như rác khu vực Phong Nha đã được địa phương đóng cửa để đảm bảo phát triển du lịch.

Ngoài các dữ liệu cơ bản về tọa độ, địa điểm, diện tích, các dữ liệu khảo sát, thu thập từ nghiên cứu còn bao gồm các thông tin về công nghệ xử lý rác thải, thời gian bắt đầu vận hành, tình trạng hoạt động và đơn vị quản lý vận hành bãi chôn lấp, xử lý rác thải ở các địa phương. Đây là các thông tin quan trọng, phục vụ cho việc xây dựng tiêu chí môi trường được đề xuất nhằm đánh giá khả năng rò rỉ, thất thoát rác thải từ các bãi rác, bãi chôn lấp.

Bảng 1. So sánh các thông tin về bãi rác, bãi chôn lấp được thu thập, kiểm định và Dữ liệu từ GPW.

TT	Tỉnh	Vĩ độ	Kinh độ	So sánh dữ liệu							
				Khoảng cách đến dòng chảy (m)		Loại dòng chảy		Tổng diện tích (m ²)		Mật độ dân số (người/km ²)	
				GPW	Kiểm định	GPW	Kiểm định	GPW	Kiểm định	GPW	Kiểm định
1	Thừa Thiên Huế	16°34'46.82"	107°19'33.40"	423.9067644	536	Hồ chứa	Hồ chứa	4409	16500	1318	496
2	Thừa Thiên Huế	16°23'51.12"	107°38'14.90"	242.5454406	54	Suối	Hồ Đồng Lục	2721	48000	3647	1580
3	Quảng Nam	15°54'17.29"	108°18'13.27"	1696.262315	75	Mương	Mương	533	13000	436	173
4	Quảng Nam	15°42'3.83"	108°4'19.03"	516.9894892	406.85	Suối	Hồ Trung Lộ	Không có thông tin	10200	185	244
5	Quảng Nam	15°26'3.72"	107°48'26.04"	165.4883881	250.76	Mương	Hồ chứa	Không có thông tin	32000	274	566
6	Quảng Bình	17°52'34.79"	106°0'17.92"	1315.164512	0	Ao	Ao	1856	62,000	232	12
7	Quảng Bình	17°56'27.41"	105°48'39.40"	1015.888413	914.8	Sông	Sông Gianh	479	7178	624	133
8	Quảng Bình	17°24'07.9"	106°35'46.0"	370.3159755	927	Sông	Hồ chứa Tróc Trâu	Không có thông tin	44000	329	64
9	Quảng Bình	17°46'18.66"	106°15'28.01"	967.3148678	766.25	Sông	Sông Gianh	Không có thông tin	8111	792	172
10	Quảng Bình	17°50'20.1"	106°23'17.8"	542.6459492	480.22	Hồ chứa	Hồ chứa	Không có thông tin	16000	479	662

TT	Tỉnh	Vĩ độ	Kinh độ	So sánh dữ liệu							
				Khoảng cách đến		Loại dòng chảy		Tổng diện tích (m ²)		Mật độ dân số	
				dòng chảy (m)						(người/km ²)	
				GPW	Kiểm định	GPW	Kiểm định	GPW	Kiểm định	GPW	Kiểm định
11	Phú Yên	13°16'20.91"	109°13'1.84"	3664.130702	3639	Sông	Sông	2076	10000	292	26
12	Phú Yên	13° 0'2.16"	108°52'7.26"	1677.304441	1326.26	Sông	Hồ thủy điện sông Ba Hạ	506	100000	202	177
13	Long An	10°36'33.00"	106°16'48.00"	126.9851413	36	Kênh	Kênh	Không có thông tin	250000	1148	601
14	Long An	10°30'38.38"	106°39'2.92"	48.9150592	20	Sông	Sông Cần Giuộc	Không có thông tin	7407	1073	320
15	Kiên Giang	09°45'29.34"	105°21'17.16"	85.69631471	244.62	Kênh	Kênh	984	14100	1651	291
16	Kiên Giang	9°52'40.45"	105°10'15.39"	396.9755168	81.42	Kênh	Kênh	3412	12000	2679	880
17	Kiên Giang	9°54'27.83"	105°17'12.16"	241.3833628	253.33	Kênh	Kênh	1851	5500	399	838
18	Kiên Giang	10°15'12.41"	104°37'53.94"	817.6458501	1187.29	Mương	Kênh Ba Hòn	8718	182000	594	104
19	Kiên Giang	10°17'43.30"	103°56'20.44"	399.1138434	374.82	Sông	Sông Cửa Cạn	Không có thông tin	30000	323	225
20	Kiên Giang	10°24'8.19"	104°29'39.46"	294.3022763	244.8	Kênh	Kênh	3300	100000	839	629
21	Kiên Giang	10° 5'32.60"	105° 1'30.24"	195.2107148	204.88	Ao	Kênh	Không có thông tin	5100	1485	1987
22	Hà Tĩnh	18°30'42.00"	105°42'19.63"	1000.279136	1214.02	Sông	Sông Vuông Lọc	1498	42000	276	51
23	Hà Tĩnh	18° 5'19.20"	105°47'36.17"	180.0856789	1203.38	Ao	Sông Ngàn Sâu	255	2496	4237	3023
24	Đà Nẵng	16° 2'29.66"	108° 8'29.50"	1158.647452	125	Ao	Hồ chứa	3979	138300	120	140
25	Bà Rịa - Vũng Tàu	8°38'43.49"	106°36'3.10"	194.1421149	196.69	Bờ biển	Bờ biển	Không có thông tin	3800	210	104

4. Kết luận

Các kết quả của nghiên cứu của GPW được coi là một điểm khởi đầu để xác định các địa điểm tập trung rác thải từ ảnh vệ tinh và nguy cơ gây ô nhiễm từ các địa điểm đó. Các thuật toán đã được phát triển, thử nghiệm và xác thực ở nhiều khu vực địa lý, tuy nhiên, cần được cải thiện nhằm nâng cao tính chính xác thông qua việc cập nhật hình ảnh có độ phân giải cao, dữ liệu báo cáo từ địa phương, kết hợp với các mô hình thủy văn nhằm xác định chính xác vị trí, địa điểm các bãi rác, khu tập trung rác thải và đánh giá nguy cơ rò rỉ rác thải từ các địa điểm này. Bên cạnh đó, cần phát triển công nghệ và thuật toán đánh giá cấu trúc vật chất của một bãi thải, tỷ lệ chất thải nhựa có trong đó.

Các dữ liệu thu thập từ địa phương đã bổ sung, đáp ứng đủ yêu cầu cơ bản để bổ sung dữ liệu của GPW. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đã so sánh, đối chứng nhận xét các dữ liệu thu thập trong nghiên cứu và dữ liệu công bố của GPW. Để tiếp tục xây dựng và mở rộng nghiên cứu, đánh giá khả năng rò rỉ, thất thoát rác thải từ các bãi rác, bãi chôn lấp, cần tiếp tục thu thập kiểm chứng thông tin về các bãi chôn lấp, xử lý rác thải ở các địa phương trên phạm vi 54 tỉnh/thành phố còn lại. Trong đó, bổ sung các hoạt động đánh giá, kiểm chứng tại thực địa tại một số tỉnh/thành phố nhằm đánh giá, hiệu chỉnh chính xác khả năng thất thoát rác thải nhựa ra môi trường.

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

Lời cảm ơn: Nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của Dự án “Giảm thiểu Rác thải Nhựa đại dương tại Việt Nam” do Tổ chức Quốc tế về Bảo tồn thiên nhiên WWF-Đức và WWF-Việt Nam trong việc thực hiện và công bố 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. OECD, Global Plastics Outlook. 2022.
2. WWF-Việt Nam, Báo cáo hiện trạng chất thải nhựa năm 2022. 2023.
3. Worldbank-Việt Nam. Đánh giá công tác quản lý chất thải rắn sinh hoạt và công nghiệp nguy hại. Các phương án và hành động nhằm thực hiện chiến lược quốc gia. 2018, tr. 156.
4. Jambeck, J.R.; Geyer, R.; Wilcox, C.; Siegler, T.R.; Perryman, M.; Andrady, A.; Narayan, R.; Law, K.L. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* **2015**, 347(6223), 768.
5. WorldBank, Vietnam. Plastic Pollution Diagnostics, in Vietnam: Plastic Pollution Diagnostics, M.P.S. East Asia and Pacific Region, Editor. 2021.
6. Nguyen, T.T.T.; Ha, N.H.; Bui, T.K.L.; Nguyen, K.L.P.; Tran, D.P.T.; Nguyen, H.Q.; El-Arini, A.; Schuyler, Q.; Nguyen, T.T.L. Baseline Marine Litter Surveys along Vietnam Coasts Using Citizen Science Approach. *Sustainability* **2022**, 14, 4919. <https://doi.org/10.3390/su14094919>.
7. Kieu-Le, T.C.; Abeynayaka, A.; Pham, N.B.; Pham, V.H.; Sang, T.N.; Strady, T.E.; Gamaralalage, P.J.D.; Nguyen, P.D. Training Needs Assessment Report (TNA) Towards Microplastic Monitoring and Evidence-Based Policy Measures in Vietnam. 2022, pp. 43.
8. Onink, V. et al. Global simulations of marine plastic transport show plastic trapping in coastal zones. *Environ. Res. Lett.* **2021**, 16(6), 064053.
9. Biermann, L. et al. Finding Plastic Patches in Coastal Waters using Optical Satellite Data. *Sci. Rep.* **2020**, 10(1), 5364.
10. Themistocleous, K.; Papoutsas, C.; Michaelides, S.; Hadjimitsis, D. Investigating Detection of Floating Plastic Litter from Space Using Sentinel-2 Imagery. *Remote Sen.* **2020**, 12, 2648. Doi: 10.3390/rs12162648.
11. Al-Zawaidah, H.; Ravazzolo, D.; Friedrich, H. Macroplastics in rivers: present knowledge, issues and challenges. *Environ. Sci. Process. Impacts* **2021**, 23(4), 535–552.
12. Gill, J. et al. Detection of waste dumping locations in landfill using multi-temporal Landsat thermal images. *Waste Manage. Res.* **2019**, 37(4), 386–393.
13. Aguilera, M.A.; Broitman, B.R.; Thiel, M. Artificial breakwaters as garbage bins: Structural complexity enhances anthropogenic litter accumulation in marine intertidal habitats. *Environ. Pollut.* **2016**, 214, 737–747.
14. Atwood, E.C. et al. Keeping it SiMPLER: Sensing Marine Plastic Litter using Earth Observation in River Outflows. 2020.
15. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia năm 2019 - Quản lý chất thải rắn sinh hoạt. 2020, tr. 104.
16. Kruse, C. et al. Satellite Monitoring of Terrestrial Plastic Waste. arXiv preprint arXiv:2204.01485, 2022.
17. Meijer, L.J.J. et al. More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Sci. Adv.* **2021**, 7(18), eaaz5803.
18. Widyarsana, I.M.W. et al. Risk assessment and rehabilitation potential of municipal solid waste landfills in Bali Province, Indonesia. *GEOMATE J.* **2019**, 17(63), 164–171.

Satellite monitoring of terrestrial plastic waste and assess the risk of plastic leakage using the available high-resolution data from the Copernicus Copernicus

Vu Dinh Hieu, Pham Van Hieu^{1*}, Nguyen Thi Thuy¹, Nguyen Thi Dieu Thuy², Nguyen Thi My Quynh², Caleb Kruse³

¹ Vietnam Institute of Seas and Islands (VISI), Ministry of Natural Resources and Environment (MONRE); vudinhhieu@gmail.com, hieupv.env@gmail.com; thuynt34@gmail.com

² World Wide Fund for Nature in Viet Nam (WWF-Viet Nam); thuy.nguyendieu@wwf.org.vn; quynh.nguyenmy@wwf.org.vn

³ Earthrise Media; caleb@earthrise.media

Abstract: In 2022, the Vietnam Institute of Seas and Islands (VISI), WWF-Vietnam, and Global Plastic Watch (GPW) used (freely) available high-resolution data from the Copernicus program and other sources to locate open landfills in a defined vicinity to a water body to assess their potential leakage risk of plastic waste in Vietnam. The results showed 198 landfill sites with data on total area, population, drainage direction, distance to a waterway, nearest water type, landform, slope, elevation, upstream drainage area, fine earth density, soil clay content, and soil sand content. Actual data from nine provinces were collected using an official document to the Department of Natural Resources and Environment in Ha Tinh, Quang Binh, Thua Thiên Hue, Da Nang, Quang Nam, Phu Yen, Con Dao (BRVT), Long An, and Kien Giang. Research verified 17 landfill sites with the highest risk of plastic leakages into the river.

Keywords: Landfill; Dumpsites; Plastic waste; Satellite data; Leakage.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu mối quan hệ giữa ENSO với cường độ của áp thấp Aleut

Nguyễn Linh Trang¹, Lê Anh Trung¹, Lê Lan Anh¹, Chu Thị Thu Hương^{1*}

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội; nguyencilinhtrang010@gmail.com
leetrung14@gmail.com; 1911020666@hunre.edu.vn; ctthuong@hunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ctthuong@hunre.edu.vn; Tel.: +84-981244579

Ban Biên tập nhận bài: 15/4/2022; Ngày phản biện xong: 20/6/2023; Ngày đăng bài: 25/6/2023

Tóm tắt: Ảnh hưởng của ENSO đến áp thấp Aleut đã được phân tích thống kê những biến đổi cường độ, phạm vi của áp thấp này trong từng tháng và từng thời kỳ ENSO cũng như mối quan hệ tương quan giữa chúng trong thời kỳ 1981-2020. Từ đó cho thấy, áp thấp Aleut trong thời kỳ El Nino thường mạnh hơn trong thời kỳ La Nina và không ENSO. Trong hầu hết các tháng, áp thấp này có xu hướng mở rộng sang phía tây trong thời kỳ La Nina song lại mở rộng hơn sang phía đông, lên phía bắc và đặc biệt mở rộng xuống phía nam trong thời kỳ El Nino. Cường độ của áp thấp này có mối quan hệ chặt chẽ với SST vùng NINO.3 trong các tháng 1, 2 và 3. Điều này một lần nữa khẳng định sự tăng cường của áp thấp Aleut trong thời gian này khi El Nino xuất hiện. Sự biến đổi về cường độ cũng như phạm vi của áp thấp Aleut cũng có ảnh hưởng không nhỏ đến hoạt động của không khí lạnh trong mùa đông ở Việt Nam.

Từ khóa: El Nino; La Nina; Áp thấp Aleut; Cường độ; Mối quan hệ.

1. Mở đầu

ENSO hay El Nino và dao động Nam là hiện tượng xảy ra trên vùng biển Thái Bình Dương (TBD) xích đạo có liên quan đến dao động của khí áp giữa 2 bờ phía Đông và Tây TBD. Hiện tượng ENSO gồm hai pha El Nino và La Nina. Đây là hiện tượng nóng lên/lạnh đi đi thường ở bề mặt biển vùng trung tâm và Đông TBD xích đạo. Chúng thường kéo dài từ 8 đến 12 tháng, hoặc dài hơn và xuất hiện khoảng 3-4 năm 1 lần. Hiện tượng El Nino và La Nina có thể xảy ra kế tiếp nhau và thường được xen kẽ bởi thời kỳ trung tính (không ENSO) hoặc đôi khi 2 đợt El Nino hay La Nina xảy ra kế tiếp nhau [1]. Hiện tượng ENSO có ảnh hưởng không nhỏ đến thời tiết khí hậu trên các khu vực phía đông và tây TBD xích đạo. Không ít các nghiên cứu [1-5] đã đưa ra ảnh hưởng của ENSO đến khí hậu trên lãnh thổ Việt Nam. Nó không chỉ ảnh hưởng đến nhiệt độ [1-2], lượng mưa [1-3], vị trí hình thành, quỹ đạo và tần suất bão [4] mà còn tác động đến các trung tâm khí áp [5-6], đặc biệt với áp thấp Aleut đã có sự biến đổi về cường độ và phạm vi hoạt động trong thời kỳ ENSO [6].

Áp thấp Aleut nằm ở phía trên quần đảo Aleut và là một trong những trung tâm áp thấp lạnh ảnh hưởng đến thời tiết, khí hậu trong mùa đông ở Bán Cầu Bắc trong đó có Việt Nam [7]. Nó là một trung tâm khí áp bán vĩnh cửu, hoạt động trong khoảng thời gian từ tháng 9 đến tháng 5 năm sau và thường mạnh nhất trong các tháng chính đông [5-7]. Trong các tháng chính đông, nó có trung tâm nằm ở khoảng 50°N và 180°E [5]. Nhiều nghiên cứu đã cho thấy rằng, hoạt động của gió mùa mùa đông (WM) trên khu vực Đông Nam Á nói chung và Việt Nam nói riêng là do hoạt động kết hợp của áp cao Siberia, áp thấp Aleut, áp cao Thái Bình Dương và rãnh thấp xích đạo [9]. Hay mối quan hệ giữa cường độ của WM với cường độ của

áp cao Siberia, áp thấp Aleut [5–6] cũng như rãnh Đông Á [9]. Qua đó cho thấy, khi áp cao Siberia và dòng xiết gió tây mạnh, áp thấp Aleut và rãnh Đông Á khơi sâu thì WM được tăng cường [9].

Có thể nói rằng, áp cao Siberia và áp thấp Aleut có mối quan hệ chặt chẽ với nhau. Chúng đều liên quan chặt chẽ với trục dòng xiết mực 200 mb, đặc biệt là áp thấp Aleut [10]. Trong khi đó, dưới ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, áp cao Siberia có cường độ giảm, phạm vi thu hẹp và lùi về phía bắc hơn [11], còn áp thấp Aleut và rãnh thấp xích đạo là hai trung tâm hút gió của WM nói chung hay áp cao Siberia nói riêng lại có phạm vi ít biến đổi [5]. Tác giả cũng chỉ ra rằng, áp thấp Aleut có cường độ mạnh hơn khi nó có xu hướng mở rộng hơn sang phía tây và về phía xích đạo [5].

Bởi vậy, cường độ của WM cũng đã được xác định thông qua chỉ số đông-tây và chỉ số bắc-nam. Chúng được đặc trưng bởi gradient khí áp giữa áp cao Siberia với áp thấp Aleut và rãnh xích đạo [12]. Có thể thấy, tuy không ảnh hưởng trực tiếp đến thời tiết, khí hậu Việt Nam, song áp thấp Aleut cũng có ảnh hưởng gián tiếp đến hoạt động của WM Đông Á [12]. Khi áp thấp này khơi sâu sẽ ngăn chặn sự mở rộng của áp cao Siberia sang phía Đông, tạo điều kiện thuận lợi cho không khí lạnh tràn xuống phía Nam, đồng thời, dòng xiết trên cao sẽ được tăng cường. Song khi áp thấp này mở rộng và lấn sang phía Tây, cường độ của áp cao Siberia có thể sẽ bị giảm đi [5]. Bên cạnh đó, khi áp thấp Aleut có cường độ mạnh thì rãnh Đông Á cũng khơi sâu và lệch hơn sang phía tây. Ngược lại, rãnh Đông Á sẽ yếu và lệch sang phía đông hơn khi áp thấp Aleut suy yếu [5–6].

Hoạt động của WM có liên quan chặt chẽ với sự thay đổi của hoàn lưu khí quyển và nhiệt độ mặt nước biển (SST) [13]. Trong các năm WM mạnh/yếu thì nhiệt độ ở Trung Quốc cũng lạnh/ nóng hơn trung bình nhiều năm. Theo các tác giả, WM mạnh lên trong thời kỳ 1950-1986, sau đó yếu đi đến năm 2004, rồi lại mạnh lên trong thời kỳ 2005-2013 [13]. Sự biến đổi của SST trên biển Bắc Thái Bình Dương có quan hệ chặt chẽ với sự biến đổi cường độ của WM trong thời kỳ 1871-2012 [14]. Trong khi đó, khi vị trí của áp thấp Aleut thay đổi thì sẽ làm thay đổi nhiệt độ bề mặt vùng trung tâm của áp thấp này. Hay nói cách khác, sự thay đổi phạm vi của áp thấp Aleut có vai trò quan trọng hơn nhiều so với sự biến đổi cường độ của áp thấp này [15]. Kết luận này đã được thể hiện rõ hơn trong các nghiên cứu khác sau đó về sự biến đổi phạm vi của áp thấp Aleut trong các năm WM mạnh hay những năm WM bắt đầu sớm hoặc bắt đầu muộn [5–6]. Cụ thể, áp thấp Aleut trong tháng 10 có xu thế mở rộng sang phía tây hơn trong các năm WM bắt đầu sớm và thu hẹp về phía đông trong năm WM bắt đầu muộn [6]. Trong thời kỳ 1981-2015, cường độ của áp thấp Aleut có xu thế tăng lên trong hầu hết các tháng, mùa (trừ tháng 3 và 5), nhất là trong tháng 12 và tháng 4. Trong các tháng còn lại, áp thấp Aleut có cường độ tăng hoặc giảm chậm hơn [6].

Mối quan hệ giữa cường độ của áp thấp Aleut với nhiệt độ tại trạm Lạng Sơn và số đợt xâm nhập lạnh xuống Việt Nam cũng đã được đề cập đến [16]. Các tác giả cho rằng, áp thấp Aleut càng mạnh thì nhiệt độ tại trạm khí tượng Lạng Sơn càng tăng và ngược lại, số ngày rét đậm, rét hại tại ở đây càng giảm [16]. Tuy nhiên, kết luận này lại không phù hợp với một số nghiên cứu khác [5–6]. Ảnh hưởng của ENSO đến tần số front lạnh cũng đã được quan tâm nghiên cứu trước đó [1]. Tuy nhiên, số front lạnh trong các thời kỳ El Nino và La Nina không có sự khác biệt nhiều. Trong các tháng đầu đông, số đợt KKL trong năm El Nino nhiều hơn trong năm La Nina, còn trong các tháng cuối đông thì ngược lại [1]. Hơn nữa, khi hiện tượng ENSO xuất hiện, mùa front lạnh thường kết thúc sớm hơn bình thường. Các tác giả cho rằng, trong mùa đông La Nina, áp cao Siberia thường có cường độ mạnh hơn; rãnh xích đạo mở rộng; tín phong Bắc Bán cầu tăng cường làm WM cũng mạnh hơn [1]. Tuy nhiên, số đợt KKL có cường độ mạnh thường xuất hiện nhiều hơn trong thời kỳ La Nina, còn số đợt KKL có cường độ yếu và trung bình lại chiếm ưu thế trong thời kỳ El Nino và không ENSO [17]. Ngoài ra, ENSO cũng có mối quan hệ rất chặt chẽ với cường độ của WM trong thời kỳ nửa cuối mùa đông. Trong thời kỳ El Nino, WM sẽ suy yếu và ngược lại trong thời kỳ La Nina, GMMĐ sẽ tăng cường [17].

Mối quan hệ giữa ENSO và áp thấp Aleut cũng được một số Nhà khoa học trên thế giới đề cập đến [18–20]. Các tác giả cho rằng, khi áp thấp này mạnh hoặc yếu hơn so với trung bình thì hiện tượng ENSO sẽ có thể xảy ra vào mùa đông năm sau [18]. ENSO cũng làm cường độ áp thấp Aleut tăng/giảm mạnh vào mùa đông [19]. Hiện tượng ENSO làm biến đổi cường độ của áp thấp Aleut thông qua các dị thường của nhiệt độ mặt nước biển (SSTA). Khi SSTA ở vùng nhiệt đới phía đông TBD tăng lên, vùng đối lưu và mưa lớn tăng cường ở đây. Sóng Rossby di chuyển về phía cực qua bắc TBD đã giúp cho áp thấp Aleut phát triển mạnh hơn. Bởi thế, sự biến đổi của SSTA ở Thái Bình Dương xích đạo có thể làm thay đổi cường độ, vị trí và sự tồn tại của áp thấp Aleut [20].

Như vậy, có thể thấy, mặc dù đã có một số nghiên cứu ngoài nước đã đề cập tới ảnh hưởng của SST trên biển TBD tới cường độ của áp thấp Aleut song sự biến đổi của áp thấp này trong từng tháng, khi chịu ảnh hưởng của hiện tượng ENSO cũng chưa được phân tích một cách chi tiết. Còn ở Việt Nam, nghiên cứu về ảnh hưởng của ENSO đến áp thấp này cũng mới chỉ thể hiện được sự biến đổi phạm vi của áp thấp này chứ chưa đề cập đến cường độ của nó cũng như mối quan hệ giữa cường độ của áp thấp này với hiện tượng ENSO. Chính vì thế, trong bài viết này, dựa trên chuỗi số liệu SSTA vùng NINO.3 và số liệu tái phân tích trường khí áp mực nước biển trung bình trong thời kỳ 1981-2020, chúng tôi đã xác định sự biến đổi về cường độ và phạm vi của áp thấp Aleut trong các thời kì ENSO. Đồng thời, mối quan hệ giữa chúng cũng đã được xác định để thấy rõ được vai trò của hiện tượng ENSO đến hoạt động của áp thấp này trong các tháng mùa đông. Kết quả này là cơ sở để dự báo sự biến đổi về cường độ cũng như đặc điểm hoạt động của áp thấp Aleut, một trong những trung tâm khí áp gián tiếp chi phối hoạt động của gió mùa mùa đông.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu

Để xác định các thời kỳ ENSO, bài báo đã sử dụng số liệu SSTA vùng NINO.3 trong thời kỳ 1981-2020. Nguồn số liệu này được tải về từ trang web của trung tâm dự báo khí hậu (CPC) thuộc Cơ quan khí quyển - đại dương (NOAA) của Mỹ: <https://psl.noaa.gov/enso/data.html>.

Số liệu tái phân tích được sử dụng trong bài viết này là số liệu trường khí áp mực nước biển (Pmsl) trung bình tháng trong thời kỳ 1981-2020 có độ phân giải 0.5×0.5 độ kinh vĩ trên toàn cầu. Nguồn số liệu này được cung cấp bởi Trung tâm dự báo thời tiết hạn vừa châu Âu (ECMWF) và được thu thập tại trang web: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels-monthly-means?tab=form>. Đây là số liệu được sử dụng để xác định sự biến đổi cường độ, phạm vi của áp thấp Aleut, đồng thời xác định mối quan hệ giữa cường độ của áp thấp này với hiện tượng ENSO dựa trên SSTA vùng NINO.3.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp xác định thời kỳ ENSO

Hiện nay, có rất nhiều chỉ số để xác định đợt ENSO như chỉ số SOI, OLR, chỉ số đa biến MEI, dị thường nhiệt độ mặt biển (SSTA) trên các vùng biển phía Đông, Tây và Trung tâm Thái Bình Dương,... Tuy nhiên, nghiên cứu này đã sử dụng chỉ số SSTA vùng NINO.3 ($5^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{S}$, $150^{\circ}\text{W} - 90^{\circ}\text{W}$) để xác định các thời kỳ ENSO theo một số nghiên cứu trước đó [1–2, 5–6]. Cụ thể, một đợt El Nino hoặc La Nina là thời kỳ liên tục, kéo dài từ 6 tháng trở lên, có trị số trung bình trượt 5 tháng của dị thường nhiệt độ mặt nước biển trung bình (\overline{SSTA}) ở vùng NINO.3 ($5^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{S}$, $150^{\circ}\text{W} - 90^{\circ}\text{W}$) $\geq 0,5^{\circ}\text{C}$ hoặc $\leq -0,5^{\circ}\text{C}$. Thời kỳ có $-0,5^{\circ}\text{C} < \overline{SSTA} < 0,5^{\circ}\text{C}$ được gọi là thời kỳ không ENSO hay thời kỳ bình thường. Nếu một đợt ENSO có SSTA vùng NINO.3 $\geq 1,5^{\circ}\text{C}$ hoặc $\leq -1,5^{\circ}\text{C}$ thì được xem là một đợt El Nino hoặc La Nina mạnh.

Như vậy, có thể nhận thấy, trong 40 năm (1981-2020) đã xảy ra: 11 đợt El Nino và 7 đợt La Nina. Trong đó, có 7 đợt El Nino mạnh và 4 đợt La Nina mạnh. Thời gian kéo dài trung bình của một đợt El Nino là 12,5 tháng và 1 đợt La Nina là 14 tháng. Đợt El Nino kéo dài nhất là 24 tháng (9/2016 - 8/2018), song đợt ngắn nhất chỉ xảy ra trong 6 tháng (2004-2005 và 2006-2007). Đợt La Nina dài nhất kéo dài 21 tháng (9/2010 - 5/2012); đợt ngắn nhất kéo dài 9 tháng (2007-2008 và 2017-2018) (Bảng 1 và Bảng 2).

Bảng 1. Các đợt El Nino trong thời kỳ 1981-2020.

STT	Đợt El Nino	Tháng bắt đầu	Tháng kết thúc	Thời gian kéo dài	Cực đại SSTA (°C) và tháng xuất hiện	
1	1982/1983	4/1982	9/1983	18	3,6	1/1983
2	1986/87/88	9/1986	1/1988	17	2,0	9/1987
3	1991/1992	4/1991	6/1992	15	1,7	1/1992
4	1993	2/1993	8/1993	7	1,5	5/1993
5	1997/1998	4/1997	6/1998	15	3,9	12/1997
6	2002/2003	7/2002	1/2003	7	1,4	11,12/2002
7	2004/2005	8/2004	1/2005	6	0,9	12/2004
8	2006/2007	8/2006	1/2007	6	1,3	12/2006
9	2009/2010	4/2009	5/2010	14	1,8	1/2010
10	2014/2016	9/2014	8/2016	24	2,6	2/2016
11	2018/2019	12/2018	8/2019	9	0,8	3,4/2019

Chú thích: Các đợt có dấu gạch chân là những đợt El Nino mạnh.

Bảng 2. Các đợt La Nina trong thời kỳ 1981-2020.

Số TT	Đợt La Nina	Tháng bắt đầu	Tháng kết thúc	Thời gian kéo dài	Cực đại SSTA (°C) và tháng xuất hiện	
1	1984/1985	10/1984	12/1985	15	-1,2	12/1984
2	1988/1989	4/1988	3/1989	12	-1,7	11, 12/1988
3	1998/99/00	10/1998	3/2000	18	-1,6	1/2000
4	2007/2008	9/2007	5/2008	9	-1,9	3/2008
5	2010/2012	9/2010	5/2012	21	-1,5	2/2011
6	2017/2018	11/2017	7/2018	9	-1,0	2,3,4/2018
7	2020-2021	7/2020	12/2021	18	-0,9	T11/2020

Chú thích: Các đợt có dấu gạch chân là những đợt La Nina mạnh.

Có thể thấy, hầu hết các đợt ENSO bắt đầu vào mùa xuân hoặc mùa thu và kết thúc vào mùa đông hoặc mùa xuân (tháng 12 - tháng 4). Thời kỳ mạnh nhất (cực đại) của mỗi đợt ENSO là giữa mùa đông (tháng 12 - tháng 2).

Ngoài ra, phân tích chi tiết diễn biến của SSTA trên khu vực NINO.3, nghiên cứu cho thấy, trước khi El Nino hay La Nina xảy ra khoảng 2-4 tháng, SSTA vùng NINO.3 thường đổi dấu từ âm sang dương hay ngược lại.

2.2.2. Phương pháp xác định sự biến đổi cường độ và phạm vi hoạt động của áp thấp Aleut

a) Xác định cường độ

Cường độ của áp thấp Aleut được xác định dựa trên giá trị Pmsl trung bình vùng: 40 - 60°N, 160°E - 160°W trong từng tháng, từng năm hoặc nhiều năm. Trong đó, nếu giá trị Pmsl của áp thấp càng cao, thì cường độ của áp thấp đó càng giảm. Trong nghiên cứu này, cường

độ của áp thấp Aleut trong thời kỳ hoạt động của nó (từ tháng 9 đến tháng 5 năm sau) sẽ được phân tích. Đặc biệt, để thấy rõ ảnh hưởng của hiện tượng ENSO, nghiên cứu sẽ phân tích rõ hơn trong các thời kỳ El Nino, La Nina hay không ENSO.

b) Xác định phạm vi hoạt động

Theo [5–6] phạm vi hoạt động của một trung tâm khí áp thường được xác định là vùng không gian mà nó bao phủ (có thể xác định qua đường đẳng áp hoặc đường đẳng cao ngoài cùng) trong một khoảng thời gian nhất định. Tuy nhiên, rất khó có thể xác định được sự biến đổi của đường đẳng áp (hay đẳng độ cao địa thế vị) trong từng thời gian cụ thể một cách thống nhất. Điều này có thể được lý giải rằng, mỗi trung tâm khí áp hoạt động trên một khu vực nào đó thì đều sẽ thay đổi cường độ, vị trí trong các tháng hoạt động. Do đó, tác giả cũng đã xác định một đường đẳng áp đặc trưng cho sự biến đổi phạm vi của áp thấp này. Cụ thể, vị trí hay phạm vi hoạt động của áp thấp Aleut đã được xác định dựa trên sự mở rộng hay thu hẹp của đường đẳng áp 1008 mb. Sự thay đổi của áp thấp trong các thời kỳ El Nino, La Nina, không ENSO sẽ được so sánh với vị trí trung bình của áp thấp trong thời kỳ 1981-2020.

2.2.3. Phương pháp xác định ảnh hưởng của ENSO đến áp thấp Aleut

Ảnh hưởng của hiện tượng ENSO đến áp thấp Aleut được thể hiện dựa trên mối quan hệ tương quan giữa cường độ tại vùng gần trung tâm của áp thấp này và nhiệt độ mặt nước biển vùng NINO.3 trong thời kỳ 1981-2020. Mối quan hệ này được xác định thông qua hệ số tương quan (HSTQ) giữa chúng.

Với thời kỳ 40 năm, HSTQ giữa SSTA vùng NINO.3 và cường độ của áp thấp Aleut được coi là chặt chẽ nếu có mức ý nghĩa bằng 0,05 hoặc 0,01, hay có độ tin cậy tương ứng bằng 95% hoặc 99% nếu HSTQ giữa chúng đạt trên 0,304 hoặc 0,393 [5, 9].

Hơn nữa, để thấy được ảnh hưởng của ENSO đến áp thấp Aleut trong một khoảng thời gian nào đó, nghiên cứu đã xác định HSTQ đồng thời, trễ 1 tháng, 2 tháng và 3 tháng trong từng tháng hoạt động của áp thấp này. Giá trị của HSTQ sẽ xác định được mối quan hệ giữa chúng là đồng biến hay nghịch biến. Giá trị tuyệt đối của HSTQ đặc trưng cho mức độ quan hệ chặt chẽ hay ảnh hưởng ENSO đến cường độ của áp thấp Aleut.

Như vậy, trên cơ sở số liệu và các phương pháp này, các kết quả phân tích về cường độ, phạm vi của áp thấp Aleut trong từng tháng ENSO và không ENSO (hay trung tính) cũng như mối quan hệ tương quan giữa chúng sẽ được đưa ra trong mục 3.

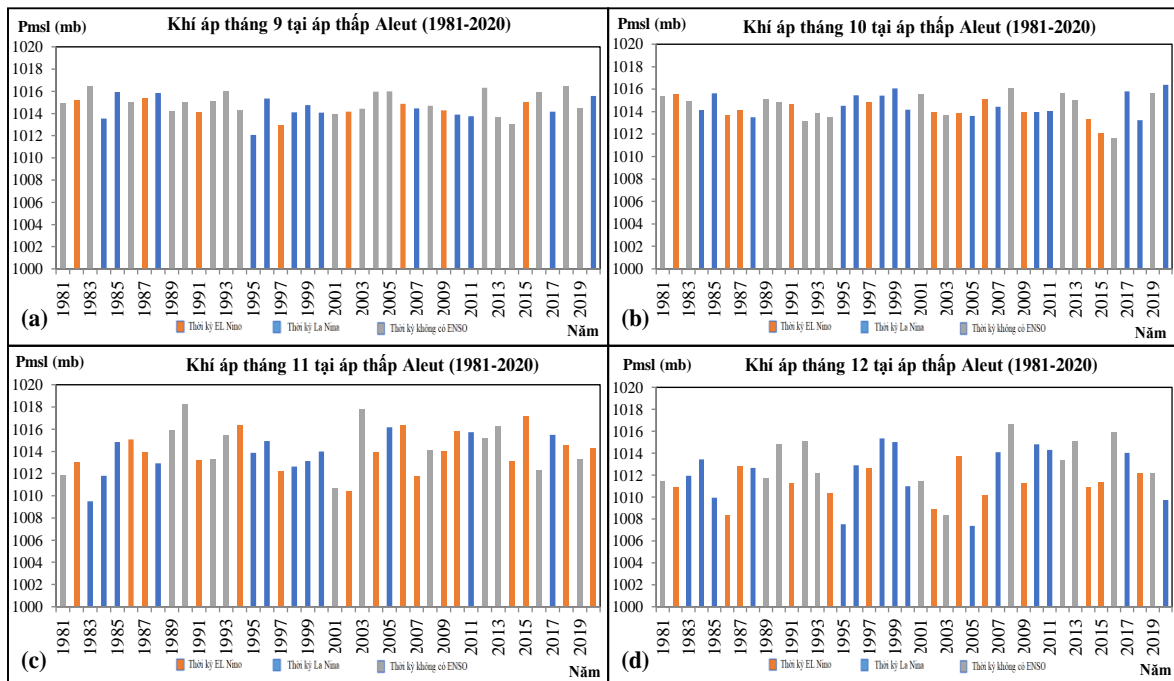
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Sự biến đổi cường độ của áp thấp Aleut

Như đã đề cập tới trong mục 2.2, cường độ của áp thấp Aleut đã được xác định dựa trên giá trị khí áp mực nước biển trung bình vùng gần trung tâm của áp thấp này. Từ đó, cường độ của áp thấp Aleut trong từng tháng trong thời kỳ 1981-2020 đã được biểu diễn trên hình 1 và 2. Nhìn chung, áp thấp này có cường độ tăng dần từ đầu mùa đông (tháng 9, 10) và mạnh nhất vào tháng 1 sau đó lại giảm dần. Có thể thấy, cường độ trung bình của áp thấp Aleut trong các tháng El Nino thường cao hơn trong các năm La Nina và không ENSO song trong từng đợt ENSO thì lại có những biến đổi không thực sự nhất quán. Cụ thể, trong các tháng La Nina như 1/1981, 12/1995, 2/2000, 12/2005,... áp thấp Aleut lại có cường độ mạnh với khí áp trung bình vùng gần trung tâm nhỏ hơn 1008hPa, thậm chí chỉ bằng 1004,4 hPa trong tháng 1/1981. Ngược lại, trong các tháng El Nino như tháng 4/1983, 4/1998, 11/2006, 11/2015,... áp thấp Aleut lại suy yếu với cường độ khí áp vùng gần trung tâm lên tới trên 1016mb (Hình 1 và Hình 2).

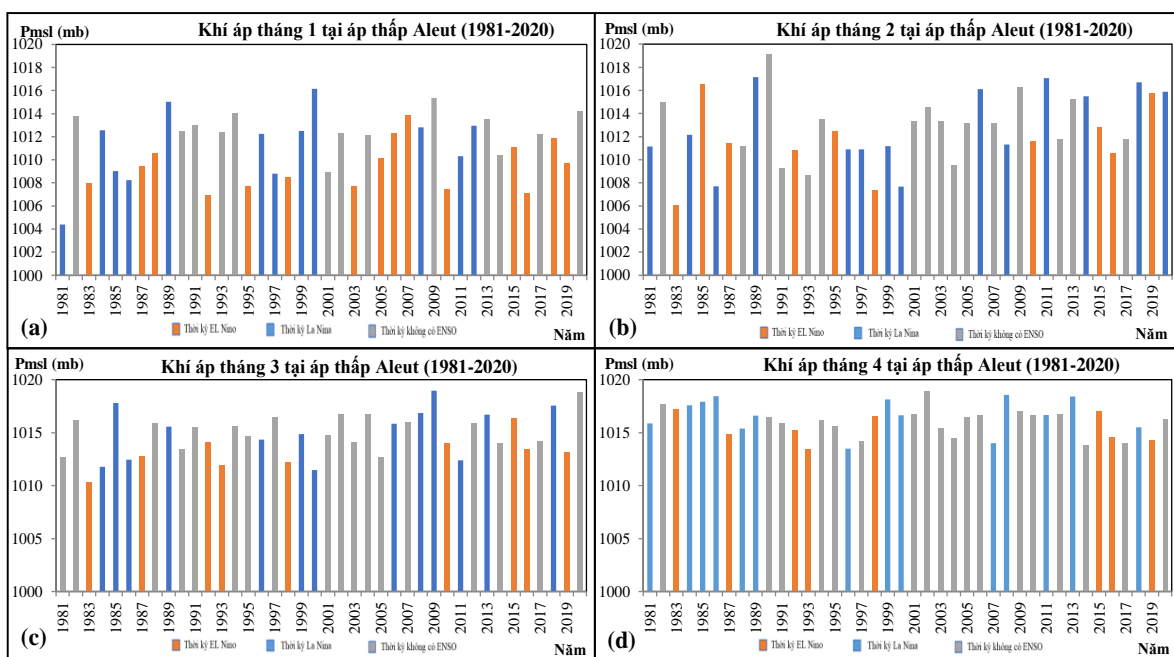
So với các tháng chính đông, cường độ của áp thấp Aleut biến đổi không nhiều trong các tháng đầu và cuối đông, nhất là trong tháng 9 và 10. Trong thời kỳ La Nina, cường độ của áp thấp này vào tháng 10 yếu hơn so với tháng 9. Nhưng trong thời kỳ El Nino và trung tính thì ngược lại, tháng 10 cường độ của áp thấp này đa phần mạnh hơn so với tháng 9 (Hình 1a,

1b). Vào tháng 11, cường độ của áp thấp này trong thời kỳ El Nino vẫn yếu hơn so với thời kỳ La Nina. Đặc biệt, là năm 2015 khí áp đạt mức cao nhất là 1017,2 mb và thấp nhất năm 2002 đạt mức 1010,4 mb. Trong khi đó khí áp cao nhất trong thời kỳ La Nina chỉ đạt mức 1016,2 (năm 2005) và thấp nhất là 1009,5 mb (năm 1983). Trong thời kỳ trung tính, cường độ khí áp yếu hơn so với 2 thời kỳ còn lại và đạt mức cao nhất vào năm 1990 là 1018,2 mb (Hình 1c).



Hình 1. Sự biến đổi cường độ của áp thấp Aleut trong tháng 9,10,11,12 thời kỳ 1981-2020.

Đến tháng 12, áp thấp Aleut có cường độ mạnh hơn hẳn so với 3 tháng trên. Trong thời kỳ El Nino, cường độ đã mạnh hơn so với hai thời kỳ còn lại, khí áp đạt dưới mức 1014 mb, thấp nhất tại mức 1008,4 mb (năm 1986). Bên cạnh đó, trong hai thời kỳ còn lại thì cường độ của áp thấp này biến đổi không đồng đều qua các năm. Tắt nhiên, cường độ của áp thấp Aleut vào tháng 12 mạnh hơn so với tháng 11 (Hình 1c, 1d).



Hình 2. Sự biến đổi cường độ của áp thấp Aleut trong tháng 1,2,3,4 thời kỳ 1981-2020.

Sang tháng 1, áp thấp Aleut có những biến đổi rõ rệt về cường độ khí áp trung bình trong những thời kỳ khác nhau. Nhìn chung, áp thấp này có cường độ suy yếu trong thời kỳ La Nina. Cường độ áp thấp Aleut suy yếu nhất vào năm 2000 với khí áp đạt 1016 mb, ngoài ra những năm có La Nina khác cũng làm suy yếu cường độ áp thấp rõ rệt như 1984, 1989, 2008, 2012 với giá trị khí áp đạt khoảng 1014 mb.

Trong thời kỳ El Nino thì áp thấp Aleut lại có cường độ mạnh hơn rõ rệt. Trong năm 1983, 1992, 1995, 2003, 2010 và 2016 là những đợt El Nino mạnh, khí áp trung bình đạt dưới mức 1008 mb. Bên cạnh đó, vào tháng 1 năm 2007 là giai đoạn El Nino yếu nên cường độ khí áp chỉ đạt khoảng 1014 mb, cao hơn so với những năm có El Nino khác. Lấy ví dụ, vào đợt El Nino mạnh 2015-2016 khi áp thấp Aleut thu hẹp vào khoảng 1007 mb đồng nghĩa với việc cường độ của trung tâm Siberia giảm. Theo Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia, El Nino 2015 đạt cường độ mạnh kỉ lục với chuẩn sai nhiệt độ tăng ở mức 2⁰C và kéo dài từ 2015-2016; cũng trong năm này cường độ xâm nhập lạnh kém và được nhận định là mùa đông ấm.

Bảng 3. Cường độ của áp thấp Aleut (mb) trung bình trong các thời kỳ ENSO.

Tháng	9	10	11	12	1	2	3	4	5
El Nino	1014,2	1013,9	1013,7	1011,1	1008,7	1010,8	1013,3	1015,7	1016,0
La Nina	1014,4	1014,8	1013,6	1012,7	1011,2	1012,6	1014,3	1016,5	1016,2
Không ENSO	1014,9	1014,5	1014,9	1012,4	1012,4	1013,5	1015,6	1016,0	1016,0

Ngoài ra, vào những năm không có ENSO thì đa phần áp thấp này có cường độ dao động trong khoảng 1010÷1015 mb. Tuy nhiên trong năm 1981, áp thấp này lại có cường độ mạnh rõ rệt khi xuống tới gần mức 1004 mb nhưng lại giảm mạnh vào năm sau đó với khí áp vùng trung tâm là 1014 mb.

Nhưng đến tháng 2 cường độ của áp thấp này lại bắt đầu suy yếu và sang đến tháng 3,4 cường độ suy yếu rõ rệt trong cả ba thời kỳ. Trong thời kỳ El Nino, khí áp trung bình thấp nhất chỉ đạt mức 1010,35 mb (1983) vào tháng 3, sang đến tháng 4 hầu như cường độ khí áp đều trên mức 1013 mb. Còn trong hai thời kỳ còn lại khí áp đều trên mức 1012 mb.

Qua phân tích trên, áp thấp Aleut thường có cường độ giảm trong thời kỳ La Nina và tăng trong thời kỳ El Nino (Bảng 3). Kết quả này cũng phù hợp với công bố trước đó [19]. Việc đánh giá cường độ áp thấp Aleut mạnh hay yếu còn có thể dự báo về đợt ENSO trong năm tiếp theo, điều này cũng đã được [20] đưa ra.

3.2. Sự biến đổi phạm vi của áp thấp Aleut

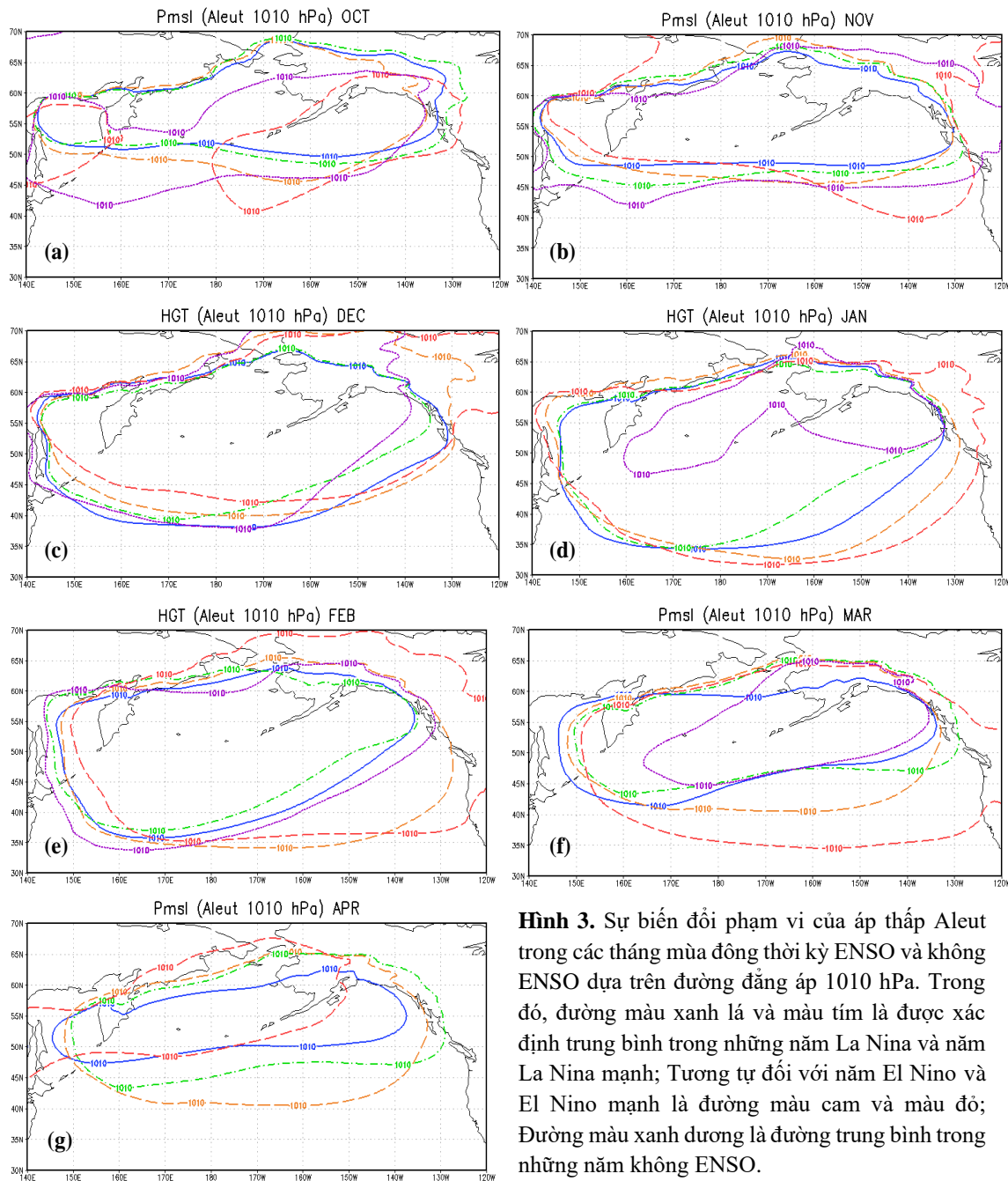
Sự biến đổi phạm vi hoạt động của áp thấp Aleut sẽ được xác định dựa trên sự biến đổi của đường đẳng áp 1010mb trong giai đoạn 1981-2020. Trong tháng 9, áp thấp này hình thành và mở rộng hơn phía bắc (trong các năm El Nino), sang phía tây (trong những năm La Nina) và thu hẹp trong thời kỳ không ENSO.

Trong tháng 10, 11, 12 và tháng 2, áp thấp này có xu thế mở rộng hơn về phía tây trong các thời kỳ La Nina (Hình 3a, 3b, 3c, 3e). Riêng trong tháng 10, xuất hiện một trung tâm thấp ở rìa phía tây của áp thấp này trong thời kỳ El Nino mạnh. Ngược lại, trong tháng 1 và 4 thì áp thấp này lại có xu thế mở rộng hơn sang phía tây trong thời kỳ El Nino (Hình 3d, 3f).

Nhìn chung, nếu trong thời kỳ La Nina, áp thấp này có xu thế dịch hơn sang phía tây thì trong thời kỳ La Nina, áp thấp này lại dịch hơn sang phía đông và xuống phía nam. Kết quả này thể hiện rõ hơn trong nửa cuối mùa đông (từ tháng 1 đến tháng 4). Trong các tháng chính đông (từ tháng 11 đến tháng 2), áp thấp này cũng có xu hướng mở rộng hơn lên phía bắc và sang phía đông trong các thời kỳ El Nino (Hình 3). Thực tế, áp thấp Aleut cũng không biến đổi nhiều qua các thập kỷ [5] nên những biến đổi của chúng trong các thời kỳ ENSO được

thể hiện trên hình 3 là biến đổi khá nhiều. Tất nhiên, trong thời kỳ trung tính, áp thấp này thường biến đổi trong phạm vi giữa hai thời kỳ El Nino và La Nina (Hình 3).

Như vậy, trong hầu hết các tháng mùa đông, áp thấp Aleut có xu hướng mở rộng sang phía tây trong thời kỳ La Nina song lại mở rộng hơn sang phía đông, lên phía bắc và đặc biệt mở rộng xuống phía nam trong thời kỳ El Nino. Kết quả này cũng phù hợp với các nghiên cứu trước đó về sự mở rộng phạm vi của áp thấp này trong thời kỳ ENSO [1, 6] và ảnh hưởng của ENSO đến nhiệt độ và sự xâm nhập lạnh [1, 16–17].



Hình 3. Sự biến đổi phạm vi của áp thấp Aleut trong các tháng mùa đông thời kỳ ENSO và không ENSO dựa trên đường đẳng áp 1010 hPa. Trong đó, đường màu xanh lá và màu tím là được xác định trung bình trong những năm La Nina và năm La Nina mạnh; Tương tự đối với năm El Nino và El Nino mạnh là đường màu cam và màu đỏ; Đường màu xanh dương là đường trung bình trong những năm không ENSO.

3.3. Ảnh hưởng của hiện tượng ENSO đến áp thấp Aleut

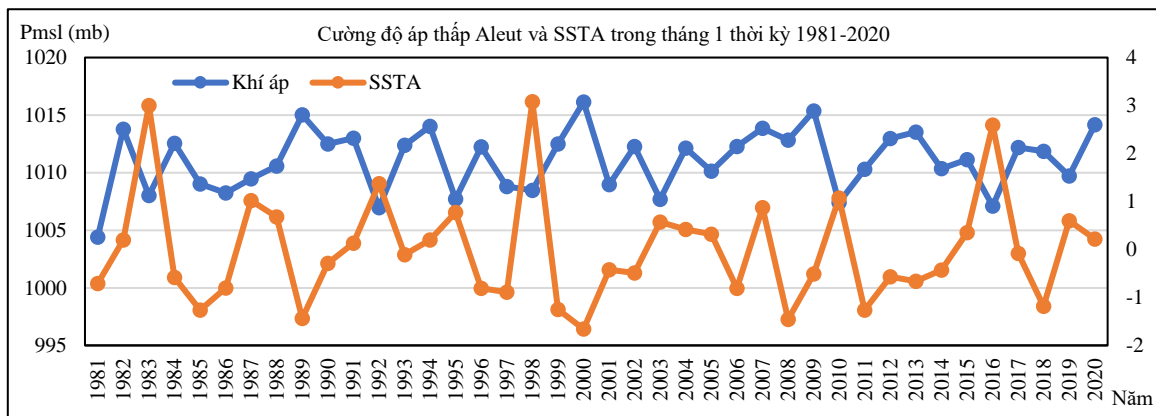
Để xác định ảnh hưởng của hiện tượng ENSO đến áp thấp Aleut, nghiên cứu phân tích mối quan hệ tương quan giữa cường độ tại vùng gần trung tâm của áp thấp này và nhiệt độ mặt nước biển vùng NINO 3 dựa trên hệ số tương quan (HSTQ). Hơn nữa, như đã đề cập trong mục 2.2, để xác định thời gian ảnh hưởng của SST đến áp thấp này, nghiên cứu đưa ra các HSTQ: đồng thời, trễ 1 tháng trễ 2 tháng và trễ 3 tháng (Bảng 3).

Bảng 3. HSTQ giữa SST trung bình toàn cầu và Pmsl trung bình của áp thấp Aleut trong thời gian hoạt động từ tháng 9 đến tháng 4 năm sau.

HSTQ	Tháng 9	Tháng 10	Tháng 11	Tháng 12	Tháng 1	Tháng 2	Tháng 3	Tháng 4
Đồng thời	0,05	-0,23	0,10	-0,29	-0,45	-0,42	-0,44	-0,19
Trễ 1 tháng	0,03	-0,26	0,09	-0,25	-0,51	-0,41	-0,40	-0,20
Trễ 2 tháng	-0,04	-0,17	0,05	-0,25	-0,51	-0,40	-0,32	-0,24
Trễ 3 tháng	0,02	-0,14	0,04	-0,17	-0,45	-0,37	-0,31	-0,26

Có thể thấy, HSTQ trong các trường hợp đều đạt trên -0,3 trong các tháng 1,2 và 3, đạt mức độ tin cậy trên 90%. Cụ thể hơn vào tháng 1 với cách tính trễ 1 và 2 tháng, đây là thời gian áp thấp Aleut hoạt động mạnh nhất thì HSTQ cũng đạt giá trị cao nhất (-0,51) với độ tin cậy trên 95%, thể hiện mối quan hệ đồng biến giữa SST và cường độ hoạt động của áp thấp này (Bảng 3). Nói cách khác, khi SST vùng NINO.3 tăng (giảm) thì giá trị khí áp của áp thấp Aleut sẽ tăng (giảm).

Bên cạnh đó, mối quan hệ giữa cường độ của áp thấp Aleut và các hiện tượng ENSO được thể hiện rõ hơn qua diễn biến cường độ khí áp trung bình của áp thấp Aleut và dị thường SST trong tháng 1 (tháng Aleut hoạt động mạnh nhất) giai đoạn 1981-2020. Có thể thấy, trong thời kỳ 1981-2020, nhiệt độ trung bình vùng NINO.3 và Pmsl biến đổi khá đồng nhất khi dị thường SST tăng (giảm) thì khí áp cũng giảm (tăng) (Hình 4). Điều này có thể thấy, khi dị thường SST dương tăng cao thì cường độ của áp thấp này cũng mạnh lên và ngược lại dị thường SST âm thì cường độ của áp thấp này suy yếu.



Hình 4. Sự biến đổi cường độ của áp thấp Aleut (màu xanh) và SSTA (màu cam) trong tháng 1, thời kỳ 1981-2020.

4. Kết luận

Ảnh hưởng của ENSO đến áp thấp Aleut đã được phân tích dựa trên bộ số liệu tái phân tích trong thời kỳ 1981-2020. Khi đó, cường độ của áp thấp này trong cả thời kỳ El Nino, La Nina và không ENSO đã được so sánh và phân tích. Qua đó, nghiên cứu đưa ra một số kết luận như sau:

Áp thấp Aleut hình thành từ tháng 9, sau đó mạnh dần lên và đạt cường độ mạnh nhất vào khoảng tháng 1, rồi lại suy yếu trong các tháng cuối đông. Áp thấp Aleut trong thời kỳ El Nino thường mạnh hơn trong thời kỳ La Nina và không ENSO.

Trong hầu hết các tháng mùa đông, áp thấp này có xu hướng mở rộng sang phía tây trong thời kỳ La Nina song lại mở rộng hơn sang phía đông, lên phía bắc và đặc biệt mở rộng xuống phía nam trong thời kỳ El Nino.

Cường độ của áp thấp Aleut có mối quan hệ chặt chẽ với SST vùng NINO.3 trong các tháng 1, 2 và 3. Khi SST vùng NINO.3 tăng lên thì áp thấp Aleut tăng cường. Hay áp thấp Aleut có xu thế mạnh lên trong thời kỳ El Nino.

Đặc điểm hoạt động nói chung hay cường độ của áp thấp Aleut nói riêng không chỉ chịu ảnh hưởng bởi riêng hiện tượng ENSO mà còn phụ thuộc vào nhiều nhân tố tác động khác. Vì vậy những nhân tố này cũng cần được xem xét và tìm hiểu thêm.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng và lựa chọn phương pháp nghiên cứu: C.T.T.H.; Thu thập, xử lý và phân tích số liệu: L.A.T.; L.L.A.; N.T.L.T.; C.T.T.H. Viết bản thảo bài báo: N.T.L.T. Chỉnh sửa bài báo: C.T.T.H.

Lời cảm ơn: Bài báo này được thực hiện dựa trên kết quả của đề tài nghiên cứu khoa học sinh viên, trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội “Nghiên cứu mối quan hệ giữa ENSO với một số trung tâm khí áp ảnh hưởng đến Việt Nam”.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan rằng 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. Ngữ, N.Đ. và cs. Tác động của ENSO đến thời tiết, khí hậu, môi trường và kinh tế xã hội Việt Nam. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước, Viện Khí tượng Thủy văn và Môi trường, 2002.
2. Ngữ, N.Đ. và cs. Ảnh hưởng của ENSO đến các cực trị nhiệt độ và lượng mưa ở Việt Nam và khả năng dự báo. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu cơ bản, 2007.
3. Long, H.V.; Thi, P.Đ. Đánh giá tác động của ENSO đến mưa trên khu vực đồng bằng Bắc Bộ vào mùa mưa. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 7, Tập 1, Viện Khí tượng Thủy văn. 2002.
4. Liễn, T.V. Ảnh hưởng của hiện tượng ENSO đến hoạt động của xoáy thuận nhiệt đới trên khu vực tây bắc Thái Bình Dương và biển Đông. Tuyển tập báo cáo Hội thảo Khoa học lần thứ 9, Viện Khí tượng Thủy văn. 2005.
5. Hường, C.T.T. Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu đến một số cực trị khí hậu và hiện tượng khí hậu cực đoan ở Việt Nam, Luận án tiến sĩ khoa học. Viện khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, 2015.
6. Hường, C.T.T. và cs. Nghiên cứu sự dịch chuyển mùa của các hệ thống gió mùa và ảnh hưởng của nó đến sự biến động thời tiết trên khu vực Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2018.
7. Linh, T.Đ.; Tiến, P.M.; Hường, C.T.T. Đặc điểm hoạt động trong năm của áp thấp Aleut. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 2020, 709, 31–41.
8. Hương, P.T.T.; Hiệu, N.T.; Thăng, V.V.; Lan, N.T. Nghiên cứu khả năng dự báo các hiện tượng thời tiết cực đoan trong gió mùa mùa đông ở miền bắc Việt Nam. Đề tài nghiên cứu Khoa học và Công nghệ cấp Bộ. Bộ Tài nguyên và Môi trường. 2012.
9. Hui, G. Comparison of East Asian winter monsoon indices. *Adv. Geosci.* **2007**, 10, 31–37.
10. Thủy, Đ.T.T. Một số đặc điểm hoạt động của GMMĐ trên khu vực Việt Nam. Luận văn thạc sĩ khoa học. Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, 2013.
11. Hường, C.T.T. Ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến cường độ và phạm vi hoạt động của áp cao Siberia. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2015**, 651, 15–21.
12. Wang, L.; Chen, W. An intensity index for the east asian winter monsoon. *J. Clim.* **2014**, 2361–2374.
13. Ding, Y.; Liu, Y.; Liang, S.; Ma, X.; Zhang, Y.; Si, D.; Liang, P.; Song, Y.; Zhang, J. Interdecadal variability of the east Asian winter monsoon and its possible links to global climate change. *J. Meteor. Res.* **2014**, 28, 693–713. Doi:10.1007/s13351-014-4046.
14. Sun, J.; Wu, S.; Ao, J. Role of the North Pacific Sea surface temperature in the East Asian winter monsoon decadal variability. *Clim. Dyn.* **2015**, 46, 3793–3805. Doi:10.1007/s00382-015-2805-9.

15. Rodiov, S.N.; Overland, J.E.; Bond, N.A. The Aleutian low and winter Climatic conditions in Bering Sea, Part I: Classification. *J. Clim.* **2004**, *18*, 160–177.
16. Lành, N.V.; Tiên, P.M. Nghiên cứu mối quan hệ giữa xâm nhập lạnh xuống Việt Nam và áp thấp Aleut, *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các khoa học Trái đất và Môi trường* **2016**, *32(3S)*, 148–152.
17. Hường, C.T.T.; Bình, H.T. Nghiên cứu ảnh hưởng của ENSO đến tần suất và cường độ không khí lạnh. *Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2020**, *34*, 138–147.
18. Chen, S.; Wen, C.; Wu, R.; Bin, Y.; Graf, H.F. Potential impact of preceding Aleutian Low variation on the El Niño-Southern Oscillation during the following winter. *J. Clim.* **2020**, *33*, 3061–3077. Doi:10.1175/JCLI-D-19-0717.1.
19. O'Reilly, C.H. Interdecadal variability of the ENSO teleconnection to the wintertime North Pacific. *Clim. Dyn.* **2018**, *51*, 3333–3350.
20. Giamalaki, K.; Claudie, B.; Stephanie, H.; Martin, A.; Hachem, K.; Davide, F. Future intensification of extreme Aleutian low events and their climate impacts. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 18395. Doi:10.1038/s41598-021-97615-7.

Research on relationship between ENSO and the intensity of the Aleutian low

Nguyen Linh Trang¹, Le Anh Trung¹, Le Lan Anh¹, Chu Thi Thu Huong^{1*}

¹ Hanoi University of Natural Resources and Environment;
nguyenlinhtrang010@gmail.com; letrung14@gmail.com; 1911020666@hunre.edu.vn;
ctthuong@hunre.edu.vn

Abstract: The influence of ENSO on the Aleutian Low was statistically analyzed for the changes in intensity and scope of this low pressure in each month and each ENSO period as well as the correlation relationship between them in the period 1981-2020. From that, it can be seen that the Aleutian low pressure in the El Nino period is usually stronger than in the La Nina periods and not ENSO. During most months, the Aleutian Low tends to expand to the west during the La Nina periods, but widens more eastward, northward, and especially southward during the El Nino periods. The intensity of this low pressure has a close relationship with the SST in the NINO.3 region in January, February and March. This once again confirms the intensification of the Aleutian depression during this time when El Nino appears. The variation in intensity as well as the extent of the Aleutian Low also has a significant influence on the activity of cold air in winter in Vietnam.

Keywords: El Nino; La Nina; Aleutian Low; Intensity; Relationship.

Bài báo khoa học

Đánh giá hiệu quả chuyển đổi mô hình vận hành cửa van của hệ thống công dưới đê biển Tây thuộc vùng Tứ Giác Long Xuyên, tỉnh Kiên Giang

Ngô Thanh Toàn¹, Lâm Tấn Phát¹, Nguyễn Thái An², Huỳnh Vương Thu Minh³, Trần Văn Tỷ^{2*}

¹ Học viên cao học, Trường Bách khoa, Trường Đại học Cần Thơ;

toanm4221036@gstudent.ctu.edu.vn, phatm4220016@gstudent.ctu.edu.vn

² Trường Bách khoa, Trường Đại học Cần Thơ; siahtna3106@gmail.com, tvty@ctu.edu.vn

³ Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ,

hvtminh@ctu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: tvty@ctu.edu.vn; Tel.: +84–939501909

Ban Biên tập nhận bài: 15/5/2023; Ngày phản biện xong: 24/6/2023; Ngày đăng bài: 25/6/2023

Tóm tắt: Những thách thức về biến động nguồn nước thượng nguồn và biến đổi khí hậu đã và đang đe dọa đến sản xuất nông nghiệp cũng như vận hành hệ thống công trình thủy lợi, và do đó việc nghiên cứu chuyển đổi mô hình vận hành là vấn đề cấp thiết. Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá hiệu quả chuyển đổi mô hình vận hành cửa van của hệ thống công dưới đê biển Tây thuộc vùng Tứ Giác Long Xuyên. Trước tiên, hiện trạng vận hành các công được đánh giá qua các tài liệu thu thập và khảo sát thực tế. Tiếp đến, các bên liên quan được phỏng vấn và kết hợp phân tích SWOT. Chỉ số chất lượng nước WQI được tính toán và chiều dày lớp bùn dưới đáy công được đo đạc nhằm đánh giá hiệu quả mô hình chuyển đổi về kinh tế - kỹ thuật và môi trường - xã hội. Kết quả cho thấy, hiện trạng vận hành các công dưới đê biển Tây đã xảy ra một số trường hợp ngập úng cục bộ trên các khu vực có địa hình thấp, chưa có hệ thống đê bao khép kín và các công vận hành tự động nên không chủ động mở thoát nước kịp thời. Kết quả đánh giá hiệu quả cho thấy tuy chi phí đầu tư cải tạo ban đầu tương đối cao (từ 5,4-6,6 tỷ/cửa van) nhưng sản lượng và năng suất lúa có xu hướng tăng, tiết kiệm chi phí nạo vét từ 5-8 triệu/cửa/năm, chất lượng nước mặt trong vùng được cải thiện đáng kể theo WQI. Kết quả phân tích SWOT cho thấy mô hình vận hành mới có tính ưu việt hơn mô hình đóng/mở tự động theo thủy triều.

Từ khóa: Chuyển đổi mô hình vận hành cửa van; Chất lượng nước mặt; Hiệu quả kinh tế - kỹ thuật và môi trường - xã hội; SWOT; Vùng Tứ Giác Long Xuyên.

1. Mở đầu

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) nằm ở khu vực hạ nguồn sông Mê Công có thể mạnh trong sản xuất nông nghiệp (SXNN) và nuôi trồng thủy sản (NTTS) [1]. Hệ thống sông ngòi, kênh rạch dày đặc của khu vực phục vụ cho cấp và thoát nước tại những vùng SXNN [2–3]. Những khó khăn về nước của vùng chủ yếu liên quan đến sự phân phối nguồn nước không đồng đều cho thâm canh lúa ở khu vực thượng nguồn và bất đồng về tập quán canh tác giữa các mô hình SXNN khác nhau ở khu vực hạ lưu và ven biển [4–5]. Công tác quy hoạch và quản lý thủy lợi ở ĐBSCL thay đổi theo các thời kỳ và chủ yếu là phục vụ SXNN [6]. Tuy nhiên, các quy hoạch về thủy lợi tại các địa phương có tính khác nhau và thiếu thống nhất trong xây dựng quy hoạch dẫn đến khó khăn trong vận hành [7].

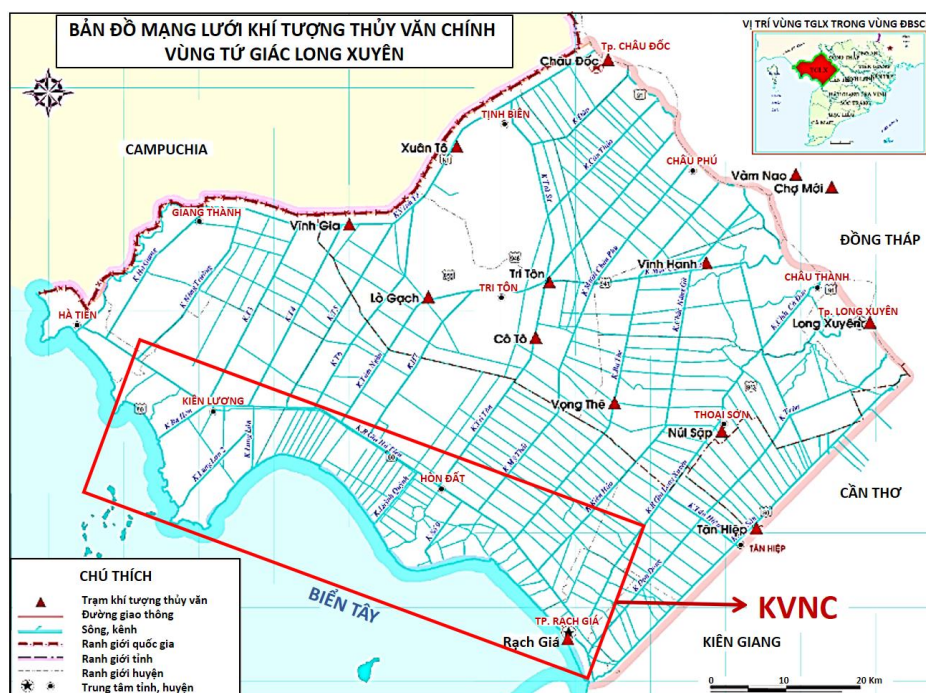
Ngoài ra, ĐBSCL là khu vực được dự báo sẽ chịu ảnh hưởng nặng nề dưới tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) toàn cầu [8], mực nước biển dâng (NBD) sẽ làm gia tăng xâm nhập mặn (XNM) vào khu vực nội đồng [9]. Từ đó, việc cải tạo và chủ động vận hành, điều tiết nước tại các công trình phát triển và tái cơ cấu ngành nông nghiệp là rất cần thiết [10]. Hiện nay, trên tuyến đê biển thuộc vùng Tứ Giác Long Xuyên (TGLX), đã có bảy công trình chuyển đổi cửa van vận hành tự động theo thủy triều thành cửa van phẳng, vận hành bằng hệ thống xi-lanh thủy lực. Việc chuyển đổi cửa van phải phù hợp và cần được đánh giá mức độ hiệu quả [11], đặc biệt là phân tích các chỉ tiêu về chất lượng môi trường [12]. Những phương pháp đánh giá hiệu quả của một dự án đầu tư thường được áp dụng là: Phân tích chi phí - lợi ích [13]; Đánh giá trước - sau dự án [14]; Thực nghiệm/đối chứng [15]; và đánh giá tác động đến sinh kế của nông hộ [14, 16]. Các công cụ mô hình toán, phân tích thống kê, khung phân tích được sử dụng nhằm hỗ trợ trong đánh giá hiệu quả trên các phương diện kinh tế, xã hội của một dự án hay mô hình chuyển đổi.

Nghiên cứu này được tiến hành với mục tiêu là đánh giá hiệu quả chuyển đổi mô hình vận hành cửa van của hệ thống cống dưới đê biển Tây thuộc vùng TGLX, tỉnh Kiên Giang. Trước tiên, hiện trạng và vận hành hệ thống cống được đánh giá; tiếp đến nghiên cứu tiến hành khảo sát và phỏng vấn các đơn vị có liên quan và phân tích SWOT kết hợp đánh giá chất lượng nước mặt theo chỉ số chất lượng nước WQI và tiến hành đo lớp bùn dưới đáy cống; từ kết quả trên, hiệu quả chuyển đổi mô hình được đánh giá theo các yếu tố về kinh tế - kỹ thuật và môi trường - xã hội. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp thông tin về đánh giá hiệu quả của mô hình cửa van chuyển đổi so với mô hình cũ, từ đó đề xuất giải pháp khắc phục trong thời gian tới.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

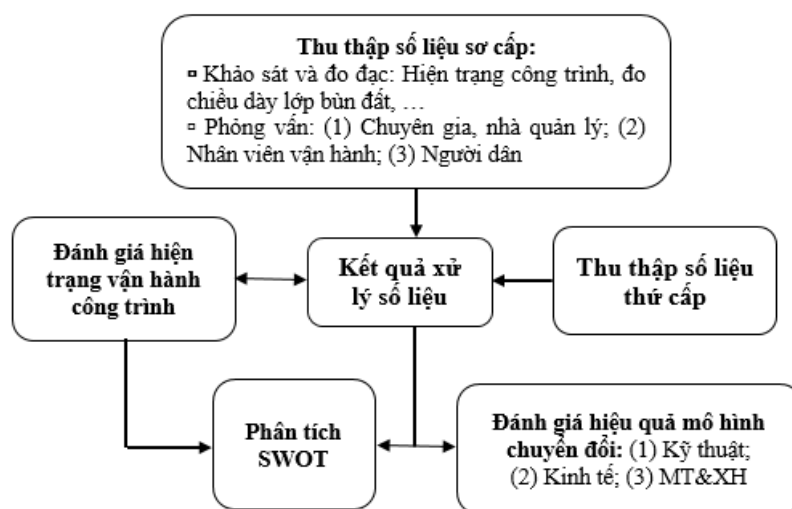
Vùng TGLX nằm ở phía Tây của ĐBSCL, có phía Bắc giáp biên giới Việt Nam - Campuchia, phía Đông giáp sông Hậu, phía Nam giáp kênh Cái Sắn và phía Tây giáp Biển Tây (Hình 1) [17]. Tổng diện tích tự nhiên của vùng khoảng 498.141 ha, bao gồm 15 huyện của 3 tỉnh: An Giang, Kiên Giang và Cần Thơ. Giới hạn nghiên cứu đối với các công trình đê biển Tây trên địa bàn các huyện, thành phố: Rạch Giá, Hòn Đất, Kiên Lương thuộc vùng TGLX, tỉnh Kiên Giang [18].



Hình 1. Khu vực nghiên cứu [18].

2.2. Tiến trình thực hiện

Các bước thực hiện mục tiêu đánh giá hiệu quả chuyển đổi mô hình vận hành cửa van của các cống được trình bày theo sơ đồ Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ các bước thực hiện.

2.3. Thu thập số liệu

Số liệu thứ cấp và nguồn thu thập được thể hiện qua Bảng 1.

Bảng 1. Số liệu thứ cấp và nguồn số liệu.

STT	Tên số liệu	Năm	Nguồn
1	Bản đồ hiện trạng thủy lợi vùng TGLX	2021	Bộ NN&PTNT [19]
2	Bản đồ hiện trạng thủy lợi tỉnh KG; Bản đồ phân vùng thủy lợi tỉnh KG	2022	CCTL tỉnh Kiên Giang [11]
3	Đánh giá sự phù hợp của từng loại hình cửa van công trên địa bàn tỉnh KG	2022	CCTL tỉnh Kiên Giang [11]
4	Danh mục hệ thống cống trên đê biển Tây vùng TGLX, tỉnh KG	2022	CCTL tỉnh Kiên Giang [11]
5	Số liệu quan trắc môi trường nước mặt vùng TGLX	2016-2022	Viện Kỹ thuật biển thuộc Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam [20]
6	Số liệu năng suất và sản lượng lúa	2022	Niên giám thống kê tỉnh Kiên Giang [21]
7	Quy trình vận hành Hệ thống công trình thủy lợi vùng TGLX	2021	Bộ NN&PTNT [19]

Ngoài ra, nghiên cứu này còn tiến hành khảo sát ý kiến của ba đối tượng: (1) Chuyên gia và nhà quản lý; (2) Cán bộ vận hành trực tiếp các cống trong KVNC; (3) Người dân sinh sống và SXNN tại khu vực cống nhằm kiểm chứng hiệu quả chuyển đổi mô hình vận hành cửa van tại các cống dưới đê biển Tây thuộc vùng TGLX, tỉnh Kiên Giang với số lượng: Chuyên gia, nhà quản lý (41 phiếu); cán bộ vận hành trực tiếp các cống trong KVNC (28 phiếu); và người dân sinh sống tại khu vực cống (37 phiếu). Khảo sát được tiến hành online trên công cụ Google form đối với nhóm chuyên gia, nhà quản lý và cán bộ trực tiếp vận hành các cống. Đối với người dân sinh sống và SXNN trong KVNC, nghiên cứu tiến hành phỏng vấn trực tiếp theo phiếu khảo sát. Mỗi nhóm có các bộ câu hỏi phỏng vấn khác nhau, tập trung về: (1) Hiệu quả kinh tế; (2) Hiệu quả kỹ thuật; và (3) Tác động đến môi trường của việc chuyển đổi mô hình vận hành cửa van. Bảng câu hỏi khảo sát được xây dựng dựa trên tiêu chí thứ 8 của bộ tiêu chí gồm có 10 khối trong đánh giá và quản trị nguồn nước, phù hợp và phản ánh được các khía cạnh của nghiên cứu [22].

2.4. Xử lý số liệu

Các số liệu khảo sát được thống kê và trình bày dưới dạng các biểu đồ nhằm phân tích hiệu quả của việc chuyển đổi mô hình vận hành hệ thống công theo các chỉ tiêu về kinh tế, kỹ thuật, môi trường và xã hội.

Thang đánh giá gồm có bốn mức độ từ thấp đến cao và được ghi nhận các giá trị phần trăm thông qua 106 phiếu đánh giá từ ba nhóm đối tượng. Nhóm (1) Chuyên gia và nhà quản lý; (2) Cán bộ vận hành trực tiếp các công trong KVNC, khảo sát được thực hiện online trên công cụ Google form, các kết quả thu thập được tổng hợp trực tiếp trên công cụ này. Đối với nhóm (3) Người dân sinh sống và SXNN tại khu vực công được phỏng vấn trực tiếp và ghi nhận kết quả lên các phiếu phỏng vấn, tác giả tiến hành tổng hợp và phân tích số liệu tương tự đối với hai nhóm trên. Việc đánh giá hiệu quả của chuyển đổi mô hình vận hành công được thực hiện theo ba bước chính: (1) xây dựng tiêu chí đánh giá; (2) tính toán các tiêu chí đánh giá; và (3) tổng hợp hiệu quả đánh giá [23].

2.5. Đánh giá chất lượng nước theo WQI

Nghiên cứu sử dụng phương pháp đánh giá theo chỉ số chất lượng nước WQI cho việc đánh giá hiện trạng và diễn biến chất lượng nước tại KVNC. Tính toán chỉ số chất lượng nước theo Quyết định số 1460/QĐ-TCMT ngày 12/11/2019 của Tổng cục Môi trường – Bộ Tài nguyên và Môi trường [24]. Các thông số đưa vào tính toán dựa trên số liệu quan trắc chất lượng nước của Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam [20]. Có sáu thông số đưa vào tính toán, gồm: pH, DO, BOD₅, N-NO₃, P-PO₄ và Coliform.

Đối với các thông số BOD₅, N-NO₃, P-PO₄ và Coliform, tính toán theo công thức như sau:

$$WQI_{SI} = \frac{q_i - q_{i+1}}{BP_{i+1} - BP_i} (BP_{i+1} - C_p) + q_{i+1} \quad (1)$$

Trong đó BP_i là nồng độ giới hạn dưới của giá trị thông số quan trắc tương ứng với mức i; BP_{i+1} là nồng độ giới hạn trên của giá trị thông số quan trắc tương ứng với mức i+1; q_i là giá trị WQI ở mức i đã cho trong Bảng 2 tương ứng với giá trị BP_i; q_{i+1}: C_p là giá trị của thông số quan trắc được đưa vào tính toán.

Bảng 2. Quy định các giá trị q_i, BP_i cho các thông số nhóm IV và V [24].

i	q _i	Giá trị BP _i quy định đối với từng thông số								
		BOD ₅	COD	TOC	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NO ₂	P-PO ₄	Coliform	E.coli
		mg/L							MNP/100 mL	
1	100	≤ 4	≤ 10	≤ 4	<0,3	< 2	<0,05	<0,1	<2.500	<20
2	75	6	15	6	0,3	5	-	0,2	5.000	50
3	50	15	30	15	0,6	10	-	0,3	7.500	100
4	25	25	50	25	0,9	15	-	0,5	10.000	200
5	10	≥	≥150	≥50	>5	>15	>0,05	>4	>10.000	>200

Đối với thông số DO (WQI_{DO}), tính toán thông qua giá trị DO_{%bảo hòa}.

$$DO_{\%bảo hòa} = DO_{hòa tan} / DO_{bảo hòa} \times 100 \quad (2)$$

Trong đó DO_{hòa tan} là giá trị DO quan trắc được (đơn vị: mg/l); DO_{bảo hòa} được tính theo công thức:

$$DO_{bảo hòa} = 14,652 - 0,41022T + 0,0079910T^2 - 0,000077774T^3 \quad (3)$$

Với T là nhiệt độ môi trường nước tại thời điểm quan trắc (đơn vị: °C).

Giá trị WQI_{DO} được tính theo công thức (4)

$$WQI_{SI} = \frac{q_{i+1} - q_i}{BP_{i+1} - BP_i} (C_p - BP_i) + q_i \quad (4)$$

Trong đó C_p là giá trị DO_{%bảo hòa}; BP_i, BP_{i+1}, q_i, q_{i+1} là các giá trị tương ứng với mức i, i+1 trong Bảng 3.

Bảng 3. Quy định các giá trị BP_i và q_i đối với DO% bão hòa [24].

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BP _i	<20	20	50	75	88	112	125	150	200	>200
q _i	10	25	50	75	100	100	75	50	25	10

Đối với thông số pH: BP_i, BP_{i+1}, q_i, q_{i+1} là các giá trị tương ứng với mức i, i+1 trong Bảng 4. Nếu pH < 5,5 hoặc pH > 9, thì WQI_{pH} = 10; 5,5 < pH < 6, thì WQI_{pH} tính theo công thức (4) và sử dụng Bảng 4; 6 ≤ pH ≤ 8,5, thì WQI_{pH} bằng 100 và 8,5 < pH < 9, thì WQI_{pH} được tính theo công thức (1) và sử dụng Bảng 4.

Bảng 4. Quy định các giá trị BP_i và q_i đối với thông số pH [24].

i	1	2	3	4	5	6
BP _i	< 5,5	5,5	6	8,5	9	> 9
q _i	10	50	100	100	50	10

Sau khi tính toán WQI đối với từng thông số nêu trên, đối với thủy vực cần chú ý vấn đề ô nhiễm hữu cơ, tính toán WQI với trọng số của nhóm thông số theo Bảng 5 và chỉ số WQI cuối cùng được áp dụng theo công thức sau:

$$WQI = \frac{WQI_I}{100} \times \left[\left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k WQI_{IV} \right)^2 \times \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l WQI_V \right]^{1/3} \quad (5)$$

Trong đó WQI_I là kết quả tính toán đối với thông số nhóm I: pH; WQI_{IV} là kết quả tính toán đối với các thông số nhóm IV: DO, BOD₅, N-NO₃, P-PO₄; WQI_V là kết quả tính toán đối với thông số nhóm V: Coliform.

Bảng 5. Quy định trọng số của các nhóm thông số [24].

Nhóm thông số	Nhóm IV	Nhóm V
Trọng số	2	1

Chỉ số WQI được phân loại theo thang điểm nhằm đánh giá chất lượng nước đáp ứng cho nhu cầu sử dụng, cụ thể theo Bảng 6.

Bảng 6. Khoảng giá trị WQI và chất lượng nước [24].

WQI	Chất lượng nước	Phù hợp với mục đích sử dụng
91–100	Rất tốt	Sử dụng tốt cho mục đích cấp nước sinh hoạt
76–90	Tốt	Sử dụng cho cấp nước sinh hoạt nhưng cần các biện pháp xử lý phù hợp
51–75	Trung bình	Sử dụng cho mục đích tưới tiêu và các mục đích tương đương khác
26–50	Kém	Sử dụng cho giao thông thủy và các mục đích tương đương khác
10–25	Ô nhiễm nặng	Nước ô nhiễm nặng, cần các biện pháp xử lý trong tương lai
< 10	Ô nhiễm rất nặng	Nước nhiễm độc, cần có biện pháp khắc phục, xử lý

2.6. Đo đạc lớp bùn ở đáy cống

Nhóm nghiên cứu tiến hành đo đạc chiều cao lớp bùn, đất bồi lắng cách vị trí cửa van 2 m vào ngày 15/05/2023 đối với năm cống đã chuyển đổi mô hình vận hành cửa van (cống Số 2, Số 9, Linh Huỳnh, Vàm Rây, Ba Hòn) và bảy cống với các loại hình cửa van khác nhau chưa chuyển đổi (cống Kênh Cụt, Kênh Nhánh, Sông Kiên, Tà Lức, Hòn Me 2, Kênh Số 10 và Kênh Bốn). Dụng cụ đo đạc là máy đo sâu Hondex kết hợp với mia (Hình 3).



Hình 3. Dụng cụ đo đạc chiều sâu lớp bùn tại cửa cống.

2.7. Phân tích SWOT

Phương pháp phân tích điểm mạnh - yếu - cơ hội - thách thức (SWOT) được áp dụng để phân tích các khía cạnh thuận lợi và khó khăn trong so sánh hiệu quả vận hành các công có cửa van chuyển đổi từ vận hành tự động theo thủy triều sang cửa van vận hành chủ động bằng xi-lanh thủy lực với các công chưa chuyển đổi [25]. Việc phân tích dựa vào kết quả thu thập số liệu sơ cấp, thứ cấp về các vấn đề có liên quan trong KVNC và phỏng vấn các chuyên gia, nhà quản lý, nhân viên vận hành công và người dân về hiệu quả trong các mặt: kinh tế, kỹ thuật, xã hội và môi trường.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá hiện trạng

a) Hệ thống công trên biển Tây vùng TGLX thuộc tỉnh Kiên Giang

Tổng số lượng các công đang vận hành khai thác do CCTL Kiên Giang quản lý gồm 134 công. Riêng các công dưới đê biển Tây thuộc vùng TGLX trong KVNC có 45 công với các loại hình cửa van theo Bảng 7.

Bảng 7. Thống kê và đánh giá các loại hình cửa van [11].

STT	Loại cửa van	Số lượng	Tỉ lệ
1	Công có cửa van vận hành tự động theo triều (loại 1 chiều hoặc 2 chiều)	38	84,4%
2	Công có cửa van đã chuyển đổi mô hình vận hành từ vận hành tự động theo thủy triều thành cửa van vận hành chủ động (áp dụng cho công có từ 02 cửa van trở lên: 01 cửa van chuyển đổi + các cửa còn lại giữ nguyên hiện trạng)	05	11,1%
3	Công có cửa van phẳng, vận hành thẳng đứng bằng hệ thống xi-lanh thủy lực	01	2,2%
4	Công có cửa van loại clape trực dưới	01	2,2%



1. Cửa van tự động theo thủy triều (Công Số 3, Hòn Đất)



2-3. Cửa van vận hành thẳng đứng bằng hệ thống xi-lanh thủy lực (Công Kênh Nhánh, Rach Giá)



4. Cửa van Clape trực dưới (Công Kênh Cụt, Rach Giá)

Ưu điểm	Ưu điểm	Ưu điểm
<ul style="list-style-type: none"> - Vận hành đơn giản, ít nhân lực và không yêu cầu trình độ, tay nghề cao. - Thuận lợi cho nhiệm vụ kiểm soát mặn và thoát lũ, ô nhiễm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vận hành chủ động, kịp thời; ít phụ thuộc vào điều kiện mực nước. - Thiết kế đơn giản, dễ kiểm tra hư hỏng và sửa chữa cửa van. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vận hành chủ động, kịp thời, không phụ thuộc vào điều kiện mực nước. - Cửa có kích thước lớn. Không tốn không gian trên công.
Nhược điểm	Nhược điểm	Nhược điểm
<ul style="list-style-type: none"> - Dễ bị bồi lắng khu vực cửa công, lớp bùn bồi lắng dày hơn 1m; + Cửa van không mở hết hành trình, không điều tiết nước kịp thời, cản trở giao thông thủy. + Cản nạo vét khu vực cửa van khi vận hành đóng, mở công. - Không mở công kịp thời để tiêu thoát nước, chống ngập úng khi công đang 	<ul style="list-style-type: none"> - Vận hành cửa cần nhiều nhân lực. Nhân viên phải có trình độ cao và được tập huấn kỹ càng. - Việc kiểm tra, sửa chữa các thiết bị điện điều khiển phải do cán bộ có chuyên môn cao. - Chiều cao thông thuyền thấp. - Vận hành thoát lũ, kiểm soát mặn, xả ô nhiễm phải bố trí nhân lực trực tiếp 	<ul style="list-style-type: none"> - Bồi lắng khu vực cửa van do vận hành đóng công kiểm soát mặn dài ngày: Đến khi mở cửa thì cửa van không hạ đến sát đáy công do vướng lớp bùn bồi lắng, nguy hiểm cho phương tiện giao thông thủy, không đảm bảo lưu lượng thoát nước theo thiết kế.

đóng (chưa đủ điều kiện cân bằng mực nước hai bên công để mở).
- Phụ thuộc vào thủy triều, gây nguy cơ ngập nội đồng, ảnh hưởng sản xuất lúa xung quanh.

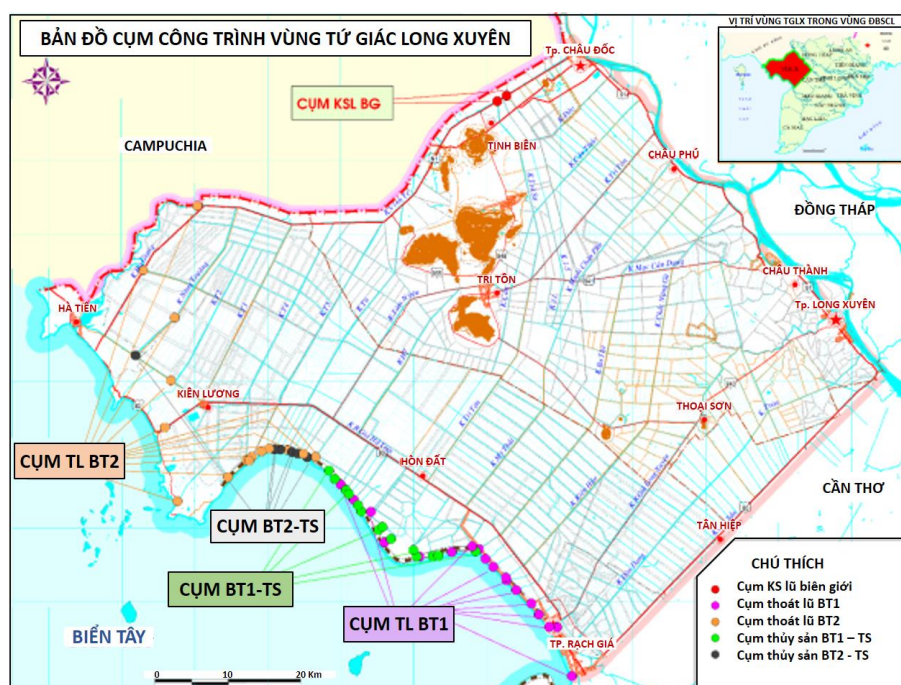
đóng, mở kịp thời, liên tục theo thời gian lên xuống của thủy triều để không để nước mặn chảy vào đồng.

- Cần nhiều nhân lực tham gia vận hành.
- Vận hành thoát lũ, kiểm soát mặn, xả ô nhiễm phải bố trí nhân lực trực tiếp đóng, mở kịp thời, liên tục theo thời gian lên xuống của thủy triều để không để nước mặn chảy vào đồng.

Theo thống kê hiện trạng hệ thống công trình trong KVNC, có 27 công thuộc dự án thoát lũ ra biển Tây và 18 công thuộc dự án phục vụ NTTS. Các công thuộc dự án thoát lũ ra biển Tây: Có nhiệm vụ kiểm soát mặn, thoát lũ kịp thời ra biển Tây để bảo vệ SXNN của người dân. Đồng thời, kết hợp với tuyến đê biển ứng phó với BĐKH-NBD, góp phần nâng cao năng lực phòng, chống thiên tai trong tỉnh. Do đó, việc vận hành công cần phải chủ động, kịp thời, hạn chế đến mức thấp nhất các thiệt hại có thể xảy ra do ảnh hưởng của quá trình vận hành công trình. Các công thuộc các dự án phục vụ NTTS: Chủ động cấp nước mặn phục vụ NTTS và thoát nước kịp thời khi có yêu cầu. Tuy nhiệm vụ của các công khác nhau nhưng yêu cầu về việc vận hành phải chủ động, kịp thời luôn là vấn đề cần được quan tâm thực hiện.

b) Hiện trạng vận hành công

Các công trong vùng TGLX được vận hành dựa vào “Quy trình vận hành hệ thống công trình thủy lợi TGLX” của Quyết định 3829/QĐ-BNN-TCTL của Bộ NN&PTNT [19]. Theo đó, việc đóng, mở các công này căn cứ vào mực nước tại trạm Châu Đốc. Trên địa bàn tỉnh Kiên Giang, quy trình được áp dụng cho bốn cụm công trình thoát lũ biển Tây: BT1, BT1-TS, BT2 và BT2-TS (Hình 4). Nhờ có quy trình này mà CCTL có cơ sở để chỉ đạo đóng, mở công thống nhất và phù hợp cho từng thời điểm, tạo sự đồng thuận cho các địa phương trong tỉnh. Tuy nhiên, thời gian qua đã xảy ra một số trường hợp ngập úng cục bộ trên các khu vực gần công ven biển Tây. Nguyên nhân chủ yếu là do các khu vực này có địa hình mặt đất tự nhiên thấp, chưa có hệ thống bờ bao khép kín và các công vận hành tự động nên không chủ động mở thoát nước kịp thời; trong vùng chưa được đầu tư đồng bộ và hoàn chỉnh các trạm bơm để tiêu, thoát nước chủ động khi gặp điều kiện thời tiết bất lợi.



Hình 4. Bản đồ phân cụm công trình - Hệ thống thủy lợi vùng TGLX [19].

Hiện trạng các công thuộc cụm BT1, BT1-TS, BT2 và BT2-TS hầu hết đều có cửa van đóng, mở tự động theo thủy triều (phụ thuộc vào chênh lệch mực nước giữa thượng lưu và hạ lưu công) nên khi mực nước tại Châu Đốc đến cao trình cần vận hành đóng, mở công theo quy

định thì cũng phải chờ điều kiện thủy triều phù hợp mới vận hành được cửa van. Do đó, thời điểm đóng, mở cống không được kịp thời theo quy định trong quy trình. Theo hướng dẫn trong quy trình: Các cống thuộc cụm BT1, BT1-TS, BT2 và BT2-TS phải đóng kín trước khi mực nước tại Châu Đốc giảm đến cao trình +2,0 m để ngăn mặn, giữ ngọt trong mùa khô. Việc vận hành đóng kín hết các cống tại thời điểm này đã xảy ra ngập úng cục bộ trên một số khu vực trũng, ven biển do hiện tượng dồn nước.

3.2. Kết quả khảo sát

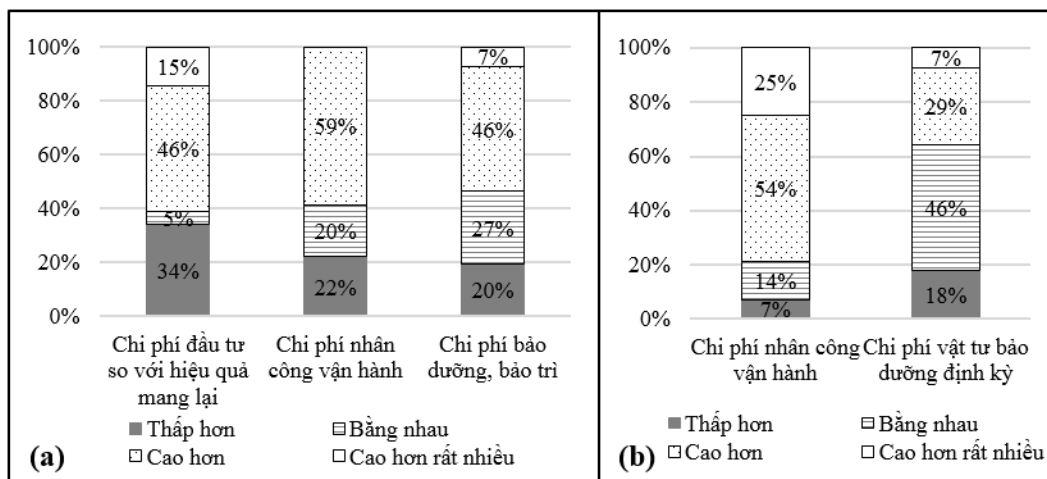
Kết quả khảo sát về hiệu quả của việc chuyển đổi mô hình vận hành từ cửa van đóng mở tự động sang cửa van đóng mở bằng xi-lanh thủy lực trên các phương diện kinh tế, kỹ thuật, môi trường và xã hội được trình bày từ Hình 5 đến Hình 10.

a) Về kinh tế

So với các phương án vận hành đóng mở cống bằng cửa van tự động theo thủy triều chi phí xây dựng khoảng 1,8-2,2 tỷ/cửa van thì chi phí lắp đặt mới một cửa van vận hành đóng, mở bằng xi-lanh thủy lực có chi phí cao hơn khoảng ba lần (5,4-6,6 tỷ/cửa van) [10]. Phương án vận hành bằng xi-lanh thủy lực mang lại hiệu quả cao về mặt kỹ thuật (chi tiết ở mục 3.2b) tuy nhiên về phương diện hiệu quả kinh tế cần xem xét kỹ giữa chi phí đầu tư lắp đặt ban đầu có cải thiện được tình hình SXNN của cư dân tại khu vực vận hành của cống hay không. Chính các chuyên gia - Nhà quản lý tham gia khảo sát cũng cho thấy sự phân vân trong việc tính toán hiệu quả trên phương diện kinh tế. Minh chứng cho thấy đến 34% số chuyên gia cho rằng hiệu quả kinh tế mang lại không vượt quá chi phí đầu tư lắp đặt cửa van đóng mở bằng xi-lanh thủy lực (Hình 5).

Bên cạnh đó, các chi phí nhân công vận hành cũng như chi phí bảo dưỡng, bảo trì cống cũng được đánh giá là cao hơn so với lúc chưa chuyển đổi. Cụ thể có 79% số chuyên gia, nhà quản lý và cán bộ vận hành đánh giá chi phí nhân công vận hành đóng mở cống bằng xi-lanh thủy lực cao hơn hoặc cao hơn nhiều so với vận hành cửa cống theo thủy triều (Hình 5). Trong khi cửa cống đóng mở tự động theo thủy triều chỉ cần một công nhân tháo hoặc lắp chốt cửa mỗi khi vận hành thì khi vận hành đóng mở cống bằng xi-lanh thủy lực cần ít nhất là ba công nhân. Hơn nữa, để vận hành đóng mở bằng xi-lanh đòi hỏi cán bộ phải có kỹ năng điều khiển hệ thống máy tính lắp tại trạm điều khiển của cống.

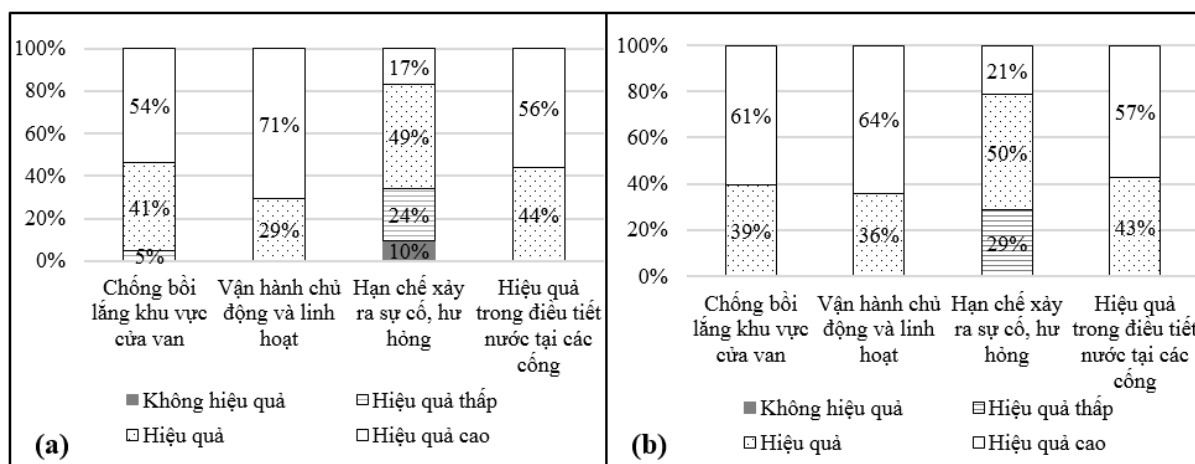
Chi phí bảo dưỡng, bảo trì hệ thống xi-lanh thủy lực cũng được các chuyên gia đánh giá là cao hơn và cao hơn nhiều so với bảo dưỡng cửa van đóng mở tự động theo triều (53% ở Hình 5a). Chi phí vật tư bảo trì như dầu nhớt, chất bôi trơn cũng được các cán bộ vận hành cống đánh giá từ bằng đến cao hơn nhiều so với giai đoạn trước khi chuyển đổi (82% ở Hình 5b).



Hình 5. Khảo sát Chuyên gia, nhà quản lý và cán bộ vận hành cống về hiệu quả kinh tế: (a) Chuyên gia - Nhà quản lý; (b) Cán bộ vận hành cống.

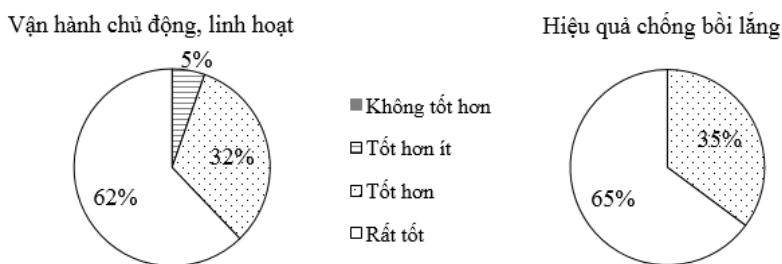
b) Về kỹ thuật

Kết quả cho thấy có đến 95% phiếu đánh giá vận hành đóng, mở cường bức bằng xi-lanh thủy lực hiệu quả trong việc chống bồi lắng khu vực cửa van (Hình 6 và Hình 7). Về phương diện vận hành chủ động, linh hoạt nhằm điều tiết nước tại các cống và hoàn thành nhiệm vụ thủy lợi của hệ thống thoát lũ biển Tây cũng như đáp ứng nhu cầu nước trong NTTS của người dân cũng được các đối tượng tham gia khảo sát đánh giá rất cao, cụ thể có trên 95% số phiếu điều đánh giá là các cống vận hành hiệu quả đến hiệu quả cao (Hình 6 và Hình 7).

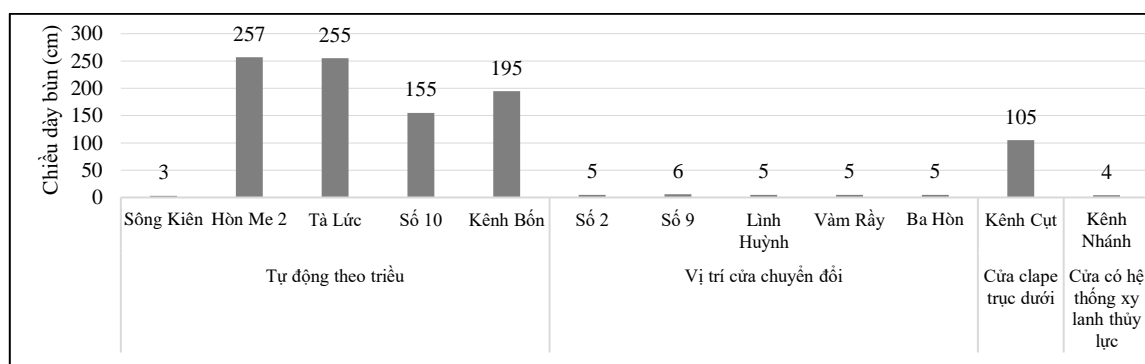


Hình 6. Khảo sát Chuyên gia, nhà quản lý và cán bộ vận hành cống về hiệu quả kỹ thuật: (a) Chuyên gia - Nhà quản lý; (b) Cán bộ vận hành công.

Đánh giá của người dân về hiệu quả kỹ thuật của mô hình vận hành mới rất tích cực tương tự như đánh giá của các chuyên gia phía trên, theo đó có trên 94% số ý kiến đánh giá việc đóng mở cống trở nên chủ động và linh hoạt hơn. Hiệu quả chống bồi lắng cũng được 100% số người khảo sát đồng tình (Hình 7). Nhóm nghiên cứu đã tiến hành đo đạc chiều dài lớp bùn tại các cống và kết quả được trình bày ở Hình 8 cho thấy vị trí các cửa chuyển đổi mô hình đóng mở cống bằng xi-lanh thủy lực có lớp bùn mỏng hơn rất nhiều so với các cửa đóng mở tự động theo thủy triều.



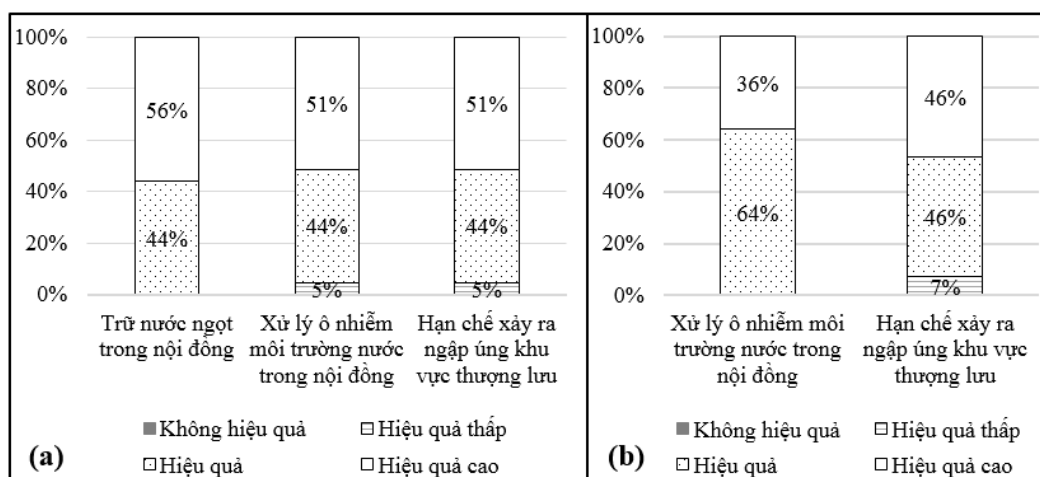
Hình 7. Khảo sát người dân sống tại khu vực cống về hiệu quả kỹ thuật.



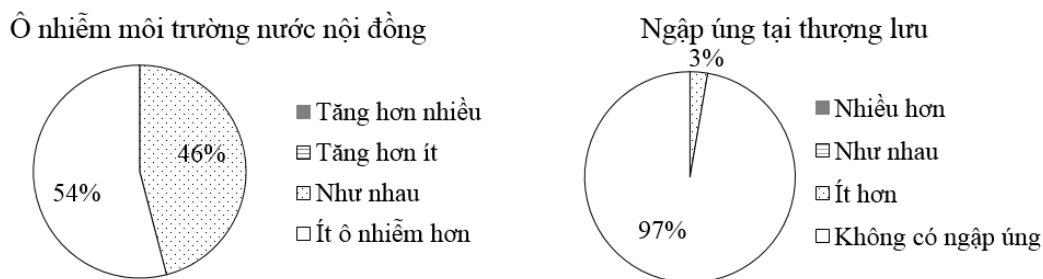
Hình 8. Kết quả đo đạc độ dày của bùn cách cửa cống 2 m.

c) Về tác động đến môi trường và xã hội

Phương diện trữ lại nước ngọt trong mùa khô để phục vụ SXNN và sinh hoạt của người dân được các chuyên gia đánh giá rất cao khi 100% các chuyên gia đều đồng tình (Hình 9). Đây cũng là nhiệm vụ chính của các công thuộc dự án thoát lũ biển Tây. Về phương diện xử lý ô nhiễm môi trường nước do thời gian đóng cống quá lâu vào mùa khô cũng như hạn chế xảy ra ngập úng vùng thượng lưu do không mở cống thoát nước vào mùa mưa cũng được các thành phần tham gia khảo sát đánh giá rất cao. Cụ thể có 95% số chuyên gia (Hình 9a), hơn 93% cán bộ vận hành cống (Hình 9b) và 100% người dân tham gia khảo sát đồng tình với hiệu quả của mô hình vận hành mới mang lại (Hình 10).



Hình 9. Khảo sát chuyên gia, nhà quản lý và cán bộ vận hành cống về tác động đến môi trường và xã hội: (a) Chuyên gia - Nhà quản lý; (b) Cán bộ vận hành cống.



Hình 10. Khảo sát người dân sống tại khu vực cống về tác động đến môi trường và xã hội.

3.3. Phân tích SWOT

a) Điểm mạnh (S - Strength)

S1: Vận hành chủ động, kịp thời

Trong năm 2017, khi công Vàm Rầy trên địa bàn huyện Hòn Đất đang đóng (cửa van vận hành tự động theo thủy triều - chưa chuyển đổi mô hình cửa van) để điều tiết nước, khi mưa lớn xảy ra, nước nội đồng lên nhanh, cống không thể vận hành mở để thoát nước ra biển Tây nên đã gây ngập úng nghiêm trọng khu vực nội đồng gần cống, ảnh hưởng đến sản xuất và đời sống của người dân. Các cống đã chuyển đổi mô hình vận hành cửa van thành cửa van phẳng, vận hành thẳng đứng bằng hệ thống xi-lanh thủy lực được kịp thời, giảm nguy cơ gây ngập úng nội đồng, từ đó góp phần đảm bảo an toàn sản xuất và đời sống của người dân trong khu vực.

S2: Thời gian sử dụng các thiết bị cơ khí (cửa van cống) tăng lên

Do các cửa cống thường xuyên được kéo lên khỏi mặt nước khi vận hành đóng, mở cống nên nhân viên kỹ thuật có thể phát hiện dễ dàng các hư hỏng, các vị trí gỉ sét, xuống cấp để kịp

thời bảo dưỡng, duy tu, sửa chữa. Ngoài ra, việc này còn giúp cho lượng bùn, cát bám trên cửa cống bị rửa trôi trong quá trình vận hành nên giảm nguy cơ gây gi sét cửa van (Hình 11).



Hình 11. Cống Số 2 vận hành kịp thời để điều tiết nước.

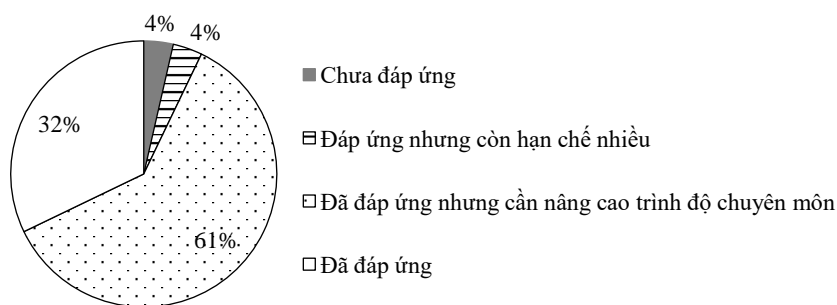
b) Điểm yếu (W - Weakness)

W1: Chi phí thực hiện chuyển đổi mô hình cửa van (cải tạo cửa van) tương đối cao so với cửa hiện trạng

Do việc các cống này được vận hành bằng hệ thống xi-lanh thủy lực được nhập khẩu từ nước ngoài nên chi phí khá cao 5,4-6,6 tỷ/hệ thống [10]; khi thiết bị hư hỏng cần thay mới sẽ cần có thời gian nhất định để đặt hàng và vận chuyển về công trình. Ngoài ra, cần phải đầu tư thêm trạm biến áp 3 pha để cung cấp điện cho các động cơ hoạt động trong cho hệ thống nên chi phí càng tăng thêm.

W2: Đội ngũ nhân viên kỹ thuật vận hành cống chưa đáp ứng theo yêu cầu

Các cống này được vận hành bằng hệ thống điện điều khiển với công nghệ mới, trong khi hầu hết các nhân viên hiện nay tại các cống có trình độ chuyên môn còn hạn chế, phần lớn tốt nghiệp trung học phổ thông trở xuống. Một số ít nhân viên có trình độ chuyên môn từ cao đẳng và đại học, tuy nhiên, hầu hết những nhân viên này không có bằng cấp chuyên môn phù hợp với yêu cầu nên chỉ có 32% số cán bộ đáp ứng được chuyên môn (Hình 12). Chính vì vậy, khi công trình bị sự cố hoặc lỗi kỹ thuật, các nhân viên chưa thể tự sửa chữa mà cần đến sự hỗ trợ của đơn vị cung cấp thiết bị vận hành.



Hình 12. Trình độ của cán bộ vận hành đóng, mở cống.

c) Cơ hội (O - Opportunity)

O1: Phù hợp với chủ trương tái cơ cấu ngành nông nghiệp của tỉnh

Hiện nay, tỉnh Kiên Giang đang từng bước thực hiện tái cơ cấu ngành nông nghiệp theo hướng tăng giá trị sản xuất nên công tác điều tiết nguồn nước phục vụ đa mục tiêu là điều kiện tất yếu và cấp thiết hiện nay. Các cống đã chuyển đổi mô hình vận hành cửa van được vận hành chủ động, kịp thời, giảm thiểu nguy cơ gây thiệt hại đến sản xuất và đời sống của người dân phù hợp với chủ trương của tỉnh .

O2: Xu thế tự động hóa, hiện đại hóa công trình thủy lợi

Bộ NN&PTNT đang tăng cường đẩy mạnh hiện đại hóa hệ thống thủy lợi theo chỉ đạo tại Quyết định số 633/QĐ-TTg ngày 12/5/2020 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Đề án “Hiện đại hóa hệ thống thủy lợi phục vụ chuyển đổi, phát triển nông nghiệp bền vững tại các tiểu vùng ĐBSCL” [26]. Kiên Giang là một tỉnh có nhiều công trình thủy lợi lớn mới được đầu tư xây dựng có sử dụng công nghệ thi công và vận hành hiện đại, tiên tiến. Do đó, việc đầu tư cải tạo, chuyển đổi mô hình vận hành cửa van kết hợp với hệ thống vận hành tự động (SCADA) là xu thế tất yếu hiện nay.

d) Thách thức (*T - Threat*)

T1: Biến động nguồn nước từ thượng nguồn

Theo Ủy hội sông Mê Công (MRC), tổng lượng nước Mê Công sẽ giảm 27% trên tháng khi cả chuỗi thủy điện trên dòng chính sông Mê Công (8 của Trung Quốc và 3 của Lào) cùng đi vào vận hành, từ đó quá trình XNM vào sâu thêm 10-18 km trên sông Tiền (vượt quá Mỹ Tho) và sông Hậu (vượt quá Cần Thơ) [27]. Ngoài ra, một số dự án chuyển nước từ sông Mê Công nhằm phục vụ phát triển hạ tầng, đô thị và SXNN tại các quốc gia thượng nguồn sông Mê Công sẽ góp phần thay đổi chế độ dòng chảy và chất lượng nguồn nước mặt về các tỉnh ĐBSCL, trong đó có vùng TGLX [28].

T2: Hạn hán, NBD do BĐKH đòi hỏi quy trình vận hành công thích ứng phù hợp

KVNC có phần lớn diện tích có độ sâu ngập trên 0,5 m với các ngưỡng độ mặn khác nhau; trong đó, chủ yếu từ 0-2 g/l (chiếm 77,8%). Độ sâu ngập dưới 0,5 m với các ngưỡng độ mặn từ 2-4 g/l và trên 4g/l chiếm tỷ lệ nhỏ (1% diện tích). Trong bối cảnh BĐKH tương lai, vùng diện tích với ngưỡng độ mặn từ 0-2 g/l giảm thấp hơn so với hiện tại (72,9%); ngưỡng độ mặn từ trên 2 g/l có diện tích tăng lên so với hiện tại [29]. Khu vực này chủ yếu canh tác: Lúa 3 vụ, 2 vụ, lúa 1 vụ + màu và cây ăn trái. Nếu vẫn giữ nguyên mô hình canh tác kết hợp với việc tăng độ sâu ngập và độ mặn trong tương lai, có thể có những tác động đến việc sản xuất lúa 3 vụ và cây ăn trái.

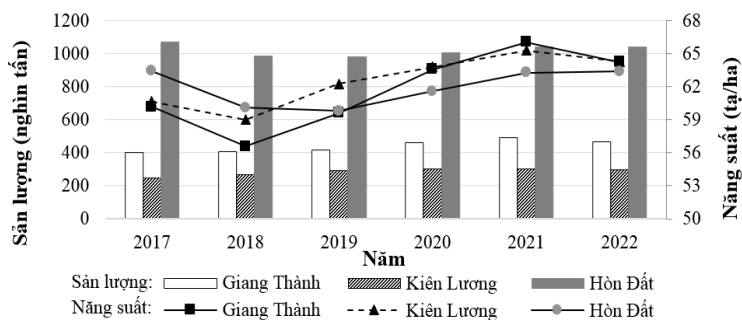
Bên cạnh đó, các dự án thủy lợi bao quanh vùng TGLX kết hợp sự hiện diện của các loại đất phèn (đất phèn tiềm tàng nặng; đất phèn hoạt động sâu, mặn...), trong trường hợp đóng cống sẽ có thể ngăn mặn đảm bảo sản xuất nhưng nếu có hạn hán dẫn đến thiếu nước ngọt trong nội đồng sẽ xảy ra hiện tượng xỉ phèn trên nền đất ảnh hưởng nặng đến quá trình SXNN. Do vậy, vấn đề vận hành các cống đảm trong bối cảnh BĐKH làm cho nguồn nước ngọt dần trở nên khan hiếm cần được quan tâm đặc biệt.

3.4. Hiệu quả chuyển đổi mô hình vận hành cửa van

a) Hiệu quả về kinh tế - kỹ thuật

Hiệu quả kinh tế mang lại từ việc chuyển đổi mô hình cửa van xi-lanh được so sánh dựa trên chi phí xây dựng, cải tạo cửa cống với lợi ích mang lại từ SXNN và tiết kiệm chi phí nạo vét cửa cống hàng năm. Tuy chi phí đầu tư cải tạo ban đầu tương đối cao (từ 5,4 tỷ đến 6,6 tỷ cho 01 cửa van) nhưng sản lượng và năng suất lúa tại các huyện có dự án đã có xu hướng tăng lên từ giai đoạn 2019 đến nay (Hình 13), trùng với giai đoạn tiến hành thay đổi mô hình cửa cống. Bên cạnh đó hiệu quả chống bồi lắng ngay khu vực cửa cống mới cũng tiết kiệm chi phí nạo vét từ 5-8 triệu/cửa mỗi năm.

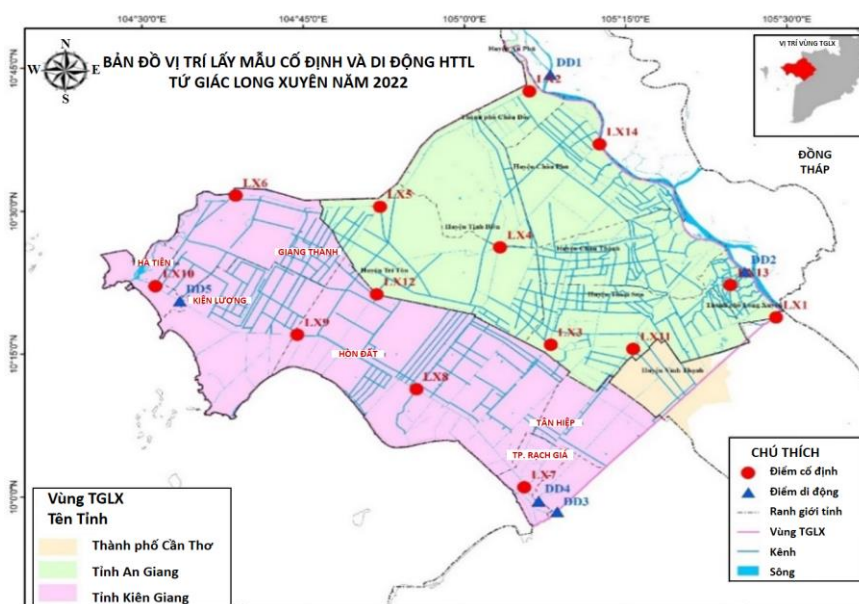
Các cống thuộc hệ thống công trình thủy lợi thoát lũ biển Tây nên yêu cầu kỹ thuật trong việc vận hành linh hoạt, hiệu quả nhằm điều tiết nguồn nước phục vụ SXNN và sinh hoạt của cư dân vùng TGLX được đặt lên hàng đầu. Các cửa van vận hành đóng, mở bằng hệ thống xi-lanh thủy lực đáp ứng được đầy đủ những yêu cầu trên. Kết quả khảo sát và phân tích SWOT cho thấy, giải pháp vận hành mới có tính ưu việt hơn giải pháp cửa van đóng mở tự động theo thủy triều.



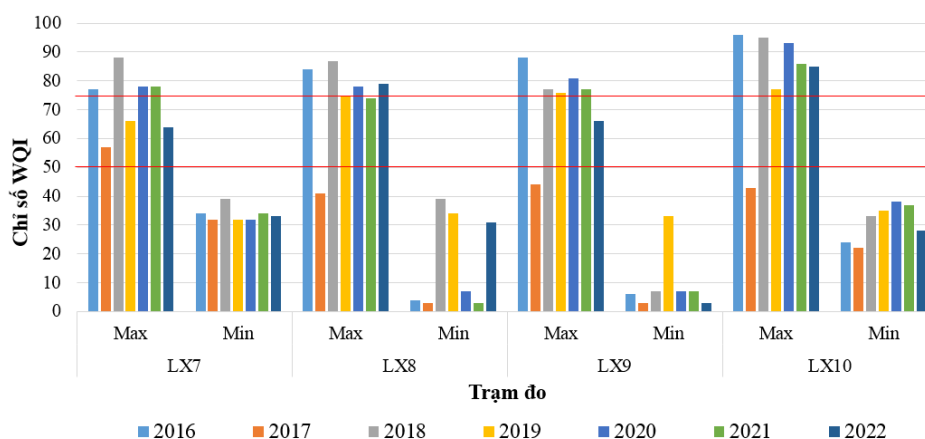
Hình 13. Sản lượng và năng suất lúa tại ba huyện thuộc KVNC (2017-2022) [21].

b) Hiệu quả về môi trường - xã hội

Kết quả phân tích chất lượng nước (WQI) tại các trạm LX7 (Rạch Giá), LX8 (Hòn Đất), LX9 (Kiên Lương) và LX10 (Hà Tiên) (Hình 14) qua các năm từ năm 2017 đến năm 2022 và việc áp dụng mô hình vận hành công mới từ giai đoạn 2019 đến 2022 cho thấy sự tương quan giữa chất lượng nước và sự thay đổi mô hình vận hành công. Vào các tháng mùa khô chỉ số WQI rất thấp dưới ngưỡng phục vụ tưới trong SXNN, tuy nhiên vào các tháng mùa mưa chất lượng nước đã được cải thiện hơn (phục vụ được cho SXNN, với chỉ số WQI = 51÷75) trong giai đoạn từ năm 2019 đến nay (Hình 15).



Hình 14. Vị trí quan trắc chất lượng nước tại KVNC [20].



Hình 15. Tổng hợp chỉ số WQI tại bốn trạm quan trắc (2016-2022).

Sự điều tiết linh hoạt nguồn nước nhờ đóng mở công chủ động không những hạn chế được ô nhiễm và xâm nhập mặn mà còn hạn chế xảy ra ngập lụt dẫn đến mất mùa và đe dọa đến đời sống, sinh hoạt của cư dân sống trong KVNC đã được kiểm chứng qua khảo sát và phân tích trên. Đây là hiệu quả đáng mong đợi thúc đẩy quá trình chuyển đổi mô hình vận hành theo hướng tự động (SCADA) mạnh mẽ hơn nhằm đảm bảo đời sống và sản xuất cho người dân.

4. Kết luận

Hiện trạng vận hành bốn cụm công trình thoát lũ biên Tây đã xảy ra một số trường hợp ngập úng cục bộ trên các khu vực có địa hình thấp, chưa có hệ thống bờ bao khép kín và các công vận hành tự động nên không chủ động mở thoát nước kịp thời. Kết quả khảo sát về hiệu quả về kinh tế - kỹ thuật và môi trường - xã hội cho thấy tuy chi phí đầu tư cải tạo ban đầu tương đối cao nhưng sản lượng và năng suất lúa có xu hướng tăng, tiết kiệm chi phí nạo vét hàng năm, chất lượng môi trường nước mặt trong vùng được cải thiện đáng kể theo chỉ số WQI. Kết quả phân tích SWOT cho thấy, giải pháp vận hành mới có tính ưu việt hơn giải pháp cửa van đóng mở tự động theo thủy triều.

Tuy nhiên, trong giai đoạn nghiên cứu (2019-2022) số lượng công đã chuyển đổi cửa van còn thấp (11,1%) nên việc đánh giá hiệu quả của việc chuyển đổi cần được thực hiện tiếp trong tương lai khi đã hoàn thành việc chuyển đổi. Bên cạnh đó, cần nghiên cứu thêm quy trình vận hành hệ thống cửa van theo những kịch bản về diễn biến nguồn nước ở thượng nguồn và tác động của BĐKH-NBD.

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

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. Khanh, L.H.; Luật, N.Q.; Ly, T.T.T.; Trí, L.H.; Tỳ, T.V.; Thịnh, H.T.G.; Minh, H.V.T. Đánh giá hiện trạng hệ thống công trình thủy lợi và khả năng đáp ứng nhu cầu nước của các hồ chứa trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại huyện Tri Tôn và Tịnh Biên, tỉnh An Giang. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 2022, 741, 42-56. Doi:10.36335/VNJHM.2022(741).42-56.
2. Hoàng, H.M.; Trí, V.P.Đ.; Đường, H.M.; Thảo, T.D.N. Tác động của hệ thống công trình thủy lợi đến hoạt động sản xuất nông nghiệp tại huyện Hồng Ngự tỉnh Đồng Tháp. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* 2020, 56(2), 74-87. Doi:10.22144/ctu.jvn.2020.033.
3. Minh, H.V.T.; Masaaki, K.; Ty, T.V.; Dat, T.Q.; Kieu, L.N.; Ram, A.; Mostafizur, R.Md.; Mitsuru, O. Effects of Multi-Dike Protection Systems on Surface Water Quality in the Vietnamese Mekong Delta. *Water* 2019, 11(5), 1010. Doi:10.3390/w11051010.
4. Xô, L.Q. Đổi mới, nâng cao chất lượng quy hoạch thủy lợi phục vụ tái cơ cấu ngành nông nghiệp. *Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* 2014, 9(46), 15-18.
5. Vi, P.T.T.; Minh, H.V.T.; Trí, L.H.; Khanh, L.H.; Tỳ, T.V. Đánh giá khả năng cấp nước từ hồ chứa nước Ôtuksa cho các mô hình sản xuất tại huyện Tịnh Biên, tỉnh An Giang. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 2021, 730(10), 42-52. Doi:10.36335/VNJHM.2021(730).42-52.
6. Dũng, N.L.; Chí, B.D.; Bình, Đ.V.; Trường, T.T. Giải pháp vận hành thông minh hệ thống thủy lợi liên tỉnh tại vùng Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp Chí Khoa học và Công nghệ Thủy Lợi* 2021, 69, 1-10.

7. Toàn, T.Q.; Khanh, P.T. Cân bằng nước và một số kiến nghị về định hướng phát triển nông nghiệp bền vững ở tỉnh An Giang. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 740(8), 74–87. Doi:10.36335/VNJHM.2022(740).74-87.
8. Nam, N.T.; Thuc, P.T.B.; Dao, D.A.; Thien, N.D.; Au, N.H.; Tran, D.D. Assessing Climate-Driven Salinity Intrusion through Water Accounting: A Case Study in Ben Tre Province for More Sustainable Water Management Plans. *Sustainability* **2023**, 15(11), 9110. Doi:10.3390/su15119110.
9. Minh, H.V.T.; Lavane, K.; Ty, T.V.; Downes, N.K.; Hong, T.T.K.; Kumar, P. Evaluation of the Impact of Drought and Saline Water Intrusion on Rice Yields in the Mekong Delta, Vietnam. *Water* **2022**, 14(21), 3499. Doi:10.3390/w14213499.
10. Ủy Ban Nhân Dân tỉnh Kiên Giang. Chấp thuận chủ trương lập dự án đầu tư: Dự án cải tạo cửa van vận hành tự động theo thủy triều thành cửa van vận hành chủ động và hệ thống kết nối, tự động hóa công tác vận hành (SCADA) tại các cống trên địa bàn tỉnh Kiên Giang. 7256/VP-KTCN 2018, Ngày 21/12/2018.
11. Sở NN&PTNT Kiên Giang. Báo cáo đánh giá công tác quản lý, khai thác công trình thủy lợi trên địa bàn tỉnh Kiên Giang. 315/BC-SNNPTNT 2019, Ngày 07/08/2019.
12. Liên, N.T.K.; Phú, T.Q.; Oanh, D.T.H.; Út, V.N.; Huy, L.Q. Chất lượng nước trên sông chính và sông nhánh thuộc tuyến Sông Hậu. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2016**, 43, 68–79. Doi:10.22144/ctu.jvn.2016.138.
13. Tú, V.H.; Trang, N.T.; Hiệp, P.V. Đánh giá tác động của ứng dụng cơ giới hóa đến thu nhập nông hộ trồng mía tỉnh Hậu Giang. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2019**, 55(2), 150–156. Doi:10.22144/ctu.jvn.2019.058.
14. Hoàng, H.M.; Anh, Đ.T.; Tuấn, L.A.; Dũ, L.V.; Phụng, T.N. Đánh giá hiệu quả kinh tế và tiết kiệm nước mô hình tưới phun mưa tự động cho cây hành tím tại huyện Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2016**, 47, 1–12. Doi:10.22144/ctu.jvn.2016.595.
15. Quyên, N.T.K.; Hiền, H.V.; Anh, L.T.N. Tác động về mặt tài chính và dự đoán khả năng xuất hiện dịch bệnh của mô hình nuôi tôm thẻ chân trắng thâm canh ở tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2017**, 52, 103–112. Doi: 10.22144/ctu.jvn.2017.130.
16. Tuấn, V.V.; Dũng, L.C.; Thoa, N.T.K. Đánh giá hiệu quả các mô hình liên kết sản xuất và tiêu thụ lúa thơm đặc sản ở Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2020**, 56(5), 269. Doi: 10.22144/ctu.jvn.2020.137.
17. Phú, H.; Thảo, N.L.N.; Hân, H.T.N. Nghiên cứu đánh giá chất lượng nước vùng tứ giác Long Xuyên và đề xuất các giải pháp quản lý bảo vệ nguồn nước. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2021**, 723(3), 13–22. Doi:10.36335/VNJHM.2021(723).13-22.
18. Chi cục Thủy lợi tỉnh Kiên Giang. Bản đồ hiện trạng thủy lợi tỉnh Kiên Giang 2022.
19. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. Quy trình vận hành hệ thống công trình thủy lợi Tứ Giác Long Xuyên. 3829/QĐ-BNN-TCTL 2021, Ngày 22/09/2021.
20. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam. Báo cáo tổng kết Giám sát, dự báo chất lượng nước trong hệ thống công trình thủy lợi vùng Tứ Giác Long Xuyên phục vụ lấy nước sản xuất nông nghiệp, 2022.
21. Cục thống kê tỉnh Kiên Giang. Niên giám thống kê tỉnh Kiên Giang, 2022.
22. Mees, H.L.P.; Dijk, J.; Soest, D.V.; Driessen, P.P.J.; Van Rijswijk, M.H.F.M.W.; Runhaar, H. A method for the deliberate and deliberative selection of policy instrument mixes for climate change adaptation. *Ecology Society* **2014**, 19(2), 58. Doi:10.5751/ES-06639-190258.
23. Macoun, P.; Prabhu, R. Guidelines for applying multi-criteria analysis to the assessment of criteria and indicators, 1999.

24. Tổng cục Môi trường. Quyết định về việc ban hành Hướng dẫn kỹ thuật tính toán và công bố chỉ số chất lượng nước Việt Nam (VN-WQI). 1460/QĐ-TCMT 2019, Ngày 12/11/2019.
25. Gürel, E. SWOT analysis: A theoretical review. *J. Int. Social Res.* **2017**, 10(51), 994–1006. Doi:10.17719/jisr.2017.1832.
26. Thủ tướng Chính phủ. Quyết định phê duyệt đề án “Hiện đại hóa hệ thống thủy lợi phục vụ chuyên đổi, phát triển nông nghiệp bền vững tại các tiểu vùng ĐBSCL”. 633/QĐ-TTg 2020, Ngày 12/05/2020.
27. Lavane, K.; Phúc, N.H.; Phát, L.T.; Trí, L.H.; Duy, Đ.V.; Thắng, C.N.; Hồng, H.T.C.; Tỹ, T.V.; Minh, H.V.T. Nghiên cứu vận hành công trình thủy lợi trong điều kiện xâm nhập mặn: Trường hợp nghiên cứu tại huyện Vũng Liêm, tỉnh Vĩnh Long. *Tap chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2023**, 59, 296–303. Doi: 10.22144/ctu.jvn.2023.056.
28. Vân, C.T. Nguồn nước ngọt và hệ thống thủy điện trên sông Lan Thương-Mê Công đang trở thành “vũ khí chiến lược”. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 698, 38–44. Doi:10.36335/VNJHM.2019(698).38-44.
29. Trung, N.H.; Tri, V.P.D.; Linh, V.T.P. Phân vùng sinh thái nông nghiệp ở ĐBSCL: Hiện trạng và xu hướng thay đổi trong tương lai dưới tác động của biến đổi khí hậu. 2012. Doi:10.13140/RG.2.1.1369.8082.

Assessment of the effectiveness of sluice-gate operation changes under the West Sea dyke system in the Long Xuyen Quadrangle, Kien Giang province

Ngo Thanh Toan¹, Lam Tan Phat¹, Nguyen Thai An², Huynh Vuong Thu Minh³, Tran Van Ty^{2*}

¹ Master student, College of Engineering, Can Tho University;

toanm4221036@gstudent.ctu.edu.vn; phatm4220016@gstudent.ctu.edu.vn

² College of Engineering, Can Tho University; siahtna3106@gmail.com; tvty@ctu.edu.vn

³ College of Environment and Natural Resources, Can Tho University; hvtminh@ctu.edu.vn

Abstract: The challenges of upstream water fluctuation and climate change have threatened agricultural production and the operation of water engineering structures as well, and thus research on sluice-gate operation changes is necessary. The objective of this study is to assess the effectiveness of sluice-gate operation changes under the West Sea dyke in the Long Xuyen Quadrangle. The current status of sluice-gate operation was assessed based on collected data and field survey. Stakeholders were then interviewed in combination with SWOT analysis. Water quality index (WQI) was calculated and sediment thickness at sluice-gates was measured to evaluate the effectiveness of operation changes considering economic - technical, and environmental - social factors. The results show that the current state of operation of sluice-gates under West-Sea dyke has shown that there are some local inundations in areas with low terrain, there is no full dyke system and automatic operations leading to not actively gate-openings in time. The results of effectiveness assessment show that although the initial investment cost of operation changes is relatively high (from 5.4-6.6 billion VND/gate), rice production and yield tend to increase, saving dredging costs from 5-8 million VND/gate/year, the quality of surface water in the region is significantly improved according to the WQI. SWOT analysis results show that the new operating mode is superior to the automatic opening/closing mode according to the tide.

Keywords: Sluice-gate operation changes; Surface water quality; Economic - technical and environmental - social effectiveness; SWOT analysis; Long Xuyen Quadrangle.

Table of content

- 1 Tuyet, T.T.T.; Thuy, N.T.T. Uncertainty in model-based flood hazard mapping: A review. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *750(1)*, 1–15.
- 16 Long, V.D.; Loan, N.T.T.; Nang, T.Q.; Hung, P.H. Management of hydro-meteorological forecasting activities in the context of digital transformation and the 4.0 technology: Current situation and solutions. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *750(1)*, 16–28.
- 29 Khanh, N.Q. Building a fast analysis process using remote sensing image data combined with modeling in forecasting land cover changes. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *750(1)*, 29–44.
- 45 Chi, T.T.; Hung, D.Q.; Huong, N.T.T. Studying the current situation to plan the collection, transportation, and treatment of medical solid waste in Hanoi City. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *750(1)*, 45–52.
- 53 Minh, P.T.; Lien, L.T.M.; Hang, N.T.; Tuong, T.T.H. Research to assess the trend and degree of extreme temperature change in Khanh Hoa Province in the period 1981–2020. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *750(1)*, 53–66.
- 67 Hieu, V.D.; Hieu, P.V.; Thuy, N.T.; Thuy, N.T.D.; Quynh, N.T.M.; Kruse, C. Satellite monitoring of terrestrial plastic waste and assess the risk of plastic leakage using the available high-resolution data from the Copernicus Copernicus. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *750(1)*, 67–77.
- 78 Trang, N.L.; Trung, L.A.; Anh, L.L.; Huong, C.T.T. Research on relationship between ENSO and the intensity of the Aleutian low. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *750(1)*, 78–88.
- 89 Toan, N.T.; Phat, L.T.; An, N.T.; Minh, H.V.T.; Ty, T.V. Assessment of the effectiveness of sluice-gate operation changes under the West Sea dyke system in the Long Xuyen Quadrangle, Kien Giang Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *750(1)*, 89–104.