

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

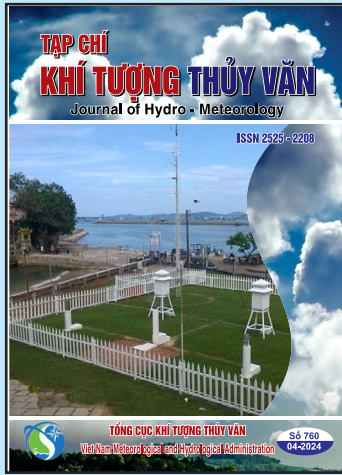
Journal of Hydro - Meteorology

ISSN 2525 - 2208



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

Số 760
04-2024



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

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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

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

Chế bản và In tại:

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

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

Giá bán: 40.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN
SỐ 760 - 4/2024

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- Nguyễn Tú Anh, Lê Văn Linh, Nguyễn Thành Long, Trần Văn Trà, Phạm Lan Anh, Nguyễn Hoàng Bách:** Đánh giá mối quan hệ giữa Nước - Năng lượng - Lương thực (WEF) tại Đồng bằng Sông Cửu Long
- Phạm Thị Làn, Lê Kim Dung:** Ứng dụng viễn thám và mô hình AHP đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến du lịch ven biển khu vực TP Sầm Sơn, tỉnh Thanh Hóa
- Đỗ Xuân Tình, Trần Thanh Tùng, Trần Đăng Hùng:** Phân tích biến đổi địa hình đáy biển ven bờ khu vực cửa Tiên Châu, tỉnh Phú Yên sử dụng ảnh Sentinel-2
- Trịnh Xuân Mạnh, Trần Quốc Việt, Lê Thị Thường:** Ứng dụng phương pháp hiệu chỉnh sai số Quantile Mapping và hàm phân bố cực trị tổng quát GEV vào đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến mưa cực trị
- Hồ Xuân Hương, Lê Đình Hải, Phạm Thị Hằng:** Ứng dụng mạng Bayes trong đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả thích ứng với biến đổi khí hậu trong canh tác lúa tỉnh Hòa Bình
- Vũ Thanh Hằng, Đỗ Hữu Tuấn, Phan Thị Lan Anh:** Đánh giá hiện trạng hợp chất Peflo (PFCs) trong nước sông trên địa bàn huyện Đông Anh, Thành phố Hà Nội
- Nguyễn Thị Phương Thảo, Lê Văn Tình:** Đánh giá diễn biến nguồn nước mặt trong hệ thống công trình thủy lợi Nam Mãng Thít thích ứng với biến đổi khí hậu
- Đặng Thị Ánh, Võ Văn Hòa, Phạm Lê Khương, Nguyễn Văn Hiệp, Đinh Hữu Dương, Vũ Văn Phong:** Nghiên cứu mối quan hệ giữa độ đứt gió thẳng đứng và tổng ẩm khí quyển đến sự phân bố lượng mưa khi bão hoạt động gần bờ và đổ bộ

Bài báo khoa học

Đánh giá mối quan hệ giữa Nước - Năng lượng - Lương thực (WEF) tại Đồng bằng Sông Cửu Long

Nguyễn Tú Anh^{1*}, Lê Văn Linh¹, Nguyễn Thành Long¹, Trần Văn Trà¹, Phạm Lan Anh¹, Nguyễn Hoàng Bách¹

¹ Viện Khoa học tài nguyên nước; tuanh.evp@gmail.com; linhlevan6527@gmail.com; longnt.works@gmail.com; tranvantra@gmail.com; plananh.151199@gmail.com; bachnh46@wru.vn

*Tác giả liên hệ: tuanh.evp@gmail.com; Tel.: +84-936789779

Ban Biên tập nhận bài: 8/11/2023; Ngày phản biện xong: 16/12/2023; Ngày đăng bài: 25/4/2024

Tóm tắt: Chỉ số mối quan hệ Nước - Năng lượng - Lương thực (WEF Nexus) là chỉ số tổng hợp được xây dựng dựa trên 21 chỉ số thành phần, được chia thành 03 trụ cột chính là nước, năng lượng và lương thực. Chỉ số này là công cụ nổi bật để định hướng cho các chiến lược quản lý tài nguyên tổng hợp. Nghiên cứu này đã thử nghiệm áp dụng Chỉ số WEF Nexus cho ĐBSCL và so sánh với chỉ số trung bình quốc gia. Nghiên cứu cho thấy rằng có sự khác nhau trong mối liên kết WEF giữa ĐBSCL và tổng thể Việt Nam. Nhìn chung, đối với Việt Nam cần quan tâm hơn đến mức sẵn có của lương thực và khả năng tiếp cận nước. Trong khi đó, ĐBSCL cần chú ý đến mức sẵn có của nước, đặc biệt các vấn đề liên quan đến quản lý tổng hợp, tuần hoàn và hiệu quả sử dụng nước; và mức sẵn có của năng lượng, tập trung vào phát triển, sản xuất và sử dụng năng lượng tái tạo. Nhìn chung, kết quả của nghiên cứu chứng minh được vai trò của Chỉ số WEF Nexus trong hỗ trợ xác định nhanh các vấn đề tồn tại và định hướng ưu tiên cho các giải pháp liên quan. Bên cạnh đó, sự khác biệt giữa chỉ số của Việt Nam và ĐBSCL cũng nêu bật được nhu cầu đánh giá mối liên kết WEF ở cấp khu vực và vùng cụ thể.

Từ khóa: Chỉ số WEF Nexus; Phát triển bền vững; SDG 2; SDG 6; SDG 7.

1. Mở đầu

Nước, năng lượng và lương thực nằm trong nhóm các khía cạnh trung tâm để đạt được các mục tiêu phát triển bền vững (SDGs) toàn cầu [1]. Hiện nay khoảng 2 tỷ người, khoảng 26% dân số thế giới thiếu các dịch vụ nước uống tại chỗ, có sẵn khi cần và không bị ô nhiễm vào năm 2020 [2]; khoảng 1,1 tỷ người không được sử dụng năng lượng (khoảng 50% là ở Châu Phi) [3]; khoảng 815 triệu người không có đủ lương thực [4]. Nhu cầu về các nguồn tài nguyên nước, năng lượng và lương thực dự kiến sẽ tiếp tục gia tăng trong những năm tiếp theo không chỉ do sự phát triển nhanh chóng của dân số mà còn do các thay đổi trong hành vi và yêu cầu tiêu dùng, sinh hoạt trên toàn cầu [5–7]. Điều này đã làm tăng cao nguy cơ mất an ninh nước, an ninh năng lượng, an ninh lương thực và cản trở không nhỏ đến tiến trình đạt được các mục tiêu phát triển bền vững (SDG). Tháo gỡ các thách thức liên quan đến nước, năng lượng và thực phẩm được xác định là cách tiếp cận hiệu quả và cần được ưu tiên để giải quyết tận gốc những nguy cơ này [8].

Mặt khác, nước, năng lượng và lương thực là các nguồn tài nguyên có mối quan hệ chặt chẽ với nhau. Nước được sử dụng để sản xuất năng lượng, ngược lại, năng lượng được sử dụng trong các quá trình sản xuất, phân phối và xử lý nước; trong khi đó, nước và năng lượng

là những đầu vào không thể thiếu cho sản xuất lương thực, thực phẩm. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng: 71% lượng nước ngọt sẵn có và 30% năng lượng sản xuất trên toàn cầu được sử dụng trong lĩnh vực nông nghiệp [9]; 1/3 tổng số thực phẩm được sản xuất trên toàn cầu bị thất lạc hoặc lãng phí [10, 11]; 15% lượng nước ngọt sẵn có trên toàn cầu được sử dụng trong sản xuất năng lượng [12, 13] trong khi 14% lượng nước được sử dụng cho mục đích sinh hoạt [14]; và 1% tổng lượng thực phẩm được sản xuất ra được sử dụng trong lĩnh vực năng lượng sinh học [15]. Những con số này đã chứng minh một cách rõ ràng sự phụ thuộc lẫn nhau giữa nước, năng lượng và lương thực. Do vậy, các chính sách quản lý các nguồn tài nguyên này cần đảm bảo tính toàn diện và có xem xét kỹ lưỡng sự phụ thuộc lẫn nhau giữa các tài nguyên. Mặc dù cộng đồng thế giới đã có nhiều nỗ lực để phát triển các công cụ nhằm theo dõi tiến độ đạt được SDG [16], nhưng vẫn còn nhiều khoảng trống trong đánh giá sự cân bằng giữa các SDG hoặc các lĩnh vực tài nguyên khác nhau được thể hiện trong SDG, ví dụ: mối quan hệ giữa nước, năng lượng, lương thực.

Trong thập kỷ qua, WEF đã nổi lên như một công cụ hàng đầu để đánh giá các chiến lược quản lý tài nguyên tổng hợp. Một số khung đánh giá tích hợp WEF đã được phát triển và sử dụng trên thế giới có thể kể đến như Mô hình Quy hoạch và Đánh giá Nước (WEAP) [17]; An ninh sinh kế môi trường [18]; Mô hình Đối thoại Chính sách Toàn cầu [19]; Mối quan hệ giữa năng lượng - nước - an ninh lương thực [20]; Khung mối quan hệ giữa nước - năng lượng - lương thực [14]; Khung nước - năng lượng - lương thực [21]; Khung phân tích tích hợp đa quy mô qua lại giữa xã hội và hệ sinh thái [22]; Chiến lược Khí hậu, Đất đai, Năng lượng và Nước (CLEWS) [23]; Công cụ tính toán đầu tư vào nước cho nông nghiệp và năng lượng (FAO) [11]; và Chỉ số Mối quan hệ Nước - Năng lượng - Lương thực (WEF Nexus Index) [24]. Trong đó, Chỉ số WEF Nexus được coi là một công cụ đầy hứa hẹn, có thể cung cấp được góc nhìn tổng quan về hiện trạng, các vấn đề chính và xu hướng liên quan đến mối quan hệ WEF [24]. Bên cạnh đó, công cụ này còn hỗ trợ theo dõi tiến trình hướng tới các Mục tiêu Phát triển Bền vững liên quan đến WEF bao gồm SDG 2 (Mục tiêu 2: Xóa đói, bảo đảm an ninh lương thực, cải thiện dinh dưỡng và thúc đẩy nông nghiệp bền vững), SDG 6 (Mục tiêu 6: Đảm bảo đầy đủ và quản lý bền vững tài nguyên nước và hệ thống vệ sinh cho tất cả mọi người) và SDG 7 (Mục tiêu 7: Đảm bảo khả năng tiếp cận nguồn năng lượng bền vững, đáng tin cậy và có khả năng chi trả cho tất cả mọi người) [25].

Chỉ số WEF Nexus là “công cụ đánh giá dựa trên chỉ số” cung cấp số liệu định lượng làm căn cứ để đánh giá tiến bộ quốc gia liên quan đến quản lý tài nguyên tổng hợp cũng như hỗ trợ việc ra quyết định và phát triển chính sách. Chỉ số này là chỉ số tổng hợp được xây dựng dựa trên 21 chỉ số thành phần, được chia thành 03 trụ cột chính là nước, năng lượng và lương thực với các trụ cột thành phần như khả năng tiếp cận và tính sẵn có [24]. Kết quả tích hợp các chỉ số đã được sử dụng để xác định thứ hạng định lượng về an ninh WEF cấp quốc gia cho hơn 170 quốc gia và đánh giá tiến độ cấp quốc gia trong việc đạt được các SDG liên quan đến WEF. Năm 2020, Việt Nam đạt mức an ninh WEF (chỉ số WEF Nexus) là 65,82 (chỉ số của các trụ cột thành phần bao gồm nước: 66,18; năng lượng: 65,18; lương thực: 66,09), đứng thứ 27 toàn cầu.

Tuy bảng xếp hạng quốc gia này rất hữu ích để đánh giá độ cân bằng trong phát triển tại các quốc gia, những điểm số này không nên được coi là điểm cuối mà là điểm đầu vào để hiểu được sự khác biệt giữa các khu vực và tiểu khu vực trong các điều kiện an ninh WEF khác nhau [24]. Ở cấp quốc gia, việc tổng hợp dữ liệu WEF chưa làm rõ được sự khác biệt giữa các vùng, đặc biệt là ở các vùng có khác biệt về địa lý, kinh tế - xã hội và khí hậu. Do vậy, bên cạnh chỉ số cấp quốc gia, các chỉ số WEF Nexus nếu được nghiên cứu và đánh giá đối với các vùng/ khu vực cụ thể có thể hỗ trợ xác định được các ưu tiên chính sách đảm bảo tính tích hợp, hệ thống và phù hợp với điều kiện của vùng/ khu vực đó.

Trong nghiên cứu này, chỉ số WEF Nexus sẽ được nghiên cứu ứng dụng và tính toán thí điểm cho Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). ĐBSCL ở vùng cực Nam của Việt Nam (Hình 1) bao gồm 13 tỉnh, thành phố, trong đó có 01 thành phố trực thuộc Trung ương là

thành phố Cần Thơ. 12 tỉnh còn lại lần lượt là: Long An, Bến Tre, Tiền Giang, Trà Vinh, Vĩnh Long, Hậu Giang, Đồng Tháp, Sóc Trăng, An Giang, Bạc Liêu, Kiên Giang và Cà Mau. Đồng bằng sông Cửu Long có tổng diện tích khoảng 40.922 km², trong đó, diện tích đất nông nghiệp khoảng 25.752 km², chiếm 62,9% tổng diện tích đất tự nhiên của vùng [26]. Diện tích gieo trồng lúa nước của ĐBSCL đạt khoảng 52% tổng diện tích gieo trồng lúa nước cả nước. ĐBSCL là khu vực kinh tế trọng điểm nông nghiệp, đóng góp hơn 90% lượng gạo xuất khẩu của Việt Nam. Tổng dân số của vùng khoảng 17.319 nghìn người tương đương 17,7% dân số cả nước với mức thu nhập bình quân trên đầu người đạt khoảng 3,9 triệu đồng, tỷ lệ hộ nghèo khoảng 4,2 % (theo chuẩn nghèo đa chiều) [27]. Trong đó, nông nghiệp là ngành phụ thuộc và sử dụng nhiều nước nhất tuy nhiên tài nguyên nước tại khu vực này đang phải đối mặt với nhiều vấn đề nghiêm trọng cả về số lượng và chất lượng nước. Bên cạnh đó, quá trình sản xuất lương thực cũng phụ thuộc rất nhiều vào năng lượng. Ngoài ra, khu vực này được xác định có tiềm năng lớn để phát triển năng lượng tái tạo [28]. Các đặc thù về điều kiện tự nhiên và phát triển kinh tế - xã hội tại ĐBSCL có thể thể hiện rõ được mối quan hệ giữa WEF.



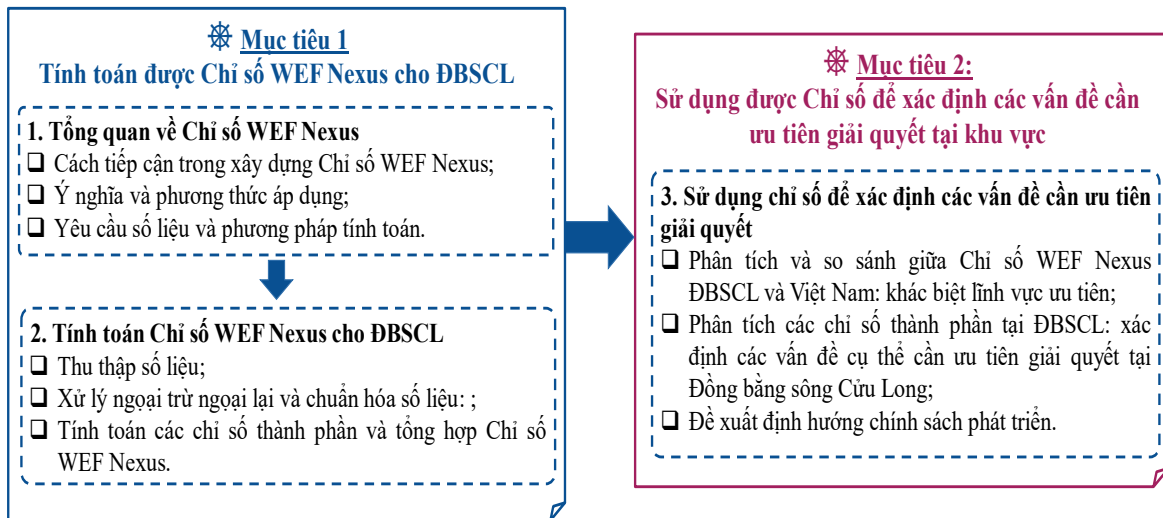
Hình 1. Bản đồ vùng Đồng bằng sông Cửu Long.

Mặt khác, các nghiên cứu tại ĐBSCL chủ yếu tập trung vào một số vấn đề cụ thể như đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đối với kinh tế, xã hội, tác động từ số lượng và chất lượng nguồn nước thay đổi đối với sản xuất nông nghiệp, xác định giải pháp ứng phó với biến đổi khí hậu và các thiên tai liên quan đến nước, quản lý tài nguyên nước xuyên biên giới và phát triển năng lượng [29–31]. Các nghiên cứu này thường hướng đến giải quyết một khía cạnh cụ thể trong các khía cạnh nước - năng lượng - lương thực hoặc mối quan hệ giữa lương thực (sản xuất nông nghiệp) và tài nguyên nước. Tuy chưa đánh giá tổng hợp được mối quan hệ WEF, số liệu từ các nghiên cứu này sẽ là đầu vào quan trọng để tính toán chỉ số tổng hợp WEF Nexus. Do vậy, để đảm bảo tính khả thi của nghiên cứu, ĐBSCL đã được lựa chọn áp dụng thí điểm trong tính toán chỉ số WEF. Để chứng minh phương thức sử dụng Chỉ số WEF Nexus cấp khu vực vào quá trình ra quyết định quản lý tổng hợp tài nguyên, nghiên cứu này hướng đến 02 mục tiêu cụ thể bao gồm: (1) tính toán được Chỉ số WEF Nexus cho ĐBSCL; và (2) sử dụng được Chỉ số này để xác định các vấn đề cần ưu tiên giải quyết tại khu vực.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu thu thập

Để đạt được các mục tiêu đề ra, nghiên cứu tiến hành 03 bước chính bao gồm: (1) Tổng quan về Chỉ số WEF Nexus; (2) Tính toán chỉ số WEF Nexus cho ĐBSCL; (3) Sử dụng các chỉ số thành

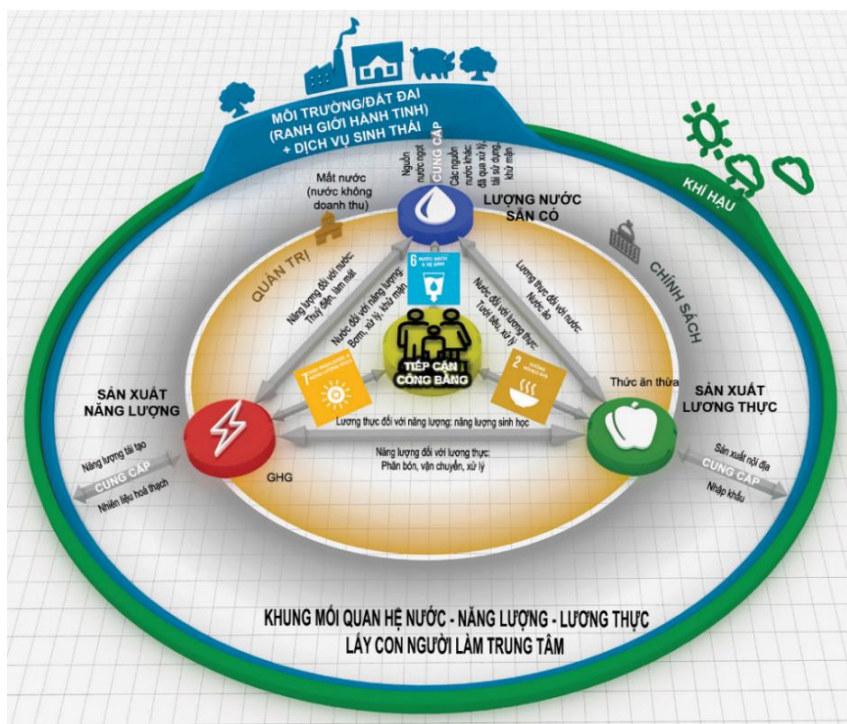
phần và chỉ số tổng hợp để xác định các vấn đề cần ưu tiên giải quyết tại khu vực. Hình 2 thể hiện các kết quả đạt được trong từng bước nghiên cứu và mối quan hệ giữa các bước nghiên cứu.



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

2.1. Chỉ số đánh giá mối liên hệ giữa Nước - Năng lượng - Lương thực

Để xây dựng chỉ số tổng hợp đánh giá mối liên kết giữa nước, năng lượng, lương thực cần có một khung đánh giá hệ thống. Theo đó, đánh giá mối quan hệ WEF lấy con người làm trung tâm là cách tiếp cận phổ biến được các nghiên cứu trên thế giới sử dụng để xây dựng chỉ số đánh giá mối quan hệ WEF [24, 32]. Trong đó, “nhu cầu” ngày càng tăng và “quyền tiếp cận” không đồng đều của các cộng đồng trên thế giới đối với các nguồn tài nguyên quan trọng như nước, năng lượng và lương thực đứng ở vị trí trung tâm của khung này. Khung được đề xuất này đặc biệt phù hợp để áp dụng trong bối cảnh thế giới đang phát triển nhanh và liên tục như hiện nay do tập trung vào các Mục tiêu Phát triển Bền vững (SDGs) 2, 6, và 7, cũng như thể hiện rõ được vai trò toàn diện của quản lý và chính sách trong thúc đẩy bảo vệ môi trường và phát triển bền vững [32] (Hình 3).



Hình 3. Khung liên kết WEF lấy con người làm trung tâm [24].

Chỉ số WEF Nexus được [24] phát triển dựa trên chỉ số tổng hợp của Trung tâm Nghiên cứu chung thuộc Trung tâm Năng lực về Chỉ số tổng hợp và Bảng điểm (JRC-COIN). Khung đánh giá chỉ số WEF Nexus bao gồm 21 chỉ số thành phần được phân loại theo có ba trụ cột chính. Các trụ cột chính này có trọng số bằng nhau (0,33) đại diện cho nước, năng lượng và lương thực (Bảng 1). Trọng số ngang nhau của mỗi trụ cột đảm bảo rằng mỗi lĩnh vực tài nguyên đều có tầm quan trọng như nhau trong tính toán chỉ số tổng thể, điều này thể hiện được tính chất đa trung tâm của mỗi quan hệ WEF [24]. Mỗi trụ cột của WEF bao gồm hai trụ cột thành phần là “khả năng tiếp cận” và “tính sẵn có”, có tầm quan trọng như nhau. Trụ cột thành phần về khả năng tiếp cận liên quan đến phân bố công bằng và đồng đều các nguồn tài nguyên WEF, trong khi trụ cột thành phần về tính sẵn có tập trung vào hiện diện vật lý thực tế của tài nguyên [32]. Mỗi trụ cột thành phần bao gồm một nhóm các chỉ số cụ thể và các trọng số tương ứng mô tả khả năng tiếp cận hoặc tính sẵn có của nguồn tài nguyên liên quan đến WEF (Bảng 1). Cần lưu ý rằng do sự khác nhau về số lượng chỉ số và trọng số khác nhau được gán cho từng chỉ số đó trong các trụ cột thành phần khác nhau, nên có sự khác nhau giữa trọng số của từng chỉ số cụ thể trong chỉ số tổng thể. Bên cạnh đó, cột “Hướng” thể hiện quan thuận (1) và nghịch (-1) giữa các chỉ số thành phần và trụ cột thành phần tương ứng.

Công cụ tính toán chỉ số tổng hợp và bảng điểm xây dựng trên Excel (Công cụ COIN Excel) [33] được sử dụng để tính toán và tổng hợp Chỉ số WEF Nexus. Do nhiều chỉ số thành phần được đo bằng các đơn vị khác nhau, có phạm vi và độ sai số khác nhau nên các số liệu thu thập cần được xử lý các biến ngoại lai và chuẩn hóa thành một thang chung. Các dữ liệu, số liệu được chuẩn hóa thành thang đo thống nhất: 0-100, và phương pháp chuẩn hóa các dữ liệu, số liệu được sử dụng theo hướng dẫn của Tổ chức Hợp tác và Phát triển Kinh tế (OECD) [34] (mục 2.3 giải thích cụ thể các phương pháp này).

Bảng 1. Tổng hợp các chỉ số thành phần trong WEF và trọng số của các chỉ số [24].

Trụ cột		Trụ cột thành phần		Chỉ số			
Tên	Trọng số	Tên	Trọng số	Tên	Đơn vị tính	Trọng số	Hướng
(p1) Nước	0,33	(sp1) Khả năng tiếp cận nước	0,5	(ind01) Tỷ lệ người dân sử dụng ít nhất các dịch vụ nước cơ bản	%	0,33	1
				(ind02) Tỷ lệ người dân sử dụng dịch vụ vệ sinh được quản lý an toàn	%	0,33	1
				(ind03) Mức độ thực hiện quản lý tổng hợp tài nguyên nước	1 - 100	0,33	1
		(sp2) Mức sẵn có của nước	0,5	(ind04) Tổng lượng nước ngọt khai thác hàng năm	%	0,25	-1
				(ind05) Tài nguyên nước ngọt nội địa có thể tái tạo bình quân đầu người	m ³	0,25	1
				(ind06) Dòng chảy môi trường	10 ⁶ m ³ /năm	0,25	1
				(ind07) Lượng mưa trung bình năm	mm/năm	0,25	1
(p2) Năng lượng	0,33	(sp3) Khả năng tiếp cận năng lượng	0,5	(ind08) Tỷ lệ dân số tiếp cận điện	%	0,5	1
				(ind09) Tỷ lệ tiêu thụ năng lượng tái tạo	%	0,167	1
				(ind10) Sản lượng điện tái tạo	%	0,167	1
		(sp4) Mức sẵn có của năng lượng	0,5	(ind11) Lượng phát thải CO ₂	tấn/người	0,167	-1
				(ind12) Lượng điện tiêu thụ	kWh /người	0,5	1
(p3) Lương thực	0,33	(sp5) Khả năng tiếp cận lương thực	0,5	(ind13) Lượng điện nhập khẩu	%	0,5	-1
				(ind14) Tỷ lệ suy dinh dưỡng	%	0,333	-1
				(ind15) Tỷ lệ trẻ em dưới 5 tuổi bị suy dinh dưỡng thể gầy còm	%	0,167	-1
				(ind16) Tỷ lệ trẻ em dưới 5 tuổi bị suy dinh dưỡng thể thấp còi	%	0,167	-1

Trụ cột		Trụ cột thành phần		Chỉ số			
Tên	Trọng số	Tên	Trọng số	Tên	Đơn vị tính	Trọng số	Hướng
				(ind17) Tỷ lệ béo phì ở người trưởng thành	%	0,333	-1
		(sp6)		(ind18) Cung cấp protein trung bình	g/người/ngày	0,25	1
		Mức sẵn có của lương thực	0,5	(ind19) Sản lượng ngũ cốc	kg/ha	0,25	1
				(ind20) Mức cung cấp năng lượng trung bình của khẩu phần ăn	%	0,25	1
				(ind21) Giá trị sản xuất lương thực bình quân	USD/người	0,25	1

2.2. Thu thập dữ liệu

Tổng cộng chỉ số của 184 quốc gia và vùng lãnh thổ trên thế giới đã được WEF ghi nhận và tổng hợp trong giai đoạn từ năm 2019 - 2022, và được công bố trên nền tảng số để có thể dễ dàng sử dụng, tra cứu [35]. Dữ liệu cấp quốc gia đã được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau như các cơ quan thống kê quốc gia, các cơ quan chính phủ, tổ chức phi chính phủ và tổ chức quốc tế như Ngân hàng Thế giới, Cơ quan Năng lượng Quốc tế (IEA), Tổ chức Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn Liên Hiệp Quốc (FAO) và Tổ chức Y tế Thế giới (WHO). Theo đó, Chỉ số WEF Nexus cấp quốc gia đã được tính toán cho các quốc gia bằng công cụ COIN Excel [33].

Dựa trên tính sẵn có của số liệu, nghiên cứu này đã lựa chọn năm 2020 để tính toán thử nghiệm chỉ số WEF Nexus cho ĐBSCL. Số liệu để tính toán chỉ số WEF Nexus cho Đồng bằng sông Cửu Long được tổng hợp từ các nguồn sau đây:

Khả năng tiếp cận nước

Chỉ số Tỷ lệ người dân sử dụng ít nhất các dịch vụ nước cơ bản (ind01) được thu thập số liệu dựa trên niên giám thống kê cho năm 2020 (chỉ số Tỷ lệ dân số được sử dụng nguồn nước hợp vệ sinh) [36], chỉ số ind01 thu thập có giá trị bằng 97,5%. Chỉ số Tỷ lệ người dân sử dụng dịch vụ vệ sinh được quản lý an toàn (ind02) được thu thập số liệu dựa trên niên giám thống kê cho năm 2020 (chỉ số Tỷ lệ dân số dùng hố xí hợp vệ sinh phân theo thành thị, nông thôn và phân theo vùng) [36], chỉ số ind02 thu thập có giá trị bằng 86,3%. Chỉ số Mức độ thực hiện quản lý tổng hợp tài nguyên nước (ind03) được thu thập dựa trên nghiên cứu của tác giả Trần Văn Trà và cộng sự, đã nghiên cứu đánh giá mức độ quản lý tổng hợp tài nguyên nước tại khu vực đồng bằng sông Cửu Long [37], chỉ số ind03 thu thập có giá trị bằng 58,2.

Khả năng sẵn có của nước

Chỉ số Tổng lượng nước ngọt khai thác hàng năm (ind04) được tính toán bằng tỷ lệ giữa tổng lượng nước ngọt đang được khai thác sử dụng tại khu vực nghiên cứu và tổng lượng nước nội địa. Theo báo cáo tổng hợp quy hoạch tổng hợp lưu vực sông Cửu Long thời kỳ 2021-2030 [38]. Tổng lượng nước đã khai thác, sử dụng thời điểm hiện tại mới chỉ chiếm khoảng 25,17% lượng nước có thể khai thác, sử dụng. Chỉ số ind04 thu thập có giá trị bằng 25,17%. Chỉ số Tài nguyên nước ngọt nội địa có thể tái tạo bình quân đầu người (ind05) được xác định từ trữ lượng nước mặt nội địa và trữ lượng nước ngầm từ mưa và dân số. Theo báo cáo tổng hợp quy hoạch tổng hợp lưu vực sông Cửu Long thời kỳ 2021-2030 [35] và dân số năm 2020 theo tổng cục thống kê [36], tổng tài nguyên nước ngọt nội địa có thể tái tạo bình quân đầu người bằng 2,554.19 m³/người. Chỉ số Dòng chảy môi trường (ind06), tại khu vực ĐBSCL không có dòng chảy môi trường do chịu sự ảnh hưởng bởi thủy triều [38]. Do đó, chỉ số này không được tính tại khu vực nghiên cứu. Chỉ số Lượng mưa trung bình năm (ind07) được xác định là trung bình số liệu mưa năm 2020 tại các trạm quan trắc, Theo theo Báo cáo quy hoạch tổng hợp lưu vực sông Cửu Long [38], lượng mưa trung bình tại khu vực là 1598,6 mm/năm.

Khả năng tiếp cận năng lượng

Chỉ số tỷ lệ dân số tiếp cận điện (ind08) được thu thập số liệu dựa trên niên giám thống kê cho năm 2020 (chỉ số tỷ lệ hộ dùng điện sinh hoạt phân theo địa phương chia theo địa phương) [36], chỉ số ind08 thu thập có giá trị bằng 99,8%. Theo báo cáo Quy hoạch điện VIII, tại khu vực Miền Nam (gồm Đông Nam bộ và Tây Nam bộ) tổng nhu cầu điện tại khu vực là 109.547 GWh, trong đó nguồn điện sản xuất từ nhiệt điện là 58.466 GWh; từ các nguồn năng lượng tái tạo (bao gồm cả thủy điện) là 10.731 GWh [39]. Chỉ số Tỷ lệ tiêu thụ năng lượng tái tạo (ind09) được xác định dựa trên lượng điện tái tạo so với tổng nhu cầu điện, chỉ số ind09 có giá trị bằng 9,7%. Chỉ số Sản lượng điện tái tạo (ind10) được xác định bằng tổng lượng điện tái tạo so với lượng điện sản xuất, chỉ số ind10 có giá trị bằng 15,51%. Chỉ số Lượng phát thải CO₂ (ind11), được thu thập từ báo cáo Thống kê năng lượng Việt Nam 2019, với lượng phát thải CO₂ là 2,733 tấn/người [39, 40]. Chỉ số ind11 có giá trị bằng 2,733 tấn/người.

Mức sẵn có của năng lượng

Chỉ số lượng điện tiêu thụ (ind12) được xác định lượng điện sử dụng và tổng dân số, chỉ số ind12 có giá trị bằng 3.071 kWh/người. Chỉ số lượng điện nhập khẩu (ind13), tại khu vực Nam Bộ được xác định giữa lượng điện tiêu thụ và lượng điện cần truyền tải đến, chỉ số ind13 có giá trị bằng 36,85%.

Khả năng tiếp cận lương thực

Chỉ số Tỷ lệ suy dinh dưỡng (ind14), được thu thập số liệu từ FAO cho Việt Nam năm 2020 là 5,1% [41] và sử dụng chỉ số này cho khu vực Đồng Bằng sông Cửu Long do hạn chế về mặt thu thập số liệu. Chỉ số Tỷ lệ trẻ em dưới 5 tuổi bị suy dinh dưỡng thể gầy còm (ind15) được thu thập số liệu từ Kế hoạch hành động thực hiện Chiến lược Quốc gia về dinh dưỡng đến năm 2025, tỷ lệ trẻ em dưới 5 tuổi suy dinh dưỡng thể gầy còm là 5,6% [42]. Chỉ số Tỷ lệ trẻ em dưới 5 tuổi bị suy dinh dưỡng thể thấp còi (ind16) được thu thập số liệu dựa trên Niên giám thống kê cho năm 2020 [36], chỉ số ind16 thu thập có giá trị bằng 19,6%. Chỉ số Tỷ lệ béo phì ở người trưởng thành (ind17) được thu thập số liệu từ Kế hoạch hành động thực hiện Chiến lược Quốc gia về dinh dưỡng đến năm 2025, tỷ lệ thừa cân béo phì ở người trưởng thành 19-64 tuổi là 20,6% [42]. Trong khi đó, tỷ lệ béo phì tại Việt Nam năm 2020 theo số liệu quốc tế được xác định là 2,1%, có sự chênh lệch lớn giữa số liệu quốc gia. Do đó, để đảm bảo cho các so sánh trong nước được phù hợp, nghiên cứu này đã điều chỉnh bảng số liệu quốc tế gốc về tỷ lệ béo phì tại Việt Nam theo số liệu quốc gia.

Mức sẵn có của lương thực

Chỉ số Cung cấp protein trung bình (ind18) được thu thập số liệu từ FAO cho Việt Nam năm 2020 là 89,3 g/người/ngày [41] và sử dụng chỉ số này cho khu vực Đồng Bằng sông Cửu Long do hạn chế về mặt thu thập số liệu. Chỉ số Sản lượng ngũ cốc (ind19) được thu thập số liệu sản lượng lúa gạo trong niên giám thống kê cho năm 2020 [36], sản lượng lúa gạo tại khu vực này đạt mức 60,1 tạ/ha, tương đương với 6.010 kg/ha. Chỉ số Mức cung cấp năng lượng trung bình của khẩu phần ăn (ind20) thu thập theo thống kê về Bộ chỉ số an ninh lương thực của Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp FAO [41], nhu cầu năng lượng trung bình của người Việt Nam là 2.296 kcal/người/ngày, cùng với đó, tỷ lệ ăn uống cung cấp đầy đủ năng lượng tại Việt Nam năm 2020 có giá trị bằng 131%. Do không có những nghiên cứu và số liệu riêng biệt, nên chỉ số ind20 tại ĐBSCL được lấy bằng chỉ số của Việt Nam cùng năm, ở giá trị 131%. Chỉ số Giá trị sản xuất lương thực bình quân (ind21) được tính dựa trên số liệu sản lượng lúa tại ĐBSCL [36], giá trị lúa gạo năm 2020 được tham khảo ở mức giá 499,3 USD/tấn [43] và dân số tại khu vực, giá trị Giá trị sản xuất lương thực bình quân tại khu vực là 686,96 USD/người.

2.3. Chuẩn hoá và xử lý số liệu

Dữ liệu của 20 chỉ số (ngoại trừ ind06 về dòng chảy môi trường) của ĐBSCL sau khi thu thập đã được tổng hợp và xử lý cùng bảng danh sách các số liệu thống kê của các quốc

gia trên thế giới bằng công cụ COIN Excel, nhằm đánh giá xếp hạng và khả năng đáp ứng của các chỉ tiêu đó đối với thực tiễn.

Công cụ COIN Excel đưa ra các thuộc tính thống kê khác nhau của từng chỉ số bao gồm các giá trị bị thiếu (%), giá trị bị thiếu (#), tối thiểu, tối đa, trung bình, độ lệch chuẩn, độ lệch và độ nhọn. Vì đặc điểm tự nhiên - xã hội và điều kiện phát triển của các quốc gia trên thế giới vô cùng đa dạng, do đó số liệu thu thập sẽ không đạt được yêu cầu về mức phân phối chuẩn để đạt được độ tin cậy trong tính toán. Cùng một chỉ số, nhưng phạm vi phân phối vô cùng lớn và biên độ dao động giá trị rộng, và tồn tại những giá trị ngoại lai không nằm cùng phạm vi phân phối. Việc không xử lý các giá trị ngoại lai có thể gây ra sự hiểu sai về các chỉ số tổng hợp và để đảm bảo kết quả tính toán được chính xác nhất, cần biến đổi các dữ liệu đó về cùng dạng phân phối chuẩn [34]. Do đó, nhóm nghiên cứu đã sử dụng Công cụ COIN Excel để thực hiện kiểm tra và xử lý các biến số ngoại lai bằng hai phương pháp chuẩn hoá số liệu bao gồm Winsorization (đối với chỉ số có ít biến ngoại lai) và Box - Cox (đối với các chỉ số có nhiều biến ngoại lai). Các chỉ số cần được điều chỉnh và thực hiện chuẩn hoá số liệu được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Thống kê các chỉ số cần xử lý ngoại lai.

Chỉ số	Số lượng biến ngoại lai	Phương pháp xử lý
ind04	22	Box – Cox
ind05	21	Box – Cox
ind11	7	Winsorization
ind12	7	Winsorization
ind19	3	Winsorization
ind21	8	Winsorization

Các chỉ số sau khi đã đạt phân phối chuẩn sẽ được chuẩn hóa sử dụng phương pháp min-max theo công thức:

$$I_{jc} = \frac{ind_{jc} - ind_{min}}{ind_{max} - ind_{min}} \times 100 \tag{1}$$

Trong đó ind_{min} và ind_{max} là giá trị nhỏ nhất và lớn nhất của chỉ số ind_j trong tất cả các quốc gia; ind_{jc} là giá trị chỉ số ind_j của quốc gia c ; I_{jc} là giá trị đã được chuẩn hóa cho chỉ số ind_j của quốc gia c . Quy trình này chuyển đổi các chỉ số I_{jc} sang thang đo thống nhất trong khoảng 0-100 và có thể được sử dụng để tổng hợp dữ liệu cho chỉ số WEF Nexus. Các chỉ số thành phần được tổng hợp thành các trụ cột thành phần và trụ cột bằng cách nhân với trọng số tương ứng (Bảng 1).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Chỉ số WEF Nexus của Đồng bằng sông Cửu Long so với trung bình Việt Nam

Mức độ an ninh WEF (đánh giá thông qua chỉ số WEF Nexus) của ĐBSCL đạt 60,85, đứng thứ 60 nếu đưa vào đánh giá chung với bảng số liệu toàn cầu. Dữ liệu cụ thể về các chỉ số thành phần và trụ cột thành phần được thể hiện trong Bảng 3. Bên cạnh đó, nếu đưa ĐBSCL vào danh sách đánh giá, thứ hạng của Việt Nam sẽ thay đổi như sau: Chỉ số WEF Nexus của Việt Nam đứng thứ 44; thứ hạng chỉ số các trụ cột WEF lần lượt là 95,18 và 53.

Bảng 3. Kết quả tính toán chỉ số thành phần và các trụ cột thành phần của Chỉ số WEF Nexus.

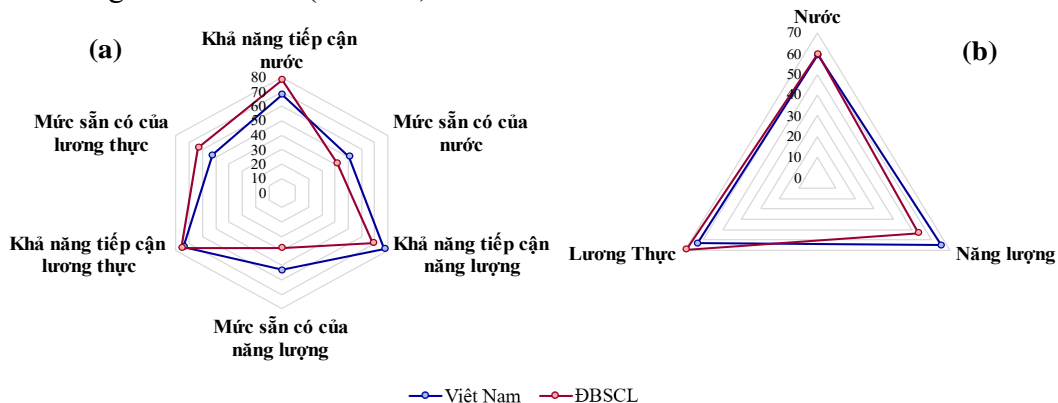
Chỉ số	Số liệu thu thập		Chuẩn hóa	Trụ cột thành phần	Trụ cột ^a
	Đơn vị tính	Giá trị			
(ind01) Tỷ lệ người dân sử dụng ít nhất các dịch vụ nước cơ bản	%	97,5	95,92	78,18	59,84 (92 th)
(ind02) Tỷ lệ người dân sử dụng dịch vụ vệ sinh được quản lý an toàn	%	86,3	85,22		

Chỉ số	Số liệu thu thập		Chuẩn hóa	Trụ cột thành phần	Trụ cột ^a
	Đơn vị tính	Giá trị			
(ind03) Mức độ thực hiện quản lý tổng hợp tài nguyên nước	1 - 100	58,2	53,39		
(ind04) Tổng lượng nước ngọt khai thác hàng năm	%	25,17	57,26		
(ind05) Tài nguyên nước ngọt nội địa có thể tái tạo bình quân đầu người	m ³	2554,2	59,71	41,51	
(ind06) Dòng chảy môi trường	10 ⁶ m ³ /năm	n/a	n/a		
(ind07) Lượng mưa trung bình năm	mm/năm	1598,6	49,05		
(ind08) Tỷ lệ dân số tiếp cận điện	%	99,8	99,78		
(ind09) Tỷ lệ tiêu thụ năng lượng tái tạo	%	9,7	10,12	68,78	
(ind10) Sản lượng điện tái tạo	%	15,51	15,51		53,35
(ind11) Lượng phát thải CO ₂	tấn/người	2,733	87,70		(78 th)
(ind12) Lượng điện tiêu thụ	kWh/người	3071	13,20	37,93	
(ind13) Lượng điện nhập khẩu	%	36,85	62,66		
(ind14) Tỷ lệ suy dinh dưỡng	%	5,1	94,31		
(ind15) Tỷ lệ trẻ em dưới 5 tuổi bị suy dinh dưỡng thể gầy còm	%	5,6	76,34		
(ind16) Tỷ lệ trẻ em dưới 5 tuổi bị suy dinh dưỡng thể thấp còi	%	19,6	65,90	75,51	
(ind17) Tỷ lệ béo phì ở người trưởng thành	%	20,6	61,10		69,02
(ind18) Cung cấp protein trung bình	g/người/ngày	89,3	50,45		(24 th)
(ind19) Sản lượng ngũ cốc	kg/ha	6010	65,77		
(ind20) Mức cung cấp năng lượng trung bình của khẩu phần ăn	%	131	72,37	63,20	
(ind21) Giá trị sản xuất lương thực bình quân	USD/người	686,96	64,20		
Chỉ số WEF Nexus					60,85 (60 th)

Ghi chú: ^aSố liệu trong () thể hiện xếp hạng của chỉ số nếu được đưa vào xem xét chung với bảng chỉ số toàn cầu.

Kết quả tính toán cho thấy chỉ số WEF Nexus của ĐBSCL (60,85) thấp hơn so với chỉ số WEF Nexus trung bình của Việt Nam (sau khi tính lại là 62,61). Xét về thứ hạng, ĐBSCL thấp hơn 16 bậc so với trung bình Việt Nam trong bảng xếp hạng chỉ số WEF Nexus toàn cầu.

Các chỉ số của 03 trụ cột chính và các trụ cột thành phần tại Việt Nam và ĐBSCL được so sánh tại Hình 4. Đối với các trụ cột chính, mức độ đảm bảo năng lượng (53,35 - xếp hạng 78) của ĐBSCL thấp hơn đáng kể trung bình toàn quốc (65,18 - xếp hạng 18), tuy nhiên chỉ số về nước (ĐBSCL: 59,84 - xếp hạng 92; Việt Nam: 59,37 - xếp hạng 95) và lương thực (ĐBSCL: 69,02 - xếp hạng 24; Việt Nam: 69,77 - xếp hạng 53) lại cao hơn. Có thể thấy mức độ khác biệt của kết quả tính toán cho các trụ cột giữa ĐBSCL và trung bình cả nước có sự khác nhau theo từng trụ cột. Đặc biệt, do sự đối lập giữa mức độ sẵn có và khả năng tiếp cận đối với nước của ĐBSCL và Việt Nam, chỉ số hợp nhất về mức độ đảm bảo nước của ĐBSCL và Việt Nam tương tự nhau. Trong khi ĐBSCL có điểm số cao hơn về khả năng đáp ứng các nhu cầu cơ bản về tiếp cận nước sạch và vệ sinh cũng như quản lý tổng hợp tài nguyên nước (QLTHTNN), khu vực này do có mức độ khai thác và sử dụng cao nên mức sẵn có của nước thấp hơn trung bình cả nước (Hình 4a).

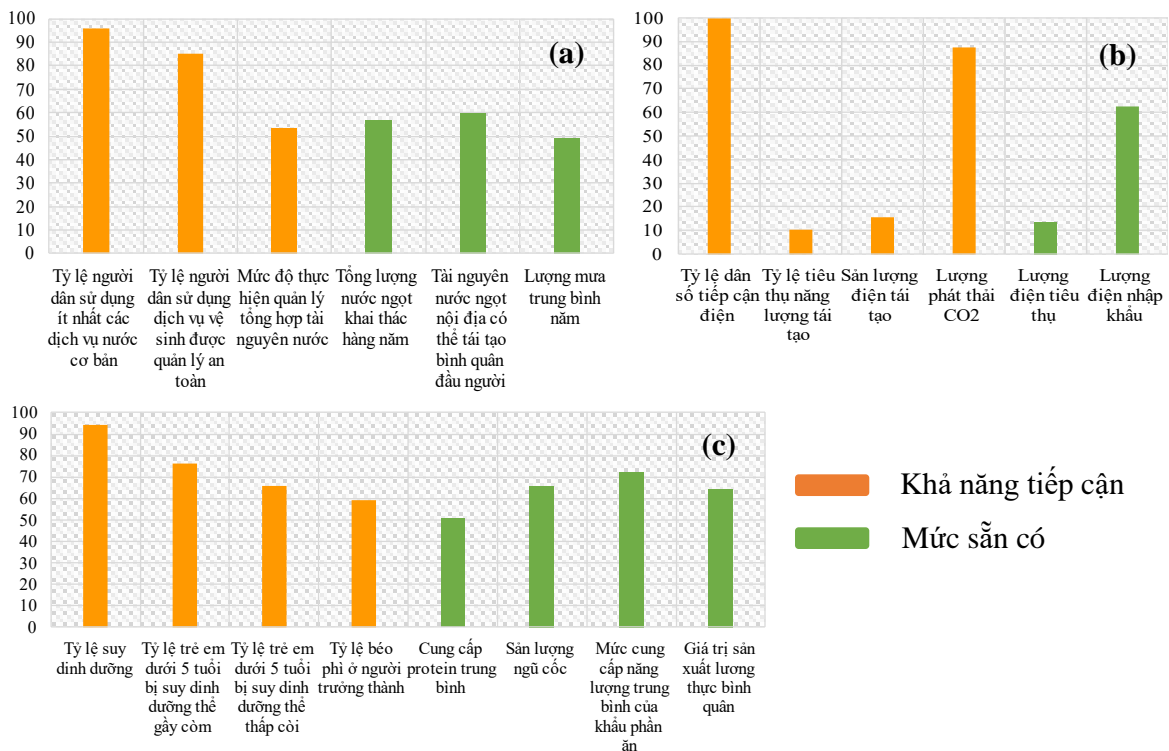


Hình 4. Biểu đồ Radar thể hiện chỉ số của các trụ cột thành phần (a) và trụ cột chính WEF (b) trong chỉ số WEF Nexus của Việt Nam và Đồng bằng sông Cửu Long.

Sự khác biệt giữa ĐBSCL và trung bình Việt Nam thể hiện rõ hơn ở chỉ số tổng hợp năng lượng và lương thực, trong đó, mức độ chênh lệch giữa các chỉ số năng lượng cao hơn so với chỉ số lương thực Tuy nhiên, chênh lệch giữa mức độ sẵn có về hai nguồn tài nguyên này là nguyên nhân chính dẫn đến sự chênh lệch về chỉ số tổng hợp năng lượng và lương thực giữa hai khu vực. Đối với năng lượng, tuy ĐBSCL có lượng điện tiêu thụ trên đầu người thấp hơn so với trung bình toàn quốc, tỷ lệ sử dụng năng lượng tái tạo, sản lượng sản xuất điện bao gồm cả điện tái tạo chưa cao dẫn đến phải truyền tải điện từ các khu vực lân cận nên mức độ sẵn có của năng lượng tại khu vực này chưa cao. Chỉ số đảm bảo năng lượng của ĐBSCL thấp hơn 60 bậc so với trung bình cả nước. Về lương thực, ĐBSCL được coi là “vựa lúa” của Việt Nam nên chỉ số về mức sẵn có của lương thực tại ĐBSCL cao hơn đáng kể so với trung bình cả nước dẫn đến chỉ số tổng hợp về đảm bảo lương thực cao hơn 29 bậc so với trung bình cả nước. Định hướng giải quyết và giải pháp cho các vấn đề tồn tại ở ĐBSCL sẽ được đề xuất dựa trên phân tích các chỉ số thành phần của từng trụ cột WEF.

3.2. Kết quả các chỉ số thành phần WEF Nexus của Đồng bằng sông Cửu Long

Hình 5 thể hiện kết quả tính toán cụ thể cho các chỉ số thành phần cấu thành mức độ an ninh WEF tại ĐBSCL.



Hình 5. Chỉ số thành phần trong các trụ cột WEF của Đồng bằng sông Cửu Long: (a) Chỉ số thành phần của trụ cột nước; (b) Chỉ số thành phần của trụ cột năng lượng; (c) Chỉ số thành phần của trụ cột lương thực.

Chỉ số nước của ĐBSCL là 59,84, đứng thứ 92 toàn cầu. Điều này cho thấy khả năng tiếp cận và mức độ sẵn có của tài nguyên nước tại khu vực này chưa được đảm bảo. Qua số liệu có thể thấy, quyền tiếp cận đối với nước sạch và vệ sinh tại khu vực này tương đối cao với các chỉ số thành phần lớn hơn 80. Tuy nhiên mức độ sẵn có của nước chưa cao do chịu ảnh hưởng bởi nhu cầu sử dụng nước cao, khả năng tái tạo và bổ sung lượng nước trong khu vực chưa cao. Các chỉ số thành phần trong mức độ sẵn có của nước đều ở mức dưới 60. Bên cạnh đó, mức độ thực hiện quản lý tổng hợp tài nguyên nước chỉ đạt 53,39. Cục Quản lý tài nguyên nước trong báo cáo năm 2021 [44] đã nhận định, các vấn đề lớn nhất đối với ĐBSCL được xác định là suy giảm dòng chảy, xâm nhập mặn và nguy cơ ô nhiễm xuyên biên giới. Kết quả của các chỉ số thành phần về nước cũng thể hiện được các vấn đề chính trong khai

thác và sử dụng tài nguyên nước tại khu vực. Để giải quyết các vấn đề này cần tăng cường các biện pháp làm giảm nhu cầu sử dụng nước và các chính sách quản lý tài nguyên nước tổng hợp. Đặc biệt, khi nông nghiệp là hoạt động đặc thù của khu vực nhưng lại là lĩnh vực sử dụng nhiều nước nhất (khoảng hơn 70% tổng lượng nước sử dụng của các ngành/lĩnh vực), các giải pháp quản lý và sử dụng nước hiệu quả, tái sử dụng, tuần hoàn nước và thu hồi phụ phẩm sau xử lý nước được coi là những giải pháp có tiềm năng lớn để đảm bảo năng suất sản xuất nông nghiệp và phát triển bền vững tại ĐBSCL [29].

Chỉ số năng lượng của ĐBSCL là 53,35, đứng thứ 78 toàn cầu. Kết quả cho thấy, tỷ lệ dân số được tiếp cận điện khá cao, tuy nhiên vấn đề cần giải quyết ở ĐBSCL là mức độ sẵn có của năng lượng và năng lượng tái tạo. Lượng điện sản xuất trong vùng chưa đủ đáp ứng nhu cầu thực tế dẫn đến phải sử dụng điện từ các khu vực xung quanh, tỷ lệ sản xuất và sử dụng năng lượng tái tạo chưa cao. Trong khi đó, Đồng bằng sông Cửu Long được xác định là một trong những khu vực có tiềm năng năng lượng tái tạo cao bao gồm điện gió và điện mặt trời [28]. Do đó, ĐBSCL cần tận dụng được các cơ hội để chuyển đổi sang các nguồn năng lượng mới để vừa đảm bảo tăng cường lượng điện sản xuất trong vùng, tránh phụ thuộc vào nguồn điện truyền tải từ các khu vực khác, vừa giảm được lượng phát thải khí nhà kính của khu vực [29].

Chỉ số lương thực của ĐBSCL là 69,35, đứng thứ 24 toàn cầu. Đây là chỉ số có thứ hạng cao nhất trong các trụ cột WEF, thể hiện mức an ninh lương thực tại khu vực này cao hơn so với an ninh nước và năng lượng. Chỉ số về tỷ lệ suy dinh dưỡng ở người lớn và trẻ em khá cao (đều trên 60) thể hiện mức độ quy dinh dưỡng của ĐBSCL không cao, quyền tiếp cận với lương thực, thực phẩm về cơ bản được đảm bảo. Tuy nhiên, kết quả từ chỉ số cũng cho thấy tuy đối với khu vực này, lượng lương thực sẵn có cao nhưng cần chú ý điều chỉnh khẩu phần ăn để đảm bảo cung cấp đủ chất dinh dưỡng cần thiết đặc biệt đối với trẻ em dưới 5 tuổi. Nghiên cứu Lê Hiệp và cộng sự năm 2023 [45] tại tỉnh An Giang cũng đã chỉ ra rằng đã ghi nhận được có tỷ lệ suy dinh dưỡng nhất định ở cả người lớn và trẻ em dân tộc Khmer, tỷ lệ này cao hơn đối với trẻ em từ 5 tuổi trở xuống. Nguyên nhân dẫn đến tình trạng này là do chế độ ăn chủ yếu dựa vào thực phẩm giàu tinh bột và rau. Nghiên cứu đã đề xuất trong Chiến lược dinh dưỡng quốc gia cần thực hiện truyền thông về dinh dưỡng và sức khỏe để người dân biết được cần phải đa dạng hóa chế độ ăn uống của hộ gia đình để đảm bảo một số giải pháp thúc đẩy tăng cường dinh dưỡng c như bao gồm tăng cường lên mức cao.

Nhìn chung, trong giai đoạn tiếp theo các chiến lược phát triển ĐBSCL cần tập trung hơn vào các vấn đề liên quan đến nước và năng lượng. Cũng nghiên cứu về mối quan hệ giữa lương thực, năng lượng và nước, Wang và cộng sự [46] đã sử dụng mô hình quản lý tổng hợp để định lượng tác động tổng hợp lên lương thực - năng lượng - nước (FEW) Nexus thông qua sản lượng lúa, sản xuất điện và lượng nước tiêu thụ. Tuy cách tiếp cận và các biến trong mô hình được sử dụng khác với bài báo này, nghiên cứu về FEW Nexus cũng chỉ ra rằng ngành năng lượng và nước sẽ dễ bị tổn thương trước các tác động tổng hợp hơn so với ngành thực phẩm do các nhà máy nhiệt điện than đang được quy hoạch tại khu vực này.

4. Kết luận

Mối quan hệ WEF đang được cộng đồng thế giới nghiên cứu và thừa nhận là một khung đánh giá nổi bật để định hướng cho các chiến lược quản lý tài nguyên tổng hợp, đánh giá an ninh tài nguyên và giám sát tiến trình hướng tới các SDG liên quan đến WEF. Các nghiên cứu dựa trên mối quan hệ của WEF đã thể hiện rõ được tầm quan trọng của việc coi các lĩnh vực của WEF như một hệ thống đa trung tâm, liên kết với nhau để đạt được kết quả quy hoạch nguồn lực hiệu quả hơn. Đặc biệt, Chỉ số WEF Nexus toàn cầu đã được giới thiệu và áp dụng đo lường mức độ an ninh WEF tại hơn 170 quốc gia trên toàn thế giới. Dựa trên việc tổng hợp 21 chỉ số WEF theo các trụ cột nước, năng lượng và ong thực, Chỉ số WEF Nexus đã thể hiện vai trò là một công cụ quan trọng để đo lường mức độ an ninh của WEF ở cấp quốc gia và theo dõi tiến trình đạt được các SDG liên quan đến WEF. Chỉ số này có thể tiếp

tục tính toán, áp dụng cho các khu vực nhất định để có được thông tin và giải pháp cụ thể hơn.

Nghiên cứu này đã thử nghiệm áp dụng Chỉ số WEF Nexus cho ĐBSCL và so sánh với chỉ số trung bình quốc gia. Nghiên cứu cho thấy rằng có sự khác nhau trong mối liên kết WEF giữa ĐBSCL và tổng thể Việt Nam. Nhìn chung, đối với Việt Nam cần quan tâm hơn đến mức sẵn có của lương thực và khả năng tiếp cận nước. Trong khi đó, ĐBSCL cần chú ý những vấn đề sau:

- Tài nguyên nước: Cần quan tâm đến mức sẵn có của nước, đặc biệt các vấn đề liên quan đến quản lý tổng hợp, tuần hoàn và hiệu quả sử dụng nước.

- Năng lượng: Cần quan tâm đến mức sẵn có của năng lượng, tập trung vào phát triển, sản xuất và sử dụng năng lượng tái.

- Lương thực: Tuy đây là vấn đề có chỉ số an ninh cao nhất trong 03 trụ cột WEF tại ĐBSCL, khẩu phần ăn cần được điều chỉnh để đảm bảo cung cấp đủ chất dinh dưỡng cần thiết, đặc biệt là đối với trẻ em dưới 05 tuổi.

Nhìn chung, kết quả của nghiên cứu chứng minh được vai trò của Chỉ số WEF Nexus trong hỗ trợ xác định nhanh các vấn đề tồn tại và định hướng ưu tiên cho các giải pháp liên quan. Bên cạnh đó, sự khác biệt giữa chỉ số của Việt Nam và ĐBSCL cũng nêu bật được nhu cầu đánh giá mối liên kết WEF ở cấp khu vực và vùng cụ thể.

Nghiên cứu còn một số hạn chế do không phải toàn bộ dữ liệu đều sẵn có cho ĐBSCL, nghiên cứu đã phải sử dụng một số dữ liệu chung cho khu vực Nam Bộ hoặc trung bình cho toàn Việt Nam. Để có những nhận định cụ thể hơn cho từng vùng, Việt Nam cần xây dựng bộ dữ liệu cho từng tỉnh/khu vực theo các chỉ số thành phần của WEF Nexus. Khi các dữ liệu có sẵn, các nghiên cứu tiếp theo có thể tiếp tục cập nhật và đánh giá chỉ số này cho từng khu vực hoặc tỉnh nhất định. Chỉ số WEF Nexus có thể trở thành một công cụ hỗ trợ ra quyết định nhanh cho các chính sách phát triển bền vững liên quan đến WEF tại các khu vực/tỉnh nghiên cứu.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của nhiệm vụ: “Nghiên cứu mối liên hệ giữa quan hệ Nước - Năng lượng - Lương thực (WEF) và các chỉ số phát triển bền vững, thí điểm đánh giá mức độ bền vững trong quản lý tài nguyên ở Đồng bằng sông Cửu Long tại Việt Nam” do Viện Khoa học tài nguyên nước chủ trì.

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 sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Mitra, B.K.; Sharma, D.; Kuyama, T.; Pham, N.B; Islam, G.M.T.; Thao, P.T.M. Water-energy-food nexus perspective: Pathway for sustainable development goals (SDGs) to country action in India. *APN Sci. Bull.* 2020, 10(1), 34–40.
2. UN-Water. Summary Progress Update 2021: SDG 6 - water and sanitation for all. Geneva, Switzerland. 2021, pp. 54.
3. IEA. Energy access outlook 2017: From poverty to prosperity. France. 2017, pp. 140.
4. FAO. The State of food security and nutrition in the world: Building resilience for peace and food security. Rome, Italy. 2017, pp. 117.
5. Beddington, J. Food, energy, water and the climate: a perfect storm of global events?. 2009.
6. FAO. Water-Energy-Food Nexus for the Review of SDG 7, 2018.
7. WWF, SABMiller. The water-food- energy nexus: Insights into resilient development. 2014, pp. 16.

8. Shannak, S.D.; Mabrey, D.; Vittorio, M. Moving from theory to practice in the water-energy-food nexus: An evaluation of existing models and frameworks. *Water-Energy Nexus* **2018**, *1*, 17–25.
9. Mohtar, R.H.; Daher, B. Water, energy, and food: The ultimate nexus. *Encyclopedia of Agriculture, Food, and Biological Engineering*, Second Edition. 2012. doi: 10.1081/E-EAFE2-120048376.
10. Ferroukhi, R.; Nagpal, D.; Lopez-Peña, A.; Hodges, T. Renewable energy in the water, energy & food nexus (b). IRENA, Abu Dhabi, United Arab Emirates. 2015, pp. 124.
11. FAO. The water-energy-food nexus - a new approach in support of food security and sustainable agriculture. Rome, Italy. 2014, pp. 19.
12. Chang, Y.; Li, G.; Yao, Y.; Zhang, L.; Yu, C. Quantifying the water-energy-food nexus: Current status and trends. *Energies* **2016**, *9*, 65.
13. Yuan, C.; Guijun, L.; Yuan, Y.; Lixiao, Z.; Chang, Y. Quantifying the Water-Energy-Food Nexus: Current Status and Trends. *Energies* **2016**, *9*, 1–17. doi:10.3990/en9020065.
14. WEF. Water Security: the Water-Food-Energy-Climate Nexus. The World Economic Forum Water Initiative, Washington. DC. 2011, pp. 243.
15. Garcia, D. J.; You, F. The water-energy-food nexus and process systems engineering: A new focus. *Comput. Chem. Eng.* **2016**, *91*, 49–67. Doi:10.1016/j.compchemeng.2016.03.003.
16. Sachs, J.; Schmidt-Traub, G.; Kroll, C.; Lafortune, G.; Fuller, G. Sustainable Development Report 2019. Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network (SDSN), New York. 2019, pp. 465.
17. Stockholm Environment Institute. The Water Evaluation and Planning System (WEAP). Stockholm. 2022.
18. Biggs, E.M. et al. Sustainable development and the water-energy-food nexus: A perspective on livelihoods. *Environ. Sci. Policy* **2015**, *54*, 389–397. Doi:10.1016/j.envsci.2015.08.002.
19. IWMI. Water Figures: newsletter of the International Water Management Institute (IWMI). International Water Management Institute (IWMI), Colombo, 2012. Online available: http://www.iwmi.cgiar.org/News_Room/Newsletters/Water_Figures/Landing_pages/WF-July_2012-.aspx.
20. Hoff, H. Understanding the Nexus. Background paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus, Stockholm Environment Institute, Stockholm, 2011.
21. Rasul, G. Food, water, and energy security in South Asia: A nexus perspective from the Hindu Kush Himalayan region. *Environ. Sci. Policy* **2014**, *39*, 35–48. Doi:10.1016/j.envsci.2014.01.010.
22. Giampietro, M.; Mayumi, K.; Ramos-Martin, J. Multi-scale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism (MuSIASEM): Theoretical concepts and basic rationale. *Energy* **2009**, *34*(3), 313–322. doi: 10.1016/j.energy.2008.07.020.
23. Fischer, G.; Eva, H.; Velthuisen, H.V.; Wiberg, D.; Hermann, S. Climate, Land, Energy & Water Strategies (CLEWS): Case study of Mauritius. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxemburg, Austria. 2013, pp. 40.
24. Simpson, G.B. The development of Water-Energy-Food Nexus Index and its application to South Africa and the Southern African development community. PhD. Thesis, KwaZulu-Natal Uni., Pietermaritzburg, South-Africa, 2020.

25. Simpson, G.B.; Jewitt, G.P.W. The development of the water-energy-food nexus as a framework for achieving resource security: a review. *Front. Environ. Sci.* **2019**, *7*, 8.
26. Tổng cục Thống Kê. Dân số và lao động. Trục tuyến: <https://www.gso.gov.vn/dan-so/>.
27. Tổng cục Thống Kê. Y tế, mức sống dân cư, văn hóa, thể thao, trật tự an toàn xã hội và môi trường. Trục tuyến: <https://www.gso.gov.vn/y-te-muc-song-dan-cu-van-hoa-the-thao-trat-tu-an-toan-xa-hoi-va-moi-truong/>.
28. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo tiềm năng năng lượng bức xạ, gió và sóng tại Việt Nam. Hà Nội. 2022.
29. VCCI, Fullbright. Báo cáo kinh tế thường niên Đồng bằng sông Cửu Long năm 2022: Chuyển đổi mô hình phát triển và quy hoạch tích hợp. Nhà xuất bản Đại học Cần Thơ, Cần Thơ, 2022.
30. Woillez, M.N. et al. Climate change in Viet Nam; Impacts and adaptation. A COP26 assessment report of the GEMMES Viet Nam project. Paris: Agence Française de Développement (AFD), 2021.
31. Soukhaphon, A.; Baird, I.G.; Hogan, Z.S. The impacts of hydropower dams in the mekong river basin: A review. *Water* **2021**, *13*, 1–18. doi:10.3390/w13030265.
32. Simpson, G.B. et al. The Water-Energy-Food Nexus Index: A Tool to Support Integrated Resource Planning, Management and Security. *Front. Water* **2020**, *4*, 825854. Doi: 10.3389/frwa.2022.825854.
33. Competence Centre on Composite Indicators and Scoreboards. COIN Tool. Competence Centre on Composite Indicators and Scoreboards. Online available: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/composite-indicators/coin-tool_en#aboutcointool.
34. Nardo, M.; Saisana, M.; Saltelli, A.; Tarantola, S.; Hoffman, A.; Giovannini, E. Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. OECD publishing, Paris, France, 2008. ISBN: 978-92-64-04345-9.
35. Simpson, G.B. WEF Nexus Index dataset, Mendeley Data, V1, 2020. Online available: <https://data.mendeley.com/datasets/2krwdc8n8d/1>. doi: 10.17632/2krwdc8n8d.1.
36. Tổng cục Thống kê. Niên giám Thống kê Việt Nam năm 2021. Nhà xuất bản Thống Kê, Hà Nội, 2021, tr. 1058.
37. Tra, T.V.; Anh, N.T.; Linh, L.V.; Bach, N.H.; Son, D.H. The degree of integrated water resources management implementation in the Mekong River Delta in Viet Nam. *World Water Policy* **2022**, *8*, 51–64. doi: 10.1002/wwp2.12071.
38. Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước quốc gia (NAWAPI). Báo cáo tổng hợp: Quy hoạch tổng hợp lưu vực sông Cửu Long thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Hà Nội, 2022, tr. 313.
39. Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số: 500/QĐ-TTg Phê duyệt quy hoạch phát triển điện lực Quốc gia thời kỳ 2021-2030 tầm nhìn đến năm 2045. 15/05/2023.
40. Viện Năng Lượng. Thống kê Năng lượng Việt Nam 2019. Bộ Công Thương, 2020, tr. 56.
41. FAO. Suite of Food Security Indicators. Online available: <https://data.apps.fao.org/catalog/dataset/faostat-food-security>.
42. Bộ Y Tế. Quyết định số: 1294/QĐ-BYT Ban hành Kế hoạch hành động thực hiện Chiến lược Quốc gia về dinh dưỡng đến năm 2025. Truy cập: 19/05/2022.
43. Tuyết, A. Chặng đường “kỳ tích” của ngành lúa gạo Việt Nam. Báo Nhân Dân điện tử, 27/10/2022. Trục tuyến: <https://special.nhandan.vn/chang-duong-ky-tich-cua-nganh-lua-gao-Viet-Nam/index.html>.

44. Cục Quản lý Tài nguyên nước. Báo cáo Thuyết minh tổng hợp Quy hoạch tài nguyên nước thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050. Hà Nội, 2021.
45. Le, H.; Nguyen, K., Phung, H.; Hoang, N.; Tran, D.; Mwanri, L. Household dietary diversity among the ethnic minority groups in the Mekong Delta: Evidence for the development of public health and nutrition policy in Vietnam. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2023**, *20*, 932. doi:10.3390/ijerph20020932.
46. Wang, K. et al. Understanding the impacts of climate change and socio-economic development through food-energy water nexus: A case study of mekong river delta. *Resour. Conserv. Recycl.* **2021**, *167*, 105390. doi:10.1016/j.resconrec.2020.105390.

Evaluation of the Water-Energy-Food (WEF) nexus in the Mekong Delta

Nguyen Tu Anh^{1*}, Le Van Linh¹, Nguyen Thanh Long¹, Tran Van Tra¹

¹ The Water Resources Institute (WRI); tuanh.evp@gmail.com;

linhlevan6527@gmail.com; longnt.works@gmail.com; tranvantra@gmail.com

Abstract: The Water - Energy - Food Nexus Index (WEF Nexus) is a comprehensive index developed from 21 indicators, categorized into three primary pillars: water, energy, and food. This index is an exceptional tool for directing integrated resource management strategies. This study examined the implementation of the WEF Nexus Index in the Mekong Delta region and compared it to the average index at the national level. The study reveals disparities in the World Economic Forum (WEF) connection between the Mekong Delta and Vietnam as a whole. Regarding Vietnam, it is imperative to prioritize the availability and accessibility of food and water. Concurrently, it is imperative for the Mekong Delta region to prioritize water availability, particularly in regard to integrated management, circulation, and water use efficiency. Additionally, emphasis should be placed on energy availability, with a specific focus on the advancement, production, and utilization of renewable energy sources. In summary, the study's findings highlight how the WEF Nexus Index helps quickly identify existing issues and prioritize appropriate solutions. Furthermore, the disparity between Vietnam's and the Mekong Delta's indexes underscores the necessity of assessing WEF connections at both the regional and sub-regional levels.

Keywords: WEF Nexus Indicators; Sustainable Development; SDG 2; SDG 6; SDG 7.

Bài báo khoa học

Ứng dụng viễn thám và mô hình AHP đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến du lịch ven biển khu vực TP Sầm Sơn, tỉnh Thanh Hóa

Phạm Thị Làn¹, Lê Kim Dung^{2*}

¹ Đại học Mỏ - Địa chất; phamthilan@humg.edu.vn

² Đại học Hồng Đức; lekimdung@hdu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: lekimdung@hdu.edu.vn; Tel.: +84-945516169

Ban Biên tập nhận bài: 12/11/2023; Ngày phản biện xong: 19/12/2023; Ngày đăng bài: 25/4/2024

Tóm tắt: Du lịch của Việt Nam là một ngành kinh tế chịu tác động trực tiếp hoặc gián tiếp bởi biến đổi khí hậu (BĐKH) vì hầu hết các hoạt động du lịch của Việt Nam được phát triển dựa vào nguồn lực tự nhiên và xã hội. Sự thay đổi nhiệt độ, lượng mưa và biến động đường bờ làm thay đổi việc lựa chọn địa điểm du lịch, làm hư hại cơ sở hạ tầng du lịch, cũng làm tăng thêm hoặc biến mất của một số loại hình du lịch. Nghiên cứu tác động của BĐKH đến du lịch biển Sầm Sơn là cơ sở cho việc xác định biện pháp thích ứng ngành du lịch Sầm Sơn nói riêng và du lịch biển Việt Nam nói chung trước tác động của BĐKH ngày một gia tăng. Bài báo này sử dụng ảnh viễn thám để xác định biến động xói lở, bồi tụ bãi biển Sầm Sơn. Các số liệu về biến đổi khí hậu như là tốc độ xói lở đường bờ, biến đổi nhiệt độ và biến đổi lượng mưa được không gian hóa theo cấp xã, phường. Bên cạnh đó, bài báo còn sử dụng mô hình AHP nhằm xác định trọng số ảnh hưởng của các yếu tố BĐKH đến hoạt động du lịch tại khu vực nghiên cứu. Kết quả bài báo chỉ ra rằng biến đổi khí hậu ảnh hưởng đến hoạt động du lịch tại TP Sầm Sơn ở mức thấp và trung bình, trong đó yếu tố có trọng số ảnh hưởng cao nhất là sự thay đổi lượng mưa trung bình năm (0,255), xói lở đường bờ (0,254) và nhiệt độ không khí trung bình năm có ảnh hưởng ít nhất (0,09). Mức độ ảnh hưởng trung bình thuộc phường Trường Sơn và phường Quảng Cư. Các xã/phường còn lại, hoạt động du lịch đều chịu ảnh hưởng ở mức thấp bởi BĐKH.

Từ khóa: Biến đổi khí hậu; Du lịch; Viễn thám; Mô hình AHP; Sầm Sơn.

1. Đặt vấn đề

Du lịch là một lĩnh vực kinh tế toàn cầu quan trọng, đang phát triển đáng kể ở các nước đang phát triển và được đề xuất là một trong những ngành kinh tế trọng điểm trong việc phát triển và giảm nghèo [1]. Tuy nhiên, ngày nay du lịch đang phải hứng chịu các thách thức như biến đổi khí hậu, bệnh dịch và an ninh, vấn đề môi trường, khía cạnh văn hóa xã hội, quản lý du lịch, chính sách... Trong đó, biến đổi khí hậu được xem xét là yếu tố tiên quyết gây ảnh hưởng đối với sự dễ tổn thương ngành du lịch. Phong cách sống, thu nhập, vấn đề sức khỏe và quyền lợi của chúng ta đều chịu tác động bởi biến đổi khí hậu [2]. Biến đổi khí hậu đang gây tác động toàn diện đến mọi khía cạnh của cuộc sống, trong đó bao gồm cả hoạt động du lịch [3], đặc biệt là du lịch ven biển. Một số nghiên cứu khẳng định rằng du lịch biển là lợi thế của các vùng ven biển, nhưng lại chịu tác động đáng kể bởi biến đổi khí hậu (BĐKH) [4-6] vì yếu tố khí hậu được coi là yếu tố đầu tiên khi khách du lịch lựa chọn điểm đến [7, 8]. BĐKH gây ra nhiều biến đổi về nhiệt độ [9], lượng mưa [10] và xói lở, bồi tụ bờ biển [11, 12]. Sự biến đổi về nhiệt độ làm cho một số điểm du lịch sẽ trở nên cạnh tranh hơn, trong khi

một số địa điểm khác sẽ ít hấp dẫn hơn [13, 14]. Bên cạnh đó, nghiên cứu [15] chỉ ra rằng sự thay đổi lượng mưa có ảnh hưởng tiêu cực đến số lượng du khách trong cả ngắn hạn và dài hạn. Cùng với tác động của sự biến thiên nhiệt độ và lượng mưa, sự xói lở, bồi tụ bờ biển cũng có tác động đáng kể lên hạ tầng du lịch như là tính tiện nghi, tính an toàn và sự hấp dẫn đối với khách du lịch [16]. Do vậy, cần có các phương pháp để đánh giá mối quan hệ giữa BĐKH với hoạt động du lịch.

Một số công trình nghiên cứu sử dụng phương pháp đánh giá tổng hợp từ các nhân chứng và tài liệu thu thập được qua nhiều năm để đánh giá những tác động của BĐKH đối với du lịch ven biển [5], cụ thể như phương pháp điều tra xã hội học [17]. Bên cạnh đó, phương pháp sử dụng chuỗi tác động (*Impact Chains*) được sử dụng như một công cụ hiệu quả trong việc đánh giá ảnh hưởng của BĐKH trong mọi lĩnh vực [18], bao gồm cả lĩnh vực du lịch ven biển. Chuỗi tác động là công cụ tích hợp cả yếu tố định tính và định lượng để xem xét tác động của BĐKH đến hoạt động du lịch một cách khách quan hơn, hệ thống hơn. Tuy nhiên, các phương pháp này gặp khó khăn trong việc không gian hóa mối quan hệ phức tạp giữa biến đổi khí hậu với hoạt động du lịch. Để khắc phục hạn chế này, công nghệ viễn thám và GIS đã được sử dụng hiệu quả trong một vài nghiên cứu. Nghiên cứu của (*Sheker Nail, 2022*) đã cho rằng công nghệ viễn thám và GIS là công cụ hiệu quả trong việc xây dựng bản đồ đánh giá tác động của các yếu tố lên hoạt động du lịch [19]. Bên cạnh đó, đánh giá du lịch biển Đà Nẵng bị tác động do BĐKH cũng được nghiên cứu bằng phương pháp viễn thám và mô hình AHP [20, 21].

Viễn thám với thông tin đa thời gian đã trở thành tư liệu hiệu quả trong việc quan trắc biến động tài nguyên - môi trường nói chung và tình trạng BĐKH, biến động cơ sở vật chất kỹ thuật ngành du lịch nói riêng. Trong bài báo này, ảnh Landsat được sử dụng để nghiên cứu xói lở - bồi tụ bờ biển. Bên cạnh đó, mô hình AHP đã được sử dụng giúp định lượng hóa mối quan hệ trong việc đánh giá tác động của một số yếu tố BĐKH đến hoạt động du lịch tại Sầm Sơn.

TP Sầm Sơn là một trong những địa điểm du lịch ven biển nổi tiếng của Việt Nam. Do đặc trưng về vị trí địa lý và điều kiện tự nhiên mà TP Sầm Sơn đã trở thành trọng điểm du lịch từ thời Pháp [22]. Đường bờ biển của Sầm Sơn dài hơn 15km, bãi cát phẳng, mịn, hải sản ngon là yếu tố cơ sở để phát triển ngành du lịch của địa phương. Cùng với điều kiện tự nhiên phù hợp cho phát triển du lịch, TP Sầm Sơn còn có các di tích lịch sử như đền Độc Cước, hòn Trống Mái..., cũng là các yếu tố thu hút khách du lịch. Tuy nhiên, TP Sầm Sơn chưa có những biện pháp hiệu quả trong phát triển du lịch bền vững nhằm ứng phó với những tác động của BĐKH [22].

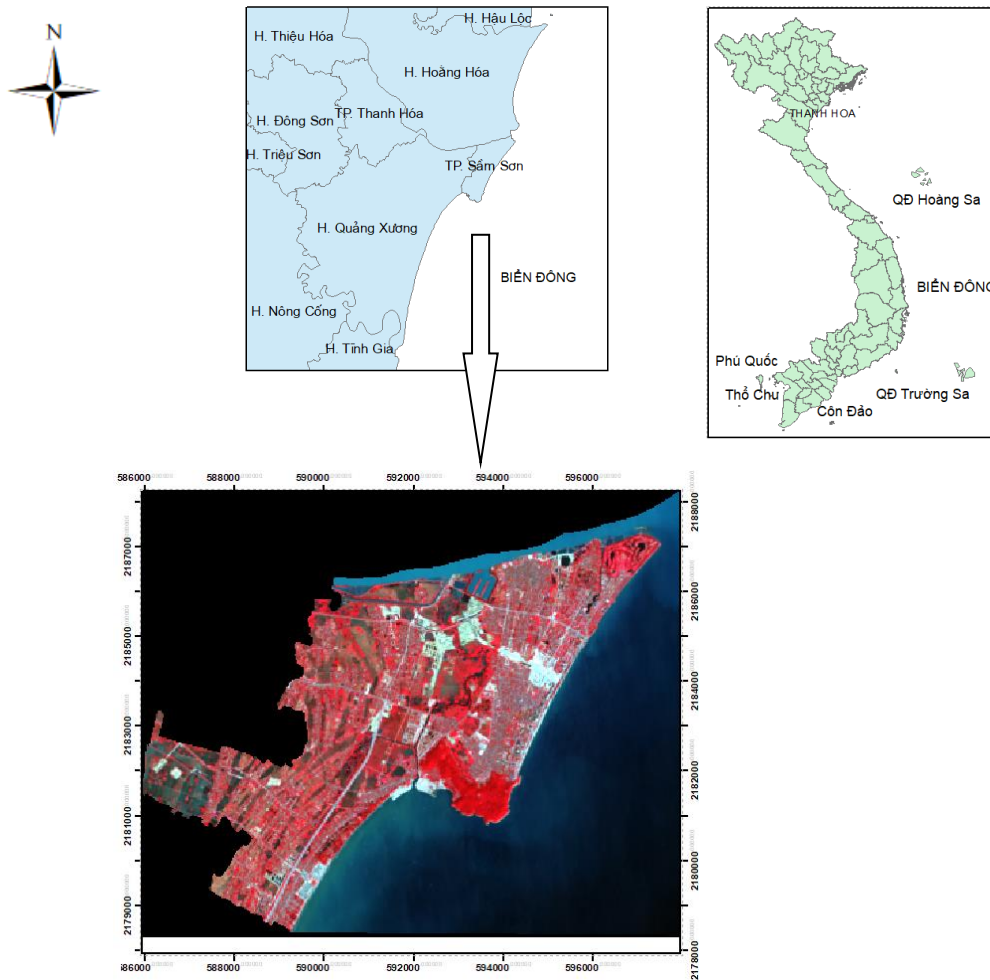
BĐKH ảnh hưởng đến hoạt động du lịch biển ở nhiều khía cạnh, bao gồm ảnh hưởng đến tài nguyên du lịch, quản lý cách khai thác du lịch; hạ tầng, cơ sở vật chất kỹ thuật, dịch vụ hỗ trợ cho hoạt động du lịch, cụ thể như số lượt khách du lịch, cơ sở du lịch, loại hình du lịch và số lượng các di tích. Nguy cơ mực nước biển dâng sẽ làm ngập lụt tài nguyên du lịch như Đền Tô Hiến Thành, hòn Trống Mái, chùa Làng Hội, chùa Thanh Khê, Đền Ngu Ông, làng nghề truyền thống về dệt lưới ở phường Quảng Cư, Quảng Tiến [22]. Cơ sở hạ tầng du lịch của Sầm Sơn cũng bị tác động bởi biến đổi khí hậu như bờ biển bị xói mòn nghiêm trọng ở Quảng Cư, Quảng Tiến.

Bài báo này đánh giá mức độ ảnh hưởng của hoạt động du lịch do tác động của biến đổi khí hậu khu vực TP Sầm Sơn. Viễn thám được sử dụng để xác định xói lở bờ biển trong 3 giai đoạn, từ 1989-2001; 2001-2013 đến giai đoạn 2013-2022. Bên cạnh đó, hệ số biến thiên được sử dụng để xác định độ biến thiên của các yếu tố nhiệt độ và lượng mưa. Để không gian hóa các yếu tố biến đổi khí hậu, bài báo sử dụng GIS nhằm biểu diễn sự phân bố của nhiệt độ và lượng mưa theo cấp xã/phường. Cuối cùng, mô hình AHP được sử dụng để tính toán trọng số của các yếu tố khí hậu ảnh hưởng đến hoạt động du lịch của TP Sầm Sơn.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

TP Sầm Sơn nằm ở phía Đông của tỉnh Thanh Hoá, cách khoảng 13km về phía Tây Bắc so với trung tâm TP Thanh Hoá (Hình 1). Bờ biển của TP Sầm Sơn dài 15.3 km, thích hợp cho du lịch biển, có các bãi tắm A, B, C và D. Bên cạnh đó, TP Sầm Sơn còn có địa danh nổi tiếng là núi Trường Lệ với các di tích lịch sử như đền Độc Cước, hòn Trống Mái đã trở thành địa điểm hấp dẫn đối với khách du lịch. Nhờ có lợi thế về tài nguyên du lịch như điều kiện tự nhiên và di tích lịch sử, văn hóa mà trong nhiều năm qua ngành du lịch Sầm Sơn phát triển vượt bậc, giúp cho thành phố ven biển trở thành trung tâm kinh tế động lực của tỉnh Thanh Hóa [23].



Hình 1. Vị trí khu vực TP Sầm Sơn, tỉnh Thanh Hóa.

Bên cạnh những thuận lợi trong phát triển du lịch, TP Sầm Sơn cũng chịu tác động mạnh mẽ do biến đổi khí hậu. Những biểu hiện của biến đổi khí hậu có tác động rõ nét nhất lên hoạt động du lịch của TP Sầm Sơn, bao gồm: biến đổi nhiệt độ, biến đổi lượng mưa và biến động đường bờ biển.

2.2. Dữ liệu thu thập

Bài báo sử dụng các dữ liệu bao gồm: ảnh vệ tinh Landsat được sử dụng để xác định biến động đường bờ biển và số liệu thống kê về nhiệt độ, lượng mưa trung bình năm từ năm 1961 đến năm 2022 nhằm đánh giá hệ số biến thiên nhiệt độ và lượng mưa (Bảng 2).

Dữ liệu vệ tinh Landsat các năm 1989, 2001, 2013 và 2022 được tải về từ trang web của USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Ảnh vệ tinh có hệ quy chiếu UTM, múi 48N và sử dụng hệ tọa độ WGS 84. Bảng 1 dưới đây là thông tin cụ thể của ảnh vệ tinh sử dụng trong bài báo này:

Bảng 1. Ảnh Landsat (L8 - Landsat 8; L5 - Landsat 5 TM).

Bộ cảm	Ngày chụp	Các kênh phổ	Mức thủy triều (m)
L8	17/10/2022	1,2,3,4,5,6,7,8	3,21
L8	27/12/2013	1,2,3,4,5,6,7	3,01
L5	29/09/2001	1,2,3,4,5,6,7	2,61
L5	23/11/1989	1,2,3,4,5,6,7	2,5

Bảng 2. Bảng số liệu biến thiên các yếu tố nhiệt độ và lượng mưa TP Sầm Sơn [24].

Các yếu tố khí hậu	Khu vực núi Trường Lệ		khu vực đồng bằng ven biển Sầm Sơn	
	Độ lệch chuẩn	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị trung bình
Sự biến đổi nhiệt độ không khí trung bình năm	0,6965	23,5055	0,6965	23,9047
Sự thay đổi nhiệt độ tối cao TB năm	1,07726	37,9584	1,07726	38,3984
Sự thay đổi nhiệt độ tối thấp trung bình năm	1,6456	8,7213	1,6456	8,9613
Sự thay đổi lượng mưa trung bình năm	459,3976	1685,3799	431,6914	1602,7455

2.3. Xác định các yếu tố BĐKH ảnh hưởng đến hoạt động du lịch TP Sầm Sơn

Ngành du lịch của Sầm Sơn đang tìm cách ứng phó với những thách thức của BĐKH như sự gia tăng nhiệt độ, mực nước biển dâng và hiện tượng thời tiết cực đoan. Việc xác định cụ thể các yếu tố khí hậu nào phụ thuộc vào sự phân hóa về vị trí địa lý và đặc điểm địa hình của khu vực nghiên cứu. TP Sầm Sơn là một thành phố ven biển, địa hình có cả đồng bằng và đồi núi thấp. Do vậy, hiện tượng xói lở và bồi tụ là yếu tố BĐKH tất yếu có tác động đến hoạt động du lịch. Bên cạnh đó, các yếu tố về nhiệt độ và lượng mưa sẽ phân hóa theo ngưỡng độ cao địa hình và cũng làm ảnh hưởng đến hoạt động du lịch của địa phương.

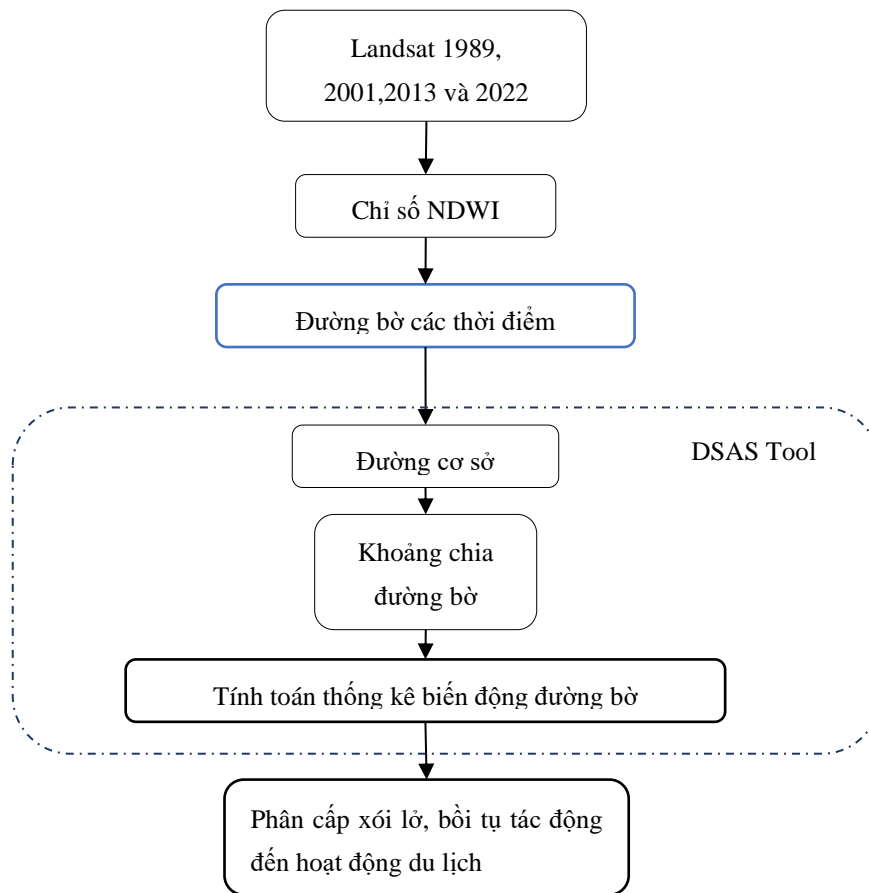
Bảng 3 sau đây là bảng các yếu tố BĐKH có tác động đến hoạt động du lịch TP Sầm Sơn.

Bảng 3. Tiêu chí đánh giá ảnh hưởng của BĐKH đến ngành du lịch ở TP Sầm Sơn.

Nhóm chỉ thị	Chỉ thị chính	Chỉ thị chi tiết	Đơn vị của các chỉ thị
Biến đổi khí hậu	Thiên tai	Tốc độ xói lở, bồi tụ đường bờ	m/năm
		Sự biến đổi của nhiệt độ không khí TB năm	°C
	Nhiệt độ	Sự thay đổi của nhiệt độ tối cao TB năm	°C
		Sự thay đổi của nhiệt độ tối thấp TB năm	°C

2.4. Xác định tốc độ xói lở, bồi tụ đường bờ

Một trong các chỉ thị của BĐKH là tốc độ xói lở và bồi tụ. Hình 2 thể hiện quy trình tổng quát trong việc xác định mức độ xói lở, bồi tụ đường bờ tại khu vực TP Sầm Sơn, tỉnh Thanh Hóa. Chỉ số NDWI được tính toán từ dữ liệu ảnh Landsat các thời điểm 1989, 2001, 2013 và 2022. Trên ảnh chỉ số NDWI thể hiện rõ sự tách biệt giữa nước với các đối tượng khác, đó là ranh giới đường bờ các thời điểm. Các đường bờ đa thời điểm được sử dụng làm đầu vào cho hệ thống phân tích đường bờ - *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* nhằm tính toán số liệu thống kê thay đổi đường bờ, cụ thể là tỷ lệ thay đổi đường bờ biển tại Sầm Sơn được phân tích bằng phương pháp tỷ lệ hồi quy tuyến tính (*LRR - Linear Regression Rate*).



Hình 2. Quy trình xác định biến động đường bờ ảnh hưởng đến hoạt động du lịch.

2.5. Xác định hệ số biến thiên và chuẩn hoá các chỉ thị về biến đổi khí hậu

Để xác định sự thay đổi các yếu tố về nhiệt độ và lượng mưa qua các năm, bài báo sử dụng hệ số biến thiên. Hệ số biến thiên được xác định theo tỉ lệ của độ lệch chuẩn (*standard deviation*) so với giá trị trung bình (*mean*). Hệ số biến thiên được cụ thể hóa theo công thức (1) sau đây:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \tag{1}$$

Trong đó σ là độ lệch chuẩn; μ là giá trị trung bình.

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

Trong đó N tổng số năm khảo sát; X_i là giá trị của thời điểm thứ i

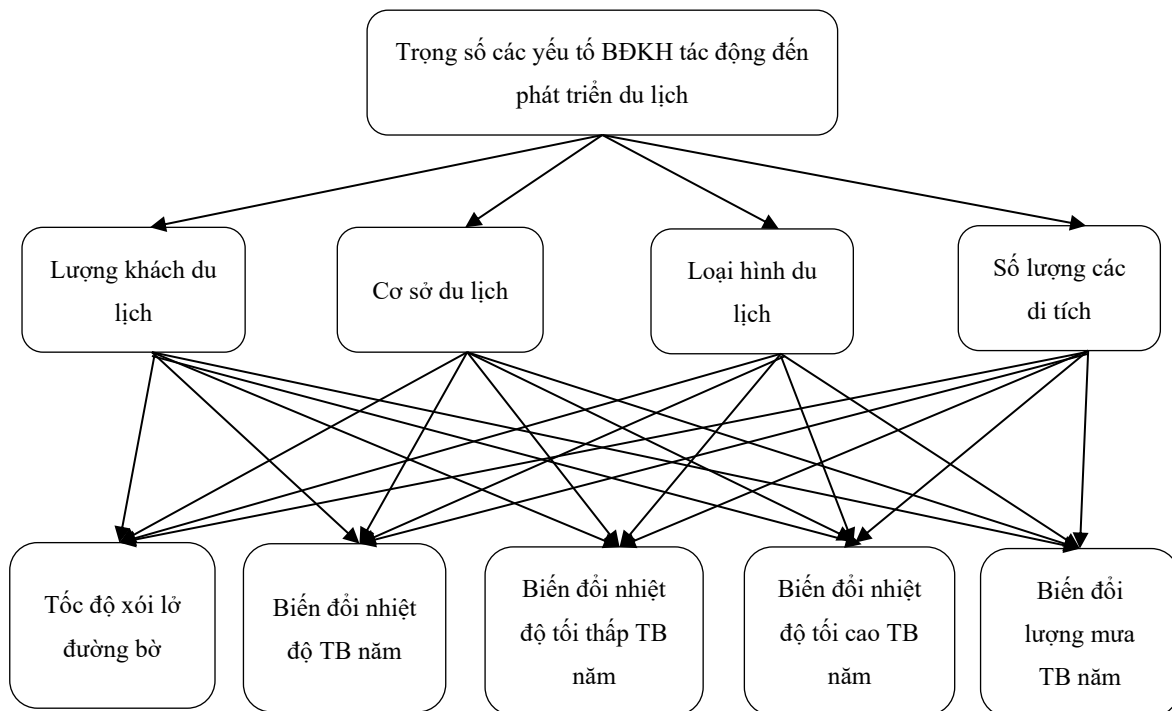
Bên cạnh đó, dữ liệu cần được chuẩn hóa với các yếu tố trên từng xã/phường. Giá trị thực của các yếu tố được chuẩn hóa cho tất cả các xã/phường theo công thức (3):

$$X_{ij} = \frac{X_{ij}(t) - \text{Min}X_{ij}}{\text{Max}X_{ij} - \text{Min}X_{ij}} \quad (3)$$

Trong đó X_{ij} là giá trị chuẩn hóa của yếu tố j tại xã/phường i ; $X_{ij}(t)$ là giá trị thực của yếu tố ij ; $\text{Min} X_{ij}$ là giá trị thực nhỏ nhất của yếu tố $ij(t)$ trong tất cả các xã/phường; $\text{Max} X_{ij}$ là giá trị thực lớn nhất của yếu tố $ij(t)$ trong tất cả các xã/phường.

2.6. Xác định trọng số các yếu tố BDKH

Việc tính trọng số các yếu tố BDKH tác động đến hoạt động du lịch là việc xác định mức độ ảnh hưởng ít hay nhiều của các yếu tố BDKH đến hoạt động du lịch. Các hoạt động du lịch trong nghiên cứu này được giới hạn với 4 yếu tố: lượng khách du lịch, cơ sở du lịch, loại hình du lịch và số lượng các di tích. Bài báo sử dụng mô hình phân cấp thứ bậc - AHP (*Analytic Hierarchy Process*) như Hình 3. Mô hình có 2 cấp độ: cấp 1 có mục tiêu là trọng số các yếu tố BDKH trong việc ảnh hưởng đối với hoạt động du lịch, cấp 2 là các tiêu chí về du lịch, và cấp 3 là các phương án về mức độ ưu tiên của yếu tố khí hậu ảnh hưởng đến du lịch



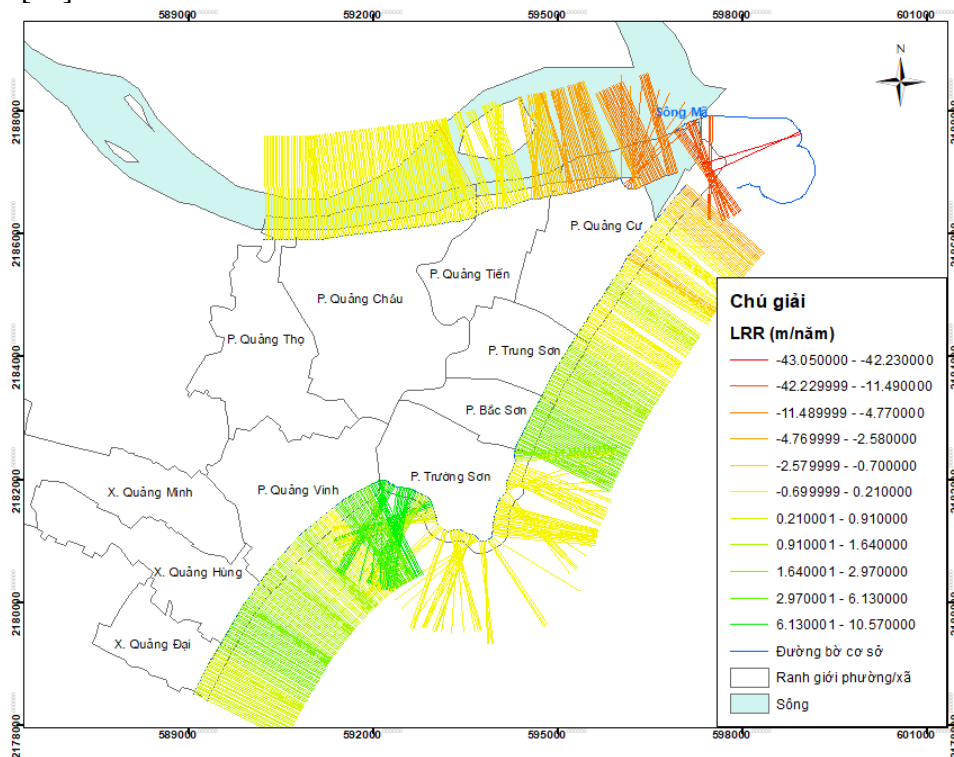
Hình 3. Mô hình phân cấp yếu tố biến đổi khí hậu ảnh hưởng đến hoạt động du lịch TP Sầm Sơn.

Mô hình AHP trong việc xác định trọng số các chỉ thị biến đổi khí hậu được thực hiện theo 3 giai đoạn: Giai đoạn 1. Xây dựng ma trận so sánh cặp. Dựa vào đánh giá mức độ ảnh hưởng hứng chịu theo BDKH, các tiêu chí du lịch được đánh giá độ quan trọng theo ma trận so sánh cặp; Giai đoạn 2. Tính toán trọng số của từng tiêu chí. Trọng số các yếu tố BDKH theo tiêu chí du lịch được tính cụ thể cho từng tiêu chí; Giai đoạn 3. Tính trọng số các yếu tố BDKH theo công thức: Trọng số = Trọng số các phương án theo tiêu chí × Trọng số của các tiêu chí.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá biến đổi khí hậu

Từ kết quả tính toán tốc độ biến động đường bờ theo tỉ lệ hồi quy tuyến tính (LRR) bằng hệ thống DSAS cho thấy bờ biển Sầm Sơn đã trải qua cả quá trình xói lở và quá trình bồi tụ (Hình 4). Tốc độ xói lở ở 521 vị trí khảo sát là từ -0,77 m/năm đến -43,05 m/năm, nơi xói lở mạnh nhất dài xấp xỉ 6 km ở khu khực phường Quảng Cư, tính từ khu vực cửa sông Mã đến đoạn đầu bãi tắm C [25]. Trong khi đó, tốc độ bồi tụ dọc theo bờ biển dao động từ 0,21 m/năm đến 10,57 m/năm. Ngoài ra, tốc độ biến động đường bờ theo tỷ lệ hồi quy tuyến tính (LRR) cho thấy các khu vực đường bờ biển ổn định và ít thay đổi tập trung ở các khu vực Trung Sơn, Quảng Vinh, Bắc Sơn, Quảng Hùng và Quảng Đại (Hình 4). Tuy nhiên, cho dù khu vực Quảng Hùng và Quảng Đại bờ biển ổn định nhưng vẫn có hiện tượng bồi tụ - xói lở theo mùa [26].



Hình 4. Tốc độ xói lở, bồi tụ theo tỉ lệ hồi quy tuyến tính (LRR).

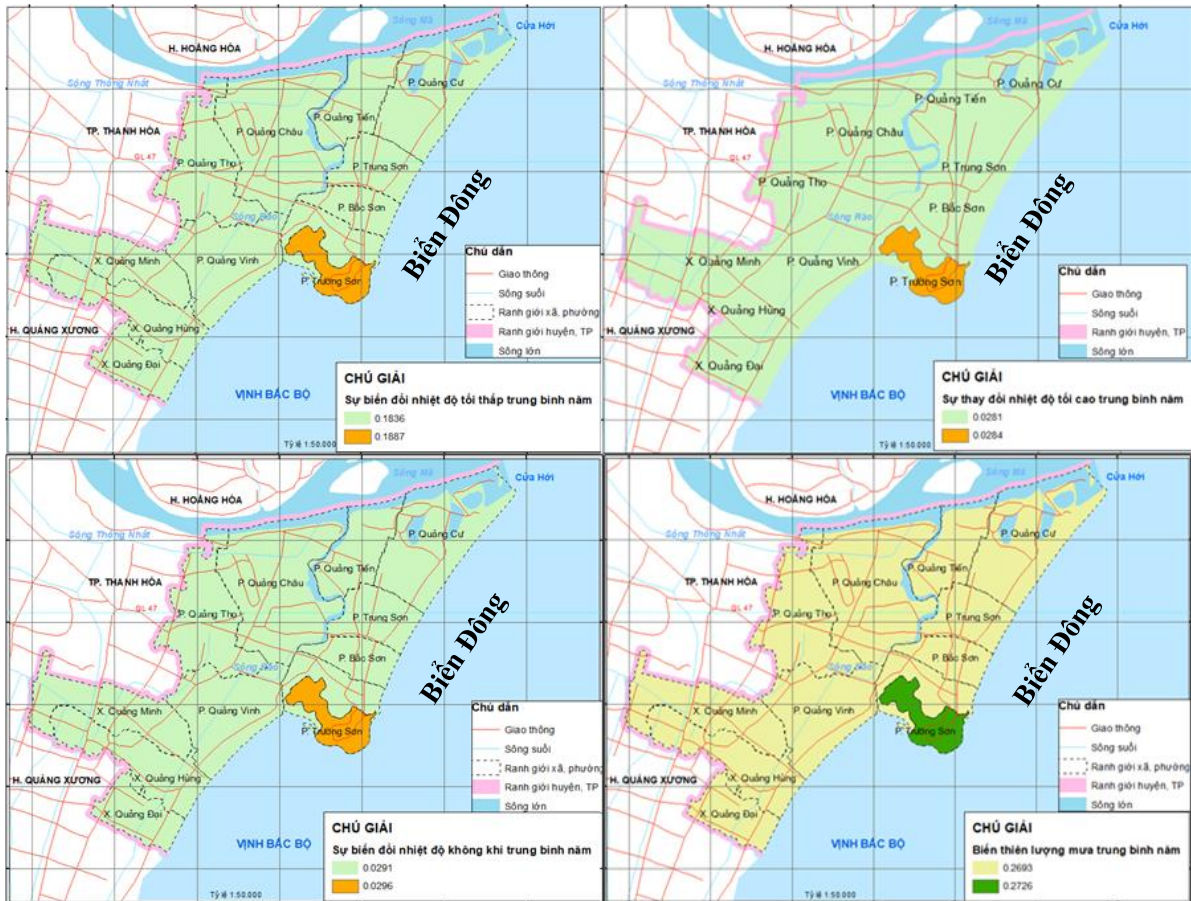
Căn cứ vào tốc độ xói lở và bồi tụ bờ biển có kết hợp với tham vấn ý kiến chuyên gia, mức độ xói lở bờ biển ảnh hưởng tới du lịch Sầm Sơn phân chia thành 3 cấp và được chuẩn hóa theo điểm số: không ảnh hưởng, ảnh hưởng trung bình và ảnh hưởng cao. (Bảng 4).

Bảng 4. Mức độ ảnh hưởng tới du lịch thành phố Sầm Sơn [24].

STT	Tên xã/phường	Tốc độ xói lở, bồi tụ (m/năm)	Mức độ ảnh hưởng tới du lịch	Điểm số
1	Phường Quảng Cư	-2,58 – -43,05	Ảnh hưởng cao	7
2	Phường Quảng Tiến	-0,07 – -2,57	Ảnh hưởng trung bình	3
3	Phường Quảng Châu	-0,07 – -2,57	Ảnh hưởng trung bình	3
4	Phường Quảng Thọ	-0,07 – -2,57	Ảnh hưởng trung bình	3
5	Phường Quảng Vinh	0,21 – 10,57	Không ảnh hưởng	0
6	Xã Quảng Minh	0,21 – 10,57	Không ảnh hưởng	0
7	Xã Quảng Hùng	0,21 – 10,57	Không ảnh hưởng	0
8	Xã Quảng Đại	0,21 – 10,57	Không ảnh hưởng	0
9	Phường Trường Sơn	-0,07 – -2,57	Ảnh hưởng trung bình	3

10	Phường Bắc Sơn	0,21 – 10,57	Không ảnh hưởng	0
11	Phường Trung Sơn	0,21 – 10,57	Không ảnh hưởng	0

Bên cạnh đó, dữ liệu biến đổi về nhiệt độ và lượng mưa của khu vực nghiên cứu được tính theo chỉ số biến thiên và được phân cấp theo tiểu vùng khí hậu, bao gồm: Khu vực núi Trường Lệ (địa phận thuộc núi Trường Lệ, tính từ nơi bắt đầu thay đổi độ cao của núi) với diện tích khoảng 170 ha và khu vực còn lại của thành phố. Hình sau đây là sự phân bố không gian của các chỉ thị biến đổi nhiệt độ và biến đổi lượng mưa tại trên địa bàn thành phố Sầm Sơn (**Error! Reference source not found.**). Trong đó, khu vực núi Trường Lệ có sự biến thiên về nhiệt độ và lượng mưa cao hơn khu vực còn lại của TP Sầm Sơn.



Hình 5. Phân bố hệ số biến thiên nhiệt độ và lượng mưa ở Sầm Sơn.

3.2. Kết quả xác định mức độ ảnh hưởng của BĐKH đến phát triển du lịch TP Sầm Sơn

Mức độ du lịch bị tổn thương do tác động của BĐKH được biểu thị bằng trọng số. Bảng 5 sau đây biểu thị trọng số của các chỉ thị BĐKH được tính bằng mô hình AHP.

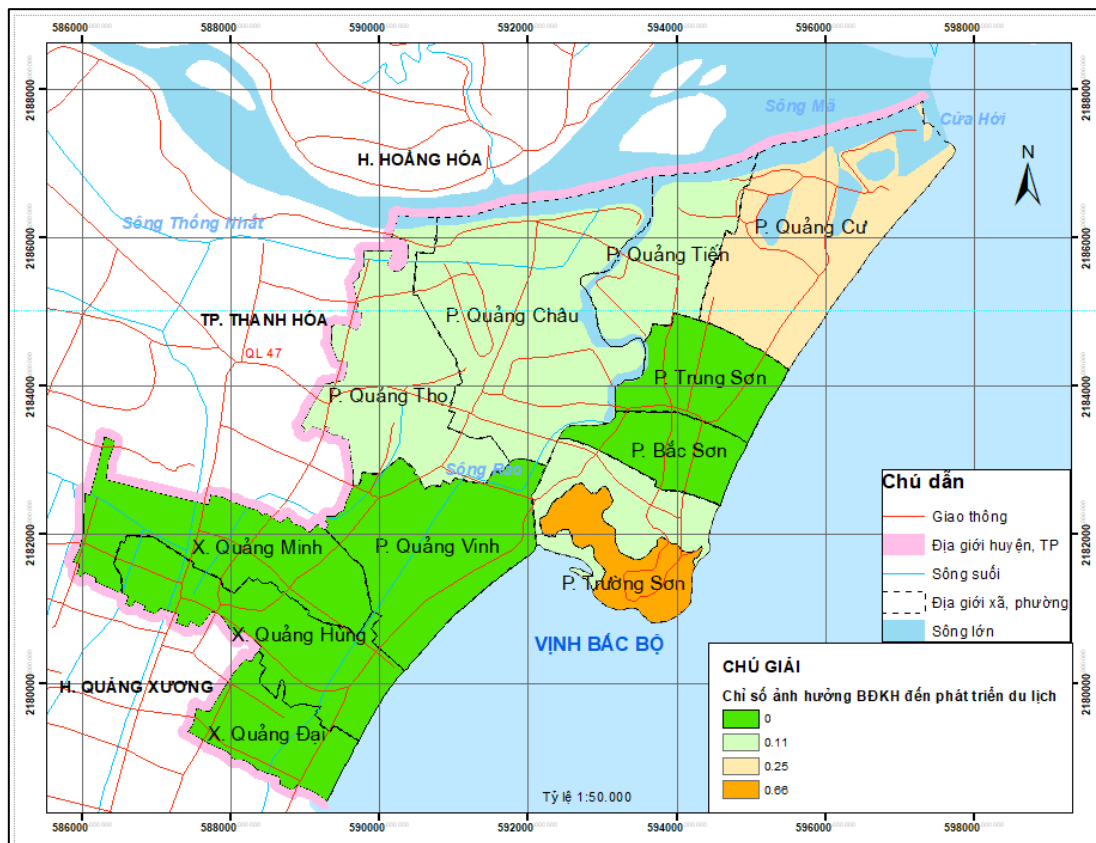
Bảng 5. Bảng trọng số các yếu tố BĐKH.

Các yếu tố biến đổi khí hậu	Trọng số
Tốc độ xói lở đường bờ	0,254
Sự biến đổi nhiệt độ không khí trung bình năm	0,096
Sự biến đổi nhiệt độ tối thấp trung bình năm	0,168
Sự biến đổi nhiệt độ tối cao trung bình năm	0,225
Sự thay đổi lượng mưa trung bình năm	0,255

Trọng số các chỉ thị BĐKH tác động đến hoạt động du lịch được không gian hóa trên từng xã/ phường như Bảng 6 và Hình 6.

Bảng 6. Kết quả tính chỉ số các chỉ thị BĐKH tác động đến hoạt động du lịch TP Sầm Sơn.

Xã/phường	Tốc độ xói lở đường bờ	Sự biến đổi nhiệt độ không khí TB năm	Sự thay đổi nhiệt độ tối cao TB năm	Sự thay đổi nhiệt độ tối thấp TB năm	Sự thay đổi lượng mưa TB năm	Chỉ số mức độ ảnh hưởng của BĐKH đến du lịch
Trọng số	0,255	0,096	0,17	0,23	0,26	
Phường Bắc Sơn	0	0	0	0	0	0
Phường Trường Sơn	KV núi					
	Trường Lê	0	0,10	1	1	0,66
	KV còn lại	0,428	0	0	0	0,11
Phường Trung Sơn	0	0	0	0	0	0
Phường Quảng Tiến	0,428	0	0	0	0	0,11
Phường Quảng Cư	1	0	0	0	0	0,25
Phường Quảng Thọ	0,428	0	0	0	0	0,11
Phường Quảng Châu	0,428	0	0	0	0	0,11
Xã Quảng Minh	0	0	0	0	0	0
Phường Quảng Vinh	0	0	0	0	0	0
Xã Quảng Hùng	0	0	0	0	0	0
Xã Quảng Đại	0	0	0	0	0	0



Hình 6. Bản đồ chỉ số mức độ ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến phát triển du lịch TP Sầm Sơn.

Hình 6 và Bảng 6 chỉ ra rằng hoạt động du lịch của Sầm Sơn chịu ảnh hưởng bởi BĐKH với các chỉ số khác nhau ở các xã/phường. Dựa vào tổng quan một số tài liệu [27, 28] và kết hợp với điều kiện thực tế của khu vực nghiên cứu, chỉ số mức độ tác động của BĐKH đối với du lịch được phân thành 3 cấp, cụ thể: 1) Mức độ ngành du lịch bị ảnh hưởng thấp bởi

BĐKH, chỉ số có giá trị từ 0,0-0,24; 2) Ngành du lịch chịu ảnh hưởng ở mức trung bình do BĐKH thì chỉ số trong khoảng 0,25-0,70; 3) Hoạt động ngành du lịch bị tác động do BĐKH ở mức cao, chỉ số có giá trị trong khoảng 0,71-1,0 (Bảng 7).

Bảng 7. Mức độ ảnh hưởng của các chỉ thị BĐKH đến ngành du lịch TP Sầm Sơn, tỉnh Thanh Hóa.

Xã/phường	Chỉ số mức tác động của BĐKH đến hoạt động du lịch	Mức độ ngành du lịch bị ảnh hưởng bởi BĐKH
Phường Bắc Sơn	0.00	Thấp
KV núi Trường Lệ		
Phường Trường Sơn	0.66	Trung bình
KV còn lại		
Phường Trung Sơn	0.00	Thấp
Phường Quảng Tiến	0.11	Thấp
Phường Quảng Cư	0.25	Trung bình
Phường Quảng Thọ	0.11	Thấp
Phường Quảng Châu	0.11	Thấp
Xã Quảng Minh	0.00	Thấp
Phường Quảng Vinh	0.00	Thấp
Xã Quảng Hùng	0.00	Thấp
Xã Quảng Đại	0.00	Thấp

Bảng 7 chỉ ra rằng TP Sầm Sơn có chỉ số mức độ tác động của BĐKH đến hoạt động du lịch TP Sầm Sơn nằm trong khoảng từ 0-0.66, tương ứng với mức độ ảnh hưởng từ thấp đến trung bình. Cụ thể, biến đổi khí hậu ảnh hưởng trực tiếp đến tài nguyên du lịch 20%; đến cơ sở hạ tầng du lịch 30%; đến hạ tầng kỹ thuật du lịch 15% và ảnh hưởng đến các khía cạnh còn lại khác của hoạt động du lịch là 35% [22].

Mức độ ảnh hưởng của BĐKH đến hoạt động du lịch ở mức thấp là chủ yếu với chỉ số có giá trị từ 0-0,25, phân bố ở 9/11 xã/ phường. Khu vực này có một số xã nằm trong đất liền và một số xã nằm sát biển nhưng bờ biển khá ổn định, địa hình không có sự thay đổi về độ cao nên ít có sự thay đổi về nhiệt độ trung bình năm, nhiệt độ tối cao, nhiệt tối thiểu và lượng mưa trung bình trong một năm.

Ngành du lịch chịu tác động do BĐKH ở mức trung bình, chỉ số có giá trị từ 0,26-0,66. Khu vực này phân bố tại khu vực núi Trường Lệ và địa phận phường Quảng Cư. Phường Quảng Cư cách trung tâm TP Sầm Sơn 4km về phía Bắc, thuộc hữu ngạn sông Mã, nơi cửa sông đổ ra biển. Do tác động tổng hợp của nhiều yếu tố, bao gồm: vận động kiến tạo hiện đại, sự ảnh hưởng của thủy triều, sóng biển và hệ thống hồ đập chứa nước ở thượng nguồn làm cho lòng Sông Mã bị xói lở mạnh.

Bên cạnh đó, khu vực núi Trường Lệ lại chịu tác động bởi sự thay lượng mưa và biến đổi nhiệt độ trung bình năm. Khu vực núi Trường Lệ, hay còn gọi là Dãy núi Trường Lệ, có diện tích khoảng 1,7 km² và có độ cao trung bình xấp xỉ 50 m. Đỉnh cao nhất của dãy núi đạt 76m, chạy theo hướng Tây Bắc-Đông Nam, nằm gần bờ biển. Cấu tạo của núi Trường Lệ chủ yếu là đá hoa cương. Trong mùa hè, khu vực này nhận gió Đông nam trực tiếp từ biển, điều này làm tăng cường sức gió và lượng mưa, đặc biệt là vào mùa mưa bão. Ngược lại, vào mùa đông, sườn đông nam của núi bị khuất gió Đông bắc, dẫn đến nhiệt độ cao hơn và ít mưa phùn hơn. Điều này tạo ra sự BĐKH đặc biệt trong khu vực, làm cho mùa hè và mùa đông có điều kiện thời tiết khác nhau.

4. Kết luận

Hoạt động du lịch của TP Sầm Sơn có mức độ ảnh hưởng từ thấp đến trung bình do BĐKH. Trong bối cảnh Việt Nam là một trong những nước chịu tác động mạnh mẽ ro BĐKH và mực nước biển dâng, việc nghiên cứu hoạt động du lịch biển trước tác động BĐKH của TP Sầm Sơn là quan trọng và cần thiết.

Kết quả bài báo này chỉ ra viễn thám và mô hình AHP là phương pháp hữu hiệu trong việc xác định một yếu tố BĐKH (xói lở, bồi tụ) và trọng số ảnh hưởng của BĐKH đến hoạt động du lịch tại TP Sầm Sơn, từ đó góp phần trợ giúp các nhà hoạch định chính sách đưa ra biện pháp phát triển du lịch biển bền vững tại khu vực nghiên cứu nói riêng và du lịch biển Việt Nam nói chung.

Bên cạnh kết quả đạt được, bài báo vẫn còn hạn chế về việc thiếu số liệu chỉ thị về mức độ ngập úng do mưa bão. Do vậy, việc thu thập đầy đủ số liệu về các chỉ thị BĐKH ở cấp độ nghiên cứu là Thành phố trong đánh giá tổn thương tổng hợp của du lịch là định hướng cần được xem xét nhằm quy hoạch phát triển du lịch bền vững ở TP Sầm Sơn.

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

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. Scott, D.; Gössling, S.; Hall, C.M. International tourism and climate change. *WIREs Clim. Change* **2012**, *3*(3), 213–232.
2. UNWTO-OMT-IOHBTO, UNEP, and WMO. Climate Change and Tourism: Responding to Global Challenges, 2008, 1–20.
3. Thắng, N.V. Biến đổi khí hậu và tác động ở Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2011.
4. Ngọc, N.T.; Hà, N.T.T. Biến đổi khí hậu và tác động tới hoạt động khai thác du lịch biển, đảo tại khu vực Bắc Bộ. *Khoa học xã hội Việt Nam* **2022**, *9*(177), 68–79.
5. Moreno, A.; Amelung, B. Climate change and coastal & marine tourism: Review and analysis. *J. Coastal Res.* **2009**, *56*, 1140–1144.
6. Student, J.; Kramer, M.R.; Steinmann, P. Simulating emerging coastal tourism vulnerabilities: an agent-based modelling approach. *Ann. Tourism. Res.* **2020**, 85.
7. Rosyidie, A.; Adriyani, Y.; Suwanto, T. The influence of climate factors on tourism visits in pangandaran coastal tourism area. *ASEAN J. Hospitality. Tourism* **2009**, *9*, 87–100.
8. Neth, A.; Mika, J. Climate as a risk factor for tourism. *AGD Landscape. Environ.* **2009**, *3*(2), 113–125.
9. Siddiqui, S.; Imran, M. Impact of Climate Change on Tourism. Environmental Impacts of Tourism in Developing Nations. 2019, 68–83.
10. Klik, A.; Eitzinger, J. Impact of climate change on soil erosion and the efficiency of soil conservation practices in Austria. *J. Agric. Sci.* **2010**, *148*(5), 529–541.
11. Sayers, P.; Walsh, C.; Dawson, R. Climate impacts on flood and coastal erosion infrastructure. *Infrastruct. Asset Manage.* **2015**, *2*(2), 69–83.
12. Coelho, C.; Lima, M.; Alves, F.M.; Roebeling, P.; Pais-Barbosa, J.; Marto, M. Assessing Coastal Erosion and Climate Change Adaptation Measures: A Novel Participatory Approach. *Environments* **2023**, *10*, 110. <https://doi.org/10.3390/environments10070110>.
13. Becken, S. The importance of climate and weather for tourism. Literature review, L.e.a. people, Editor. 2010.

14. Ngxong, N.A. The impact of climate change on visitor destination selection: A case study of the Central Drakensberg Region in KwaZulu-Natal. *J. Disaster Risk Stud.* **2021**, 13(1), 1–10.
15. Fauzel, S. The impact of changes in temperature and precipitation on tourists arrival: An ARDL analysis for the case of a SIDS. *Current Issues Tourism* **2019**, 23(19), 2353–2359.
16. Dung, L.K.; Pham, T.L. Shoreline changes and their impacts on tourism: a case study of Sam Son City, Thanh Hoa Province, Vietnam. *Eur. Geogr. Stud.* **2022**, 9(1), 12–20.
17. Friedrich, J.; Stahl, J.; Hoogendoorn, G.; Fitchett, J.M. Exploring climate change threats to beach tourism destinations: Application of the hazard–activity pairs methodology to South Africa. *Weather Clim. Soc.* **2020**, 12(3), 529–544.
18. Arabadzhyan, A.; Figini, P.; García, C.; González, M.M.; Lam-González, Y.E.; León, C.J. Climate change, coastal tourism, and impact chains - A literature review. *Current Issues Tourism.* **2020**, 24(16), 2233–2268.
19. Naik, S. Sustainable Coastal Tourism Development – A Geoinformatics Approach. *J. Res. Bus. Manage.* **2022**, 10(9), 224–231.
20. An, T.T.; et al. GIS-based Assessment of Coastal Tourism Vulnerability to Climate Change - Case Study in Danang City, Vietnam. Proceeding of the 42nd Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2021). Can Tho University, Can Tho city, Vietnam, 2021.
21. Marzouk, M.; Attia, K.; Azab, S. Assessment of coastal vulnerability to climate change impacts using gis and remote sensing: A case study of Al-Alamein New City. *J. Cleaner Prod.* **2021**, 290, 125723.
22. XN, H. Sam Son Marine Tourism Adaptation to Climate Change. *J. Econ. Bus. Stud.* **2019**, 2(2), 1–6.
23. Duc, T.N.; Thuc, N.T.; Mai, H. Ecotourism in Thanh Hoa, Vietnam. *Int. Educ. Res. J.* **2021**, 7(8), 26–31.
24. Dung, L.K. Đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến phát triển du lịch thành phố Sầm Sơn, tỉnh Thanh Hóa bằng công nghệ GIS. ĐH Hồng Đức. Mã số: B2021.HDU.04.TT. 2023:
25. Hùng, L.M.; Cường, H.V. Phân tích diễn biến sạt lở và xác định nguyên nhân gây biến động hình thái bờ biển Sầm Sơn, tỉnh Thanh Hóa. *Tap chí Khoa học và công nghệ Thủy Lợi* **2013**, 16, 119–126.
26. Trung, L.H.; Anh, N.Q.Đ.; Duy, N.T. *Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2023**, 85, 108–115.
27. Mùi, T.T. Đánh giá mức độ tổn thương ngành du lịch do tác động của biến đổi khí hậu tại tỉnh Nghệ An, in Khoa các Khoa học liên ngành. ĐH Quốc gia Hà Nội, 2017.
28. Bizikova, L.; et al. Vulnerability and Climate Change Impact Assessments for Adaptation, in an integrated environmental assessment and reporting training manual, I.T. Manual, Editor. 2009, IPCC.

Application of remote sensing and AHP to assess the impact of climate change on coastal tourism in Sam Son, Thanh Hoa province

Pham Thi Lan¹, Le Kim Dung^{2*}

¹ Hanoi University of Mining and Geology; phamthilan@humg.edu.vn

² Hong Duc University; lekimdung@hdu.edu.vn

Abstract: Vietnam's tourism is an economic sector directly or indirectly impacted to climate change because tourism activities are developed based on natural and social resources. Changes in temperature, rainfall, and coastal dynamics alter the choice of tourist destinations, causing damage to tourism infrastructure and affecting the existence or disappearance of certain types of tourism. The study investigating the effects of climate change on tourism at Sam Son beach provides essential insights for formulating adaptive strategies specific to Sam Son and, more broadly, for coastal tourism in Vietnam, considering the escalating influence of climate change. This paper utilizes satellite imagery to assess erosion and deposition of shoreline in Sam Son. Climate change indicators, such as shoreline erosion rates, temperature variations, and rainfall changes, are spatially analyzed at the commune and ward levels. Additionally, the paper employs the Analytic Hierarchy Process (AHP) model to determine the influence weights of climate change on tourism activities in the research area. The results indicate that climate change moderately influences tourism activities in Sam Son, with the factors most affecting being the average annual rainfall change (0.255), shoreline erosion (0.254), and the least affected being the average annual air temperature (0.09). The moderate impact level applies to Truong Son Ward and Quang Cu Ward, while the remaining communes/wards experience low impact from climate change on tourism activities.

Keywords: Climate change; Tourism; Remote sensing; AHP model; Sam Son.

Bài báo khoa học

Phân tích biến đổi địa hình đáy biển ven bờ khu vực cửa Tiên Châu, tỉnh Phú Yên sử dụng ảnh Sentinel-2

Đỗ Xuân Tình^{1*}, Trần Thanh Tùng², Trần Đăng Hùng³

¹ Viện Đào tạo và Khoa học ứng dụng miền Trung; tinhdx@tlu.edu.vn

² Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy Lợi; t.t.tung@tlu.edu.vn

³ Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; danghung2261991@gmail.com

*Tác giả liên hệ: tinhdx@tlu.edu.vn; Tel.: +84-982124650

Ban Biên tập nhận bài: 10/11/2023; Ngày phản biện xong: 25/12/2023; Ngày đăng bài: 25/4/2024

Tóm tắt: Theo dõi, giám sát biến đổi địa hình đáy biển ven bờ vùng cửa sông là bước quan trọng giúp phân tích, đánh giá quy luật biến đổi hình thái vùng cửa sông. Khảo sát địa hình đáy biển bằng phương pháp truyền thống sử dụng kỹ thuật đo sâu hồi âm thường có chi phí cao và tốn thời gian. Ảnh viễn thám đa phổ với lợi thế về chi phí và tầm bao phủ rộng đã được sử dụng khá phổ biến trong thời gian gần đây để ước tính độ sâu ở vùng ven bờ do nguồn dữ liệu ảnh viễn thám ngày càng phong phú và có độ phân giải tốt. Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng ảnh vệ tinh đa phổ Sentinel-2 và dữ liệu khảo sát địa hình đáy biển tháng 6/2019 để xây dựng phương trình tương quan ước tính độ sâu cho khu vực cửa Tiên Châu, tỉnh Phú Yên. Phương trình tương quan có độ chính xác khá tốt (hệ số tương quan $R^2 = 0,7$) đã được sử dụng để giải đoán địa hình đáy biển ven bờ cửa Tiên Châu trong giai đoạn từ 2016 đến 2022. Các kết quả phân tích diễn biến của doi cát và cồn ngầm ở khu vực cửa Tiên Châu trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc và gió mùa Tây Nam, từ 2016 đến 2022 sẽ là cơ sở phục vụ đề xuất các giải pháp chính trị cửa Tiên Châu trong tương lai.

Từ khóa: Cửa Tiên Châu; Đáy biển ven bờ; Diễn biến hình thái; Ảnh vệ tinh đa phổ; Sentinel-2.

1. Mở đầu

Khả năng theo dõi và xác định độ sâu đáy biển vùng ven bờ một cách đáng tin cậy theo thời gian là rất quan trọng đối với nhiều ứng dụng bao gồm quản lý và phát triển vùng ven biển, giám sát và giảm thiểu rủi ro ven biển, nghiên cứu khoa học ven biển, cùng nhiều ứng dụng khác [1, 2]. Các phép đo độ sâu tại chỗ truyền thống bằng hồi âm và đo khoảng cách ánh sáng (LiDAR) rất tốn thời gian và có chi phí cao [3].

Gần đây, các công cụ viễn thám gần đã được sử dụng khá phổ biến để thu thập các loại dữ liệu khác nhau cho phép giám sát các khu vực ven biển [4, 5]. Những công cụ này khác nhau về tần số thời gian và phạm vi không gian. Máy quay video đặt trên bờ hoặc gắn trên máy bay không người lái thường xuyên cung cấp hình ảnh có độ phân giải cao tuy nhiên phạm vi phủ sóng hạn chế về mặt không gian [6-8]. Mặt khác, các vệ tinh như chòm vệ tinh Sentinel-2 của Cơ quan Vũ trụ Châu Âu (ESA) cung cấp hình ảnh có độ phân giải trung bình (10 m) với phạm vi phủ sóng toàn cầu với độ phân giải thời gian tương đối cao (5 ngày một lần với Sentinel-2) [9, 10]. Những sản phẩm vệ tinh viễn thám này đã được chứng minh là nguồn tài nguyên quý giá trong nhiều nghiên cứu và ứng dụng khoa học ven biển. Ví dụ, có rất nhiều nghiên cứu về việc sử dụng dữ liệu màu đại dương để định lượng các thông số chất lượng nước [11-13]. Các phương pháp sử dụng hình ảnh vệ tinh để ước tính độ sâu của

nước có thể được chia thành hai loại dựa trên hiện tượng mục tiêu được nghiên cứu. Cụ thể là ảnh hưởng của phép đo độ sâu đến sự truyền và phân tán sóng bề mặt (động học sóng), cũng như mối quan hệ giữa độ sâu của nước với sự xuyên thấu và phản xạ ánh sáng trong nước (màu nước). Các phương pháp dựa trên sự truyền bức xạ của ánh sáng trong nước dưới dạng hàm của độ sâu và bước sóng (tức là các phương pháp dựa trên màu sắc) có thể được sử dụng để ước tính độ sâu ở vùng nước nông về mặt quang học [14–19]. Các phương pháp như vậy rất nhạy cảm với các đặc tính quang học của nước biển và thường được giới hạn ở vùng nước trong và không đục [20]. Các phương pháp khác dựa trên động học sóng trích xuất các đặc điểm sóng từ ảnh vệ tinh như độ lệch pha sóng và số sóng để ước tính độ sâu bằng cách sử dụng hệ thức phân tán tuyến tính [21]. Cả hai phương pháp đều mang lại những lợi ích khác nhau. Các phương pháp dựa trên sự truyền bức xạ của ánh sáng trong nước sẽ chính xác hơn ở vùng nước nông (độ sâu lên tới 15 m) và có thể phát hiện các đặc điểm đo độ sâu ở quy mô nhỏ hơn, với sai số tuyệt đối là 10-20% giá trị mục tiêu, và RMSE trung bình là 1,5 m [22–24]. Mặt khác, các phương pháp tiếp cận dựa trên động học sóng được điều chỉnh trước dựa trên khả năng quan sát được các mẫu sóng trong hình ảnh đầu vào, tuy nhiên, phạm vi độ sâu có thể phát hiện của chúng lớn hơn đáng kể so với phạm vi thông thường của các phương pháp dựa trên màu sắc [17] nhưng có độ chính xác kém hơn khi áp dụng. Trên toàn cầu (RMSE trong khoảng 6-9 m [17]). Nhiệm vụ xây dựng hàm ước lượng độ sâu áp dụng cho dữ liệu vệ tinh là không hề đơn giản và vẫn là một chủ đề nghiên cứu đang được tiến hành do tiềm năng to lớn mà nó mang lại trong việc giám sát hình thái động lực học ven biển ở quy mô lớn với chi phí thấp.

Tại Việt Nam, những nghiên cứu về ứng dụng viễn thám trong giải đoán địa hình đáy biển còn khá mới mẻ, gần đây có nghiên cứu [25] ứng dụng ảnh vệ tinh Sentinel 2 trong giải đoán địa hình đáy biển của Nhật Lệ, Quảng Bình. Kết quả nghiên cứu đã xây dựng thành công mô hình tương quan giữa dữ liệu độ sâu đo thực tế và chỉ số độ sâu $y = 63,102x - 53,898$ có hệ số tương quan $RMSE = 0,75$ cho cửa Nhật Lệ.

Trong những năm gần đây, hiện tượng bồi lấp tại cửa Tiên Châu, tỉnh Phú Yên đã đang gây ảnh hưởng lớn tới phát triển kinh tế xã hội trong khu vực. Nhằm phân tích, xác định được quy luật, diễn biến bồi cát và cồn ngầm để từ đó đưa ra được các giải pháp chỉnh trị ở cửa Tiên Châu trong tương lai cho các nhà quản lý, tác giả đã lựa chọn đây là khu vực nghiên cứu. Trong nghiên cứu này tác giả dựa trên sự truyền bức xạ của ánh sáng trong nước để ước tính độ sâu cho khu vực cửa Tiên Châu tỉnh Phú Yên do đặc trưng khu vực này là vùng nước nông, có độ đục nhỏ.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu thu thập

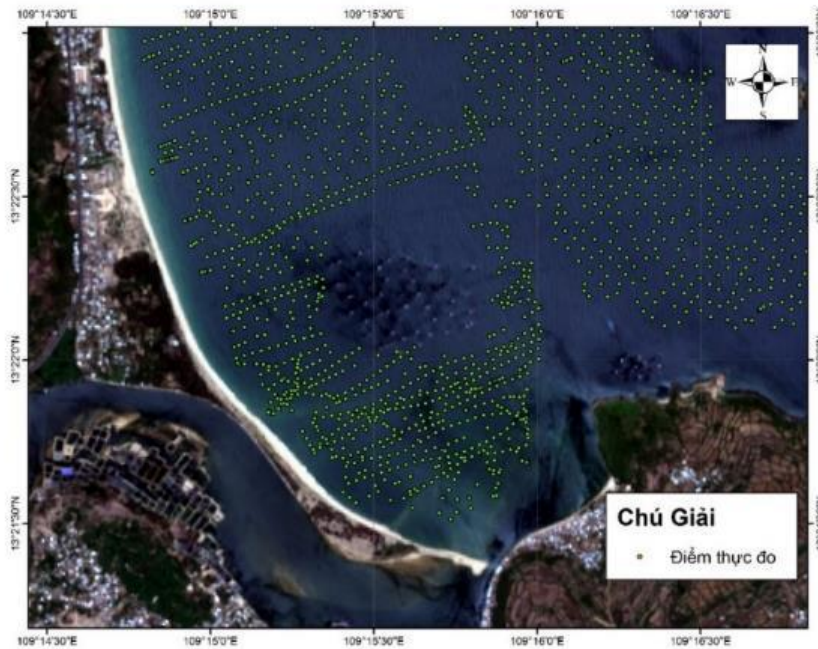
2.1. Phạm vi và không gian nghiên cứu

Vùng nghiên cứu là cửa Tiên Châu, cửa của sông Kỳ Lộ đổ ra biển tại xã An Ninh Đông, huyện Tuy An, tỉnh Phú Yên, có tọa độ địa lý: 13,36°N; 109,26°E. Phía Bắc tiếp giáp vịnh Xuân Đài, phía Nam tiếp giáp xã An Ninh Đông, phía Tây là sông Kỳ Lộ và Quốc lộ 1A, phía Đông tiếp giáp với Biển Đông và núi Ông Ngõn. Trước cửa có doi cát chắn ngang chạy dài từ Bắc xuống Nam đến sát chân núi Ông Ngõn. Phía ngoài doi cát có cồn ngầm Ba Dạt, là nơi có địa hình đáy biển nông, hàng năm thường xuất hiện dải cát trôi trên mặt nước từ đuôi doi cát kéo dài ra Biển. Cảng cá Tiên Châu và khu neo đậu tàu thuyền lạch Vạn Cui nằm trong cửa Tiên Châu, hàng ngày có hàng trăm tàu thuyền công suất lên đến 800 CV qua lại khu vực cửa biển này. Vì thế, khu vực cửa Tiên Châu và vịnh Xuân Đài là nguồn lợi lớn cho huyện Tuy An và thị xã Sông Cầu nhờ vào các hoạt động đánh bắt, nuôi trồng thủy hải sản và du lịch. Những năm trở lại đây, cửa Tiên Châu xảy ra hiện tượng bồi lấp, chiều rộng cửa bị thu hẹp một cách đáng kể, có thời điểm cửa sông thu hẹp chỉ còn rộng khoảng 20-30 m, với độ sâu nước 1,5-2,5 m, gây ảnh hưởng lớn tới các hoạt động đánh bắt cá, ra vào tàu thuyền và tránh bão.

2.2. Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu

2.2.1. Số liệu độ sâu đáy biển thực đo

Kế thừa số liệu của đề tài độc lập cấp quốc gia “Nghiên cứu các giải pháp chính trị chống sa bồi luồng tàu cho các cảng cá và khu neo đậu tàu thuyền tỉnh Phú Yên và vùng lân cận, áp dụng cho cửa Tiên Châu” nghiên cứu đã tiến hành thu thập các số liệu thực đo vào tháng 6/2019 theo như hình 1 để phục vụ xây dựng phương trình tương quan phân bố độ sâu của khu vực. Nghiên cứu chỉ lựa chọn các điểm khảo sát ngoài cửa biển, các điểm trong trong sông hoặc vùng cửa sông sẽ không được lựa chọn do ở đó có độ đục cao làm ảnh hưởng tới kết quả mô phỏng tính toán.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu và các điểm khảo sát địa hình đáy biển tháng 6/2019.

2.2.2. Số liệu ảnh vệ tinh

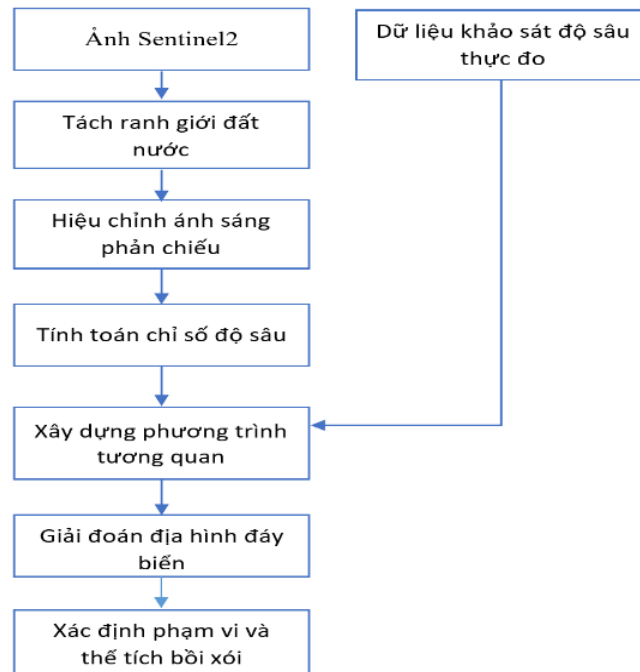
Để phục vụ đánh giá biến động địa hình đáy cho khu vực cửa Tiên Châu giai đoạn 2016-2021 với mỗi năm, trong mỗi mùa gió Tây Nam (tháng 4 đến tháng 8), Đông Bắc (tháng 9 đến tháng 3) nhóm tiến hành lựa chọn và thu thập 1 cảnh ảnh với độ che phủ mây là thấp nhất. Kết quả thu thập cho các cảnh ảnh Sentinel 2 được thống kê chi tiết ở bảng 1. Lí do lựa chọn ảnh Sentinel 2 để nghiên cứu do hiện nay đây là nguồn ảnh miễn phí có độ phân giải không gian (10 m) và thời gian tốt nhất (5 ngày) trong các nguồn ảnh quang học.

Bảng 1. Tổng hợp ảnh thu thập để đánh giá địa hình đáy khu vực Cửa Tiên Châu.

TT	Thời gian chụp	Loại ảnh	Độ phân giải	TT	Thời gian chụp	Loại ảnh	Độ phân giải
1	13/04/2016	Sentinel 2	10m	8	17/07/2019	Sentinel 2	10m
2	31/08/2016	Sentinel 2	10m	9	13/03/2020	Sentinel 2	10m
3	09/03/2017	Sentinel 2	10m	10	24/09/2020	Sentinel 2	10m
4	10/10/2017	Sentinel 2	10m	11	11/02/2021	Sentinel 2	10m
5	04/03/2018	Sentinel 2	10m	12	26/06/2021	Sentinel 2	10m
6	25/09/2018	Sentinel 2	10m	13	12/01/2022	Sentinel 2	10m
7	04/03/2019	Sentinel 2	10m				

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Hình 3 trình bày quy trình giải đoán địa hình đáy biển ven bờ bằng ảnh vệ tinh dựa trên ảnh Sentinel 2. Bài báo tập trung tiến hành xây dựng phương trình tương quan mô phỏng lại diễn biến địa hình đáy biển dựa trên dữ liệu đo thực địa và ảnh vệ tinh vào ngày 2/6/2019, sau đó sẽ tiến hành áp dụng mô hình toán đó cho các thời điểm còn lại.



Hình 2. Quy trình giải đoán địa hình đáy biển ven bờ bằng ảnh vệ tinh.

a) Tách đất và nước

Để tách được đất với nước, sử dụng chỉ số NDWI (*Normal Difference Water Index*) với công thức:

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)} \quad (1)$$

b) Hiệu chỉnh tác động của ánh sáng phản chiếu (*Sun-glint Correction*)

Nghiên cứu áp dụng phương pháp hiệu chỉnh [26] mô tả mối quan hệ tuyến tính giữa NIR với các kênh khả kiến dựa trên phương trình hồi quy của các pixels ảnh.

$$R'_i = R_i - b_i (RNIR - MinNIR) \quad (2)$$

c) Tính toán chỉ số về độ sâu (*Empirical Bathymetry*)

Nghiên cứu sẽ ứng dụng công thức được xây dựng bởi Stumpf (2003) [27] dựa trên nguyên lý mỗi kênh phổ sẽ có mức hấp thụ đối với nước khác nhau. Tỷ số này thay đổi khi độ sâu thực tế thay đổi.

Công thức ước tính độ sâu thực tế theo Stumpf:

$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0 \quad (3)$$

d) Xây dựng phương trình tương quan giữa chỉ số độ sâu và dữ liệu đo đạc

Sau khi tính toán được chỉ số về độ sâu tiến hành xây dựng phương trình tương quan giữa giá trị chỉ số độ sâu và độ sâu thực đo để ước tính giá trị địa hình đáy biển. Ứng dụng phương trình này để tính toán địa hình đáy biển cho vịnh cửa Tiên Châu các thời điểm khác nhau.

e) Xác định phạm vi và thể tích bồi xói

Xác định phạm vi và thể tích bồi xói giữa 2 giai đoạn bằng cách chồng chập 2 bình đồ địa hình đáy biển giải đoán từ ảnh vệ tinh của giai đoạn sau lên giai đoạn trước. Ở đây cần thiết phải đảm bảo 2 bình đồ ảnh (raster) phải cùng 1 phạm vi và độ phân giải để tính toán chính xác tới từng pixel của ảnh.

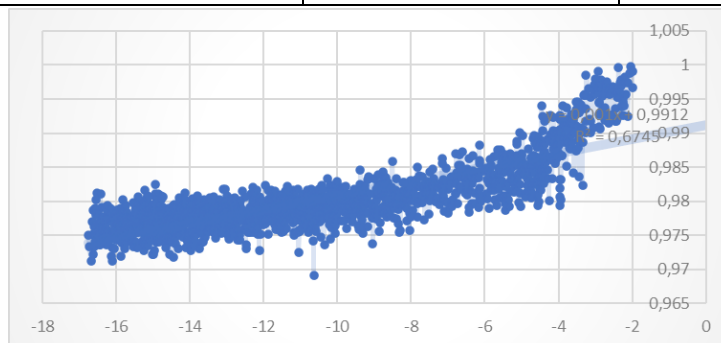
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả giải đoán địa hình đáy biển ven bờ và tính toán thể tích bồi/xói

Một vài kết quả tiền xử lý, hiệu chỉnh ánh sáng phản chiếu cho các ảnh được thu thập được thống kê tại Bảng 2. Dựa vào chỉ số độ sâu cho cảnh ảnh ngày 02/06/2019 với số liệu độ sâu thực đo vào tháng 6 năm 2019 ta thu được phương trình tương quan khá tốt với giá trị $R^2 = 0,7$. Phương trình này sẽ được ứng dụng tính toán cho các cảnh ảnh còn lại.

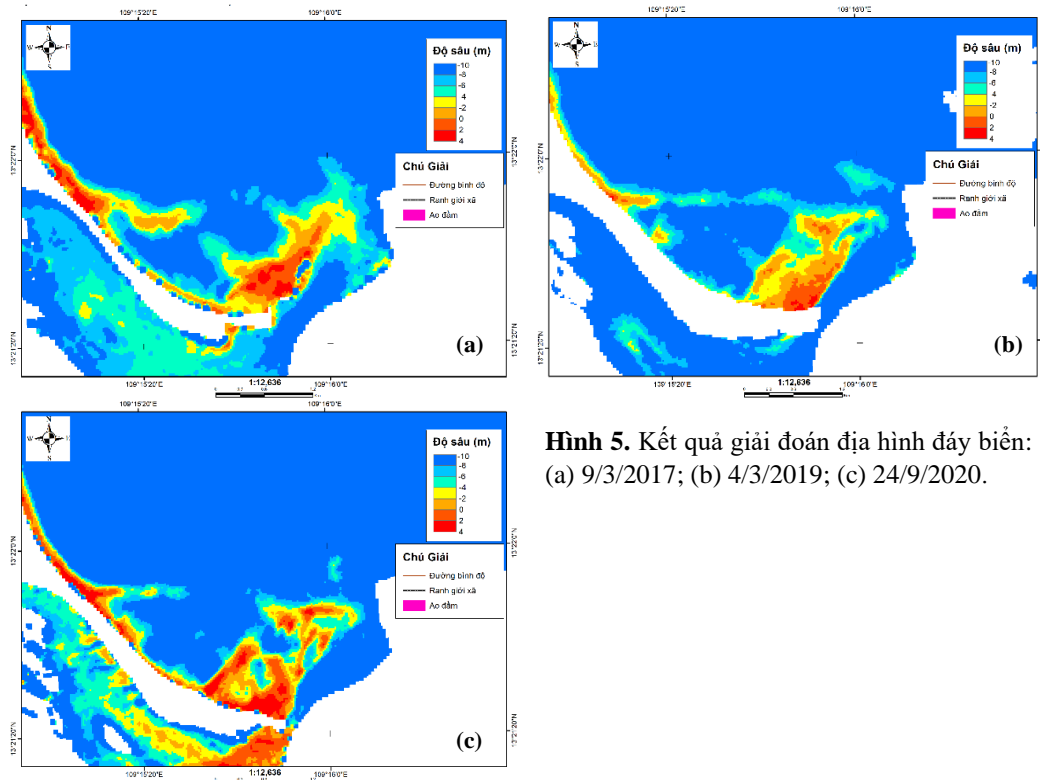
Bảng 2. Kết quả hiệu chỉnh ánh sáng phản chiếu, tính toán chỉ số độ sâu.

Cảnh ảnh	Ảnh gốc	Sau hiệu chỉnh	Chỉ số độ sâu
09/03/2017			
04/03/2019			
24/09/2020			



Hình 4. Phương trình tương quan giữa độ sâu thực đo và chỉ số độ sâu cho khu vực cửa Tiên Châu.

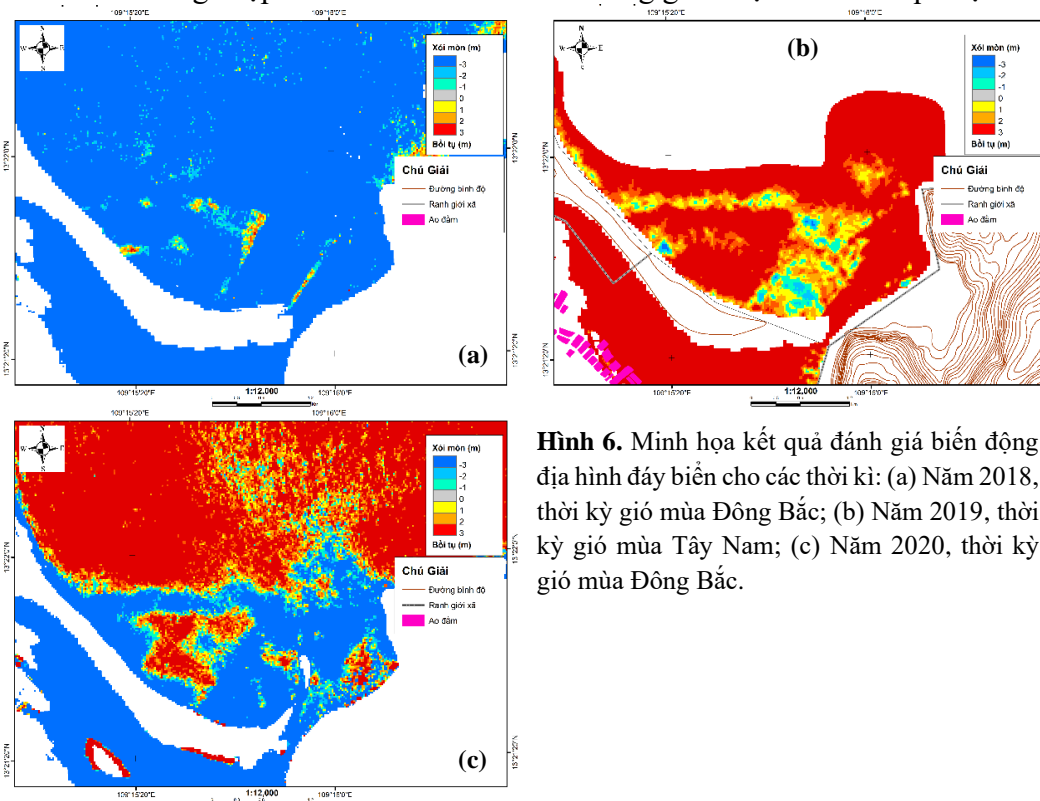
Sử dụng phương trình tương quan thu được $y = 652,76x - 650,43$ ta giải đoán được địa hình đáy biển ven bờ cho các cảnh ảnh còn lại, một vài kết quả tổng hợp được thể hiện ở Hình 5.



Hình 5. Kết quả giải đoán địa hình đáy biển: (a) 9/3/2017; (b) 4/3/2019; (c) 24/9/2020.

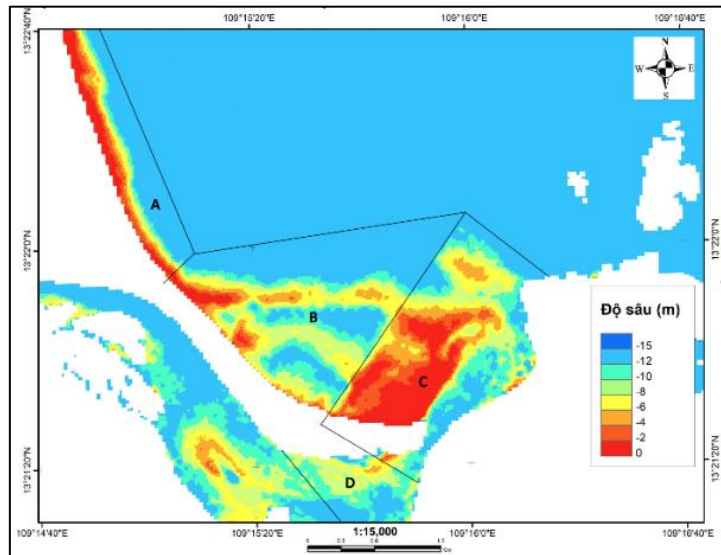
3.2. Đánh giá biến động địa hình đáy biển ven bờ theo mùa

Tiến hành chồng chập và tính toán bồi xói cho từng giai đoạn ta có kết quả tại Hình 6.



Hình 6. Minh họa kết quả đánh giá biến động địa hình đáy biển cho các thời kì: (a) Năm 2018, thời kỳ gió mùa Đông Bắc; (b) Năm 2019, thời kỳ gió mùa Tây Nam; (c) Năm 2020, thời kỳ gió mùa Đông Bắc.

Căn cứ vào đặc điểm hình thái, yếu tố tác động và diễn biến của các cồn ngầm trong thời kỳ nhiều năm, nghiên cứu chia khu vực nghiên cứu thành 04 vùng (hình 7).



Hình 7. Phân vùng biến động cửa Tiên Châu.

Trong đó:

Vùng A: Nằm ở trên cùng phía Bắc. Vùng này đặc trưng cho vùng ven biển trong vịnh Xuân Đài, ở phía Bắc cửa Tiên Châu. Biến động vùng này hoàn toàn chỉ chịu ảnh hưởng bởi yếu tố động lực biển mà không bị ảnh hưởng bởi yếu tố động lực sông, đồng thời cũng cơ bản không chịu ảnh hưởng bởi mỏm núi Ông Ngõn (phía Đông Nam cửa Tiên Châu).

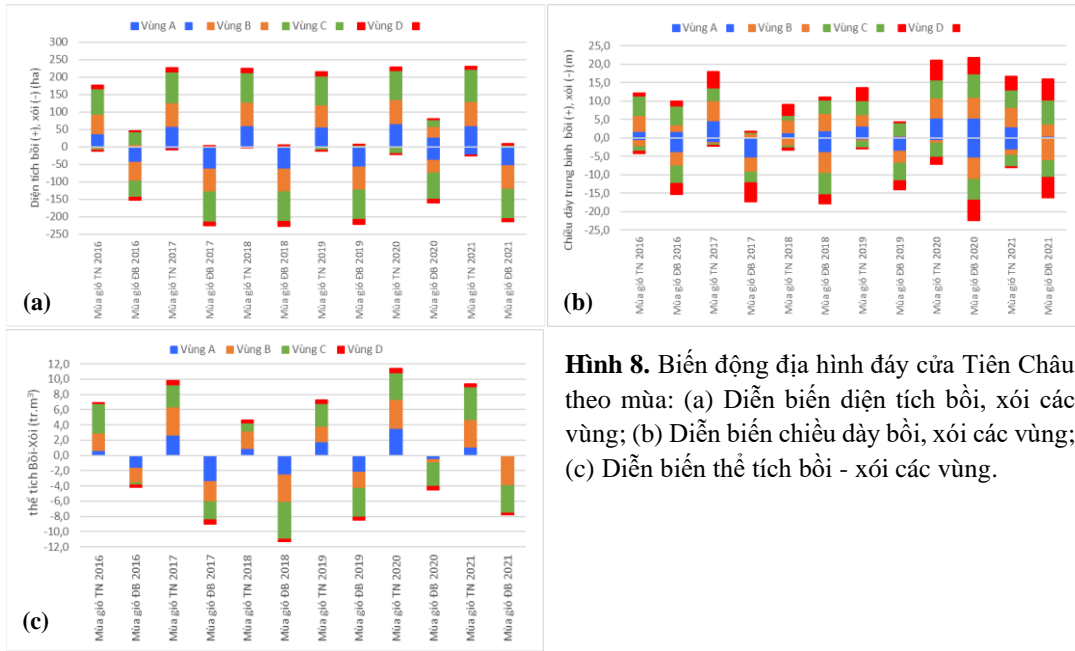
Vùng B: Tiếp theo vùng A về phía Nam. Vùng này là vùng đệm chuyển tiếp bùn cát giữa bãi biển phía bắc với cồn ngầm Ba Dạt nằm ở phía Bắc cửa Tiên Châu. Vùng này đặc trưng cho hệ thống cồn ngầm liên tục biến đổi bởi các yếu tố động lực sóng và được che chắn 1 phần bởi mũi đá Ông Ngõn. Biến động vùng này cơ bản chỉ chịu ảnh hưởng bởi yếu tố động lực biển mà ít bị ảnh hưởng bởi yếu tố động lực sông.

Vùng C: Tiếp theo vùng B về phía Nam. Vùng này bao gồm 1 cồn ngầm dạng bãi triều (tên địa phương là cồn Ba Dạt) nằm ở phía Nam và cửa sông Kỳ Lộ ra tới mũi đá Ông Ngõn. Vùng này đặc trưng cho vùng cửa biển nằm trong vịnh nửa hở, chịu sự tác động đồng thời bởi cả các yếu tố động lực biển và các yếu tố động lực sông.

Vùng D: Tiếp theo vùng C về phía trong sông. Vùng này nơi sông Kỳ Lộ đổ ra biển. Vùng này đặc trưng cho vùng cửa trong sông, tiếp giáp với biển. Biến động vùng này hoàn toàn chịu ảnh hưởng bởi yếu tố động lực sông và tác động của dòng triều, ít chịu ảnh hưởng bởi yếu tố động lực biển do đã được che chắn bởi cồn ngầm Ba Dạt và mũi đá Ông Ngõn.

Bảng 3. Biến động địa hình đáy cửa Tiên Châu theo mùa.

Mùa	Lượng bùn cát bồi, xói (triệu m ³)							
	Vùng A		Vùng B		Vùng C		Vùng D	
	W _{bồi}	W _{xói}	W _{bồi}	W _{xói}	W _{bồi}	W _{xói}	W _{bồi}	W _{xói}
Mùa gió TN 2016	0,68	0,00	2,36	-0,10	3,89	-0,05	0,08	0,00
Mùa gió ĐB 2016	0,05	-1,80	0,09	-1,99	1,81	-2,11	0,03	-0,24
Mùa gió TN 2017	2,77	-0,07	3,65	0,00	2,97	0,00	0,52	0,00
Mùa gió ĐB 2017	0,00	-3,49	0,01	-2,61	0,00	-2,36	0,00	-0,56
Mùa gió TN 2018	0,90	0,00	2,28	0,00	1,10	0,00	0,33	0,00
Mùa gió ĐB 2018	0,02	-2,61	0,06	-3,62	0,07	-4,92	0,00	-0,30
Mùa gió TN 2019	1,79	-0,01	2,03	-0,01	3,11	-0,11	0,41	0,00
Mùa gió ĐB 2019	0,00	-2,21	0,00	-2,12	0,17	-4,00	0,00	-0,30
Mùa gió TN 2020	3,58	-0,02	3,81	-0,01	4,09	-0,55	0,52	-0,04
Mùa gió ĐB 2020	1,52	-2,11	1,77	-2,21	1,22	-4,22	0,02	-0,51
Mùa gió TN 2021	1,92	-0,80	3,57	0,00	4,37	0,00	0,29	0,00
Mùa gió ĐB 2021	0,00	-0,25	0,03	-3,82	0,27	-3,87	0,27	-0,40



Hình 8. Biến động địa hình đáy cửa Tiên Châu theo mùa: (a) Diễn biến diện tích bồi, xói các vùng; (b) Diễn biến chiều dày bồi, xói các vùng; (c) Diễn biến thể tích bồi - xói các vùng.

Từ phân vùng biến động cửa Tiên Châu nêu trên và bản đồ giải đoán biến động địa hình đáy biển, xác định được diện tích và thể tích biến động địa hình đáy cửa từng vùng ở Bảng 3 và vẽ được biểu đồ Hình 8, từ đó có những đánh giá sau.

- Diễn biến diện tích bồi, xói các vùng cho thấy: Vùng C (cồn Ba Dạt) có diện tích bồi, xói lớn nhất, tiếp theo là các vùng B (vùng chuyển tiếp từ bãi biển tới cồn Ba Dạt), vùng A và vùng D (bên trong cửa sông) có diện tích bồi, xói nhỏ nhất.

- Diễn biến chiều dày trung bình bồi, xói các vùng cho thấy: Chiều dày bồi trung bình giữa các vùng là khá tương đồng. Vùng A là chiều dày nằm trong khoảng $-5,6m \div +5,5m$; vùng B có chiều dày bồi/xói nằm trong khoảng $-5,8m \div +5,6m$, trung bình năm khoảng $+0,4m$. Vùng C là chiều dày bồi/xói nằm trong khoảng $-5,7m \div +6,5m$, trung bình năm khoảng $+0,4m$ và vùng D có chiều dày nằm trong khoảng $-5,5m \div +5,5m$, trung bình năm là $+0,2m$.

- Diễn biến thể tích bồi - xói các vùng cho thấy: Vùng C có thể tích biến động bồi - xói lớn nhất, giá trị nằm trong khoảng $-4,9 \div 4,4 \text{ tr.m}^3$. Tiếp theo là Vùng B có thể tích biến động bồi - xói lớn thứ hai, giá trị nằm trong khoảng $-3,8 \div 3,8 \text{ tr.m}^3$. Tiếp theo là Vùng A có thể tích biến động bồi - xói lớn thứ ba, giá trị nằm trong khoảng $-3,5 \div 3,6 \text{ tr.m}^3$. Cuối cùng là Vùng D có thể tích biến động bồi - xói nhỏ nhất, chỉ khoảng $-0,6 \div 0,5 \text{ tr.m}^3$.

Biến động thể tích bồi - xói trung bình năm của vùng B và vùng C, thời kỳ từ 2016 tới 2022 đều có giá trị dương, cho thấy vùng B và C luôn được bồi tụ theo thời gian. Trong đó vùng C đóng vai trò là nơi tích tụ, lưu trữ và phân phối bùn cát cho toàn bộ khu vực cửa Tiên Châu, còn vùng B là nơi chuyển tiếp bùn cát từ cồn Ba Dạt (vùng C) tới bãi biển phía bắc (vùng A) và ngược lại. So với vùng B và C, biến động bồi xói trung bình năm của vùng A và D không lớn. Điều này cho thấy diễn biến bồi xói trung bình năm ở 2 vùng này là khá cân bằng.

Diễn biến bồi/xói của toàn bộ khu vực cửa Tiên Châu:

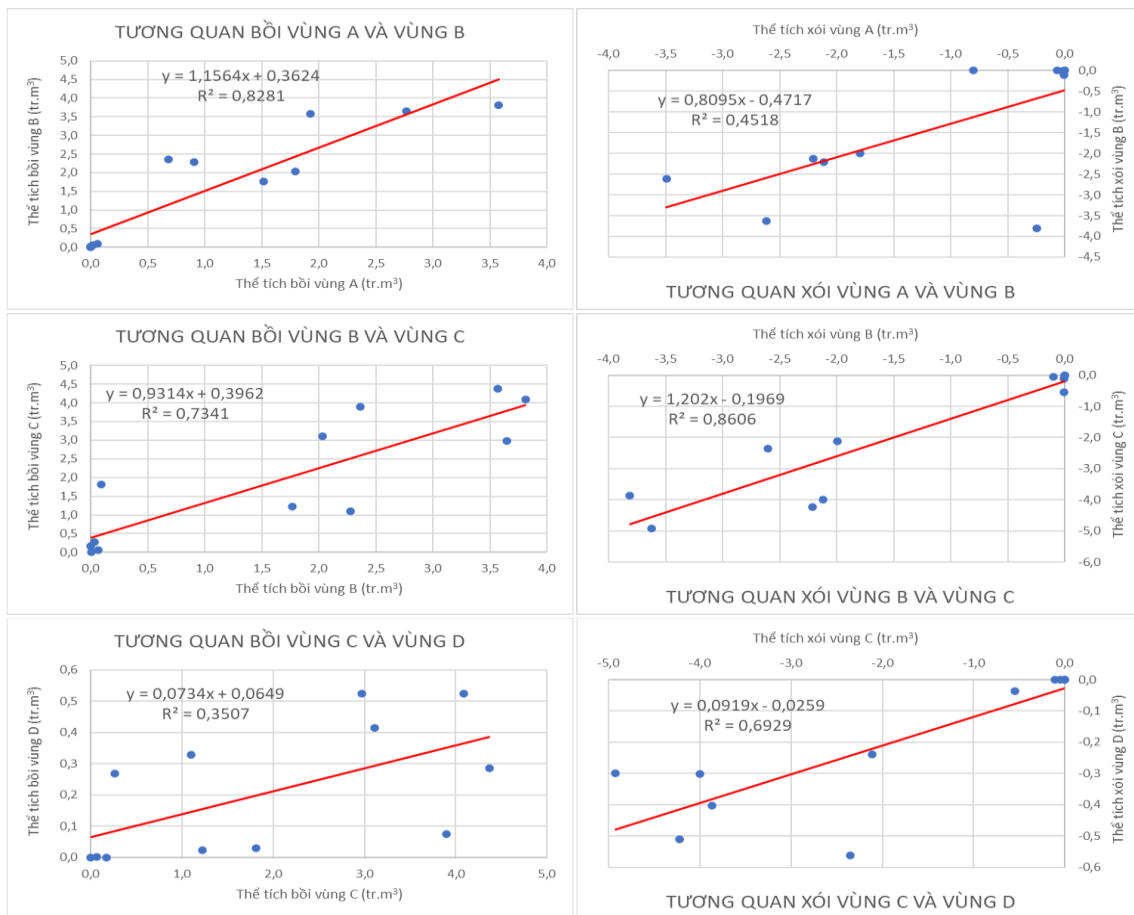
Phân tích biến động bồi/xói của toàn bộ khu vực cửa Tiên Châu theo mùa cho thấy, vào mùa gió Tây Nam (mùa TN) xu thế chủ đạo của toàn vùng là bồi tụ với diện tích bồi trung bình mùa khoảng 217ha (chiếm 69% diện tích toàn vùng); diện tích xói trung bình mùa là 12,1 ha (chiếm 4%); Thể tích bồi trung bình mùa là 8,51 triệu m³ và thể tích xói trung bình mùa là 0,3 triệu m³.

Vào thời kỳ gió mùa Đông Bắc (mùa ĐB) diễn biến chủ yếu là xói với diện tích xói trung bình mùa là khoảng 200 ha (chiếm 63%); diện tích bồi trung bình mùa là 24,2 ha (chiếm 8%);

Thể tích xói trung bình mùa là -8,77 triệu m³; thể tích bồi trung bình mùa là 1,23 triệu m³.

3.2. Phân tích tương quan thể tích bồi/xói giữa các vùng theo mùa

Từ số liệu ở bảng 3, tương quan thể tích bồi, xói giữa các vùng A,B,C và D đã được xây dựng để đánh giá mối liên hệ về lượng bùn cát trao đổi, luân chuyển giữa các vùng (Hình 9). Với 6 cặp tương quan được xây dựng cho các nhóm vùng, thì chỉ có tương quan thể tích bồi giữa vùng A với vùng B, giữa vùng B với vùng C và tương quan thể tích xói giữa vùng B với vùng C là có hệ số tương quan khá tốt (trên 0,7). Các cặp tương quan còn lại đều có hệ số tương quan kém. Kết quả phân tích tương quan bồi/xói giữa các vùng cho thấy có mối liên hệ khá chặt chẽ của lượng bùn cát luân chuyển từ vùng A, tới vùng B và tới vùng C vào mùa gió Tây Nam (giai đoạn bồi tụ) và lượng bùn cát luân chuyển từ vùng B đến vùng C vào mùa gió Đông Bắc (giai đoạn xói lở). Trong đó, vùng B đóng vai trò là vùng đệm, trao đổi bùn cát giữa bãi biển phía bắc cửa Tiên Châu (vùng A) với vùng cồn Ba Dạt (cùng C) và ngược lại.



Hình 9. Tương quan thể tích bồi, xói giữa các vùng cửa Tiên Châu.

4. Kết luận và kiến nghị

Trong nghiên cứu này, tác giả đã đề xuất phương pháp giải đoán độ sâu địa hình đáy biển ven bờ từ dữ liệu viễn thám là ảnh Sentinel 2 và xây dựng thành công phương trình tương quan $y = 652,76x - 650,43$ với $R^2 = 0,7$ để giải đoán địa hình đáy biển ven bờ cho cửa Tiên Châu từ chỉ số độ sâu và dữ liệu thực đo.

Kết quả đánh giá biến động địa hình đáy biển ven bờ cửa Tiên Châu cho thấy trong giai đoạn từ năm 2016-2021 vào mùa gió Tây Nam địa hình có xu thế bồi là chủ yếu với diện tích bồi trung bình là 217ha, mùa gió Đông Bắc có xu thế xói là chủ yếu với diện tích xói trung bình là 200 ha.

Biến động thể tích bồi - xói trung bình năm của vùng B và vùng C, thời kỳ từ 2016 tới 2022 đều có giá trị dương, cho thấy vùng B và C luôn được bồi tụ theo thời gian. Trong đó

vùng C đóng vai trò là nơi tích tụ, lưu trữ và phân phối bùn cát cho toàn bộ khu vực cửa Tiên Châu, còn vùng B là nơi chuyển tiếp bùn cát từ cồn Ba Dạt (vùng C) tới bãi biển phía bắc (vùng A) và ngược lại. So với vùng B và C, biến động bồi xói trung bình năm của vùng A và D không lớn. Điều này cho thấy diễn biến bồi xói trung bình năm ở 2 vùng này là khá cân bằng.

Kết quả phân tích tương quan bồi/xói giữa các vùng cho thấy có mối liên hệ khá chặt chẽ của lượng bùn cát luân chuyển từ vùng A, tới vùng B và tới vùng C vào mùa gió Tây Nam (giai đoạn bồi tụ) và lượng bùn cát luân chuyển từ vùng B đến vùng C vào mùa gió Đông Bắc (giai đoạn xói lở). Trong đó, vùng B đóng vai trò là vùng đệm, trao đổi bùn cát giữa bãi biển phía bắc cửa Tiên Châu (vùng A) với vùng cồn Ba Dạt (vùng C) và ngược lại.

Hạn chế của nghiên cứu là mới chỉ sử dụng phương pháp viễn thám để đánh giá bồi xói, phân tích biến động bồi xói mà chưa tính được tới được các yếu tố khác như chế độ dòng chảy, thủy triều. Nghiên cứu kiến nghị kết hợp cùng với phương pháp mô hình để có thể đánh giá chi tiết hơn, chính xác hơn cho các nghiên cứu sau này.

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

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

Tài liệu tham khảo

1. Cesbron, G.; Melet, A.; Almar, L. Pan-European satellite-derived coastal bathymetry—review, user needs and future services. *Front. Mar. Sci.* **2021**, *8*, 1591.
2. Jagalingam, P.; Akshaya, B.J.; Hegde, A.V. Bathymetry mapping using Landsat 8 satellite imagery. *Procedia Eng.* **2015**, *116*, 560–566.
3. Gonçalves, G.; Santos, S.J. Monitoring local shoreline changes by integrating UASs, Airborne LiDAR, historical images and orthophotos. Proceedings of the 5th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management GISTAM, Crete, Greece, 3–5 May 2019.
4. Benveniste, J.; Cazenave, A.; Vignudelli, S.; Fenoglio-Marc, L.; Shah, R.; Almar, R.; Andersen, O.; Birol, F.; Bonnefond, P.; Bouffard, J.; Calafat, F.; Cardellach, E.; Cipollini, P.; Le Cozannet, G.; Dufau, C.; Fernandes, M.J.; Frappart, F.; Garrison, J.; Gommenginger, C.; Han, G.; Høyer, J.L.; Kourafalou, V.; Leuliette, E.; Li, Z.; Loisel, H.; Madsen, K.S.; Marcos, M.; Melet, A.; Meyssignac, B.; Pascual, A.; Passaro, M.; Ribó, S.; Scharroo, R.; Song, Y.T.; Speich, S.; Wilkin, J.; Woodworth, P.; Wöppelmann, G. Requirements for a coastal hazards observing system. *Front. Mar. Sci.* **2019**, *6*, 348. Doi: 10.3389/fmars.2019.00348.
5. Holman, R.; Plant, N.; Holland, T. cBathy: A robust algorithm for estimating nearshore bathymetry. *J. Geophys. Res. Oceans* **2013**, *118*, 2595–2609.
6. Almar, R.; Bonneton, P.D. Wave celerity from video imaging: A new method. Coastal Engineering 2008: (In 5 Volumes), World Scientific: Hackensack, NJ, USA, 2009, pp. 661–673.
7. Bergsma, E.W.J.; Almar, R.; de Almeida, L.P.M.; Sall, M. On the operational use of UAVs for video-derived bathymetry. *Coast. Eng.* **2019**, *152*, 103527.
8. Melet, C.; Conversi, A.; Benveniste, J.; Almar, R. Earth observations for monitoring marine coastal hazards and their drivers. *Surv. Geophys.* **2020**, *41*, 1489–1534.

9. Drusch, M.; Gascon, F.; Hoersch, B.; Isola, C.; Laberinti, P.; Martimort, P.; et al. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sens. Environ.* **2012**, *120*, 25–36.
10. Bergsma, R. Coastal coverage of ESA' Sentinel 2 mission. *Adv. Space Res.* **2020**, *65*, 2636–2644.
11. Liu, Y.J. Quantification of shallow water quality parameters by means of remote sensing. *Prog. Phys. Geogr.* **2003**, *27*, 24–43.
12. Erena, M.; Domínguez, F.; Soria, J.; García-Galiano, S. Monitoring coastal lagoon water quality through remote sensing: The Mar Menor as a case study. *Water* **2019**, *11*, 1468.
13. Brando, V.; Dekk, A. Satellite hyperspectral remote sensing for estimating estuarine and coastal water quality. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **2003**, *41*, 1378–1387.
14. Lyzenga, D.R. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. *Appl. Opt.* **1978**, *17*, 379–383.
15. Caballero, I.; Stumpf, R. Retrieval of nearshore bathymetry from Sentinel-2A and 2B satellites in South Florida. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **2019**, *226*, 106277.
16. Sagawa, T.; Yamanokuchi, T. Satellite derived bathymetry using machine learning and multi-temporal satellite images. *Remote Sens.* **2019**, *11*, 1155.
17. Evagorou, K.; Hadjimitsis, D. Bathymetric maps from multi-temporal analysis of Sentinel-2 data: The case study of Limassol, Cyprus. *Adv. Geosci.* **2019**, *45*, 397–407.
18. Giardino, C.; Candiani, G.; Bresciani, M.; Lee, Z.; Gagliano, S.; Pepe, M. BOMBER: A tool for estimating water quality and bottom properties from remote sensing images. *Comput. Geosci.* **2012**, *45*, 313–318.
19. Legleiter, C.J.; Roberts, D.A.; Lawrence, R.L. Spectrally based remote sensing of river bathymetry. *Earth Surf. Process. Landforms* **2009**, *34*, 1039–1059.
20. Almar, R.; Baba, M.W.; Cesbron, G.; Daly, C.; Garlan, T.; Lifermann, A. global satellite-based coastal bathymetry from waves. *Remote Sens.* **2021**, *13*, 4628.
21. Pacheco, A.; Horta, J.; Loureiro, C.; Ferreira, Ó. Retrieval of nearshore bathymetry from Landsat 8 images: A tool for coastal monitoring in shallow waters. *Remote Sens. Environ.* **2015**, *159*, 102–116.
22. Bergsma, A.; Binet, R.; Brodie, K.L.; Bak, A.S. Coastal morphology from space: A showcase of monitoring the topography-bathymetry continuum. *Remote Sens. Environ.* **2021**, *261*, 112469.
23. Traganos, B.; Chrysoulakis, N.; Reinartz, P. Estimating satellite-derived bathymetry (SDB) with the Google Earth Engine and Sentinel-2. *Remote Sens.* **2018**, *10*, 859.
24. Chénier, R.; Ahola, R. Satellite-derived bathymetry for improving Canadian hydrographic service charts. *Int. J. Geo-Inf.* **2018**, *7*, 306.
25. Tùng, T.T.; Hùng, T.Đ. Nghiên cứu ứng dụng ảnh Sentinel 2 đánh giá diễn biến đường bờ và biến đổi địa hình đáy biển khu vực cửa Nhật Lệ, Quảng Bình. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, *746*, 1–11.
26. Hedley, J.D.; Harborne, A.R.; Mumby, P.J. Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. *Int. J. Remote Sens.* **2005**, *26(10)*, 2107–2112.
27. Stumpf, R.P.; Holderied, K.; Sinclair, M. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnol. Oceanogr.* **2003**, *48*, 547–556.

An analysis of nearshore bathymetric changes in the Tien Chau estuary area, Phu Yen province, using Sentinel-2 images

Do Xuan Tinh^{1*}, Tran Thanh Tung², Tran Dang Hung³

¹ Institute of Training and Science Application; tinhdx@tlu.edu.vn

² Thuy Loi University; t.t.tung@tlu.edu.vn

³ Viet Nam Institute of Meteorology, Hydrology & Climate Change; danghung2261991@gmail.com

Abstract: Monitoring and observing of nearshore bathymetric changes in the estuary area are important step for analyzing and evaluating the patterns of morphological changes in river mouth areas. Traditional bathymetric surveys using sonar techniques are often costly and time-consuming. Recently, multispectral satellite image with the advantage of cost and wide range of coverage has been used more frequently for estimating depths in nearshore areas due to the increasing availability of high-resolution satellite imagery. In this study, the authors utilized multispectral satellite images from Sentinel-2 and bathymetry data survey in June 2019 to develop a correlation equation of depth indices for the Tien Chau estuary area in Phu Yen province. The equation has good correlation with coefficient $R^2 = 0.7$ and has been applied to interpret the nearshore bathymetry in the Tien Chau estuary from 2016 to 2022. The interpreting nearshore bathymetries have been used to analyze the patterns of sandbars and submerged ebb-tidal delta in the Tien Chau area during the NorthEast monsoon and SouthWest monsoon. This analysis serves as a basis for proposing training measures for the estuary in the future.

Keywords: Tien Chau estuary; Nearshore bathymetry; Morphological changes; Multispectral satellite images; Sentinel-2.

Bài báo khoa học

Ứng dụng phương pháp hiệu chỉnh sai số Quantile Mapping và hàm phân bố cực trị tổng quát GEV vào đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến mưa cực trị

Trịnh Xuân Mạnh^{1*}, Trần Quốc Việt¹, Lê Thị Thường¹

¹ Đại học Tài Nguyên và Môi Trường Hà Nội; txmanh@hunre.edu.vn;
tqviet@hunre.edu.vn; ltthuong.kttv@hunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: txmanh@hunre.edu.vn; Tel: +84-916459161

Ban Biên tập nhận bài: 12/11/2023; Ngày phản biện xong: 25/12/2023; Ngày đăng bài: 25/4/2024

Tóm tắt: Bài báo này đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến lượng mưa cực trị tại một số trạm mưa điển hình thuộc tỉnh Quảng Ngãi, một tỉnh nằm ở khu vực Nam Trung Bộ của nước ta. Trong nghiên cứu này, dữ liệu kịch bản biến đổi mưa trong tương lai được trích xuất từ mô hình khí hậu khu vực REMO-MPI-ESM-LR cho kịch bản cực đoan RCP8.5. Dữ liệu kịch bản được hiệu chỉnh sai số thông qua phương pháp ánh xạ phân vị dựa vào các hàm phân bố Gamma-Pareto (distribution-based quantile mapping). Ngoài ra, hàm phân bố giá trị cực trị tổng quát (GEV) đặc biệt được sử dụng với hai mô hình ổn định và bất ổn định cho việc tính toán các tần suất mưa thiết kế khác nhau gồm 1, 2, và 10%. Trong đó kịch bản biến đổi mưa trong tương lai được trích xuất từ mô hình khí hậu khu vực REMO-MPI-ESM-LR cho kịch bản cực đoan RCP8.5. Kết quả nghiên cứu cho thấy lượng mưa 1 ngày lớn nhất trên địa bàn tỉnh Quảng Ngãi có sự gia tăng đáng kể trong tương lai, vào khoảng 10 đến 15% so với thời kỳ cơ sở. Mức biến đổi lượng mưa 1 ngày lớn nhất ứng với 3 giá trị tần suất 1, 2 và 10% có giá trị thấp nhất là 14,5% và lớn nhất là 31,7%. Bên cạnh đó, bài báo cũng chỉ ra rằng việc hiệu chỉnh sai số hệ thống từ các mô hình khí hậu là cần thiết. Đối với các chuỗi dữ liệu trong tương lai có xét đến ảnh hưởng của biến đổi khí hậu thì việc áp dụng các hàm phân bố xác suất cần phải chú ý đến giả thiết ổn định của các chuỗi dữ liệu nhằm xác định được hàm phân bố với mô hình dữ liệu phù hợp.

Từ khóa: Hiệu chỉnh sai số; Mưa cực trị; Mô hình khí hậu khu vực; Tần suất mưa thiết kế.

1. Giới thiệu

Biến đổi khí hậu (BĐKH) và nước biển dâng đã, đang và sẽ có những tác động mạnh mẽ đến các nguồn tài nguyên thiên nhiên và môi trường nói chung, và chu trình thủy văn và tài nguyên nước nói riêng. Theo báo cáo đặc biệt của Ủy Ban Liên Chính Phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC) SR1.5 ra đời vào năm 2018 cho biết: đến năm 2017 thì nhiệt độ toàn cầu đã tăng khoảng 1°C so với thời kỳ tiền công nghiệp. Nếu xu thế này tiếp tục kéo dài trong tương lai thì trong tương lai gần nhiệt độ toàn cầu có thể đạt mức tăng 1,5°C từ năm 2030 đến năm 2052. mực nước biển trung bình toàn cầu được dự báo sẽ tăng vào khoảng 0,26 đến 0,77 m vào cuối thế kỷ nếu nhiệt độ trái đất tăng 1,5°C. Các rủi ro liên quan đến khí hậu sẽ gây ra nhiều tác động tiêu cực hơn nữa cho môi trường tự nhiên và cả con người [1]. Theo báo cáo của Ngân hàng thế giới và ngân hàng Phát triển Châu Á [2], Việt Nam được đánh giá là một trong 5 nước trên thế giới chịu ảnh hưởng nhiều nhất của biến đổi khí hậu và nước biển dâng. Các tỉnh ven biển của Việt Nam đóng một vai trò vô cùng quan trọng trong sự phát triển kinh tế xã hội của đất nước. Cùng với quá trình đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ tại khu vực này đã

mang đến nhiều cơ hội việc làm và định cư cho người dân dẫn đến đây là một trong những khu vực chịu ảnh hưởng nặng nề nhất bởi các hiện tượng tự nhiên cực đoan.

Nghiên cứu liên quan đến biến đổi khí hậu và ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến các quá trình trong chu trình thủy văn và tài nguyên nước đã được thực hiện tương đối nhiều trong những năm vừa qua, có thể nói đây là một trong những chủ đề đáng được quan tâm nhất trong những thập kỉ gần đây. Trên thế giới, có thể kể đến các nghiên cứu của [3–5] về những tác động của biến đổi khí hậu đến chế độ thủy văn, cấp nước, chất lượng nước, và vận chuyển bùn cát. Ngoài ra một số nghiên cứu liên quan đến tính toán và dự báo tác động của biến đổi khí hậu đến lũ và ngập lụt được thực hiện bởi một số tác giả khác [7–9]. Tại Việt Nam, một số tác giả [10–13] đã thực hiện các nghiên cứu về đánh giá ảnh hưởng của BĐKH đến lượng mưa tại một số khu vực ở Việt Nam. Ngoài ra ở Việt Nam còn có nhiều nghiên cứu khác đã được công bố liên quan đến đánh giá ảnh hưởng của BĐKH đến lũ và ngập lụt, dòng chảy và chế độ thủy văn ở một số sông lớn.

Có thể nói nghiên cứu liên quan đến biến đổi khí hậu và ảnh hưởng của nó là vô cùng đa dạng và phong phú. Tuy nhiên có thể nhận thấy rằng các nghiên cứu này phần lớn sử dụng các kĩ thuật chi tiết hóa bao gồm cả động lực và thống kê cho việc xác định các biến đổi của một khu vực hay lưu vực sông với quy mô nhỏ hơn. Ngoài ra, phần lớn các nghiên cứu sử dụng các mô hình khí hậu toàn cầu để trích xuất dữ liệu là chủ yếu với kích thước ô lưới tính toán tương đối thô, vào khoảng 100-400 km. Việc sử dụng các ô lưới lớn có thể gây ra những sai số nhất định cho việc dự đoán biến đổi của các yếu tố khí tượng ở quy mô nhỏ hơn [14]. Trong khi đó để khắc phục tồn tại đó thì các phương pháp chi tiết hóa động lực là một lựa chọn thích hợp, tuy nhiên phương pháp này đòi hỏi yêu cầu lớn về dữ liệu, tài nguyên máy tính và chi phí. Một trong những cách tiếp cận gần đây là sử dụng các mô hình khí hậu khu vực thay cho mô hình khí hậu toàn cầu. Các mô hình này thường cung cấp dữ liệu ở các ô lưới có kích thước nhỏ hơn rất nhiều (20-50 km²) so với mô hình khí hậu toàn cầu. Thêm vào đó, để tránh việc sử dụng trực tiếp dữ liệu từ các mô hình khí hậu nói chung thì các phương pháp hiệu chỉnh sai số đang được ứng dụng khá phổ biến hiện nay. Đặc biệt, những năm gần đây phương pháp sử dụng hàm phân bố kết hợp được đề xuất bởi [15] đang chứng minh được tính hiệu quả của nó trong việc hiệu chỉnh sai số cho chuỗi dữ liệu thu thập từ các mô hình khí hậu khu vực.

Nghiên cứu này sẽ tập trung vào việc đánh giá biến đổi của các giá trị mưa cực trị sử dụng các dữ liệu thu thập từ mô hình khí hậu khu vực REMO2015, mô hình này được tính toán dựa trên các dữ liệu được cung cấp bởi mô hình khí hậu toàn cầu MPI-ESM-LR sử dụng phương pháp chi tiết hóa động lực, với độ phân giải cao vào khoảng 25 × 25 km. Toàn bộ dữ liệu thu thập được sẽ được hiệu chỉnh sai số sử dụng phương pháp hiệu chỉnh sai số *Gamma-Pareto Quantile Mapping* (GPQM). Dữ liệu mưa cực trị sau khi được hiệu chỉnh sai số sẽ được phân tích tần suất sử dụng hàm phân bố giá trị cực trị tổng quan (GEV) với hai mô hình ổn định và bất ổn định nhằm đánh giá sự biến đổi mưa cực trị trong tương lai. Trong đó, phương pháp ước lượng khả năng tối đa (*Maximum Likelihood Estimation*) được lựa chọn để tính toán các thời kì lặp lại của các giá trị mưa cực trị tương ứng với các tần suất thiết kế được lựa chọn.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

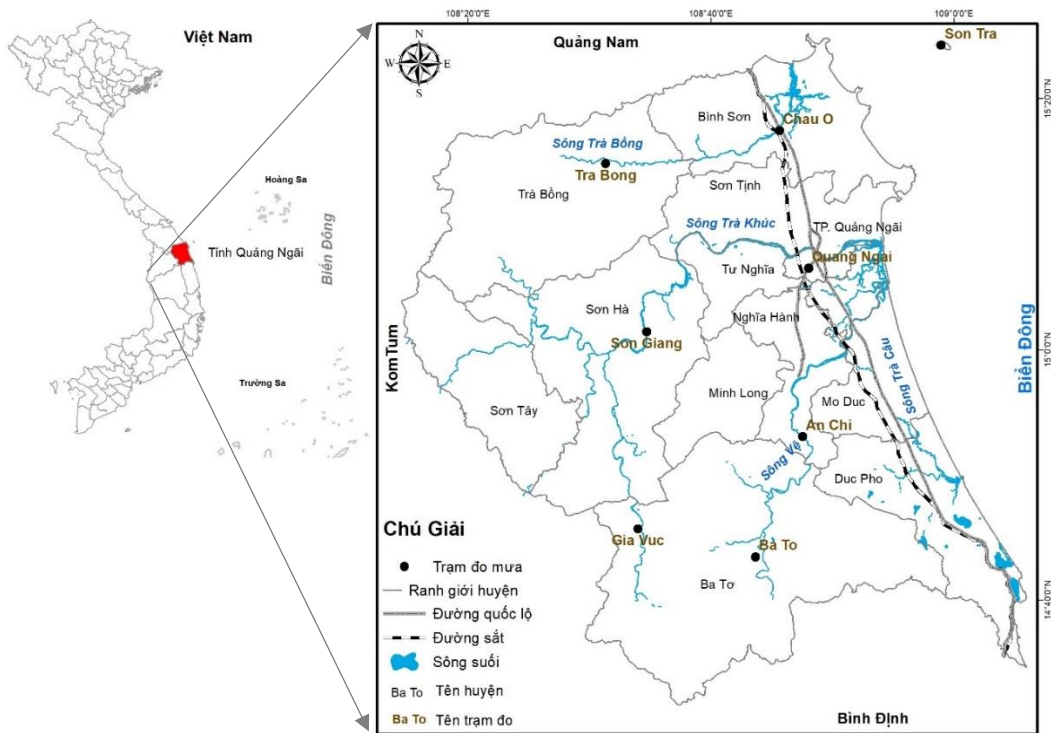
2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Quảng Ngãi một tỉnh ven biển thuộc khu vực Nam Trung Bộ của nước ta được lựa chọn làm khu vực nghiên cứu chính trong bài báo này bởi có số lượng trạm đo và điểm đo mưa phân bố khá đồng đều trong tỉnh và có nguồn dữ liệu mưa thu thập được tương đối đầy đủ phục vụ nghiên cứu của nhóm tác giả. Tỉnh Quảng Ngãi có tọa độ địa lí trải dài từ 14°32'B đến 15°25'B, và từ 108°06'Đ đến 109°04'Đ. Phía tây của tỉnh là dãy núi Trường Sơn và giáp tỉnh Kon Tum với chiều dài đường địa giới là 79 km, phía đông tiếp giáp với Biển Đông có

chiều dài đường bờ biển vào khoảng 144 km, phía bắc tiếp giáp tỉnh Quảng Nam với chiều dài đường ranh giới vào khoảng 98 km, phía nam giáp tỉnh Bình Định với chiều dài đường địa giới 83 km, và cuối cùng là phía tây nam giáp tỉnh Gia Lai với chiều dài đường địa giới khoảng 10 km [16] (Hình 1).

Địa hình tỉnh Quảng Ngãi là khá phức tạp. Địa hình tại đây có xu thế thấp dần từ tây sang đông với các dạng địa hình khá phong phú bao gồm các dãy núi cao, tiếp đến là địa hình núi thấp và đồi xen kẽ đồng bằng, có nơi núi chạy sát biển, cuối cùng là vùng đồng bằng ven biển. Quảng Ngãi có khí hậu đặc trưng của loại khí hậu nhiệt đới và gió mùa. Nhiệt độ trung bình trong tỉnh vào khoảng 25-26,9°C. Khí hậu nơi đây phân hóa thành 2 mùa rõ rệt, gồm mùa mưa và mùa nắng. Trong tỉnh, lượng mưa trung bình là hơn 2.198 mm/năm, tập trung nhiều nhất vào các tháng 9, 10, 11, 12 còn các tháng khác thì khô hạn. Trong đó, tổng lượng mưa trung bình năm ở khu vực ven biển vào khoảng 2.200 đến 2.500 mm và tại khu vực núi cao phía tây dao động trong khoảng 3.000 đến 3.500 mm [16].

Trong tỉnh có các hệ thống sông suối lớn nhỏ khá dày đặc bao gồm các sông như Trà Khúc, Vệ, Trà Câu, và Trà Bồng. Các con sông này mang những nét rất đặc trưng của hệ thống sông suối khu vực miền trung Việt Nam nói chung như ngắn, độ dốc lớn và bị cắt xẻ mạnh bởi địa hình nên lũ và ngập lụt khu vực này rất khôc liệt. Trong tỉnh có nhiều các trạm đo mưa và điểm đo mưa, trong đó phải kể đến một số trạm quan trắc có chuỗi số liệu khá dài và đồng nhất như Quảng Ngãi, An Chí, Ba Tơ, Giá Vực, Sơn Giang và Trà Bồng (Hình 1).



Hình 1. Vị trí tỉnh Quảng Ngãi và hệ thống sông suối và trạm đo mưa.

2.2. Số liệu thu thập

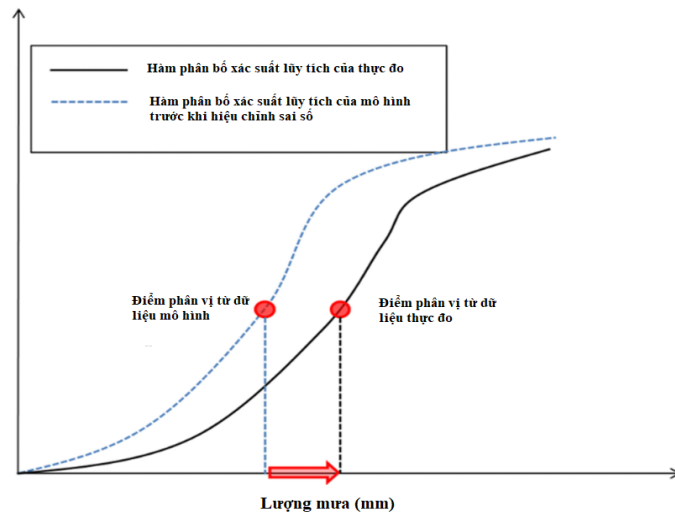
Số liệu sử dụng chính cho tính toán trong bài báo này là mưa, bao gồm mưa ngày và mưa giờ. Các số liệu tại các trạm được thu thập chủ yếu từ Tổng cục Khí tượng Thủy văn và Đài Khí tượng Thủy văn Tỉnh Quảng Ngãi. Thời gian thu thập dữ liệu quá khứ là từ năm 1977 đến 2019.

Dữ liệu biến đổi khí hậu được thu thập từ CORDEX-SEA (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment - Southeast Asia*), một diễn đàn do chương trình nghiên cứu khí tượng thế giới thành lập cho phép thực hiện các hoạt động nghiên cứu liên quan đến chi tiết hóa khí hậu khu vực và chia sẻ dữ liệu khí hậu cho cộng đồng [17]. CORDEX hiện

nay có khoảng 14 vùng chính, trong đó CORDEX-SEA là vùng mới gần đây nhất được chia sẻ dữ liệu khí hậu (<https://cordex.org>), cung cấp dữ liệu cho khu vực Đông Nam Á. Mô hình khí hậu động lực khu vực REMO (*Regional Model*) được phát triển đầu tiên bởi Viện nghiên cứu Khí tượng Max-Planck, Đức. Sau đó mô hình này được tiếp tục phát triển và hoàn thiện bởi Trung tâm dịch vụ khí tượng tại thành phố Hamburg, CHLB Đức (<https://www.remocm.de>). Mô hình REMO đã được sử dụng để chi tiết hóa động lực dữ liệu từ mô hình toàn cầu MPI-ESM-LR (*Max-Planck Institute Earth System Model-Low Resolution*) được phát triển bởi cùng một viện nghiên cứu để chuyển đổi dữ liệu từ độ phân giải không gian lớn ($1,8653^\circ \times 1,875^\circ$) đến lưới có độ phân giải chi tiết hơn ($0,22^\circ \times 0,22^\circ \sim 25$ km). Do đó dữ liệu thu thập từ việc kết nối hai mô hình khí hậu này sẽ được sử dụng chính cho việc dự báo biến đổi mưa trong tương lai tại khu vực nghiên cứu dựa trên kịch bản phát thải cao RCP8.5.

2.3. Phương pháp tính toán

Các phương pháp hiệu chỉnh sai số (*Bias-Correction*) đã chứng minh được tính hiệu quả trong việc làm giảm các sai số hệ thống đối với dữ liệu lượng mưa thu thập được từ mô hình khí hậu toàn cầu nói chung [18]. Trong tất cả các phương pháp hiệu chỉnh sai số thì phương pháp ánh xạ phân bố cho thấy tính hiệu quả cao trong việc hiệu chỉnh sai số các giá trị cực trị. Mục đích chính của các phương pháp này là chuyển đổi các dữ liệu mô hình hóa để làm sao chúng có được các phân bố xác suất giống như các dữ liệu thực đo thông qua một hàm chuyển đổi (Hình 2).



Hình 2. Phương pháp chuyển đổi hàm phân bố xác suất.

Như đã giới thiệu ở trên phương pháp Gamma-Pareto dựa trên sự kết hợp của hai hàm phân bố khá phổ biến là hàm phân bố Gamma và phân bố Pareto tổng quát. Cụ thể, hàm phân bố Gamma được sử dụng để hiệu chỉnh phần giữa của đường cong phân bố, trong khi đó hàm phân bố Pareto được dùng chính cho việc hiệu chỉnh các phần đuôi của đường phân bố xác suất mà tại đây mô tả các giá trị cực trị của chuỗi số liệu. Một khung phương pháp đánh giá dựa trên ngôn ngữ lập trình R bao gồm một số gói tính toán được sử dụng cho việc tính hiệu chỉnh sai số sử dụng phương pháp nêu trên (Climate4R). Theo đó, phương pháp Gamma-Pareto này và hàm chuyển đổi của nó được mô tả bằng các công thức toán học dưới đây:

$$F(x|\alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t/\beta} dt; x \geq 0; \alpha, \beta > 0 \quad (1)$$

$$F(x) = \Pr(X - u \leq x | X > u) = \begin{cases} 1 - \left(1 + \frac{\xi x}{\sigma}\right), & \text{if } \xi \neq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{x}{\sigma}\right), & \text{if } \xi = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$y = \begin{cases} F_{obs, \gamma}^{-1}(F_{mod, \gamma}), & \text{if } x \leq 95\text{th or } 99\text{th percentile} \\ F_{obs, GPD}^{-1}(F_{mod, GPD}), & \text{if } x > 95\text{th or } 99\text{th percentile} \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó $F_{obs, \gamma}$ và $F_{obs, GPD}$ là hai hàm phân bố Gamma and Pareto tổng quát của dữ liệu thực đo; $F_{mod, \gamma}$ và $F_{mod, GPD}$ là hai hàm phân bố Gamma and Pareto tổng quát của dữ liệu thu thập từ mô hình REMO- MPI-ESM-LR; F^{-1} là hàm nghịch đảo; α và β là hai hệ số hình dạng và tỉ lệ của hàm Gamma; u là ngưỡng tính toán, $\tilde{\sigma} = \sigma + \xi(u - \mu)$ thông số tỉ lệ được tham số hóa, μ là thông số về vị trí, and ξ là thông số về hình dạng.

Để đánh giá hiệu quả của việc hiệu chỉnh sai số thì dữ liệu được chia thành hai thời đoạn cho cả tính toán và thực đo gồm giai đoạn hiệu chỉnh (1977-1995) và kiểm định (1996-2005). Hai hàm mục tiêu gồm RMSE và NSE được sử dụng để đánh giá sai số giữa tính toán và thực đo. Công thức của hai hàm này được trình bày như sau:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Obs_i - Mod_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Obs_i - \overline{Obs})^2} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Obs_i - Mod_i)^2}{n}} \quad (5)$$

Trong đó Obs_i và Mod_i lần lượt là giá trị thực đo và tính toán tại thời điểm (i), \overline{Obs} là giá trị thực đo trung bình. n độ dài chuỗi số liệu.

Thông thường các chỉ số khí hậu được đưa ra để dễ dàng tính toán sự thay đổi và biến động của các yếu tố khí tượng. 27 chỉ số khí hậu cực đoan được đề xuất bởi nhóm các nhà khoa học về khí tượng và biến đổi khí hậu được tài trợ bởi chương trình nghiên cứu khí hậu thế giới (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI)*) (<https://www.wcrp-climate.org/etccdi>). Trong 27 chỉ số thì có 16 chỉ số liên quan đến nhiệt độ và 11 chỉ số liên quan đến mưa. Trong nghiên cứu này 4 chỉ số về mưa liên quan đến cường độ và thời gian được lựa chọn để đánh giá bao gồm mưa 1 ngày lớn nhất (RX1day - mm), mưa 5 ngày lớn nhất (RX5day - mm), tổng lượng mưa trên phân vị 95th (R95p -mm), và số ngày có mưa lớn hơn 50 mm (R50mm - day).

Về hàm phân bố xác suất, có thể thấy trong nhiều thập kỉ vừa qua, khoa học về xác suất thống kê đóng một vai trò hết sức quan trọng trong các ngành khoa học ứng dụng nói chung. Một điều đáng lưu ý là ngày nay do biến đổi và dao động khí hậu diễn ra mạnh mẽ hơn mà các giả thiết về ổn định và bất ổn định của chuỗi dữ liệu trong phân tích tần suất cần phải được xem xét [19]. Nhằm có sự đánh giá đúng hơn về các giả thiết này thì trong bài báo này hàm phân bố xác suất cực trị tổng quát (GEV) được ứng dụng. Theo đó, các giá trị mưa cực trị trích xuất từ chuỗi dữ liệu trong quá khứ và tương lai sẽ được sử dụng để tính toán. Thông thường các phân bố giá trị cực trị thường bao gồm ba họ chính là Gumbel, Fréchet, and Weibull. Hàm phân bố GEV được xây dựng trên cơ sở tổng hợp cả ba hàm phân bố vừa nêu và hàm được lựa chọn sẽ dựa vào sự phù hợp của các tham số, ví dụ tham số về hình dạng ξ . Đối với các giá trị lớn hơn 0 thì hàm phân bố lũy tích (CDF) của phân bố GEV được thể hiện thông qua biểu thức dưới đây:

$$G(z) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{z - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}} \right\}, \xi \neq 0, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0, -\infty < \xi < \infty, \quad (6)$$

Trong đó μ , σ , ξ lần lượt là các thông số về vị trí, tỷ lệ và hình dạng. z là giá trị lớn nhất. Với $\xi > 0$ thì phương trình 6 sẽ có phân bố Fréchet, với $\xi < 0$ thì phương trình 6 sẽ có phân bố Weibull, và với $\xi = 0$ phương trình 6 sẽ có phân bố Gumbel.

Nhiều phương pháp đã được phát triển để ước lượng các tham số cho phân bố GEV, ví dụ như: *Maximum Likelihood (MLE)*, *Generalized Maximum Likelihood Estimators (GMLE)*, *Probability Weighted Moment, L-moments* và *Method of Moments*. Trong nghiên cứu này phân bố GEV được sử dụng để tính toán cho hai giả thiết là dữ liệu ổn định và bất ổn định (có xu thế) tương ứng với hai mô hình tính ổn định và bất ổn định. Theo đó, mô hình ổn định (M1) dựa vào giả thiết là các tham số của phân bố không biến đổi theo thời gian.

Trong khi đó, mô hình bất ổn định (M2) dựa vào giả thiết các tham số biến đổi theo thời gian. Đối với mô hình này trong phạm vi nghiên cứu của bài báo chúng tôi chỉ sử dụng một tham số biến đổi là μ . Các mô hình được mô tả như sau:

M1: Mô hình ổn định. Tất cả các tham số là hằng số GEV ($\mu_t = \mu_0, \sigma_t = \sigma_0, \xi_t = \xi_0$).

M2: Mô hình bất ổn định. Tham số về vị trí biến đổi theo thời gian, trong khi đó các tham số khác như tỷ lệ và hình dạng là hằng số GEV ($\mu_t = \mu_0 + \mu_1 t, \sigma_t = \sigma_0, \xi_t = \xi_0$).

Để có thể lựa chọn một mô hình phù hợp cho phân bố GEV thì hệ số kiểm tra tỉ lệ khả năng (likelihood ratio test) được sử dụng đầu tiên với mức ý nghĩa p-value là 5%, mức ý nghĩa đưa ra dựa trên đề xuất [19]. Ngoài ra thì hệ số AIC (*Akaike Information Criterion*) được giới thiệu bởi Akaike (1973) cũng được ứng dụng để lựa chọn mô hình phù hợp. Theo đó thì mô hình phù hợp phải cho hệ số AIC là bé nhất. Các tính toán sử dụng các mô hình đề xuất được thực hiện trên gói công cụ *extRemes* package trong phần mềm R [20].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiệu chỉnh sai số

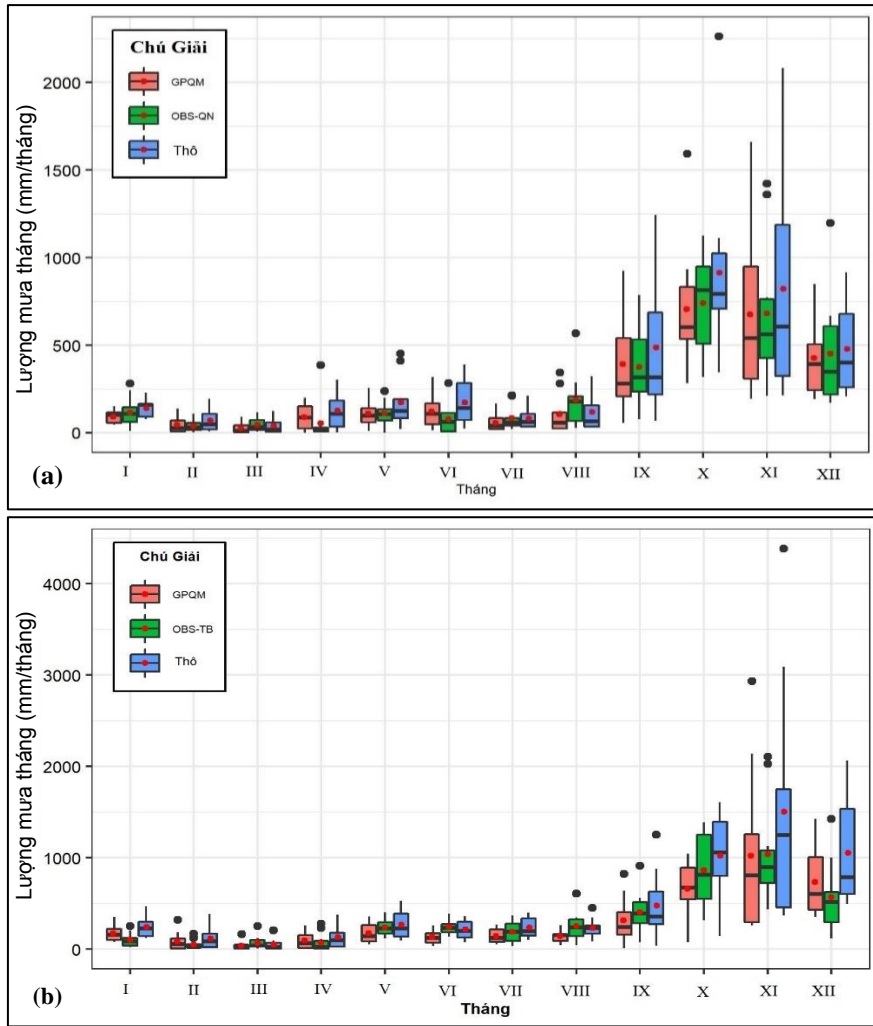
Như đã trình bày ở phần trước, dữ liệu mưa tính toán theo kịch bản BĐKH được trích xuất từ mô hình khí hậu tổ hợp REMO-MPI-ESM-LR sẽ được dùng để hiệu chỉnh sai số trong bài báo này bằng cách sử dụng phương pháp ánh xạ phân vị dựa vào các phân bố xác suất. Theo đó hai phân bố xác suất là Gamma và Pareto tổng quát được sử dụng với một ngưỡng phân vị nhất định. Trong bài báo này, điểm phân vị 95th được đề xuất sử dụng bởi có nhiều nghiên cứu cũng sử dụng giá trị này.

Trên địa bàn tỉnh Quảng Ngãi có nhiều trạm đo mưa như đã giới thiệu ở Mục 2 - Khu vực nghiên cứu, tuy nhiên qua quá trình thu thập và xử lý số liệu thu thập thì nhóm tác giả nhận thấy với những hạn chế về số liệu như số năm đo không liên tục, bảng số liệu không đầy đủ, độ dài dữ liệu không đảm bảo nên chỉ hai trạm mưa là Trà Bồng và Quảng Ngãi (Hình 1) được sử dụng trong các tính toán. Ngoài việc phân tích mưa cực trị thì dữ liệu mưa tháng cũng được sử dụng để đánh giá sơ bộ sự biến đổi mưa theo mùa. Để có thể đánh giá được biến động mưa chúng tôi sử dụng các giá trị mưa thô (chưa hiệu chỉnh), mưa thực đo, và mưa đã hiệu chỉnh để so sánh. Kết quả nghiên cứu trong hình 3 cho thấy biến động theo mùa (mùa mưa và mùa khô) được mô phỏng lại khá tương đồng. Giá trị trung vị và trung bình của chuỗi dữ liệu hiệu chỉnh và thực đo là tương đối giống nhau. Tuy nhiên cũng có thể nhận thấy có sự khác biệt khá rõ rệt tại trạm Trà Bồng trong mùa mưa. Ngoài ra, biểu đồ hộp (box plots) cũng cho thấy dữ liệu thô có phạm vi biến động rộng hơn so với dữ liệu thực đo. Như vậy có thể nhận thấy sau hiệu chỉnh sai số thì những biến động của mưa theo mùa là tương đối hợp lý, điều này cho thấy rằng phương pháp ứng dụng có khả năng hiệu chỉnh sai số tổng lượng mưa tháng bình quân.

Tiếp theo, mục tiêu chính của nghiên cứu này là tập trung vào việc hiệu chỉnh sai số của lượng mưa cực trị cho giai đoạn kiểm định trước khi ứng dụng cho các dự đoán những biến đổi lượng mưa cực trị trong tương lai. Kết quả so sánh giữa lượng mưa cực trị của ba chuỗi dữ liệu gồm mưa chưa hiệu chỉnh, mưa thực đo và mưa đã hiệu chỉnh được thể hiện trong các hình ảnh và bảng 1.

Bảng 1. Thống kê sai số đánh giá giữa dữ liệu thô và dữ liệu sau hiệu chỉnh sai số.

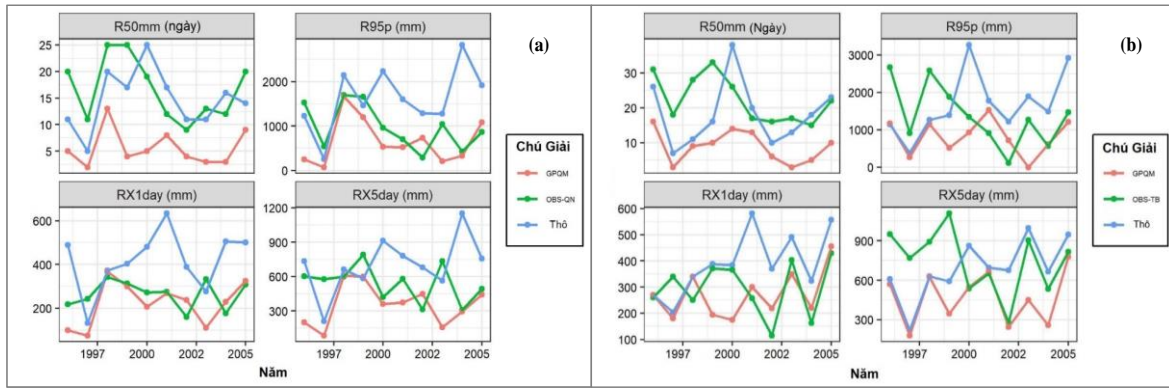
Chỉ số	NSE				RMSE			
	Trà Bồng		Quảng Ngãi		Trà Bồng		Quảng Ngãi	
	Thô	GPQM	Thô	GPQM	Thô	GPQM	Thô	GPQM
RX1day	-1,55	-0,25	-11,84	-1,89	160	100	216	102
RX5day	-0,97	-1,65	-5,10	-2,60	326	378	377	289
R50mm	-1,32	-4,05	-0,04	-3,55	10	14	5	12
R95p	-1,24	-0,50	-3,56	-0,37	1167	957	1036	568



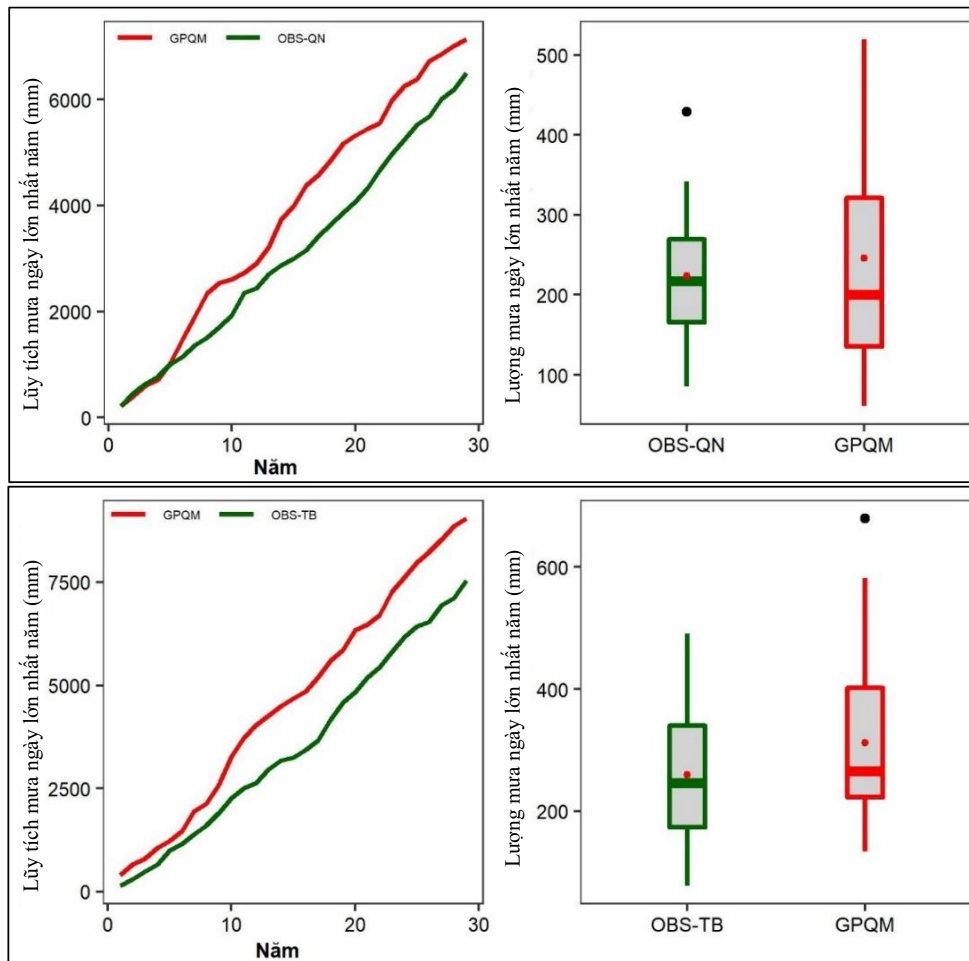
Hình 3. So sánh biến động lượng mưa cực trị theo mùa của 3 dữ liệu gồm mưa chưa hiệu chỉnh (thô), mưa thực đo (OBS) và mưa sau hiệu chỉnh sai số (GPQM) tại trạm Quảng Ngãi (a) và Trà Bồng (b).

Kết quả tính toán cho thấy, nhìn chung lượng mưa lớn nhất 1 ngày (RX1day) sau hiệu chỉnh sai số cho kết quả khả quan hơn so với trước khi hiệu chỉnh khi so sánh với các giá trị thực đo tại hai trạm Trà Bồng và Quảng Ngãi. Tuy nhiên có thể thấy các kết quả hiệu chỉnh RX1day hơi thiên lớn so với các giá trị thu thập từ mô hình khí hậu khu vực. Bảng 1 cho thấy các sai số thống kê của RX1day được cải thiện đáng kể sau khi áp dụng phương pháp hiệu chỉnh sai số. Cụ thể, giá trị NSE giảm từ - 1,55 còn lại -0,25, trong khi đó giá trị RMSE giảm từ 160 mm còn lại 100 mm tại trạm Trà Bồng. Tương tự, giá trị NSE giảm từ -11,8 xuống còn -1,89 và giá trị RMSE giảm từ 216 xuống còn 102 mm tại trạm Quảng Ngãi. Ngoài ra, xu thế giảm sai số khi sử dụng đánh giá tương tự cho chỉ số R95p cũng được thể hiện thông qua các kết quả tại hai trạm nêu trên.

Điều này cho thấy sau khi hiệu chỉnh sai số thì RX1day và R95p có xu thế giống với thực đo hơn. Phân tích tương tự cho chỉ số RX5day cũng cho thấy rằng sau hiệu chỉnh thì giá trị chỉ số cực trị này cũng giống với thực đo hơn tại trạm Quảng Ngãi. NSE và RMSE tại trạm Quảng Ngãi lần lượt giảm từ -5,10 xuống còn -2,60 và từ 377 mm xuống còn 289 mm. Tuy nhiên tại trạm Trà Bồng thì chỉ số RX5day lại cho kết quả ngược lại, nghĩa là sau hiệu chỉnh giá trị của sai số RMSE gia tăng. Đối với chỉ số R50mm là một chỉ số liên quan đến số lượng các trận mưa lớn thì kết quả sau hiệu chỉnh cho thấy sai số giữa thực đo và tính toán vẫn còn rất lớn. Điều này có thể thấy rằng phương pháp hiệu chỉnh sai số sử dụng trong bài báo này chỉ cho kết quả tốt với hiệu chỉnh giá trị, còn đối với hiệu chỉnh sai số về thời gian (số lượng các sự kiện) vẫn còn có những hạn chế.



Hình 4. So sánh mưa cực trị chưa hiệu chỉnh (xanh lam), thực đo (xanh lá) và đã hiệu chỉnh sai số (đỏ) tại trạm Quảng Ngãi (a) và Trà Bồng (b).



Hình 5. So sánh lượng mưa 1 ngày lớn nhất trong tương lai và thời kì cơ sở.

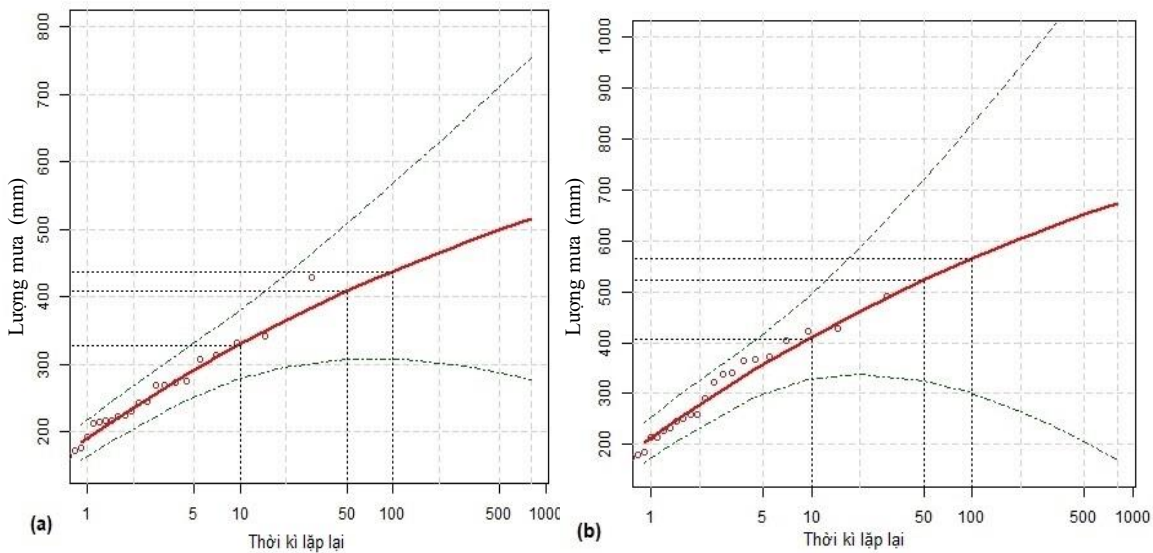
Qua phân tích trên có thể thấy chỉ số RX1day sau khi được hiệu chỉnh cho kết quả khả quan nhất. Do vậy chỉ số này được lựa chọn cho các phân tích tiếp theo trong nghiên cứu này. Kết quả phân tích biến đổi mưa lớn nhất 1 ngày cho giai đoạn gồm thời kì cơ sở 1977-2005 và thời kì tương lai 2006-2035 của kịch bản BĐKH hậu RCP 8.5 được thể hiện trong hình 5 dưới đây. Nhìn chung kết quả nghiên cứu cho thấy chỉ số RX1day có xu thế gia tăng trong tương lai. Đặc biệt lũy tích lượng mưa cho thấy trong tương lai gần lượng mưa 1 ngày lớn nhất có xu thế gia tăng mạnh tại hai trạm Trà Bồng và Quảng Ngãi. Điều này còn thể hiện trong tương lai sẽ xuất hiện nhiều lượng mưa vượt lịch sử. Qua phân tích lượng mưa lớn nhất bình quân cho thấy trong tương lai lượng mưa có xu thế tăng vào khoảng 10 đến 15% so với thời kì cơ sở.

3.2. Phân tích tần suất mưa cực trị

Trong nội dung này, như đã trình bày ở các mục trước hai mô hình ổn định và bất ổn định của phân phối GEV được sử dụng để xây dựng các đường tần suất cho chuỗi dữ liệu mưa cực trị thực đo và dự báo (BĐKH) tại hai trạm Trà Bồng và Quảng Ngãi. Theo đó, hai thời kì gồm (1) thời kì cơ sở (1977-2005) và (2) thời kì tương lai (1977-2035) được sử dụng cho các tính toán trong nội dung này.

Trong bài báo này mô hình ổn định (M1) được sử dụng cho thời kì cơ sở do giai đoạn này được đánh giá là có chuỗi dữ liệu khá ổn định, trong khi đó cả hai mô hình M1 và M2 sẽ cùng được sử dụng cho thời kì tương lai nhằm tìm ra một mô hình phù hợp nhất. Sau khi xác định được các mô hình phù hợp cho các chuỗi dữ liệu thì giá trị tần suất tương ứng với các tần suất khác nhau sẽ được trích xuất để so sánh. Ngoài ra, trong bài báo này, để xác định xu thế của các chuỗi dữ liệu, phương pháp kiểm tra Mann Kendall (M-K) cũng được sử dụng. Để xác định được mô hình phù hợp nhất cho chuỗi dữ liệu thì hai hệ số kiểm tra Tỷ lệ khả năng (Likelihood-ratio) và Akaike Information Criterion (AIC) cũng sẽ được sử dụng.

Kết quả phân tích tần suất mưa 1 ngày lớn nhất tại hai trạm Trà Bồng và Quảng Ngãi tại tỉnh Quảng Ngãi sử dụng mô hình M1 thể hiện trong Bảng 2 và Hình 6 dưới đây. Theo đó, phương pháp MLE được sử dụng để ước lượng giá trị các tham số μ , σ , ξ và sai số tiêu chuẩn của chúng. Các tần suất mưa được lựa chọn gồm 1, 2 và 10%. Các khoảng độ tin cậy 95% (Confident Interval - CI) cũng được tính toán.



Hình 6. Đường tần suất mưa 1 ngày lớn nhất tại trạm Quảng Ngãi (a) và Trà Bồng (b) ứng với mô hình M1.

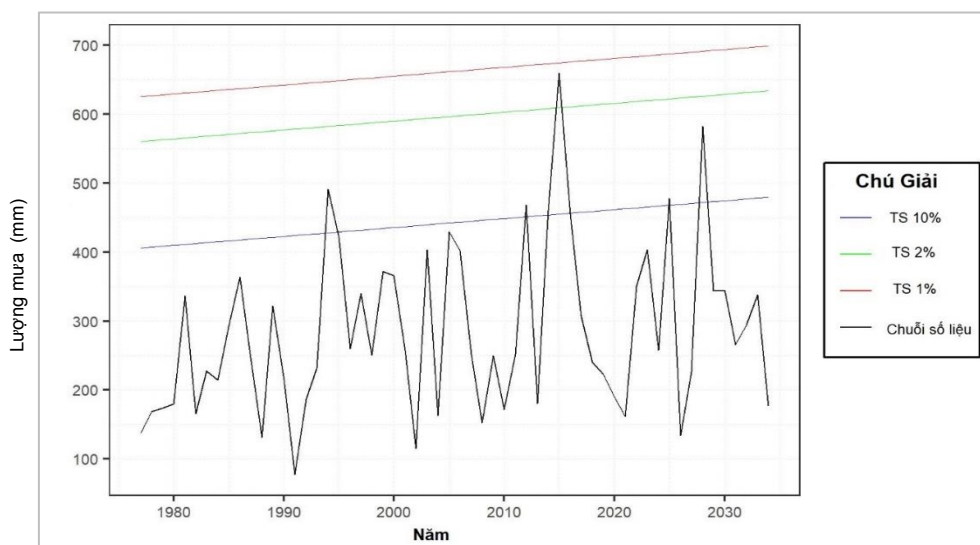
Bảng 2. Kết quả tính toán mô hình M1 cho hai trạm Trà Bồng và Quảng Ngãi.

Mô hình 1		Trà Bồng	Quảng Ngãi
Tham số	μ (mm)	216,11	192,58
	σ (mm)	93,34	65,45
	ξ	-0,13	-0,11
Sai số tiêu chuẩn	μ (mm)	20,37	13,60
	σ (mm)	15,21	9,61
	ξ	0,18	0,13
Tần suất 1%		533	428
95% CI		(350 - 716)	(317 - 541)
Tần suất 2%		497	400
95% CI		(359 - 635)	(313 - 487)
Tần suất 10%		396	323
95% CI		(333 - 460)	(277 - 369)

Tiếp theo, hai mô hình M1 và M2 lần lượt được sử dụng cho chuỗi dữ liệu dự báo. Trước tiên để xác định xem chuỗi dữ liệu có tính xu thế hay không, như đã giới thiệu, phương pháp kiểm tra Mann Kendall (M-K) được sử dụng để kiểm tra xu thế dựa trên giả thiết kiểm tra với mức ý nghĩa 0,05 khi xác định hệ số tương quan Kendall's Tau. Theo đó, giá trị Kendall's Tau dương sẽ cho biết chuỗi dữ liệu có xu thế tăng dần hoặc ngược lại khi hệ số này mang giá trị âm. Đồng thời mức ý nghĩa thống kê p-value nhỏ hơn giá trị lựa chọn (0,05) sẽ cho biết chuỗi dữ liệu là có xu thế. Kết quả tính toán hệ số Kendall's Tau và mức ý nghĩa p-value thông qua phương pháp kiểm tra M-K tại trạm Trà Bồng là 0,189 và 0,035, và kết quả tính tại trạm Quảng Ngãi là 0,039 và 0,67. So sánh các kết quả này với các tiêu chuẩn thấy rằng chỉ có chuỗi dữ liệu tại trạm Trà Bồng là có xu thế biến đổi theo chiều hướng gia tăng các giá trị mưa cực trị. Kết quả này cho thấy chuỗi dữ liệu lượng mưa 1 ngày lớn nhất tại trạm Trà Bồng là không ổn định trong tương lai.

Trong bước tiếp theo, như đã trình bày, hai hệ số kiểm tra Tỷ lệ khả năng (*Likelihood-ratio*) và AIC sẽ cùng được sử dụng để so sánh nhằm tìm ra mô hình tốt nhất. Đối với trạm Trà Bồng, như đã phân tích ở trên chuỗi dữ liệu là không ổn định, do đó biến thời gian (t) sẽ được sử dụng cho tham số vị trí. Kết quả sử dụng phương pháp ước lượng tham số MLE xác định được tham số vị trí cho mô hình M2 là $\mu_0 = 193$ và $\mu_1 = -0,25$, và tương ứng là các sai số tiêu chuẩn 19,97 and 0,59. Trong khi đó tham số về tỉ lệ và hình dạng ước lượng được lần lượt là 79,23 và 0,025 với sai số tiêu chuẩn là 9,01 và 0,12. Trong trường hợp này, giá trị hệ số tỉ lệ khả năng là 4,62 lớn hơn phân vị 95% của giá trị Chi-square là 3,84, và mức ý nghĩa tìm được là nhỏ hơn 0,05 cho thấy rằng có sự khác biệt lớn giữa hai mô hình. Mặt khác, giá trị AIC của mô hình M2 nhỏ hơn so với mô hình M1, tất cả điều này cho thấy mô hình M2 là phù hợp nhất với chuỗi dữ liệu tại trạm Trà Bồng. Do đó, mô hình này sẽ tiếp tục được sử dụng để xác định các giá trị tương ứng với các tần suất đã lựa chọn. Hình 7 dưới đây thể hiện đường tần suất của các giá trị tần suất đã lựa chọn sử dụng phân bố GEV với mô hình dữ liệu không ổn định. Từ hình 7 có thể thấy rằng giá trị tần suất là biến đổi tuyến tính theo thời gian, ví dụ với tần suất 1% lượng mưa 1 ngày lớn nhất là 616 mm vào năm 1977 nhưng đến năm 2035 giá trị mưa sẽ rơi vào khoảng 691 mm.

Tính toán và phân tích tương tự được thực hiện cho trạm Quảng Ngãi, kết quả cho thấy giá trị hệ số AIC ước lượng được là khá gần với mô hình M1 và M2. Hệ số kiểm tra tỉ lệ khả năng tìm được là 1,1673 nhỏ hơn nhiều so với giá trị 95% phân vị của giá trị Chi-square là 3,84. Bên cạnh đó, mức ý nghĩa p-value tìm được là 0,28 nhỏ hơn nhiều so với ngưỡng là 0,05 điều này cho thấy rằng mô hình M2 là không phù hợp với trạm Quảng Ngãi. Do đó mô hình M1 sẽ được sử dụng để tính toán các giá trị tần suất trong trường hợp này.



Hình 7. Tần suất mưa 1 ngày lớn nhất tại trạm Trà Bồng sử dụng phân bố GEV với mô hình không ổn định.

Bảng 3. Giá trị tần suất và mức thay đổi tìm được tại hai trạm Trà Bồng và Quảng Ngãi.

Tần suất mưa (mm)	Trà Bồng		Quảng Ngãi	
	Thời kì tương lai	Mức thay đổi (%)	Thời kì tương lai	Mức thay đổi (%)
1%	691	29,6	564	31,7
2%	620	24,5	507	26,5
10%	478	20,7	370	14,5

Cuối cùng, bảng 3 thể hiện mức biến đổi lượng mưa ứng với các tần suất thiết kế của thời kì tương lai so với thời kì cơ sở. Kết quả cho thấy lượng mưa ứng với các tần suất của thời kì tương lai là lớn hơn so với thời kì cơ sở. Mức biến đổi lượng mưa 1 ngày lớn nhất ứng với 3 giá trị tần suất 1, 2 và 10% có giá trị thấp nhất là 14,5% và lớn nhất là 31,7%. Theo đó, tại trạm Quảng Ngãi lượng mưa ngày lớn nhất ứng với tần suất 1% sẽ gia tăng vào khoảng 31,7% trong tương lai. Tương tự với trạm Trà Bồng, lượng mưa 1 ngày lớn nhất ứng với tần suất 1% sẽ tăng vào khoảng 29,6% trong tương lai so với thời kì cơ sở.

4. Kết luận

Bài báo này đã trình bày một phương pháp hiệu chỉnh sai số dựa vào các phân bố xác suất cho các dữ liệu biến đổi khí hậu khai thác từ các mô hình khí hậu toàn cầu hay mô hình khí hậu khu vực. Kết quả ứng dụng phương pháp hiệu chỉnh sai số Gamma-Pareto Quantile Mapping cho dữ liệu mưa thu thập tại các trạm mưa trên địa bàn tỉnh Quảng Ngãi đã cho thấy tính hiệu quả của phương pháp trong việc giảm thiểu sai số hệ thống từ các mô hình khí hậu cho các giá trị cực trị. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng phương pháp này có thể chưa thực sự hiệu quả trong việc hiệu chỉnh số lượng các sự kiện. Tuy nhiên cũng phải lưu ý rằng số lượng trạm mưa và dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu còn hạn chế chưa mang tính tổng quát do vậy trong tương lai cần áp dụng tính cho nhiều trạm mưa khác nhau để có thể kết luận chính xác nhất. Ngoài ra, bài báo cũng bước đầu áp dụng hàm phân bố giá trị cực trị tổng quát GEV sử dụng hai mô hình dữ liệu ổn định và bất ổn định cho hai thời kì cơ sở và tương lai nhằm xác định mức biến đổi lượng mưa cực trị. Kết quả nghiên cứu đã chứng minh trong một số trường hợp việc áp dụng hàm phân bố với giả thiết chuỗi dữ liệu là ổn định có thể sẽ không phù hợp cho những chuỗi dữ liệu chịu ảnh hưởng bởi BĐKH. Do đó với những nghiên cứu liên quan đến BĐKH thì việc phân tích tần suất cần chú ý đến sự không ổn định của chuỗi số liệu nhằm lựa chọn hàm phân bố phù hợp nhất. Cuối cùng, nghiên cứu này cũng chỉ ra rằng trong tương lai gần lượng mưa 1 ngày lớn nhất tại một số trạm thuộc tỉnh Quảng Ngãi theo kịch bản BĐKH RCP8.5 sẽ gia tăng đáng kể, nghĩa là sẽ xuất hiện nhiều lượng mưa 1 ngày lớn nhất vượt lịch sử. Qua phân tích lượng mưa lớn nhất bình quân tại các trạm nghiên cứu cho thấy trong tương lai lượng mưa có xu thế tăng vào khoảng 10 đến 15% so với thời kì cơ sở.

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

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. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change. 2018. In Press. doi:10.1038/291285a0.

2. World Bank (WB) & Asian Development Bank (ADB). Climate risk country profile - Vietnam. 2020. Available at: www.worldbank.org.
3. Charlton, R.; Fealy, R.; Moore, S.; Sweeney, J.; Murphy, C. Assessing the impact of climate change on water supply and flood hazard in Ireland using statistical downscaling and hydrological modelling techniques. *Clim. Change* **2006**, 74(4), 475–491. doi:10.1007/s10584-006-0472-x.
4. Azim, F.; Shakir, A.S.; Habib-ur-Rehman.; Kanwal, A. Impact of climate change on sediment yield for Naran watershed, Pakistan. *Int. J. Sediment Res.* **2016**, 31(3), 212–219. doi:10.1016/j.ijsrc.2015.08.002.
5. Allani, M.; Mezzi, R.; Zouabi, A.; Béji, R.; Joumade-Mansouri, F.; Hamza, M.E.; Sahli, A. Impact of future climate change on water supply and irrigation demand in a small mediterranean catchment. Case study: Nebhana dam system, tunisia. *J. Water Clim. Change* **2020**, 11(4), 1724–1747. doi:10.2166/wcc.2019.131.
6. Huang, S.; Hattermann, F.F.; Krysanova, V.; Bronstert, A. Projections of climate change impacts on river flood conditions in Germany by combining three different RCMs with a regional eco-hydrological model. *Clim. Change* **2013**, 116(3–4), 631–663. doi:10.1007/s10584-012-0586-2.
7. Hattermann, F.F.; Huang, S.; Burghoff, O.; Willems, W.; Österle, H.; Büchner, M.; Kundzewicz, Z. Modelling flood damages under climate change conditions-a case study for Germany. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **2014**, 14(12), 3151–3169. doi:10.5194/nhess-14-3151-2014.
8. Meresa, H.K.; Gatachew, M.T. Climate change impact on river flow extremes in the upper blue Nile river basin. *J. Water Clim. Change.* **2019**, 10(4), 759–781. doi:10.2166/wcc.2018.154.
9. Try, S.; Tanaka, S.; Tanaka, K.; Sayama, T.; Lee, G.; Oeurng, C. Assessing the effects of climate change on flood inundation in the lower Mekong Basin using high-resolution AGCM outputs. *Prog. Earth Planet. Sci.* **2020**, 7, 34.
10. An, N.L. Đánh giá sự thay đổi mưa một ngày lớn nhất dưới ảnh hưởng của Biến đổi khí hậu vùng Miền Trung và Tây Nguyên. *Tap chí Khoa học Kỹ thuật Thủy Lợi và Môi Trường* **2016**, 52, 77–84.
11. An, N.L.; Linh, P.M.; Thủy, N.T. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của Biến đổi khí hậu đến đường quan hệ cường độ mưa-thời đoạn- tần suất và mô hình mưa thiết kế tại Hà Nội. *Tap chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2019**, 67(2), 54–62.
12. Quyên, N.T.N.; Anh, P.T.T.; Khôi, Đ.N.; Hùng, L.V.; Hội, N.Q.; Lợi, N.K. Xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu lưu vực Srepok bằng phương pháp chi tiết hóa thống kê dưới sự hỗ trợ của công cụ SDSM. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, 669, 7–15.
13. Tuyết, T.T.; Yên, L.T.H.; An, N.L.; Hà, N.T.T. Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu đến lũ thiết kế trên các lưu vực sông thuộc tỉnh Bình Định. *Tap chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2020**, 63, 111–119.
14. Fowler, H.J.; Blenkinsop, S.; Tebaldi, C. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *Int. J. Climatol.* **2007**, 27, 1547–1578. doi:10.1002/joc.1556.
15. Gutjahr, O.; Heinemann, G. Comparing precipitation bias correction methods for high-resolution regional climate simulations using COSMO-CLM: Effects on extreme values and climate change signal. *Theor. Appl. Climatol.* **2013**, 114(3–4), 511–529. doi:10.1007/s00704-013-0834-z.

16. Điều kiện tự nhiên tỉnh Quảng Ngãi, Công thông tin điện tử Bộ Kế hoạch và Đầu tư”. Truy cập ngày 20 tháng 10 năm 2023. Trực tuyến: <https://quangngai.gov.vn/web/portal-qni/trang-chu>.
17. Supari, T.F.; Juneng, L.; Cruz, F.; Chung, J.X.; Ngai, S.T.; Salimun, E.; Mohd, M.S.F.; Santisirisomboon, J.; Singhruck, P.; Tan, P.V.; Thanh, N.D.; Narisma, G.; Aldrian, E.; Gunawan, D.; Sopaheluwakan, A. Multi-model projections of precipitation extremes in Southeast Asia based on CORDEX-Southeast Asia simulations. *Environ. Res.* **2020**, *184*, 109350. doi:10.1016/j.envres.2020.109350.
18. Teutschbein, C.; Seibert, J. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *J. Hydrol.* **2012**, *456–457*, 12–29. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.05.052.
19. Coles, S. An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer, London: Springer, 2001.
20. Gilleland, E.; Katz, R.W. ExtRemes 2.0: An extreme value analysis package in R. *J. Stat. Software.* **2016**, *72(8)*, 1–39. doi:10.18637/jss.v072.i08.

Application of the distribution-based quantile mapping method and the Generalized Extreme Value distribution to assess the impact of climate change on extreme precipitation

Trinh Xuan Manh^{1*}, Tran Quoc Viet¹, Le Thi Thuong¹

¹ Hanoi University of Natural Resources and Environment; txmanh@hunre.edu.vn; tqviet@hunre.edu.vn; ltthuong.kttv@hunre.edu.vn

Abstract: This paper evaluates the impact of climate change on the extreme rainfall in some rain gauge stations in Quang Ngai province, a province located in the South Central region of Vietnam. In this paper, future precipitation data were extracted from the REMO-MPI-ESM-LR regional climate model for the RCP8.5 extreme scenario. The scenario data were bias-corrected using the distribution-based quantile mapping method based on Gamma-Pareto distribution functions. The Generalized Extreme Value (GEV) distribution function, specifically with both stationary and non-stationary models, was then used to calculate different design rainfall frequencies, including 1%, 2%, and 10%. The results indicate a significant increase in the maximum one-day rainfall in Quang Ngai province in the future, by about 10 to 15% relative to the baseline period. The variation in the maximum one-day rainfall corresponding to the 1, 2, and 10% frequency values fluctuates from 14,5% to 31,7%. The study emphasizes the necessity of correcting system errors from climate models. Additionally, for future datasets considering the impact of climate change, the application of probability distribution functions should take into account the stationary assumption of the datasets in order to identify the appropriate distribution functions.

Keywords: Bias correction; Extreme rainfall; Regional Climate Model; Precipitation frequency.

Bài báo khoa học

Ứng dụng mạng Bayes trong đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả thích ứng với biến đổi khí hậu trong canh tác lúa tỉnh Hòa Bình

Hồ Xuân Hương^{1*}, Lê Đình Hải², Phạm Thị Hằng³

¹ Khoa Các khoa học liên ngành, Đại học Quốc gia Hà Nội; hoxuanhuong@vnu.edu.vn

² Trường Đại học Kinh tế, Đại học Quốc gia Hà Nội; haifuv@gmail.com

³ Học viên An ninh Nhân dân; phamthihang78@gmail.com

*Tác giả liên hệ: hoxuanhuong@vnu.edu.vn; Tel.: +84-965317889

Ban Biên tập nhận bài: 13/11/2023; Ngày phản biện xong: 25/12/2023; Ngày đăng bài: 25/4/2024

Tóm tắt: Thích ứng với biến đổi khí hậu là một quá trình phức tạp, ở đó việc áp dụng các biện pháp thích ứng và kết quả của chúng chịu ảnh hưởng bởi cả yếu tố nội tại lẫn ngoại cảnh. Nghiên cứu này nhằm khám phá mối quan hệ giữa các yếu tố tâm lý hành vi, các yếu tố kinh tế - xã hội với kết quả thực hiện hành vi thích ứng. Thông qua khảo sát xã hội học và tìm hiểu các tác động của biến đổi khí hậu của 254 hộ canh tác lúa ở tỉnh Hòa Bình, Việt Nam, nghiên cứu đã ứng dụng mô hình mạng Bayes (phương pháp thống kê phi tham số) để xác định mức độ ảnh hưởng của các yếu tố hành vi tới kết quả thích ứng. Các kết quả cho thấy 2 yếu tố chính gồm số biện pháp thích ứng được thực hiện với mức độ nhạy cảm là 27,23% và ý định thích ứng với mức độ nhạy cảm là 8,52%. Bên cạnh đó, các yếu tố kinh tế - xã hội như dân tộc, trình độ học vấn, vai trò của lúa trong sinh kế hộ, trạng thái kinh tế hộ và tuổi của chủ hộ cũng tác động đến kết quả thích ứng. Nghiên cứu nhấn mạnh tầm quan trọng của việc cung cấp nhiều giải pháp thích ứng khác nhau và nâng cao nhận thức của người dân về các tiềm năng, lợi ích của thích ứng với biến đổi khí hậu trong sản xuất nông nghiệp.

Từ khóa: Kết quả thích ứng; Nông nghiệp; Các yếu tố ảnh hưởng; Mạng Bayes.

1. Giới thiệu

Biến đổi khí hậu ảnh hưởng nghiêm trọng đến lĩnh vực nông nghiệp và đời sống xã hội [1]. Ở những quốc gia đang phát triển, nông dân dễ bị tổn thương bởi các tác động của biến đổi khí hậu [2]. Việt Nam, với 32,6% dân số sản xuất nông nghiệp [3], đã xác định thích ứng với biến đổi khí hậu là chiến lược trọng tâm nhằm đảm bảo an sinh xã hội [4]. Trong nghiên cứu về thích ứng với biến đổi khí hậu, bên cạnh nghiên cứu các giải pháp thích ứng thì phần lớn nghiên cứu tìm hiểu chiều cạnh tâm lý - hành vi hoặc chiều cạnh kinh tế - xã hội [5]. Tuy nhiên, chưa có nhiều nghiên cứu kết hợp cả hai, ngoài một số nỗ lực thêm vào một số biến như nhận thức, thái độ về hành vi thích ứng bên cạnh các yếu tố nhân khẩu học [6, 7]. Ngoài ra, một số nghiên cứu mô phỏng các yếu tố xã hội và yếu tố tự nhiên trong mô hình động lực khí hậu - xã hội trong chu trình hồi tiếp [8]. Trong khi chuyển nhận thức sang hành vi là một quá trình phức tạp [9], bị chi phối bởi nhiều yếu tố tâm lý và phi tâm lý, thì kết quả thực hiện hành vi là một quá trình đa biến hơn khi mà liên quan tới đặc điểm của biến đổi khí hậu và hệ thống sản xuất [10]. Nghiên cứu này làm rõ các yếu tố ảnh hưởng từ ý định đến hành vi và kết quả thích ứng. Thông qua đánh giá kết quả thích ứng với mô hình mạng Bayes, nghiên cứu làm rõ vai trò của yếu tố tâm lý, yếu tố nhân khẩu học đến sự bền vững của thích ứng.

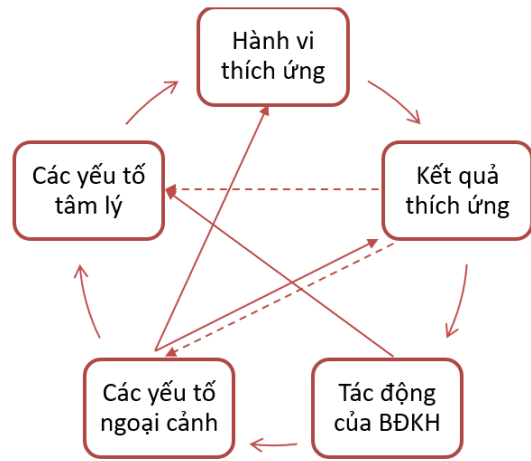
Nghiên cứu triển khai tại huyện Đà Bắc, huyện miền núi có tỷ lệ hộ nghèo cao, nơi lúa có vai trò quan trọng trong sinh kế của người dân. Thích ứng trong sản xuất lúa tại địa bàn không chỉ đóng góp vào việc hạn chế tái nghèo mà còn đảm bảo sinh kế, góp phần nâng cao năng lực ứng phó với biến đổi khí hậu. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng từ chiều cạnh hành vi sẽ là thông tin quan trọng cho các nhà quản lý trong việc lựa chọn can thiệp, hỗ trợ phù hợp để tăng cường khả năng thích ứng của cộng đồng một cách bền vững.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khung lý thuyết

Nghiên cứu phát triển khung lý thuyết về hành vi thích ứng [11] với 4 hợp phần chính, ở đó tác động của biến đổi khí hậu, yếu tố bối cảnh là đầu vào của các tiền đề tâm lý xã hội dẫn đến các hành vi thích ứng và kết quả của các hành vi đó, và sự phản hồi của hành vi thích ứng.

Với cách tiếp cận bối cảnh, trong nghiên cứu này, các yếu tố mang tính ngoại cảnh được xem là yếu tố tác động đến ý định, hành vi và kết quả thực hiện hành vi. Yếu tố tâm lý thể hiện qua ý định thích ứng khi ý định được xem như tiền đề quan trọng của hành vi thích ứng [12–15]. Khung lý thuyết nghiên cứu được thể hiện trong Hình 1.



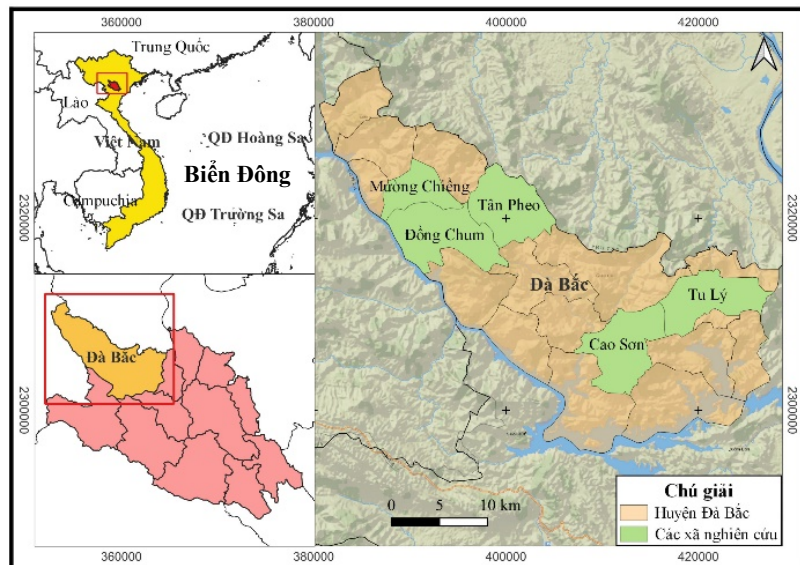
Hình 1. Khung lý thuyết nghiên cứu.

Nét liền: Quan hệ nguyên nhân-hệ quả giữa các yếu tố;
Nét đứt: Sự hồi tiếp của kết quả thích ứng đến các yếu tố đầu vào.

2.2. Khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu được triển khai tại huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình, Việt Nam (Hình 2), là địa phương phản ánh được nhiều đặc trưng của huyện miền núi. Huyện Đà Bắc có địa hình chia cắt phức tạp, độ dốc lớn. Huyện có khí hậu nhiệt đới gió mùa, nhiệt độ trung bình trong năm là 23-24°C; lượng mưa trung bình 1.800 mm/năm. Đất canh tác rải rác ở các thung lũng hoặc cao nguyên tương đối bằng phẳng; Báo cáo đánh giá biến đổi khí hậu tỉnh Hòa Bình cho thấy trong 58 năm gần đây (1961-2018), nhiệt độ trung bình năm tăng khoảng 1,2°C, trong khi lượng mưa có xu hướng giảm [16].

Về kinh tế, văn hóa, xã hội, Đà Bắc có tỷ lệ đồng bào dân tộc cao với nhiều dân tộc thiểu số như Mường, Thái, Tày, Dao, H'mông. Huyện có 18/20 xã đặc biệt khó khăn với tỷ lệ hộ nghèo lên tới 50%. Canh tác lúa là một trong những sinh kế quan trọng, với diện tích trồng lúa là 2030 ha (năm 2022), tổng sản lượng năm 2022 đạt 10.929 tấn [17]. 05 xã được lựa chọn trong nghiên cứu là Tu Lý, Cao Sơn, Mường Chiềng, Đồng Chum, Tân Pheo.



Hình 2. Khu vực nghiên cứu.

2.3. Thiết kế nghiên cứu và thu thập số liệu

Phương pháp phỏng vấn chuyên gia và thảo luận nhóm với các câu hỏi mở được áp dụng để tìm hiểu về thực trạng canh tác lúa tại huyện Đà Bắc, các tác động của biến đổi khí hậu trong canh tác lúa ở địa phương, các biện pháp thích ứng thường được triển khai. Chuyên gia là cán bộ Hội nông dân tỉnh, cán bộ hội nông dân huyện, cán bộ Sở nông nghiệp, cán bộ Trung tâm dịch vụ nông nghiệp.

Cỡ mẫu được xác định theo Cochran [18] cho thang đo khoảng, cỡ mẫu được xác định theo công thức:

$$n_0 = \frac{t^2 * s^2}{d^2} = \frac{1.96^2 * 1.25^2}{(5 * 0.3)^2} = 267$$

Trong đó t là giá trị cho mức alpha 0,25 trong mỗi đuôi = 1,96 (mức ý nghĩa alpha 0,05 chỉ mức độ rủi ro mà người nghiên cứu chấp nhận được); s là giá trị ước tính của độ lệch chuẩn = 1,25 (ước tính biến thiên độ lệch chuẩn cho thang 5 mức được tính bởi 5 mức chia 4 khoảng (bao gồm hầu hết đến 98% giá trị dữ liệu); d là biên sai chấp nhận được = 0,15 (5 thang đo \times mức chấp nhận sai số 0,03).

Trên tổng quy mô hộ của các xã nghiên cứu là 5344 hộ, cỡ mẫu cần có là 267. Tuy nhiên, với cỡ mẫu vượt quá 5% tổng mẫu, cỡ mẫu thực tế theo Cochran's (1977) là:

$$n_1 = \frac{n_0}{\left(1 + \frac{n_0}{\text{Tổng quy mô}}\right)} = \frac{267}{\left(1 + \frac{267}{5344}\right)} = 254$$

Trong đó tổng quy mô là 5344; n_0 là cỡ mẫu cần có tính theo công thức của Cochran = 267; n_1 là cỡ mẫu cần để đảm bảo cỡ mẫu > 5% tổng quy mô.

Để đảm bảo khả năng thu số lượng phiếu hỏi cần thiết, 300 hộ được khảo sát. Số phiếu hợp lệ để thực hiện chạy mô hình là 254 phiếu. Người trả lời là chủ hộ, là người ra quyết định chính hoạt động sản xuất nông nghiệp của hộ. Khảo sát chính thức triển khai thành 2 đợt: Đợt 1 triển khai vào tháng 1-2 năm 2022 khi người dân vừa bắt đầu vụ lúa mới, nhằm tìm hiểu ý định thực hiện một số biện pháp thích ứng trong canh tác lúa; Đợt 2 tiến hành vào tháng 11-12 năm 2022 nhằm đánh giá kết quả thực hiện biện pháp thích ứng.

2.4. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này sử dụng mạng Bayesian để phân tích kết quả của hành vi thích ứng với biến đổi khí hậu trong canh tác lúa thông qua sử dụng phần mềm Netica phiên bản 6.09 của Norsys Software Corp. Mạng Bayes là công cụ thống kê phi tham số dựa trên suy luận Bayes suy ra ảnh hưởng của các biến quan sát tới biến đích theo hai chiều nguyên nhân - hệ quả và ngược lại [19]. Cấu trúc mạng Bayes gồm hai phần: Phần thứ nhất là cấu trúc một đồ thị có định hướng không tuần hoàn (DAG), thể hiện qua các nút và các mũi tên tương ứng nhằm mô tả sự phụ thuộc lẫn nhau giữa các biến. Phần hai là tham số của mạng Bayes, là bảng xác suất có điều kiện (CPTs) nhằm xác định phân bố xác suất của các nút dựa trên nút gốc của chúng. Phân tích độ nhạy cho phép kiểm tra độ nhạy đầu ra của mô hình khi thay đổi các tham số đầu vào, cho phép xác định mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào đến biến mục tiêu thông qua độ giảm phương sai [20–22].

2.5. Mô tả biến và cắt biến

Trong bài toán sử dụng mạng Bayes, các biến liên tục thường được rời rạc hóa [23], trong đó số lượng các khoảng càng tăng thì càng có xu hướng cải thiện độ chính xác của mô hình. Một phương pháp rời rạc hóa được gọi là tốt khi nó duy trì hoặc tối đa sự phụ thuộc lẫn nhau giữa các biến. Bên cạnh đó, việc quyết định các giá trị giới hạn còn phụ thuộc vào mục tiêu nghiên cứu hoặc kiến thức chuyên môn liên quan tới biến nghiên cứu [24]. Trục các nút hành vi trong nghiên cứu này gồm 3 biến: ý định thích ứng, sự thực hiện hành vi thích ứng và kết quả của hành vi thích ứng.

Biến ý định thích ứng phản ánh suy nghĩ của một cá nhân về việc có ý định hay không có ý định triển khai biện pháp thích ứng. Ý định thích ứng khác với năng lực thích ứng khi mà một cá nhân hay hộ có thể có đầy đủ các điều kiện, nguồn lực để thực hiện hành vi nhưng họ có thể không có ý định thực hiện hành vi.

Biến hành vi thích ứng phản ánh sự có hay không thực hiện hành vi thích ứng trong thực tiễn. Giá trị của biến hành vi thích ứng được tính bằng tổng của số hành vi thích ứng đã thực hiện. Thông qua tham vấn chuyên gia tại địa phương và thảo luận nhóm nông dân, 05 hành vi thích ứng được lựa chọn để nghiên cứu bao gồm điều chỉnh lịch thời vụ, sử dụng giống chống chịu với điều kiện khí hậu, tăng cường sử dụng phân bón hữu cơ, áp dụng kỹ thuật giảm nước tưới và luân canh trên đất lúa. Như vậy, biến hành vi thích ứng nhận giá trị nhỏ nhất là 0 trong trường hợp hộ không thực hiện bất kỳ một biện pháp thích ứng nào, và nhận giá trị lớn nhất là 5 trong trường hợp tất cả các biện pháp thích ứng nêu trên đều đã được thực hiện.

Biến kết quả của hành vi thích ứng trong canh tác lúa của hộ được tính trên cơ sở phát triển chỉ số thích ứng của Below [25], ở đó chỉ số thích ứng của một hộ được tính bằng trung bình cộng của tích của hành vi thích ứng và trọng số bền vững của hành vi tương ứng. Trọng số bền vững của hành vi thích ứng được đánh giá bằng thang đo likert 5 mức độ với 3 tiêu chí gồm: Tính khả thi (mức độ một biện pháp thích ứng được thực hiện một cách dễ dàng), tính hiệu quả (mức độ một biện pháp thực hành thích ứng giúp giảm nhẹ các tác động bất lợi của biến đổi khí hậu) và khả năng nhân rộng (khả năng áp dụng ở các diện tích trồng lúa khác của hộ hoặc của những hộ lân cận).

Về các yếu tố nhân khẩu học, xã hội học, nghiên cứu này kế thừa kết quả nghiên cứu tổng quan của Tan-soo [26] với các biến trình độ học vấn, thu nhập, tuổi, giới tính. Bên cạnh đó, các yếu tố đặc trưng cho địa bàn nghiên cứu gồm dân tộc, trạng thái kinh tế hộ và vai trò của lúa trong sinh kế hộ cũng được đề cập.

Trong nghiên cứu này, biến ý định chia làm 2 trạng thái gồm có ý định hay không có ý định. Trong khi đó, biến hành vi thích ứng của hộ được chia thành 3 nhóm tương ứng số lượng hành vi thích ứng ở mức ít, trung bình hay nhiều. Biến kết quả của hành vi thích ứng được xác định theo tứ phân vị, gồm 4 trạng thái thích ứng rất kém, thích ứng kém, thích ứng tốt, thích ứng rất tốt. Mỗi biến nhân khẩu học, xã hội học đều có 2 trạng thái. Các nút của mô hình theo từng biến được mô tả trong Bảng 1.

Bảng 1. Mô tả các biến.

Biến	Loại biến	Mô tả biến	Trạng thái của biến	Trạng thái của biến trong mạng Bayes	Trung bình	Độ lệch chuẩn
Ý định thích ứng với biến đổi khí hậu	Biến liên tục	Ý định thực hiện hành vi thích ứng	1: Hoàn toàn không có ý định 2: Không có ý định 3: Bình thường 4: Có ý định 5: Rất có ý định	1: Không có ý định thích ứng 2: Có ý định thích ứng	1,64	0,48
Hành vi thích ứng với biến đổi khí hậu	Biến liên tục	Tổng số biện pháp thích ứng mà hộ đã thực hiện Giá trị nhỏ nhất = 0 Giá trị lớn nhất = 5	1: Có thực hiện biện pháp thích ứng 0: Không thực hiện biện pháp thích ứng Tổng số hành vi thích ứng:	Ít: ≤ 2 biện pháp Trung bình: 3-4 biện pháp Nhiều: 5 biện pháp	1,85	0,86
Kết quả thực hiện hành vi thích ứng	Biến liên tục	Kết quả thực hiện các biện pháp thích ứng mà hộ đã được triển khai, tính bằng chỉ số thích ứng AI	Giá trị nhỏ nhất = 0 Giá trị lớn nhất = 15	1: Rất kém 2: Kém 3: Tốt 4: Rất tốt	2,12	0,85
Vai trò chủ đạo của lúa	Biến rời rạc	Vai trò quan trọng hay không quan	1 = Lúa là sinh kế quan trọng	1: Có 0: Không	0,85	0,36

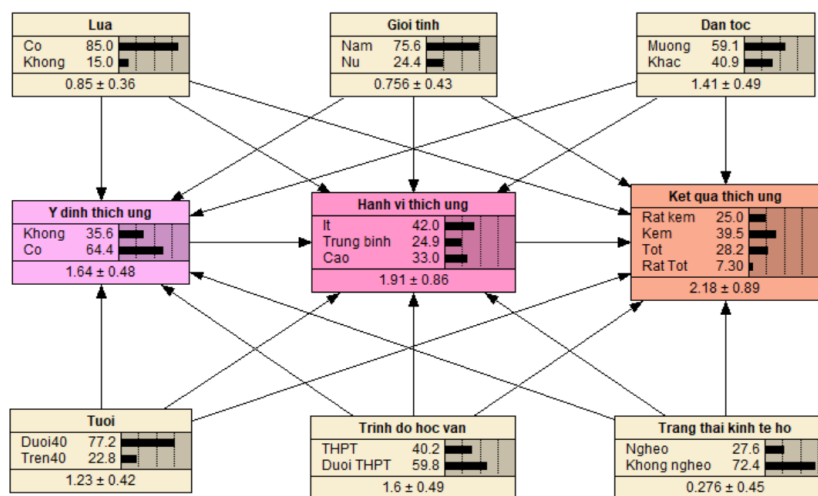
Biến	Loại biến	Mô tả biến	Trạng thái của biến	Trạng thái của biến trong mạng Bayes	Trung bình	Độ lệch chuẩn
trong sinh kế hộ		trọng của canh tác lúa trong sinh kế của hộ	0 = Lúa không phải sinh kế quan trọng			
Giới tính	Biến rời rạc	Giới tính của chủ hộ	1: Nam 0: Nữ	1: Nam 0: Nữ	0,76	0,43
Dân tộc	Biến rời rạc	Dân tộc của chủ hộ	1: Mường 2: Khác	1: Mường 2: Khác	1,41	0,49
Trình độ học vấn	Biến liên tục	Số năm đi học của chủ hộ	1: Đã học hết Trung học phổ thông 2: Chưa học hết Trung học phổ thông	1: Đã học hết Trung học phổ thông 2: Chưa học hết Trung học phổ thông	1,60	0,49
Trạng thái kinh tế của hộ	Biến rời rạc	Phân loại trạng thái kinh tế nghèo hay không nghèo của hộ	1: Nghèo 0: Không nghèo	1: Nghèo 0: Không nghèo	0,28	0,45
Tuổi chủ hộ	Biến liên tục	Tuổi của chủ hộ	1: Bằng hoặc dưới 40 tuổi 2: Trên 40 tuổi	1: ≤ 40 tuổi 2: > 40	1,23	0,42

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả

Kết quả chạy mô hình mạng Bayes được thể hiện trong Hình 3, cho biết xác suất ban đầu của mỗi biến. Giá trị bên dưới mỗi nút là giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của từng yếu tố. Cụ thể, phần lớn số hộ tham gia khảo sát có lúa là sinh kế quan trọng, chiếm 85%. Tỷ lệ chủ hộ chưa học hết THPT chiếm đa số với xấp xỉ 60%; Mường là dân tộc phổ biến nhất (59%) và phần lớn chủ hộ là nam giới, chiếm gần 75,6%.

Liên quan đến các biến thuộc nhóm hành vi, có 64,4% số hộ tham gia phỏng vấn có ý định thực hiện thích ứng. Trong số 5 hành vi thích ứng, số hộ thực hiện từ 1-2 hành vi thích ứng chiếm đa số với 42% số hộ, theo sau là số hộ thực hiện 5 hành vi thích ứng và từ 3-4 hành vi thích ứng, với tỷ lệ lần lượt là 33% và 25%. Phần lớn số hộ có kết quả thích ứng chưa tốt (với tổng chỉ số thích ứng ở mức kém và rất kém là 64%), trong khi đó, mức thích ứng tốt (thể hiện qua chỉ số thích ứng tốt và rất tốt) chỉ đạt khoảng 36%.



Hình 3. Mô hình mạng Bayes thể hiện thực trạng thích ứng của hộ trong canh tác lúa.

Phân tích độ nhạy trong mô hình mạng Bayes cho biết mức độ mà một biến trong mô hình ảnh hưởng đến biến mục tiêu và được định lượng thông qua độ giảm phương sai. Giá trị giảm phương sai càng cao thì mức độ ảnh hưởng đến biến mục tiêu càng lớn.

Bảng 2. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến kết quả thực hiện thích ứng.

Yếu tố	Hành vi	Ý định	Dân tộc	Sinh kế	Kinh tế hộ	Giới tính	Trình độ học vấn	Tuổi chủ hộ
Độ giảm phương sai (%)	27,23	8,52	3,39	1,85	1,54	0,96	0,50	0,48

Bảng 2 cho thấy kết quả phân tích độ nhạy đối với các biến ảnh hưởng, xếp theo thứ tự ảnh hưởng giảm dần đến biến mục tiêu tương ứng. Kết quả phân tích độ nhạy chỉ ra rằng số lượng hành vi thích ứng đã được thực hiện có ảnh hưởng nhiều nhất đến kết quả thích ứng, với giá trị độ giảm phương sai là 27,23%, theo sau là ý định thích ứng (8,52%). Các yếu tố dân tộc, vai trò của lúa trong sinh kế, trạng thái kinh tế hộ, giới tính, trình độ học vấn và tuổi chủ hộ cũng có ảnh hưởng tới kết quả thích ứng nhưng ở mức thấp hơn với độ giảm phương sai từ 0,48 đến 3,39%. Như vậy việc thực hiện thích ứng của hộ có đạt kết quả tốt hay kém phụ thuộc rất nhiều vào việc hộ có ý định thực hiện thích ứng hay không và trong thực tiễn, có bao nhiêu biện pháp thích ứng đã được triển khai. So với một số yếu tố ngoại cảnh thì hai yếu tố ý định và hành vi thực hiện thích ứng có ảnh hưởng đáng kể nhất đến kết quả thực hiện thích ứng.

3.2. Thảo luận

Thông qua áp dụng mô hình tích hợp giữa các tiền đề tâm lý hành vi với các tiền đề ngoại cảnh tới hành vi và kết quả thực hiện hành vi với cách tiếp cận liên ngành, nghiên cứu làm rõ vai trò của các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả của hành vi thích ứng biến đổi khí hậu. Lựa chọn hành vi thích ứng trong canh tác lúa tại một tỉnh miền núi phía Bắc Việt Nam, nghiên cứu xác định ý định thích ứng, các hành vi thích ứng chủ đạo và đánh giá sự bền vững của kết quả thích ứng thông qua chỉ số thích ứng. Trên cơ sở đó, mô hình mạng Bayes được áp dụng nhằm đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố tâm lý và phi tâm lý đến kết quả thích ứng.

Yếu tố hành vi thích ứng: Các yếu tố ảnh hưởng kết quả thích ứng cho thấy hành vi thích ứng là một trong những yếu tố tác động đáng kể nhất, độ nhạy là 27,23%. Trước hết là do biến đổi khí hậu ảnh hưởng đến con người và hệ thống tự nhiên theo nhiều cách khác nhau, đòi hỏi những biện pháp thích ứng khác nhau [27]. Sự kết hợp nhiều biện pháp thích ứng làm giảm đáng kể thiệt hại do biến đổi khí hậu [27]. Thêm vào đó, về mặt sinh lý học thực vật, ở các thời kỳ sinh trưởng khác nhau của cây có thể chịu những tổn thương khác nhau do biến đổi khí hậu [28].

Yếu tố ý định thích ứng: Yếu tố ý định thích ứng là một tiền đề mang tính tâm lý - xã hội quan trọng trong việc cấu thành nên hành vi thích ứng [11, 29–32], từ đó đóng góp vào hiệu quả thích ứng. Nghiên cứu này đóng góp thêm một minh chứng mang tính định lượng về vai trò của ý định đến hiệu quả thích ứng với biến đổi khí hậu trong lĩnh vực nông nghiệp, cụ thể là canh tác lúa, với giá trị giảm phương sai đạt 8,52%.

Yếu tố dân tộc: Trong số các đặc trưng nhân khẩu học, Dân tộc là một trong những yếu tố có ảnh hưởng đến việc thực hiện thích ứng và kết quả thích ứng. Trong nghiên cứu này, yếu tố dân tộc chỉ đứng sau vai trò của yếu tố hành vi và ý định thích ứng, với giá trị giảm phương sai là 3,39%, trong đó dân tộc Mường được chỉ ra là có khả năng thích ứng tốt hơn các dân tộc khác tại địa bàn nghiên cứu. Ở Việt Nam, một số nghiên cứu chỉ ra sự khác biệt của dân tộc ảnh hưởng đến khả năng thích ứng như [33–38]. Với đặc trưng dân tộc Mường là cư dân bản địa lâu đời, là dân tộc phổ biến nhất ở tỉnh Hòa Bình và lúa là một cây trồng mang tính truyền thống, các tập quán canh tác và thực hành thích ứng có thể dễ dàng được triển khai hơn so với một số dân tộc khác.

Yếu tố vai trò của lúa trong sinh kế: Mặc dù địa phương đang trong quá trình chuyển đổi cơ cấu cây trồng, lúa vẫn là một cây trồng quan trọng giúp đảm bảo nhu cầu tự cung cấp lương thực của hộ gia đình. Trong nghiên cứu này, với 85% số hộ coi lúa là một cây trồng quan trọng trong sinh kế, yếu tố vai trò của lúa trong sinh kế có độ nhạy 1,85% trong việc

đóng góp vào kết quả thích ứng. Với đặc thù điều kiện thời tiết, khí hậu của huyện Đà Bắc thuận lợi cho canh tác lúa và các hoạt động hỗ trợ của chính quyền địa phương trong việc giới thiệu, thử nghiệm các giống lúa mới có chất lượng tốt, năng suất cao, một số thương hiệu lúa gạo sạch chất lượng cao như gạo J02 đã được chú trọng phát triển ở địa phương. Đồng thời, địa phương cũng khuyến khích sản xuất thêm vụ đông trên đất lúa để gia tăng thu nhập [16].

Yếu tố trạng thái kinh tế hộ: Trạng thái kinh tế hộ có ảnh hưởng đến khả năng thực hiện hành vi thích ứng [26], từ đó ảnh hưởng đến kết quả thích ứng. Điều này là do quá trình ứng phó để bảo vệ sinh kế khỏi những tác động và thiệt hại do biến đổi khí hậu gây ra đòi hỏi sự đầu tư về nguồn lực, trong đó có tài chính [39]. Trong bài toán thích ứng với biến đổi khí hậu, những hộ có điều kiện kinh tế tốt hơn thì có khả năng chống chịu tốt hơn những hộ nghèo [34, 40].

Yếu tố giới tính: Giới tính là một trong những yếu tố nhân khẩu học có ảnh hưởng đến quyết định thích ứng và kết quả thích ứng [29]. Sự khác biệt giữa giới nam và giới nữ đối với việc thực hiện thích ứng với biến đổi khí hậu có thể xuất phát từ sự khác biệt trong cách suy nghĩ của hai giới. Trong nghiên cứu này, nữ giới là chủ hộ có khả năng đạt được kết quả thích ứng tốt hơn. Điều này là do lúa là cây trồng quen thuộc nên nữ giới có thể dễ dàng ra quyết định và tham gia vào quá trình triển khai. Thêm vào đó, việc xác định cây lúa có vai trò trong đảm bảo những nhu cầu lương thực tối thiểu của hộ, nam giới có xu hướng đảm đương những công việc nông nghiệp khác như trồng rừng, hoặc làm các việc phi nông nghiệp.

Yếu tố trình độ học vấn: Trong số các yếu tố mang tính ngoại cảnh thì trình độ học vấn là một yếu tố rất quan trọng trong việc đóng góp vào việc triển khai các hoạt động thích ứng [29], và được xác định như một yếu tố tích cực trong hầu hết các nghiên cứu [26]. Nghiên cứu này đóng góp thêm một minh chứng về tầm quan trọng của trình độ học vấn đối với thích ứng với biến đổi khí hậu từ hành vi đến hiệu quả. Giáo dục cho phép nông dân tiếp cận được các thông tin cần thiết, tăng khả năng giải quyết vấn đề [41] và từ đó thúc đẩy việc thực hành thích ứng phù hợp với điều kiện của hộ [42]. Với đặc trưng của địa bàn nghiên cứu là vùng núi và đồng bào dân tộc thiểu số cao thì trình độ học vấn lại càng trở nên quan trọng khi nó ảnh hưởng đến khả năng tiếp nhận các thông tin, kiến thức và khả năng áp dụng các biện pháp thích ứng.

Yếu tố tuổi của chủ hộ: Vai trò của tuổi trong triển khai các thực hành thích ứng với biến đổi khí hậu đã được đề cập trong hầu hết các nghiên cứu [26], mặc dù vai trò của tuổi đến hành vi thích ứng thay đổi tùy thuộc từng nghiên cứu. Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng tuổi trẻ liên quan đến mức độ sẵn sàng tiếp nhận các kiến thức, kỹ thuật mới, do đó nó có đóng góp vào việc ra quyết định triển khai các biện pháp thích ứng, từ đó ảnh hưởng tới kết quả thích ứng. Nghiên cứu này chỉ ra rằng ở độ tuổi từ 40 trở xuống thì hiệu quả thích ứng có xu hướng tăng lên. Điều này là do tuổi trẻ có sự năng động và dám chấp nhận rủi ro trong thử nghiệm các kỹ thuật, công nghệ mới để có thể tăng hiệu quả sản xuất [43] và có khả năng tiếp cận thông tin về biến đổi khí hậu qua các phương tiện truyền thông hiện đại [44]. Thêm vào đó, kinh nghiệm chỉ đóng một phần vai trò trong việc thực hiện một số biện pháp thích ứng tương đối đơn giản như thay đổi lịch thời vụ.

4. Kết luận

Trước những tác động của biến đổi khí hậu, việc nghiên cứu sâu về các hành vi thích ứng với biến đổi khí hậu từ nguyên nhân đến kết quả ngày càng trở nên quan trọng, đặc biệt là trong những lĩnh vực cụ thể như nông nghiệp khi mà hành vi gắn chặt với sinh kế. Nghiên cứu này làm sáng tỏ các yếu tố tâm lý và phi tâm lý ảnh hưởng đến hành vi và kết quả thích ứng.

Bằng việc nghiên cứu hành vi thích ứng của người dân trong canh tác lúa tại một tỉnh miền núi phía Bắc Việt Nam với phần lớn là đồng bào dân tộc thiểu số, nghiên cứu này đã làm rõ các yếu tố nội tại và ngoại cảnh ảnh hưởng đến kết quả thích ứng. Nghiên cứu đã chỉ

ra vai trò đáng kể của việc kết hợp triển khai nhiều biện pháp thích ứng và ý định thích ứng trong việc cấu thành nên kết quả thích ứng. Bên cạnh đó, trong số các yếu tố ngoại cảnh thì nữ giới, trình độ học vấn, trạng thái kinh tế hộ và vai trò của lúa trong sinh kế là những yếu tố quan trọng đóng góp vào sự thành công của thực hành thích ứng. Do đó, việc giới thiệu nhiều lựa chọn thích ứng khác nhau và nâng cao nhận thức của người dân về các tiềm năng, lợi ích của thích ứng với biến đổi khí hậu trong sản xuất nông nghiệp là thực sự cần thiết để có thể đạt được những kết quả thích ứng bền vững.

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

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

Tài liệu tham khảo

1. Pörtner, H.O.; Roberts, D.C.; Tignor, M.; Poloczanska, E.S.; Mintenbeck, K.; Alegria, A.; Craig, M.; Langsdorf, S.; Löschke, S.; Möller, V.; Okem, A. *Climate Change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability contribution of working group ii to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2022.
2. Altieri, M.A.; Nicholls, C.I. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Clim. Change* **2017**, *140*(1), 33–45. doi: 10.1007/s10584-013-0909-y.
3. Bank, W. Taking Stock, March 2023: Harnessing the potential of the services sector or growth. *Tak. Stock. March 2023 Harnessing Potential Serv. Sect. Growth*, 2023, 3, doi: 10.1596/39524.
4. Bank, W. Vietnam country climate and development report. *Vietnam Ctry. Clim. Dev. Rep.* **2022**, *7*, doi: 10.1596/37618.
5. Hoa, L.D.; Elton, L.; Ian, N.; Johan, B. Factors influencing the adaptation of farmers in response to climate change: a review. *Clim. Dev.* **2019**, *11*(9), 765–774. doi: 10.1080/17565529.2018.1562866.
6. Nhat, L.D.T.; Roberto, F.; Bjoern, O.S.; Wasmann, R.; Dinh, T.N.; Nong, K.N.N. Determinants of adoption of climate-smart agriculture technologies in rice production in Vietnam. *Int. J. Clim. Chang. Strateg. Manag.* **2020**, *12*(2), 238–256. doi: 10.1108/IJCCSM-01-2019-0003.
7. Tuan, N.A.; Duy, N.; Shawn, L.; Nguyen, T.T. Changes in the environment from perspectives of small-scale farmers in remote Vietnam. *Reg. Environ. Chang.* **2021**, *21*(4), 98. doi: 10.1007/s10113-021-01835-6.
8. Brian, B. et al. Linking models of human behaviour and climate alters projected climate change. *Nat. Clim. Chang.* **2018**, *8*(1), 79–84. doi: 10.1038/s41558-017-0031-7.
9. Gifford, R.; Kormos, C.; McIntyre, A. Behavioral dimensions of climate change: Drivers, responses, barriers, and interventions. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* **2011**, *2*(6), 801–827. doi: 10.1002/wcc.143.
10. Bryant, C.R. Adaptation in Canadian Agriculture to Climatic Variability and Change. *Anthropol. Food* **2020**, *S14*, 181–201. doi: 10.4000/aof.10723.
11. Carman, J.P.; Zint, M.T. Defining and classifying personal and household climate change adaptation behaviors. *Glob. Environ. Chang.* **2020**, *61*, 102062. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2020.102062.
12. Fielding, K.S.; Terry, D.J.; Masser, B.M.; Hogg, M.A. Integrating social identity theory and the theory of planned behaviour to explain decisions to engage in

- sustainable agricultural practices. *Br. J. Soc. Psychol.* **2008**, 47(1), 23–48. doi: 10.1348/014466607X206792.
13. Li, X.; Zhang, Y.; Guo, F.; Gao, X.; Wang, Y. Predicting the effect of land use and climate change on stream macroinvertebrates based on the linkage between structural equation modeling and bayesian network. *Ecol. Indic.* **2016**, 85, 820–831. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.11.044.
 14. Adnan, N.; Nordin, S.M.; Bahruddin, M.A.; Tareq, A.H. A state-of-the-art review on facilitating sustainable agriculture through green fertilizer technology adoption: Assessing farmers behavior. *Trends Food Sci. Technol.* **2019**, 86, 439–452. doi: 10.1016/j.tifs.2019.02.040.
 15. Castillo, G.M.L.; Engler, A.; Wollni, M. Planned behavior and social capital: Understanding farmers' behavior toward pressurized irrigation technologies. *Agric. Water Manag.* **2021**, 243, 106524. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106524.
 16. People's Committee of Hoa Binh Province. Updated action plan to response to climate change in Hoa Binh Province, 2019.
 17. Da Bac, P.C. The implementation of the 2022 socio-economic development plan of Da Bac District, 2022.
 18. Bartlett, J.E.; Kotrlik, J.W.; Higgins, C.C. Determing appropriate sample size in survey research. *Inf. Technol. Learn. Perform. J.* **2001**, 19(1), 43–50.
 19. Pearl, J. Probabilistic reasoning in intelligent systems: Networks of plausible inference. The 2nd ed. Sanfrancisco, California: Morgan Kauffman Publishers, 1988.
 20. Borsuk, M.E.; Stow, C.A.; Reckhow, K.H. A Bayesian network of eutrophication models for synthesis, prediction, and uncertainty analysis. *Ecol. Modell.* **2004**, 173(2–3), 219–239. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2003.08.020.
 21. Marcot, B.G.; Steventon, J.D.; Sutherland, G.D.; McCann, R.K. Guidelines for developing and updating Bayesian belief networks applied to ecological modeling and conservation. *Can. J. For. Res.* **2006**, 36(12), 3063–3074. doi: 10.1139/X06-135.
 22. Newton, A.C. Environmental modelling: new research. Nova Science Publishers, New York, 2009.
 23. Finn, T.D.N.; Jensen, V. Bayesian networks and decision graphs. The 2nd ed. Springer New York, NY, 2007.
 24. Pollino, C.A.; Woodberry, O.; Nicholson, A.; Korb, K.; Hart, B.T. Parameterisation and evaluation of a Bayesian network for use in an ecological risk assessment. *Environ. Model. Softw.* **2007**, 22(8), 1140–1152. doi: 10.1016/j.envsoft.2006.03.006.
 25. Below, T.B. et al. Can farmers' adaptation to climate change be explained by socio-economic household-level variables? *Glob. Environ. Chang.* **2012**, 22(1), 223–235. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2011.11.012.
 26. Tan-Soo, J.S.; Li, J.; Qin, P. Individuals' and households' climate adaptation and mitigation behaviors: A systematic review. *China Econ. Rev.* **2023**, 77, 101879. doi: 10.1016/j.chieco.2022.101879.
 27. IPCC. IPCC AR6, 2022, pp. 1386.
 28. Asseng, S.; Zhu, Y.; Wang, E.; Zhang, W. Crop modeling for climate change impact and adaptation. Second Edi. Elsevier Inc., 2015.
 29. Le Dang, H.; Li, E.; Nuberg, I.; Bruwer, J. Factors influencing the adaptation of farmers in response to climate change: A review. *Clim. Dev.* **2019**, 11(9), 765–774. doi: 10.1080/17565529.2018.1562866.
 30. Talanow, K.; Topp, E.N.; Loos, J.; Martín-López, B. Farmers' perceptions of climate change and adaptation strategies in South Africa's Western Cape. *J. Rural Stud.* **2021**, 81, 203–219. doi: 10.1016/j.jrurstud.2020.10.026.
 31. Chandio, A.A.; Jiang, Y.; Ahmad, F.; Adhikari, S.; Ain, Q.U. Assessing the impacts of climatic and technological factors on rice production: Empirical evidence from

- Nepal. *Technol. Soc.* **2021**, 66, 101607. doi: 10.1016/j.techsoc.2021.101607.
32. Yang, X.; Zhou, X.; Deng, X. Modeling farmers' adoption of low-carbon agricultural technology in Jiangnan Plain, China: An examination of the theory of planned behavior. *Technol. Forecast. Soc. Change* **2022**, 180, 121726. doi: 10.1016/j.techfore.2022.121726.
 33. Nguyen, Y.T.B.; Leisz, S.J. Determinants of livelihood vulnerability to climate change: Two minority ethnic communities in the northwest mountainous region of Vietnam. *Environ. Sci. Policy* **2021**, 123, 11–20. doi: 10.1016/j.envsci.2021.04.007.
 34. Phuong, T.T.; Tan, N.Q.; Dinh, N.C.; Van Chuong, H.; Ha, H.D.; Hung, H.T. Livelihood vulnerability to climate change: Indexes and insights from two ethnic minority communities in Central Vietnam. *Environ. Challenges* **2023**, 10, 100666. doi: 10.1016/j.envc.2022.100666.
 35. Le, H.D.; Dang, H.T.H.; Harrison, S. Key factors influencing Vietnam REDD+ Participation. *J. Sustain. For.* **2023**, 42(3), 241–259. doi: 10.1080/10549811.2021.1993926.
 36. Son, H.N.; Chi, D.T.L.; Kingsbury, A. Indigenous knowledge and climate change adaptation of ethnic minorities in the mountainous regions of Vietnam: A case study of the Yao people in Bac Kan Province. *Agric. Syst.* **2019**, 176, 102683. doi: 10.1016/j.agry.2019.102683.
 37. Sen, L.T.H.; Bond, J.; Winkels, A.; Linh, N.H.K.; Dung, N.T. Climate change resilience and adaptation of ethnic minority communities in the upland area in Thừa Thiên-Huế province, Vietnam. *NJAS - Wageningen J. Life Sci.* **2020**, 92, 100324. doi: 10.1016/j.njas.2020.100324.
 38. Van Huynh, C. et al. Indigenous knowledge in relation to climate change: adaptation practices used by the Xo Dang people of central Vietnam. *Heliyon* **2020**, 6(12), e05656. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05656.
 39. Du, K.; Yu, Y.; Wei, C. Climatic impact on China's residential electricity consumption: Does the income level matter?. *China Econ. Rev.* **2020**, 63, 101520. doi: 10.1016/j.chieco.2020.101520.
 40. Arouri, M.; Nguyen, C.; Ben Youssef, A. Natural Disasters, Household Welfare, and Resilience: Evidence from Rural Vietnam. *World Dev.* **2015**, 70, 59–77.
 41. Chepkoech, W.; Stöber, S.; Kurgat, B.K.; Bett, H.K.; Mungai, N.W.; Lotze-Campen, H. What drives diversity in climate change adaptation strategies for African indigenous vegetable production in Kenya?. *Econ. Anal. Policy* **2023**, 77, 716–728. doi: 10.1016/j.eap.2022.12.016.
 42. Ndamani, F.; Watanabe, T. Determinants of farmers' adaptation to climate change: A micro level analysis in Ghana. *Sci. Agric.* **2016**, 73(3), 201–208. doi: 10.1590/0103-9016-2015-0163.
 43. Alwarrizti, W.; Nanseki, T.; Chomei, Y. Analysis of the Factors Influencing the Technical Efficiency among Oil Palm Smallholder Farmers in Indonesia. *Procedia Environ. Sci.* 2015, 28, 630–638. doi: 10.1016/j.proenv.2015.07.074.
 44. Bekuma, T.; Mamo, G.; Regassa, A. Research in Globalization Indigenous and improved adaptation technologies in response to climate change adaptation and barriers among smallholder farmers in the East Wollega Zone of Oromia, Ethiopia. *Res. Glob.* **2023**, 6, 100110. doi: 10.1016/j.resglo.2022.100110.

Apply Bayesian network to evaluate determinants of climate change adaptation outcomes in rice cultivation at Hoa Binh province

Ho Xuan Huong^{1*}, Le Dinh Hai², Pham Thi Hang³

¹ School of Interdisciplinary Studies, Vietnam National University, Hanoi;
hoxuanhuong@vnu.edu.vn

² University of Economics and Business, Vietnam National University, Hanoi;
haifuv@gmail.com

³ People's Security Academy; phamthihang78@gmail.com

Abstract: Adaptation to climate change is a complex process where the application of adaptation measures and their outcomes are influenced by both internal and external factors. This study aims to explore the contribution of psychological antecedents and socio-economic antecedents to the results of adaptive behaviors. Through a sociological survey and understanding the impacts of climate change on 254 rice farming households in Hoa Binh province, Vietnam, the study applied a Bayesian network (a non-parametric statistical method) to determine the influence of behavioral factors on adaptation outcomes. The results show that two main factors are the number of adaptation measures taken with a sensitivity level of 27.23% and the intention to adapt with a sensitivity level of 8.52%. In addition, socio-economic factors such as ethnicity, education level, the role of rice in household livelihoods, household economic status, and the age of the household head also impact adaptation results. The study emphasizes the importance of providing a variety of adaptation solutions and raising people's awareness of the potential and benefits of climate change adaptation in agricultural production.

Keywords: Adaptation outcomes; Agriculture; Determinants; Bayesian network.

Bài báo khoa học

Đánh giá hiện trạng hợp chất Peflo (PFCs) trong nước sông trên địa bàn huyện Đông Anh, Thành phố Hà Nội

Vũ Thanh Hằng¹, Đỗ Hữu Tuấn^{1*}, Phan Thị Lan Anh^{2,3}

¹ Khoa môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. Địa chỉ: 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân Hà Nội; vuthanhhang_sdh@hus.edu.vn; tuandh@vnu.edu.vn

² Trung tâm Nghiên cứu Công nghệ Môi trường và Phát triển bền vững (CETASD), Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; lananh@vnu.edu.vn

³ Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Công nghệ phân tích phục vụ kiểm định môi trường và an toàn thực phẩm (KLATEFOS), Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; lananh@vnu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: tuandh@vnu.edu.vn; Tel.: +84-2438584995

Ban Biên tập nhận bài: 14/11/2023; Ngày phản biện xong: 28/12/2023; Ngày đăng bài: 25/4/2024

Tóm tắt: Các hợp chất Peflo hóa (PFCs) với nhiều đặc tính hữu ích như sự ổn định nhiệt và hoá học, có khả năng thấm dầu, mỡ và nước được ứng dụng cao trong đời sống hiện nay. Song song với lợi ích nó mang lại, độc tính của PFCs vẫn chưa được mô tả rõ nhưng đã có một số nghiên cứu các ảnh hưởng trên gan như sự phình to gan và u gan, thử nghiệm cảm biến độc tính với hệ thống miễn dịch và bệnh ung thư. Nghiên cứu này tiến hành đánh giá nồng độ các hợp chất Peflo trong nước sông trên địa bàn huyện Đông Anh, Thành phố Hà Nội trong 2 đợt tháng 12/2021 và tháng 6/2022 và đề xuất biện pháp nâng cao hiệu quả quản lý bằng các phương pháp các phương pháp khảo sát, lấy mẫu, phân tích mẫu, và đánh giá rủi ro. Kết quả nghiên cứu cho thấy tổng hàm lượng các hợp chất PFCs trong các mẫu nước thu thập dọc các sông chảy qua huyện Đông Anh đều nằm trong khoảng từ 10^{-4} ng/l đến 387.704 ng/l. Hàm lượng các cấu tử chất PFCs hầu hết đều thấp hơn giới hạn cho phép về chất tuy nhiên, đáng kể đến là hàm lượng dibenzo [a,h]anthracen trong tất cả các mẫu lại vượt ngưỡng từ 1,13 đến 4,69 lần. Kết quả nghiên cứu góp phần vào công tác quản lý chất lượng nước sông trên địa bàn huyện Đông Anh, Hà Nội.

Từ khóa: PFCs; Peflo; Nước sông; Đông Anh; Hà Nội.

1. Mở đầu

Các hợp chất PFCs (*Perfluorinated Compounds*) là một loại hợp chất hữu cơ mà các nguyên tử hydro tại tất cả các vị trí liên kết C-H đã được thay thế bằng nguyên tử fluor tạo thành liên kết C-F. Các sản phẩm chứa PFCs được sử dụng trong quá trình sinh hoạt của con người đã thải ra môi trường tác động đến môi trường nước mặt, nước ngầm, nước biển, cũng như gây ra sự tích tụ của chúng trong trầm tích và không khí. Hai hợp chất Peflorooctansunfonat (PFOS) và peflorooctansunfonyl florua (PFOSF) có tính bền vững, khả năng tích tụ sinh học và sự tồn tại lâu dài trong môi trường, cũng như gây ra tác động tiêu cực đối với sức khỏe con người đã được đưa vào danh mục hợp chất hữu cơ khó phân hủy POPs [1]. Những nghiên cứu về mức độ ô nhiễm cũng như tác động của các hợp chất PFCs đối với môi trường, cơ thể con người và động vật đã được tiến hành trong một khoảng thời gian khá dài. Các nghiên cứu cho thấy PFCs đã được tìm thấy trong không khí [2], nước mặt

[3–6], trầm tích [5–7] và mẫu sinh học [8–10]. Trong số các hợp chất PFCs, perfluorooctansulfonate (PFOS) và axit perfluorooctanoic (PFOA) là 2 hợp chất điển hình và thường được phát hiện ở nồng độ cao nhất trong nền mẫu môi trường [11–15].

Tại Việt Nam, đã có một số nghiên cứu công bố việc phát hiện sự hiện diện của các hợp chất PFCs trong nước thải đô thị, nước thải tại một số làng nghề tái chế, và thậm chí đã tìm thấy chúng trong cá ở một số sông và hồ ở Việt Nam [16]. Một nghiên cứu gần đây được thực hiện bởi nhóm nghiên cứu Joo Woo tại Đại học Ehime vào năm 2012 đã báo cáo việc phát hiện sự có mặt của 17 hợp chất PFCs trong nước thải được thu thập từ các khu vực bãi rác tại thành phố Hà Nội và từ các làng nghề tái chế rác thải điện tử và tái chế chì ở các tỉnh lân cận Hà Nội [6]. Tuy nhiên chưa có nghiên cứu nào thực hiện trên địa bàn huyện Đông Anh, một trong những nơi tập trung các khu công nghiệp, cụm công nghiệp, cùng với đó là tốc độ đô thị hoá đang diễn ra nhanh chóng, đặc biệt có hệ thống sông ngòi bao gồm 5 sông lớn chảy qua địa bàn huyện: Sông Cà Lồ, Sông Hoàng Giang, Sông Ngũ Huyện Khê, Sông Hồng, Sông Đuống. Nghiên cứu này đã tiến hành khảo sát, lấy mẫu phân tích, đmnh giá nồng độ hợp chất Peflo trong nước sông trên địa bàn huyện Đông Anh với các mục tiêu chính: (1) Đánh giá được hiện trạng nồng độ PFCs trong các sông trên địa bàn huyện Đông Anh, (2) Đánh giá mức độ rủi ro của hợp chất PFCs đối với môi trường nước sông tại khu vực nghiên cứu, (3) Bước đầu xác định các nguồn ô nhiễm PFCs khu vực nghiên cứu.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

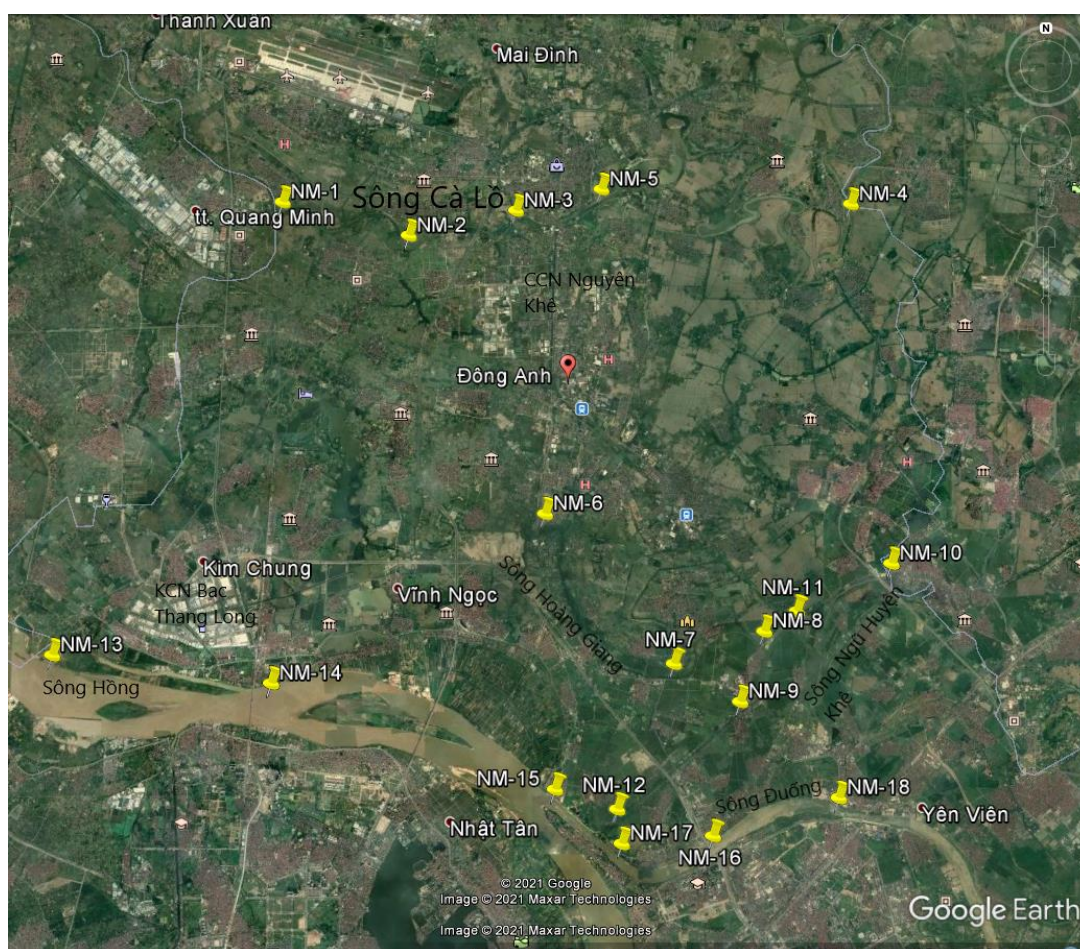
Đối tượng nghiên cứu: 17 hợp chất PFCs trong môi trường nước sông trên địa bàn Huyện Đông Anh trong nghiên cứu này bao gồm: Axit peflobutanoic (PFBA), Axit peflopentanoic PFPeA, Axit peflohexanoic PFHxA, Axit pefloheptanoic PFHpA, Axit peflooctanoic (PFOA), Axit peflononanoic (PFNA), Axit peflodecanoic (PFDA), Axit Peflundecanoic (PFUDA), Axit Peflododecanoic (PFDoA), Axit Peflotridecanoic (PFTrDA), Axit Peflotetradecanoic (PFTeDA), Axit Peflohexadecanoic (PFHxDA), Axit Peflooctadecanoic (PFODA), Muối peflohexansulfonate (L-PFHxS), Muối peflooctansulfonate (L-PFOS), Muối Peflodecansulfonate (L-PFDS), Muối peflobutanesulfonate (L-PFBA).

Phạm vi nghiên cứu: Sông Cà Lồ, Sông Hoàng Giang, Sông Ngũ Huyện Khê, Sông Hồng, Sông Đuống thuộc qua huyện Đông Anh, TP Hà Nội (Hình 1). Vị trí các điểm quan trắc được thống kê trong bảng 1.

Bảng 1. Thông tin vị trí các điểm quan trắc.

STT	Địa điểm lấy mẫu	Ký hiệu	Tọa độ	
			Vĩ độ	Kinh độ
I	Sông Cà Lồ			
1	Điểm tiếp giáp với huyện Mê Linh (đặc biệt là KCN Quang Minh, huyện Mê Linh)	NM01	21.0048463	105.8031829
2	Điểm NM trước xã Nguyên Khê	NM02	21.1871414	105.8017273
3	Gần CCN Nguyên Khê	NM03	21.1890020	105.8149505
4	Điểm tiếp giáp với Bắc Ninh	NM04	21.1932752	106.6570421
5	Điểm sau CCN Nguyên Khê	NM05	21.1932823	106.6054503
II	Sông Hoàng Giang			
6	Điểm đầu Sông	NM06	21.1309118	106.5936843
7	Điểm trước khi đi qua xã Cổ Loa, điểm ở giữa các cơ sở sản xuất cơ khí	NM07	21.1029067	106.6197924
8	Điểm cuối sông Hoàng Giang trước khi chảy vào sông Ngũ Huyện Khê	NM08	21.1092605	106.6381463
III	Sông Ngũ Huyện Khê			
9	Đoạn cầu Lộc Hà	NM09	21.0993995	106.6377508
10	Điểm tiếp giáp với tt Yên Viên, huyện Gia Lâm	NM10	21.1216202	106.6629011
11	Điểm trước khi giao với Sông Hoàng Giang	NM11	21.1216202	106.6441528

STT	Địa điểm lấy mẫu	Ký hiệu	Tọa độ	
			Vĩ độ	Kinh độ
12	Điểm cuối sông Ngũ Huyện Khê, trước khi giao với Sông Đuống	NM12	21.0744934	106.6070400
IV Sông Hồng				
13	Điểm đầu Sông Hồng khi chảy qua Huyện (trước KCN Bắc Thăng Long)	NM13	21.1038620	106.4950472
14	Điểm sau KCN Bắc Thăng Long Sông Đuống	NM14	21.1018641	106.5623064
V Sông Đuống				
15	Điểm trước khi giao với Sông Ngũ Huyện Khê	NM15	21.0803611	106.5950635
16	Điểm cuối sông Đuống trên địa bàn Huyện	NM16	21.0714399	106.6283661
17	Điểm sau khi giao với Sông Ngũ Huyện Khê	NM17	21.0723306	106.6060557
18	Điểm cuối sông Đuống trên địa bàn huyện	NM18	21.0772915	106.6594545
19	Nước thải của Hệ thống thoát nước thải quanh CCN Nguyên Khê	NT19	21.1777499	106.6031365
20	Nước thải Hệ thống thoát nước thải quanh Thị trấn Đông Anh	NT20	21.1588609	106.5965289
21	Nước thải Hệ thống thoát nước thải quanh KCN Thăng Long	NT21	21.1205531	106.5214198
22	Nước thải Hệ thống thoát nước thải của xã Việt Hùng	NT22	21.1395959	106.6283724
23	Nước thải Hệ thống thoát nước thải xã Vĩnh Ngọc	NT23	21.1133519	106.5663058



Hình 1. Sơ đồ vị trí lấy mẫu nước tại các sông trên địa bàn huyện Đông Anh.

2.2. Phương pháp điều tra, khảo sát

Điều tra khảo sát được tiến hành tại khu vực nghiên cứu để thu thập dữ liệu, kiểm chứng thông tin, phân tích các tài liệu liên quan qua đó có cái nhìn rõ nét nhất về các vấn đề thực tế. Quá trình đi khảo sát giúp phát hiện thêm nhiều thông tin hữu ích bổ sung cho việc nhận định đánh giá trong nghiên cứu.

2.3. Phương pháp phân tích trong phòng thí nghiệm

Các mẫu sau khi được thu thập bảo quản và xử lý mẫu trong phòng thí nghiệm qua các giai đoạn lọc mẫu, hoạt hóa cartridge, chiết mẫu, rửa giải và cuối cùng đem mẫu phân tích sắc ký lỏng khối phổ-khối phổ LC-MS/MS và điều kiện thiết bị LC-MS/MS 8040 của Shimadzu (Hình 2).



Hình 2. Phân tích mẫu trong phòng thí nghiệm.

2.4. Phương pháp phân tích dữ liệu

Từ kết quả phân tích nồng độ các hợp chất PFCs trong phòng thí nghiệm, sử dụng phần mềm Microsoft Excel để xử lý, sau đó tiến hành đánh giá hiện trạng nồng độ các hợp chất PFCs trong nước sông trên địa bàn huyện Đông Anh.

2.5. Phương pháp đánh giá rủi ro

Để đánh giá mức độ rủi ro của các hợp chất PFCs trong môi trường nước khu vực nghiên cứu, phương pháp chỉ số rủi ro (RQ) được áp dụng.

$$RQ = MC/St \quad (1)$$

Trong đó MC là nồng độ PFCs; St là giới hạn ngưỡng theo quy định: $RQ > 1$ rủi ro, $RQ < 1$ không rủi ro.

Trong nghiên cứu này sử dụng giá trị $St = 25$ ng/L (quy định nồng độ tối đa của các hợp chất khó phân hủy của EU [17]).

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Nồng độ các hợp chất PFCs

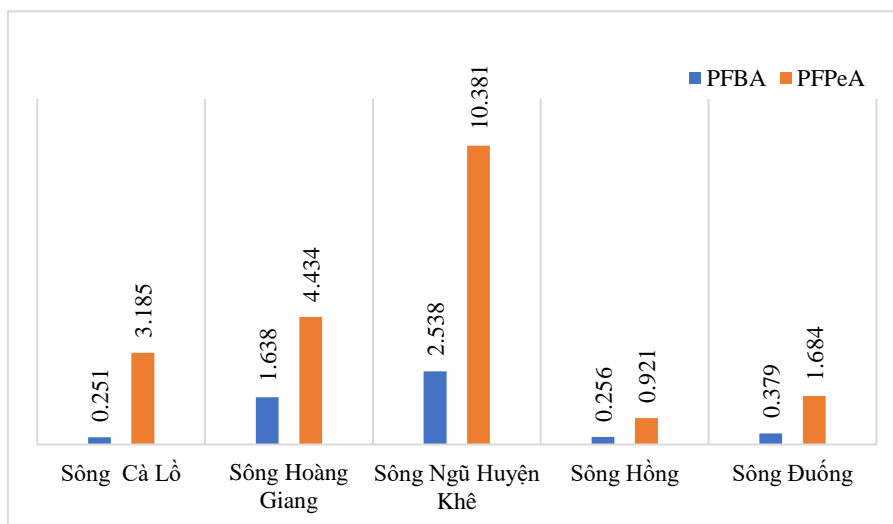
Nồng độ trung bình các hợp chất tại các sông khu vực nghiên cứu được thể hiện tại Bảng 2. Kết quả phân tích nồng độ các hợp chất PFCs tại các mẫu nước sông trên địa bàn huyện Đông Anh cho thấy nồng độ trung bình của PFBA: 1,012 ng/L, PFPeA: 4,121 ng/L, PFHxA: 0,005 ng/L, PFHpA: 0,002 ng/L, PFOA: 0,007 ng/L, PFNA: 0,056 ng/L, PFDA: 0,001 ng/L, PFUdA: 0,002 ng/L, PFDoA: 0,001 ng/, PFTrDA: 0,001 ng/, PFTeDA: 0,001 ng/L, PFHxDA): 0,001 ng/L, PFODA: 0,001 ng/L, L-PFHxS: 0,003 ng/L, L-PFOS: 0,002 ng/L, L-PFDS): 0,004 ng/L, L-PFBA: 0,001 ng/L. Các nồng độ có sự biến động giữa các con sông. Nồng độ cao ghi nhận tại sông Ngũ Huyện Khê, sông Hoàng Giang và sông Cà Lò với các hợp chất PFPeA, và PFBA. Tuy nhiên nồng độ các hợp chất Peflo vẫn thấp hơn tiêu chuẩn của EU (Bảng 2).

Bảng 2. Trung bình nồng độ các hợp chất PFCs trong nước sông trên địa bàn hiện Đông Anh (ng/l).

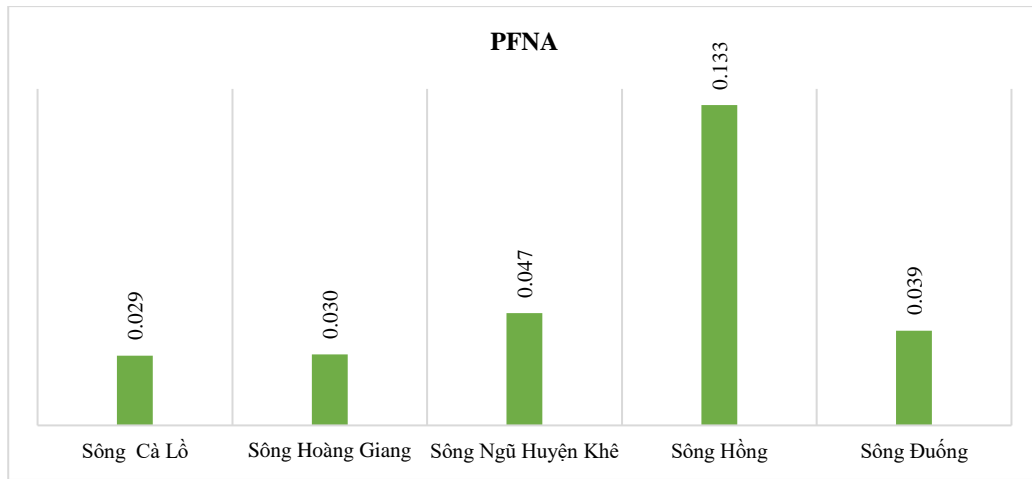
PFCs	Sông Cà Lò	Sông Hoàng Giang	Sông Ngũ Huyện Khê	Sông Hồng	Sông Đuống	Trung bình	Tiêu chuẩn của EU
PFBA	0,2508	1,6379	2,5382	0,2555	0,3793	1,012	25
PFPeA	3,1852	4,4338	10,3812	0,9213	1,6837	4,12	25
PFHxA	0,0049	0,0054	0,0098	0,0032	0,0025	0,005	25
PFHpA	0,0013	0,0024	0,0040	0,0015	0,0010	0,002	25
PFOA	0,0034	0,0045	0,0051	0,0169	0,0032	0,007	25
PFNA	0,0291	0,0296	0,0467	0,1332	0,0395	0,056	25
PFDA	0,0004	0,0006	0,0009	0,0021	0,0008	0,001	25
PFUdA	0,0011	0,0013	0,0015	0,0036	0,0013	0,002	25
PFDoA	0,0002	0,0003	0,0004	0,0019	0,0004	0,001	25
PFTrDA	0,0004	0,0006	0,0006	0,0012	0,0006	0,001	25
PFTeDA	0,0006	0,0008	0,0009	0,0017	0,0008	0,001	25
PFHxDA	0,0006	0,0007	0,0008	0,0012	0,0008	0,001	25
PFODA	0,0006	0,0004	0,0007	0,0007	0,0007	0,001	25
L-PFBS	0,0032	0,0031	0,0043	0,0026	0,0037	0,003	25
L-PFHxS	0,0020	0,0020	0,0029	0,0022	0,0032	0,003	25
L-PFOS	0,0011	0,0095	0,0056	0,0009	0,0015	0,002	25
L-PFDS	0,0012	0,0018	0,0032	0,0020	0,0034	0,004	25
Tổng	3,4861	6,1347	13,0068	1,3517	2,1264		

Trên thế giới cũng như Việt Nam đã có một số nghiên cứu về nồng độ PFCs trong nước mặt, trầm tích tại các sông hồ. Trong nghiên cứu của nhóm tác giả Phạm Hùng Việt, năm 2018 [17] đã tiến hành thu thập, phân tích các hợp chất PFCs trong nước thải đô thị chảy vào các sông: sông Lừ, Sét, Kim Ngưu, Tô Lịch và 1 phần sông Nhuệ. Số liệu phân tích nồng độ các chất PFCs trong nước sông hồ tại nghiên cứu cao hơn hầu hết các sông ở địa bàn huyện Đông Anh (< 6,31 ng/L). Giá trị lớn nhất nồng độ các hợp chất PFCs tại các sông trên địa bàn Huyện Đông Anh (13,0068 ng/L) cũng thấp hơn giá trị lớn nhất trong nghiên cứu (27,95 ng/L) trên.

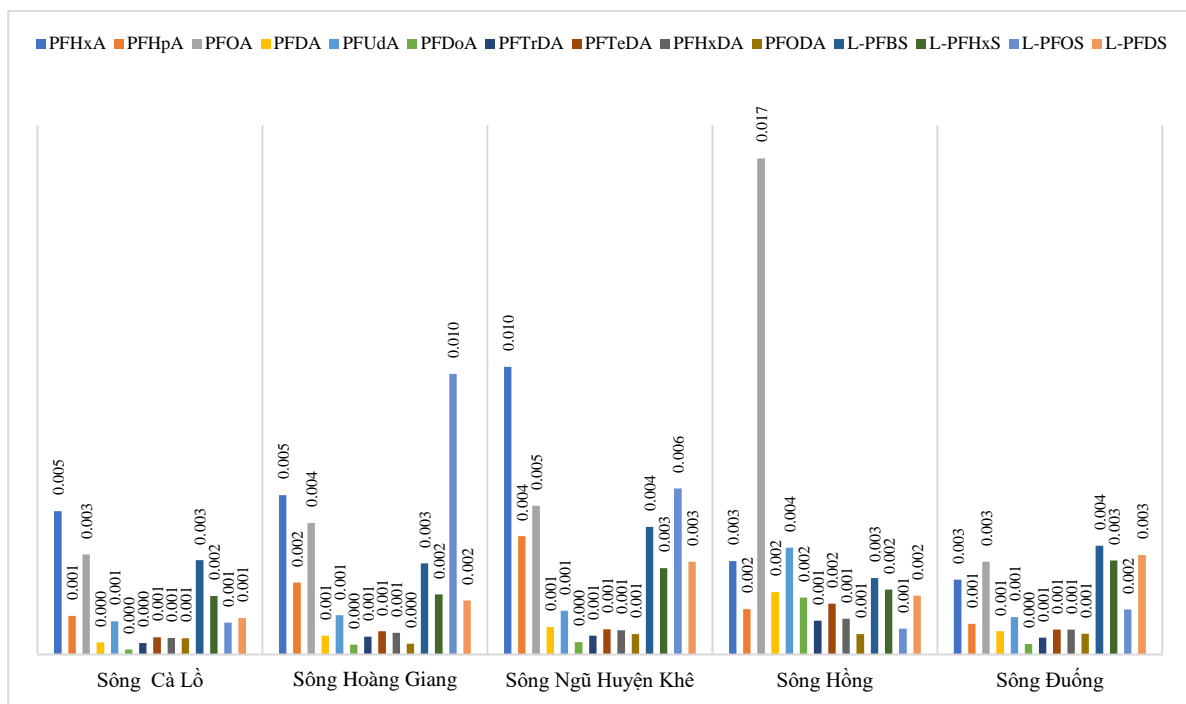
Cụ thể 17 hợp chất PFCs đều được phát hiện có trong các mẫu nước sông. Trong đó có 2 hợp chất PFCs được tìm thấy với trung bình nồng độ PFPeA tại sông Cà Lò: 3,1852 ng/l, Sông Hoàng Giang 1,6379 ng/l, Sông Ngũ Huyện Khê 2,5382 ng/l. Sông Hồng 0,2555 ng/l, Sông Đuống 0,3793 ng/l (Hình 3).



Hình 3. Trung bình nồng độ PFBA, PFPeA trong mẫu nước sông.



Hình 4. Trung bình nồng độ PFNA trong mẫu nước sông.



Hình 5. Trung bình nồng độ từng chất trong mẫu nước sông.

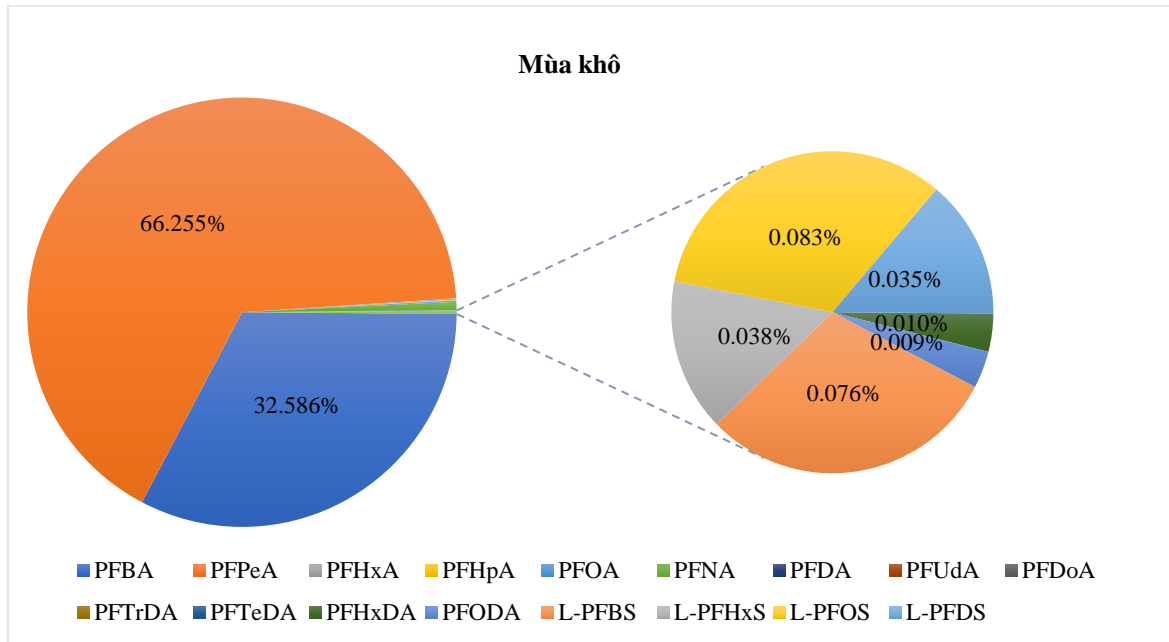
PFBA xuất hiện ở hầu hết các sông với nồng độ trung bình từ 0,256-2,538 ng/l. Trong đó nhiều nhất tại sông Ngũ Huyện Khê, trung bình nồng độ PFBA là 2,538 ng/l, xuất hiện nhiều nhất tại vị trí NM12 là 12,401 ng/l vào mùa khô, Sông Hoàng Giang trung bình nồng độ là 1,638 ng/l, xuất hiện nhiều nhất tại vị trí NM18 6,65ng/l. Vị trí nước thải NT22 cũng có nồng độ 6,116 ng/l. Các vị trí còn lại nồng độ dưới 4 ng/l. Tuy nhiên nồng độ Axit peflobutanoic (PFBA) trên các sông đều có giá trị thấp hơn so với quy định của UB Châu Âu.

PFPeA cũng là một trong hai chất xuất hiện với nồng độ cao hơn các chất còn lại. Trung bình nồng độ trong các sông dao động 0,921-10,381 ng/l. Tương tự với PFBA, nồng độ trung bình PFPeA nhiều nhất tại sông Ngũ Huyện Khê, sông Hoàng Giang lần lượt là 10,381 ng/l và 4,434 ng/l. Tại sông Ngũ Huyện Khê, vị trí NM10 có nồng độ lớn nhất 19,355 ng/l gần vượt ngưỡng quy định so với quy định của Ủy ban Châu Âu.

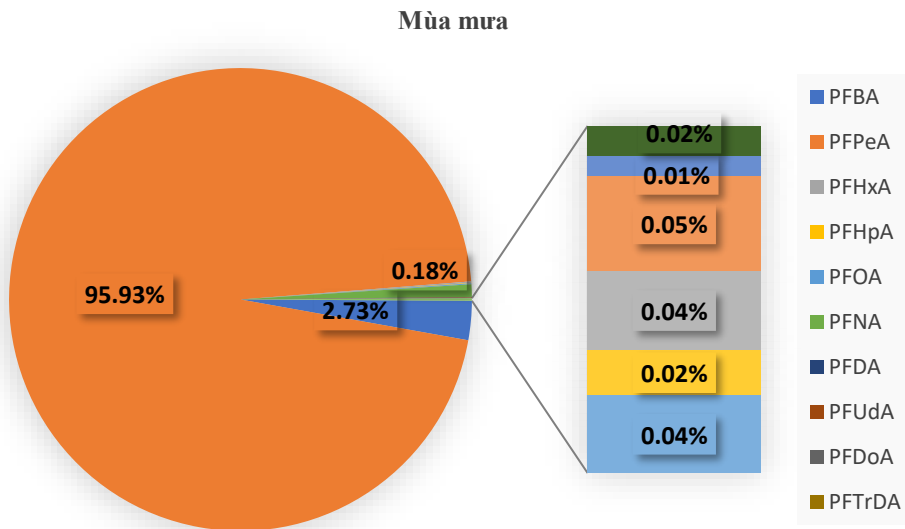
Nồng độ ng/l trung bình của chất, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFOS, PFDS là từ 0,1 đến 10,9 ng/l so với quy định của EU đều trong ngưỡng cho phép (Hình 4). Sự phân bố hàm lượng các hợp chất PFCs dọc các sông là không đồng đều chứng tỏ tại từng vị trí,

từng khu vực có các nguồn thải khác nhau dẫn đến hàm lượng các hợp chất PFCs là khác nhau (Hình 5).

3.2. Tổng hàm lượng PFCs trong các mẫu nước



Hình 6. Sự phân bố tổng hàm lượng các chất vào mùa khô trong nước sông khu vực huyện Đông Anh.



Hình 7. Sự phân bố tổng hàm lượng các chất vào mùa mưa trong nước sông khu vực huyện Đông Anh.

Các hợp chất PFCs được phát hiện hầu hết trong các mẫu nước. Đối với hàm lượng PFBA và PFPeA được tìm thấy và có hàm lượng cao nhất trong các hợp chất PFCs. Sự khác nhau giữa hàm lượng các hợp chất PFCs được giải thích cho thành phần nước thải khu công nghiệp, sản xuất, kinh doanh, sinh hoạt, y tế, chăn nuôi ở từng địa điểm khác nhau.

Các PFCs chiếm tỉ lệ cao nhất trong số 10 chất phân tích là PFBA đạt 32,568%, PFPeA 66,255% vào mùa khô (Hình 6); PFBA đạt 2,733%, PFPeA 95,93% vào mùa mưa (Hình 7). Nhìn chung các cấu tử phát hiện với hàm lượng cao là các axit pefloankyl có số nguyên tử cacbon trong phân tử thấp từ C4, C5 chứng tỏ các PFCs có từ nước thải của dân cư, khu công nghiệp.

Hầu hết các hợp chất PFBA và PFPeA chiếm tỉ lệ cao và nó được xuất hiện tại các vị trí mẫu chịu tác động của rất nhiều nguồn thải trực tiếp vào sông Hồng, sông Cà Lồ. Điển hình tại vị trí mẫu NM4, NM7, NM8, NM9, NM10, NM11, NM12, NM13, NM14 có sự xuất hiện 2 hợp chất này rất cao do nguồn thải từ khu công nghiệp, dân sinh, làng nghề và rất nhiều nguồn thải.

Các PFCs chuỗi ngắn chiếm ưu hơn nhiều với các PFC chuỗi dài trong nước các sông Huyện Đông Anh.

Các nghiên cứu về môi trường nước và các dữ liệu cho nước mặt ở Đan Mạch và các nước Châu Âu khác thì hầu hết dữ liệu đều dành cho PFOS, PFOA và PFAS chuỗi dài khác và một số dữ liệu có sẵn cho các hợp chất chuỗi ngắn như PFBS, PFHxS, PFBA, PFPeA và PFHxA được phát hiện trong nhiều mẫu thủy sản. Thường có nồng độ từ các mức tương tự như PFOS hoặc PFOA đến thấp hơn một bậc về độ lớn. Sự có mặt các hợp chất mạch ngắn hơn trong môi trường được giải thích bằng cách thay thế các hợp chất có chuỗi dài bằng các chất thay thế chuỗi ngắn hơn [3].

Ở Đại Tây Dương, nồng độ PFAS cao hơn đáng kể ở Bắc Đại Tây Dương so với Trung và Nam Đại Tây Dương. Nồng độ Σ PFAS giảm từ năm 2007 đến năm 2010 ở miền Bắc và Trung Đại Tây Dương chủ yếu do nồng độ PFOA/PFOS giảm trong khi PFAS chuỗi ngắn như vậy như PFBS, PFHxA và PFHxS không cho thấy xu hướng như vậy [18].

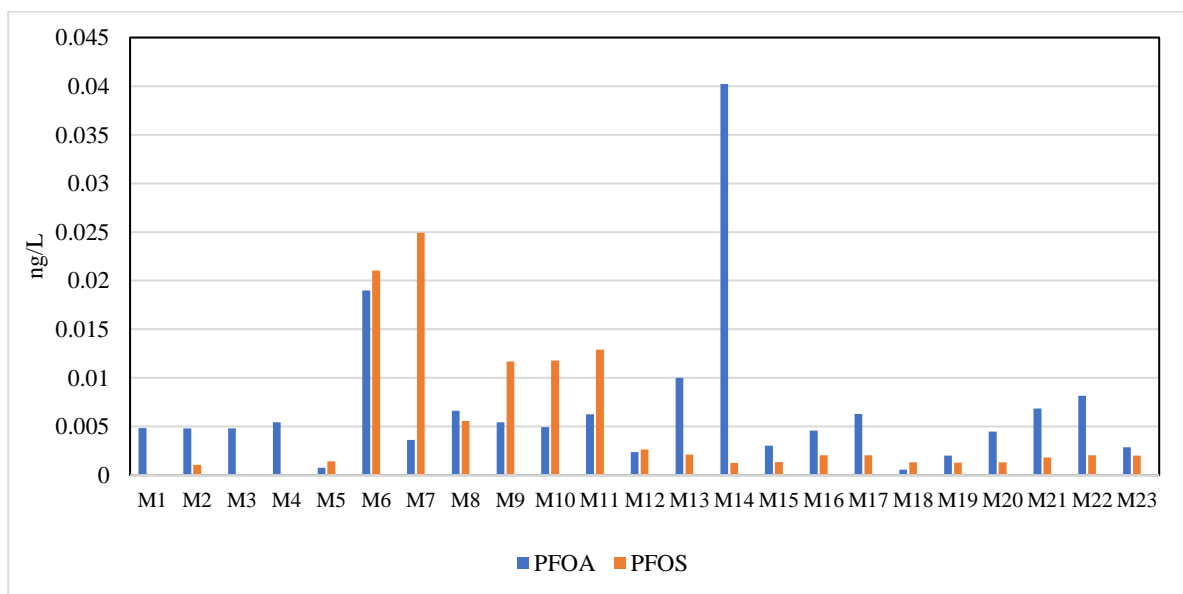
Trong bài nghiên cứu này thu được nồng độ hợp chất của PFOA đạt 0,044-4,223 ng/l và PFOS đạt 0,583-3,79 ng/l. Nồng độ các hợp chất PFCs trong nước mặt tại Đà Nẵng, TP HCM và nước mặt làng nghề tái chế rác thải điện tử có hàm lượng PFOA cao hơn nhiều so với khu vực nghiên cứu các sông đoạn chảy qua địa phận huyện Đông Anh.

Đối với nước mặt tại Huế thì có hàm lượng PFOA và PFOS rất nhỏ, chúng tỏ tại các vị trí lấy mẫu đó có rất ít nguồn tác động chứa hợp chất này.

Nước mặt tại khu vực nông thôn giáp phía cầu Thăng Long có nồng độ PFOA và PFOS khá là tương đồng so với kết quả mà tác giả phân tích được.

Hàm lượng PFOA trong nước mặt làng nghề tái chế, khu công nghiệp ở Đông Anh cao gần nhiều lần hàm lượng PFOA trong nước sông Cà Lồ mà ta thu được.

3.3. So sánh sự xuất hiện và nồng độ của PFOA và PFOS



Hình 8. So sánh sự xuất hiện và nồng độ của PFOA và PFOS

Hình 8 cho thấy sự xuất hiện của PFOA nhiều hơn sự xuất hiện của PFOS, tại vị trí mẫu NM6 và NM14, thấy sự xuất hiện của 2 chất cao nhất là PFOA 0,003954 ng/l và PFOS 0,042022 ng/l.

Có nhiều vị trí không thấy xuất hiện PFOS nhưng lại xuất hiện PFOA, thậm chí PFOA còn đạt hàm lượng cao như NM7, NM8, NM9, NM11.

Theo số liệu cho thấy của sông Dương Tử thuộc Trung Quốc bị ô nhiễm vừa phải với hai chất có giá trị trung bình PFOS 4,2 ng/l và PFOA 5,4 ng/l [19], đối với vị trí lấy mẫu nước thì nồng độ đạt cao nhất của 2 chất PFOA và PFOS lần lượt cũng chỉ là 0,04 ng/l và 0,025 ng/l cũng gần bằng độ ô nhiễm vừa phải của sông Dương Tử.

Kết quả thu được từ sông Chao Phraya, nồng độ trung bình của PFOS và PFOA lần lượt là 1,9 và 4,7 ng/l, sông Bangpakong nồng độ trung bình phát hiện là 0,7 ng/l cho cả PFOS và PFOA. Nồng độ cao hơn đã phát hiện trong tất cả các khu công nghiệp thải ra với mức trung bình là 64,3 ng/l đối với PFOA và 17,9 ng/l đối với PFOS. Mức độ tập trung các sông ở Thái Lan ít hơn so với các sông ở Nhật Bản, Trung Quốc và Malaysia [20], Điều này chứng tỏ nồng độ của PFOA và PFOS mà ta thu được tại các mẫu tác giả nghiên cứu của Sông Hồng, sông Đuống và sông Cà Lò cao hơn tại sông Bangpakong khi chưa tính đối với các khu công nghiệp ở đó.

3.4. Đánh giá rủi ro sinh thái đối với sông trên địa bàn Huyện

Trong nghiên cứu này, rủi ro của ba chỉ số các cá nhân, PFBS, PFOS và PFOA đã được đánh giá, với các tiêu chuẩn chất lượng môi trường (EQS) của chúng được trình bày trong Bảng 3. Vì có các tiêu chuẩn chất lượng môi trường khác nhau ở các khu vực khác nhau nên các tiêu chuẩn nghiêm ngặt nhất đã được sử dụng trong nghiên cứu này. Tất cả các giá trị RQ của PFBA, PFPA, PFHxA, PFNA, PFDA, PFBS và PFOS đều dưới 1, cho thấy rằng không có rủi ro nào đối với các sinh vật thủy sinh ở các sông trên địa bàn huyện. Mặc dù vậy, nguy cơ ô nhiễm PFC trong nước mặt đối với hệ sinh thái cần được chú ý nhiều hơn do khả năng tích lũy sinh học của chúng.

Bảng 3. Ước tính chỉ số rủi ro của trung bình nồng độ các hợp chất trong nước mặt ở các sông trên địa bàn huyện Đông Anh.

	Sông Cà Lò	Sông Hoàng Giang	Sông Ngũ Huyện Khê	Sông Hồng	Sông Đuống
PFBA	0,01003	0,06551	0,10153	0,01022	0,01517
PFPeA	0,12741	0,17735	0,41525	0,03685	0,06735
PFHxA	0,00020	0,00022	0,00039	0,00013	0,00010
PFHpA	0,00005	0,00010	0,00016	0,00006	0,00004
PFOA	0,00014	0,00018	0,00020	0,00067	0,00013
PFNA	0,00116	0,00118	0,00187	0,00533	0,00158
PFDA	0,00002	0,00003	0,00004	0,00008	0,00003
PFUdA	0,00005	0,00005	0,00006	0,00015	0,00005
PFDoA	0,00001	0,00001	0,00002	0,00008	0,00001
PFTTrDA	0,00002	0,00002	0,00003	0,00005	0,00002
PFTeDA	0,00002	0,00003	0,00003	0,00007	0,00003
PFHxDA	0,00002	0,00003	0,00003	0,00005	0,00003
PFODA	0,00002	0,00001	0,00003	0,00003	0,00003
L-PFBS	0,00013	0,00012	0,00017	0,00010	0,00015
L-PFHxS	0,00008	0,00008	0,00012	0,00009	0,00013
L-PFOS	0,00004	0,00038	0,00023	0,00004	0,00006
L-PFDS	0,00005	0,00007	0,00013	0,00008	0,00014

3.5. Bước đầu nhận định các nguồn thải PFCs trong khu vực nghiên cứu

Theo khảo sát thực tế, từ điểm đầu sông đến điểm cuối mà lấy mẫu thuộc địa phận huyện Đông Anh có rất nhiều nguồn ô nhiễm tác động vào nước sông.

Các nguồn gây ô nhiễm chính: chất thải nhà máy, khu công nghiệp, dịch vụ, y tế, quá trình sản xuất nông nghiệp, chăn nuôi, sinh hoạt, bãi rác thải sinh hoạt của người dân xung quanh khu vực sông Hồng, sông Cà Lồ.

Tại vị trí mẫu NM5, NM6, NM7, NM8, NM9, NM10, NM11, NM12, NM13, NM14 chịu ảnh hưởng từ nguồn thải của người dân xã Võng La và người dân phường Đông Ngạc phía bên kia sông Hồng. Đây cũng là những điểm nằm gần khu công nghiệp Bắc Thăng Long, Nam Thăng Long, trong nghiên cứu của các tác giả Nguyễn Thúy Ngọc và cộng sự cho kết quả các hợp chất PFCs có hàm lượng tương đối cao ở những nơi gần khu công nghiệp. Nghiên cứu được thực hiện tại sông Nhuệ và sông Đáy cho thấy PFCs được phát hiện tại tất cả các mẫu nước từ 4,54 đến 13,8 ng/l (trung bình 7,85 ng/l) [16].

Vị trí mẫu NM7, NM14 chính là nguồn thải ô nhiễm có nguồn gốc từ nước thải công nghiệp, dịch vụ, làng nghề, dân sinh dọc lưu vực sông Hồng chảy qua cống. Xã Xuân Nội cùng với khoảng 50 cơ sở trên địa bàn xả thải vào kênh trục sông Cà Lồ và bãi chôn lấp rác.

Vị trí mẫu NM8, NM9 chịu ảnh hưởng từ nước thải của các khu công nghiệp chế tạo giấy, bìa, nhựa, bao bì carton, thức ăn chăn nuôi, cơ khí và nguồn thải từ khu dân cư.

Mẫu NM10 chịu tác động từ nguồn thải từ công ty sản xuất plastic, cao su tổng hợp, tái chế phế liệu và khu dân cư, Cụm CN Làng nghề Vân Hà, Liên Hà.

Mẫu NM12 là nước thải của cả khu dân cư bao gồm tất cả các hoạt động kinh doanh dịch vụ sản xuất của người dân.

Mẫu NM13 chịu ít tác động của nguồn thải từ sinh hoạt.

Mẫu NM14 là nguồn thải tập chung của khu dân cư và Cụm công nghiệp Nguyên Khê, Cụm làng nghề Vân Hà, khu vực xã Việt Hùng. Các hoạt động tại một số làng nghề nơi đây tiềm ẩn rất nhiều yếu tố ô nhiễm cho nguồn nước trong đó có ô nhiễm các hợp chất PFCs, đây là các chất phụ gia có tác dụng chống thấm dùng trong các sản phẩm gỗ, sơn, vải. Hợp chất này sẽ theo nước thải từ các cơ sở có các hoạt động dệt nhuộm, sản xuất đồ gỗ thải ra môi trường nước.

Mẫu NM15 được lấy tại chân cầu Xuân Cầu nơi chịu ảnh hưởng nguồn thải sinh hoạt, sản xuất nông nghiệp, chăn nuôi và dịch vụ.

Qua đó, nhận thấy rằng nguồn ô nhiễm nước thải từ khu công nghiệp và nước thải từ khu dân cư là chính ở dọc sông Cà Lồ giáp khu vực Bắc Ninh.

4. Kết luận

- Tổng hàm lượng các hợp chất PFCs trong các mẫu nước thu thập dọc các sông chảy qua huyện Đông Anh nằm trong khoảng từ 10^{-4} ng/l đến 19,3 ng/l, có một số vị trí không phát hiện chất này. Hàm lượng các hợp chất vào mùa khô thường cao hơn vào mùa mưa. Xuất hiện với hàm lượng cao hơn cả là Axit peflobutanoic (PFBA) và Axit peflopentanoic (PFPeA).

- Sự phân bố hàm lượng hợp chất PFCs trong nước sông trên địa bàn huyện Đông Anh là không đồng đều chứng tỏ tại từng vị trí, từng khu vực có các nguồn thải khác nhau dẫn đến hàm lượng các hợp chất PFCs là khác nhau.

- Nghiên cứu phát hiện này bước đầu nhận định các nguồn thải từ hoạt động sản xuất, khu công nghiệp, sinh hoạt là nguyên nhân chính để xảy ra sự có mặt của các hợp chất PFCs này.

Hiện nay Việt Nam chưa có quy định cụ thể nào về nồng độ của các hợp chất PFCs trong môi trường nước mặt. Do đó để quản lý và tránh những tác động của các hợp chất này tới sức khỏe cộng đồng, Nhà nước cần ban hành các quy định về nồng độ tối đa của các hợp chất PFCs trong nước mặt và nước dùng trong ăn uống.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: Đ.H.T., V.T.H., P.T.L.A.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: Đ.H.T., V.T.H., P.T.L.A.; Thu thập, phân tích, tính toán xử lý số liệu: V.T.H., P.T.L.A.; Viết bản thảo bài báo: V.T.H., Đ.H.T.; Chỉnh sửa bài báo: Đ.H.T., V.T.H., P.T.L.A.

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

Tài liệu tham khảo

1. Tổng cục Môi trường, Báo cáo Môi trường Quốc gia. 2012.
2. Allan, A.J.; Henrik, L. Emerging endocrine disruptors: Perfluoroalkylated substances. *Inter. J. Andrology*. **2008**, 31(2), 161–169.
3. Jiapei, L.; Changsheng, G.; Shuxuan, L.; Yuan, Z.; Jian, X. Partitioning behavior, source identification, and risk assessment of perfluorinated compounds in an industry-influenced river. *Environ. Sci. Eur.* **2019**, 31, 55.
4. Andersen, M.E.; Butenhoff, J.L.; Chang, S.C.; Farrar, D.G.; Kennedy, G.L.; Lau, C. Perfluoroalkyl acids and related chemistries - toxicokinetics and modes of action. *Toxicol Sci.* **2008**, 102, 3–14.
5. Andrew, B.L.; Mark, J.S.; Libelo, E.L. Polyfluorinated Compounds: Past, Present, and Future. *Environ. Sci. Technol.* **2011**, 45, 7954–7961.
6. Joon-Woo, K.; Nguyen, M.T.; Tomohiko, I.; Kentaro, M.; Shin, T.; Pham, H.V.; Shinsuke, T. Contamination by perfluorinated compounds in water near waste recycling and disposal sites in Vietnam. *Environ. Monit. Assess*, **2013**, 185, 2909–2919.
7. Beskoski, V.P.; Takemine, S.; Nakano, T.; Slavkovic, B.L.; Gojgic-Cvijovic G.; Llic, M.; Miletic, S.; Vric, M.M. Perfluorinated compounds in sediment samples from the wastewater canal of Panceno (Serbia) industrial area. *Chemosphere* **2012**, 91(10), 1408–1415.
8. UNU Training workshop: Analysis of PFCs in water, sediment and fish by LC/MS/MS method, in the frame of project “Monitoring and Management of POPs in Asia”. 2013 and 2016.
9. Changhui, L.; Victor, W.C.C.; Karina, Y.H.G.; Viet, T.N. Genotoxicity of perfluorinated chemicals (PFCs) to the green mussel (*Perna viridis*). *Sci. Total Environ.* **2014**, 487, 117–122.
10. Chunyuan, F.; Joseph, K.M.; Loren, L.; Jørn, O. Maternal levels of perfluorinated chemicals and subfecundity. *Human Reproduction Update* **2009**, 24, 1200–1205.
11. Fei, C.; McLaughlin, J.K.; Tarone, R.E.; Olsen, J. Perfluorinated chemicals and fetal growth: A study within the danish national birth cohort. *Environ. Health Perspect.* **2007**, 115(11), 1677–1682.
12. Furdui, V.I.; Stock, N.L.; Ellis, D.A.; Butt, C.M.; Whittle, D.M.; Crozier, P.W. Spatial distribution of perfluoroalkyl contaminants in lake trout from the great lakes. *Environ. Sci. Technol.* **2007**, 41, 1554–1559.
13. Apelberg, B.J.; Witter, F.R.; Herbstman, J.B.; Calafat, A.M.; Halden, R.U.; Needham, L.L.; Goldman, L.R. Cord serum concentrations of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) in relation to weight and size at birth. *Environ. Health Perspect.* **2007**, 115(11), 1670–1676.
14. Chinagarn, K.; Shigeo, F.; Shuhei, T.; Seneviratne, S.T.M.L.D.; Nguyen, P.H.L.; Munehiro, N.; Koji, K.; Binaya, R.S.; Hidenori, H. Worldwide survey of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in water environment in recent years. *Water. Sci. Technol.* **2012**, 66(12), 2764–2771.
15. Fardin, O.; Don, K.; Roland, W.; Alan, W. PFOS and PFC releases and associated pollution from a PFC production plant in Minnesota (USA). *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2013**, 20(4), 1977–1992.
16. Ngọc, N.T.; Vĩ, P.T.; Quang, P.Đ.; Tuyền, L.H.; Kim, T.T.; Quỳnh, N.T.; Lan Anh, P.T.; Anh, D.T.; Việt, P.H. Hợp chất peflo hoá (PFCs) trong nước thải đô thị thuộc hệ thống sông hồ Hà Nội. *Tạp chí hoa học*. **2018**.

17. EU. Commission Delegated Regulation (EU) 2020/784 of 8 April 2020 amending Annex I to Regulation (EU) 2019/1021 of the European Parliament and of the Council as regards the listing of perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related compounds. 2020.
18. Lan Anh, P.T.; Huu, T.D.; Shang-Lien, L. Enhancing decomposition rate of perfluorooctanoic acid (PFOA) by carbonate radical assisted sonochemical treatment. *Ultrason. Sonochem.* **2014**, *21*(5), 1875–1880.
19. Chinagarn, K.; Shigeo, F.; Shuhei, T.; Seneviratne, S.T.M.L.D.; Nguyen, P.H.L.; Munehiro, N.; Koji, K.; Binaya, R.S.; Hidenori, H. Worldwide survey of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in water environment in recent years. *Water Sci. Technol.* **2012**, *66*(12), 2764–2771.
20. Chinagarn, K.; Suwanna, K.B.; Shigeo, F.; Chanatip, M.; Chattakarn, A.; Thana, W. Determination of perfluorinated compounds (PFCs) in solid and liquid phase river water samples in Chao Phraya River, Thailand. *Water. Sci. Technol.* **2011**, *64*(3), 684–692.

Assessment of the current status of Perfluorinated Compounds (PFCs) in river water in Dong Anh district, Hanoi City

Vu Thanh Hang¹, Do Huu Tuan^{1*}, Phan Thi Lan Anh^{2,3}

¹ Faculty of Environmental Sciences, VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi. Add: 334 Nguyen Trai Street, Thanh Xuan District, Ha Noi, Viet Nam; vuthanhhang_sdh@hus.edu.vn; tuandh@vnu.edu.vn

² Lan Anh Phan Thi, VNU Key Laboratory of Analytical Technology for Environmental Quality and Food Safety Control (KLATEFOS), VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi. Add: 334 Nguyen Trai Street, Thanh Xuan District, Ha Noi, Viet Nam; lananh@vnu.edu.vn

³ Center for Environmental Technology and Sustainable Development (CETASD), VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam; lananh@vnu.edu.vn

Abstract: Perfluorinated compounds (PFCs) are widely used in our modern life. They are known for their useful properties such as thermal and chemical stability, and their ability to repel oil, grease, and water. Despite their benefits, the toxicity of PFCs is not fully understood. Some studies have shown effects of PFCs on the liver, such as enlargement and tumors, immune system sensitivity, and cancer. In this study the concentration of PFCs in river water in Dong Anh district, Hanoi City has been assessed and proposed solutions to enhance management effectiveness through survey methods, sampling, sample analysis, and risk assessment. The results show that the total concentration of PFCs in water samples collected from rivers in Dong Anh ranges from 10-4 ng/l to 387,704 ng/l. Most concentration of PFCs were below permissible limits, but notably, the concentration of dibenzo[a,h]anthracene in all samples exceeded the threshold by 1.13 to 4.69 times.

Keywords: PFCs; Perfluorinated compounds; River water; Dong Anh; Hanoi.

Bài báo khoa học

Đánh giá diễn biến nguồn nước mặt trong hệ thống công trình thủy lợi Nam Măng Thít thích ứng với biến đổi khí hậu

Nguyễn Thị Phương Thảo^{1*}, Lê Văn Tình¹

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường thành phố Hồ Chí Minh;
ntpthao@hcmunre.edu.vn; lvtinh@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ntpthao@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84–779333550

Ban Biên tập nhận bài: 12/11/2023; Ngày phản biện xong: 31/12/2023; Ngày đăng bài: 25/4/2024

Tóm tắt: Hệ thống thủy lợi (HTTL) Nam Măng Thít thuộc phạm vi của 2 tỉnh Trà Vinh và Vĩnh Long, nằm về phía Đông Nam vùng ĐBSCL. Nghiên cứu sử dụng phương pháp lấy mẫu nước hiện trường vào các thời điểm mùa mưa và mùa khô năm 2022 và 2023, phân tích mẫu và đánh giá kết quả diễn biến chất lượng nước (CLN) theo 2 phương pháp: đánh giá từng thông số phân tích (theo Quy chuẩn quốc gia về chất lượng nước mặt) và đánh giá thông qua tính toán giá trị WQI (chỉ số chất lượng nước Việt Nam theo Quyết định số 1460/QĐ-TCMT). Kết quả phân tích CLN cho thấy có sự biến động rõ theo thời gian và không gian như: (i) Mùa khô nước bị ô nhiễm và có độ mặn cao hơn nhiều so với mùa mưa; (ii) khu vực nội đồng (trong công cấp II) độ mặn được kiểm soát tốt nhưng nước bị tù đọng và ô nhiễm dinh dưỡng, hữu cơ, pH cao; (iii) khu vực phát triển NTTS (trong công cấp I) nước bị nhiễm mặn mức độ vừa đến cao và bị ô nhiễm hữu cơ. Phần mềm mô hình toán Mike 11 được sử dụng để tính toán diễn biến nguồn nước mặt trong hệ thống sông kênh nội vùng vào mùa khô và mùa mưa năm 2023. Bài báo cũng đã đề xuất các giải pháp giảm thiểu ô nhiễm, bảo vệ bền vững, ổn định tài nguyên nước mặt trong vùng.

Từ khóa: Chất lượng nước; Chỉ số WQI; Tài nguyên nước mặt; ĐBSCL; HTTL Nam Măng Thít.

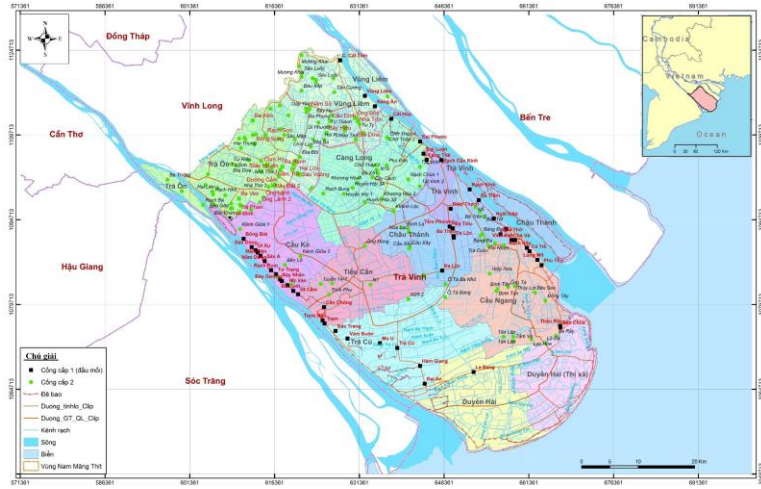
1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, vấn đề thường được nhắc đến trong quản lý nước cho vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là thiếu nước, nước mặn lấn sâu, ô nhiễm sông ngòi, suy giảm nước ngầm, sụt lún nhanh,...[1]. Bên cạnh các nguyên nhân khách quan do biến đổi khí hậu (BĐKH) [2,3], phát triển hệ thống thủy điện ở thượng lưu [4,5], vẫn còn những nguyên nhân nội tại làm ảnh hưởng đến an ninh nguồn nước và sự phát triển bền vững của đồng bằng. Theo [6,7], an ninh nguồn nước của một quốc gia, một khu vực chỉ được đảm bảo khi cộng đồng dân cư có đủ nguồn nước với chất lượng cần thiết phục vụ cho sinh hoạt, sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản, vận chuyển hàng hải và bảo tồn sinh thái. Đã có nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước đánh giá ảnh hưởng của các hệ thống thủy lợi (HTTL) đến chất lượng nguồn nước mặt trong vùng [8–11]. Đánh giá CLN có thể dựa trên kết quả quan trắc nồng độ và tải lượng chất ô nhiễm [12], hoặc nhận định tổng quát hơn theo giá trị WQI (Water Quality Index) được ứng dụng ở nhiều quốc gia trên thế giới [13–16]. HTTL Nam Măng Thít thuộc phạm vi của 2 tỉnh Trà Vinh và Vĩnh Long, nằm về phía Đông Nam vùng ĐBSCL (ranh giới: phía Tây Bắc giáp sông Măng Thít, phía Đông Bắc giáp sông Cổ Chiên, phía Đông Nam giáp biển Đông, phía Tây Nam giáp sông Hậu), có

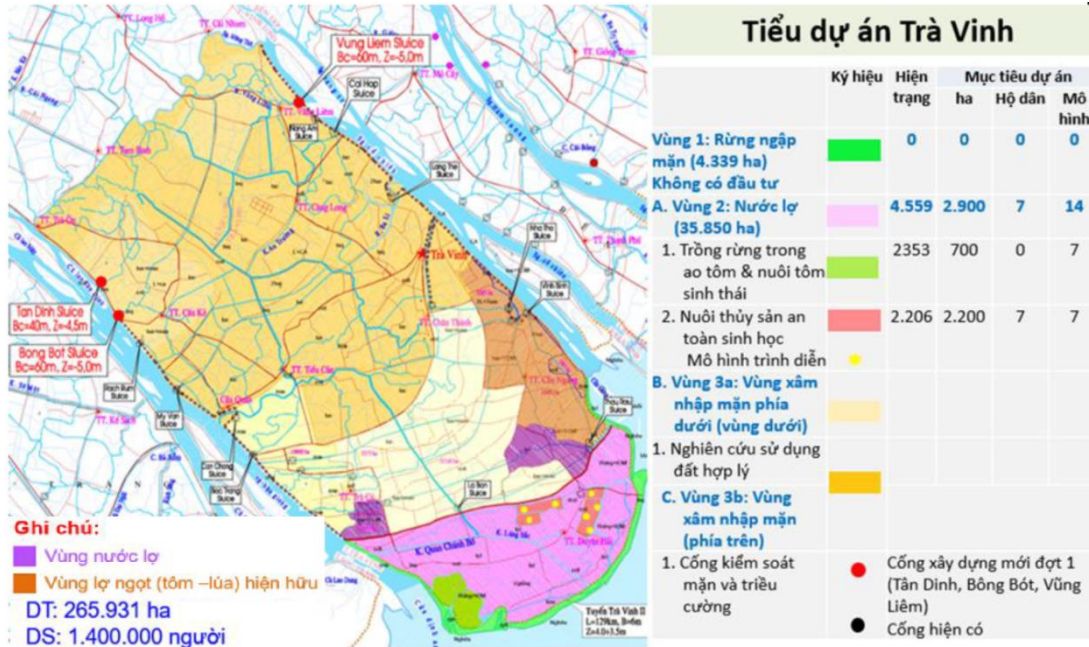
nhệm vụ kiểm soát mặn, triều cường; lấy nước và trữ nước ngọt, tiêu úng, tiêu chua, rửa phèn cho đất nông nghiệp và đất tự nhiên, kết hợp nuôi trồng thủy sản theo hướng đa dạng hóa sản xuất nông nghiệp. Năm 2020 đã hoàn thành 3 cống Bông Bót, Tân Dinh và Vũng Liêm, nằm trong tiêu dự án Kiểm soát nguồn nước thích ứng BĐKH vùng Nam Măng Thít [17].

Vào mùa khô, phần lớn các cống ngăn mặn được đóng kín từ khoảng tháng 1 đến tháng 5 hằng năm. Điều này giúp giảm đáng kể nguy cơ lan truyền mặn, tuy nhiên nguồn nước trong các sông, kênh có chế độ chảy yếu, trở nên tù đọng và ô nhiễm,... Nhiệm vụ thường xuyên của Bộ nông nghiệp và Phát triển nông thôn [18] đã đánh giá CLN trong hệ thống với mật độ 13 mẫu cho toàn vùng.

Nghiên cứu này tập trung vào đánh giá xu thế diễn biến số lượng và chất lượng nguồn nước mặt trong vùng dự án vào mùa khô và mùa mưa năm 2022, 2023. Mật độ lấy mẫu là 7 mẫu/huyện, nhằm đánh giá chi tiết hơn CLN trong vùng, làm cơ sở đề xuất các giải pháp giảm thiểu ô nhiễm, bảo vệ bền vững, ổn định tài nguyên nước mặt và sinh kế cho cộng đồng, góp phần xây dựng nông thôn mới theo các tiêu chuẩn của Quốc gia.



Hình 1. Bản đồ hệ thống công trình vùng Nam Măng Thít [19].



Hình 2. Phân vùng xâm nhập mặn và sinh kế bền vững cho cộng đồng [17].

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Đánh giá diễn biến chất lượng nước

Nghiên cứu sử dụng phương pháp lấy mẫu nước hiện trường vào các thời điểm mùa mưa và mùa khô năm 2022 và 2023, tổng 21 mẫu với 4 đợt thu mẫu (Bảng 1, Hình 3). Số liệu mẫu được tham khảo từ các dự án [20].

Kết quả phân tích mẫu được sử dụng để đánh giá diễn biến CLN theo 2 phương pháp:
 - Đánh giá từng thông số phân tích theo QCVN 08-MT:2015/BTNMT [21] (thời điểm lấy mẫu trước khi QCVN 08:2023/BTNMT [22] có hiệu lực), gồm 12 thông số: Độ mặn, pH, DO, TSS, BOD₅, COD, PO₄³⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, Fe^{TS} và Coliform.

- Đánh giá thông qua tính toán giá trị WQI (chỉ số chất lượng nước Việt Nam theo Quyết định số 1460/QĐ-TCMT) [23].

Chỉ số WQI_{tổng} (tại mỗi vị trí lấy mẫu) được tính toán theo công thức sau:

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

Trong tính toán WQI sẽ sử dụng 9 thông số thuộc 3/5 nhóm thông số và có tính đến trọng số: nhóm I (pH), nhóm IV (DO, BOD₅, COD, N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂, P-PO₄) và nhóm V (Coliform). Kết quả được so sánh với 6 mức thang màu: Loại I (WQI = 91÷100) chất lượng nước rất tốt, sử dụng tốt cho mục đích cấp nước sinh hoạt (Màu xanh nước biển); Loại II (WQI = 76÷90) chất lượng nước tốt, sử dụng cho mục đích cấp nước sinh hoạt nhưng cần các biện pháp xử lý phù hợp (Màu xanh lá cây); Loại III (WQI = 51÷75) chất lượng nước trung bình, sử dụng cho mục đích tưới tiêu và các mục đích tương đương khác (Màu vàng); Loại IV (WQI = 26÷50) chất lượng nước kém, sử dụng cho giao thông thủy và các mục đích tương đương khác (Màu cam); Loại V (WQI = 10÷25) chất lượng nước ô nhiễm nặng, cần các biện pháp xử lý trong tương lai (Màu đỏ); Loại VI (WQI < 10) chất lượng nước ô nhiễm rất nặng, nước nhiễm độc, cần có biện pháp khắc phục, xử lý (Màu nâu).

Bảng 1. Vị trí thu mẫu trong HTTL Nam Măng Thít 2022-2023.

TT	Ký hiệu	Vị trí	Đặc điểm	TT	Ký hiệu	Vị trí	Đặc điểm
I Khu vực huyện Duyên Hải (Thu mẫu: 6/11/2022 - mùa mưa)							
1	DH1	Giao kênh 3-2 và rạch Tổng Long	Nội đồng	11	CN4	Trên sông Thâu Râu (phía trong cống Thâu Râu, cách 750m).	
2	DH2	Đầu kênh Quan Chánh Bó (gần bến phà Láng Sắt)		12	CN5	Gần UBND xã Trường Thọ	Nội đồng
3	DH3	Trên kênh 3-2 (gần chợ La Bang)		13	CN6	Trên rạch Tân Lập	
4	DH4	Góc giao kênh Quan Chánh Bó và kênh Tắt (luồng tàu ra Biển Đông)	Bên ngoài hệ thống cống kiểm soát mặn	14	CN7	Kênh Cầu Ván	
5	DH5	Ngã ba Rạch cò (cách bến phà Vàm Rạch cò 3km)		III Khu vực huyện Trà Cú (Thu mẫu: mùa mưa - 10/9/2023)			
6	DH6	Trên sông Cồn Lợi (cách cầu Đông Hải 1,2km)		15	TC1	Cầu Mù U (ngoài cống kiểm soát mặn Trà Cú)	Bên ngoài HT cống kiểm soát mặn
7	DH7	Trên sông Cồn Lợi		16	TC2	Trên rạch Tổng Long (cầu - cống Hàm Giang, cách 750m)	
8	CN1	Trong cống Chà Và (cách cống 650m) tại ngã 3 sông Vĩnh Kim		17	TC3	Phía ngoài cống Đại An 200m	
II Khu vực huyện Cầu Ngang (Thu mẫu: mùa khô - 06/04/2023 và mùa mưa - 03/08/2023)							
9	CN2	Trung tâm TT. Cầu Ngang trên sông Vĩnh Kim - Cầu Ngang		18	TC4	Cách ngã 3 kênh Bắc Trang 500m (trong cống Bắc Trang)	
10	CN3	Trên sông Thâu Râu, gần chợ Hiệp Mỹ	Trong cống kiểm soát mặn cấp I	19	TC5	Cầu Phước Hưng, trên kênh 3/2	Nội đồng
				20	TC6	Cầu Trà Cú 2 (phía trong cống kiểm soát mặn Trà Cú)	
				21	TC7	Trên kênh 3/2, gần UBND xã Long Hiệp	

2.2. Đánh giá diễn biến số lượng nguồn nước mặt

a) Phương pháp thu thập và xử lý số liệu

Nghiên cứu sử dụng số liệu đo về lượng mưa tại trạm khí tượng Càng Long, Trà Vinh và mực nước tại trạm Mỹ Thuận, Cần Thơ trong khoảng 20 năm gần đây để đánh giá xu thế nguồn nước mặt.

b) Phương pháp mô hình toán

MIKE11 là một phần mềm kỹ thuật chuyên dụng do Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI) [24] xây dựng và phát triển, được ứng dụng để mô phỏng chế độ thủy động lực (lưu lượng, mực nước,...), chất lượng nước và vận chuyển bùn cát ở cửa sông, sông, hệ thống kênh dẫn (mô hình 1D).

- Thiết lập mô hình

Số liệu địa hình: Tài liệu mạng lưới sông kênh trong vùng nghiên cứu được số hóa từ phần mềm hệ thống thông tin địa lý (GIS) Google Earth. Dữ liệu địa hình kế thừa mạng lưới tính toán cho toàn vùng ĐBSCL do viện Khoa học Thủy lợi miền Nam thiết lập năm 2010, được Viện Kỹ thuật Biển bổ sung và cập nhật đến năm 2018.

Số liệu thủy hải văn: kế thừa từ nhiệm vụ dự báo nguồn nước vùng ĐBSCL do Viện Kỹ thuật Biển thực hiện hàng năm. Số liệu lưu lượng tại các trạm trên sông: biên Chợ Lách (Sông Tiền) và biên Cần Thơ (Sông Hậu); Số liệu dao động mực nước triều: biên các cửa sông (Cung Hầu, Cổ Chiên, Thâu Râu, Quan Chánh Bó, Quan Chánh Bó - Duyên Hải, Định An, Trần Đề).

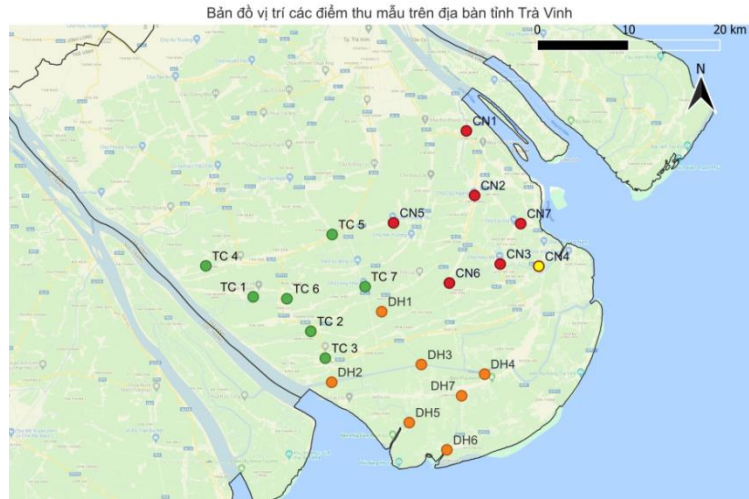
Số liệu hoạt động đóng, mở các cống của hệ thống công trình trong vùng lấy theo Quyết định số 829/QĐ-BNN-TCTL ngày 04/3/2021 về việc ban hành Quy trình vận hành hệ thống công trình thủy lợi Nam Măng Thít của Bộ NN&PTNT.

Sơ đồ tính được thiết lập cho HTTL Nam Măng Thít với hơn 24 nhánh sông, kênh chính trong vùng, hơn 15 cống kiểm soát mặn cấp I, các biên mở bao gồm 2 biên sông (lưu lượng) và 7 biên phía biển (mực nước) (Hình 4).

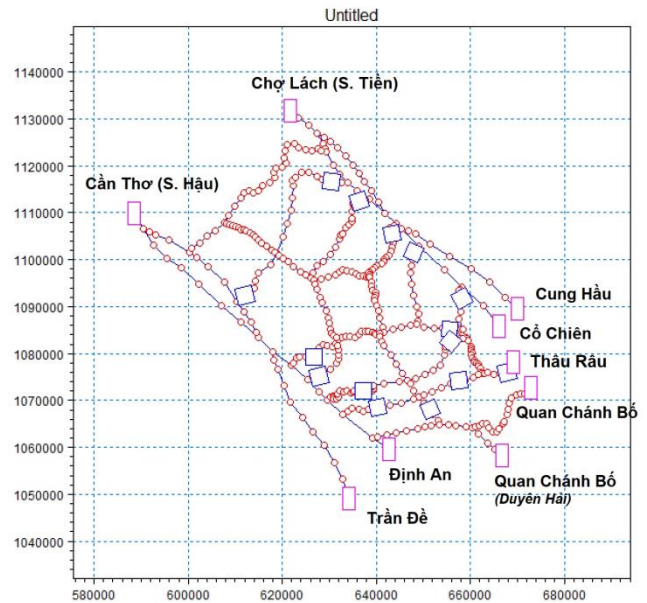
Thời gian chạy mô hình là từ ngày 1/1/2023 đến 31/8/2023 với bước thời gian tính toán là 1 giờ.

- Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Để đánh giá sự phù hợp giữa số liệu thực đo và số liệu tính toán từ mô hình có thể dựa vào bình phương hệ số tương quan (R^2) theo công thức (2) và chỉ số NSE (*Nash-Sutcliffe*) công thức (3):



Hình 3. Bản đồ vị trí các điểm thu mẫu trên địa bàn tỉnh Trà Vinh.



Hình 4. Sơ đồ mạng lưới tính toán cho vùng và vị trí các biên.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{obs,i} - \bar{Y}_{obs})(Y_{sim,i} - \bar{Y}_{sim})}{\left[\sum_{i=1}^N (Y_{obs,i} - \bar{Y}_{obs})^2 \right]^{0.5} \left[\sum_{i=1}^N (Y_{sim,i} - \bar{Y}_{sim})^2 \right]^{0.5}} \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{obs,i} - Y_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_{obs,i} - \bar{Y}_{obs})^2} \quad (3)$$

Trong đó $Y_{sim,i}$ là giá trị tính toán tại thời điểm thứ i ; $Y_{obs,i}$ là giá trị thực đo tại thời điểm thứ i ; \bar{Y}_{obs} là giá trị trung bình thực đo, \bar{Y}_{sim} là giá trị trung bình tính toán.

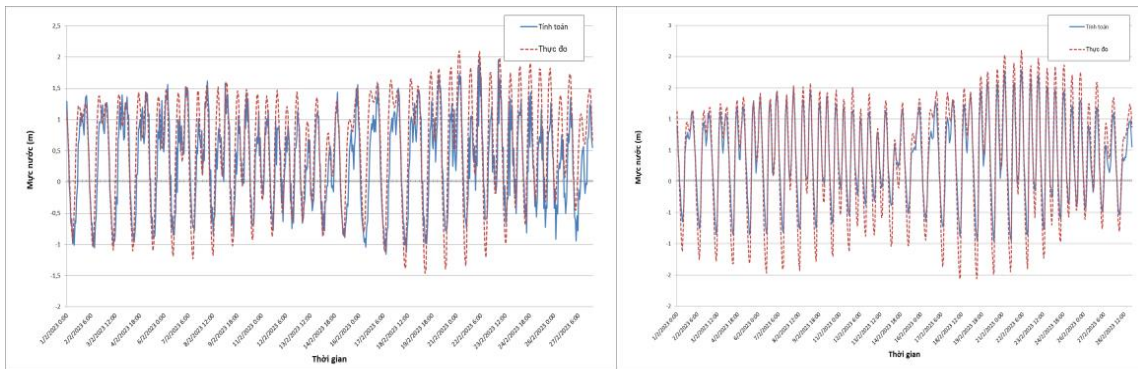
Đánh giá độ chính xác của mô hình theo các chỉ số NSE và R^2 : Dưới mức vừa phải ($NSE \leq 0,50$, $R^2 \leq 0,60$); Vừa phải ($0,50 < NSE \leq 0,70$, $0,60 < R^2 \leq 0,75$); Tốt ($0,70 < NSE \leq 0,80$, $0,75 < R^2 \leq 0,85$); Rất tốt ($NSE > 0,8$, $R^2 > 0,85$).

Việc hiệu chỉnh và kiểm định các thông số mô hình thủy lực đã được thực hiện cẩn thận, các số liệu tính toán và thực đo có sự tương quan tốt.

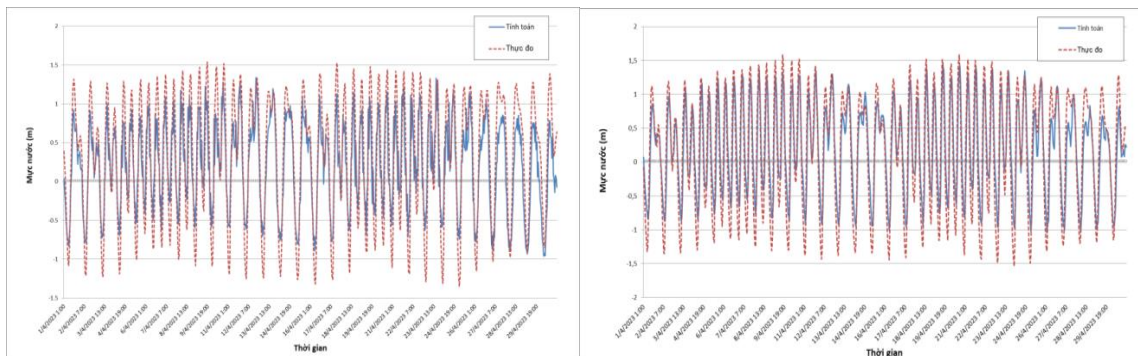
Số liệu dùng để hiệu chỉnh (từ ngày 1-28/2/2023) và kiểm định (từ ngày 1-30/4/2023) là số liệu thực đo mực nước giờ tại trạm thủy văn Trà Vinh và Đại Ngãi (trạm KTTV Quốc gia) cung cấp bởi Đài KTTV khu vực Nam Bộ.



Hình 5. Vị trí các trạm đo mực nước trên sông Mê Công [1].



Hình 6. Biểu đồ tương quan mực nước giá trị tính toán và thực đo trạm Trà Vinh ($R^2 = 0,76$, $NSE = 0,71$) và Đại Ngãi ($R^2 = 0,95$, $NSE = 0,89$) tháng 2/2023.



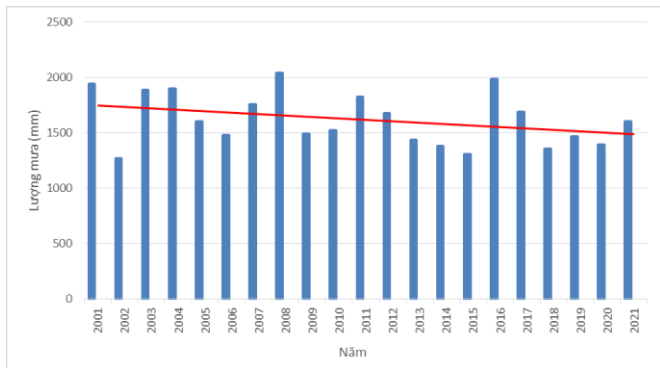
Hình 7. Biểu đồ tương quan mực nước giá trị tính toán và thực đo trạm Trà Vinh ($R^2 = 0,79$, $NSE = 0,75$) và Đại Ngãi ($R^2 = 0,83$, $NSE = 0,76$) tháng 4/2023.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xu thế biến đổi số lượng nguồn nước mặt

a) Biến đổi lượng mưa

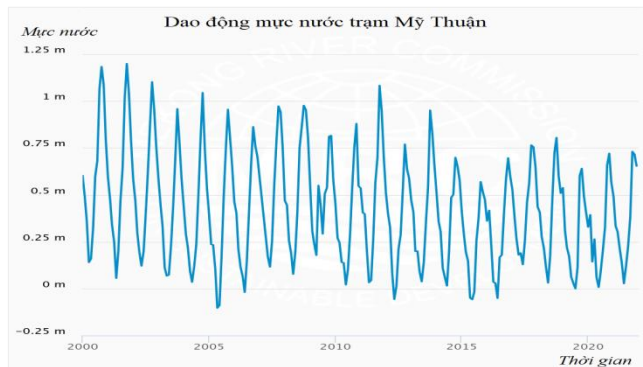
Số liệu thu thập là tài liệu thực đo lượng mưa từng tháng, từ năm 2001 đến năm 2021 của trạm khí tượng Càng Long (trạm KTTV Quốc gia) do Đài Khí tượng thủy văn tỉnh Trà Vinh quản lý. Kết quả tính toán tổng lượng mưa năm được thể hiện trên hình 8. Lượng mưa chủ yếu diễn ra nhiều vào khoảng từ tháng 5 đến tháng 10, những tháng còn lại mưa ít hoặc không có mưa. Năm cao nhất lượng mưa lên đến 2042,3 mm vào năm 2008, lượng mưa thấp nhất chỉ 1267,7 mm vào năm 2002. Nhìn chung, lượng mưa năm có xu thế giảm dần trong vòng 20 năm qua.



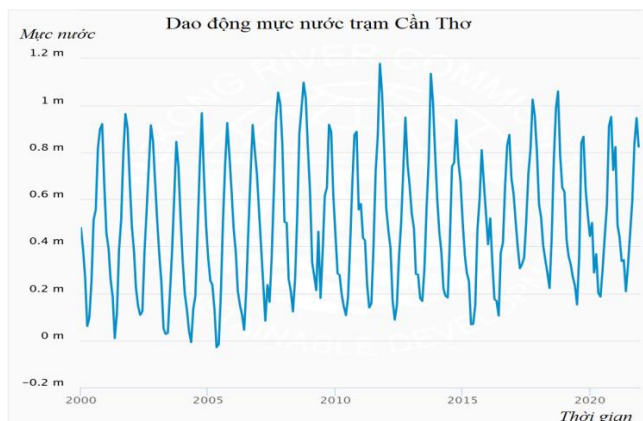
Hình 8. Diễn biến lượng mưa năm trạm Càng Long.

b) Biến đổi lượng nước mặt

- Diễn biến nguồn nước từ thượng lưu sông Mê Công về vùng Nam Măng Thít: Theo [1], trong khoảng từ năm 2000 đến 2020, dòng chảy lũ đang biến động theo xu thế giảm so với quá khứ: Từ 2011 về trước, khoảng 4-4,5 năm xuất hiện một trận lũ vừa - lớn; Từ sau 2011-nay, lũ nhỏ liên tục xuất hiện. Đặc biệt, năm 2019-2020 nguồn nước Mê Công về ĐBSCL được đánh giá từ ít nước - rất ít nước. Tình trạng xâm nhập mặn trở nên nghiêm trọng hơn với đỉnh mặn xuất hiện sớm (từ tháng 12, tháng 1) và chiều dài xâm nhập mặn từ cửa sông sâu hơn (ranh mặn 4 g/l từ 60-70 km). Nguồn nước ngọt ở các vùng ven biển thiếu từ các tháng 1-3 [1]. Số liệu thu thập mực nước trạm Mỹ Thuận và Cần Thơ [25] (trạm KTTV Quốc gia, vị trí trạm xem Hình 5) giai đoạn 2000 đến 2021 cũng cho thấy xu thế giảm so với quá khứ. Xem hình 9 và 10.



Hình 9. Diễn biến mực nước tại trạm Mỹ Thuận [25].



Hình 10. Diễn biến mực nước tại trạm Cần Thơ [25].

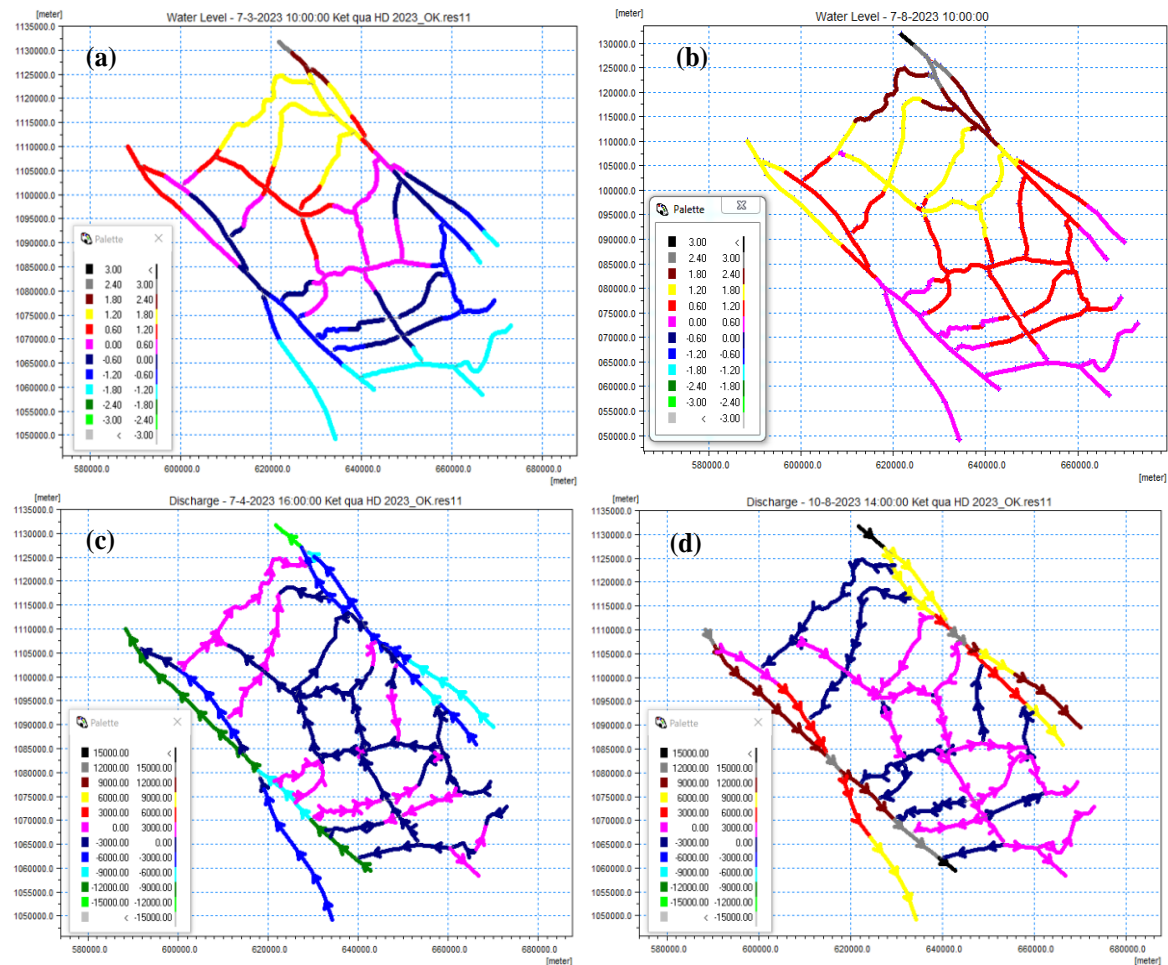
- Diễn biến nguồn nước trong vùng HTTL Nam Măng Thít vào mùa khô và mùa mưa năm 2023: Kết quả chạy mô hình từ ngày 1/1/2023 đến 31/8/2023 cho phép truy xuất diễn biến nguồn nước trong các hệ thống kênh rạch chính trong vùng Nam Măng Thít (Hình 11). Ba yếu tố chi phối mạnh đến chế độ dòng chảy, nguồn nước khu vực HTTL Nam Măng Thít là dòng chảy (mùa lũ - kiệt) từ sông Mê Công, chế độ bán nhật triều biển Đông, chế độ khí hậu gió mùa Đông Bắc và Tây Nam; đã tạo ra một số đặc điểm cơ bản sau:

+ Về lưu lượng nước: vùng Nam Măng Thít nằm giữa 2 cửa sông lớn của sông Mê Công là Định An - Trần Đề (sông Hậu) và Cung Hầu - Cổ Chiên (sông Tiền). Do vậy,

lượng nước đến vùng nghiên cứu luôn chiếm ưu thế hơn so với các vùng lân cận và phụ thuộc nhiều vào chế độ dòng chảy sông Mê Công. Lưu lượng nước trong sông Măng Thít dao động trong khoảng từ 1000-1200 m³/s. Đối với trường hợp tính toán các cống cấp I đóng, các cống cấp II mở, lưu lượng các kênh rạch nội đồng (như kênh 3 tháng 2) khoảng từ 100-120 m³/s. Khi các cống cấp II trong vùng đóng, lượng nước được giữ lại trong các kênh nội đồng nhưng chế độ dòng chảy giảm do hạn chế lưu thông.

+ Về dao động mực nước: Biên độ triều biển Đông là yếu tố ảnh hưởng lớn đến dao động mực nước trong vùng. Mực nước trong các sông kênh nội đồng dao động theo chế độ bán nhật triều không đều. Tại sông Măng Thít độ lớn triều (khoảng cách từ chân triều đến đỉnh triều) đạt từ 1÷3 m trong ngày; Mực nước trung bình triều thấp là -0,5 m, mực nước trung bình triều cao là +1,4 m. Trường hợp tính toán các cống cấp I đóng, tại các kênh rạch nội đồng (như kênh 3 tháng 2) độ lớn triều đạt từ 0,8÷1,2 m trong ngày. Mực nước trung bình triều cao khoảng +1,0 m giảm dần từ đầu tháng 1 đến cuối tháng 5, sau đó tăng dần đến cuối mùa lũ.

+ Về chế độ dòng chảy: Hệ thống nằm trong khu vực khí hậu nhiệt đới gió mùa, hàng năm bị chi phối bởi gió mùa Đông Bắc - mùa khô (từ giữa tháng X đến tháng IV năm sau) và Tây Nam - mùa mưa (từ tháng V đến tháng X). Mùa khô, dòng chảy từ thượng lưu sông Mê Công giảm, ảnh hưởng của biển sẽ tăng dần, nước mặn từ biển xâm nhập sâu vào trong các nhánh sông Tiền, sông Hậu và các kênh rạch trong vùng. Vào mùa mưa dòng chảy từ sông đổ ra biển với lưu lượng rất lớn bổ sung nước ngọt, rửa mặn, rửa phèn trong đất và các kênh rạch, nhưng đồng thời cũng rửa trôi các chất ô nhiễm, chất thải trên mặt đất xuống nguồn nước. Dòng chảy trong các sông kênh đảo chiều theo các dao động của mực nước.



Hình 11. Diễn biến mực nước và lưu lượng vào mùa khô và mùa mưa năm 2023: (a) Diễn biến mực nước (m) - 10h ngày 7/3/2023, (b) Diễn biến mực nước (m) - 10h ngày 7/8/2023, (c) Phân bố lưu lượng (m³/s) - 16h ngày 7/4/2023, (d) Phân bố lưu lượng (m³/s) - 14h ngày 10/8/2023.

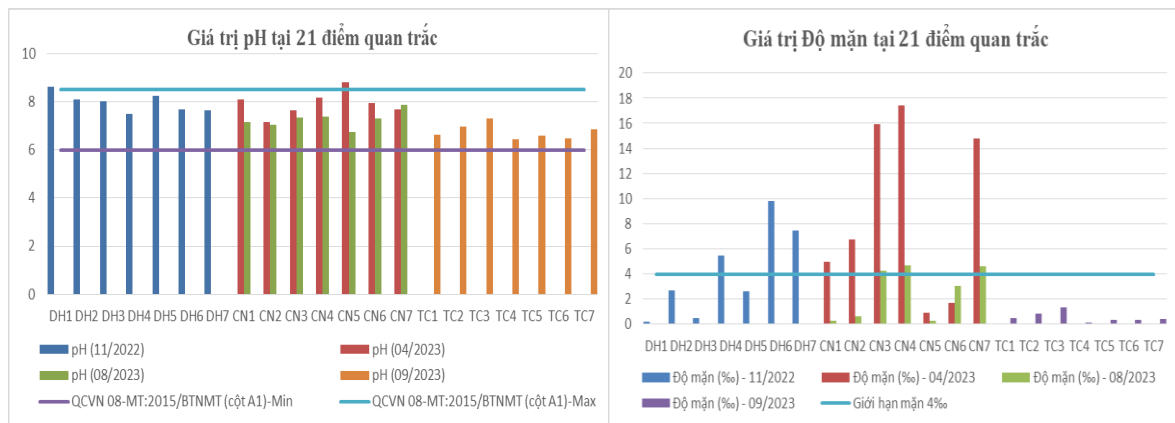
3.2. Diễn biến chất lượng nguồn nước mặt

Kết quả phân tích CLN cho thấy có sự biến động rõ theo thời gian và không gian như: (i) Mùa khô nước bị ô nhiễm và có độ mặn cao hơn nhiều so với mùa mưa; (ii) khu vực nội đồng (trong công cấp II) độ mặn được kiểm soát tốt nhưng nước bị tù đọng và ô nhiễm dinh dưỡng, hữu cơ, pH cao; (iii) khu vực phát triển NTTS (trong công cấp I) nước bị nhiễm mặn mức độ vừa đến cao và bị ô nhiễm hữu cơ.

a) Đánh giá chất lượng nước theo QCVN 08-MT:2015/BTNMT [21]

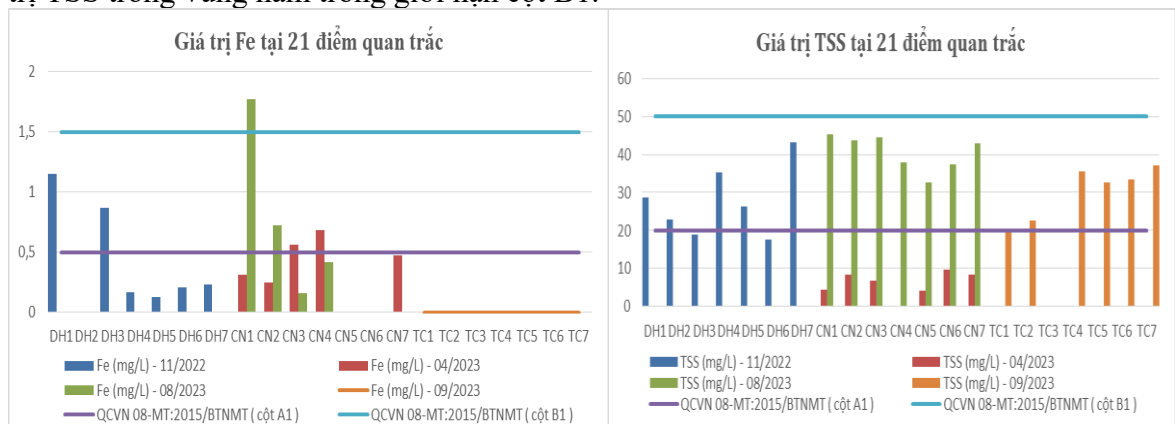
Các thông số phân tích được so sánh với giá trị giới hạn của cột A1 - Nước sử dụng cho mục đích cấp nước sinh hoạt và cột B1- Dùng cho mục đích tưới tiêu, thủy lợi hoặc các mục đích sử dụng khác.

Giá trị pH trong vùng ổn định. Tại điểm CN5 (khu vực nội đồng) giá trị pH > 8,5, nước bị ô nhiễm, có tính kiềm cao (Hình 12).



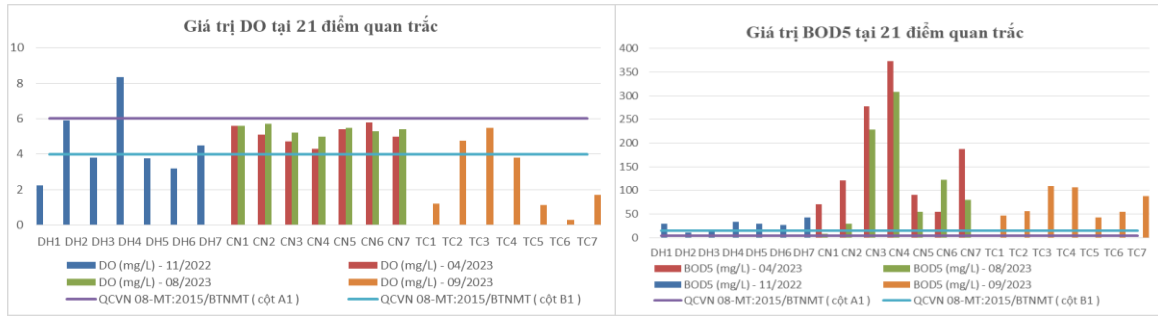
Hình 12. Diễn biến giá trị pH và độ mặn.

Đặc điểm chung của nguồn nước là độ nhiễm mặn rất cao đặc biệt vào mùa khô. Khu vực nội đồng (điểm DH1, CN5, CN6, TC4, 5, 6 và 7) với sự hỗ trợ của hệ thống công ngăn mặn, đảm bảo kiểm soát được độ mặn trong nước phục vụ canh tác nông nghiệp lúa và rau màu (Hình 13). Thông số Sắt tổng trong nước dùng để đánh giá mức độ nhiễm phen sắt. Tại điểm CN1 có giá trị Fe^{TS} cao, có thể do nước mưa rửa trôi lớp đất bị nhiễm phen hoặc do hoạt động xả thải xuống kênh. Giá trị TSS là hàm lượng cặn lơ lửng trong môi trường nước, sẽ không thuận lợi cho động và thực vật thủy sinh vì khi đó sẽ giảm khả năng xâm nhập ánh sáng mặt trời vào trong thủy vực, làm hạn chế việc quang hợp của thực vật thủy sinh. Giá trị TSS trong vùng nằm trong giới hạn cột B1.

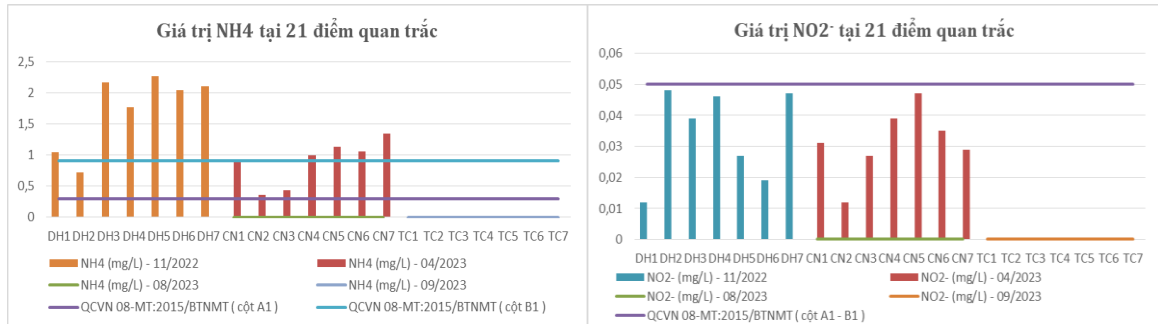


Hình 13. Diễn biến giá trị Fe^{TS} và TSS.

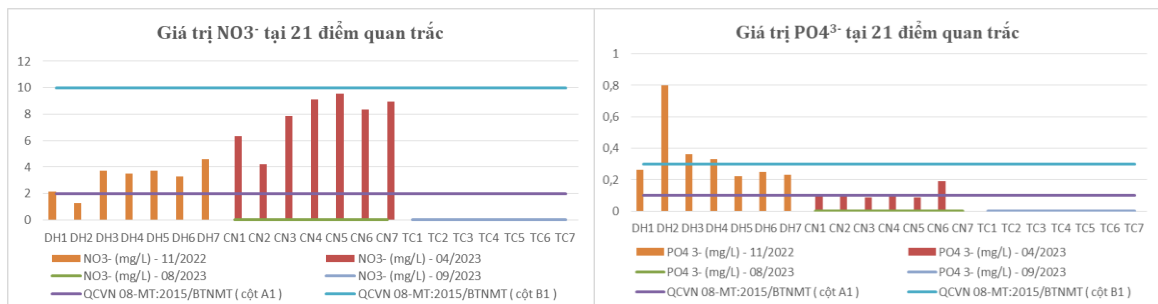
DO là lượng oxy hoà tan trong nước cần thiết cho sự hô hấp của các sinh vật nước (cá, lưỡng thể, thủy sinh, côn trùng,...). Nước bị ô nhiễm nặng về chỉ tiêu BOD₅, nguồn nước bị phú dưỡng, tù đọng (Hình 14).



Hình 14. Diễn biến giá trị DO và BOD₅.

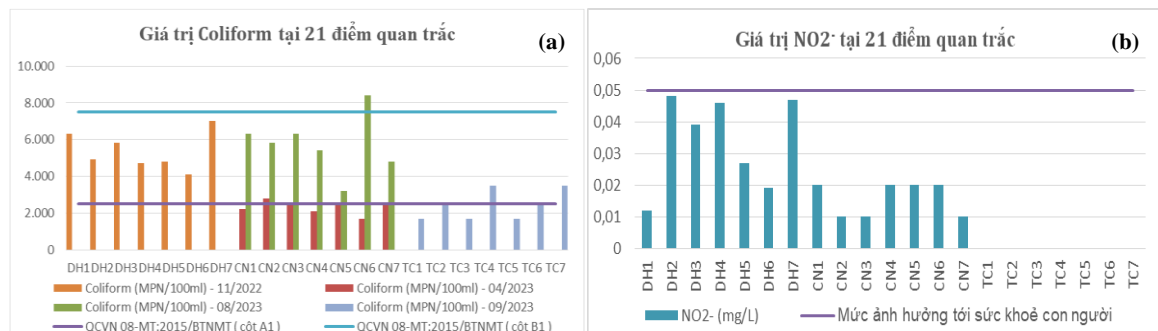


Hình 15. Diễn biến giá trị NH₄⁺ và NO₂⁻.



Hình 16. Diễn biến giá trị NO₃⁻ và PO₄³⁻.

Thông qua kết phân tích các thông số NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, có thể thấy, nhìn chung nguồn nước thải, chất thải từ sinh hoạt, hoạt động nông nghiệp, chăn nuôi gia súc, NTTS,... trên địa bàn được kiểm soát khá tốt, chất lượng nguồn nước đảm bảo, ít bị ô nhiễm bởi các chất hữu cơ (Hình 15, Hình 16). Qua khảo sát một số cơ sở chăn nuôi, sản xuất lớn đều có hệ thống Biogas, hệ thống xử lý nước trước khi thải ra môi trường. Huyện Duyên Hải, khu vực ngoài đô thị chỉ tiêu NH₄⁺ và PO₄³⁻ cao do nuôi trồng thủy sản (Hình 16). Kết quả quan trắc thông số Coliform dùng để đánh giá mức độ ô nhiễm vi sinh của nguồn nước. Giá trị Coliform mùa mưa cao hơn mùa khô có thể là do nước mưa rửa trôi các chất ô nhiễm có nguồn gốc từ phân, rác, chất thải, xác chết của sinh vật,... trên bề mặt đất xuống nguồn nước (Hình 17).



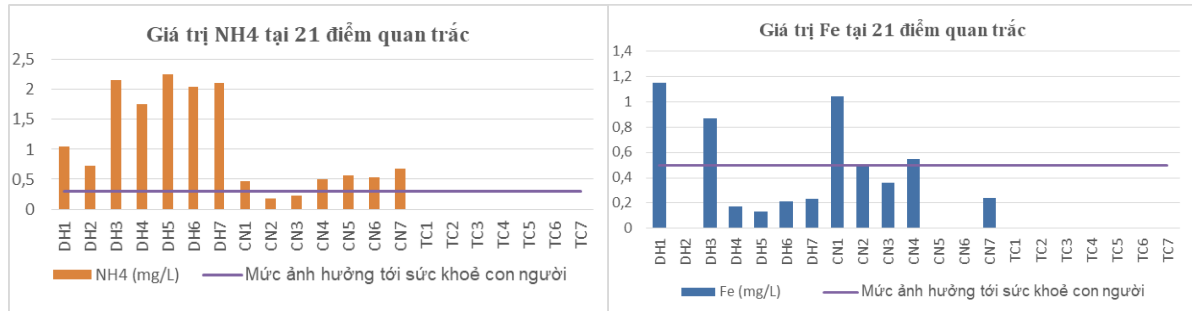
Hình 17. (a) Diễn biến giá trị Coliform; (b) Biểu đồ so sánh giá trị NO₂⁻ với mức ảnh hưởng tới sức khỏe con người.

b) Đánh giá chất lượng nước theo QCVN 08:2023/BTNMT [22]

QCVN 08:2023/BTNMT có hiệu lực từ 12/9/2023. Nguyên tắc để đánh giá phân loại CLN trong sông, kênh và bảo vệ môi trường sống dưới nước là số lần quan trắc tại mỗi vị trí phải đạt tối thiểu 10 lần/1 năm để lấy trung bình số học. Nguyên tắc để đánh giá các thông số ảnh hưởng tới sức khỏe con người là số lần quan trắc đạt tối thiểu 6 lần/1 năm.

Nghiên cứu sử dụng kết quả phân tích mẫu khu vực huyện Duyên Hải, Trà Cú (1 lần quan trắc) và Cầu Ngang (2 lần quan trắc, lấy giá trị trung bình) để đánh giá. Tuy chưa đủ số lần quan trắc, nhưng cũng giúp nhận diện được các nguy cơ ô nhiễm nguồn nước mặt.

Các kết quả đánh giá CLN gần như tương đồng với theo QCVN 08-MT:2015. Kết quả đánh giá các thông số ô nhiễm gây ảnh hưởng tới sức khỏe con người cho thấy giá trị NO_2^- đảm bảo, giá trị NH_4^+ và Fe^{TS} vượt ngưỡng tại nhiều vị trí (Hình 17b, Hình 18).



Hình 18. Biểu đồ so sánh giá trị NH_4^+ và Fe^{TS} với mức ảnh hưởng tới sức khỏe con người.

c) Đánh giá chất lượng nước thông qua tính toán giá trị WQI

Bảng 2. Tổng hợp kết quả tính WQI.

Huyện Duyên Hải		Huyện Cầu Ngang		Huyện Trà Cú		
Vị trí	6/11/2022	Vị trí	06/04/2023	03/08/2023	Vị trí	10/9/2023
DH1	20	CN1	68	79	TC1	80
DH2	70	CN2	72	72	TC2	78
DH3	62	CN3	69	66	TC3	78
DH4	63	CN4	63	69	TC4	75
DH5	60	CN5	11	78	TC5	80
DH6	61	CN6	65	58	TC6	79
DH7	53	CN7	64	72	TC7	75

Qua kết quả khảo sát và phân tích chất lượng nước tại các vị trí quan trắc có một số đặc điểm cơ bản sau:

- Vùng nghiên cứu có hệ thống kênh rạch phong phú với hệ thống công kiểm soát mặn đồng bộ phục vụ phát triển NTTS và vùng canh tác nông nghiệp lúa - màu. Nguồn nước khai thác, sử dụng cho các hoạt động sinh hoạt và sản xuất chủ yếu là nước ngầm.

- CLN toàn vùng nhìn chung khá tốt, các mẫu được lấy vào mùa mưa cho kết quả CLN tốt hơn mùa khô. Tuy nhiên, nước mưa cũng rửa trôi các chất ô nhiễm trên bề mặt đất xuống kênh rạch, nên cần tăng cường các hoạt động thu gom chất thải rắn đúng nơi quy định.

- Đặc điểm chung của nguồn nước là độ nhiễm mặn rất cao đặc biệt vào mùa khô. Nước bị ô nhiễm nặng về chỉ tiêu BOD_5 , nguồn nước bị phú dưỡng, tù đọng.

- Tại khu vực nội đồng, điểm DH1 (vào mùa mưa $\text{WQI} = 20$), CN5 (vào mùa khô $\text{WQI} = 11$) giá trị $\text{pH} > 8,5$, nguồn nước có tính kiềm cao. Do vậy, điều đặc biệt cần chú trọng trên địa bàn là tăng cường các giải pháp khơi thông dòng chảy, tạo độ dốc cho dòng chảy, tăng khả năng tự làm sạch, khả năng oxy hóa nguồn nước giúp chuyển hóa các chất hữu cơ trong nước, giảm sự phát triển của các loài thực vật thủy sinh (Bảng 2).

- Một số vị trí có chất lượng nguồn nước tốt trong năm, như điểm CN1 (đầu sông Vĩnh Kim), điểm TC5 (gần cầu Phước Hưng): dòng chảy thông thoáng, mùa khô độ mặn thấp, mùa mưa không bị nhiễm mặn, không bị ô nhiễm các chất hữu cơ. Tại khu vực này có thể đầu tư xây dựng các công khai thác nguồn nước mặt để cấp cho sinh hoạt (đặc biệt là vào mùa khô), hạn chế tình trạng khai thác nước ngầm. Hiện tại, hầu như các trạm cấp nước trong vùng đều khai thác nguồn nước ngầm cho sinh hoạt. Tuy nhiên cần lưu ý các giải pháp làm tăng khả năng tự làm sạch, oxy hóa nguồn nước giúp chuyển hóa các chất hữu cơ trong nước.

3.3. Các nguyên nhân gây ô nhiễm chất lượng nước và đề xuất giải pháp

- Vùng Nam Măng Thít có hệ thống sông kênh dày đặc, người dân trong vùng đa phần đều sống tập trung dọc theo các hệ thống sông, kênh này. Chất thải từ sinh hoạt hằng ngày hầu như đều được thải trực tiếp xuống hệ thống kênh rạch, không qua hệ thống xử lý, điều này đã làm gia tăng ô nhiễm nguồn nước mặt.

- Ngoài ra, các hoạt động nông nghiệp cũng là tác nhân không nhỏ gây ô nhiễm nguồn nước: Chăn nuôi gia súc gia cầm: Đa phần các cơ sở nhỏ lẻ chưa có hệ thống xử lý chất thải, nước thải trước khi xả ra kênh rạch; NTTS (cá, tôm,...): nước thải, chất thải (thức ăn dư thừa, bùn cặn,...) chưa qua xử lý được thải trực tiếp ra sông rạch gây ô nhiễm, cản trở lưu thông dòng chảy; Sử dụng các loại phân bón, thuốc bảo vệ thực vật, các chất thải trong quá trình trồng trọt, sản xuất,...

- Hoạt động của các làng nghề, tiểu thủ công nghiệp: hầu như chưa có hệ thống xử lý nước thải.

- Hệ thống thu gom và xử lý chất thải rắn chưa được đầu tư đồng bộ.

- Vận hành cửa cống: hoạt động đóng mở cống có liên quan chặt chẽ đến lượng nguồn nước trong hệ thống thủy lợi. Việc cống đóng lâu ngày để ngăn mặn có thể làm cho chất ô nhiễm tồn đọng, kênh rạch không tiêu thoát chất ô nhiễm ra ngoài được dẫn đến ô nhiễm cục bộ trong vùng.

Một số giải pháp giúp nâng cao hiệu quả quản lý tài nguyên nước mặt như sau: Giám sát định kỳ và thường xuyên hơn chất lượng nguồn nước; Phát triển mô hình xử lý và tái sử dụng nguồn nước thải; Tăng cường các hoạt động nạo vét, khơi thông dòng chảy, phát quang kênh rạch, vệ sinh môi trường; Thường xuyên bảo trì, bảo dưỡng hệ thống cống kiểm soát mặn, vận hành đúng quy định theo hướng đảm bảo hiệu quả ngăn mặn và tăng cường sự lưu thông của nguồn nước; Hạn chế việc khai thác nguồn nước ngầm cấp nước cho sinh hoạt và các hoạt động khác trên địa bàn.

4. Kết luận

Trong quá trình phát triển kinh tế - xã hội, hầu như mọi hoạt động của con người đều tác động trực tiếp và là nguyên nhân làm thay đổi chất lượng nguồn nước mặt. Với mỗi ngành kinh tế khác nhau thì mức độ tác động tới chất lượng nguồn nước cũng sẽ khác nhau và phụ thuộc rất nhiều vào hiệu quả của công tác kiểm soát nguồn gây ô nhiễm như: nước thải sinh hoạt, chăn nuôi, sản xuất công nghiệp - tiểu thủ công nghiệp, trồng trọt và hoạt động NTTS,... Bên cạnh đó, vùng Nam Măng Thít nằm ở ven biển, CLN ngoài các yếu tố tác động nêu trên, còn chịu tác động của xâm nhập mặn từ biển Đông. Dưới ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, số lượng nguồn nước mặt có xu thế giảm sẽ gia tăng áp lực lên chất lượng nước, làm ảnh hưởng đến đời sống và sinh kế người dân trong vùng.

Kết quả nghiên cứu đã tổng hợp và đánh giá được diễn biến nguồn nước thượng lưu đến trạm thủy văn Mỹ Thuận, Cần Thơ và lượng mưa nội vùng Nam Măng Thít có xu thế giảm trong giai đoạn từ năm 2000 đến 2021; Tính toán được chế độ thủy lực trong sông kênh nội vùng có cập nhật đến thời điểm năm 2023; Đánh giá được chất lượng nước trong vùng theo 2 phương pháp: đánh giá từng thông số phân tích và tính giá trị WQI; Nhận định được các loại hình chất ô nhiễm, nguyên nhân gây ô nhiễm và đề xuất các giải pháp khắc

phục, đề xuất những vị trí có chất lượng nước tốt có thể đầu tư khai thác nguồn nước mặt phục vụ cho sinh hoạt nhằm hạn chế việc khai thác nước ngầm.

Nghiên cứu còn một số hạn chế, mạng lưới tính toán thủy lực của mô hình chưa được cập nhật các rạch nhỏ trong vùng và hệ thống cống cấp II kiểm soát nguồn nước, số lần lấy mẫu tại các vị trí chưa đảm bảo từ 6-10 lần/1 năm như yêu cầu trong QCVN 08:2023/BTNMT. Các nghiên cứu tiếp theo sẽ nhằm khắc phục những hạn chế này và hướng đến xây dựng mạng lưới tính toán thủy lực và giám sát chất lượng nước theo thời gian thực.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của nhiệm vụ: “Kiểm kê, kiểm soát, bảo vệ chất lượng nước; phục hồi cảnh quan, cải tạo hệ sinh thái ao hồ và các nguồn nước mặt trên địa bàn huyện Duyên Hải, Cầu Ngang và Trà Cú, tỉnh Trà Vinh (2022 - 2023)”.

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. Viện Khoa học thủy lợi Miền Nam. Một số vấn đề liên quan đến an ninh nguồn nước vùng ĐBSCL và định hướng các vấn đề nghiên cứu. Kỷ yếu hội thảo của Bộ khoa học công nghệ 2023: Định hướng phát triển và ứng dụng khoa học công nghệ đảm bảo an ninh nguồn nước giai đoạn 2021-2030.
2. Mai, V.T.; Ngân, V.H; Khiêm, M.V.; Hoàng, T.T. Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu đến xâm nhập mặn vùng Đồng bằng sông Cửu Long, đánh giá điển hình tại tỉnh Bến Tre. *Tạp chí Khoa học biến đổi khí hậu* **2018**, 5, 90–98.
3. Hiếu, B. Đ.; Hương, H.T.L; Liễu, N.T.; Thịnh, Đ.Q.; Diệp, B.N. Nghiên cứu đánh giá rủi ro đến tài nguyên nước mặt do biến đổi khí hậu; Áp dụng cho tỉnh Quảng Ngãi. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 711, 1–13.
4. Hoàng, T.B.; Dương, N.B.; Phong, N.C. Chế độ vận chuyển bùn cát vùng đồng bằng sông Cửu Long trong kịch bản phát triển thượng nguồn. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2019**, 57, 47–57.
5. Thảo, N.T.P. Nghiên cứu mức độ ảnh hưởng của sự suy giảm lượng phù sa do xây dựng đập thủy điện trên sông Mekong đến xu thế biến động địa hình đáy khu vực ven biển tỉnh Trà Vinh. Đề tài cấp cơ sở. Trường ĐH Tài nguyên và Môi trường Tp.HCM. Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2019.
6. Grey, D.; Sadoff, C.W. Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy* **2007**, 9, 545–571.
7. Quang, N.M. ĐBSCL trước nguy cơ mất an ninh nguồn nước: Những nguyên nhân và thách thức. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ* **2020**. Truy cập: <https://vjst.vn/vn/tin-tuc/2723/dbscl-truoc-nguy-co-mat-an-ninh-nguon-nuoc--nhung-nguyen-nhan-va-thach-thuc.aspx>.
8. 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.
9. 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.
10. Toàn, N.T.; Phát, L.T.; An, N.T.; Minh, H.V.T.; Tỷ, T.V. Đánh giá hiệu quả chuyển đổi mô hình vận hành cửa van của hệ thống cống dưới đê biển Tây thuộc

- vùng Tứ Giác Long Xuyên, tỉnh Kiên Giang. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 750(1), 89–104.
11. Vương, N.Đ. Nghiên cứu đánh giá tác động của dự án thủy lợi Nam Măng Thít đến phát triển kinh tế - xã hội và môi trường tỉnh Trà Vinh. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, 2011.
 12. Cooke, S.E.; Ahmed, S.M.; MacAlpine, N.D. Introductory guide to surface water quality monitoring in agriculture. Conservation and development branch, Alberta Agriculture, Food and Rural Development. Edmonton, Alberta, Australia, 2000.
 13. Curtis, G.C. Oregon water quality index a tool for evaluating water quality management effectiveness. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **2001**, 37(1), 125-137.
 14. Sharmaa, P.; Meher, P.K.; Kumar, A.; Gautam, Y.P.; Mishra, K.P. Changes in water quality index of Ganges River at different locations in Allahabad. *Sustainability Water Qual. Ecol.* **2014**, 3–4, 67–76.
 15. Sutadian, A.D., Muttill, N.; Yilma, A.; Perer, C. Development of River Water Quality Indices - A Review. *Environ. Monit. Assess.* **2016**, 188, 158.
 16. Tuấn, L.N.; Huy, Đ.T. Diễn biến chất lượng nước mặt vùng bờ thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 2016-2019. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 727, 56–67.
 17. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. Khung quản lý môi trường và xã hội. Dự án chống chịu khí hậu tổng hợp và sinh kế bền vững ĐBSCL, 2016.
 18. Viện Quy hoạch thủy lợi Miền Nam. Giám sát, dự báo chất lượng nước trong hệ thống công trình thủy lợi Nam Măng Thít, phục vụ lấy nước sản xuất nông nghiệp. Nhiệm vụ thường xuyên của Bộ NN và PTNT, 2023.
 19. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. Quyết định số 829/QĐ-BNN-TCTL ngày 04/3/2021 về việc ban hành Quy trình vận hành hệ thống công trình thủy lợi Nam Măng Thít, 2021.
 20. Thảo, N.T.P.; Tinh, L.V. cs. Kiểm kê, kiểm soát, bảo vệ chất lượng nước; phục hồi cảnh quan, cải tạo hệ sinh thái ao hồ và các nguồn nước mặt trên địa bàn huyện Duyên Hải, Cầu Ngang và Trà Cú. Trung tâm Tư vấn và Dịch vụ Tài nguyên và Môi trường, 2022 - 2023.
 21. Bộ Tài nguyên và Môi trường. QCVN 08-MT:2015/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về chất lượng nước mặt, 2015.
 22. Bộ Tài nguyên và Môi trường. QCVN 08:2023/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về chất lượng nước mặt, 2023.
 23. Tổng cục Môi trường. Quyết định 1460/QĐ-TCMT ngày 12/11/2019 về việc ban hành hướng dẫn kỹ thuật tính toán và công bố chỉ số chất lượng nước Việt Nam, 2019.
 24. DHI. Water & Environment, Mike 11, 2012.
 25. MRC (Mekong river commission) data and information services. Website: <https://portal.mrcmekong.org>.

Assessing the evolution of surface water resources in the Nam Mang Thit irrigation system to adapt to climate change

Nguyen Thi Phuong Thao^{1*}, Le Van Tinh¹

¹ Hochiminh City University of Natural Resources and Environment;
ntpthao@hcmunre.edu.vn; lvtinh@hcmunre.edu.vn

Abstract: The south of Mang Thit belongs to the two provinces of Tra Vinh and Vinh Long, located in the Southeast of the Mekong Delta. The study uses field water sampling method during the rainy and dry seasons of 2022 and 2023, analyzes samples and evaluates the results of water quality developments in the region. The results of water quality analysis show that there are clear fluctuations over time and space such as: (i) In the dry season, the water is polluted and has a much higher salinity than in the rainy season; (ii) Salinity in the infield area is well controlled but the water is stagnant and polluted with nutrients, organic matter, and high pH; (iii) The aquaculture development area has moderate to high levels of salinity and organic pollution. Mike 11 mathematical modeling software is used to calculate the evolution of surface water resources in the dry and rainy seasons of 2023. The article also proposed solutions to reduce pollution and sustainably protect surface water resources in the region.

Keywords: Water quality; WQI index; Surface water resources; Mekong Delta; Nam Mang Thit region.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu mối quan hệ giữa độ đứt gió thẳng đứng và tổng ẩm khí quyển đến sự phân bố lượng mưa khi bão hoạt động gần bờ và đổ bộ

Đặng Thị Ánh^{1*}, Võ Văn Hòa¹, Phạm Lê Khương^{2,3}, Nguyễn Văn Hiệp¹, Đinh Hữu Dương¹, Vũ Văn Phong¹

¹ Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ;

phuonganhdbkt@gmail.com; vovanhoa80@yahoo.com; hieppwork@gmail.com;
dinhduongkttv@gmail.com; phongdbkt@yahoo.com

² Viện Vật lý địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam;

³ Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam;
phamlekhuongigp@gmail.com

*Tác giả liên hệ: phuonganhdbkt@gmail.com; Tel: +84-904926828

Ban Biên tập nhận bài: 22/11/2023; Ngày phản biện xong: 9/1/2024; Ngày đăng bài: 25/4/2024

Tóm tắt: Bão và mưa lớn do bão là thiên tai gây ảnh hưởng nghiêm trọng cả về người và tài sản. Dự báo được mưa lớn do bão đóng góp quan trọng trong việc phòng tránh và giảm thiểu rủi ro thiên tai. Bài báo này sử dụng số liệu vệ tinh, radar, dữ liệu bão từ Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia kết hợp phân tích hình thế synop, độ đứt gió thẳng đứng, tổng ẩm khí quyển để phân tích sự phân bố mưa khi bão hoạt động gần bờ và đổ bộ, sau đó so sánh với sự phân bố lượng mưa quan trắc của các cơn bão. Kết quả cho thấy khu vực có độ đứt gió yếu (<10 m/s) và có tổng ẩm khí quyển lớn (>60 kg/m²) là môi trường thuận lợi cho bão Biển Đông phát triển. Sự phân bố lượng mưa ảnh hưởng bởi sự phân bố tổng ẩm khí quyển, khu vực có lượng mưa lớn nhất trùng với khu vực có tổng ẩm khí quyển cực đại. Độ đứt gió thẳng đứng có ảnh hưởng mạnh đến sự phân bố của mưa trong bão. Trường hợp độ đứt gió <10 m/s, lượng mưa phân bố tương đối đối xứng qua tâm bão. Trường hợp độ đứt gió >15 m/s, lượng mưa phân bố bất đối xứng và tập trung ở bên trái tâm bão (theo hướng di chuyển). Kết quả của nghiên cứu giúp dự báo viên có cái nhìn tổng quan trong phân tích và dự báo mưa bão.

Từ khóa: Bão (xoáy thuận nhiệt đới); Sự phân bố lượng mưa bão; Mưa lớn.

1. Giới thiệu

Mưa do xoáy thuận nhiệt đới (*Tropical cyclone - TC*) thường gây thiệt hại nghiêm trọng đối với các vùng ven biển nơi bão đổ bộ. Lượng mưa lớn từ TC không chỉ gây ra lũ quét ở bờ biển mà còn có thể mang theo mưa lớn vào sâu trong đất liền. Nghiên cứu các cơ chế gây mưa gắn liền với xoáy thuận nhiệt đới [1–2] cho thấy rằng mưa lớn liên quan chặt chẽ đến vận chuyển ẩm, chuyển tiếp ngoại nhiệt đới, tăng cường tương tác gió mùa, ảnh hưởng địa hình, hoạt động của hệ thống quy mô vừa trong khu vực xoáy thuận nhiệt đới ảnh hưởng.

Độ đứt gió thẳng đứng và chuyển động của bão là hai yếu tố quan trọng tạo ra sự bất đối xứng về lượng mưa trong các xoáy thuận nhiệt đới (TC), đây là kết quả trong nghiên cứu [3] với phương pháp sử dụng số liệu vệ tinh từ Nhiệm vụ đo lượng mưa nhiệt đới (*Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM*). Độ đứt gió thẳng đứng trong nghiên cứu [3] được định nghĩa là sự chênh lệch giữa các vector gió trung bình ở mực 200- và 850-hPa trên một

khu vực bên ngoài kéo dài từ bán kính 200-800 km xung quanh tâm bão. Sự bất đối xứng về lượng mưa tối đa của wavenumber-1 nằm ở phía dưới trái (phải) ở Bắc bán cầu (Nam), điều này cũng được chỉ ra trong nghiên cứu [4]. Trong môi trường độ đứt gió từ trung bình đến mạnh $> 7,5 \text{ m s}^{-1}$, lượng mưa bất đối xứng chủ yếu nằm bên trái, khi độ đứt gió yếu sự bất đối xứng giữa chuyển động và lượng mưa TC có đóng góp lớn hơn, nhất là dải mưa bên ngoài.

Các nghiên cứu về phân bố mưa do bão từ số liệu vệ tinh TRMM và GSMAP như [3], [5–6] cho thấy: (1) Vùng mưa cực đại thường nằm ở góc $\frac{1}{4}$ phía trước so với hướng chuyển động, (2) Vị trí vùng mưa lớn có xu hướng chuyển từ góc $\frac{1}{4}$ phía trước, bên trái sang góc $\frac{1}{4}$ phía trước, bên phải khi bão mạnh lên, (3) Bão mạnh có cường độ mưa trung bình và diện tích vùng mưa trung bình lớn hơn, (4) Cường độ mưa trung bình giảm khi cường độ bão giảm, (5) Con bão yếu có thể tạo ra cực đại cường độ mưa lớn hơn cơn bão mạnh.

Nghiên cứu đặc điểm không gian của các trường mưa liên quan đến các cơn bão nhiệt đới đổ bộ [7] chỉ ra diện tích và sự phân tán của mưa có tương quan đáng kể với cường độ bão và tổng lượng nước mưa bằng cách đo diện tích, độ phân tán và sự dịch chuyển của các trường mưa nhẹ và vừa phải liên quan đến 35 TC đổ bộ vào khu vực nghiên cứu và khám phá các điều kiện góp phần vào sự biến đổi không gian của chúng. Các mô hình không gian của tốc độ mưa ước tính qua vệ tinh được xác định thông qua phân tích điểm nóng. Diện tích và sự phân bố của lượng mưa có mối tương quan đáng kể với cường độ bão và tổng lượng mưa. Độ đứt gió thẳng đứng và hội tụ ẩm có tương quan với với sự dịch chuyển của lượng mưa.

Ở Việt Nam, nghiên cứu về đặc điểm và sự phân bố bão gần bờ và đổ bộ có các công trình như [8–11]. Nghiên cứu về sự phân bố lượng mưa liên quan xoáy thuận nhiệt đới phải kể đến “Nghiên cứu xu thế hạn dài của lượng mưa do xoáy thuận nhiệt đới ở Việt Nam” [12]. Tác giả điều tra các đặc điểm của lượng mưa liên quan đến các xoáy thuận nhiệt đới (TC), sử dụng dữ liệu best-track TC và dữ liệu lượng mưa ngày của 15 trạm khí tượng truyền thống từ năm 1961 đến năm 2008 cho vùng ven biển Việt Nam. Ngoài việc điều tra lượng mưa TC, tác giả đã ước tính tỷ lệ mưa TC và tỷ lệ số ngày mưa lớn TC (TC_R50) và giải thích các tham số này cho các năm El Niño và La Niña. Kết quả nghiên cứu ở khu vực phía Bắc lượng mưa TC lớn nhất trong giai đoạn tháng 7 đến tháng 9. Lượng mưa TC tập trung ở khu vực miền Trung, cực đại vào tháng 10-11. Tỷ lệ mưa TC thay đổi từ 0 đến ~25%, cho thấy giá trị cực đại trong vùng $16^{\circ}\text{N}-18^{\circ}\text{N}$ vào tháng 9. Trung Trung Bộ Việt Nam có tỷ lệ TC_R50 cực đại vào tháng 9-10 tương ứng với tần suất TC cao nhất trong cùng thời kỳ. Điều này phù hợp sự ảnh hưởng của TC đối với nước ta trong nghiên cứu [10]. Tỷ lệ mưa TC, TC_R50 có xu hướng giảm trong những năm El Niño và tăng trong những năm La Niña vào các tháng 10-11 đối với khu vực miền Trung. Gần đây, Phạm Thanh Hà nghiên cứu xu hướng biến đổi lượng mưa với sự hoạt động của các TC từ năm 1979 đến năm 2019 [13] bằng cách sử dụng dữ liệu best track của các TC từ Trung tâm Khí tượng Chuyên ngành Khu vực (*Regional Specialized Meteorological Centre - RSMC*) Tokyo - Trung tâm Bão và dữ liệu lượng mưa ngày của 138 trạm khí tượng truyền thống ở Việt Nam. Khả năng ảnh hưởng của TC đến lượng mưa cục bộ được giới hạn ở mức 500 km tính từ trung tâm TC. Nghiên cứu đã chỉ ra 37,3% là giá trị lớn nhất giữa tỉ lệ mưa do TC gây ra trên tổng lượng mưa đối với khu vực miền Trung trong tháng Bảy. TC đóng góp tối thiểu vào sự thay đổi của các sự kiện mưa cực đoạn trong giai đoạn 1979-2019.

Nhìn chung các nghiên cứu về bão và lượng mưa liên quan đến bão ảnh hưởng đến nước ta đã phân vùng bão và lượng mưa theo khu vực và thời gian ảnh hưởng. Tuy nhiên đặc điểm phân bố mưa liên quan đến bão chưa được làm rõ.

Để có thêm thông tin trong phân tích và dự báo lượng mưa bão ảnh hưởng đến Việt Nam, chúng tôi “Nghiên cứu mối quan hệ giữa độ đứt gió thẳng đứng và tổng ẩm khí quyển đến sự phân bố lượng mưa khi bão hoạt động gần bờ và đổ bộ” qua phân tích synop, ảnh mây vệ

ting, radar kết hợp phân tích độ đứt gió thẳng đứng, tổng âm khí quyển, kết quả phân tích được so sánh sự phân bố lượng mưa quan trắc của các cơn bão.

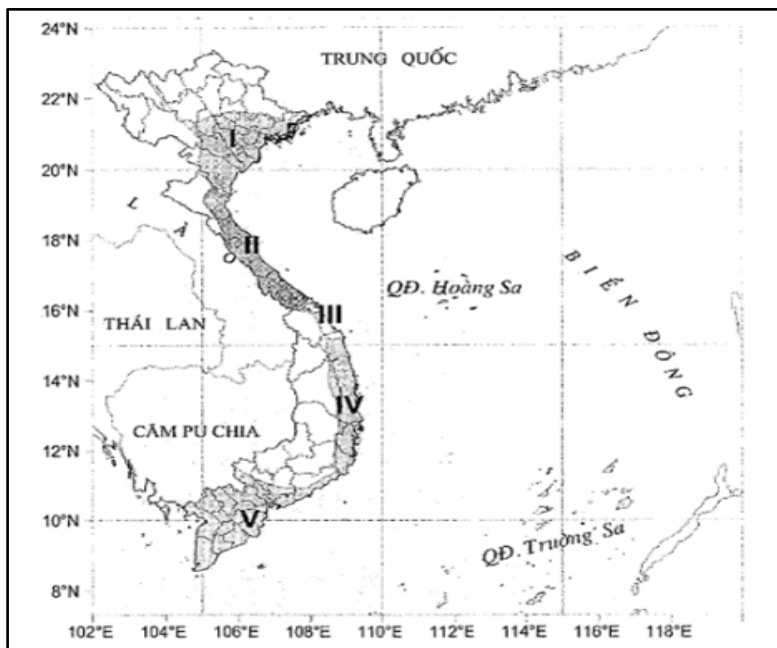
2. Cơ sở số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Trên cơ sở “Phân vùng bão cho khu vực ven biển Việt Nam” (Quyết định về việc phê duyệt và công bố kết quả phân vùng bão và xác định nguy cơ cao bão, nước dâng do bão cho khu vực ven biển Việt Nam, số 1857/QĐ-BTNMT ngày 29 tháng 8 năm 2014 của Bộ Tài nguyên và Môi trường). Nghiên cứu chọn những cơn bão có cường độ trung bình đến mạnh ảnh hưởng nước ta theo đúng quy luật mùa và nằm trong khu vực nghiên cứu từ phân vùng I đến IV.

Bảng 1. Tên và cường độ các cơn bão được chọn.

Tên cơn bão	Cường độ bão mạnh nhất	Cường độ bão gần bờ và đổ bộ
Bão Maon (bão số 3 năm 2022)	Cấp 11, giật cấp 14	Cấp 8, giật cấp 10
Bão Mun (bão số 2 năm 2019)	Cấp 9, giật cấp 11	Cấp 8
Bão Sơn Tinh (bão số 3 năm 2018)	Cấp 9, giật cấp 11	Cấp 8, giật cấp 9
Bão Noru (bão số 4 năm 2022)	Cấp 14-15, giật cấp 17	Cấp 10-11, giật cấp 13
Bão Doksuri (bão số 10 năm 2017)	Cấp 13, giật cấp 15	Cấp 11-12, giật cấp 14



Hình 1. Phân vùng nguy cơ bão cho các vùng ven biển Việt Nam (Quyết định về việc phê duyệt và công bố kết quả phân vùng bão và xác định nguy cơ cao bão, nước dâng do bão cho khu vực ven biển Việt Nam, số 1857/QĐ-BTNMT ngày 29 tháng 8 năm 2014 của Bộ Tài nguyên và Môi trường).

2.2. Cơ sở số liệu

- Dữ liệu cơn bão (kinh vĩ độ và tốc độ gió), quỹ đạo của các cơn bão từ Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia.
- Dữ liệu lượng mưa ngày của 148 trạm khí tượng truyền thống trên cả nước của các cơn bão.
- Dữ liệu ảnh mây vệ tinh và radar được cung cấp bởi Trung tâm Mạng lưới khí tượng thủy văn quốc gia.

- Bản đồ synop nguồn theo đường link: <https://tiwrmdev.hii.or.th/TyphoonTracking/prewcl.php?&lang=en>
- Dữ liệu về bản đồ độ đứt gió thẳng đứng của mực 850-200mb, tổng ẩm khí quyển được lấy từ đường link <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Lượng mưa liên quan đến TC được xác định trong bán kính 500km từ trung tâm TC [13, 14]. Trong bài báo này, tác giả sử dụng phương pháp synop, ảnh mây vệ tinh, radar kết hợp phân tích độ đứt gió thẳng đứng, tổng ẩm khí quyển để phân tích sự phân bố lượng mưa của các cơn bão khi hoạt động gần bờ và đổ bộ. Kết quả phân tích được so sánh với sự phân bố lượng mưa quan trắc của các cơn bão.

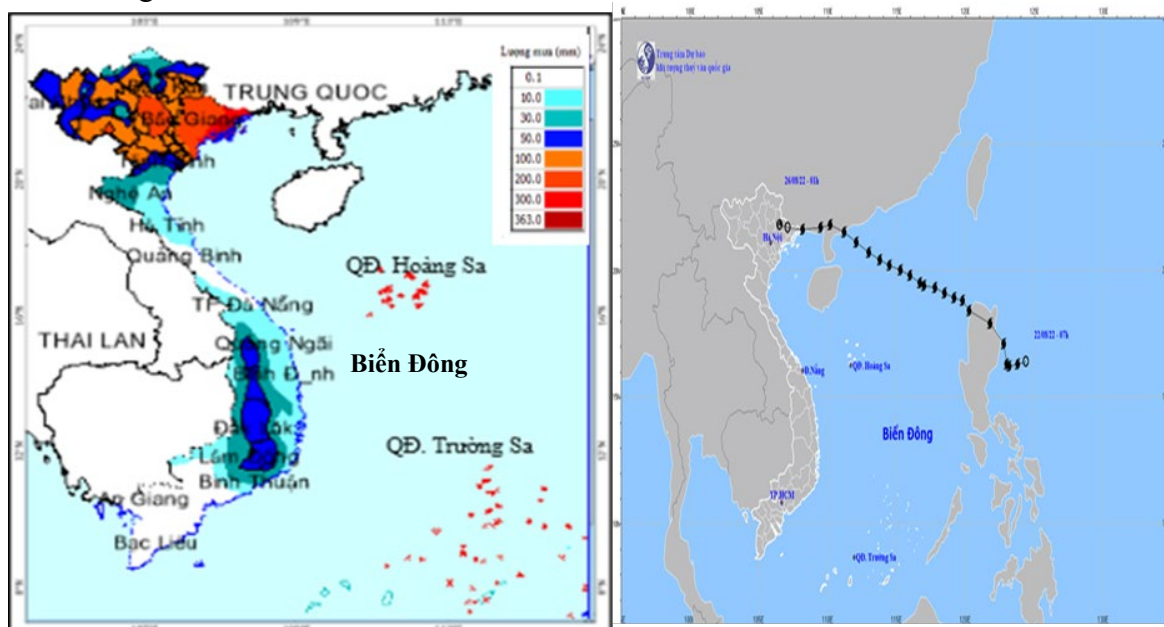
Các đặc điểm phân bố lượng mưa bão sau đây được phân tích: Sự phân bố lượng mưa bão liên quan đến độ đứt gió thẳng đứng; Sự phân bố lượng mưa liên quan đến tổng ẩm khí quyển.

3. Kết quả

3.1. Bão Maon 2022

3.1.1. Diễn biến và sự phân bố lượng mưa của cơn bão

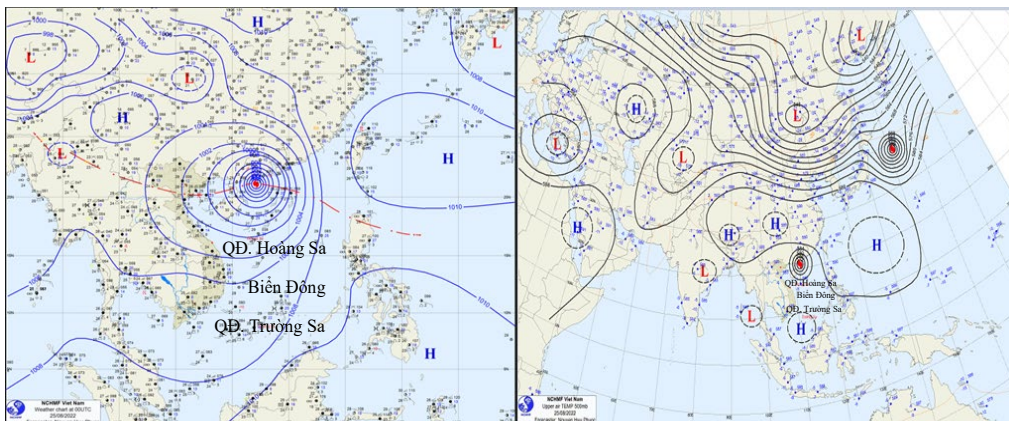
Tối ngày 23/8, bão Maon (số 3 năm 2022) đã đi vào Biển Đông. Bão Maon có cường độ mạnh nhất đạt cấp 11, giật cấp 14. Bão di chuyển theo hướng Tây bắc và đổ bộ vào khu vực Tây nam tỉnh Quảng Đông (Trung Quốc) vào trưa ngày 25/8. Sau khi đổ bộ vào đất liền, bão Maon di chuyển về phía Tây, cường độ bão giảm xuống cấp 8, giật cấp 10. Tối ngày 25/8, sau khi đi vào khu vực Quảng Ninh bão số 3 suy yếu thành áp thấp nhiệt đới. Sự phân bố lượng mưa cả đợt do ảnh hưởng của bão Maon (Hình 2), vùng mưa có lượng mưa ≥ 100 mm bao trùm phần lớn khu vực từ Ninh Bình lên phía bắc. Vùng mưa lớn nhất ở khu vực Quảng Ninh, lượng mưa của cả đợt đạt 300mm.



Hình 2. Bản đồ phân bố lượng mưa và quỹ đạo bão Maon năm 2022 (Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia).

3.1.2. Hình thế synop ảnh hưởng cơn bão

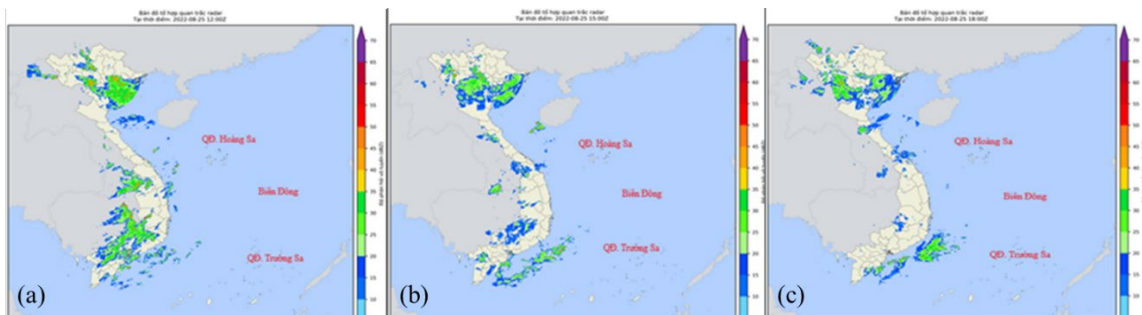
Trên bản đồ thời tiết bề mặt ngày 25/8/2022 (Hình 3a) cho thấy bão Maon nằm trên rãnh áp thấp có trục qua Bắc Bộ. Bản đồ mực 500mb (Hình 3b) cho thấy áp cao cận nhiệt đới có trục khoảng 28-30 độ vĩ Bắc. Bão Maon di chuyển theo rìa của áp cao cận nhiệt đới.



Hình 3. Bản đồ thời tiết bề mặt và mực 500mb cơn bão Maon 2022 (nguồn <https://tiwrmdev.hii.or.th/TyphoonTracking/prewc1.php?&lang=en>).

3.1.3. Phân tích ảnh rada thời tiết

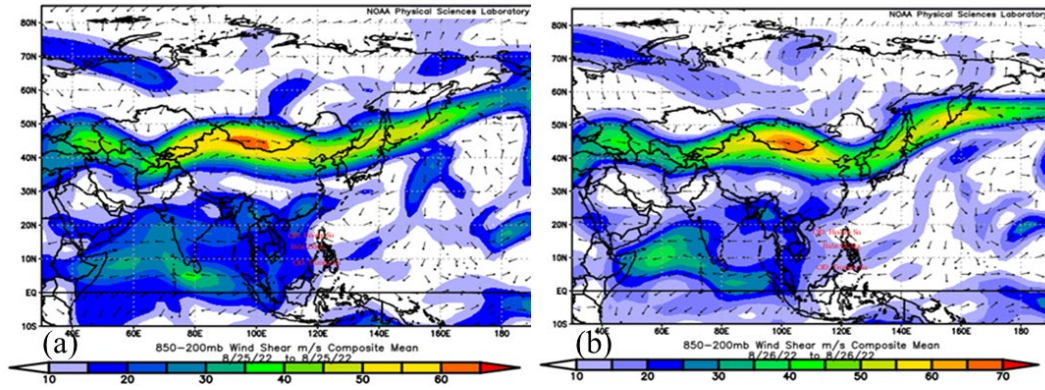
Hình 4 trình bày phân bố độ phản hồi radar tại các thời điểm 12:00 UTC, 15:00 UTC và 18:00 UTC ngày 25/8/2022. Tại những thời điểm này, độ phản hồi radar cho thấy phân bố của mây đối lưu có sự bất đối xứng mạnh qua tâm bão. Mây đối lưu phân bố chủ yếu ở bên trái (theo hướng di chuyển) của bão Maon.



Hình 4. Độ phản hồi radar của cơn bão Maon ngày 25/8/2022 thời điểm 12UTC (a), 15UTC (b) và 18UTC (c) (Nguồn Trung tâm Mạng lưới khí tượng thủy văn quốc gia).

3.1.4. Phân tích độ đứt gió thẳng đứng

Hình 5 biểu diễn trường độ đứt gió thẳng đứng giữa mực 850mb và mực 200mb trong các ngày 25/08/2022 (Hình 5a) và ngày 26/08/2023 (Hình 5b). Kết quả cho thấy giá trị độ đứt gió theo phương thẳng đứng ở khu vực Bắc Bộ tương đối cao. Giá trị này dao động trong khoảng từ 15m/s đến 25m/s.

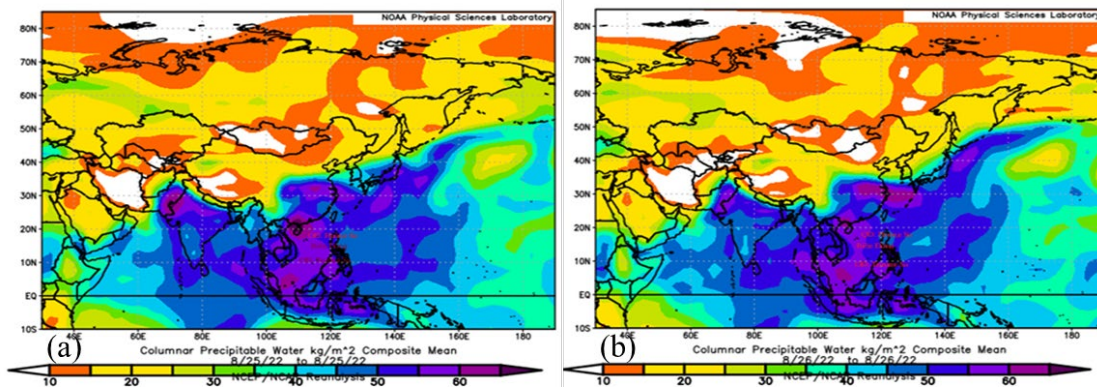


Hình 5. Bản đồ mô phỏng độ đứt gió thẳng đứng mực 850mb đến 200mb ngày 25/8 (a) và 26/8/2022 (b) (nguồn <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>).

3.1.5. Phân tích tổng ẩm khí quyển

Hình 6 biểu diễn phân bố trường tổng ẩm khí quyển trong các ngày 25-26/08/2022. Chúng tôi thấy rằng tại thời điểm này giá trị tổng ẩm khí quyển ở khu vực Bắc Bộ tương đối cao. Giá trị tổng ẩm khí quyển dao động trong khoảng từ 45kg/m^2 đến 60kg/m^2 . Trong những ngày này, giá trị tổng ẩm khí quyển cao nhất ở khu vực Quảng Ninh, đạt từ 55kg/m^2 đến 60kg/m^2 . Kết quả cũng thể hiện rõ ràng, giá trị tổng ẩm khí quyển thời điểm này có xu thế giảm dần từ khu vực Quảng Ninh đến các khu vực khác.

Chúng ta có thể thấy rằng phân bố lượng mưa của cơn bão có xu thế giảm dần từ khu vực Quảng Ninh đến các vùng khác của Bắc Bộ. Sự phân bố lượng mưa này khá phù hợp so với phân bố của tổng ẩm khí quyển. Khu vực Quảng Ninh là khu vực có lượng mưa lớn nhất và đây cũng là khu vực có giá trị tổng ẩm khí quyển lớn nhất. Khi đối chiếu với quỹ đạo bão (hình 2), vùng có lượng mưa lớn phân bố chủ yếu ở bên trái của tâm bão. Sự phân bố mưa bất đối xứng này được thể hiện rõ qua dữ liệu phản hồi radar (hình 4). Tại thời điểm bão đổ bộ, giá trị độ đứt gió theo phương thẳng đứng cao, sự phân bố bất đối xứng này phù hợp sự phân bố lượng mưa trong bão [3].

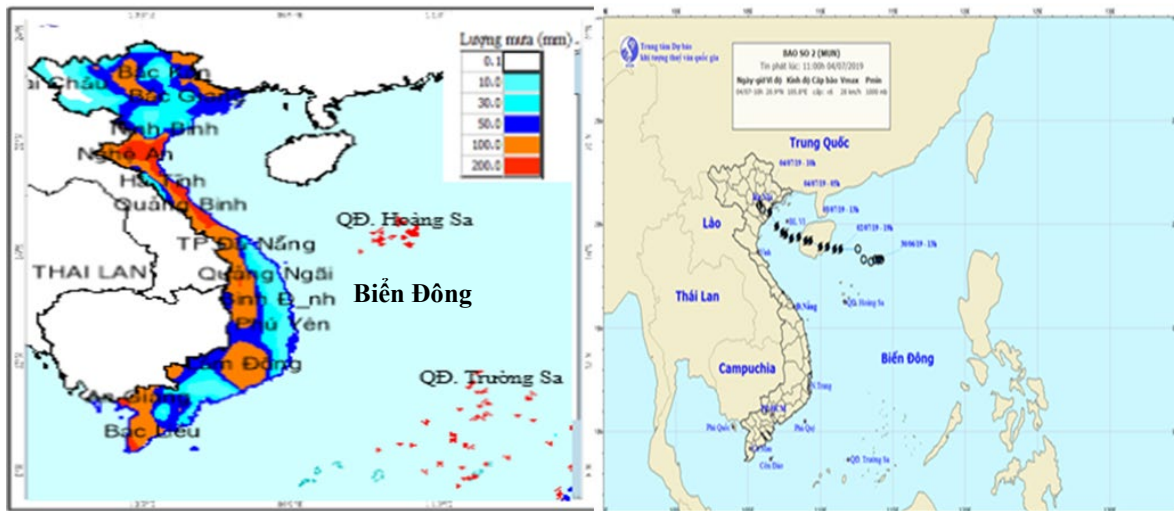


Hình 6. Bản đồ mô phỏng tổng ẩm khí quyển ngày 25/8 (a) và 26/8/2022 (b) (nguồn <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>).

3.2. Bão số 2 (Mun) 2019

3.2.1. Diễn biến và sự phân bố lượng mưa của cơn bão Mun

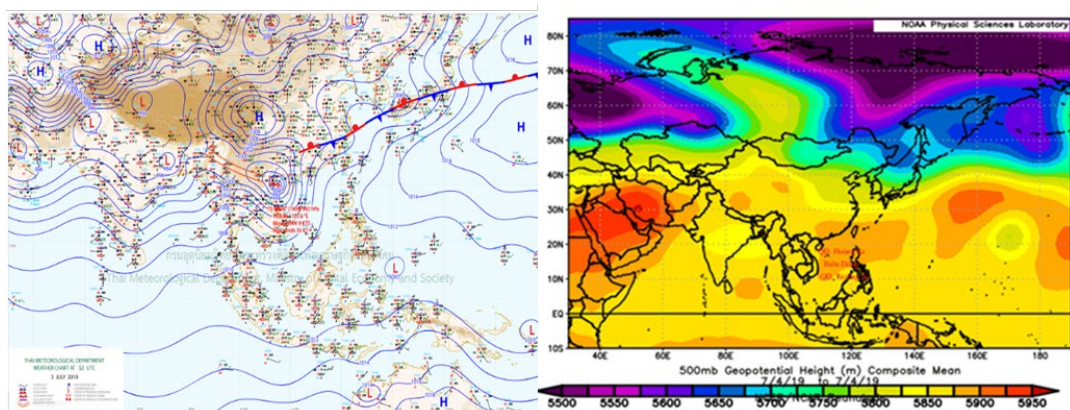
Bão số 2 (Mun) được hình thành từ một vùng áp thấp trên Biển Đông, mạnh lên thành áp thấp nhiệt đới vào chiều 01/7 và thành bão vào tối ngày 02/7. Sau khi hình thành, bão Mun di chuyển theo hướng Tây và Tây bắc qua đảo Hải Nam (Trung Quốc) và đổ bộ vào khu vực từ Hải Phòng đến Nam Định. Cường độ bão mạnh nhất là cấp 9, giật cấp 11. Sự phân bố lượng mưa quan trọng do ảnh hưởng của cơn bão Mun (hình 7) cho thấy ở khu vực Bắc Bộ lượng mưa chủ yếu <50mm, một số khu vực ở phía đông Bắc Bộ và phía tây Bắc Bộ có lượng mưa đến 100mm. Khu vực Bắc Trung Bộ, lượng mưa dao động từ 100mm đến 200mm. Khu vực Thanh Hóa, Nghệ An và vùng ven biển Bắc Trung Bộ có lượng mưa lớn nhất, đạt đến 200mm.



Hình 7. Bản đồ phân bố lượng mưa và quỹ đạo cơn bão bão Mun năm 2019 (nguồn Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia).

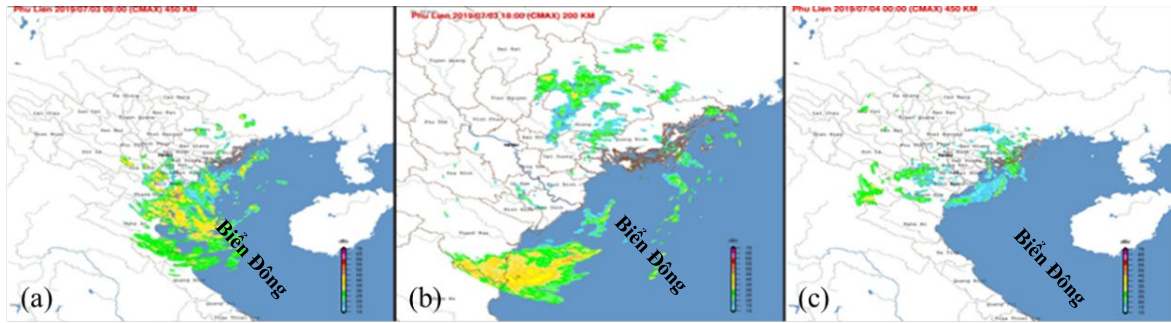
3.2.2. Hình thể synop ảnh hưởng cơn bão

Bản đồ thời tiết bề mặt cho chúng ta thấy bão Mun nằm trên rãnh áp thấp có trục theo hướng Tây bắc-Đông nam qua khu vực nam Đồng bằng Bắc Bộ. Trên mực 500mb, áp cao cận nhiệt đới có trục khoảng 20-25 độ vĩ Bắc có xu hướng lún Tây, bão di chuyển theo dòng dẫn của áp cao cận nhiệt đới (hình 8).



Hình 8. Bản đồ thời tiết bề mặt và độ cao địa thế vị mực 500mb cơn bão Mun (nguồn <https://tiwrmdev.hii.or.th/TyphoonTracking/prewc1.php?&lang=en>; <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>).

3.2.3. Phân tích ảnh radar thời tiết

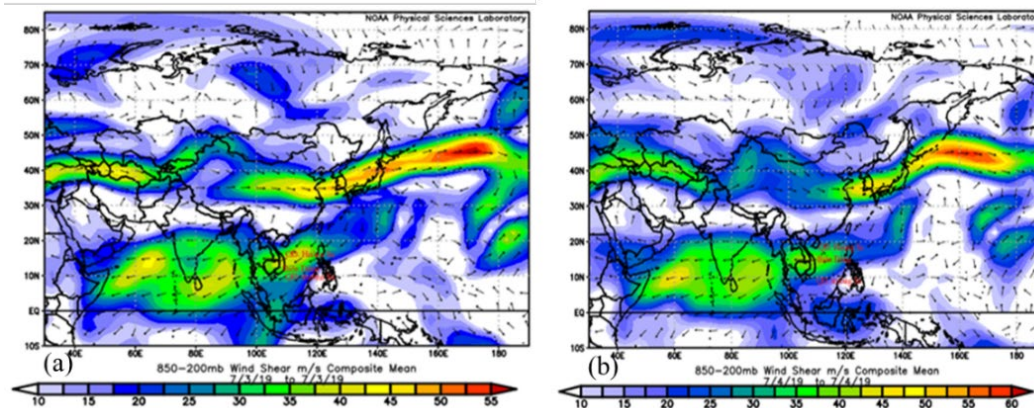


Hình 9. Độ phản hồi radar của cơn bão Mun ngày 03/7/2019 thời điểm 09UTC (a), 18UTC (b) và ngày 04/7/2019 thời điểm 00UTC (c) (Nguồn Trung tâm Mạng lưới khí tượng thủy văn quốc gia).

Hình 9 thể hiện độ phản hồi radar của cơn bão. Độ phản hồi radar ở phía bên trái của bão Mun lớn hơn so với bên phải.

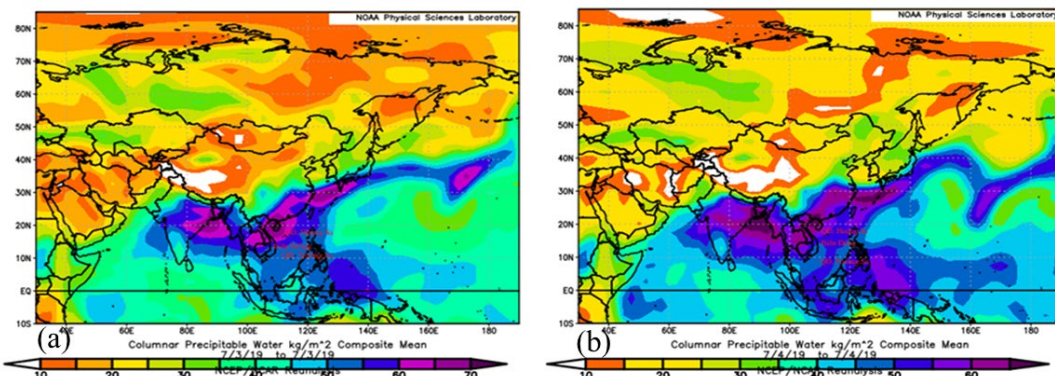
3.2.4. Phân tích độ đứt gió thẳng đứng

Trường độ đứt gió thẳng đứng ngày 03/7/2019 (hình 10a) và 04/7/2019 (hình 10b) cho thấy khu vực từ Bắc Trung Bộ đến Nam Bộ, độ đứt gió thẳng đứng có giá trị dao động từ 15m/s đến 40m/s. Trong khi đó, giá trị độ đứt gió dao động trong khoảng từ 10m/s đến 20m/s ở khu vực nam đồng bằng Bắc Bộ.



Hình 10. Bản đồ mô phỏng độ đứt gió thẳng đứng của cơn bão Mun ngày 03/7 (a) và 04/7/2019 (b) (nguồn <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>).

3.2.5. Phân tích tổng ẩm khí quyển



Hình 11. Bản đồ mô phỏng tổng ẩm khí quyển cơn bão Mun ngày 03/7 và 04/7/2019 (nguồn <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>).

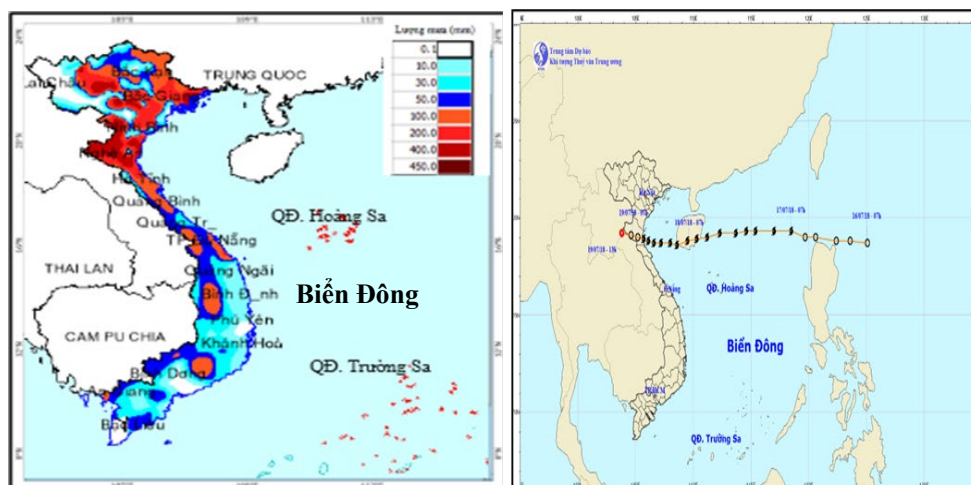
Hình 11 biểu diễn phân bố trường tổng ẩm khí quyển trong các ngày 03-04/7/2019. Khu vực Bắc Trung Bộ và các tỉnh ven biển Bắc Bộ có giá trị tổng ẩm khí quyển dao động từ 60kg/m² đến 70kg/m² trong ngày 03/7. Đến ngày 04/7, tổng ẩm khí quyển của những khu vực này giảm xuống, dao động trong khoảng từ 60kg/m² đến 65kg/m². Khu vực Bắc Trung Bộ có giá trị tổng ẩm khí quyển cao nhất.

Sự phân bố lượng mưa quan trắc của cơn bão tương đối phù hợp với sự phân bố tổng ẩm của khí quyển. Khu vực có giá trị tổng ẩm cao nhất trùng với khu vực có lượng mưa cực đại. Trong trường hợp này, sự phân bố lượng mưa bất đối xứng mạnh qua tâm bão. Lượng mưa chủ yếu phân bố ở phía bên trái của tâm bão. Sự bất đối xứng này được thể hiện rõ trên dữ liệu độ phản hồi radar (hình 9). Thời điểm này giá trị độ đứt gió thẳng đứng ở khu vực bão đổ bộ dao động trong khoảng từ 10m/s đến 20m/s. Độ đứt gió thẳng đứng lớn có thể là nguyên nhân quan trọng gây ra sự phân bố bất đối xứng của trường mưa do ảnh hưởng của bão Mun.

3.3. Bão Sơn Tinh 2018

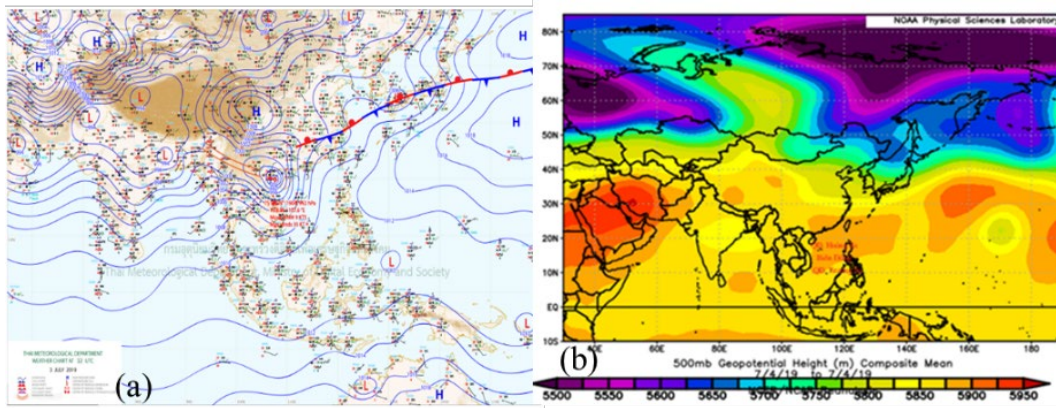
3.3.1. Diễn biến và sự phân bố lượng mưa cơn bão

Sáng ngày 17/7/2018, áp thấp nhiệt đới đã di chuyển vào Biển Đông và mạnh lên thành bão Sơn Tinh (số 3 năm 2018). Bão Sơn Tinh di chuyển chủ yếu theo hướng Tây và đổ bộ vào khu vực Nghệ An. Cường độ bão mạnh nhất đạt cấp 9, giật cấp 10. Khi đổ bộ vào đất liền, cường độ của bão đạt cấp 8, giật cấp 9. Trên bản đồ phân bố lượng mưa quan trắc do ảnh hưởng của bão Sơn Tinh (hình 12) vùng mưa lớn nhất là các tỉnh Thanh Hóa, Nghệ An, lượng mưa dao động từ 200mm đến 400mm. Các khu vực đồng bằng Bắc Bộ, ven biển Bắc Bộ và khu vực từ Hà Tĩnh đến Thừa Thiên Huế, lượng mưa của cả đợt chủ yếu dao động trong khoảng 100mm đến 200mm.



Hình 12. Bản đồ phân bố lượng mưa và quỹ đạo cơn bão Sơn Tinh 2018 (nguồn Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia).

3.3.2. Hình thế synop ảnh hưởng cơn bão Sơn Tinh

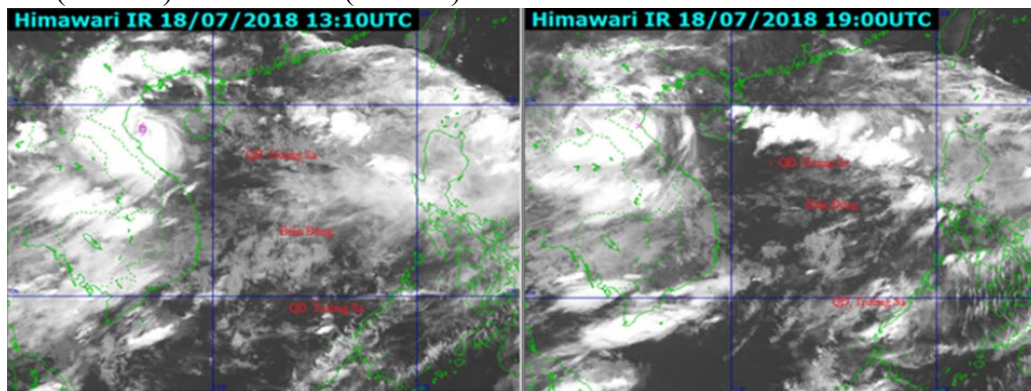


Hình 13. Bản đồ thời tiết bề mặt và độ cao địa thế vị mực 500mb bão Sơn Tinh 2018 (nguồn <https://tiwrmdev.hii.or.th/TyphoonTracking/prewc1.php?&lang=en>; <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>).

Hình 13a cho thấy bão Sơn Tinh nằm trên dải hội tụ nhiệt đới có trục qua khu vực Bắc Trung Bộ. Trên cao (hình 13b) áp cao cận nhiệt đới có trục khoảng 25-30 độ vĩ Bắc đang lấn Tây, bão di chuyển theo rìa của áp cao cận nhiệt đới.

3.3.3. Phân tích ảnh mây vệ tinh

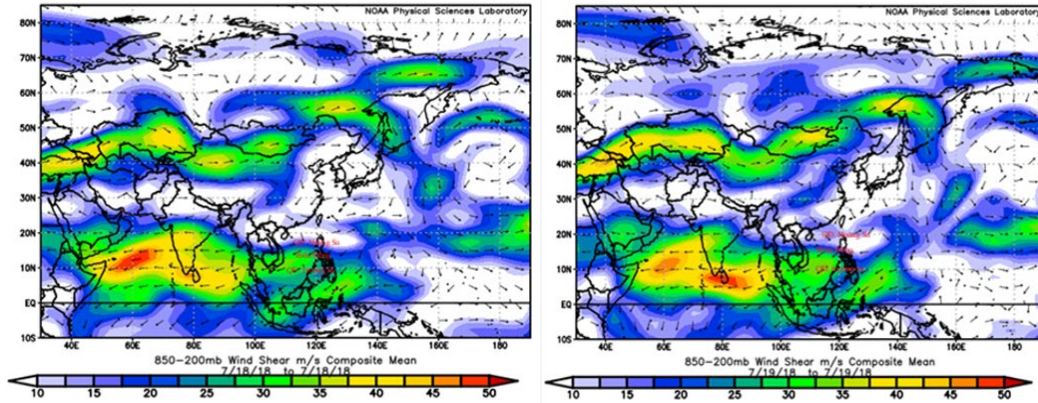
Trên ảnh vệ tinh ở thời điểm 13:10UTC ngày 18/7, mây có tính chất tương đối đối xứng qua tâm bão (bão mạnh cấp 9, giạt cấp 11). Nhưng khi vào gần bờ và đổ bộ, bão suy yếu thành áp thấp nhiệt đới, sự phân bố đĩa mây có tính chất bất đối xứng, tập trung chính phía Tây nam (bên trái) của cơn bão (hình 14).



Hình 14. Ảnh mây vệ tinh cơn bão Sơn Tinh năm 2018 (Trung tâm Mạng lưới khí tượng thủy văn quốc gia).

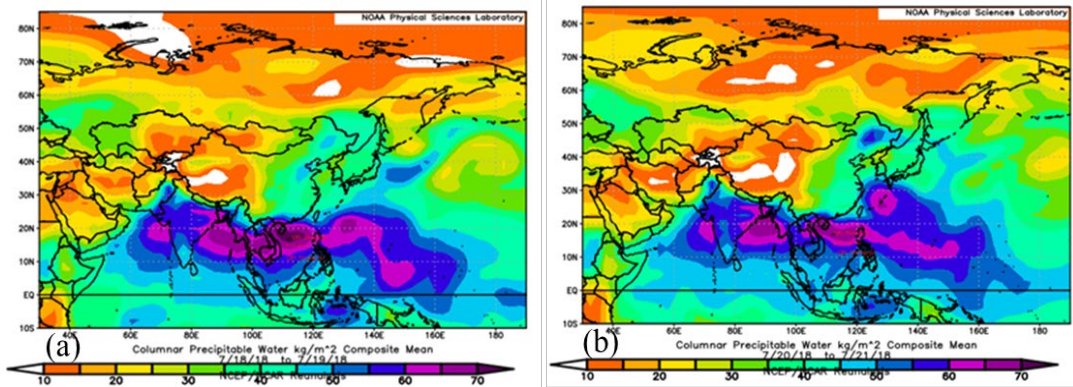
3.3.4. Phân tích độ đứt gió thẳng đứng

Hình 15 trình bày phân bố độ đứt gió thẳng đứng ngày 18-19/7/2018. Dữ liệu cho thấy vào thời điểm này, độ đứt gió thẳng đứng trên khu vực từ Bắc Bộ đến Bắc Trung Bộ có giá trị thấp (<10m/s). Các khu vực còn lại của nước ta, độ đứt gió thẳng đứng dao động trong khoảng từ 15m/s đến 35m/s.



Hình 15. Bản đồ mô phỏng độ đứt gió thẳng đứng cơn bão Sơn Tinh ngày 18/7, 19/7/2018 (nguồn <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>).

3.3.5. Phân tích tổng ẩm khí quyển



Hình 16. Bản đồ mô phỏng tổng ẩm khí quyển ngày 18-21/7/2018 (nguồn <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>).

Phân bố trường tổng ẩm khí quyển cho thấy ngày 18-19/7 (hình 16a) khu vực Trung Bộ đến các tỉnh ven biển Bắc Bộ có tổng ẩm khí quyển từ 60kg/m^2 đến 65kg/m^2 , Bắc Trung Bộ là nơi có tổng ẩm khí quyển cao nhất ($> 65\text{kg/m}^2$). Ngày 20-21/7, Bắc Trung Bộ và đồng bằng Bắc Bộ là khu vực có tổng ẩm khí quyển từ 60kg/m^2 đến 65kg/m^2 (hình 16b) là khu vực nằm trên dải hội tụ nhiệt đới và có hoạt động mạnh của đới gió Đông nam sau bão.

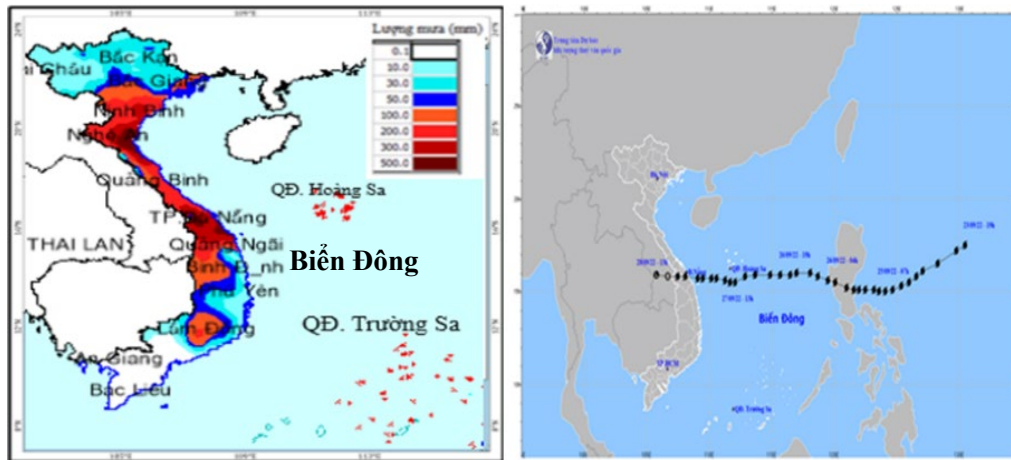
Sự phân bố lượng mưa quan trắc của cơn bão Sơn Tinh (hình 12) phù hợp với sự phân bố tổng ẩm khí quyển, khu vực Bắc Trung Bộ là vùng mưa lớn nhất của cơn bão cũng là khu vực có tổng ẩm khí quyển lớn nhất ($> 65\text{kg/m}^2$). Sau đó đến các các tỉnh đồng bằng Bắc Bộ, ven biển Bắc Bộ và khu vực từ Hà Tĩnh đến Thừa Thiên Huế tương ứng với khu vực có tổng ẩm khí quyển từ 60kg/m^2 đến 65kg/m^2 . Nhìn chung, phân bố mưa do ảnh hưởng của bão Sơn Tinh có tính đối xứng hơn so với các trường hợp bão Maon (2022) và Mun (2019). Độ đứt gió thẳng đứng trong trường hợp này nhỏ hơn so với hai trường hợp bên trên có thể là nguyên nhân làm cho phân bố lượng mưa bất đối xứng nhỏ hơn.

3.4. Bão Noru 2022

3.4.1. Diễn biến và sự phân bố lượng mưa cơn bão Noru

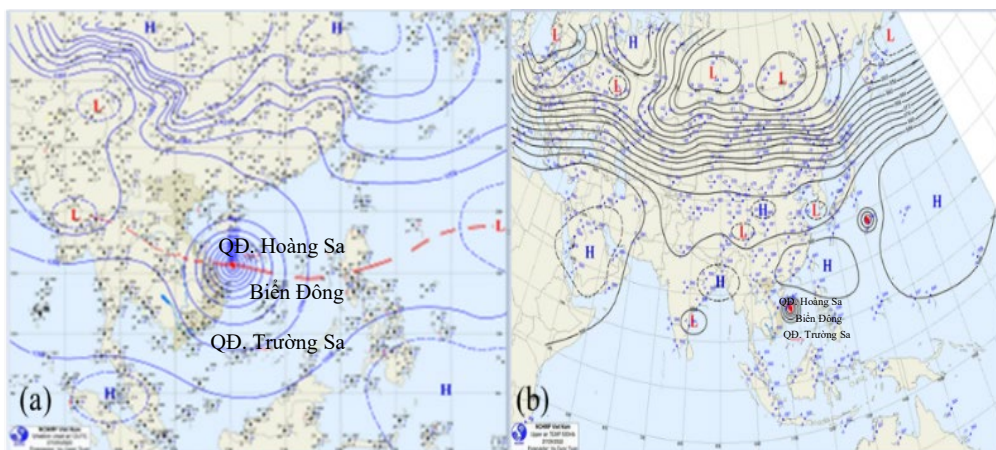
Sáng sớm (26/9), bão Noru đã đi vào Biển Đông (số 4 năm 2022). Noru là cơn bão mạnh, có cường độ cực đại cấp 14-15, giật cấp 17. Bão di chuyển chủ yếu theo hướng Tây và đổ bộ vào đất liền các tỉnh từ Thừa Thiên Huế đến Quảng Ngãi vào sáng sớm 28/9 với cường độ cấp 10-11, giật cấp 13. Sau đó bão suy yếu dần và tan trên khu vực nam Lào. Lượng mưa lớn

nhất do bão Noru gây ra dao động từ 300mm đến 500mm, tập trung ở các tỉnh Bắc Trung Bộ và khu vực Quảng Ngãi đến Thừa Thiên Huế. Các khu vực đồng bằng Bắc Bộ, Quảng Bình, lượng mưa phổ biến 100mm đến 200mm (hình 17).



Hình 17. Bản đồ phân bố lượng mưa và quỹ đạo cơn bão Noru 2022 (nguồn Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia).

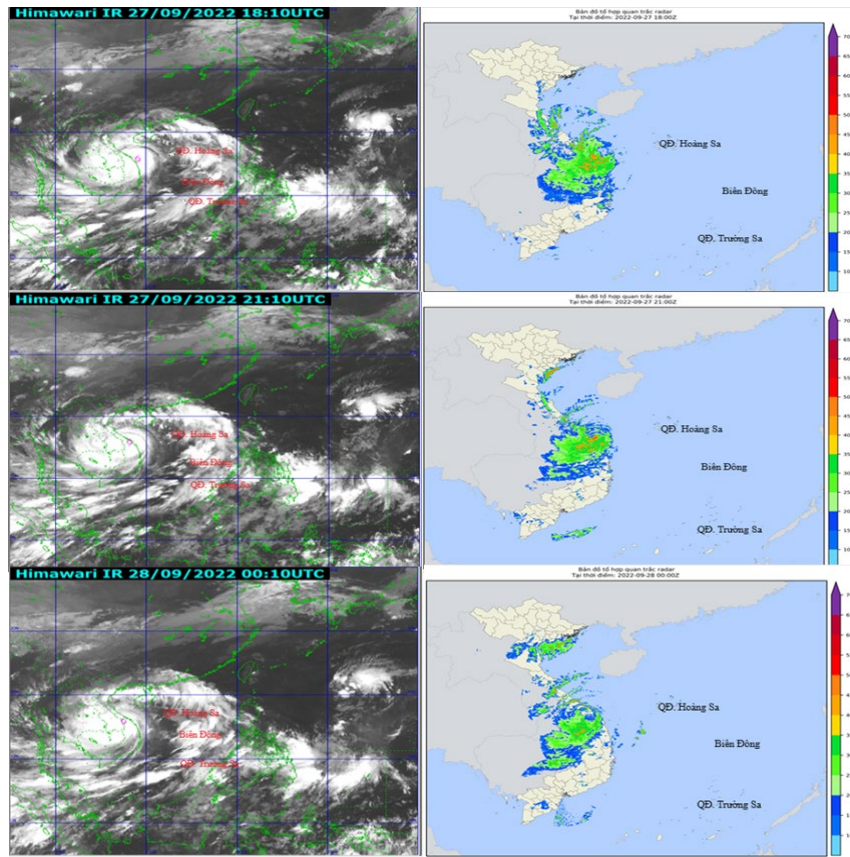
3.4.2. Hình thể synop ảnh hưởng cơn bão



Hình 18. Bản đồ thời tiết bề mặt (a) và mực 500mb (b) bão Noru (nguồn <https://tiwrmdev.hii.or.th/TyphoonTracking/prewcl.php?&lang=en>).

Trên bản đồ thời tiết bề mặt cho thấy bão Noru nằm trên dải hội tụ nhiệt đới có trục qua Trung Trung Bộ. Bão Noru là cơn bão mạnh, hoàn lưu bão rộng. Bản đồ mực 500mb, áp cao cận nhiệt đới có trục khoảng 20 độ vĩ Bắc đang lấn Tây, bão di chuyển theo rìa của áp cao cận nhiệt đới (hình 18).

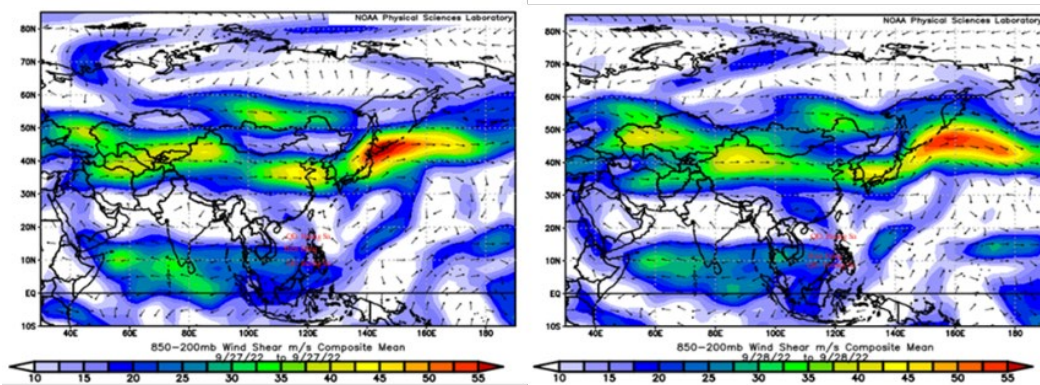
3.4.3. Phân tích ảnh mây vệ tinh và radar cơn bão Noru



Hình 19. Bản đồ ảnh mây vệ tinh và radar thời tiết cơn bão Noru ngày 27/9 và 28/9/2022 (nguồn Trung tâm Mạng lưới khí tượng thủy văn quốc gia).

Hình 19 thể hiện sự phân bố ảnh mây và độ phản hồi radar của bão Noru. Ở thời điểm 18:10UTC và 21:10UTC ngày 27/9 bão có cường độ cấp 10 đến cấp 12, sự phân bố mây có tính chất khá đối xứng qua mắt bão. Thời điểm 00:10UTC ngày 28/9 cường độ bão giảm xuống cấp 8, sự phân bố mây ở thời điểm này có tính chất bất đối xứng.

3.4.4. Phân tích độ đứt gió thẳng đứng

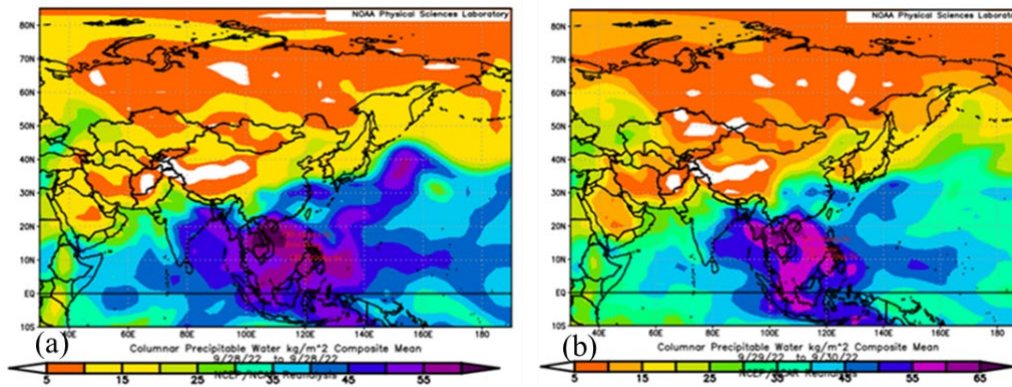


Hình 20. Bản đồ mô phỏng độ đứt gió thẳng đứng cơn bão Noru ngày 27/9 và 28/9/2022 (nguồn <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>).

Dữ liệu độ đứt gió thẳng đứng giữa mực 850mb đến 200mb ngày 27-28/9/2022 (hình 20) cho thấy các tỉnh từ Thừa Thiên Huế đến Bắc Bộ có giá trị thấp (<10m/s), các khu vực khác của nước ta có giá trị dao động từ 15m/s đến 30m/s.

3.4.5. Phân tích tổng ẩm khí quyển

Phân bố trường tổng ẩm khí quyển ngày 28/9 (hình 21a), chúng tôi thấy rằng giá trị tổng ẩm khí quyển cao nhất ở Trung Bộ, Bắc Trung Bộ ($>60\text{kg/m}^2$), giảm dần ở Bắc Bộ và khu vực từ Nam Trung Bộ đến Nam Bộ. Ngày 29-30/9 giá trị tổng ẩm khí quyển từ 55kg/m^2 đến 60kg/m^2 xu hướng dịch lên phía Bắc, cao nhất vẫn là các tỉnh Bắc Trung Bộ, sau đó đến các tỉnh ven biển Bắc Bộ và khu vực đồng bằng Bắc Bộ, ở thời điểm này bão Noru đã đi sang Lào và suy yếu nhưng các khu vực trên có tổng ẩm khí quyển cao do có hoạt động mạnh của đới gió Đông nam sau bão.



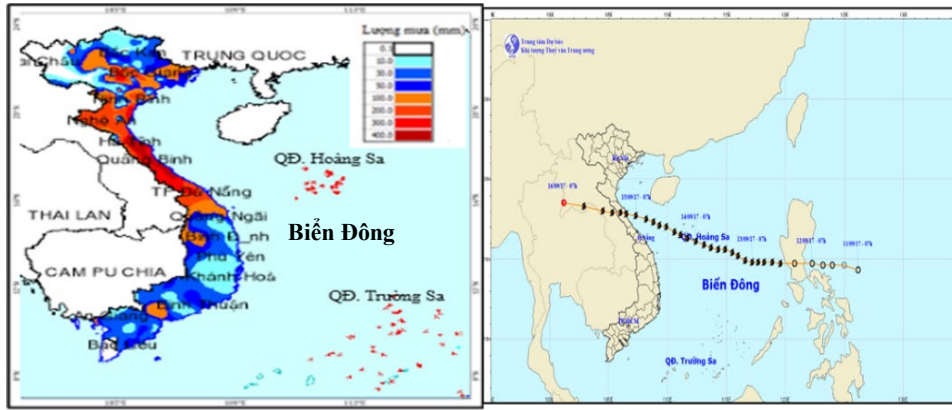
Hình 21. Bản đồ mô phỏng tổng ẩm khí quyển cơn bão Noru từ ngày 27-30/9/2022 (nguồn <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>).

So sánh sự phân bố lượng mưa quan trắc của bão Noru với sự phân bố tổng ẩm khí quyển, có sự tương đồng giữa vùng có lượng mưa lớn nhất của cơn bão với khu vực có tổng ẩm khí quyển cao nhất ($> 60\text{kg/m}^2$). Tiếp theo là những dải mưa bên ngoài tương ứng với khu vực có tổng ẩm khí quyển từ 55kg/m^2 đến 60kg/m^2 . Sự phân bố lượng mưa có tính chất đối xứng ở thời điểm gần bờ và đổ bộ khi bão có cường độ bão mạnh, được thể hiện rõ trên ảnh mây vệ tinh và radar (hình 19). So với sự phân bố độ đứt gió thẳng đứng bão đi vào khu vực có giá trị thấp ($<10\text{m/s}$) đây có thể là nguyên nhân cho sự phân bố lượng mưa đối xứng. Khi bão đi sang nam Lào, cường độ bão giảm xuống cấp 8 và suy yếu dần, sự phân bố lượng mưa bất đối xứng tập trung phía Bắc của cơn bão, liên quan đến đới gió Đông nam hoạt động mạnh sau bão.

3.5. Bão Doksuri 2017

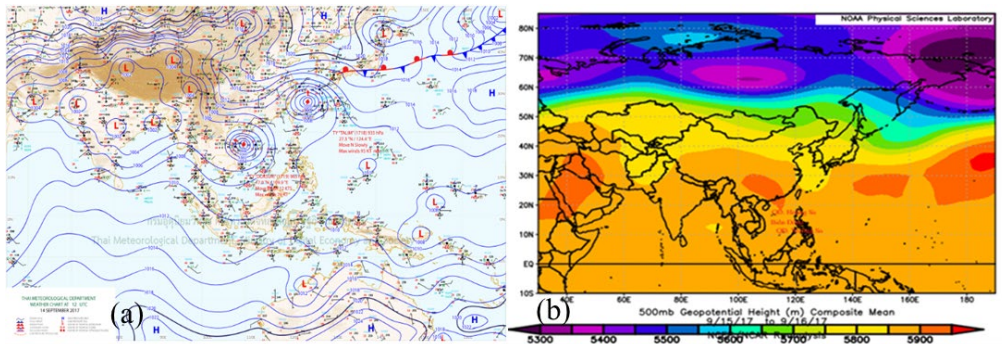
3.5.1. Diễn biến và sự phân bố lượng mưa cơn bão

Chiều ngày 12/9, áp thấp nhiệt đới di chuyển vào Biển Đông và mạnh lên thành bão Doksuri (bão số 10 năm 2017). Doksuri có cường độ mạnh nhất đạt cấp 12-13, giật cấp 14. Bão di chuyển chủ yếu theo hướng Tây và Tây Tây Bắc, đi vào đất liền các tỉnh Hà Tĩnh đến Quảng Bình vào trưa ngày 15/9 với sức gió mạnh nhất vùng gần tâm bão mạnh cấp 11-12, giật cấp 14. Tối 15/9 bão đã đi sang khu vực Trung Lào và suy yếu dần. Bão Doksuri gây ra lượng mưa lớn nhất cho khu vực từ Thanh Hóa đến Đà Nẵng, lượng mưa từ 200mm đến 400mm. Các tỉnh Bắc Bộ và Quảng Ngãi lượng mưa phổ biến 50mm đến 100mm (hình 22).



Hình 22. Bản đồ phân bố lượng mưa và quỹ đạo cơn bão Doksuri 2017 (nguồn Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia).

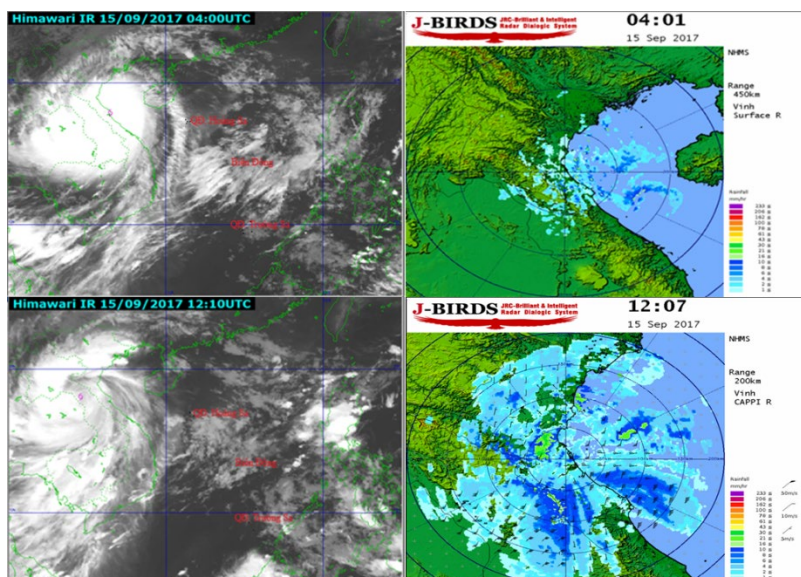
3.5.2. Hình thể synop ảnh hưởng cơn bão



Hình 23. Bản đồ thời tiết bề mặt và độ cao địa thế vị mực 500mb cơn bão Doksuri 2017 (nguồn <https://tiwrmdev.hii.or.th/TyphoonTracking/prewc1.php?&lang=en>; <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>).

Trên bản đồ thời tiết bề mặt cho thấy dải hội tụ nhiệt đới nổi cơn bão Doksuri có trục qua khu vực Bắc Trung Bộ. Bản đồ mực 500mb, áp cao cận nhiệt đới có trục khoảng 20-25 độ vĩ Bắc đang lấn về phía Tây. Bão di chuyển theo rìa của áp cao cận nhiệt đới.

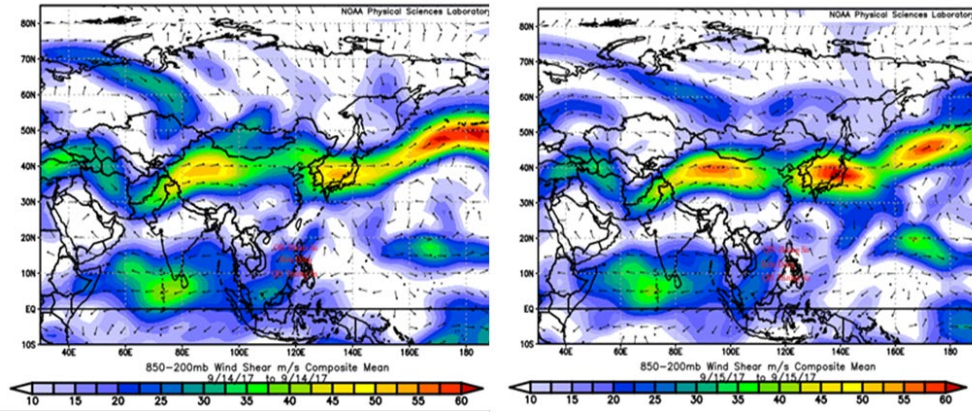
3.5.3. Phân tích ảnh mây vệ tinh và radar



Hình 24. Ảnh mây vệ tinh và radar cơn bão Doksuri ngày 14/9 và 15/9/2017 (nguồn Trung tâm Mạng lưới khí tượng thủy văn quốc gia).

Qua sự phân bố ảnh vệ tinh và độ phản hồi radar của cơn bão Doksuri (hình 24), ở thời điểm đổ bộ lúc 04:00 UTC sự phân bố mây có tính chất đối xứng qua tâm bão. Đến tối ngày 15/09 lúc 12:10 UTC bão đi sang Trung Lào, cường độ bão giảm xuống cấp 8, giật cấp 10, thời điểm này thấy rõ sự phân bố mây có tính chất bất đối xứng, mây tập trung ở phía Tây và phía Bắc của cơn bão.

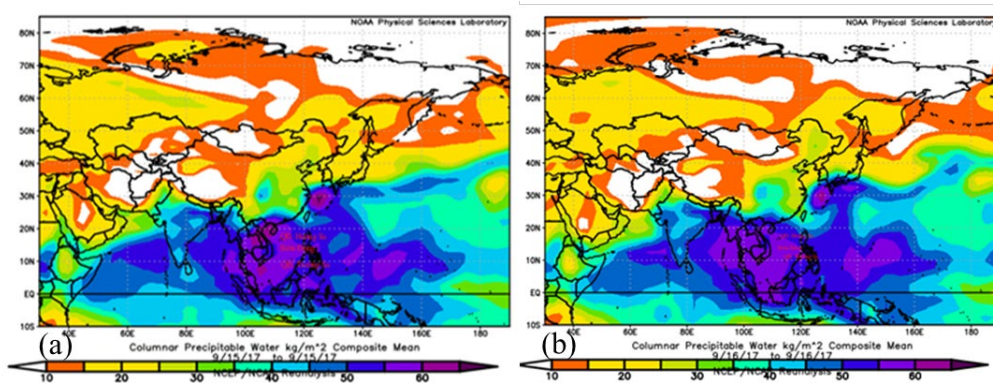
3.5.4. Phân tích độ đứt gió thẳng đứng



Hình 25. Bản đồ mô phỏng độ đứt gió thẳng đứng của cơn bão Doksuri ngày 14/9 và 15/9/2017 (nguồn <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>).

Hình 25 trình bày phân bố độ đứt gió thẳng đứng của cơn bão Doksuri, dữ liệu cho thấy ngày 14/9 Bắc Trung Bộ, Bắc Bộ có giá trị độ đứt gió thẳng đứng thấp ($< 10\text{m/s}$), khu vực từ Trung Bộ đến Nam Bộ giá trị trong khoảng từ 10m/s đến 20m/s . Ngày 15/9 khu vực có giá trị thấp mở rộng xuống đến Thừa Thiên Huế và vùng biển từ vịnh Bắc Bộ đến Thừa Thiên Huế.

3.5.5. Phân tích tổng ẩm khí quyển



Hình 26. Bản đồ mô phỏng tổng ẩm khí quyển cơn bão Doksuri (nguồn <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>).

Hình 26a cho thấy ngày 15/9 các tỉnh từ Thanh Hóa đến Đà Nẵng và vùng biển Vịnh Bắc Bộ đến Đà Nẵng có tổng ẩm khí quyển lớn nhất ($> 60\text{kg/m}^2$), các tỉnh Bắc Bộ và Quảng Ngãi có tổng ẩm khí quyển từ 50kg/m^2 đến 55kg/m^2 . Ngày 16/9 (hình 26b) khu vực có tổng ẩm khí quyển lớn có xu hướng giảm, tập trung ở các tỉnh Bắc Trung Bộ với tổng ẩm khí quyển từ 55kg/m^2 đến 60kg/m^2 .

Trong môi trường có độ đứt gió yếu ($< 10\text{m/s}$) và tổng ẩm khí quyển lớn ($> 60\text{kg/m}^2$) thuận lợi cho bão Biển Đông phát triển nên khi bão vào gần bờ cường độ bão mạnh lên. Sự phân bố lượng mưa quan trắc của bão Doksuri phù hợp với sự phân bố tổng ẩm khí quyển,

vùng mưa lớn nhất từ Thanh Hóa đến Đà Nẵng (200mm đến 400mm) là khu vực có tổng ẩm khí quyển cao nhất (>60kg/m²). Các tỉnh Bắc Bộ và Quảng Ngãi lượng mưa 50mm đến 100mm tương ứng khu vực có tổng ẩm khí quyển từ 50kg/m² đến 55kg/m². Doksuri là cơn bão mạnh, sự phân bố mưa có tính chất đối xứng qua tâm bão, điều này được thể hiện trên ảnh vệ tinh và radar (hình 24). So với sự phân bố độ đứt gió thẳng đứng, bão đi vào khu vực có giá trị thấp (<10m/s) có thể là nguyên nhân cho sự phân bố lượng mưa đối xứng của cơn bão. Sau khi bão sang khu vực Trung Lào, cường độ bão suy yếu dần, sự phân bố mưa có tính chất bất đối xứng tập trung phía Bắc của cơn bão ở các tỉnh Bắc Trung Bộ, do sự hoạt động của đới gió Đông nam sau bão.

Bảng 2. Tổng hợp tính chất phân bố mưa của các cơn bão.

Tên bão	Độ đứt gió thẳng đứng khu vực bão đổ bộ	Tổng ẩm khí quyển khu vực bão đổ bộ	Tính chất phân bố mưa
Bão Maon	15m/s - 25m/s	55kg/m ² - 60kg/m ²	- Phân bố mưa có tính bất đối xứng qua tâm bão, tập trung chủ yếu ở bên trái mắt bão. - Phân bố mưa phù hợp với phân bố của tổng ẩm khí quyển
Bão Mun	> 15m/s	60kg/m ² - 70kg/m ²	- Phân bố mưa có tính bất đối xứng qua tâm bão, tập trung chủ yếu ở bên trái mắt bão. - Phân bố mưa phù hợp với phân bố của tổng ẩm khí quyển
Bão Sơn Tinh	< 10m/s	>65kg/m ²	- Phân bố mưa tương đối đối xứng qua tâm bão. - Phân bố mưa phù hợp với phân bố của tổng ẩm khí quyển
Bão Noru	< 10m/s	>60kg/m ²	- Phân bố mưa tương đối đối xứng qua tâm bão. - Phân bố mưa phù hợp với phân bố của tổng ẩm khí quyển
Bão Doksuri	< 10m/s	>60kg/m ²	- Phân bố mưa tương đối đối xứng qua tâm bão. - Phân bố mưa phù hợp với phân bố của tổng ẩm khí quyển

4. Kết luận

Từ phân tích hình thể synop, ảnh vệ tinh, radar, kết hợp phân tích độ đứt gió thẳng đứng và tổng ẩm khí quyển, sau đó so sánh với sự phân bố lượng mưa quan trắc của 5 cơn bão từ vùng I đến vùng IV cho thấy:

- Khu vực có độ đứt gió yếu (< 10m/s) và có tổng ẩm khí quyển lớn (> 60kg/m²) là môi trường thuận lợi cho bão trên khu vực Biển Đông phát triển.

- Sự phân bố lượng mưa khi bão hoạt động gần bờ và đổ bộ chịu ảnh hưởng của phân bố tổng ẩm khí quyển. Khu vực có lượng mưa lớn nhất trong cả đợt mưa trùng với khu vực có tổng ẩm khí quyển cực đại. Phân bố lượng mưa phù hợp với sự phân bố của tổng ẩm khí quyển.

- Độ đứt gió thẳng đứng có ảnh hưởng mạnh đến sự phân bố của mưa trong bão. Trường hợp độ đứt gió <10m/s, lượng mưa phân bố tương đối đối xứng qua tâm bão. Trường hợp độ đứt gió >15m/s, lượng mưa phân bố bất đối xứng qua tâm bão và tập trung ở bên trái tâm bão

(theo hướng di chuyển). Kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu của các tác giả trên thế giới.

- Lượng mưa các cơn bão phổ biến 100mm đến 300mm. Những cơn bão đổ bộ vào vùng II đến vùng IV có sự hoạt động của đới gió Đông nam sau bão, sự phân bố mưa thường tập trung ở bên phải (phía Bắc) của cơn bão, lượng mưa dao động từ 200mm đến 500mm.

Bài báo này cung cấp một số hiểu biết mới về sự phân bố lượng mưa bão liên quan đến độ đứt gió thẳng đứng, tổng ẩm khí quyển các cơn bão, cung cấp cho các dự báo viên khái niệm hữu ích cho các ứng dụng vận hành dự báo lượng mưa bão khi gần bờ và đổ bộ. Mặc dù chúng tôi không thể giải thích đầy đủ các quá trình động lực liên quan đến độ đứt gió thẳng đứng ảnh hưởng đến cấu trúc lượng mưa bão, đặc biệt là sự đối lưu ở cả vùng lõi bên trong và vùng dải mưa bên ngoài, nghiên cứu mô hình số toàn diện hơn sử dụng mô hình phân giải cao tiến tới hiểu rõ hơn về các cơ chế vật lý cho sự bất đối xứng của lượng mưa TC được quan sát.

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

Lời cảm ơn: Bài báo này được tài trợ bởi Đề tài độc lập cấp nhà nước “Nghiên cứu vai trò của các quá trình vật lý mây và tương tác khí quyển - đại dương đối với quỹ đạo, cường độ bão Biển Đông và dự báo vùng gió mạnh, mưa lớn trong bão khu vực miền Trung” mã số ĐTDL.CN-90/21. Tập thể tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ và giúp đỡ của Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Trung tâm Mạng lưới khí tượng thủy văn quốc gia và các đồng nghiệp Phòng Dự báo khí tượng thủy văn khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ đã cung cấp tài liệu, số liệu sử dụng trong bài báo.

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 sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả

Tài liệu tham khảo

1. Chen and et al. An Overview of Research and Forecasting on Rainfall Associated with Landfalling Tropical Cyclones, *Advances in atmospheric sciences*, 2009.
2. Wu, L et al. Observational Analysis of Tropical Cyclone Formation Associated with Monsoon Gyres. *J. Atmos. Sci.* **2013**, *70*, 1023–1034.
3. Shuyi, S.C.; John, A.K.; Frank, D.M.J. Cyclone Rainfall Asymmetries Deduced from TRMM. *Monthly Weather Review.* **2006**, 3190–3208.
4. Matthew, T.W.; Daniel, J.C. Effects of Vertical Wind Shear on Tropical Cyclone Precipitation, 2010.
5. Manuel, L et al. Precipitation Distribution in Tropical Cyclones Using the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Microwave Imager: A Global Perspective, 2004.
6. Zifeng, Y.; Yuqing, W.; Haiming, X.; Noel, D.; Yandie, C.; Yimin, C.; Hui, Y. On the relationship between intensity and rainfall distribution in tropical cyclones making landfall over China. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **2017**, *56(10)*, 2883–2901.
7. Yao, Z. Spatial Characteristics of Rain Fields Associated with Tropical Cyclones Landfalling Over the Western Gulf of Mexico and Caribbean Sea. *AMS. J.* **2018**, 1711–1727.
8. Ngữ, N.Đ. và cs. Phân vùng ảnh hưởng của bão ở Việt Nam, Nghiên cứu xây dựng bản đồ phân vùng tai biến môi trường tự nhiên lãnh thổ Việt Nam, 2010, Mã số: KC-08-01.
9. Khánh, N.V.; Thụy, P.Đ. Một số đặc trưng cơ bản của bão hoạt động trên Biển Đông và Việt Nam, 1985.

10. Thăng, N.V. và cs. Ảnh hưởng của bão ở Việt Nam thời kỳ 1961-2014. *Tap chí khoa học ĐHQGHN*, **2016**, 3S, 210–216.
11. Hằng, V.T.; Hương, N.T.T.; Tân, P.V. Đặc điểm hoạt động của bão ở vùng biển gần bờ Việt Nam giai đoạn 1945-2007. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2010**, 26(3S), 344–353.
12. Anh, N.T.H.; Jun, M.; Duc, N.T.; Nobuhiko, E. A Climatological Study of Tropical Cyclone Rainfall in Vietnam. *J- Stage*. **2012**, 8, 41–44.
13. Thanh, P.H. et al. Rainfall Trends in Vietnam and Their Associations with Tropical Cyclones during 1979-2019. *J- Stage*. **2020**, 16, 169–174.
14. Prat, O.P.; Nelson, B.R. On the link between tropical cyclones and daily rainfall extremes derived from global satellite observations. *J. Climate*. **2016**, 29, 6127-6135.

The Relationship between Vertical Wind Shear and Total Precipitable Water and Precipitation Distribution When Tropical Cyclones Approach the Shore and Make Landfall

Dang Thi Anh^{1*}, Vo Van Hoa¹, Pham Le Khuong², Nguyen Van Hiep¹, Dinh Huu Duong¹, Vu Van Phong¹

¹ Northern Delta and Midland regional Hydro-Meteorological Center;
 phuonganhdbkt@gmail.com, vovanhoa80@yahoo.com, hieppwork@gmail.com,
 dinhduongkttv@gmail.com, phongdbkt@yahoo.com

² Institute of Geophysics, Vietnam Academy of Science and Technology;
 phamlekhuongigp@gmail.com

Abstract: Tropical cyclones (TCs) and the heavy, they bring are among the most severe natural disasters affecting people and property. Therefore, forecasting heavy rains associated with TCs is crucial for preventing, avoiding, and minimizing the risks of natural disasters. This paper utilizes satellite data, radar information, TC data from the Vietnam National Centre for Hydro-Meteorological Forecasting, and a combined analysis of synoptic conditions, vertical wind shear and total precipitable water to analyze the distribution characteristics of precipitation when TCs operate near shore and landfall, and then compared with observational rainfall distribution of TCs. The results show that areas with weak vertical wind shear (<10m/s) and total precipitable water (> 60kg/m²) are favorable environment for TCs on Bien Dong Sea to develop. The distribution of precipitation is influenced by the distribution of total precipitable water, the area with the greatest precipitation coincides with the area with the maximum total precipitable water. The distribution of precipitation during TCs is strongly influenced by vertical wind shear. In the case of a vertical wind shear (<10m/s), precipitation is distributed relatively symmetrically through the center of the TC. In the case of a vertical wind shear (>15m/s), the precipitation is asymmetrically distributed and concentrated to the left of the TC center (in the direction of movement). The results of the study give forecasters an overview in analyzing and forecasting rainfall due to TCs.

Keywords: Tropical cyclone; Heavy rain; Rainfall distribution.

Table of content

- 1** Anh, N.T.; Linh, L.V.; Long, N.T.; Tra, T.V. Evaluation of the Water-Energy-Food (WEF) nexus in the Mekong Delta. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *760*, 1–15.
- 16** Lan, P.T.; Dung, L.K. Application of remote sensing and AHP to assess the impact of climate change on coastal tourism in Sam Son, Thanh Hoa Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *760*, 16–28.
- 29** Tinh, D.X.; Tung, T.T.; Hung, T.D. An analysis of nearshore bathymetric changes in the Tien Chau estuary area, Phu Yen Province, using Sentinel-2 images. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *760*, 29–40.
- 41** Manh, T.X.; Viet, T.Q.; Thuong, L.T. Application of the distribution-based quantile mapping method and the generalized extreme value distribution to assess the impact of climate change on extreme precipitation. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *760*, 41–53.
- 54** Huong, H.X.; Hai, L.D.; Hang, P.T. Apply Bayesian network to evaluate determinants of climate change adaptation outcomes in rice cultivation at Hoa Binh Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *760*, 54–64.
- 65** Hang, V.T.; Tuan, D.H.; Anh, P.T.L. Assessment of the current status of Perfluorinated Compounds (PFCs) in river water in Dong Anh District, Hanoi City. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *760*, 65–76.
- 77** Thao, N.T.P.; Tinh, L.V. Assessing the evolution of surface water resources in the Nam Mang Thit irrigation system to adapt to climate change. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *760*, 77–90.
- 91** Anh, D.T.; Hoa, V.V.; Khuong, P.L.; Hiep, N.V.; Duong, D.H.; Phong, V.V. The relationship between vertical wind shear and total precipitable water and precipitation distribution when tropical cyclones approach the shore and make landfall. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *760*, 91–109.