

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Vietnam Journal of Hydro - Meteorology

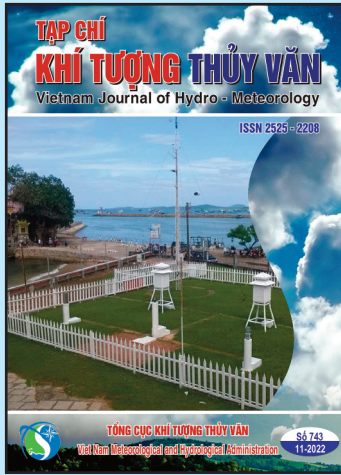
ISSN 2525 - 2208



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

Số 743

11-2022



Q. TÔNG BIÊN TẬP TS. Đoàn Quang Trí

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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

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

Chế bản và In tại:

Công ty TNHH sản xuất và in bao bì Thiên Hà
ĐT: 0243.562.4399

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

Giá bán: 25.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN SỐ 743 - 11/2022

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- 1 Trần Quang Ngọc, Nguyễn Minh Hải, Vũ Ngọc Linh:** Nghiên cứu lựa chọn giải pháp công nghệ quan trắc để xây dựng hệ thống cảnh báo mực nước lũ cho các lưu vực sông nhỏ ở Việt Nam
- 10 Hoàng Phúc Lâm, Lưu Khánh Huyền, Tạ Hữu Chính:** Dự báo hạn mùa số lượng xoáy thuận nhiệt đới trên khu vực Biển Đông và đổ bộ vào Việt Nam
- 23 Nguyễn Hoàng Minh, Phùng Tiến Dũng, Vũ Thị Thanh Vân, Hoàng Văn Đại, Mai Văn Khiêm, Nguyễn Phương Nhung:** Nghiên cứu hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar phục vụ nâng cao chất lượng mô phỏng dòng chảy
- 36 Nguyễn Quốc Trinh, Đào Đình Châm, Hoàng Thái Bình, Đào Thị Thảo, Lê Đức Hạnh, Nguyễn Thái Sơn, Lê Trung Hưng, Hoàng Hà Giang, Nguyễn Quang Vinh:** Ứng dụng mô hình 2D cho bài toán truyền tải rác thải nhựa theo đặc trưng mùa tại vùng biển Đà Nẵng–Quảng Nam
- 52 Trần Quang Ngọc, Nguyễn Minh Hải, Trần Văn Tuấn, Vũ Ngọc Linh:** Nghiên cứu, chế tạo và thử nghiệm thiết bị đo mực nước tự động không tiếp xúc bằng công nghệ radar
- 61 Chu Thị Thu Hường, Trần Đình Linh, Nguyễn Bình Phong, Đoàn Thị Thanh Huyền, Thảo Thị Dợ:** Đặc điểm hoạt động của bao trên biển đông khi có ảnh hưởng của gió mùa
- 71 Lê Ngọc Tuấn, Đậu Văn Hùng, Nguyễn Thế Hùng, Lê Quang Toại:** Nghiên cứu khoanh vùng khu vực dễ bị tổn thương do xâm nhập mặn tại tỉnh Vĩnh Long trong bối cảnh nước biển dâng
- 84 Vũ Hải Đăng, Nguyễn Thị Thanh, Phạm Văn Tiến, Nguyễn Bá Thủy, Đỗ Ngọc Thực:** Nghiên cứu ảnh hưởng tương tác đại dương–khí quyển trong mô phỏng bão trên khu vực Biển Đông

Bài báo khoa học

Nghiên cứu lựa chọn giải pháp công nghệ quan trắc để xây dựng hệ thống cảnh báo mực nước lũ cho các lưu vực sông nhỏ ở Việt Nam

Trần Quang Ngọc^{1*}, Nguyễn Minh Hải¹, Vũ Ngọc Linh²

¹ Trung tâm Quan trắc khí tượng thủy văn; tqngoc@gmail.com

² Vụ Quản lý dự báo khí tượng thủy văn; vnlinh@monre.gov.vn

*Tác giả liên hệ: tqngoc@gmail.com; Tel: +84-913554906

Ban Biên tập nhận bài: 5/9/2022; Ngày phản biện xong: 4/11/2022; Ngày đăng bài: 25/11/2022

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả cải tiến sáng chế độc quyền “Thiết bị cảnh báo lũ từ xa sử dụng sóng vô tuyến” của tác giả Nguyễn Đức Hùng để phù hợp với điều kiện thực tế, phục vụ giám sát mực nước theo thời gian thực và phát tin cảnh báo lũ cho cộng đồng dân cư sinh sống trong lưu vực sông, suối nhỏ. Thông qua việc sử dụng tiêu chuẩn Rayleigh để lựa chọn băng tần sóng radio, hệ thống được thiết kế thêm các phương án truyền dữ liệu, các giao thức kết nối, bổ sung bộ tích hợp, lưu trữ dữ liệu, lập trình cấu trúc dữ liệu và báo trạng thái thiết bị. Sau khi nâng cấp, thiết bị cảnh báo lũ từ xa sử dụng sóng vô tuyến có thể kết nối với các đầu đo mực nước hiện đại, các điểm đo sử dụng chung một tần số sóng vô tuyến, có thêm tính năng truyền dữ liệu qua GPRS, 3G/4G và tích hợp, lưu trữ dữ liệu. Tiến hành thử nghiệm hoạt động của hệ thống tại phòng thí nghiệm và ngoài trời kết quả đạt được, bộ phận thu, phát kết nối tốt với nhau qua sóng radio HF, thử nghiệm giả định với 03 mức cảnh báo cho thấy, bộ phận đo mực nước hoạt động tốt, bộ phận phát cảnh báo đã nhận được tín hiệu và phát thông tin cảnh báo tương ứng với 03 mức giả định. Các thông số thử nghiệm đều đạt kết quả tốt, hệ thống này có thể áp dụng vào thực tế phục vụ giám sát, cảnh báo mực nước lũ thời gian thực cho khu vực sông, suối nhỏ ở nước ta.

Từ khóa: Cảnh báo sớm mực nước; Lũ trên các lưu vực sông nhỏ; Công nghệ quan trắc và cảnh báo mực nước.

1. Mở đầu

Trên thế giới, việc ứng dụng công nghệ quan trắc và truyền tin phục vụ giám sát, cảnh báo lũ theo thời gian thực rất phát triển, một số nghiên cứu nổi bật như: Thiết kế Hệ thống giám sát lũ sử dụng mạng không dây (*Wireless Flood Monitoring System*) của nhóm nghiên cứu [1] thuộc Khoa Công nghệ kỹ thuật Đại học Pahang, Malaysia, hệ thống cảnh báo sử dụng các cảm biến mực nước dạng siêu âm (sử dụng công nghệ radar dopple) và mạng truyền tin GSM, Bluetooth, hệ thống cảnh báo có thể cung cấp thông tin cảnh báo qua tin nhắn theo 03 mức “An toàn”, “thận trọng” hay “nguy hiểm” dựa trên các mức mực nước đã được xác định trước (cấp báo động). Nhóm các kỹ sư công nghệ thông tin của Trường Đại học kỹ thuật Jalgaon, Thái Lan đã ứng dụng công nghệ nền tảng IOT (*Internet of Things*) để xây dựng Hệ thống giám sát, theo dõi thời gian thực mực nước, lưu lượng, lượng mưa để thực hiện giám sát lũ tại tỉnh Nakhon Si Thammarat, một tỉnh phía Nam Thái Lan [2]. Nhóm nghiên cứu thuộc Khoa Kỹ thuật điện và Khoa Cơ khí, Đại học Bách khoa Bang Lhokseumawe Indonesia thiết kế thành công. Hệ thống cảnh báo sớm có tên EWS (*Early Warning System*), hệ thống bao gồm hai phần, một là bộ phận gửi thông tin (*sender*) là một cảm biến mực nước siêu âm, hai

là bộ phận nhận thông tin (*receiver*) gồm phần thu tín hiệu, model âm thanh và còi báo động, hai bộ phận này được kết nối bằng sóng Radio. Hệ thống này đã giúp cho cơ quan quản lý thảm họa gửi thông tin ngay lập tức đến người dân để đảm bảo an toàn công cộng khi thiên tai xảy ra [3].

Trong bối cảnh các loại hình thiên tai, đặc biệt là lũ, lũ quét có xu hướng ra tăng tần suất lẫn cường độ, uy hiếp trực tiếp đến tính mạng và tài sản của nhân dân, đặc biệt là đối với cộng đồng các dân tộc thiểu số thường có tập quán sinh sống tập trung ven các sông suối nhỏ, ở nước ta cũng đã có nhiều công trình nghiên cứu về xây dựng hệ thống giám sát, cảnh báo lũ theo thời gian thực. Ví dụ như: Dựa trên nền tảng WebGIS, kết hợp với mô hình thủy văn, công nghệ học máy (*machine learning*) [4] đã xây dựng Hệ thống giám sát, cảnh báo lũ, lụt và hạn hán theo thời gian thực, Hệ thống có khả năng tự động cung cấp thông tin về lượng mưa, mực nước và bản đồ ngập lụt theo thời gian thực qua tin nhắn, email khi mực nước vượt báo động 2 trở lên, đồng thời hiển thị các vị trí, điểm tránh lũ, đường tránh lũ. Một số sáng chế xuất phát từ nhu cầu thực tế như sáng chế thống cảnh báo lũ sử dụng sóng di động [5], hay sáng chế “Thiết bị cảnh báo lũ từ xa sử dụng sóng vô tuyến” đã được cấp bằng sáng chế độc quyền [6].

Nhìn chung, các nghiên cứu, chế tạo hệ thống giám sát, cảnh báo lũ trên thế giới đều có những đặc điểm chung nhất định đó là: cung cấp thông tin cảnh báo theo thời gian thực tới trực tiếp người dân theo các mức báo động thông qua bộ cảm biến đo mực nước kết nối qua mạng không dây với thiết bị xử lý, lưu trữ dữ liệu và cung cấp thông tin cảnh báo tới người dân qua ứng dụng di động, loa phát âm thanh, đèn tín hiệu. Đây là những đặc điểm cần thiết, phù hợp cho một hệ thống cảnh báo lũ theo thời gian thực cho khu vực sông suối nhỏ ở vùng đồi, núi. Để chế tạo được hệ thống giám sát, cảnh báo lũ phù hợp với khu vực sông, suối nhỏ, nghiên cứu đã tiến hành phân tích mô hình “Thiết bị cảnh báo lũ từ xa sử dụng sóng vô tuyến” của tác giả Nguyễn Đức Hùng và nâng cấp một số bộ phận cho phù hợp để có thể triển khai trong thực tế.

2. Phương pháp nghiên cứu

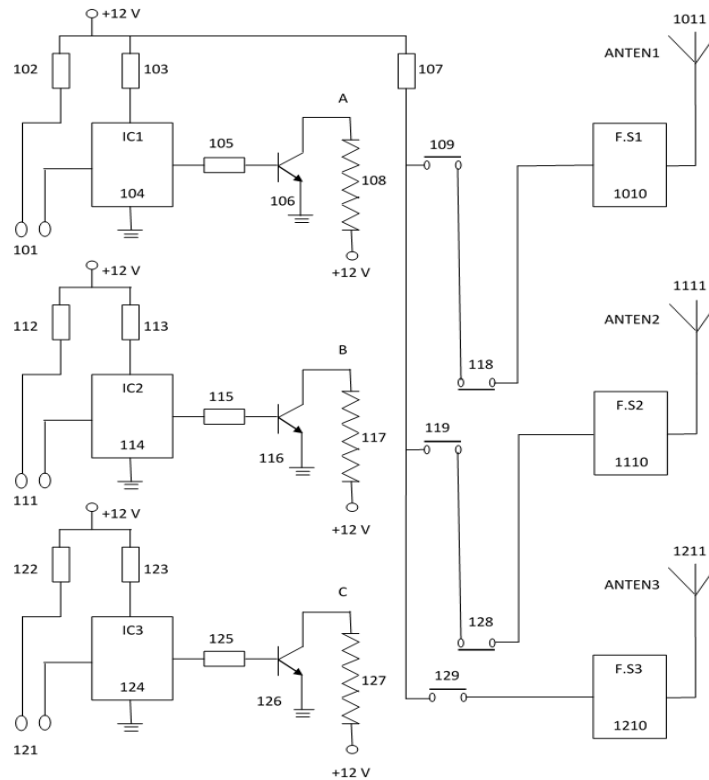
2.1. Giới thiệu về giải pháp “Thiết bị cảnh báo lũ từ xa sử dụng sóng vô tuyến”

Giải pháp công nghệ về thiết bị cảnh báo lũ từ xa sử dụng sóng vô tuyến của tác giả Nguyễn Đức Hùng đã được cấp Bằng độc quyền giải pháp hữu ích số 1557 theo Quyết định số 54049/QĐ-SHTT, ngày 08 tháng 8 năm 2017 của Cục sở hữu trí tuệ. Sáng chế này đề cập đến thiết bị cảnh báo nước lũ từ xa sử dụng sóng vô tuyến, thiết bị này có cấu tạo gồm 02 bộ phận: Bộ phận đo mực nước và phát tín hiệu (Bộ phát) và bộ phận thu tín hiệu đưa ra thông tin cảnh báo (Bộ thu), hai bộ phận này được kết nối với nhau bằng sóng vô tuyến radio [6].

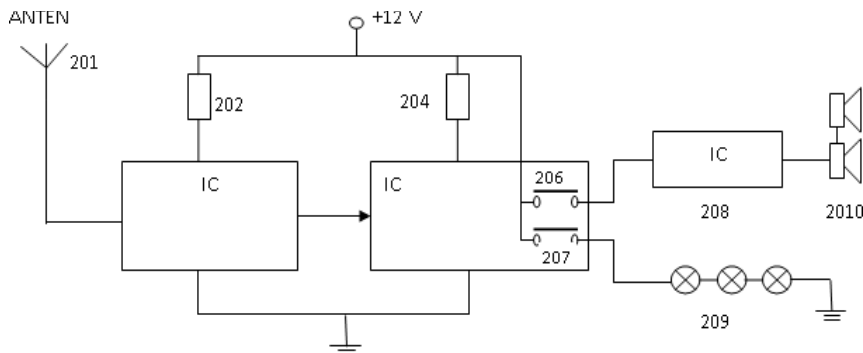
Bộ phát: trang bị 03 cảm biến mực nước ký hiệu 101, 111 và 121, tương ứng với 03 cấp báo động, các vi mạch điều khiển IC 104, 114 và 124 có chức năng điều khiển các rơ-le trung gian điều phối cấp nguồn cho bộ phận phát tín hiệu vô tuyến tương ứng F.S1, F.S2 và F.S3 (Hình 1). Khi mực nước lên (xuống) đóng các mạch cảm biến mực nước, tín hiệu radio sẽ phát ra tương ứng với các tần số. Bộ phận thu sẽ phát ra tín hiệu cảnh báo mực nước tới người dân (Hình 2).

Bộ thu bao gồm: Ăng ten thu sóng, mạch thu tín hiệu tần số F1 tương ứng với mực nước báo động cấp 1, tương tự F1 mạch thu F2 và F3 tương ứng với mực nước báo động cấp 2 và 3 (Hình 2). Các mạch này sẽ nối ra loa phát thanh được cài đặt giọng nói “Hiện nay nước lũ ở mức báo động 1, 2, hoặc 3” để cảnh báo cho cộng đồng dân cư tại nơi lắp đặt bộ phận thu.

Giải pháp hữu ích của tác giả Nguyễn Đức Hùng có cơ chế, nguyên lý hoạt động, đặc điểm cấu tạo khá giống với mô hình trạm giám sát, cảnh báo lũ đã được nghiên cứu chế tạo ở một số quốc gia trong khu vực.



Hình 1. Sơ đồ khối Bộ phát tín hiệu cảnh báo mức nước lũ của tác giả Nguyễn Đức Hùng.



Hình 2. Sơ đồ khối Bộ thu tín hiệu cảnh báo nước lũ và phát âm thanh.

Ý tưởng này có thể đáp ứng được vấn đề hỗ trợ cảnh báo lũ thời gian thực cho người dân trong khu vực sông suối nhỏ. Qua nghiên cứu, giải pháp hữu ích vẫn còn nhiều bất cập như: (1) sử dụng nhiều tần số radio (3 tần số cho 3 mức báo động cho cùng một trạm) gây phức tạp cho thiết kế phần kết nối và dẫn tới hiện tượng sai lệch vị trí báo động khi lắp đặt nhiều điểm đo dẫn tới tần số thu bị trùng nhau; (2) thiết kế mới chỉ có đầu đo mực nước dạng công tắc (*switch*) không thể giám sát mực nước một cách liên tục, không có mô đun kết nối với các thiết bị khác như đầu đo mưa; (3) chỉ đơn thuần sử dụng sóng radio để truyền tin, không đa dạng các giải pháp truyền tin; (4) không có bộ phận tích hợp, lưu trữ dữ liệu. Để đưa giải pháp này vào ứng dụng được vào thực tế, cần thực hiện nghiên cứu, cải tiến. Với nội cải tiến được đề xuất như sau:

- Mỗi trạm sẽ chỉ sử dụng chung tần số radio cho tất các mức báo động và mỗi mức báo động sẽ được mã hóa riêng thay vì mỗi mức báo động truyền theo một tần số radio khác nhau như thiết kế ban đầu.

- Cải tiến để thiết bị có thể cảnh báo ở mọi cấp độ khác nhau (thay thế cảm biến đo bằng thiết bị hiện đại hơn như radar đo mực nước), đồng thời thiết kế các bo mạch theo hướng tinh gọn, để giảm kích thước, khối lượng và giảm mức tiêu thụ năng lượng.

– Thiết kế thêm các giải pháp hỗ trợ kết nối, truyền tin như RS232/485, Ethernet, SDI–12 [7–8], HF/VHF/UHF, 3G/4G/SMS, Nb–IoT... để có thể mở rộng kết nối, truyền tin với các thiết bị khác [9].

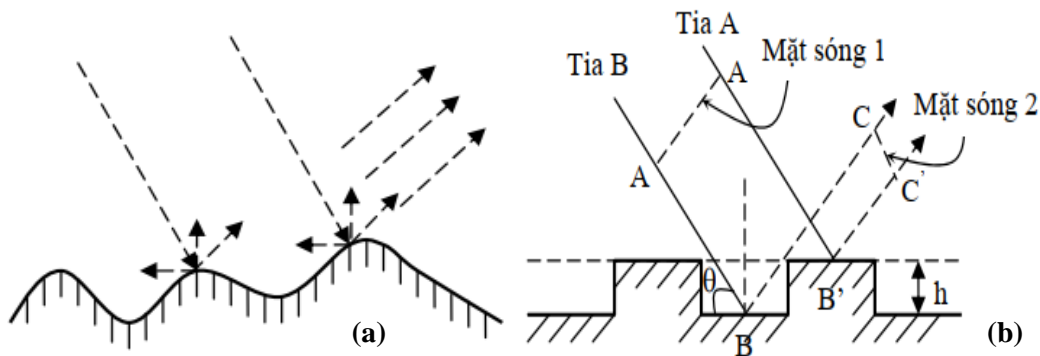
– Thiết kế 01 bộ tích hợp dữ liệu (*Datalogger*) có chức năng thu thập, lưu trữ, truyền phát tín hiệu đến vị trí lắp đặt trạm thu cảnh báo đặt tại khu vực dân cư và truyền về cơ sở dữ liệu khí tượng thủy văn của Đài Khí tượng Thủy văn khu vực, đồng thời định danh, xác định vị trí đặt trạm và kết nối, tích hợp thêm các thiết bị đo mưa tự động.

2.2. Giải pháp cải tiến

a) Lựa chọn tần số radio

Sóng vô tuyến (sóng Radio) là loại sóng được sử dụng rộng rãi trong y học, quốc phòng, thăm dò tài nguyên khoáng sản, nghiên cứu vũ trụ, thông tin liên lạc..., sóng có tần số từ 3KHz đến 300GHz tương đương bước sóng (λ) từ 100 km đến 1 mm [10]. Sóng vô tuyến được chia thành các loại (băng tần) theo khoảng tần số. Mỗi băng sóng đều được ứng dụng cho các hệ thống thông tin phù hợp với từng đặc điểm môi trường thực.

Sóng vô tuyến với bước sóng λ có đặc điểm khi truyền tới bề mặt mấp mô thì sóng phản xạ thường bị tán xạ, chỉ còn một phần năng lượng sóng phản xạ được truyền tới điểm thu, điều này làm ảnh hưởng đến cường độ điện trường tại điểm thu. Như vậy, để lựa chọn được khoảng tần số sóng phù hợp với khu vực sông suối nhỏ, nơi có địa hình đồi núi cao, cần phải xét tới yếu tố độ cao của địa hình [11].



Hình 3. Mô hình phản xạ bề mặt của sóng vô tuyến: (a) Mặt cắt địa hình thực; (b) Mô hình lý tưởng hoá của bề mặt mấp mô.

Để xác định sự phù hợp của địa hình với tần số sóng lựa chọn, tiêu chuẩn Rayleigh được sử dụng để đánh giá. Tiêu chuẩn Rayleigh được xây dựng trên cơ sở bề mặt được lý tưởng hóa với tia A được phản xạ từ phần trên của bề mặt mấp mô còn tia B được phản xạ từ phần dưới. Các mặt sóng tương ứng AA' và CC' được biểu diễn trong Hình 3b. Từ đây ta có sự sai khác về quãng đường của hai tia này khi đạt tới các điểm C và C' tại mặt sóng CC' sau khi phản xạ tại B và B' là:

$$\Delta r = (AB + BC) - (A'B' - B'C') = \frac{h}{\sin \theta} (1 - \cos 2\theta) = 2h \sin \theta \quad (1)$$

Trong đó Δr là độ lệch về quãng đường giữa tia tới và tia phản xạ; h là độ mấp mô của địa hình (độ cao); θ là góc pha của tia tới.

Do đó sự sai lệch về pha ($\Delta\varphi$) là:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r = \frac{4\pi h \sin \theta}{\lambda} \quad (2)$$

Nếu độ cao h là nhỏ so với bước sóng thì sự sai lệch về pha cũng nhỏ và do đó bề mặt được coi là bằng phẳng. Thực tế sự sai lệch về pha chạy từ 0 đến π . Khi $\Delta\varphi = \pi$ các tia phản xạ sẽ triệt tiêu nhau, trường tổng bằng 0. Khi góc sai pha $\Delta\varphi > \pi/2$ thì sự phản xạ sóng có tính chất tán xạ. Như vậy mối liên hệ giữa độ cao địa hình và bước sóng λ của băng sóng theo tiêu chuẩn Rayleigh được xác định từ công thức (3):

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi h \sin \theta}{\lambda} \leq \frac{\pi}{2} \text{ hay } h \geq \frac{\lambda}{8 \sin \theta} \quad (3)$$

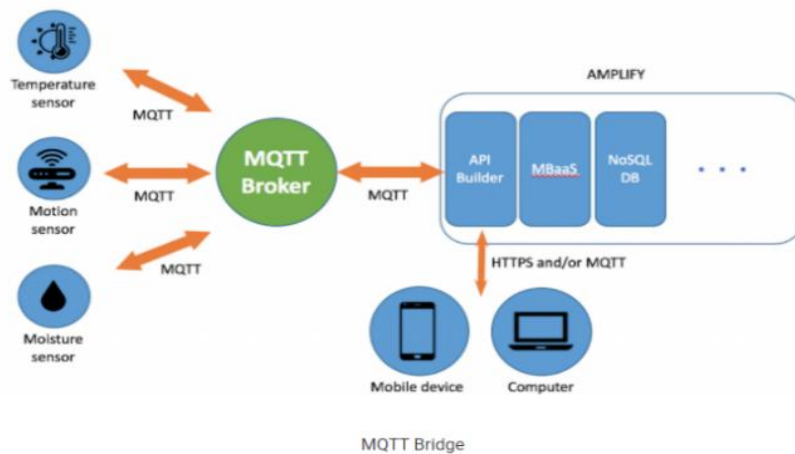
b) Thiết kế tính năng mở hỗ trợ đa dạng kết nối, truyền tin

Hệ thống giám sát, cảnh báo mực nước cần được mở rộng các giao thức kết nối để tích hợp thêm thiết bị đo mực nước sử dụng công nghệ tiên tiến hơn như radar đo mực nước, hoặc đầu đo mưa để cung cấp thêm thông tin về lượng mưa. Để thiết kế mở rộng các giao thức kết nối, nghiên cứu tiến hành khảo sát đặc tính kỹ thuật của các thiết bị quan trắc mực nước, mưa phổ biến trên thị trường hiện nay.

Đối với kết nối, truyền tin từ các đầu đo tới bộ phận thu phát, cảnh báo lũ và bộ lưu trữ datalogger ngoài sử dụng sóng radio, cần thiết kế bổ sung thêm các phương án truyền tin phổ biến như: Lora, GPRS, SMS, 3G/4G để đa dạng các kênh truyền tin trong mọi điều kiện môi trường.

c) Lựa chọn giao thức truyền tin và tổ chức quản lý dữ liệu và thông số thiết bị

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) là một giao thức mạng kích thước nhỏ (lightweight), hoạt động theo cơ chế publish–subscribe (tạm dịch: xuất bản–đăng ký) theo tiêu chuẩn ISO (ISO/IEC 20922) và tiêu chuẩn của Tổ chức thúc đẩy các tiêu chuẩn thông tin có cấu trúc (OASIS) để truyền tin nhắn giữa các thiết bị [12–13]. Giao thức này hoạt động trên nền tảng TCP/IP. MQTT được thiết kế cho các kết nối cho việc truyền tải dữ liệu cho các thiết bị ở xa, các thiết bị hay vi điều khiển nhỏ có tài nguyên hạn chế, hoặc trong các ứng dụng có băng thông mạng bị hạn chế [14–15]. Với tính năng ưu việt trên, giao thức MQTT được lựa chọn để sử dụng làm nền tảng quản trị truyền tin cho hệ thống giám sát mực nước.



Hình 4. Mô hình tính năng MQTT Bridge trong MQTT.

Để tổ chức quản lý dữ liệu và báo trạng thái thiết bị, nghiên cứu sử dụng cấu trúc định dạng JSON (*JavaScript Object Notation*). Đây là một kiểu định dạng dữ liệu tuân theo một quy luật nhất định mà hầu hết các ngôn ngữ lập trình hiện nay đều có thể đọc được [16–17].

```

{
  "station_id":374964, // ID trạm đo
  "sensors": [
    "lsid": 5271270,
    "data": [
      {
        "ip_v4_netmask": "255.255.255.0",
        "battery_voltage": 70,
        "wifi_rssi": -70,
        "network_error": 2,
        "ip_v4_gateway": "192.168.0.1",
      },
    ],
  },
  // Đo mực nước
  "lsid": 5307508,
  "sensor_type": 1,
  "data_structure_type": 10,
  "data": [
    {
      "ts": 1558741927,
      "distance_mm":5123
      "level_cm" : 11387
    }
  ]
}
    
```

Hình 5. Cấu trúc JSON trong quản lý dữ liệu và báo trạng thái thiết bị.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Các tính năng sau khi được cải tiến

Thông qua các giải pháp cải tiến và kỹ thuật điện tử, tin học, nghiên cứu đã nâng cấp thành công Thiết bị cảnh báo lũ từ xa sử dụng sóng vô tuyến dựa trên nguyên mẫu thiết kế của tác giả Nguyễn Đức Hùng đã được cấp độc quyền giải pháp hữu ích. Các tính năng sau khi được cải tiến như sau:

Từ thiết kế ban đầu sử dụng 03 tần số sóng radio cho 03 mức cảnh báo mực nước, nghiên cứu đã cải tiến chỉ sử dụng một tần số sóng cho tất cả các trạm đo. Mỗi trạm đo được cài đặt mã định danh (mã trạm) để phân biệt giữa các trạm với nhau. Ứng dụng tiêu chuẩn Rayleigh cho khu vực đồi núi ở Việt Nam, băng tần sóng radio phù hợp nhất được lựa chọn cho các trạm ở khu vực sông, suối nhỏ là băng HF (*High Frequency*) với dải tần từ 3 MHz đến 30 MHz).

Qua kết quả khảo sát một số thiết bị quan trắc mực nước thông dụng hiện nay của một số hãng hiện đang sử dụng phổ biến ở Việt Nam như Vaisala [18], Sutron [19–20], Campbell Scientific [21] đều sử dụng các chuẩn đầu ra kết nối là SDI–12, RS232/RS–485. Thiết bị cảnh báo mực nước lũ từ xa sử dụng sóng vô tuyến đã được nghiên cứu và nâng cấp các chuẩn kết nối SDI–12, RS232/RS–485 để có thể mở rộng kết nối với các loại đầu đo khác.

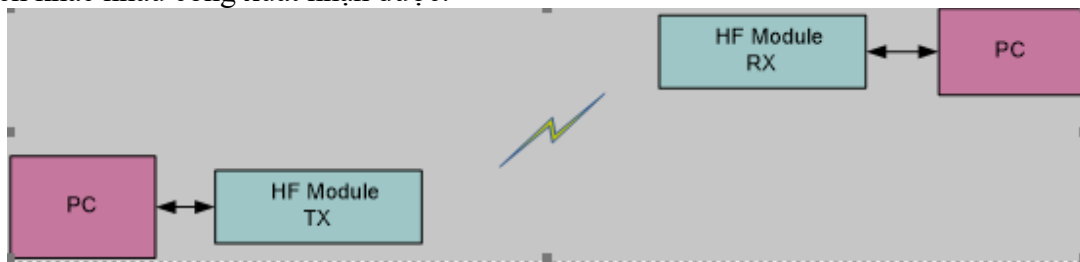
Bộ tích hợp dữ liệu datalogger được sử dụng để lưu trữ và truyền nhận dữ liệu với giao thức truyền tin MQTT và TCP/IP với cấu trúc dữ liệu chuẩn theo JSON đã được lập trình, cài đặt.

3.2. Kết quả thử nghiệm thiết bị

Sau khi cải tiến, thiết bị đã được nhóm nghiên cứu tiến hành thử nghiệm trong phòng thí nghiệm và ngoài trời với các tính năng thu, phát sóng HF và tính năng phát cảnh báo đo mức nước. Kết quả thử nghiệm như sau:

a) Thử nghiệm mô đun truyền–nhận qua sóng HF

Thử nghiệm tại phòng thí nghiệm có mục đích kiểm tra những tính năng của bộ phát và thu HF có theo đúng thiết kế hay không. Đánh giá công suất phát xạ của bộ phát qua các loại anten khác nhau công suất nhận được.

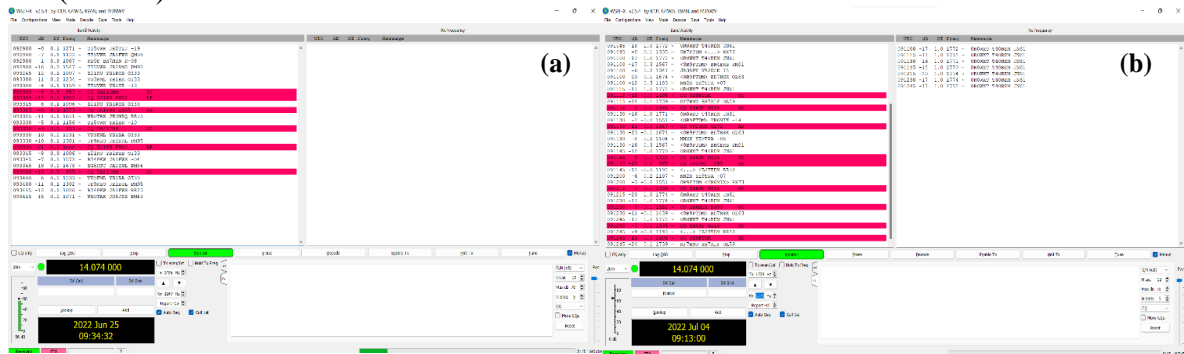


Hình 6. Mô hình thử nghiệm truyền tin HF.

Mô đun HF sẽ được kết nối với máy tính qua cổng RS 232 (Hình 6), sử dụng chương trình AIRSPY SDR Studio phiên bản 1.0.0.1858 để thiết lập các thông số về tần số, kênh, biên độ sóng, công suất cho từng mô đun [22]. Thử nghiệm lần 1: bộ phận thu và phát được kết nối với nhau bằng dây tín hiệu và bộ tải giả để giảm công suất phát từ bộ phận phát theo các mức giảm 10, 100, 1000, 100.000 và 1000.000 lần. thử nghiệm lần 2: bộ phận thu và phát được lắp các loại ăng ten khác nhau để đánh giá công suất thu được.

Kết quả thử nghiệm tại phòng thí nghiệm: cùng một công suất phát, khi thay các loại ăng ten khác nhau, công suất thu sẽ có sự thay đổi tương ứng, điều này do mỗi loại ăng ten có hệ số độ nhạy khác nhau, chuỗi bản tin gửi và nhận là tương đồng nhau, tỉ lệ gói “bit” lỗi trung bình $3,0 \times 10^{-4}$.

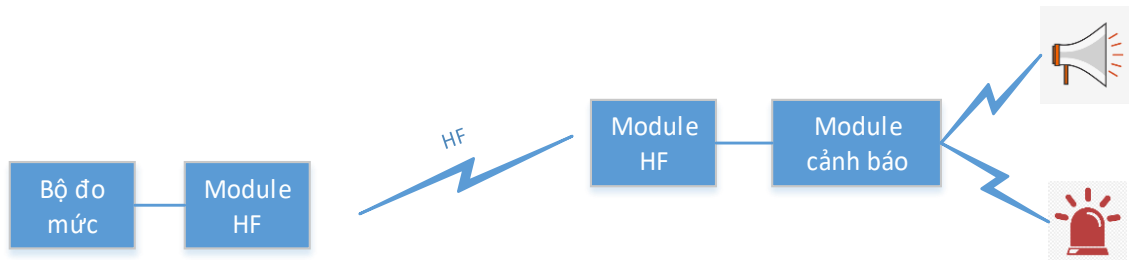
Sau khi thử nghiệm tại phòng thí nghiệm, nhóm nghiên cứu đã tiến hành thử nghiệm ngoài trời với một điểm phát đặt tại Thị trấn Đông Anh và một điểm đặt tại Đại học Bách khoa Hà Nội, điểm thu được đặt tại phòng thí nghiệm (trụ sở Tổng cục Khí tượng Thủy văn). Kết quả đạt được tương tự, chuỗi bản tin gửi đi từ bộ phận phát được nhận đầy đủ tại bộ phận thu (Hình 7).



Hình 7. Kết quả thử nghiệm truyền tin ngoài trời: (a) Kết quả thử nghiệm tại ĐH Bách khoa; (b) Kết quả thử nghiệm tại Đông Anh.

b) Thử nghiệm các mức cảnh báo

Sau khi thực hiện thử nghiệm mức độ thu, nhận sóng HF của bộ phận phát và thu, nhóm nghiên cứu đã kết nối mô đun đo mực nước với bộ phận phát (với tần số và công suất đã được cấu hình từ trước) và mô đun cảnh báo (còi, loa, đèn, bảng tín hiệu) với mô đun thu. Hệ thống sẽ được thiết lập giả định ở 03 mức cảnh báo mực nước 10 cm, 20 cm và 30 cm (Hình 8).



Hình 8. Mô hình thử nghiệm cảnh báo mực nước.

Kết quả thử nghiệm thu được: bộ đo mực nước hoạt động tốt, gửi tín hiệu các mức cảnh báo tới mô đun phát HF, cùng thời điểm đó mô đun thu tín hiệu cũng nhận được sóng tới và phát các tín hiệu cảnh báo tương ứng với 03 mức giả định.

4. Kết luận

Hầu hết các nghiên cứu chế tạo hệ thống quan trắc đều có đặc điểm giống nhau là cảnh báo lũ thời gian thực theo các mức báo động lũ, thông tin cảnh báo được truyền tải bằng âm thanh và tín hiệu đèn để cảnh báo cho cộng đồng chủ động các giải pháp ứng phó. Hệ thống này bao gồm hai bộ phận chính: Bộ phận phát bao gồm cảm biến đo mực nước theo thời gian thực có chức năng giám sát sự lên xuống của mực nước và phát ra sóng vô tuyến đến bộ phận cảnh báo (Bộ phận thu) được lắp đặt tại khu vực dân cư sinh sống nằm trong phạm vi ảnh hưởng của lũ.

Với mục tiêu đưa thông tin cảnh báo nhanh nhất, sớm nhất tới cộng đồng dân cư để người dân kịp thời chuẩn bị công tác ứng phó, giải pháp sử dụng sóng vô tuyến để kết nối thiết bị quan trắc với bộ phận cảnh báo lắp đặt tại khu vực dân cư là một giải pháp hữu hiệu để cung cấp thông tin cảnh báo theo thời gian thực. Giải pháp này có thể giải quyết được bài toán khó khăn trong công tác dự báo, cảnh báo lũ, đặc biệt là lưu vực sông, suối nhỏ ở nước ta.

Trên cơ sở mô hình cảnh báo lũ sử dụng sóng vô tuyến của tác giả Nguyễn Đức Hùng, Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ “Nghiên cứu xây dựng hệ thống cảnh báo mức nước lũ từ xa sử dụng sóng vô tuyến cho các lưu vực sông nhỏ” được phê duyệt thực hiện, kết quả hệ nghiên cứu và thử nghiệm được trình trong nghiên cứu này chính là một phần của sản phẩm đề tài nêu trên.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: V.N.L., T.Q.N.; Lựa chọn giải pháp, đề xuất cải tiến công nghệ: N.M.H.; Viết bản thảo bài báo: T.Q.N.; Chỉnh sửa bài báo: V.N.L.

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

Tài liệu tham khảo

1. Hashim, Y.; Idzha, A.H.B.M.; Jabbar, W.A. The Design and Implementation of a Wireless Flood Monitoring System. *J. Telecommun. Electron. Comput. Eng.* **2021**, 10(3–2), 7–11.
2. Harshali, S.; Mali, Marathe, A.R.; Priyanka, K. Patil. Flood Monitoring and Alerting System based on IOT. *IJARIE–ISSN(O)–2395–4396.* **2021**, Vol–7 Issue–
3. Finawan, A.; Tahir, R.; Eliyani, E.; Fauziah, A.; Jannifar, A. Early warning system on flood hazard in river flow area based on radio frequency. *IOP. Conf. Series: Earth Environ. Sci.* **2019**, 268, 012164.
4. Phương, T.A.; Trà, T.V.; Đức, N.A.; Sơn, D.H.; Cường, T.M.; Anh, P.N.; Linh, B.H.; Nhung, T.T. Nghiên cứu thử nghiệm xây dựng hệ thống giám sát và cảnh báo lũ, lụt và hạn hán tích hợp theo thời gian thực trên nền tảng WebGIS. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *EME4*, 314–324.
5. Thăng, T. Cảnh báo lũ từ xa – Kinh nghiệm từ Thủy điện Buôn Kuốp. Báo điện tử Chính phủ, 29/7/2017.
6. Quyết định số 54049/QĐ–SHTT, ngày 08 tháng 8 năm 2017 của Cục sở hữu trí tuệ.
7. Maxim Integrated Products. Inc. Selecting and Using RS–232, RS–422, and RS–485 Serial Data Standards. 2020. <https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/tutorials/7/723.html>.
8. SDI–12 A Serial–Digital Interface Standard for Microprocessor–Based Sensors, Version 1.4, SDI–12 Support Group, 2017.
9. King Pigeon Hi–Tech. Co., Ltd. GSM/SMS/3G/4G Remote Alarm Controller Digital Input Monitoring Alarm Unit, 2017.
10. Anh, P. Trường điện tử và truyền sóng. NXB đại học quốc gia Hà nội, 2009, tr. 303.
11. Dũng, N.P.A.; Hiền, P.T.T. Truyền sóng và Anten. Giáo trình đào tạo Đại học, Học viên Công nghệ bưu chính viễn thông, 2006.
12. Clark, S.; Andy.; Truong, H.L. MQTT For Sensor Networks (MQTT–SN) Protocol Specification Version 1.2. OASIS Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) Technical Committee, 2020, pp. 28.
13. Egli, P.R. MQTT – Message Queueing Telemetry Transport Introduction to MQTT, a protocol for M2M and IoT applications. *Presentation* **2017**, Doi:10.13140/RG.2.2.13210.54721.
14. Saxena, S.; Jain, S.; Arora, D.; Sharma, P. Implications of MQTT Connectivity Protocol for IoT based Device Automation using Home Assistant and OpenHAB. International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), 13 February 2020, 475–480D.
15. Alexandre, S.; Carlier, F.; Renault, V. Data Exchange with the MQTT Protocol: Dynamic Bridge Approach. Proceeding of the 2019 IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring), 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/VTCSpring.2019.8746333.

16. ISO 20022 and JSON: An Implementation Best Practices Whitepaper, 2018.
17. Adam Linker. Creating and Controlling JSON Output with the JSON Procedure. SAS® Institute Inc. 2019, SAS3506.
18. Vaisala. QHR104 Radar Water Level Sensor. <https://www.vaisala.com>.
19. SUTRON. Radar Level Sensor (RLS) CSI Specifications. <https://www.sutron.com>.
20. SUTRON. Laboratory and Field Tests of the Sutron RLR-0003-1 Water Level Sensor. <https://www.sutron.com>.
21. Cambellsientific. Sonic ranging sensor. <https://www.campbellsci.eu/>.
22. Paolo Romani. The big book of SDRSharp and its whole universe V4.4 (aligned to SDR# Studio revision 1.0.0.1858). 2021. AIRSPY.

Research and selection of monitoring technology solutions to build flood warning systems for sub-basins in Vietnam

Tran Quang Ngoc^{1*}, Nguyen Minh Hai¹, Vu Ngoc Linh²

¹ Department of hydro-meteorological forecasting management; vnlinh@monre.gov.vn

² Center for hydro-meteorological observation; tqngoc@gmail.com

Abstract: This paper presents the results of improving the exclusive patent “Remote flood warning device using radio waves” by author Nguyen Duc Hung to suit actual conditions, serving water level monitoring over time. Realize and broadcast flood warnings to communities living in small river and stream basins (sub-basin). Through the use of Rayleigh standard for radio frequency band selection, the system is designed with additional data transmission options, connection protocols, additional integrators, data storage, and structured programming. data and device status reports. After upgrading, the remote flood warning device using radio waves can be connected to modern water level gauges, measuring points using the same radio frequency, with additional data transmission features. over GPRS, 3G/4G and integrated, data storage (datalogger). Testing the operation of the system in the laboratory and outdoors, the results are obtained, the receiver and transmitter are well connected via HF radio waves, the hypothetical test with 03 warning levels shows that the part The water level gauge works well, the alarm transmitter has received the signal and broadcasts the warning information corresponding to 03 levels of assumption. Testing parameters have achieved good results, this system can be applied in practice to monitor and warn real-time flood water levels for sub-basin in Vietnam.

Keywords: Water level early warning; Floods on sub-basin; Water level monitoring and warning technology.

Bài báo khoa học

Dự báo hạn mùa số lượng xoáy thuận nhiệt đới trên khu vực Biển Đông và đổ bộ vào Việt Nam

Hoàng Phúc Lâm¹, Lưu Khánh Huyền^{1*}, Tạ Hữu Chính²

¹ Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn quốc gia; lamhpvn@gmail.com;
luukhanhhuyen258@gmail.com

² Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; chinhth2010@gmail.com

*Tác giả liên hệ: luukhanhhuyen258@gmail.com; Tel.: +84–974816187

Ban Biên tập nhận bài: 5/10/2022; Ngày phản biện xong: 8/11/2022; Ngày đăng bài: 25/11/2022

Tóm tắt: Bài báo trình bày nghiên cứu về xác định các đặc điểm hoạt động của XTNĐ trên Biển Đông và đổ bộ vào đất liền Việt Nam, sử dụng phương pháp hồi quy từng bước xây dựng bộ công cụ dự báo hạn mùa số lượng XTNĐ trên Biển Đông và đổ bộ vào đất liền dựa trên mối quan hệ với các chỉ số hoàn lưu và các dao động quy mô lớn như ENSO, IOD, QBO, v.v... Kết quả nghiên cứu cho thấy tháng 9 là giai đoạn có nhiều XTNĐ hoạt động trên Biển Đông và đổ bộ vào đất liền nước ta nhất. Đa số (75%) XTNĐ đổ bộ vào đất liền là ATNĐ và bão, chỉ có 25% là bão mạnh và bão rất mạnh. Số lượng XTNĐ trên Biển Đông giai đoạn 1991–2020 có xu hướng tăng nhẹ so với giai đoạn 1961–1990, khoảng 4,2%; ngược lại, số lượng XTNĐ đổ bộ lại có xu hướng giảm nhẹ (khoảng 3,1%). Mô hình dự báo được xu thế tăng giảm XTNĐ trên Biển Đông và đổ bộ so với trung bình nhiều năm nhưng còn có xu hướng thiên thấp, sai số lớn chủ yếu ở những mùa có nhiều hơn 8 XTNĐ trên Biển Đông và nhiều hơn 5 XTNĐ đổ bộ vào đất liền.

Từ khóa: Xoáy thuận nhiệt đới; Dự báo hạn mùa; Hồi quy từng bước; Biển Đông, Việt Nam.

1. Mở đầu

Biển Đông là vùng biển thuộc Tây Bắc Thái Bình Dương (TBTBD), nơi thường có nhiệt độ bề mặt nước biển cao, có điều kiện thuận lợi cho việc hình thành và phát triển bão. Khoảng 60% các cơn bão thông thường và bão mạnh, 25% các cơn bão rất mạnh vẫn còn duy trì được cấp độ khi di chuyển từ TBTBD đi vào Biển Đông. Số lượng xoáy thuận nhiệt đới (XTNĐ) ảnh hưởng trực tiếp nhiều nhất đến các tỉnh từ Quảng Ninh–Hà Tĩnh (từ 6 tới 8 cơn bão/năm), ít hơn (từ 3 tới 5 cơn bão/năm) ở các tỉnh từ Quảng Bình–Bình Thuận và ít nhất nhất (dưới 3 cơn bão/năm) đổ bộ vào khu vực Nam Bộ [1]. Những thiệt hại về người, về đời sống của người dân vùng chịu ảnh hưởng của bão và áp thấp nhiệt đới là rất nghiêm trọng. Do đó, bão và áp thấp nhiệt đới là một trong những chủ đề thường xuyên được quan tâm và nghiên cứu trong nhiều thập kỷ qua.

Số lượng bão Biển Đông có xu hướng giảm, tuy nhiên số lượng bão rất mạnh lại có xu hướng gia tăng trong những thập kỷ gần đây [2–4]. Phần lớn các nghiên cứu sử dụng bộ số liệu của các trung tâm bão quốc tế như: JTWC, RSMC, v.v... Điểm khác biệt của nghiên cứu này là bộ số liệu XTNĐ được sử dụng để nghiên cứu là bộ số liệu của Trung tâm dự báo Khí tượng thủy văn quốc gia. Bộ số liệu này đã được hiệu chỉnh sử dụng các số liệu quan trắc tăng cường khi XTNĐ có khả năng đổ bộ vào Việt Nam nên có độ chính xác cao hơn so với các bộ số liệu quốc tế, đặc biệt là đối với bài toán dự báo số lượng XTNĐ đổ bộ.

XTNĐ đổ bộ nhiều vào khu vực Đông Nam Á giai đoạn từ tháng 7 đến tháng 10, trùng với giai đoạn XTNĐ hoạt động nhiều ở khu vực TBTBD. Bờ biển miền Bắc của Việt Nam là một trong những địa điểm bão thường xuyên đổ bộ. Số lượng XTNĐ ở khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương nói chung, Đông Nam Á nói riêng ở năm La Nina và ENSO trung tính nhiều hơn El Nino [5]. Số lượng XTNĐ trên biển Đông ở những năm El Nino ít hơn các năm La Nina [6–9]. Số lượng XTNĐ trên Biển Đông vào năm La Nina là khoảng 12–13 cơn, El Nino là 8–9 cơn và ở pha trung tính là 11–12 cơn. Tuy nhiên cường độ bão trong những năm El Nino lại mạnh hơn nhiều những năm La Nina [6, 7].

Dao động tựa hai năm (QBO) đã được chứng minh là có ảnh hưởng đến tần suất bão trong mùa bão ở Đại Tây Dương, Thái Bình Dương và QBO cũng có mối liên hệ với ENSO. XTNĐ có xu hướng thường xuyên đi vào vùng biển phía Đông Trung Quốc vào pha QBO Tây và thường xuyên đi vào vùng biển phía Đông Nhật Bản vào pha QBO Đông [10]. Trong pha QBO Tây có nhiều XTNĐ hình thành ở vùng xích đạo của TBTBD hơn, XTNĐ hình thành ở vùng ngoài xích đạo TBTBD ít hơn. Hơn nữa, quỹ đạo của XTNĐ cũng thay đổi đáng kể theo các giai đoạn QBO khác nhau. Với pha QBO Đông, rãnh gió mùa dịch chuyển về phía bắc và nhiều XTNĐ hoạt động ở gần Đài Loan hơn [11].

Dao động lưỡng cực Ấn Độ Dương (IOD) cũng là một trong những dao động quy mô lớn ảnh hưởng đến hoạt động của XTNĐ ở TBTBD. Sự thay đổi nhiệt độ nước biển (SST) ở Ấn Độ Dương được phát hiện là có ảnh hưởng đến tần suất xuất hiện XTNĐ ở TBTBD, cụ thể là SST ở phía đông Ấn Độ Dương lạnh đi dị thường thì số lượng XTNĐ hình thành ở TBTBD nhiều hơn trung bình nhiều năm, ngược lại SST ấm lên thì số lượng XTNĐ lại giảm đi. Do sự thay đổi SST ở đông Ấn Độ Dương ảnh hưởng đến hoạt động của gió mùa mùa hè và sóng Kelvin xích đạo ở TBTBD, hai yếu tố động lực chính tác động đến sự hình thành của XTNĐ [12]. Trong nghiên cứu này, IOD là một trong những nhân tố được xem xét để đưa vào mô hình dự báo số lượng XTNĐ trên Biển Đông và số lượng XTNĐ đổ bộ vào Việt Nam.

Ngoài ra, dao động Bắc Cực (AO) cũng là một trong những dao động được xem xét đưa vào mô hình dự báo do đã được chứng minh là có ảnh hưởng đến hoạt động của XTNĐ vào mùa hè ở khu vực TBTBD. Những năm có chỉ số AO thấp (cao), có nhiều XTNĐ hình thành ở phía đông (tây) kinh tuyến 150°E hơn, XTNĐ đi vào khu vực Hàn Quốc, Nhật Bản (Biển Đông và Nam Trung Quốc) nhiều hơn [13]. Tần suất xuất hiện XTNĐ ở vĩ độ trung bình (khu vực Nhật Bản, Hàn Quốc, Đài Loan) có tương quan thuận với AO mùa xuân trước đó, ngược lại, tần suất xuất hiện XTNĐ ở vĩ độ thấp (khu vực Philippines) lại có tương quan nghịch với AO mùa xuân [14].

Hai phương pháp thường được sử dụng để dự báo hạn mùa số lượng XTNĐ là phương pháp thống kê và phương pháp động lực, trong đó phương pháp thống kê vẫn được sử dụng nhiều hơn vì tính đơn giản và hiệu quả đối với các bài toán dự báo mùa. Các tác giả [15–19] có sử dụng các phương pháp thống kê khác nhau như hồi quy tuyến tính, mạng thần kinh nhân tạo sử dụng đầu vào là các chỉ số khí hậu, chỉ số hoàn lưu quy mô lớn... và các bộ số liệu quỹ đạo bão khác nhau dự báo cho toàn khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương [15–16] Biển Đông [17–18] và riêng khu vực Trung Trung Bộ [19]. Năm 2019, nghiên cứu thử nghiệm dự báo hạn 6 tháng số lượng XTNĐ hoạt động trên Biển Đông Bằng phương pháp thống kê [18] dựa trên bộ số liệu XTNĐ từ năm 1981–2015 của Trung tâm khí tượng chuyên vùng của Nhật Bản (*RSMC Tokyo*). Các thành phần chính được đưa vào mô hình là 14 chỉ số khí hậu. Trong các mô hình, mô hình hồi quy tuyến tính đa biến xác định hệ số hồi quy bằng phương pháp bình phương tối thiểu (OLS) cho kết quả dự báo tốt nhất. Kế thừa kết quả nghiên cứu của [18], bài báo này cũng sử dụng mô hình hồi quy tuyến tính đa biến, ước lượng hệ số hồi quy bằng OLS để xây dựng mô hình dự báo số lượng XTNĐ. Năm 2021, phần kết quả của bài báo này về dự báo số lượng XTNĐ đã được sử dụng để đánh giá, so sánh với các phương pháp dự báo mới [20]. Điểm khác biệt của nghiên cứu này là dự báo số lượng XTNĐ hạn 3 tháng, ngoài việc dự báo số lượng XTNĐ hoạt động trên Biển Đông, nghiên cứu này cũng

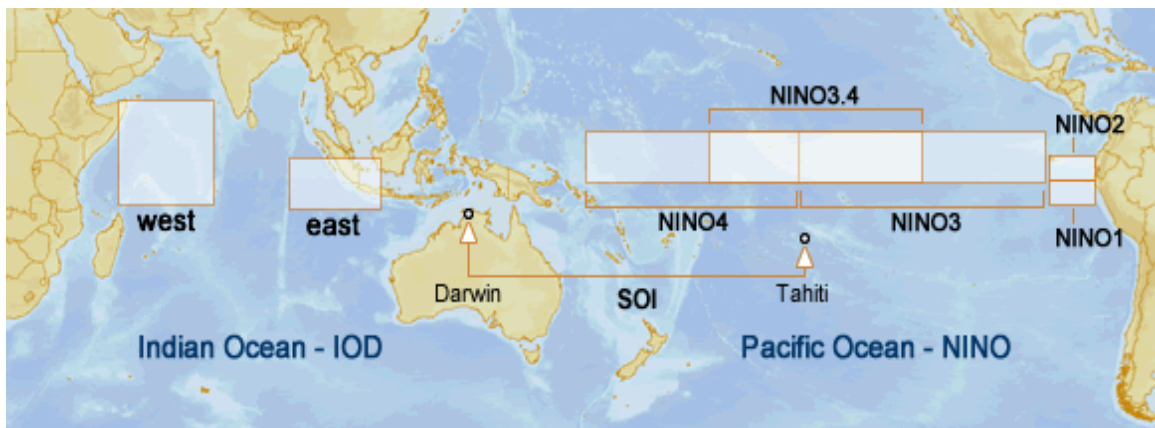
dự báo thêm số lượng XTNĐ đổ bộ vào Việt Nam. Nghiên cứu này thử nghiệm các bộ số liệu có độ dài khác nhau (60 năm và 40 năm gần nhất) và các bộ chỉ số khí hậu khác nhau và các tham số khác nhau để tìm gia bộ số liệu, tham số phù hợp nhất cho mô hình dự báo.

2. Số liệu và phương pháp

2.1. Số liệu nghiên cứu

Số liệu XTNĐ trên Biển Đông từ năm 1961–2020 được thống kê bởi Trung tâm dự báo Khí tượng thủy văn quốc gia được sử dụng để nghiên cứu mối quan hệ giữa số lượng XTNĐ trên Biển Đông và các yếu tố quy mô lớn, xây dựng công cụ dự báo hạn 3 tháng số lượng XTNĐ hoạt động trên Biển Đông, số lượng XTNĐ đổ bộ vào đất liền Việt Nam theo các khu vực [21].

Trong nghiên cứu này, XTNĐ đổ bộ vào đất liền là khi vị trí tâm của áp thấp nhiệt đới hoặc bão nằm trên đất liền, một số XTNĐ đổ bộ vào đất liền Trung Quốc trước khi đổ bộ vào đất liền nước ta, nhưng cường độ vẫn đạt cấp bão hoặc áp thấp nhiệt đới thì cũng được coi là bão hoặc áp thấp nhiệt đới đổ bộ vào nước ta. Cường độ khi đổ bộ được quy ước là cường độ của XTNĐ ở ộp quan trắc ngay trước khi hoặc đúng tại thời điểm XTNĐ đổ bộ vào đất liền, áp thấp nhiệt đới suy yếu thành vùng thấp trước khi đổ bộ sẽ không được tính là XTNĐ đổ bộ.



Hình 1. Sơ đồ các khu vực giám sát ENSO (các vùng NINO1, NINO2, NINO3.4, NINO3, NINO4) và IOD (chênh lệch giữa dị thường nhiệt độ nước biển ở đông và tây Ấn Độ Dương) (nguồn: <http://www.bom.gov.au/climate/enso/indices/about.shtml>).

Các chỉ số được đưa vào mô hình phải thỏa mãn điều kiện:

- Chỉ số liên quan đến hoạt động của XTNĐ như ENSO, lưỡng cực Ấn Độ Dương (IOD), dao động bán niên (QBO), khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương;
- Bộ số liệu đủ dài, cụ thể là từ năm 1961–2020;
- Số liệu được cập nhật liên tục, đầy đủ với độ trễ không quá 2 tháng.

Bảng 1. Danh sách các chỉ số khí hậu được tham gia tuyển chọn xây dựng mô hình dự báo.

STT	Ký hiệu	Chỉ số	Nguồn
1	NINO12	Dị thường nhiệt độ nước biển vùng Niño 1+2	https://psl.noaa.gov/data/correlation/nina1.anom.data
2	NINO3	Dị thường nhiệt độ nước biển vùng Niño 3	https://psl.noaa.gov/data/correlation/nina3.anom.data
3	NINO4	Dị thường nhiệt độ nước biển vùng Niño 4	https://psl.noaa.gov/data/correlation/nina4.anom.data
4	NINO34	Dị thường nhiệt độ nước biển vùng Niño 3+4	https://psl.noaa.gov/data/correlation/nina34.anom.data
5	BEST	Chỉ số ENSO theo chuỗi thời gian	https://psl.noaa.gov/data/correlation/censo.data

STT	Ký hiệu	Chỉ số	Nguồn
6	ONI	Chỉ số Niño đại dương	https://psl.noaa.gov/data/correlation/oni.data
7	DMI	Chỉ số Chế độ lưỡng cực	https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/elnino/index/sstindex/base_period_9120/DMI/anomaly
8	WP	Tây Thái Bình Dương	https://psl.noaa.gov/data/correlation/wp.data
9	QBO	Dao động Quasi-Biennial	https://psl.noaa.gov/data/correlation/qbo.data
10	AO	Dao động Bắc Cực	https://psl.noaa.gov/data/correlation/ao.data
11	SOI	Chỉ số Dao động nam	https://psl.noaa.gov/data/correlation/soi.data
12	REQSOI	Chỉ số Dị thường dao động nam vùng xích đạo	https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/reqsoi.for
13	RINDO	Dị thường khí áp mực biển gần khu vực Indonesia	https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/rindo_slpa.for

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Hồi quy từng bước là mô hình hồi quy được xây dựng từ một tập hợp các biến độc lập, mô hình từng bước thêm vào hay loại bỏ các nhân tố dự báo dựa vào một tiêu chí đã được xác định trước, đến khi không còn biến nào để thêm vào hay loại bỏ nữa. Hồi quy từng bước có 3 phương pháp:

- Forward: bắt đầu từ việc không có biến nào trong mô hình, lần lượt thêm từng biến vào mô hình dựa trên tiêu chí đã chọn, xem xét việc thêm biến đó có ý nghĩa thống kê không, dừng lại nếu việc thêm biến không làm mô hình cải thiện thêm.

- Backward: bắt đầu từ việc mô hình có tất cả các biến độc lập, lần lượt loại bỏ từng biến dựa trên tiêu chí đã chọn, xem xét việc loại bỏ biến đó có ý nghĩa thống kê không, dừng lại nếu việc loại bỏ biến không giúp mô hình cải thiện đáng kể.

- Both: kết hợp của hai phương pháp trên, kiểm tra ý nghĩa thống kê của từng biến được đưa vào hay loại bỏ.

Tiêu chí lựa chọn mô hình hồi quy từng bước được sử dụng trong nghiên cứu này là giá trị p (p-value), mô hình dùng giá trị p để xem xét thêm và bớt biến dự báo vào mô hình, tuyển chọn ra những biến có ý nghĩa nhất. Giá trị p kiểm tra xem hệ số hồi quy có bằng 0 hay không, giá trị p càng cao thì hệ số hồi quy càng tiến đến 0, biến dự báo càng ít có ảnh hưởng đến biến phụ thuộc Y, giá trị p càng thấp có nghĩa là biến dự báo càng có nhiều tác động đến Y.

Bước đầu tiên, xác định giá trị p-enter và p-remove. Mô hình bắt đầu tính toán hồi quy đơn từng biến và so sánh giá trị p của từng biến dự báo. Nếu không có giá trị p nào nhỏ hơn p-enter thì không có biến nào được thêm vào mô hình. Nếu có giá trị p nhỏ hơn p-enter thì biến dự báo có giá trị p nhỏ nhất sẽ được thêm vào mô hình.

Sau đó các biến dự báo còn lại sẽ lần lượt được thêm vào mô hình và tính toán hồi quy để tìm ra biến có giá trị p nhỏ hơn p-enter và là p nhỏ nhất để thêm vào mô hình. Việc thêm các biến vào mô hình sẽ làm thay đổi giá trị p của các biến trong mô hình, nếu có biến có giá trị p lớn nhất và lớn hơn p-remove thì biến đó sẽ bị loại ra khỏi mô hình. Các bước này sẽ được thực hiện lặp lại nhiều lần, đến khi không có biến nào trong mô hình được thêm vào hay loại bỏ nữa.

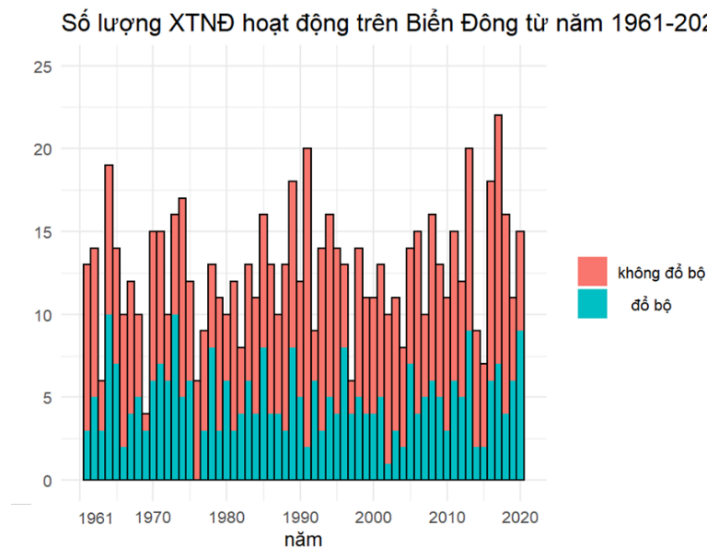
Trong nghiên cứu này, các biến phụ thuộc chính là số lượng XTNĐ hoạt động trên Biển Đông và số lượng XTNĐ đổ bộ vào đất liền Việt Nam, các biến độc lập chính là các chỉ số khí hậu trung bình tháng trong 3 tháng trước mùa bão. Do số lượng biến độc lập tương đối nhiều, không phải chỉ số nào cũng có mối quan hệ tốt với biến phụ thuộc nên phương pháp hồi quy từng bước được sử dụng để tuyển chọn nhân tố dự báo phù hợp.

Với bộ số liệu 60 năm, từ năm 1961–2020, số liệu từ năm 1961–2010 được sử dụng để xây dựng mô hình dự báo, số liệu từ năm 2011–2020 là bộ số liệu độc lập được sử dụng để đánh giá mô hình. Giá trị p-enter và p-remove sẽ được khảo sát để lựa chọn ra cặp tham số phù hợp nhất để lập phương trình dự báo số lượng XTNĐ trên Biển Đông. Giá trị p-enter và p-remove được khảo sát trong khoảng từ 0,1–0,4, trong đó, p-enter < p-remove (hay các biến được đưa vào có tác động đến Y nhiều hơn biến loại bỏ).

3. Kết quả và thảo luận

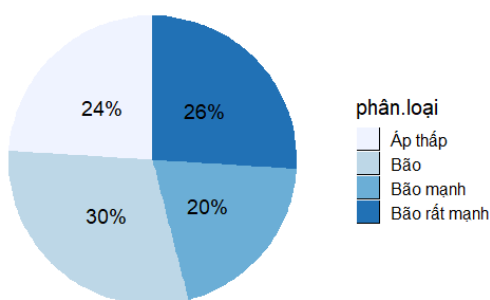
3.1. Đặc điểm hoạt động của xoáy thuận nhiệt đới trên Biển Đông

Theo thống kê của Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, trong 60 năm (1961–2020), trên khu vực Biển Đông có 756 XTNĐ hoạt động. Trung bình có khoảng 12–13 cơn bão và áp thấp nhiệt đới (ATNĐ) hoạt động trong một năm, trong số đó có khoảng 4–5 cơn bão và ATNĐ đổ bộ vào nước ta. Năm 2017 là năm có số lượng XTNĐ hoạt động trên Biển Đông nhiều nhất, tổng có 22 XTNĐ hoạt động, trong khi đó năm 1969 chỉ có 4 XTNĐ hoạt động và là năm có ít XTNĐ hoạt động nhất. Phân tích số liệu XTNĐ đổ bộ, năm 1976 không có XTNĐ đổ bộ, năm 2002 chỉ có 1 XTNĐ đổ bộ vào nước ta, năm 1964 và 1973 là năm có nhiều XTNĐ đổ bộ nhất, gấp đôi trung bình nhiều năm, với 10 XTNĐ đổ bộ.

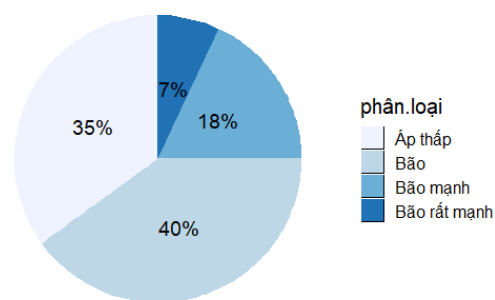


Hình 2. Sự thay đổi số lượng XTNĐ hoạt động trên biển Đông từ năm 1961–2020, màu xanh là số lượng XTNĐ đổ bộ vào Việt Nam, màu đỏ là số lượng XTNĐ không đổ bộ vào Việt Nam.

Tỷ lệ XTNĐ hoạt động trên Biển Đông



Tỷ lệ XTNĐ đổ bộ vào Việt Nam

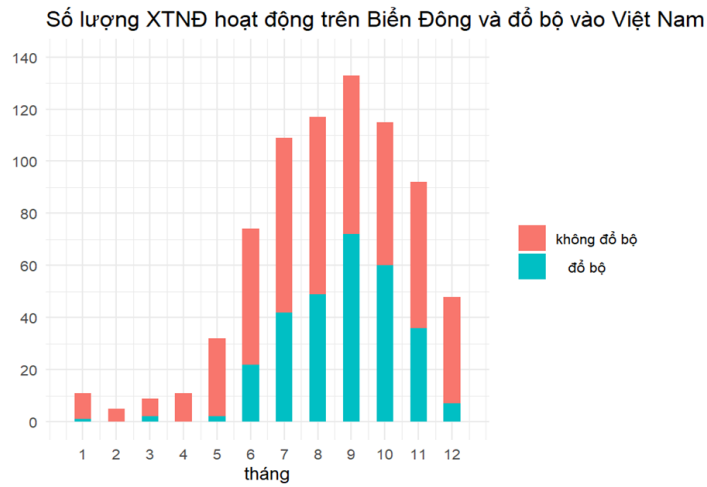


Hình 3. Tỷ lệ áp thấp nhiệt đới, bão, bão mạnh, bão rất mạnh hoạt động trên Biển Đông (bên trái) và đổ bộ vào Việt Nam (bên phải).

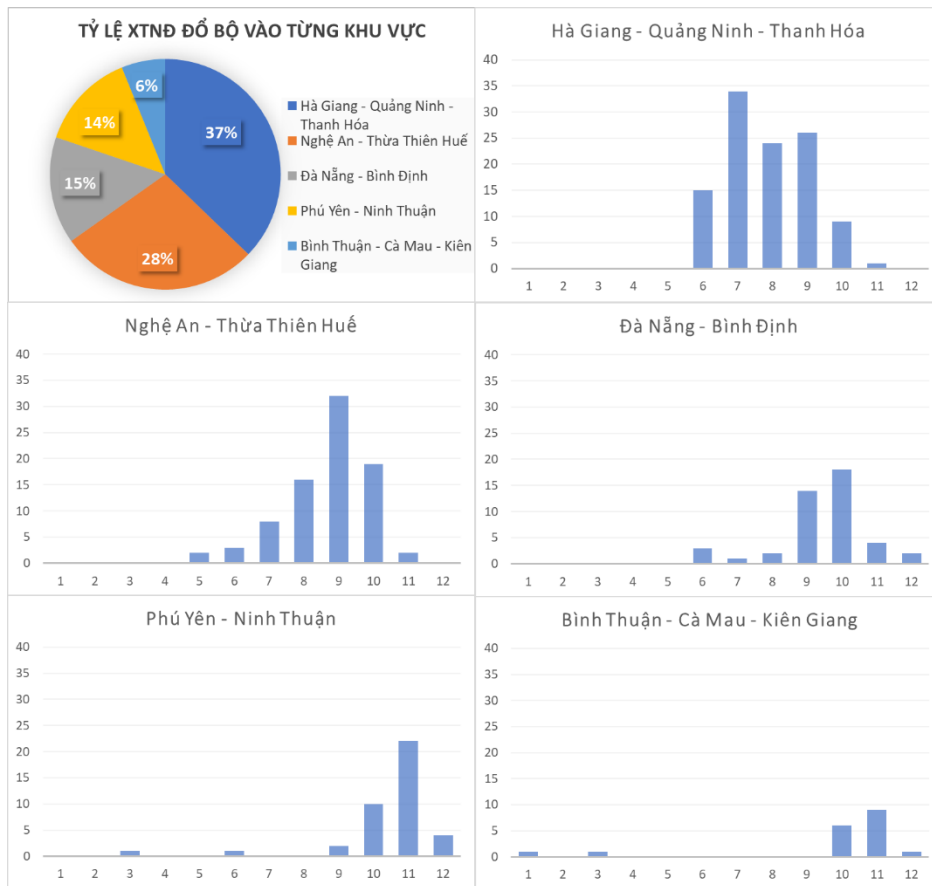
Hình 3 cho thấy tỷ lệ ATNĐ hoạt động trên Biển Đông chiếm 24% tổng số XTNĐ, còn lại 76% là bão (30% bão, 20% bão mạnh và 26% bão rất mạnh). Trong tổng số 756 XTNĐ hoạt động trên Biển Đông, có 293 XTNĐ (38.8%) đổ bộ vào đất liền nước ta. Trong số 293 XTNĐ đổ bộ vào đất liền, phần lớn là áp thấp nhiệt đới và bão (75%), trong 60 năm chỉ có 54 cơn bão mạnh (18%) và 21 cơn bão rất mạnh (7%).

XTNĐ hoạt động trên Biển Đông nhiều vào giai đoạn từ tháng 6 đến tháng 12, trong đó tháng 9 có nhiều XTNĐ xuất hiện nhất, trung bình có khoảng 2 XTNĐ hoạt động, có rất ít XTNĐ hoạt động trên Biển Đông từ tháng 1 đến tháng 4. XTNĐ đổ bộ nhiều vào nước ta ở

giai đoạn từ tháng 7 đến tháng 11, trung bình có 1 XTNĐ đổ bộ vào đất liền vào tháng 9 và tháng 10, từ tháng 1 đến tháng 5 và tháng 12 có rất ít XTNĐ và đổ bộ đến đất liền nước ta.



Hình 4. Số lượng XTNĐ hoạt động trên Biển Đông và đổ bộ vào Việt Nam qua các tháng.



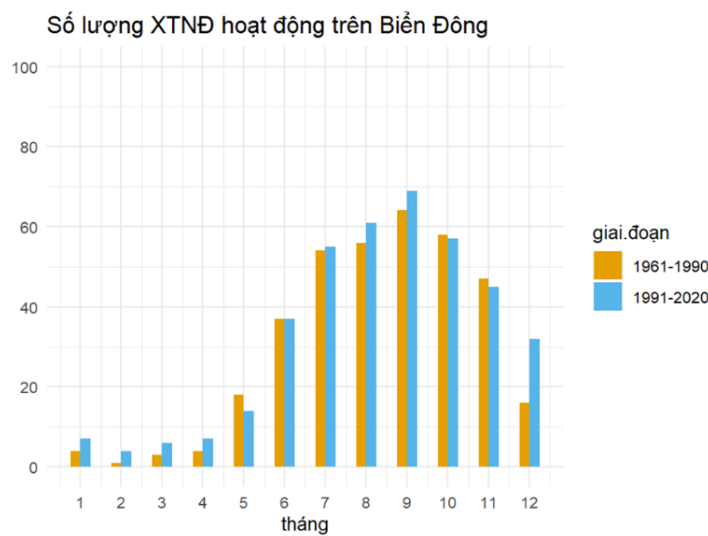
Hình 5. Tỷ lệ XTNĐ đổ bộ vào từng khu vực và số lượng XTNĐ đổ bộ từng tháng vào từng khu vực.

Phân bố theo không gian thì XTNĐ đổ bộ nhiều nhất vào khu vực Bắc Bộ và Thanh Hóa (37%), sau đó là các tỉnh từ Nghệ An đến Thừa Thiên Huế (28%), các tỉnh từ Đà Nẵng đến Bình Định và Phú Yên đến Ninh Thuận XTNĐ đổ bộ ít hơn (14–15%), XTNĐ đổ bộ ít nhất vào khu vực các tỉnh từ Bình Thuận đến Cà Mau và Cà Mau đến Kiên Giang (chỉ có 18 XTNĐ đổ bộ vào khu vực này trong 60 năm).

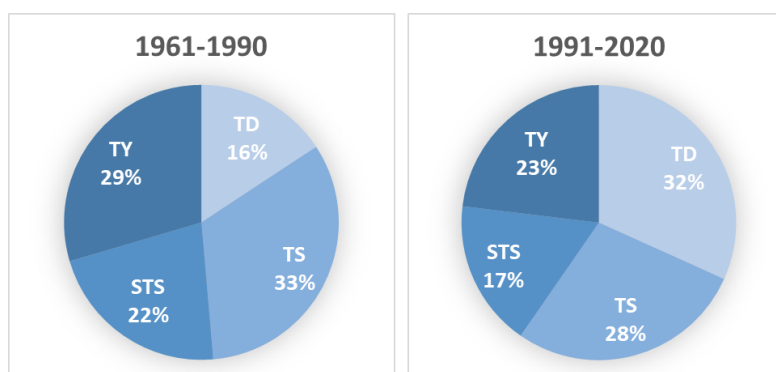
Phân bố theo thời gian thì XTNĐ ảnh hưởng đến các khu vực muộn dần từ Bắc vào Nam, XTNĐ chủ yếu đổ bộ vào các tỉnh Bắc Bộ và Thanh Hóa từ tháng 7 đến tháng 9, trong đó

tháng 7 là tháng có số lượng XTNĐ đổ bộ nhiều nhất vào khu vực này; từ tháng 8 đến tháng 10 XTNĐ đổ bộ vào các tỉnh từ Nghệ An đến Thừa Thiên Huế, trong đó tháng 9 là tháng có số lượng XTNĐ đổ bộ nhiều nhất vào khu vực này; từ tháng 9 đến tháng 10 XTNĐ đổ bộ vào các tỉnh từ Đà Nẵng đến Bình Định; từ tháng 10 đến tháng 11 XTNĐ đổ bộ vào các tỉnh từ Phú Yên đến Bình Thuận và Bình Thuận–Cà Mau–Kiên Giang.

Chia chuỗi thời gian 60 năm thành 2 giai đoạn: 30 năm đầu (1961–1990) và 30 năm sau (1991–2020). Số lượng XTNĐ hoạt động trên Biển Đông ở giai đoạn 30 năm sau nhìn chung nhiều hơn 30 năm đầu (giai đoạn đầu có 362 cơn, giai đoạn sau có 394 cơn). Tháng 9 là tháng có nhiều XTNĐ trên Biển Đông nhất (trung bình khoảng 2 cơn bão hoặc ATNĐ hoạt động), mùa XTNĐ ở cả 2 giai đoạn đều bắt đầu từ tháng 6. Nhưng ở giai đoạn 30 năm sau, mùa XTNĐ kéo dài đến tháng 12, trung bình có khoảng 1 cơn bão hoặc ATNĐ hoạt động trong tháng 12. Số lượng XTNĐ ở giai đoạn 30 năm sau tăng vào tháng 8, tháng 9 và tăng nhiều nhất là vào tháng 12 (gần gấp đôi). Số lượng XTNĐ tăng ở tháng 12 chủ yếu được đóng góp từ số lượng ATNĐ và bão rất mạnh xuất hiện trên Biển Đông.



Hình 6. Số lượng XTNĐ hoạt động trên Biển Đông các tháng ở giai đoạn 30 năm đầu (1961–1990) và 30 năm sau (1991–2020).

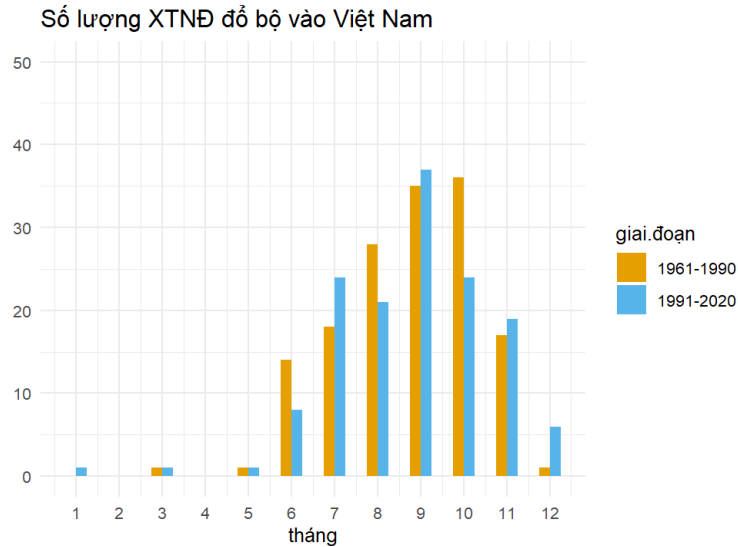


Hình 7. Tỷ lệ Áp thấp (TD), bão (TS), bão mạnh (STS) và bão rất mạnh (TY) hoạt động trên Biển Đông ở giai đoạn 30 năm đầu (1961–1990) và 30 năm sau (1991–2020).

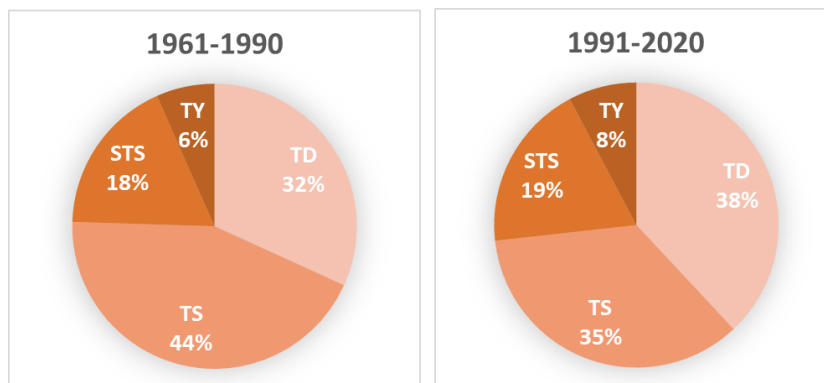
Ở giai đoạn 30 năm sau, số lượng ATNĐ tăng gấp 2 lần ở giai đoạn 30 năm đầu, số lượng bão, bão mạnh, bão rất mạnh có xu hướng giảm (giai đoạn đầu có 305 cơn bão, giai đoạn sau có 269 cơn bão).

Xu hướng XTNĐ trên biển Đông tăng nhưng số lượng XTNĐ đổ bộ vào Việt Nam lại có xu hướng giảm, và số lượng XTNĐ giảm chủ yếu là bão. Ở giai đoạn 30 năm đầu có 151 XTNĐ đổ bộ, giai đoạn 30 năm sau có 142 XTNĐ đổ bộ vào nước ta. Nhìn chung 5 tháng

đầu năm có rất ít XTNĐ đổ bộ, từ tháng 6 số lượng XTNĐ đổ bộ vào Việt Nam bắt đầu tăng. Ở giai đoạn 30 năm đầu, XTNĐ đổ bộ tập trung vào giai đoạn từ tháng 6 đến tháng 11; ở giai đoạn 30 năm sau, XTNĐ đổ bộ ít hơn vào tháng 6 và tăng nhanh vào tháng 7, số lượng XTNĐ đổ bộ vào tháng 12 cũng nhiều hơn ở giai đoạn 30 năm đầu. Ở giai đoạn 30 năm đầu, tháng 9 và tháng 10 là hai tháng có nhiều XTNĐ đổ bộ nhất, trong khi đó ở giai đoạn 30 năm sau tháng 9 có XTNĐ đổ bộ nhiều nhất và tăng vọt là vào tháng 9. Thêm vào đó số lượng XTNĐ ở tháng 8 và tháng 10 cũng giảm tương đối nhiều.



Hình 8. Số lượng XTNĐ đổ bộ vào Việt Nam các tháng ở giai đoạn 30 năm đầu (1961–1990) và 30 năm sau (1991–2020).



Hình 9. Tỷ lệ Áp thấp (TD), bão (TS), bão mạnh (STS) và bão rất mạnh (TY) đổ bộ vào Việt Nam ở giai đoạn 30 năm đầu (1961–1990) và 30 năm sau (1991–2020).

3.2. Khảo sát giá trị p và bộ chỉ số phù hợp

Nghiên cứu này thực hiện 3 thử nghiệm:

Thử nghiệm 1: Sử dụng bộ số liệu 60 năm, 9 chỉ số khí hậu bao gồm: NINO12, NINO3, NINO4, NINO34, ONI, SOI, QBO, DMI, WP.

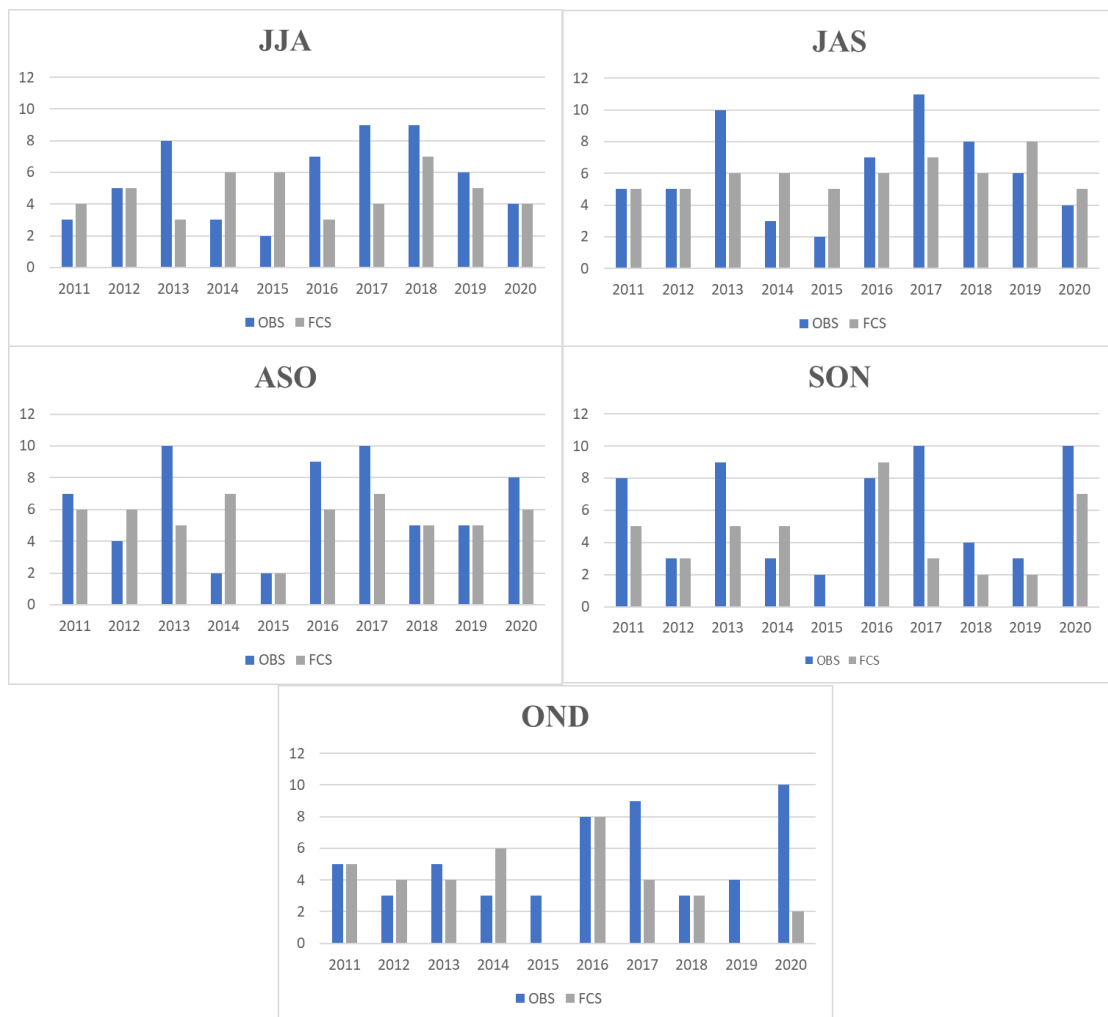
Thử nghiệm 2: Sử dụng bộ số liệu 40 năm gần nhất, 9 chỉ số khí hậu bao gồm: NINO12, NINO3, NINO4, NINO34, ONI, SOI, QBO, DMI, WP.

Thử nghiệm 3: Sử dụng bộ số liệu 60 năm, 13 chỉ số khí hậu bao gồm: NINO12, NINO3, NINO4, NINO34, ONI, SOI, QBO, DMI, WP, BEST, AO, RINDO, RESOI

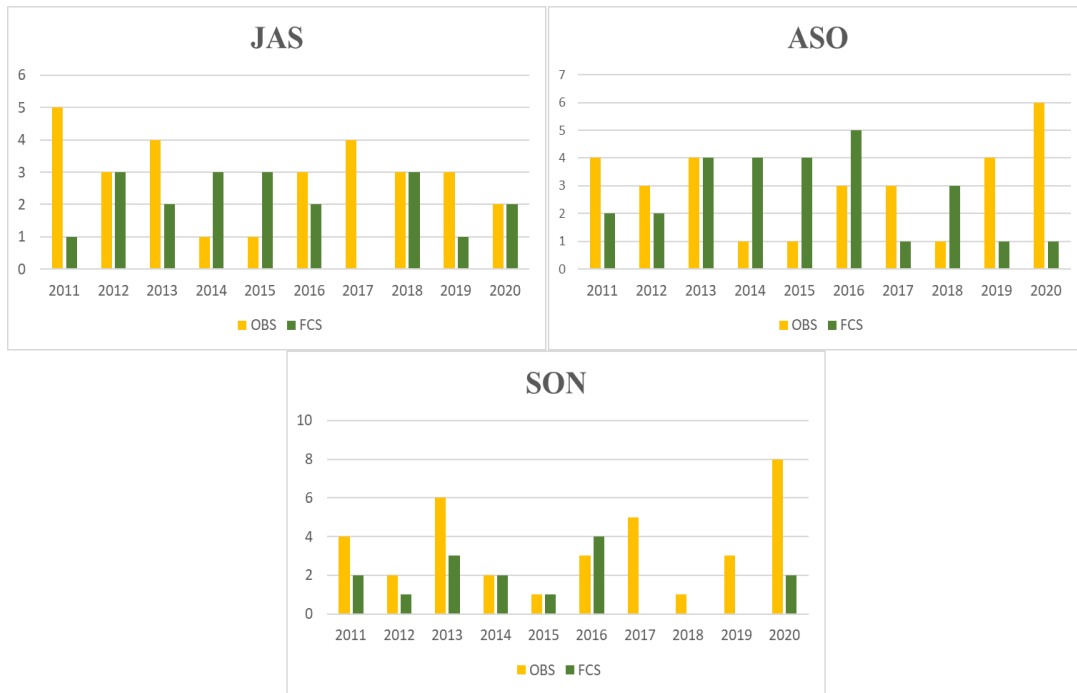
Ứng với mỗi thử nghiệm lại cho ra kết quả giá trị p tốt nhất của từng thử nghiệm, bộ số liệu cho kết quả sai số thấp và thỏa mãn các điều kiện kiểm nghiệm F là thử nghiệm 1 với giá trị p-enter = 0,4 và p-remove = 0,5.

Bảng 2. Các phương trình dự báo số lượng XTNĐ trên Biển Đông và đổ bộ vào Việt Nam.

Mùa	Phương trình dự báo số lượng XTNĐ trên Biển Đông
Tháng 6–8	$JJA = 4.819 + 0.925*DMI_5 - 2.122*NINO3_3 - 0.317*SOI_3 + 5.852*NINO4_5 - 5.006*NINO4_4 + 1.556*ONI_3 - 1.135*ONI_5 - 0.022*QBO_4$
Tháng 7–9	$JAS = 5.572 - 0.587*NINO12_5 - 0.438*WP_6 - 4.694*NINO4_4 + 4.121*NINO4_5 + 2.207*ONI_4 + 0.849*DMI_5 - 0.74*NINO3_4$
Tháng 8–10	$ASO = 5.368 - 0.721*WP_6 + 0.096*QBO_5 - 0.076*QBO_7 - 2.021*DMI_7 - 4.66*NINO4_7 - 0.764*SOI_6 + 1.136*DMI_5 - 0.383*NINO12_5 + 1.583*NINO4_5 + 0.898*NINO34_7$
Tháng 9–11	$SON = 4.915 - 10.264*ONI_8 - 0.536*WP_6 + 0.653*WP_8 - 3.29*DMI_7 + 1.199*NINO12_8 - 1.117*NINO3_6 + 14.588*ONI_7 - 2.499*ONI_6 - 0.54*SOI_7 + 1.373*DMI_6 - 4.332*NINO34_6 - 0.391*WP_7$
Tháng 10–12	$OND = 3.686 + 0.442*SOI_9 - 0.038*QBO_9 - 3.218*DMI_7 - 1.496*NINO4_7 + 1.39*NINO12_8 - 1.542*NINO3_8 + 1.614*DMI_8 - 0.332*WP_7 + 0.311*WP_8$
Phương trình dự báo số lượng XTNĐ đổ bộ vào Việt Nam	
Tháng 7–9	$JAS = 2.331 + 2.928*DMI_5 - 0.059*QBO_4 - 2.752*DMI_4 - 5.737*NINO3_4 - 1.009*DMI_6 + 0.396*WP_6 + 0.538*NINO12_5 + 6.443*NINO34_4 - 2.202*NINO4_4 + 0.334*SOI_6 + 0.722*NINO12_4 - 1.497*ONI_4$
Tháng 8–10	$ASO = 2.644 + 0.633*SOI_6 - 0.262*SOI_7 - 2.48*NINO3_5 + 0.784*NINO12_7 + 2.302*NINO34_5 - 1.622*DMI_6 + 1.202*DMI_5 - 0.952*NINO4_7$
Tháng 9–11	$SON = 2.52 - 0.663*NINO4_8 - 0.208*WP_6 - 0.722*SOI_7 + 0.659*SOI_6 - 1.095*DMI_7 + 0.547*WP_8 + 0.384*NINO12_8 + 0.493*SOI_8 + 0.02*QBO_6$



Hình 10. So sánh kết quả dự báo số lượng XTNĐ trên Biển Đông trên bộ số liệu độc lập (2011–2020).



Hình 11. So sánh kết quả dự báo số lượng XTNĐ đổ bộ vào Việt Nam trên bộ số liệu độc lập (2011–2020).

Nhìn chung, mô hình dự báo được xu thế tăng/giảm số lượng XTNĐ trên Biển Đông. Như vậy, các chỉ số khí hậu có tương quan với số lượng XTNĐ trên Biển Đông và có thể dự báo được số lượng XTNĐ. Điều này cũng chứng minh cho ảnh hưởng của các quá trình quy mô lớn với hoạt động của XTNĐ trên Biển Đông. Mô hình dự báo tốt số lượng XTNĐ năm 2011, 2012 (sai số khoảng 1–2 cơn), dự báo chưa được tốt vào năm 2013, 2014, 2017. Mô hình không dự báo được những năm có > 8 XTNĐ hoạt động. Với XTNĐ đổ bộ vào Việt Nam, mô hình không bắt được tốt xu hướng tăng giảm XTNĐ như với XTNĐ trên Biển Đông. Mô hình không dự báo được những năm có > 5 XTNĐ đổ bộ.

Bảng 3. Bảng sai số đánh giá dự báo (ME, MAE, RMSE) của mô hình dự báo số lượng XTNĐ trên Biển Đông và XTNĐ đổ bộ hạn mùa (3 tháng).

Sai số	XTNĐ trên Biển Đông					XTNĐ đổ bộ		
	JJA	JAS	ASO	SON	OND	JAS	ASO	SON
R	0,553	0,57	0,716	0,791	0,762	0,708	0,573	0,616
ME	-0,9	-0,2	-0,7	-1,9	-1,7	-0,9	-0,3	-2
MAE	2,5	2	2,1	2,5	2,5	1,7	2,3	2,2
RMSE	3,114	2,449	2,775	3,114	3,536	2,214	2,627	2,933

Mô hình dự báo có xu hướng số lượng XTNĐ ít hơn thực tế ($ME < 0$), sai số MAE khoảng 2–2,5 XTNĐ trên Biển Đông, từ 1,7–2,2 XTNĐ đổ bộ vào đất liền nước ta. Với XTNĐ trên biển Đông, mô hình dự báo cho mùa JAS (tháng 6,7,8) tốt hơn các tháng còn lại với sai số dự báo là 2 cơn, tương quan của phương trình dự báo XTNĐ mùa ASO (tháng 8, 9, 10), SON (tháng 9, 10, 11), OND với số lượng XTNĐ trên biển Đông là tương đối tốt ($> 0,7$). Với XTNĐ đổ bộ vào Việt Nam, phương trình dự báo có sai số thấp nhất là mùa JAS (tháng 6,7,8) với sai số dự báo là 1,7 cơn, phương trình dự báo mùa JAS cũng có tương quan tốt hơn mùa ASO và SON.

Nghiên cứu [18] dự báo số lượng XTNĐ trên Biển Đông từ tháng 6 đến tháng 12 có sai số MAE lớn nhất là khoảng 3,7 cơn. Như vậy, dự báo hạn 3 tháng của nghiên cứu này cho kết quả sai số thấp hơn.

4. Kết luận

Trung bình năm có 12–13 XTNĐ hoạt động trên Biển Đông, trong đó có 4–5 XTNĐ đổ bộ vào đất liền Việt Nam (khoảng 38–40). 75% số XTNĐ đổ bộ là áp thấp nhiệt đới và bão, 25% là bão mạnh và bão rất mạnh.

Tháng 9 là tháng có số lượng XTNĐ hoạt động trên Biển Đông nhiều nhất (khoảng 2 cơn) và cũng là tháng có số lượng XTNĐ đổ bộ nhiều nhất (khoảng 1 cơn). Có rất ít XTNĐ hoạt động trong 4 tháng đầu năm và rất ít XTNĐ đổ bộ từ tháng 12 năm trước đến tháng 5 năm sau.

Số lượng XTNĐ trên Biển Đông giai đoạn 1991–2020 có xu hướng tăng nhẹ so với giai đoạn 1961–1990, khoảng 4,2%; ngược lại, số lượng XTNĐ đổ bộ vào Việt Nam lại có xu hướng giảm nhẹ (khoảng 3,1%). Số lượng XTNĐ trên Biển Đông tăng chủ yếu là áp thấp nhiệt đới và phần lớn tăng ở tháng 12, số lượng XTNĐ đổ bộ vào đất liền nước ta cũng tăng vào tháng 12. Như vậy, mùa XTNĐ trong những năm gần đây có xu hướng kéo dài hơn.

Có thể sử dụng phương pháp hồi quy từng bước để dự báo số lượng XTNĐ trên Biển Đông, ước lượng hệ số hồi quy bằng phương pháp bình phương tối thiểu, giá trị p -enter = 0,4, p -remove = 0,5 và sử dụng bộ số liệu XTNĐ 60 năm (1961–2020), 9 chỉ số khí hậu được đưa vào mô hình bao gồm: NINO12, NINO3, NINO4, NINO34, ONI, SOI, QBO, DMI, WP cho kết quả dự báo tốt nhất. Mô hình dự báo nhìn chung dự báo được xu thế tăng giảm XTNĐ trên Biển Đông so với trung bình nhiều năm, dự báo có xu hướng thiên thấp, sai số dự báo khoảng 2–3 XTNĐ, sai số lớn chủ yếu ở những mùa có nhiều hơn 8 XTNĐ. Mô hình chưa dự báo được tốt xu thế cũng như số lượng XTNĐ nhiệt đới đổ bộ vào Việt Nam, thường dự báo hụt những mùa có nhiều XTNĐ đổ bộ hơn trung bình nhiều năm (nhiều hơn 5 cơn).

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

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả cảm ơn Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, tập thể tác giả hướng dẫn học viên Lưu Khánh Huyền. Bài báo là một phần kết quả của nhiệm vụ “Nghiên cứu ứng dụng các chỉ số dao động khí hậu quy mô lớn vào dự báo khí hậu cho Việt Nam”, mã số: TNMT.2021.02.05 và luận văn tốt nghiệp của học viên Lưu Khánh Huyền.

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. Duy, Đ.B.; Thành, N.Đ; Tuyết, N.T.; Hà, P.T.; Tân, P.V. Đặc điểm hoạt động của Xoáy thuận Nhiệt đới trên khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương, Biển Đông và vùng chịu ảnh hưởng trên lãnh thổ Việt Nam giai đoạn 1978–2015. *Tap chí khoa học ĐHQGHN: Các khoa học Trái đất và Môi Trường* **2016**, 32(2), 1–11.
2. Đức, T.Q.; Hà, P.T.; Duy, Đ.B.; Nam, P.Q. Thay đổi hoạt động của bão Biển Đông. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 715, 27–36.
3. Nga, Đ.H.; Việt, N.M.; Cường, H.Đ. Xu thế diễn biến của tần số xoáy thuận nhiệt đới ở Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2011**, 602, 31–37.
4. Ưu, Đ.V. Đánh giá quy luật biến động dài hạn và xu thế biến đổi số lượng bão và áp thấp nhiệt đới trên khu vực Tây Thái Bình Dương, Biển Đông và ven Biển Việt Nam. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2009**, 25(3S), 542–550.
5. Linh, T.T.; Elizabeth A.R.; Sarah, E.P. A 50-Year Tropical Cyclone Exposure Climatology in Southeast Asia. *JGR Atmospheres* **2022**, 127(4), e2021JD036301. Doi: 10.1029/2021JD036301.

6. Duy, Đ.B.; Thành, N.Đ.; Tân, P.V. Mối quan hệ giữa ENSO và số lượng, cấp độ Xoáy thuận Nhiệt đới trên khu vực Tây Bắc – Thái Bình Dương, Biển Đông giai đoạn 1951–2015. *Tap chí khoa học ĐHQGHN: Các khoa học Trái đất và Môi Trường* **2016**, 32(3S), 43–55.
7. Phong, N.B.; Chinh, Đ.K. Nghiên cứu ảnh hưởng của ENSO tới hoạt động của Xoáy thuận nhiệt đới ở khu vực Biển Đông trong giai đoạn 2000–2015. *Tap chí Khí tượng thủy văn* **2017**, 680, 41–49.
8. Wang, B., and J. C. L. Chan, How strong ENSO events affect tropical storm activity over the western North Pacific. *J. Clim.* **2002**, 15, 1643–1658.
9. Tuyên, N.V. Xu hướng hoạt động của xoáy thuận nhiệt đới trên Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông theo các cách phân loại khác nhau. *Tap chí Khí tượng Thủy văn*, **2007**, 559, 14–21.
10. Ho, C.H.; Kim, H.S.; Son, S.W. Influence of stratospheric quasi–biennial oscillation on tropical cyclone tracks in western North Pacific. *Geophys. Res. Lett.* **2009**, 36(6), L06702.
11. Huangfu, J.; Tang, Y.; Ma, T.; Chen, W.; Wang, L. Influence of the QBO on tropical convection and its impact on tropical cyclone activity over the western North Pacific. *Clim. Dyn.* **2021**, 57, 657–669.
12. Zhan, R.; Wang, Y.; Wu, C.C. Impact of SSTA in the East Indian Ocean on the frequency of Northwest Pacific tropical cyclones: A regional atmospheric model study. *J. Clim.* **2011**, 24(23), 6227–6242.
13. Choi, K.S.; Byun, H.R. Possible relationship between western North Pacific tropical cyclone activity and Arctic Oscillation. *Theor. Appl. Climatol.* **2010**, 100, 261–274.
14. Choi, K.S.; Wu, C.C.; Byun, H.R. Possible connection between summer tropical cyclone frequency and spring Arctic Oscillation over East Asia. *Clim. Dyn.* **2012**, 38, 2613–2629.
15. Chan, C.L.J. Seasonal forecasting of tropical cyclone activity over the Western North Pacific and the South China sea, 1998.
16. Chan, K.T.F.; Zhenyuan, D.; Minglin, Z. Statistical seasonal forecasting of tropical cyclones over the western North Pacific. *Environ. Res. Lett.* **2021**, 16, 074027.
17. Tuyên, N.V. Khả năng dự báo hoạt động mùa bão Biển Đông Việt Nam- Phân tích các yếu tố dự báo và nhân tố dự báo có thể. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2008**, 571, 1–11.
18. Duy, Đ.B.; Thành, N.Đ.; Đức, T.Q.; Tân, P.V. Dự báo hạn mùa số lượng xoáy thuận nhiệt đới trên Biển Đông bằng các mô hình thống kê. *VNU J. Sci: Earth. Environ. Sci.* **2019**, 35(2), 45–57.
19. Quỳnh, B.T. Nghiên cứu đặc điểm hoạt động và dự báo số lượng XTND ảnh hưởng đến khu vực Trung Trung Bộ. Luận văn cao học trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, 2020, tr. 78.
20. Feng, X.; Hodges, K.I.; Hoang, L.; Pura, A.G.; Yang, G.Y.; Luu, H. et al. A new approach to skillful seasonal prediction of Southeast Asia tropical cyclone occurrence. *JGR Atmospheres* **2022**, 127, e2022JD036439. <https://doi.org/10.1029/2022JD036439>.
21. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Cập nhật phân vùng bão, xác định nguy cơ bão, nước dâng do bão và phân vùng gió cho các vùng ở sâu trong đất liền khi bão mạnh, siêu bão đổ bộ, 2016.

A seasonal prediction method for the number of tropical cyclones in East Sea and landfall in Vietnam

Hoang Phuc Lam¹, Luu Khanh Huyen^{1*}, Ta Huu Chinh²

¹ National Centre for Hydrometeorological Forecasting; lamhpvn@gmail.com;
luukhanhhuyen258@gmail.com

² Institute of meteorology, Hydrology and Climate change; chinhth2010@gmail.com

Abstract: This paper presents a study on the characteristics of tropical cyclone activity in East Sea and landfall in Vietnam, use the stepwise regression method to build a seasonal statistical prediction model for those two numbers of tropical cyclones (in East Sea and landfall in Vietnam) based on the relationship with climate indices and large-scale processes such as ENSO, IOD, QBO, etc. The results show that September has the most tropical cyclone activity in East Sea and landfall in Vietnam. The majority (75%) of tropical cyclones that hit Vietnam's mainland are tropical depressions and tropical storms, and only 25% are severe tropical storms and typhoons. The number of tropical cyclones in East Sea in the period 1991–2020 tends to increase slightly compared to the period 1961–1990, about 4.2%; on the other hand, the number of landfall tropical cyclones slightly decrease (about 3.1%). The model predicts well the tendency of increase or decrease in the number of tropical cyclones compared to the average, but it is less than the observation in general. The seasons with more than 8 tropical cyclones in East Sea and more than 5 tropical cyclones landfall in Vietnam show larger errors.

Keywords: Tropical cyclone; Seasonal prediction; Stepwise regression; East Sea, Vietnam.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar phục vụ nâng cao chất lượng mô phỏng dòng chảy

Nguyễn Hoàng Minh^{1*}, Phùng Tiến Dũng¹, Vũ Thị Thanh Vân¹, Hoàng Văn Đại¹, Mai Văn Khiêm¹, Nguyễn Phương Nhung²

¹ Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; hoangminh281287@gmail.com; ptdung77@gmail.com; vtvan7702@gmail.com; daihydro2003@gmail.com; maikhiem77@gmail.com

² Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải; nguyenvphuongnhung0302@gmail.com

*Tác giả liên hệ: hoangminh281287@gmail.com; Tel: +84–967519798

Ban Biên tập nhận bài: 8/10/2022; Ngày phản biện xong: 14/11/2022; Ngày đăng bài: 25/11/2022

Tóm tắt: Lượng mưa ước lượng từ radar đã được khai thác và ứng dụng ở rất nhiều nơi trên thế giới cho các mô phỏng thủy văn nhờ ưu điểm về mặt phân bố không gian so với lượng mưa quan trắc ở các trạm mặt đất. Ở Việt Nam, do hệ thống radar thời tiết mới được nâng cấp và xây dựng đủ tốt trong vài năm gần đây nên việc khai thác và ứng dụng cho thủy văn vẫn còn rất hạn chế. Bởi vì lượng mưa ước lượng từ radar thường bao gồm nhiều sai số đến từ các nguồn khác nhau nên trước khi sử dụng để mô phỏng và dự báo dòng chảy, việc thực hiện hiệu chỉnh để giảm thiểu sai số là rất cần thiết. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện để hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar nhằm mục đích cải thiện chất lượng đầu vào cho bài toán mô phỏng dòng chảy ở Việt Nam. Hai phương pháp khí hậu và kỹ thuật lọc Kalman được áp dụng liên tiếp nhau để nâng cao độ chính xác lượng mưa ước lượng từ radar. Kết quả áp dụng thử nghiệm cho lưu vực sông Mã cho thấy chất lượng lượng mưa ước lượng từ radar đã tăng lên đáng kể với sự cải thiện của các chỉ tiêu sai số trung bình, hệ số tương quan và sai số quân phương.

Từ khóa: Lượng mưa ước lượng từ radar; Hiệu chỉnh; Phương pháp khí hậu; Kỹ thuật lọc Kalman; Mô phỏng dòng chảy.

1. Đặt vấn đề

Lượng mưa là một trong những biến đầu vào quan trọng nhất trong mô hình mưa–dòng chảy [1–3]. Độ chính xác phân bố mưa theo không gian và thời gian đóng vai trò quyết định đến độ chính xác mô phỏng dòng chảy của các mô hình thủy văn. Trước đây, khi công nghệ viễn thám chưa phát triển, dữ liệu lượng mưa sử dụng làm đầu vào cho các mô hình thủy văn được lấy từ các trạm quan trắc mặt đất (sau đây gọi tắt là lượng mưa mặt đất). Ưu điểm của loại dữ liệu này là chúng có độ tin cậy cao ở tại hoặc trong phạm vi nhỏ xung quanh vị trí đặt trạm [4]. Tuy nhiên, do nhiều vấn đề khác nhau mà số lượng trạm quan trắc vẫn chưa được lắp đặt đủ dày, đáp ứng được yêu cầu chi tiết phân bố không gian của các mô hình mô phỏng mưa–dòng chảy, đặc biệt là các mô hình thủy văn thông số phân bố. Để giải quyết vấn đề này, người ta thường sử dụng các phương pháp nội suy để tính toán giá trị lượng mưa ở những điểm không có trạm quan trắc. Điều này có thể dẫn đến những sai số đáng kể do sự phân hóa của lượng mưa theo không gian rất lớn, hệ quả có thể gây ra sai số trong mô phỏng dòng chảy. Để giảm thiểu sai số đến từ phân bố không gian của lượng mưa, việc khai thác

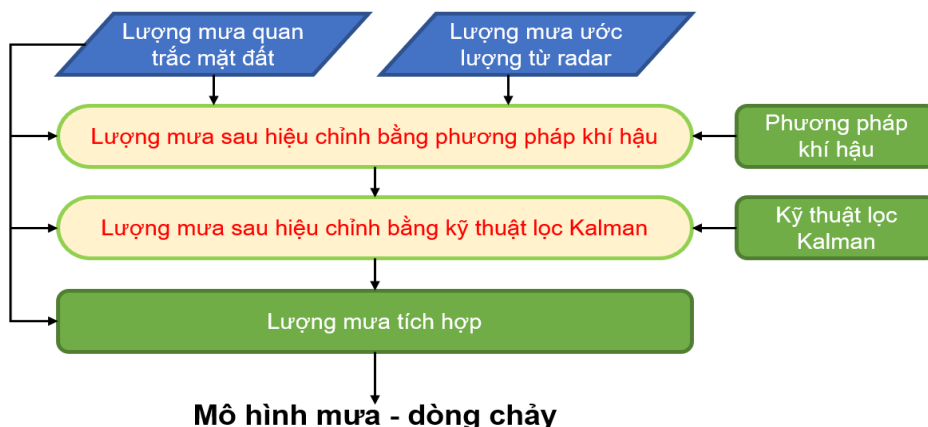
dữ liệu mưa ước lượng gián tiếp qua viễn thám đã được nghiên cứu và ứng dụng thử nghiệm trên thế giới từ những năm 1980. Có thể kể đến một số hệ thống khai thác hiệu quả dữ liệu radar cho mô phỏng và dự báo lũ trên thế giới như Nimrod [5], GANDOLF [6] và các hệ thống đang vận hành ở Nhật Bản, Hàn Quốc, ... Ở Việt Nam, dữ liệu mưa ước lượng từ viễn thám gần đây đã được khai thác nhiều hơn, đặc biệt là từ vệ tinh. Một nguồn dữ liệu ước lượng mưa từ viễn thám khác là từ radar mặc dù đã nhận được nhiều sự chú ý nhưng gần như chưa được khai thác cho các mục đích thủy văn do hệ thống radar ở Việt Nam mới thực sự vận hành ổn định trong một vài năm gần đây. Dữ liệu mưa ước lượng từ radar (sau đây gọi tắt là lượng mưa radar) có nhiều ưu điểm nổi bật so với dữ liệu mưa ước lượng từ vệ tinh như 1) lượng mưa radar thường chính xác hơn lượng mưa vệ tinh (trong phạm vi quét hiệu quả của radar) [7–8]; 2) thời gian trễ ngắn rất nhiều cho với vệ tinh (radar thường trễ 5–10 phút trong khi vệ tinh trễ ngắn nhất là khoảng 30 phút). Vì vậy, khai thác dữ liệu mưa radar có tiềm năng lớn để giảm thiểu được sai số không gian của lượng mưa trong bài toán mô phỏng thủy văn.

Giống như dữ liệu mưa ước lượng từ vệ tinh, lượng mưa radar chứa đựng nhiều sai số đến từ các nguồn khác nhau [9–11]. Những nguồn sai số này được chia thành 2 nhóm bao gồm 1) nhóm ảnh hưởng đến độ phản hồi vô tuyến (ví dụ: địa hình, sự suy giảm của sóng điện từ trong không khí, ánh sáng mặt trời, sóng điện từ từ các nguồn phát khác, ...) và 2) sự không phù hợp của quan hệ Z–R (độ phản hồi vô tuyến–lượng mưa). Vì vậy, trước khi sử dụng dữ liệu mưa radar cho mô phỏng mưa–dòng chảy, cần thiết phải hiệu chỉnh dữ liệu mưa radar để giảm thiểu sai số.

Có nhiều phương pháp đã được đề xuất, phát triển và ứng dụng trên thế giới để hiệu chỉnh lượng mưa radar. Mỗi phương pháp đều có những ưu và nhược điểm khác nhau [12–18], trong đó, phương pháp khí hậu (*climatology*) và kỹ thuật lọc Kalman là hai phương pháp có nhiều ưu điểm và được sử dụng phổ biến nhất trên thế giới. Nghiên cứu này sẽ áp dụng hai phương pháp khí hậu và kỹ thuật lọc Kalman để thử nghiệm hiệu chỉnh lượng mưa radar ở Việt Nam.

2. Phương pháp, khu vực nghiên cứu và số liệu sử dụng

Như đã đề cập, dữ liệu mưa radar chứa đựng nhiều sai số đến từ nhiều nguồn khác nhau. Vì vậy, trước khi sử dụng mục đích mô phỏng thủy văn, cần thiết phải hiệu chỉnh lượng mưa radar để giảm thiểu sai số. Quy trình hiệu chỉnh tổng thể các bước thực hiện được trình bày trong Hình 1. Lượng mưa mặt đất được sử dụng trong toàn bộ quá trình hiệu chỉnh bao gồm 1) tích hợp với lượng mưa ước lượng từ radar ban đầu để làm đầu vào cho phương pháp khí hậu (một phương pháp thống kê để khử sai số hệ thống); 2) tích hợp với lượng mưa đã hiệu chỉnh từ phương pháp khí hậu để làm đầu vào cho kỹ thuật lọc Kalman; và 3) tích hợp với lượng mưa đã hiệu chỉnh bằng kỹ thuật lọc Kalman để tạo ra lượng mưa “tốt nhất” để làm đầu vào cho mô hình mưa–dòng chảy.



Hình 1. Sơ đồ các bước hiệu chỉnh lượng mưa radar.

2.1. Phương pháp khí hậu

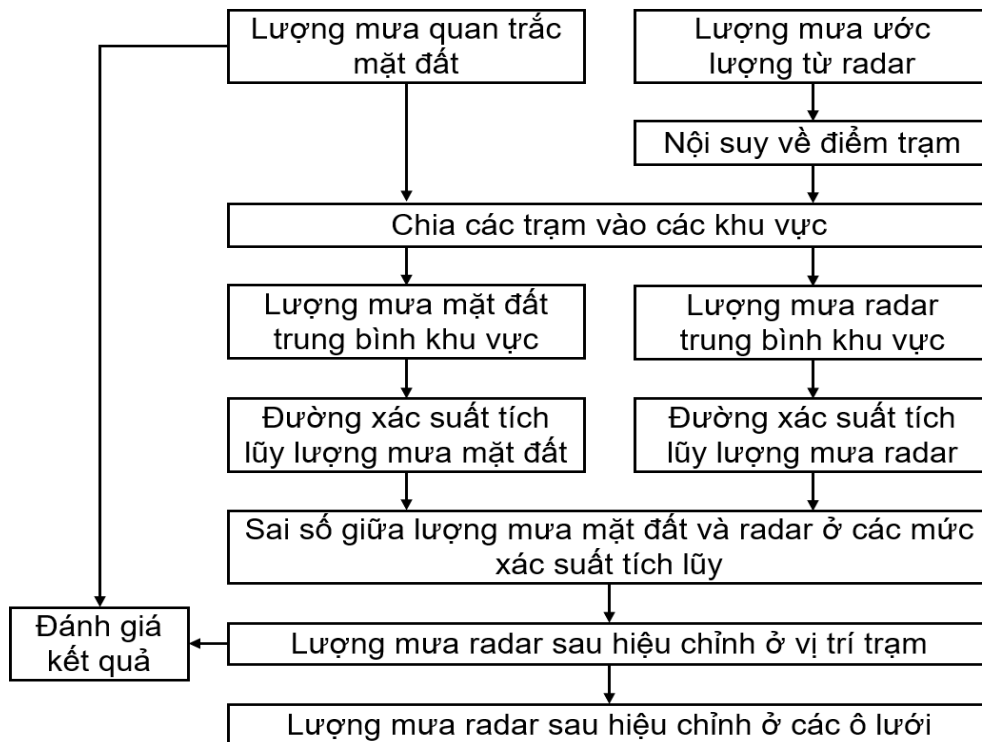
Sơ đồ các bước thực hiện hiệu chỉnh lượng mưa radar bằng phương pháp khí hậu được trình bày trong Hình 2. Đầu tiên, lượng mưa radar được nội suy về các điểm trạm bằng phương pháp nghịch đảo trọng số khoảng cách (*Inverse Distance Weighting – IDW*). Lượng mưa radar cùng với lượng mưa mặt đất tại các điểm trạm được chia vào các khu vực khác nhau để tính toán lượng mưa trung bình cho từng khu vực. Ở bước kế tiếp, các đường xác suất tích lũy (*Cummulative Distribution Function – CDF*) của lượng mưa radar và mặt đất được xây dựng cho từng khu vực. Từ kết quả xây dựng đường CDF, sai số giữa lượng mưa radar và lượng mưa mặt đất ở các mức xác suất tích lũy khác nhau ở từng khu vực được xác định (công thức 1) và sử dụng để hiệu chỉnh lượng mưa radar tại các ô lưới (công thức 2). Ngoài ra, do dữ liệu lượng mưa mặt đất chỉ có tại các vị trí trạm, lượng mưa radar tại các điểm trạm cũng được hiệu chỉnh để sử dụng cho đánh giá sự thay đổi của độ chính xác của lượng mưa radar sau khi áp dụng phương pháp khí hậu.

$$Bias = \frac{R_{radar}^{CDF_k}}{R_{AWS}^{CDF_k}} \tag{1}$$

Trong đó Bias là sai số; k là mức xác suất tích lũy có giá trị bằng 0,01, 0,05, 0,1, 0,15, 0,20, ..., 1,00; radar và AWS tương ứng là ký hiệu cho lượng mưa radar và lượng mưa mặt đất. Cần lưu ý 1) giá trị Bias là giá trị trung bình các khu vực, giá trị này được sử dụng để tính toán lại cho từng trạm; 2) lượng mưa radar nằm trong khoảng giá trị thuộc mức xác suất tích lũy nào thì sẽ sử dụng giá trị Bias ở các mức xác suất tích lũy tương ứng.

$$R_{cor,i} = Bias * R_{radar,i} \tag{2}$$

Trong đó Rcor là lượng mưa sau hiệu chỉnh, i là khu vực thứ i.



Hình 2. Sơ đồ các bước hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar bằng phương pháp khí hậu.

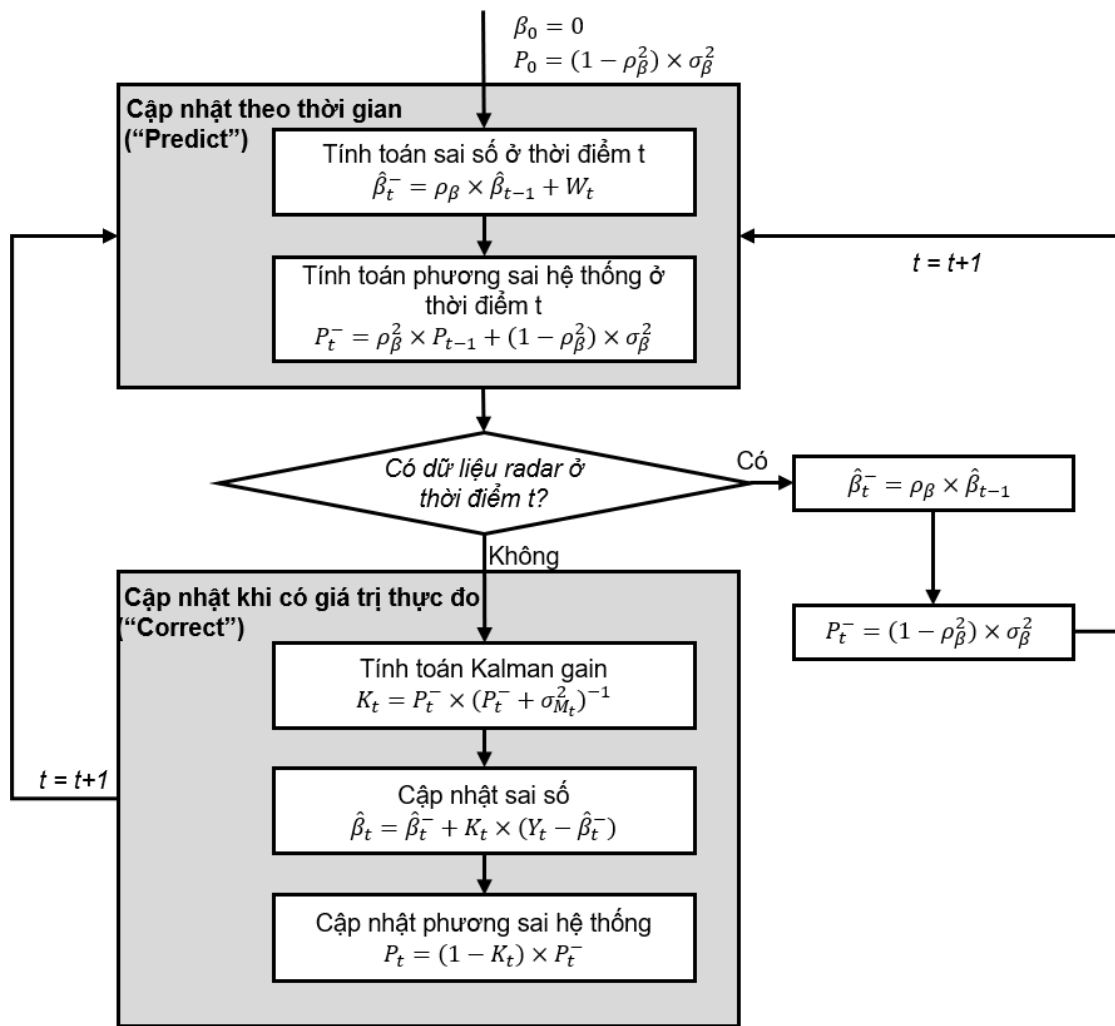
2.2. Kỹ thuật lọc Kalman

Kỹ thuật lọc Kalman được điều chỉnh lại cho phù hợp với bài toán hiệu chỉnh lượng mưa radar được phát triển bởi [18]. Phương pháp này gồm 2 bước, được tham khảo như “Cập nhật theo thời gian” và “cập nhật khi có giá trị thực đo”. Ở bước thứ nhất, sai số trung bình của lượng mưa ước lượng từ radar β_t và hiệp phương sai của sai số hệ thống (*error covariance*)

P_t được dự đoán cho bước thời gian kế tiếp. Ở bước thứ hai, sai số dự đoán và hiệp phương sai được cập nhật khi có số liệu thực đo. β_t được giả thiết tuân theo quá trình tự hồi quy bậc 1 (the first-order autoregressive process, AR (1)) [19]. Các bước thực hiện hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar bằng kỹ thuật lọc Kalman được trình bày trong Hình 3. Đầu tiên, sai số trung bình của lượng mưa radar (đầu ra của phương pháp khí hậu) được tính toán theo công thức:

$$\beta_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_{10} \left(\frac{G_{i,t}}{R_{i,t}} \right) \tag{3}$$

Trong đó β là sai số trung bình của lượng mưa radar; $G_{i,t}$ là lượng mưa quan trắc mặt đất tại trạm thứ i ở thời điểm t ; $R_{i,t}$ là lượng mưa ước lượng từ radar tại trạm thứ i ở giờ thứ t ; và n là số lượng trạm quan trắc mặt đất. Khi tính toán β_t cần lưu ý trường hợp $R_{i,t}$ tiến tới 0. Trong trường hợp này, β_t sẽ tiến tới vô cùng và sẽ được coi như là không có dữ liệu (missing).



Hình 3. Sơ đồ các bước hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar bằng kỹ thuật lọc Kalman.

Ở bước kế tiếp, sai số và phương sai hệ thống ở thời điểm t được tính toán như sau:

$$\hat{\beta}_t^- = \rho_\beta \times \hat{\beta}_{t-1} + W_t \tag{4}$$

$$P_t^- = \rho_\beta^2 \times P_{t-1} + (1 - \rho_\beta^2) \times \sigma_\beta^2 \tag{5}$$

Trong đó ρ_β là hệ số tự tương quan (lag-1) của β ; $W_t \sim (0, \sigma_W^2)$ là nhiễu (white noise), được xác định với giả thiết nó tuân theo phân bố chuẩn có giá trị trung bình là 0 và phương sai là $\sigma_W^2 = (1 - \rho_\beta^2) \times \sigma_\beta^2$.

Ở giai đoạn cập nhật, giá trị Kalman gain được xác định theo công thức (6), các giá trị β và phương sai hệ thống P được cập nhật dựa trên giá trị của Kalman gain và dữ liệu thực đo tại các trạm mặt đất.

$$K_t = P_t^- \times (P_t^- + \sigma_{M_t}^2)^{-1} \tag{6}$$

$$\hat{\beta}_t = \hat{\beta}_t^- + K_t \times (Y_t - \hat{\beta}_t^-) \tag{7}$$

$$P_t = (1 - K_t) \times P_t^- \tag{8}$$

Trong đó $\sigma_{M_t}^2$ là phương sai của hiệu sai số thực đo và dự báo ($M_t = Y_t - \beta_t$); M_t được giả thiết tuân theo phân bố chuẩn có giá trị trung bình là 0 và phương sai $\sigma_{M_t}^2$ ($\sigma_{M_t}^2 = \sigma_{Y_t}^2 - \sigma_{\beta}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{Y_{i,t}}^2 - \sigma_{\beta}^2$); Y_t là sai số thực đo.

Đầu ra của kỹ thuật lọc Kalman được sử dụng để chuyển lại từ định dạng logarit về dạng thường (công thức 9) trước khi được sử dụng để hiệu chỉnh lượng mưa radar (công thức 10).

$$B_t = 10^{[\beta_t + 0.5P_t]} \tag{9}$$

$$R_{cor} = R_{clim} * B_t \tag{10}$$

Trong đó β_t và P_t là đầu ra của kỹ thuật lọc Kalman.

2.3. Chỉ tiêu đánh giá

Do dữ liệu mưa thực đo chỉ có ở các điểm trạm nên việc đánh giá chỉ có thể thực hiện ở các điểm trạm. Nếu kết quả hiệu chỉnh ở các điểm trạm tốt hơn so với dữ liệu mưa radar ban đầu thì kết quả hiệu chỉnh ở các điểm lưới cũng được giả thiết là tốt hơn. Các chỉ tiêu sử dụng để đánh giá bao gồm ME (sai số trung bình), hệ số tương quan (CC) và RMSE (sai số quân phương). Công thức tính các chỉ tiêu này như sau:

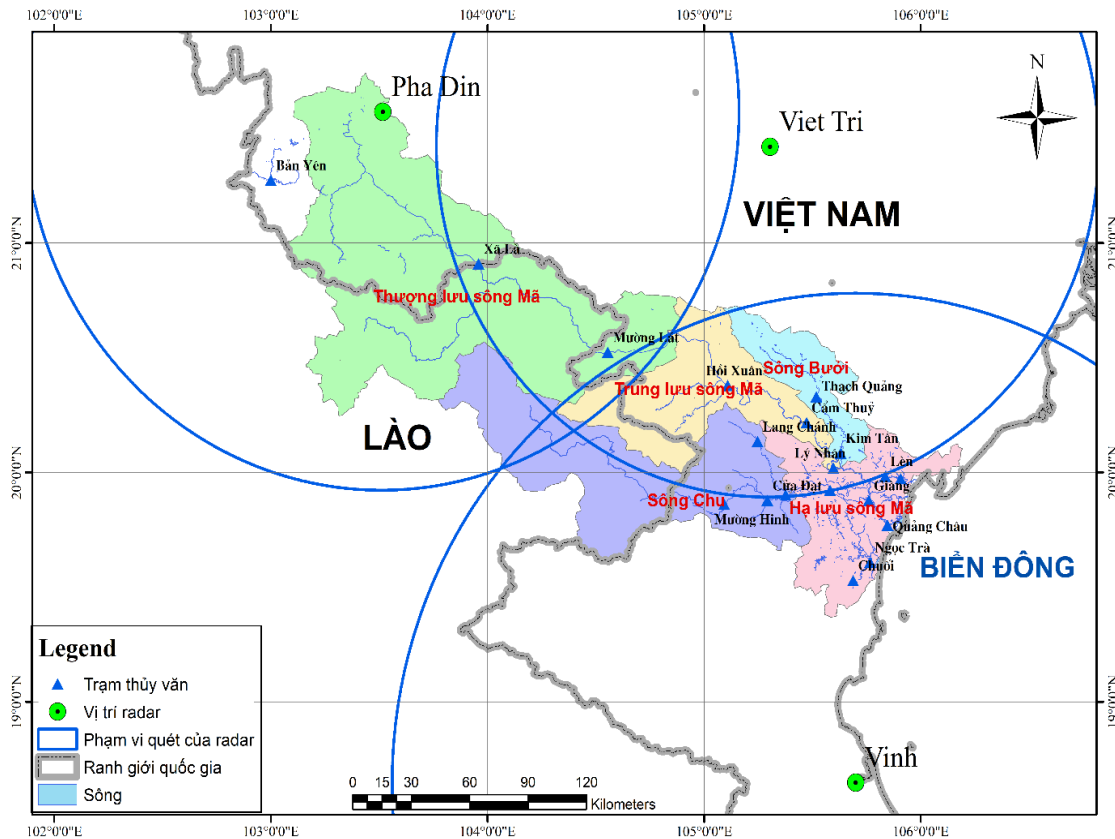
$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{radar,i} - R_{AWS,i})}{n} \tag{11}$$

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{radar,i} - \overline{R_{radar}}) (R_{AWS,i} - \overline{R_{AWS}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_{radar,i} - \overline{R_{radar}})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_{AWS,i} - \overline{R_{AWS}})^2}} \tag{12}$$

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{radar,i} - R_{AWS,i})^2} \tag{13}$$

2.4. Khu vực nghiên cứu và số liệu sử dụng

Lưu vực sông Mã được lựa chọn là khu vực thử nghiệm trong nghiên cứu này. Đây là lưu vực sông xuyên biên giới có diện tích khoảng 28.400 km² (khoảng 17.600 km² ở Việt Nam và 10.800 km² nằm trên lãnh thổ Lào), bắt nguồn từ tỉnh Điện Biên, chảy qua tỉnh Huaphanh, Lào và tỉnh Thanh Hóa trước khi đổ ra Biển Đông. Ngoài dòng chính, sông Mã có hai phụ lưu lớn là sông Chu và sông Bưởi. Lưu vực sông Mã là một lưu vực sông lớn, nằm trong nhiều khu vực khí hậu khác nhau và nằm trong phạm vi quét của 3 radar Việt Trì, Vinh và Pha Đin. Do đó, trước khi thực hiện hiệu chỉnh, cần phải chia thành các khu vực có đặc điểm giống nhau để hiệu chỉnh. Dựa trên đặc điểm lưu vực sông Mã và phạm vi quét của các radar, lưu vực sông Mã được chia thành 5 khu vực bao gồm 1) Thượng lưu sông Mã: tính đến hồ chứa Trung Sơn, nằm trong phạm vi quét của radar Pha Đin; 2) Trung lưu sông Mã: từ hạ lưu hồ Trung Sơn đến trạm Lý Nhân, nằm trong phạm vi quét của radar Việt Trì và radar Vinh; 3) Lưu vực sông Bưởi: phần lưu vực sông Bưởi, nằm trong phạm vi quét của radar Việt Trì và radar Vinh; 4) Lưu vực sông Chu: phần lưu vực sông Chu tính đến trạm Xuân Khánh, nằm trong phạm vi quét của radar Vinh; và 5) Hạ lưu sông Mã: từ hạ lưu trạm Lý Nhân và Xuân Khánh đến cửa biển, nằm trong phạm vi quét của radar Vinh. Bản đồ lưu vực sông Mã và 5 khu vực hiệu chỉnh được thể hiện trong Hình 4, trong khi những đặc điểm chính của 3 radar Pha Đin, Việt Trì và Vinh được trình bày trong Bảng 1.



Hình 4. Bản đồ lưu vực sông Mã và 5 khu vực hiệu hình.

Bảng 1. Đặc điểm chính của các radar quét tới lưu vực sông Mã.

Radar	Band	Kinh độ	Vĩ độ	Phân cực	Bán kính hiệu quả	Năm cài đặt/cập nhật
Vinh	S	105,6999	18,6473	Đơn cực	200	2017
Việt Trì	C	105,3048	21,4194	Lưỡng cực	120	2020
Pha Đin	C	103,5170	21,5713	Lưỡng cực	120	2018

Số liệu mưa thực đo từng giờ từ năm 2020 đến 2021 được thu thập từ 145 trạm trên hệ thống CDH (center data hub) của Tổng cục Khí tượng Thủy văn. Dữ liệu này được phân tích và xử lý tại từng trạm dựa trên các đánh giá về tổng lượng mưa năm, tổng số thời gian có dữ liệu và tổng số thời gian có mưa. Cuối cùng còn 72/145 trạm được giữ lại và sử dụng. Trong đó, khu vực thượng lưu sông Mã có 6 trạm, trung lưu sông Mã có 16 trạm, hạ lưu sông Mã có 27 trạm, sông Chu có 11 trạm và sông Bưởi có 12 trạm.

Số liệu mưa 10 phút ước lượng từ radar (CAPPI) cho lưu vực sông Mã từ 01/6/2020–31/12/2020 và từ 01/06/2021 đến 31/12/2021 cung cấp bởi Đài Khí tượng Cao không, Tổng cục Khí tượng Thủy văn được sử dụng để hiệu chỉnh. Dữ liệu mưa radar được ước lượng từ độ phản hồi vô tuyến thông quan mối quan hệ Z–R Marshall–Palmer [20] có độ phân giải 1km; các vấn đề về nhiễu, chồng chéo (*overlap*), ... đã được xử lý bởi AMO. Số liệu mưa mặt đất và radar đều được tính về lượng mưa 6 giờ trước khi hiệu chỉnh để đồng bộ với lượng mưa quan trắc tại các trạm khí tượng (nhiều trạm chỉ có lượng mưa 6 giờ).

3. Kết quả và thảo luận

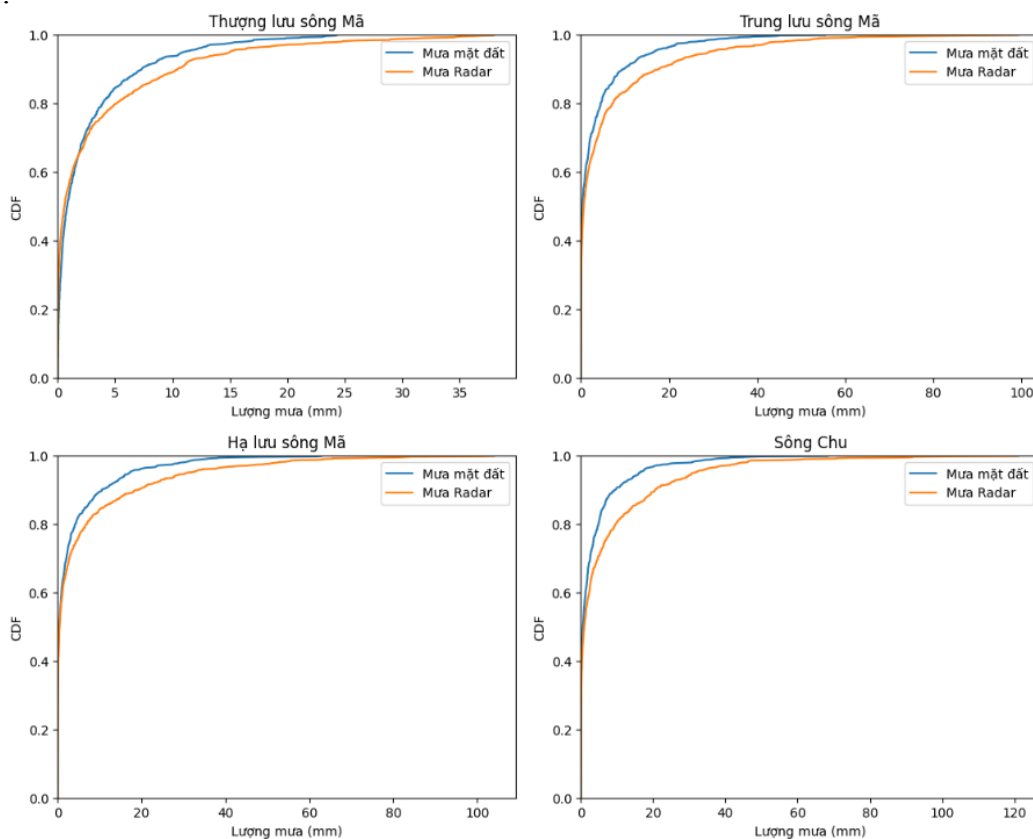
3.1. Kết quả hiệu chỉnh lượng mưa radar bằng phương pháp khí hậu

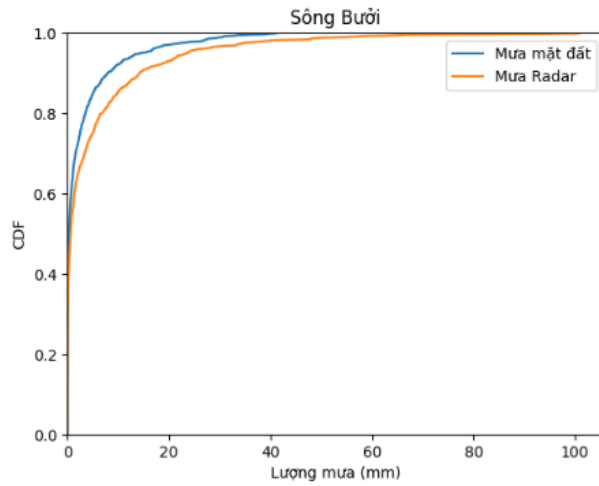
Kết quả xây dựng đường xác suất tích lũy (CDF) cho lượng mưa mặt đất và radar tích lũy trong 6 giờ ở các khu vực được thể hiện trong Hình 5. Nhìn chung, lượng mưa mặt đất

và radar không có sự khác biệt đáng kể ở các mức CDF nhỏ hơn 0,5, riêng ở khu vực thượng lưu sông Mã, sự khác biệt rõ ràng chỉ xuất hiện từ mức CDF lớn hơn 0,65. Lượng mưa ước lượng từ radar có xu hướng thiên cao so với lượng mưa quan trắc mặt đất ở tất cả các khu vực. Lượng mưa quan trắc mặt đất lớn nhất ở khu vực thượng lưu, trung lưu, hạ lưu sông Mã, sông Chu và sông Bưởi lần lượt là 24,3 mm, 55,4 mm, 62,9 mm, 68,2 mm và 41,1 mm, trong khi đó lượng mưa radar lớn nhất ở các khu vực này lần lượt là 38,0 mm, 99,2 mm, 104,0 mm, 121,0 mm và 100,8 mm.

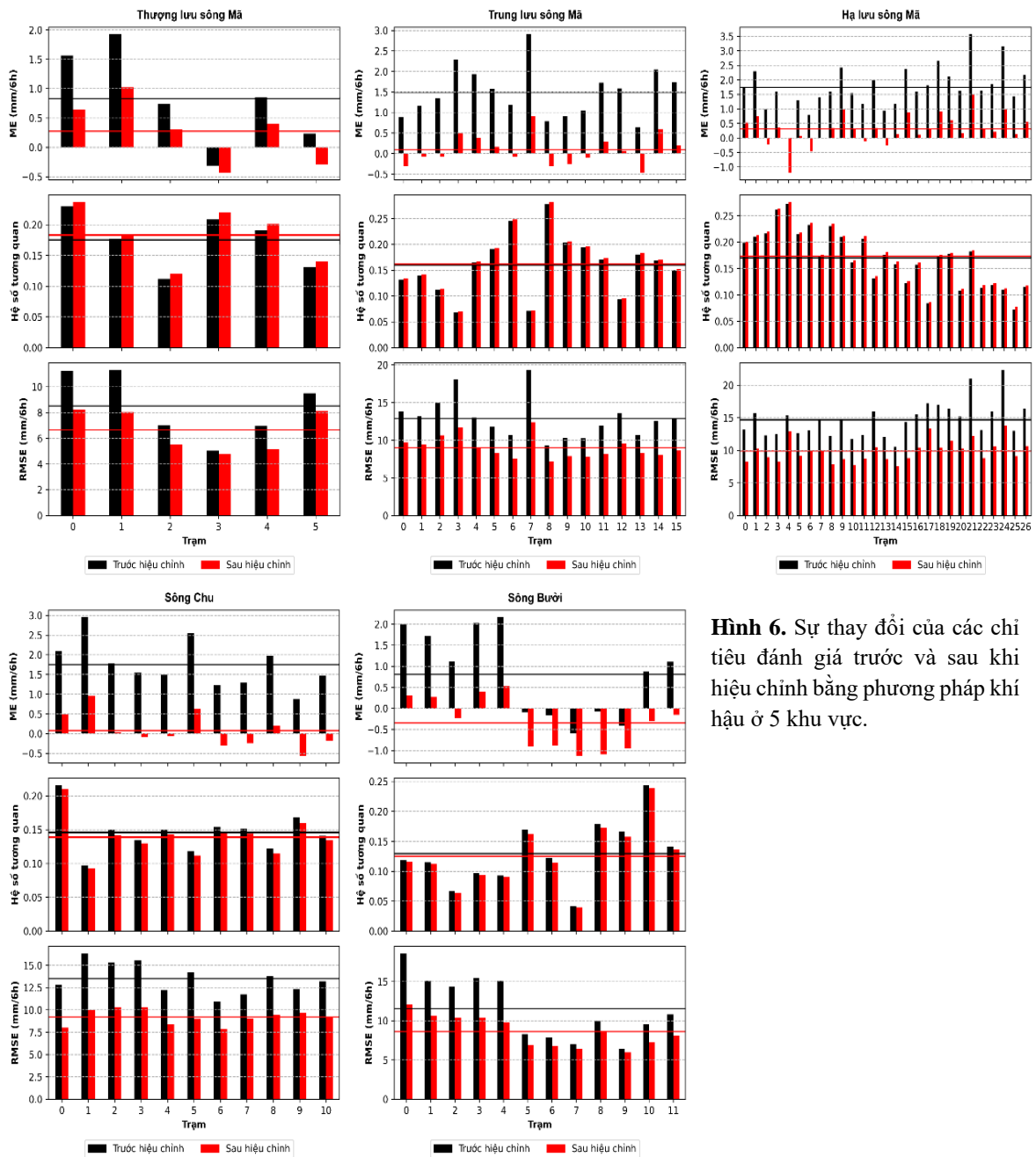
Kết quả hiệu chỉnh lượng mưa radar cho các khu vực được thể hiện qua sự thay đổi của các chỉ tiêu ME, hệ số tương quan và RMSE trước và sau khi áp dụng phương pháp khí hậu. Sự thay đổi của các chỉ tiêu đánh giá ở các khu vực được trình bày trong hình từ Hình 6. Kết quả cho thấy, độ chính xác của lượng mưa radar sau khi hiệu chỉnh ở tất cả các khu vực đã tăng lên đáng kể với ME và RMSE giảm mạnh, trong khi hệ số tương quan tăng nhẹ trừ khu vực sông Chu và sông Bưởi có hệ số tương quan giảm nhẹ. Giá trị trung bình các trạm của ME và RMSE tương ứng giảm mạnh từ 0,85 mm/6h xuống 0,25 mm/6h và từ 8,5 mm/6h xuống 6,5 mm/6h ở thượng lưu sông Mã; từ 1,5 mm/6h xuống 0,1 mm/6h và từ 13,0 mm/6h xuống 9,2 mm/6h ở trung lưu sông Mã; từ 1,75 mm/6h xuống 0,35 mm/6h và từ 14,7 mm/6h xuống 9,8 mm/6h ở hạ lưu sông Mã; từ 1,75 mm/6h xuống 0,1 mm/6h và từ 13,5 mm/6h xuống 9,0 mm/6h ở khu vực sông Chu; từ 0,8 mm/6h xuống -0,4 mm/6h và từ 12,0 mm/6h xuống 9,0 mm/6h ở khu vực sông Bưởi. Có thể dễ dàng nhận thấy đối với những trạm có giá trị ME âm (đặc biệt là ở khu vực sông Chu và sông Bưởi), sau khi hiệu chỉnh, ME ở những trạm này tiếp giảm xuống và kéo xa khỏi giá trị “tốt nhất” (ME bằng 0).

Từ những phân tích ở trên cho thấy hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar bằng phương pháp khí hậu có thể nâng cao được độ chính xác của lượng mưa radar với các chỉ tiêu ME, hệ số tương quan và RMSE được cải thiện ở hầu hết các khu vực. Tuy nhiên, do lượng mưa radar trung bình khu vực chưa hiệu chỉnh có xu hướng thiên cao, dẫn đến việc sau khi thực hiện hiệu chỉnh cho các trạm, lượng mưa ở các trạm có xu hướng thiên thấp tiếp tục thiên thấp hơn. Điều này là không thể tránh khỏi và cũng là một hạn chế của phương pháp khí hậu.





Hình 5. Kết quả xây dựng đường xác suất tích lũy mưa radar và mặt đất cho 5 khu vực.

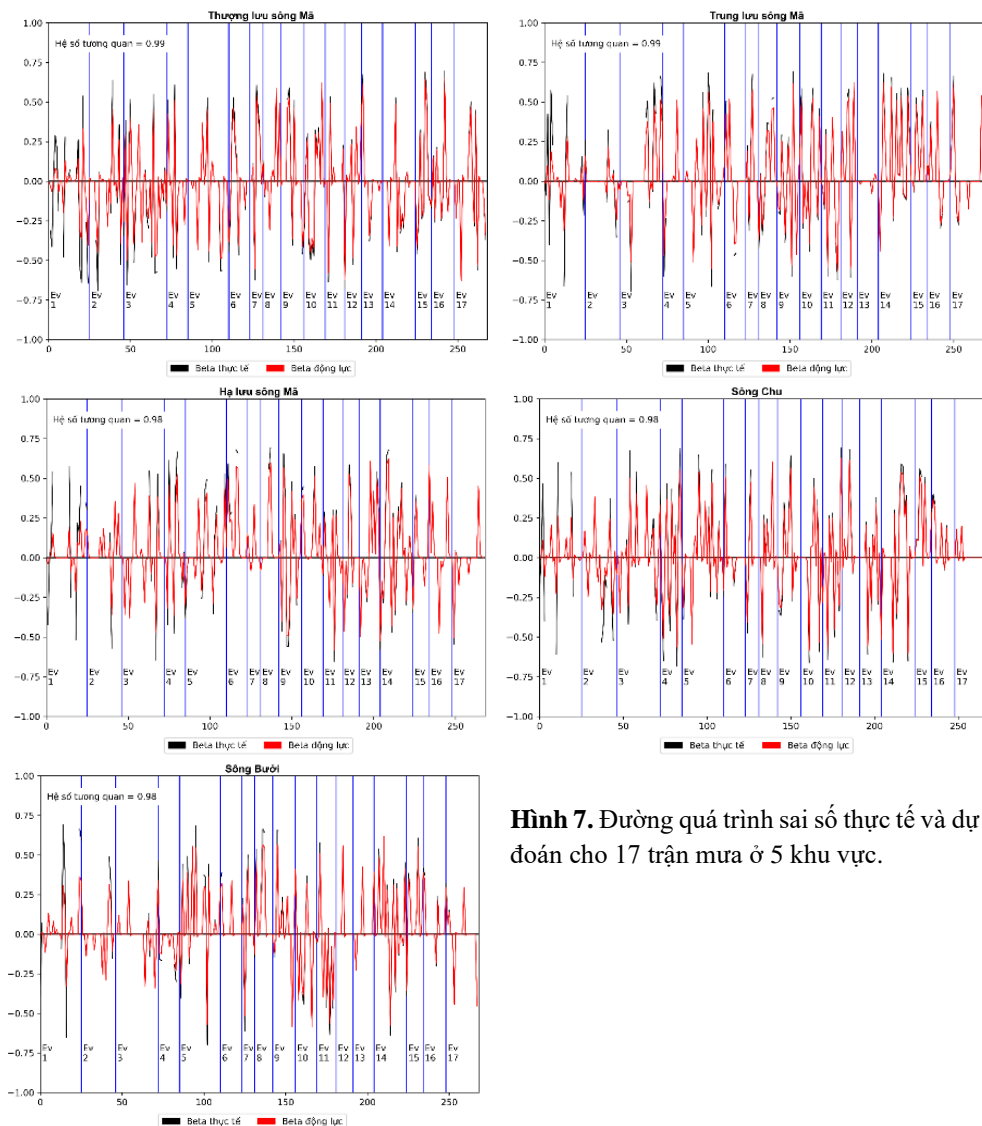


Hình 6. Sự thay đổi của các chỉ tiêu đánh giá trước và sau khi hiệu chỉnh bằng phương pháp khí hậu ở 5 khu vực.

3.2. Kết quả hiệu chỉnh lượng mưa radar bằng kỹ thuật lọc Kalman

Bảng 2. Các trận mưa sử dụng cho hiệu chỉnh bằng kỹ thuật lọc Kalman.

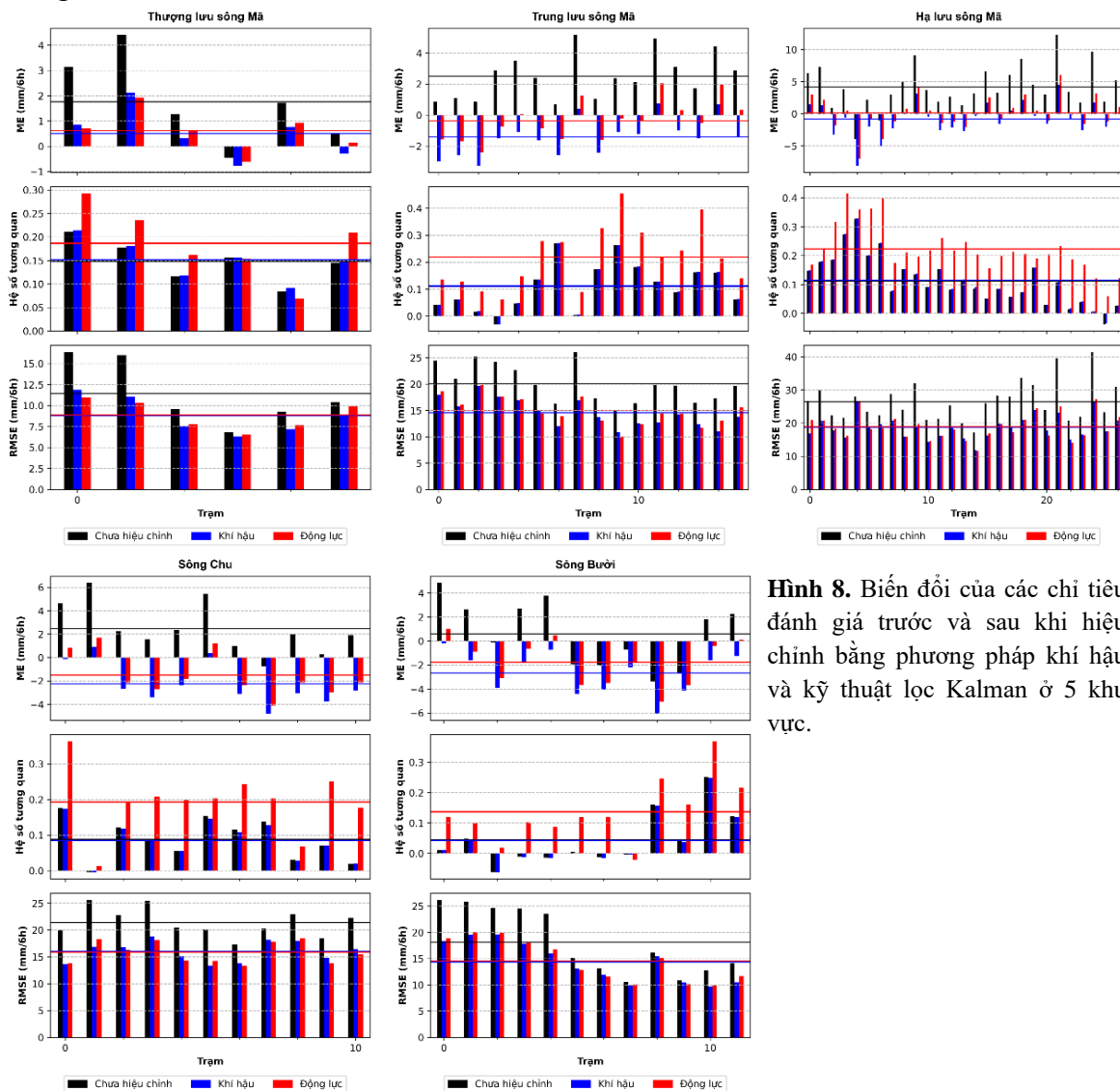
Ký hiệu	Trận mưa	Tổng lượng mưa trung bình khu vực (mm)				
		Hạ lưu sông Mã	Sông Chu	Trung lưu sông Mã	Sông Bưởi	Thượng lưu sông Mã
Ev1	2020/08/01/07 – 2020/08/07/07	148,5	211,6	191,3	166,2	122,2
Ev2	2020/08/09/19 – 2020/08/14/19	86,1	77,1	109,0	119,4	58,7
Ev3	2020/08/15/19 – 2020/08/22/01	103,1	143,7	199,2	178,4	134,6
Ev4	2020/09/17/13 – 2020/09/20/13	108,0	143,5	89,7	103,6	25,3
Ev5	2020/10/14/01 – 2020/10/20/01	243,3	293,7	219,6	225,2	45,2
Ev6	2020/10/28/19 – 2020/10/31/19	85,6	102,2	58,0	73,0	13,0
Ev7	2020/11/15/07 – 2020/11/17/01	58,2	43,4	29,3	35,5	5,7
Ev8	2021/06/11/13 – 2021/06/14/01	53,5	60,8	71,8	98,2	46,1
Ev9	2021/07/07/07 – 2021/07/10/13	86,5	41,8	71,4	92,0	15,5
Ev10	2021/07/21/19 – 2021/07/24/19	105,0	110,8	140,0	137,1	94,1
Ev11	2021/08/26/01 – 2021/08/28/19	87,5	55,8	51,7	40,0	22,3
Ev12	2021/09/07/13 – 2021/09/09/19	172,8	114,2	95,1	95,2	17,8
Ev13	2021/09/13/19 – 2021/09/16/19	108,9	96,9	31,8	32,2	19,2
Ev14	2021/09/22/13 – 2021/09/27/07	279,7	196,7	177,6	148,2	29,0
Ev15	2021/10/09/19 – 2021/10/12/01	80,0	64,3	89,3	126,3	24,5
Ev16	2021/10/13/19 – 2021/10/17/01	140,2	190,3	114,3	120,4	27,1
Ev17	2021/10/28/19 – 2021/11/02/13	58,8	53,8	44,8	52,6	39,9



Hình 7. Đường quá trình sai số thực tế và dự đoán cho 17 trận mưa ở 5 khu vực.

Không giống với phương pháp khí hậu (sử dụng chuỗi dữ liệu trong thời gian dài để hiệu chỉnh), kỹ thuật lọc Kalman chỉ được áp dụng cho các trận mưa, nghĩa là chỉ khi có mưa lớn thì phương pháp này mới được kích hoạt. Chỉ tiêu để lựa chọn các trận mưa là có lượng mưa lớn và kéo dài. Chi tiết các trận mưa được lựa chọn trong 2 năm 2020 và 2021 để hiệu chỉnh bằng kỹ thuật lọc Kalman được trình bày ở Bảng 2, trong đó các Ev từ 1 đến 10 được sử dụng để hiệu chỉnh (*calibration*), các Ev từ 11 đến 17 được sử dụng để kiểm tra (*testing*).

Kết quả tính toán beta thực tế (bằng công thức 1) và beta dự đoán (đầu ra của kỹ thuật lọc Kalman) cho 5 khu vực được thể hiện trong các hình từ Hình 7. Các Ev từ 1 đến 17 là ký hiệu cho các trận mưa. Kết quả cho thấy đường quá trình sai số thực tế và dự đoán tương đối phù hợp với nhau với hệ số tương quan tại tất cả các khu vực đều trên 0,98. Điều này mở ra khả năng cao kỹ thuật lọc Kalman có khả năng nâng cao được độ tin cậy của lượng mưa ước lượng từ radar.



Hình 8. Biến đổi của các chỉ tiêu đánh giá trước và sau khi hiệu chỉnh bằng phương pháp khí hậu và kỹ thuật lọc Kalman ở 5 khu vực.

Mức độ hiệu quả của hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar bằng kỹ thuật lọc Kalman được thể hiện thông qua sự biến đổi của các chỉ tiêu đánh giá bao gồm ME, hệ số tương quan và RMSE. Độ tin cậy của lượng mưa radar sau hiệu chỉnh sẽ tăng lên nếu ME và RMSE tiến tới 0, hệ số tương quan tiến tới 1. Kết quả tính toán sự thay đổi của các chỉ tiêu cho tất cả các trận mưa ở 5 khu vực được thể hiện trong hình từ Hình 8. Các chỉ tiêu cho lượng mưa radar trước và sau khi hiệu chỉnh bằng phương pháp khí hậu và kỹ thuật lọc Kalman được thể hiện lần lượt bằng các đường màu đen, màu xanh và màu đỏ. Cần lưu ý rằng kết quả tính toán các chỉ số cho lượng mưa radar trước hiệu chỉnh và hiệu chỉnh bằng phương pháp khí hậu ở trong

mục này có sự khác biệt so với kết quả trong mục 4.1 do kết quả tính toán các chỉ tiêu ở mục 4.1 là cho toàn bộ chuỗi dữ liệu (01/06/2020–31/12/2020 và 01/06/2021–31/12/2021) trong khi kết quả tính toán trong nội dung này chỉ cho 17 trận mưa. Có thể dễ dàng nhận thấy độ chính xác của lượng mưa radar đã tăng lên đáng kể sau khi áp dụng các phương pháp hiệu chỉnh với sự cải thiện của các chỉ số ME, hệ số tương quan và RMSE ở tất cả các khu vực, ngoại trừ trường hợp ở lưu vực sông Bưởi có giá trị ME kém hơn trước khi hiệu chỉnh (các chỉ số khác vẫn được cải thiện). Xét giá trị trung bình tất cả các trạm trong một khu vực, chỉ số ME ở thượng lưu sông Mã cho kỹ thuật lọc Kalman không tốt bằng phương pháp khí hậu (tăng từ 0,50 mm/6h lên 0,61 mm/6h). Tuy nhiên, đánh giá cho từng trạm thì chỉ số ME vẫn được cải thiện với 4/6 trạm có ME tiến gần tới 0 hơn. Các khu vực sông khác đều cho thấy sự cải thiện của chỉ tiêu ME: Trung lưu sông Mã tăng từ $-1,40$ mm/6h lên $-0,35$ mm/6h; Hạ lưu sông Mã tăng từ $-0,80$ mm/6h lên $0,17$ mm/6h; Sông Chu tăng từ $-2,26$ mm/6h lên $-1,51$ mm/6h; Sông Bưởi tăng từ $-2,66$ mm/6h lên $-1,76$ mm/6h. Hệ số tương quan ở các khu vực đều tăng mạnh so với trước khi áp dụng kỹ thuật lọc Kalman (kết quả hiệu chỉnh bằng phương pháp khí hậu). Hệ số tương quan trung bình các trạm ở thượng lưu sông Mã tăng từ 0,15 lên 0,19; ở trung lưu sông Mã tăng từ 0,11 lên 0,22; ở hạ lưu sông Mã tăng từ 0,11 lên 0,22; ở khu vực sông Chu tăng từ 0,08 lên 0,19; và ở khu vực sông Bưởi tăng từ 0,04 lên 0,14. Xét cho từng trạm, hệ số tương quan ở hầu hết các trạm đều tăng lên, trừ 1 trạm ở thượng lưu sông Mã và 1 trạm ở khu vực sông Bưởi giảm xuống. Chỉ số RMSE gần như không có sự thay đổi so với kết quả hiệu chỉnh từ phương pháp khí hậu ở tất cả các khu vực.

Từ những phân tích ở trên cho 5 khu vực cho thấy hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar bằng kỹ thuật lọc Kalman có thể tiếp tục nâng cao được độ chính xác của lượng mưa ước lượng từ radar sau khi đã hiệu chỉnh bằng phương pháp khí hậu với các chỉ tiêu ME, hệ số tương quan và RMSE được cải thiện ở hầu hết các khu vực, đặc biệt là hệ số tương quan. Tuy nhiên, kết quả hiệu chỉnh ở một số trạm lại có xu hướng kém chính xác hơn so với trước khi hiệu chỉnh. Điều này là không thể tránh khỏi và cũng là một hạn chế của kỹ thuật lọc Kalman.

5. Kết luận

Nghiên cứu này được thực hiện để hiệu chỉnh lượng mưa radar bằng phương pháp khí hậu và kỹ thuật lọc Kalman cho lưu vực sông Mã. Lượng mưa ước lượng từ radar được nội suy về các điểm trạm và được đặt vào 5 khu vực hiệu chỉnh khác nhau. Lượng mưa trung bình các trạm ở mỗi khu vực được loại bỏ giá trị 0 trước khi xây dựng đường xác suất tích lũy (CDF). Dựa trên đường CDF của radar và trạm quan trắc, sai số ở các mức xác suất khác nhau được tính toán và sử dụng để hiệu chỉnh lượng mưa radar cho các trạm và các điểm lưới ở các ngưỡng lượng mưa tương ứng. Kết quả hiệu chỉnh được đánh giá ở các điểm trạm sử dụng 3 chỉ tiêu ME, hệ số tương quan và RMSE. Kết quả cho thấy độ chính xác của lượng mưa ước lượng từ radar đã được cải thiện đáng kể ở tất cả các khu vực trên lưu vực sông Mã sau khi hiệu chỉnh bằng phương pháp khí hậu với giá trị ME có xu hướng tiến tới 0, hệ số tương quan tăng nhẹ và RMSE giảm xuống. Tuy nhiên, ở những điểm trạm có ME nhỏ hoặc âm, lượng mưa radar sau khi hiệu chỉnh có xu hướng tách xa khỏi giá trị “tốt nhất”. Điều này có thể được giải thích là do lượng mưa radar trung bình khu vực chưa hiệu chỉnh có xu hướng thiên cao, dẫn đến việc sau khi thực hiện hiệu chỉnh cho các trạm, lượng mưa ở các trạm có xu hướng thiên thấp tiếp tục thiên thấp hơn. Đây là một hạn chế của phương pháp khí hậu. Để khắc phục được hạn chế của phương pháp khí hậu, kỹ thuật lọc Kalman tiếp tục được áp dụng để hiệu chỉnh. Sai số dạng logarit giữa lượng mưa radar và quan trắc mặt đất cho 17 trận mưa xảy ra vào năm 2020 và 2021 ở các khu vực được tính toán và làm đầu vào cho kỹ thuật lọc Kalman để liên tục dự đoán và cập nhật trong thời gian thực. Kết quả cho thấy độ chính xác của lượng mưa radar đã tiếp tục được nâng cao đáng kể ở tất cả các khu vực trên lưu vực sông Mã sau khi hiệu chỉnh kỹ thuật lọc Kalman với giá trị ME có xu hướng tiến tới 0, hệ số tương quan tăng mạnh và RMSE gần như không đổi. Kỹ thuật lọc Kalman cũng đã

chứng minh được khả năng giải quyết nhược điểm của phương pháp khí hậu với việc các trạm có giá trị ME âm đã tiến gần về 0 và hệ số tương quan tăng lên đáng kể. Tuy nhiên, kết quả hiệu chỉnh ở một số trạm lại có xu hướng kém chính xác hơn so với trước khi hiệu chỉnh. Điều này là không thể tránh khỏi và cũng là một hạn chế của kỹ thuật lọc Kalman.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự hỗ trợ về mặt dữ liệu và phương pháp luận của đề tài “Nghiên cứu công nghệ dự báo dòng chảy lũ hạn ngắn theo mô hình dự báo mưa số trị và số liệu radar thời tiết. Áp dụng thử nghiệm dự báo lũ hạn ngắn cho lưu vực Sông Mã”, mã số TNMT.2022.02.16, do Bộ Tài nguyên và Môi trường tài trợ.

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. Bae, D.H.; Trinh, H.L.; Nguyen, H.M. Uncertainty estimation of the SURR model parameters and input data for the Imjin River basin using the GLUE method. *J. Hydro-Environ. Res.* **2018**, *20*, 52–62.
2. Nguyen, H.M.; Bae, D.H. An approach for improving the capability of a coupled meteorological and hydrological model for rainfall and flood forecasts. *J. Hydrol.* **2019**, *577*, 124014.
3. Fabry, F. Obstacles to the greater use of weather radar information. In: Sixth International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar, Melbourne, 2004.
4. Harrison, D.L.; Driscoll, S.J.; Kitchen, M. Improving precipitation estimates from weather radar using quality control and correction techniques. *Meteorol. Appl.* **2000**, *6*, 135–144.
5. Golding, B.W. Nimrod: a system for generating automated very short range forecasts. *Meteorol. Appl.* **1998**, *5*, 1–16.
6. Pierce, C.; Hardaker, P.; Collier, C.; Haggett, C. GANDOLF: a system for generating automated nowcasts of convective precipitation. *Meteorol. Appl.* **2001**, *7*, 341–360.
7. Rabiei, E.; Haberlandt, U. Applying bias correction for merging rain gauge and radar data. *J. Hydrol.* **2015**, *522*, 544–557.
8. Chumchean, S.; Seed, A.; Sharma, A. An Integrated Approach to Error Correction for Real-Time Radar-Rainfall Estimation. *Am. Meteorol. Soc.* **2006**, *23*, 67–79.
9. Giarno, Hadi, M.P.; Suprayogi, S.; Herumurti, S. Bias correction of radar and satellite rainfall estimates and increasing its accuracy using modified merging. *Mausam* **2020**, *71(3)*, 277–390.
10. Hanchowong, R.; Weesakul, U.; Chumchean, S. Bias correction of radar rainfall estimates based on a geostatistical technique. *Sci. Asia* **2012**, *38*, 373–385.
11. Kim, T.J.; Kwon, H.H.; Lima, C. A Bayesian partial pooling approach to mean field bias correction of weather radar rainfall estimates: Application to Osungsan weather radar in South Korea. *J. Hydrol.* **2018**, *565*, 14–26.
12. Na, W.; Yoo, C. A Bias Correction Method for Rainfall Forecasts Using Backward Storm Tracking. *Water* **2018**, *10*, 1728.
13. Ozkaya, A.; Akyurek, Z. Evaluating the use of bias-corrected radar rainfall data in three flood events in Samsun, Turkey. *Nat. Hazards* **2019**, *98*, 643–674.
14. Qi, Y.; Zhang, J.; Hong, Y.; Cao, Q. Correction of Radar QPE Errors for Non-Uniform VPRs in Mesoscale Convective Systems Using TRMM Observations. The seventh European conference on radar in meteorology and hydrology, 2012.

15. Sahlaoui, Z.; Mordane, S. Radar Rainfall Estimation in Morocco: Quality Control and Gauge Adjustment. *Hydrology* **2019**, *6*, 41.
16. Quốc, P.K. Nghiên cứu xây dựng công cụ cảnh báo dông và định lượng mưa cho các khu vực ở Việt Nam trên cơ sở sử dụng số liệu ra đa thời tiết, định vị sét, ảnh mây vệ tinh Himawari và mưa bề mặt. Tổng cục Khí tượng Thủy văn, 2021.
17. Tĩnh, Đ.N. và cs. Nghiên cứu ứng dụng số liệu mưa vệ tinh, mưa dự báo số trị kết hợp số liệu bề mặt trong dự báo lũ hệ thống sông Hồng – Thái Bình. Đề tài nghiên cứu cấp Bộ, 2015.
18. Chumchean, S.; Seed, A.; Sharma, A. Correction of real-time radar rainfall bias using a Kalman filtering technique. *J. Hydrol.* **2006**, *317*, 123–137.
19. Smith, J.A.; Krajewski, W.F. Estimation of mean field bias of radar rainfall estimates. *J. Appl. Meteorol.* **1991**, *30*, 397–411.
20. Marshall, J.S.; Palmer, W.M. The distribution of raindrops with size. *J. Meteorol.* **1948**, *5*, 165–166.

Bias correction of radar rainfall estimates for improving hydrological simulation

Nguyen Hoang Minh^{1*}, Phung Tien Dung¹, Vu Thi Thanh Van¹, Hoang Van Dai¹, Mai Van Khiem¹, Nguyen Thi Phuong Nhung²

¹ National Centre for Hydro–Meteorological Forecasting, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; hoangminh281287@gmail.com; ptdung77@gmail.com; vtvan7702@gmail.com; daihydro2003@gmail.com; maikhiem77@gmail.com

² University of Transport Technology; nguyenthiphuongnhung0302@gmail.com

Abstract: Radar rainfall estimates have been exploited and widely used in the world for hydrological simulations thanks to the advantages of spatial distribution compared to observed rainfall at ground stations. In Vietnam, due to the weather radar system has been upgraded and installed in recent years, the exploitation and use for hydrology is still very limited. Because radar rainfall estimates often consist of many errors arising from various sources, before using for flow simulation and prediction, bias correction is very necessary to minimize errors. Therefore, this study was conducted to correct the radar rainfall estimates in order to improve the input quality for runoff simulation in Vietnam. Two methods including climatology and Kalman filtering technique are applied consecutively to increase the accuracy of radar rainfall estimates. The results of applying to the Ma River basin show that the quality of radar rainfall estimates has increased significantly with the improvement of mean error, correlation coefficient and root mean square error.

Keywords: Radar rainfall estimates; Bias correction, Climatology method; Kalman filtering technique; runoff simulation.

Bài báo khoa học

Ứng dụng mô hình 2D cho bài toán truyền tải rác thải nhựa theo đặc trưng mùa tại vùng biển Đà Nẵng–Quảng Nam

Nguyễn Quốc Trinh^{1,2*}, Đào Đình Châm^{1,2}, Hoàng Thái Bình¹, Đào Thị Thảo¹, Lê Đức Hạnh¹, Nguyễn Thái Sơn¹, Lê Trung Hưng³, Hoàng Hà Giang⁴, Nguyễn Quang Vinh⁵

¹ Viện Địa lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, số 18, Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội; nqtrinh@ig.vast.vn; maitrinhvinh@gmail.com; chamvdl@gmail.com; hoangthaibinh@yahoo.com; thaodt010@wru.vn; hanhvdl@gmail.com; nguyenthaison99@gmail.com

² Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, số 18, Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội; nqtrinh@ig.vast.vn; maitrinhvinh@gmail.com; chamvdl@gmail.com

³ Trung tâm Thông tin và Dữ liệu khí tượng thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, số 8, Pháo Đài Láng, Đống Đa, Hà Nội; hungtttl@gmail.com

⁴ Trường Đại học Khoa học, Đại học Thái Nguyên, Phường Tân Thịnh, Thành phố Thái Nguyên, tỉnh Thái Nguyên; hoanghagianghl@gmail.com

⁵ Đài Khí tượng Cao không, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, số 8, phố Pháo Đài Láng, Đống Đa, Hà Nội; vinhk46da@yahoo.com

*Tác giả liên hệ: nqtrinh@ig.vast.vn; maitrinhvinh@gmail.com; Tel: +84–989202527

Ban Biên tập nhận bài: 17/9/2022; Ngày phản biện xong: 15/11/2022; Ngày đăng bài: 25/11/2022

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này sử dụng mô hình hai chiều để giải quyết bài toán truyền tải rác thải nhựa khu vực cửa sông ven bờ Đà Nẵng–Quảng Nam bằng mô hình MIKE 21/3 Couple Model FM của DHI có sử dụng thành phần thủy động lực (HD) và thành quy đạo vật thể trôi (PT) áp dụng đối với bài toán truyền tải rác thải nhựa. Kết quả tính toán được hiệu chỉnh, kiểm định và mô phỏng dựa vào đánh giá so sánh yếu tố mực nước giữa tính toán và thực đo tại các vị trí các trạm Thủy văn (Cầm Lệ, Câu Lâu và Hội An), trạm Hải văn (Sơn Trà và Dung Quất) giai đoạn 2018–2022. Mà các kết quả đánh giá theo các chỉ số tương quan (R) lớn hơn 0,9, chỉ số NSE lớn hơn 0,74 và chỉ số RSR nhỏ hơn 0,2. Các kết quả tính toán truyền tải rác thải nhựa biến động theo mùa với các tháng điển hình cụ thể như tháng 07/2021 (mùa hè) với xu hướng di chuyển từ Nam lên Bắc, tháng 12/2021 (mùa đông) với xu hướng di chuyển từ Bắc xuống Nam. Bước đầu kết quả tính toán cho thấy có thể phát triển các nghiên cứu tiếp theo với điều kiện đầu vào sát thực hơn.

Từ khóa: Rác thải nhựa; MIKE 21/3 Couple model FM; Mực nước; Đà Nẵng, Quảng Nam.

1. Mở đầu

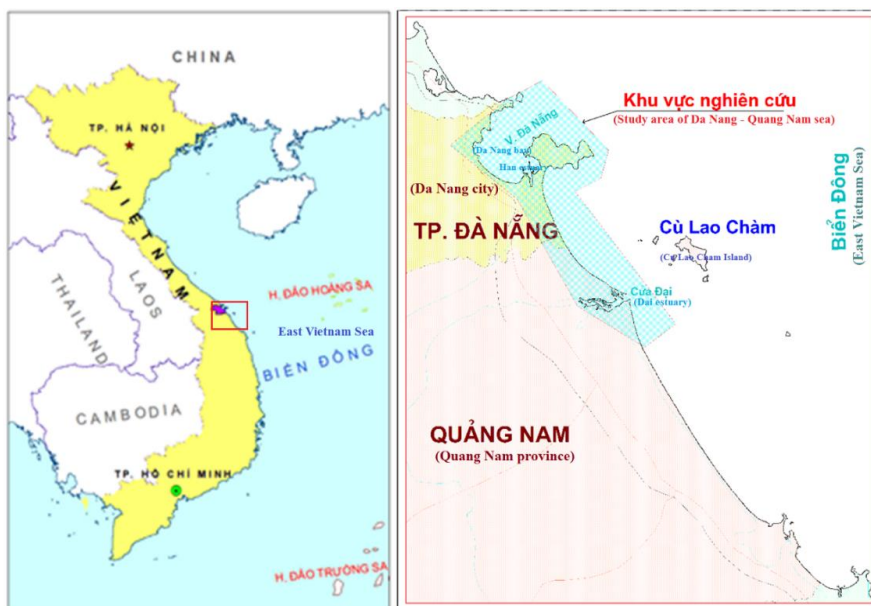
Ô nhiễm biển do nhựa là một vấn đề toàn cầu và thách thức (sự tồn tại của nhựa trên biển, hậu quả đối với sinh vật biển và sức khỏe con người) đổ ra cửa sông ven bờ [1] ra biển khơi [2]. Sự nguy hại đến môi trường sinh thái toàn cầu tăng lên bởi rác thải nhựa [3] với tốc độ từ $1,7 \times 10^6$ tấn năm 1950 đến $3,68 \times 10^8$ tấn năm 2019, trong đó $73,5 \times 10^6$ tấn sợi tơ tổng hợp [4] và ước tính khoảng trên 10^9 tấn năm 2020 [5]. Xấp xỉ $2,7 \times 10^5$ tấn rác thải

nhựa trôi nổi trên biển với khoảng $5,25 \times 10^{12}$ hạt nhựa [6], với khoảng 103 đến 105 hạt/m³ [7]. Nguồn gốc vi nhựa ở sinh thái biển đều có từ nước sông, đất liền và không khí [8–11]. Sự đa dạng về nguồn nên rác thải nhựa rất đa dạng về kiểu cách hay màu sắc khác nhau [12–18].

Nói chung, sự phân mảnh của rác thải nhựa từ mảnh lớn hơn tạo thành các mảnh nhỏ thứ cấp do chịu các tác động môi trường phong hóa xung quanh như hóa–lý và sinh học [19–21]. Môi trường biển đổi phức tạp tác động liên tục sẽ dẫn đến sự phong hóa của các rác thải nhựa, gây ra nhiều sự biến dạng và phân mảnh đa dạng [22]. Bên cạnh, các quá trình thủy động lực tác động lên rác thải nhựa đã truyền tải chúng phân bố trong không gian thụ động [23–28] mà rác thải nhựa cũng thuộc một dạng vật chất đặc biệt ít biến đổi.

Hơn nữa, với sự hạn chế khan hiếm về dữ liệu sẵn có và đo đạc quan trắc rác biển và ô nhiễm rác nhựa [29], mô hình mô phỏng cho phép bổ sung thông tin quan trắc và theo dõi quá trình di chuyển và biến đổi của rác thải nhựa trong biển [30]. Thật vậy, mô hình số là công cụ thích hợp để hiểu biết về truyền tải rác thải nhựa trong đại dương [31], đặc biệt trong mô hình Lagrangian [32].

Sử dụng một phương pháp số sẵn có, chúng tôi nghiên cứu về truyền tải rác thải nhựa di chuyển và phân bố ở vùng biển cụ thể mà được lựa chọn là ở khu vực cửa sông ven bờ Đà Nẵng–Quảng Nam với các nguồn xả thải giả định dọc bờ và các cửa sông. Các kịch bản mô phỏng lựa chọn theo đặc trưng mùa trong khu vực nghiên cứu với các điều kiện khí tượng, thủy văn quan trắc đo đạc là tháng 7/2021 (mùa hè) và tháng 12/2021 (mùa đông). Công cụ tính toán mô phỏng được sử dụng là mô hình MIKE 21/3 Coupled Model FM trong bộ phần MIKE của viện Thủy lực Đan Mạch (gọi tắt là DHI) mà lựa chọn mô phỏng trong không gian hai chiều. Các thành phần được lựa chọn tính toán của mô hình này là thủy động lực (mực nước–dòng chảy) và quỹ đạo trôi của vật chất. Các quá trình tính toán mô phỏng tương tác giữa quá trình thủy động lực (sóng, mực nước–dòng chảy) được thể hiện [33]. Đối với quỹ đạo trôi của vật chất được sử dụng mô hình thành phần PT (*Particle Tracking*) để giải bài toán Lagrangian tích hợp đồng thời với các mô hình thủy động lực. Như trên đã nêu ra, rác thải nhựa được coi là vật chất ít biến đổi nên lựa chọn mô hình thành phần PT để phục vụ tính toán mô phỏng là phù hợp.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

Tuy nhiên, các công trình nghiên cứu trên thế giới đã lý giải về vấn đề ô nhiễm rác thải biển, trong đó có rác thải nhựa đang gia tăng nhanh chóng gây bức xúc cho xã hội như hiện nay. Do đó, cần xây dựng các chương trình giám sát rác thải nhựa, thực hiện các cuộc điều

tra thông tin về nguồn gốc, số lượng, khối lượng, thành phần của rác thải nhựa. Mặt khác, khu vực cửa sông ven bờ Đà Nẵng–Quảng Nam là khu vực nghiên cứu thể hiện như Hình 1, là hạ lưu của hệ thống sông Vu Gia–Thu Bồn với 02 cửa sông chính chảy ra biển (cửa sông Hàn thuộc thành phố Đà Nẵng và cửa Đại thuộc thành phố Hội An, tỉnh Quảng Nam). Khu vực nghiên cứu chịu tác động ảnh hưởng mạnh mẽ của kinh tế–xã hội địa phương mà xả thải rác thải như thượng nguồn các con sông, du lịch, kinh tế biển, khai thác hải sản... [34–35]. Do đó, chúng tôi nghiên cứu và thiết kế các kịch bản tính toán truyền tải rác thải nhựa khác nhau giúp hiểu được phân bố theo đặc trưng mùa. Các kết quả nghiên cứu xem xét khía cạnh mùa theo các tháng đại diện cụ thể cho ra các bức tranh định hướng trong tương lai để giám sát và giảm thiểu các rác thải nhựa.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu được sử dụng là mô hình tích hợp MIKE 21/3 COUPLED MODEL FM mà đã được áp dụng tính toán mô phỏng vùng cửa sông, ven biển và trong sông [33, 36–37]. Mô hình tích hợp này được lựa chọn các thành phần phù hợp như thủy động lực (*HD–Hydrodynamic*) và truyền tải rác thải nhựa (vật chất) (*PT–Particle Tracking*). Các thành phần này thực hiện tính toán mô phỏng cho bài toán truyền tải rác thải nhựa. Sự kết hợp giữa các thành phần trong mô hình đồng thời cho phép tính toán dòng chảy và mực nước tác động đến di chuyển của rác thải nhựa theo từng bước thời gian tính toán nên độ chính xác kết quả mô phỏng cũng sẽ được nâng cao so với các mô hình khác. Dưới đây sẽ được trình bày giới thiệu thành phần trong mô hình như là:

- Thành phần thủy động lực đã được trình bày cơ sở khoa học và các tính năng trong bộ tài liệu hướng dẫn của phần mềm MIKE [36–37]. Cơ sở khoa học là sử dụng hệ phương trình Navier–Stokes để giải bài toán hai chiều. Các tính năng cơ bản được sử dụng cho bài toán này là sử dụng lưới phi cấu trúc (lưới tam giác) nhằm mục đích linh hoạt lưới tính, số nút lưới và miền tính đối với vùng cửa sông ven bờ biển đổi phức tạp.

- Thành phần truyền tải rác thải nhựa được sử dụng như dạng vật chất đặc biệt đã được thể hiện trình bày trong tài liệu hướng dẫn sử dụng tương tự như thành phần thủy động lực [36, 38]. Bài toán mô phỏng lan truyền được áp dụng phương pháp Lagrange cho tất cả các vật chất thành các hạt có tọa độ và khối lượng cụ thể, thay vì biến đổi trường của phương pháp Euler, trong đó khối lượng được biểu thị dưới dạng nồng độ trung bình trong mỗi ô lưới tính toán. Quá trình di chuyển của vật chất được môi trường tác động theo chế độ trôi và bổ sung thêm quá trình phân tán ngẫu nhiên.

Cơ sở khoa học mô tả sự truyền tải rác thải nhựa dựa vào quá trình bình lưu và khuếch tán của các hạt vật chất tuân theo phương trình Langevin [38]. Theo lý giải của Einstein về quan sát chuyển động của Brown, Langevin và cộng sự đã đưa ra phương trình truyền tải được viết dưới dạng:

$$dX_t = a(t, X_t)dt + b(t, X_t)\xi_t dt \quad (1)$$

Trong đó $a(t, X_t)$ là thành phần vận chuyển (trôi dạt); $b(t, X_t)$ là thành phần phân tán; $\xi_t dt$ là số ngẫu nhiên.

Trong mô hình truyền tải rác thải nhựa là phương pháp rời rạc theo Lagrangian được sử dụng [38]. Tuy nhiên, hệ thống lưới tham chiếu từ phương pháp Euler sang phương pháp Lagrange như vận tốc trôi của mỗi hạt khi cập nhật chuyển động của mỗi hạt. Sau mỗi bước thời gian, các hạt được xác định trong mỗi ô lưới sẽ được chuyển đổi ngược lại theo hệ thống lưới tham chiếu và trường nồng độ được tính toán bằng cách từ phương pháp Lagrange sang phương pháp Euler mà được gọi chuyển đổi từ tập chất điểm sang trường. Phương trình chuyển đổi hệ tham chiếu từ phương pháp Lagrange sang phương pháp Euler được viết dưới dạng:

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^{N_k} M_i}{V_k} \quad (2)$$

Trong đó C_k là nồng độ trung ô lưới thứ k ; k là chỉ số ô lưới; M_i là khối lượng của hạt thứ i ; N_k là số hạt trong ô lưới thứ k .

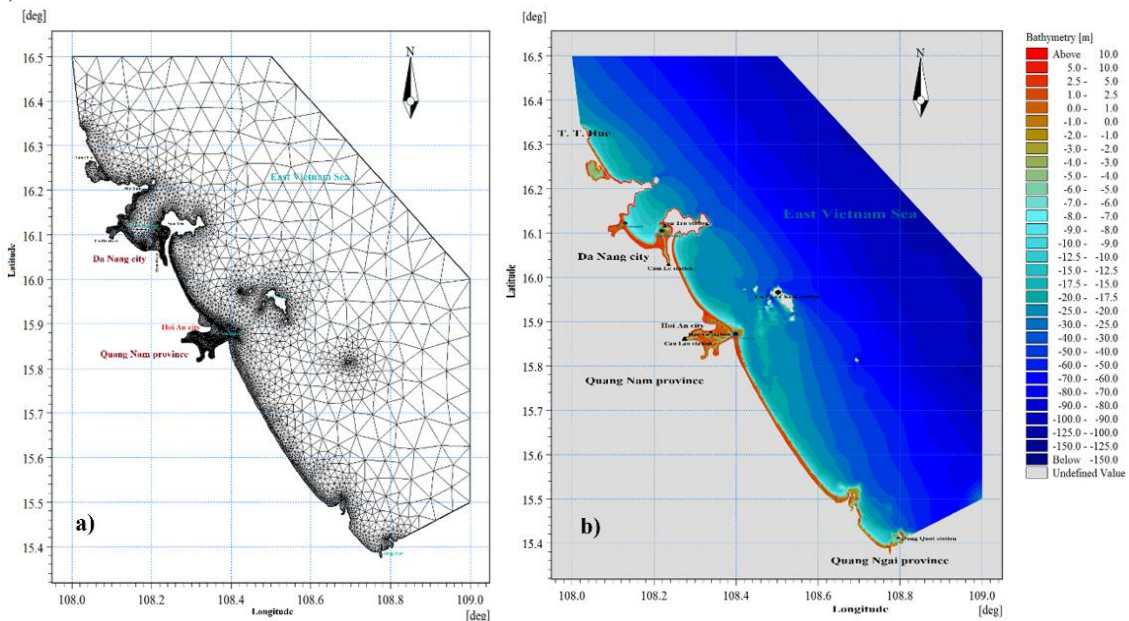
Phương pháp rời rạc Lagrangian này ổn định về mặt số học. Vì vậy, bước thời gian của mô phỏng theo dõi hạt không nên được chọn để xem xét tính ổn định, mà thay vào đó để xem xét hiện tượng được đề cập giải quyết phù hợp với thực tiễn hay không. Phương trình 2 được minh chứng về các kết quả dạng phân bố trường theo từng ô lưới sẽ được thể hiện ở phần kết quả tính toán mô phỏng.

2.2. Dữ liệu sử dụng

a) Địa hình, miền tính và lưới tính

Các thông tin về địa hình đã được thu thập và số hoá từ các tỷ lệ khác nhau theo các nguồn khác nhau như Bộ Tài nguyên và Môi trường, Bộ Quốc phòng và các đề tài dự án đã thực hiện và trên internet. Dữ liệu được xử lý và chỉnh biên thành hệ thống nhất [39]. Dữ liệu chuẩn hóa và đồng bộ hóa được sử dụng thiết kế và xây dựng miền lưới tính và trường độ sâu của miền lưới tính đó (Hình 2).

Miền tính được thiết kế và xây dựng giới hạn khu vực lưới từ 15,4°N đến 16,5°N và từ 108,0°E đến 109,0°E. Lưới tính thiết kế theo dạng lưới phi cấu trúc (tam giác) mà được xác định khoảng 7500 km² với cạnh tam giác biến đổi từ 20 m đến 1000 m và 16112 điểm lưới. Diện tích ô lưới lớn nhất khoảng 120,000 m² và 8695 ô lưới. Biên bờ đượ tiếp giáp với Biển Đông có độ dài khoảng 225 km, biên dài nhất là phía đông bắc khoảng 78,5 km (Hình 2a).

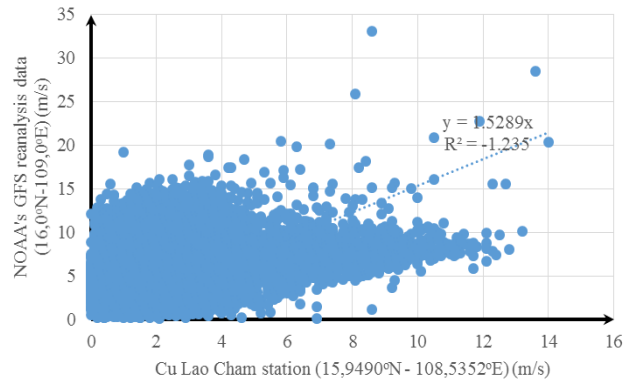


Hình 2. Miền lưới tính và trường độ sâu: (a) Miền lưới tính; (b) Trường độ sâu (m).

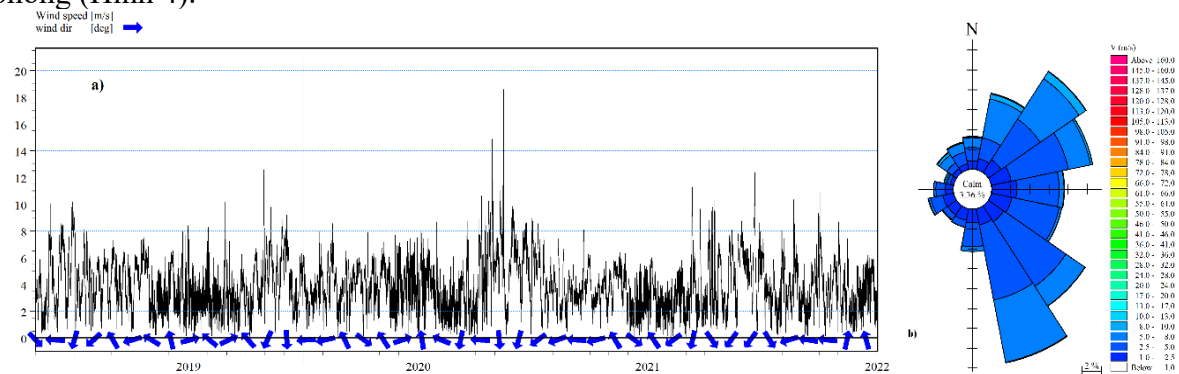
b) Điều kiện biên bờ

Hình 2 cho thấy thể hiện các biên bờ như là (1) 02 biên sông trong đó được cắt ngang qua trạm Cẩm Lệ trên sông Hàn và trạm Câu Lâu trên sông Thu Bồn; (2) 05 biên biển theo các phía như phía Tây, phía Bắc, phía Đông Bắc, phía Đông và phía Nam Đông Nam. Điều kiện các biên bờ, nơi mà trao đổi với Biển Đông sẽ được dùng công cụ dự tính mực nước thủy triều từng giờ trong phần mềm MIKE [40], và số liệu gió (GFS) của NOAA [41].

c) Điều kiện khí tượng thủy văn
 + Điều kiện biên bề mặt: Số liệu gió được khai thác từ nguồn số liệu tái phân tích của GFS của NOAA, sau đó được hiệu chỉnh với nguồn số liệu thực đo tại trạm Cù Lao Chàm (Hình 4). Do nguồn số liệu tại trạm Cù Lao Chàm không liên tục, có nhiều khoảng thời gian không có số liệu đo. Hiệu chỉnh số liệu gió bằng phương pháp lập hàm tương quan tuyến tính giữa số liệu tái phân tích và quan trắc thực đo trong từng thời điểm cả hai đều có giá trị. Từ đây, số liệu gió tái phân tích của NOAA được hiệu chỉnh theo để làm đầu vào cho mô hình tính toán mô phỏng (Hình 4).



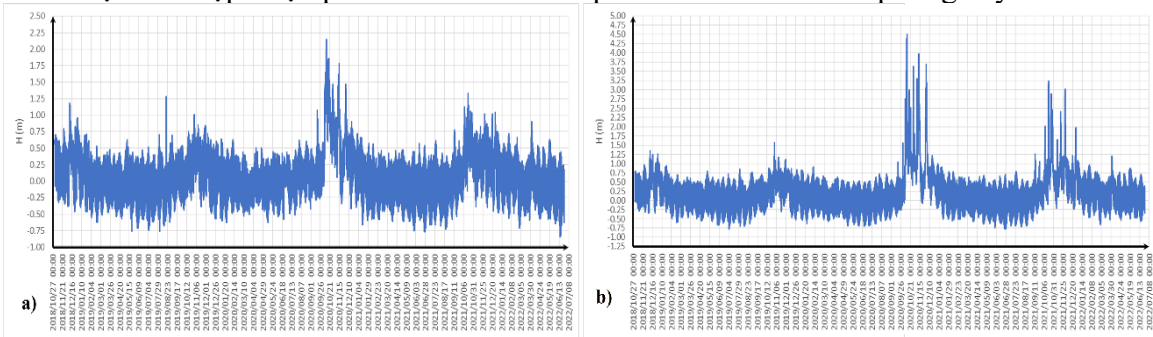
Hình 3. Tương quan tốc độ gió (m/s) giữa trạm Cù Lao Chàm (15.9490°N–108.5352°E) và số liệu tái phân tích GFS của NOAA (16.0°N–109.0°E) giai đoạn từ 6/11/2018 đến 26/06/2022.



Hình 4. Biến trình tốc độ gió và hoa gió tái phân tích của NOAA được hiệu chỉnh giai đoạn từ 6/11/2018 đến 26/06/2022 tại vị trí 16,0°N–109,0°E.

+ Điều kiện biên thủy triều: Các biên thủy triều được xác định giá trị dự tính thủy triều từ công cụ hỗ trợ trong mô hình [40].

+ Điều kiện biên sông: Giá trị mực nước từng giờ quan trắc đo đạc của trạm thủy văn Cẩm Lệ (Hình 5a) và trạm thủy văn Câu Lâu (Hình 5b) được sử dụng tham gia vào tính toán mô phỏng. Do các khoảng thời gian hiệu chỉnh, kiểm nghiệm và mô phỏng khác nhau nên số liệu thu thập được phải bao trùm tất cả quá trình tính toán mô phỏng này.



Hình 5. Biến trình mực nước từng giờ quan trắc giai đoạn từ tháng 11/2018 đến tháng 06/2022: (a) trạm Thủy văn Cẩm Lệ; (b) trạm Thủy văn Câu Lâu.

Bên cạnh đó, các giá trị mực nước từng giờ quan trắc của trạm thủy văn Hội An và trạm hải văn Sơn Trà, trạm hải văn Dung Quất và một số trạm đo liên tục cũng được thu thập để sử dụng để đánh giá độ đảm bảo chính xác của mô hình tính toán.

+ Thời gián tính toán: Mô hình được thực hiện tính toán mô phỏng trong khoảng 15 ngày phục vụ hiệu chỉnh, kiểm nghiệm và các kịch bản mô phỏng.

+ Thời gian mô phỏng: tháng 7/2021 (mùa hè) và tháng 12/2021 (mùa đông).

+ Các thông số khác: hệ số nhớt, hệ số nhám và các hệ số khác cũng sử dụng các quá trình hiệu chuẩn và kiểm nghiệm.

d) Điều kiện rác thải nhựa

Trong nghiên cứu này, loại chất thải nhựa đã được mô phỏng theo 06 loại khác nhau theo tỷ lệ mức độ nồng độ (Bảng 1) [42–43]. Các thông số của chất thải nhựa được sử dụng cho mô hình vận chuyển hạt tham chiếu từ các công thức thực nghiệm bao gồm: mật độ nhựa, vận tốc lắng, độ nhám, lực cản gió, tốc độ phân hủy, v.v. Lượng rác thải nhựa trong nước được tham khảo đề tài cơ sở chọn lọc thuộc VAST có mã số CSCL 10.01/22–22 của Viện Địa lý theo các kịch bản giả định. Bộ thông số đầu vào cho bài toán truyền tải rác thải nhựa với các kịch bản giả định theo cơ chế vận hành nguồn xả thải liên tục trong toàn bộ quá trình tính toán (Bảng 1).

Bảng 1. Thông số lựa chọn của các loại nhựa phổ biến phục vụ tính toán mô phỏng.

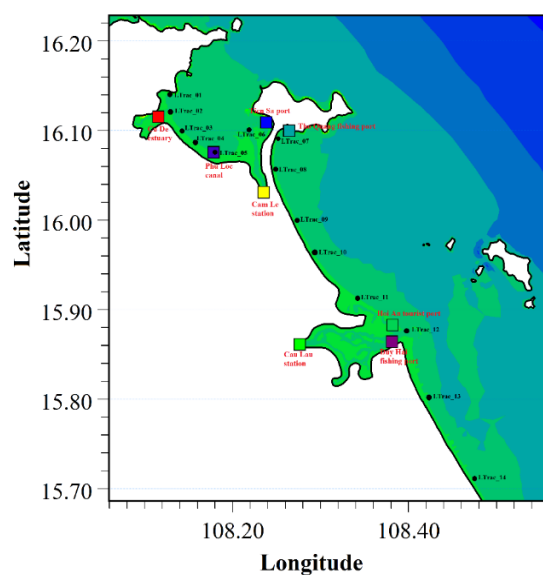
Loại	Tên	Mật độ (g/mL)	Sản phẩm	Tốc độ thải		Trọng lượng hạt nhỏ nhất (mg)	Tốc độ suy giảm (1/s)
				Nồng độ (mg/s)	Số hạt (1/s)		
1	Polyethylene (PE)	0,91–0,95	Túi ni lông, thùng nhựa,...	0.1	10	0.005	1e–15
2	Polypropylene (PP)	0,9–0,92	Dây thùng, nắp chai, dây câu,...	0.1	10	0.05	2e–14
3	Polystyrene (FPS)	1,01–1,09	Phao nổi, bộ làm mát, thùng chứa,...	0.1	10	0.1	5e–13
4	Polyvinyl chloride (PVC)	1,16–1,30	Phim, ống nhựa...	1.0	10	0.5	7e–12
5	Polyamide (Nylon)	1,13–1,15	Lưới đánh cá, quần áo,...	100	10	1.0	1e–11
6	Polyethylene terephthalate (PET)	1,34–1,39	Chai nhựa,...	100	10	10.0	5e–11

Các vị trí được lựa chọn để xả thải là các nơi có nguồn khả năng xả thải ra môi trường cao nhất như thượng nguồn các sông đổ về (trạm Cẩm Lệ của sông Hàn và trạm Câu Lâu của sông Thu Bồn), khu vực cảng cá (Cảng cá Thọ Quang của TP. Đà Nẵng và cảng cá Duy Hải của tỉnh Quảng Nam), Cảng vận tải (Cảng Tiên Sa của TP. Đà Nẵng), cảng du lịch (cảng Hội An), cửa sông và cửa kênh (cửa sông Cu Đê và cửa kênh Phú Lộc) (Hình 6).

3. Kết quả và thảo luận

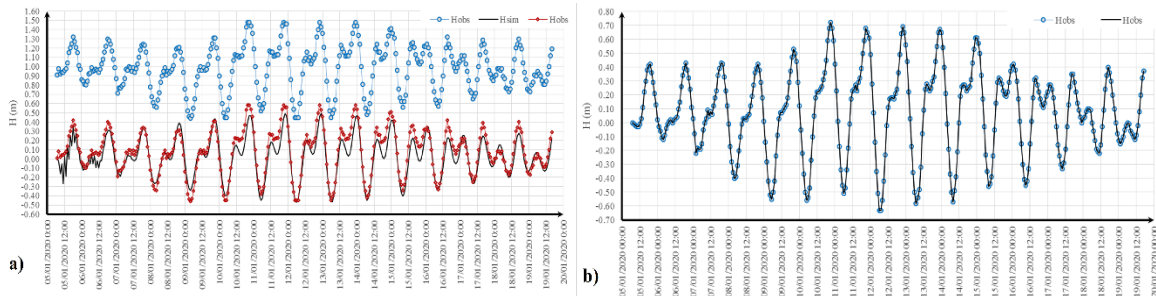
3.1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm nghiệm

- *Hiệu chỉnh:* Vai trò của chế độ thủy động lực rất quan trọng đến qua trình truyền tải rác thải nhựa. Do đó, hiệu chỉnh mô hình tính toán thủy động lực là cần thiết để đảm bảo kết quả tính toán mô phỏng đạt được độ chính xác phù hợp. Nghiên cứu này chỉ ra rằng mô hình được



Hình 6. Sơ đồ phân bố các vị trí nguồn xả rác thải nhựa (hình vuông, chữ đỏ) trong khu vực nghiên cứu.

hiệu chỉnh và xác thực bằng số liệu mực nước quan trắc và tính toán tại các trạm Sơn Trà và Hội An. Kết quả đánh giá hiệu chỉnh được thể hiện trình bày trong Hình 7 và Bảng 2. Đặc điểm mực nước chưa hiệu chỉnh và hiệu chỉnh là chúng thể hiện mức cao độ của các vị trí trạm chưa được đưa về mốc quốc gia nên khi so sánh sẽ được hiệu chỉnh để đưa về cùng mốc mà thông thường các vị trí trạm này là trạm hải văn hoặc trạm đo đặc từ các đề tài, dự án.



Hình 7. Biến trình mực nước thực đo (Hobs), hiệu chỉnh (Hobs_01) và tính toán (Hsim) giai đoạn từ ngày 05/01/2020 đến ngày 20/05/2020: (a) Trạm Sơn Trà; b) Trạm Hội An.

Bảng 2. Đánh giá độ chính xác thống kê mực nước (m) của trạm Sơn Trà, trạm Hội An và các trạm đo liên tục phục vụ hiệu chỉnh mô hình.

Thời gian	Trạm	Đặc điểm	R	RSR	NSE
Từ 05/05/2019 đến 22/05/2019	Trạm Sơn Trà	Chưa hiệu chỉnh	0,916	0,981	-15,064
	Trạm Hội An	Hiệu chỉnh	0,916	0,125	0,739
Từ 05/01/2020 đến 20/01/2020	Trạm Sơn Trà	Chưa hiệu chỉnh	0,979	0,077	0,931
	Trạm Hội An	Hiệu chỉnh	0,951	0,879	-2,773
	Trạm Sơn Trà	Hiệu chỉnh	0,951	0,087	0,852
	Trạm Hội An	Chưa hiệu chỉnh	0,989	0,054	0,961

Hình 7 cho thấy mức độ phù hợp cao cả về pha và biên độ của mực nước tại trạm Hội An và trạm Sơn Trà. Bảng 2 trình bày kết quả đánh giá cụ thể độ chính xác giữa thực đo và tính toán dựa trên các chỉ số như là hệ số quan hệ tương quan (R), hệ số lệch chuẩn quan sát RMSE (RSR) và hệ số hiệu quả Nash–Sutcliffe (NSE). Giá trị hệ số R dao động 0,916÷0,989; Giá trị RSR nằm trong khoảng 0,054÷0,125 và giá trị NSE nằm trong khoảng 0,739÷0,961. Các giá trị kết quả đánh giá phản ánh độ đảm bảo chính xác tương đối cao. Nên bộ thông số này có thể được chuyển sang bước kiểm nghiệm để khẳng định rõ hơn.

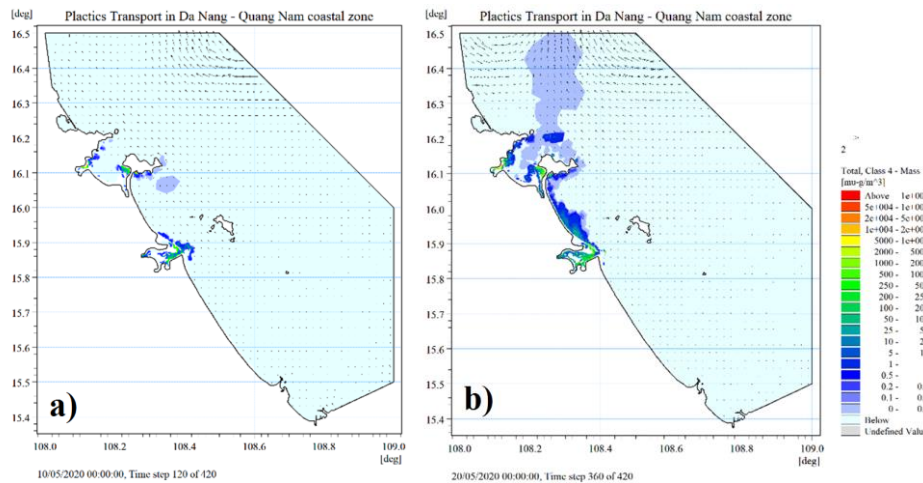
- *Kiểm định:* Đây là quá trình để đánh giá khẳng định rõ hơn độ đảm bảo của bộ thông số của mô hình đã lựa chọn sau khi được hiệu chỉnh. Các kết quả tính toán kiểm nghiệm tiếp tục được đánh giá so sánh với số liệu quan trắc thực đo tại các vị trí trạm mực nước Sơn Trà, trạm Hội An, trạm Lăng Cô (16,235°N–108,092°E) và trạm Dung Quất (Bảng 3). Thời gian tính toán kiểm nghiệm là 15 ngày (trong gian đoạn khoảng từ ngày 05/05/2020 đến ngày 22/05/2020).

Bảng 3. Đánh giá độ chính xác thống kê mực nước (m) của trạm Sơn Trà, trạm Hội An, trạm Dung Quất và trạm Lăng Cô phục vụ kiểm nghiệm mô hình.

TT	Chỉ số đánh giá	Trạm Sơn Trà		Trạm Hội An	Trạm Dung Quất		Trạm Lăng Cô	
		Chưa hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh		Chưa hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh	Chưa hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh
1	R	0,946	0,946	0,977	0,929	0,929	0,957	0,957
2	RSR	0,821	0,111	0,114	0,416	0,160	6,040	0,067
3	NSE	-12,806	0,749	0,806	-0,575	0,767	-1081,2	0,864

Bảng 3 cũng thể hiện được kết quả đánh giá so sánh giữa tính toán và quan trắc thực đo với độ đảm bảo chính xác cao như là chỉ số R lớn hơn 0,92, chỉ số RSR nhỏ hơn 0,2 và chỉ số NSE lớn hơn 0,74. Thông qua đánh giá kết quả hiệu chỉnh và kiểm định tính toán của mô hình phản ánh được bộ thông số lựa chọn là đảm bảo phục vụ cho công tác tính toán mô phỏng các kịch bản. Mặc dù, mô hình thủy động lực có 02 yếu tố chính là mực nước và dòng chảy. Nhưng trong bài báo này không đề cập để đánh giá dòng chảy vì đây là mô hình mô phỏng hai chiều nên dòng chảy được thể hiện dòng trung bình của cột nước. Do đó, nhóm tác giả chưa có số liệu dòng chảy thực đo phù hợp để sử dụng đánh giá.

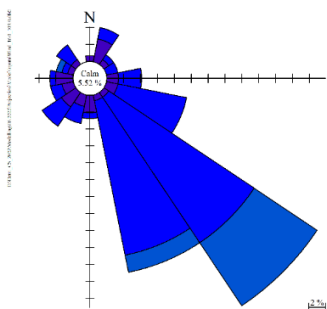
Sau khi hiệu chỉnh và kiểm nghiệm mô hình thủy động lực thì bài toán truyền tải rác thải nhựa được tính toán trên nền thủy động lực này trong mô hình MIKE 21/3, bộ thông số cho khu vực nghiên cứu đã được thiết lập (Bảng 1). Kết quả tính toán mô phỏng rác thải nhựa trong quá trình kiểm nghiệm mô hình được thể hiện ở Hình 8. Bộ thông số của mô hình này được sử dụng để mô phỏng đối với dữ liệu đầu vào tháng 7/2021 (đại diện mùa hè) và tháng 12/2021 (đại diện mùa đông). Mà điều kiện rác thải nhựa được xả thải ra liên tục trong quá trình tính toán theo các thông tin ở Bảng 1 trong cả hai kịch bản tính toán mô phỏng. Kết quả tính toán mô phỏng của các mô hình sẽ được trình bày trong phần 3.2 và 3.3.



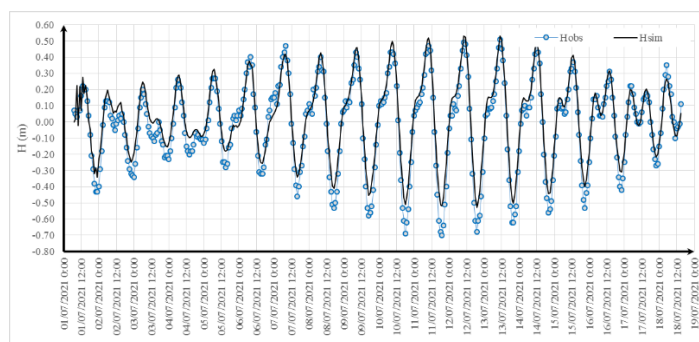
Hình 8. Trường nồng độ rác thải nhựa của loại 4: (a) sau 05 ngày (lúc 7 giờ ngày 10/05/2020; (b) sau 15 ngày (lúc 7 giờ ngày 20/05/2020).

3.2. Kết quả tính toán trong mùa gió Tây Nam trong tháng 7/2021

Thông tin phân tích từ mô hình chất thải nhựa trong báo cáo được mô phỏng với gió (hướng và tốc độ với bước thời gian 3 giờ) và mực nước (mực nước từng giờ tại trạm Cẩm Lệ, trạm Câu Lâu và thủy triều trên biên biển [40]) vào tháng 7 năm 2021.



Hình 9. Hoa gió tháng 7/2021.



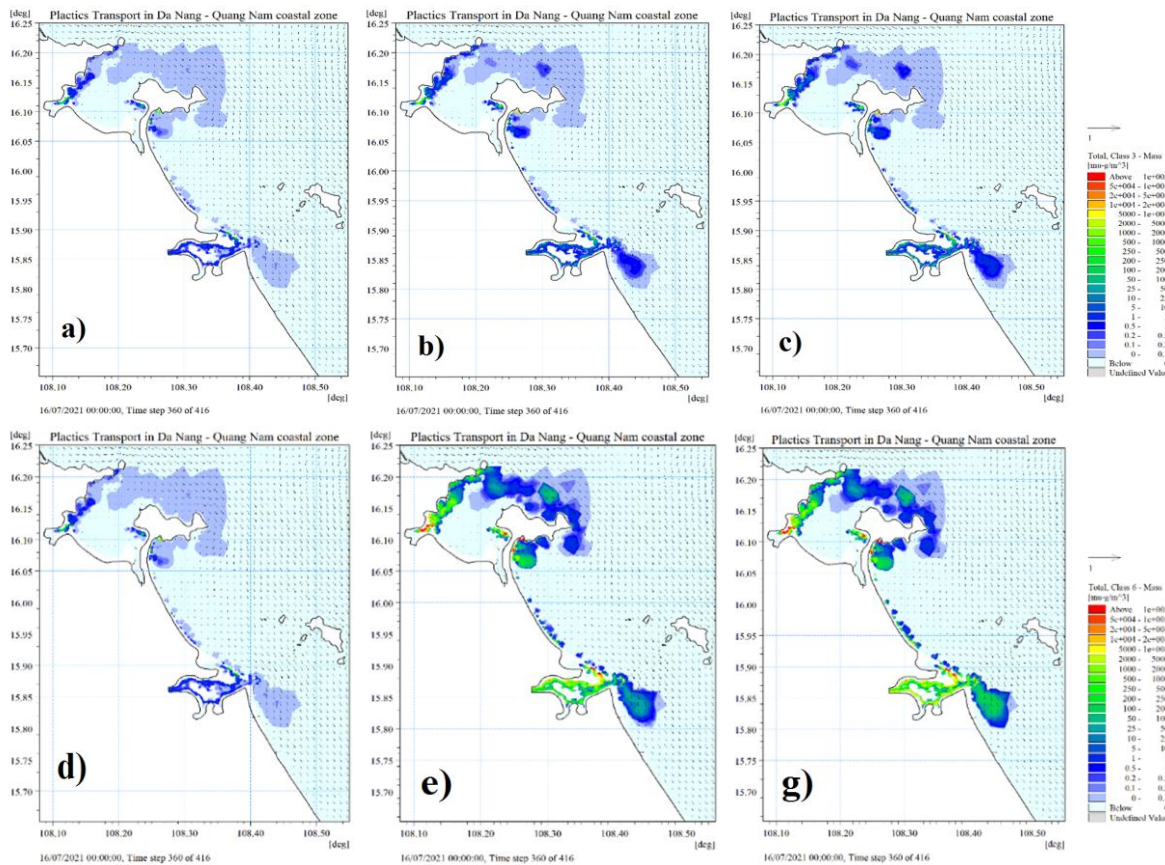
Hình 10. Biến trình mực nước thực đo (H_{obs}) và mô phỏng (H_{sim}) tại trạm Hội An tháng 7/2021.

Trong tháng 7/2021 (mùa hè), hướng gió chủ yếu từ Đông Đông Nam và Đông Nam ảnh hưởng chủ yếu đến khu vực nghiên cứu (Hình 9). Kết quả tính toán mô phỏng cho thấy trường thủy động lực chịu tác động ảnh hưởng mạnh mẽ của thủy triều mà chúng được thể hiện khá rõ nét như Hình 10. Đánh giá so sánh mực nước giữa thực đo và tính toán tại trạm Hội An trạm Dung Quất và trạm Sơn Trà xác định độ đảm bảo chính xác cao (xem Bảng 4).

Bảng 4. Đánh giá độ chính xác thống kê mực nước (m) của trạm Sơn Trà, trạm Hội An và trạm Dung Quất phục vụ mô phỏng cho mùa hè (07/2021).

TT	Chỉ số đánh giá	Trạm Sơn Trà		Trạm Hội An	Trạm Dung Quất	
		Chưa hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh		Chưa hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh
1	R	0,949	0,973	0,985	0,617	0,956
2	RSR	0,850	0,057	0,072	1,353	0,115
3	NSE	-14,111	0,932	0,928	0,480	0,865

Kết quả tính toán mô phỏng nồng độ rác thải nhựa trong nghiên cứu cho thấy xu hướng phát tán rác thải nhựa trong môi trường nước (Hình 11). Các kết quả này cho thấy rằng sự thay đổi truyền rác thải nhựa theo thời gian là đáng kể. Quá trình này cho thấy xu hướng truyền tải từ nam lên bắc và áp sát dọc theo bờ biển. Các khu vực tập trung nhiều là bờ biển tây bắc vịnh Đà Nẵng, bờ nam bán đảo Sơn Trà, vùng cửa Đại và rải rác dọc theo ven bờ từ bán đảo Sơn Trà đến cửa Đại. Khu vực nghiên cứu được thể hiện sự phân bố nồng độ rác thải nhựa trong không gian khá đồng nhất qua bức tranh tổng thể so sánh giữa các loại sau 15 ngày tính toán mô phỏng (Hình 11). Sự phân bố này cho thấy quy luật của các quá trình biến đổi là tập trung phù hợp, không xảy ra các trường hợp khác biệt dị thường theo phân bố tỷ lệ nồng độ của nguồn đầu vào theo Bảng 1. Sự phân bố của rác thải nhựa thay đổi mạnh mẽ theo hàm lượng nguồn đầu vào đáng kể.



Hình 11. Trường nồng độ rác thải nhựa tổng cộng của các loại sau 15 ngày (lúc 07 giờ ngày 16/07/2021) (a) Loại 1; b) Loại 2; c) Loại 3; d) Loại 4; e) Loại 5; g) Loại 6).

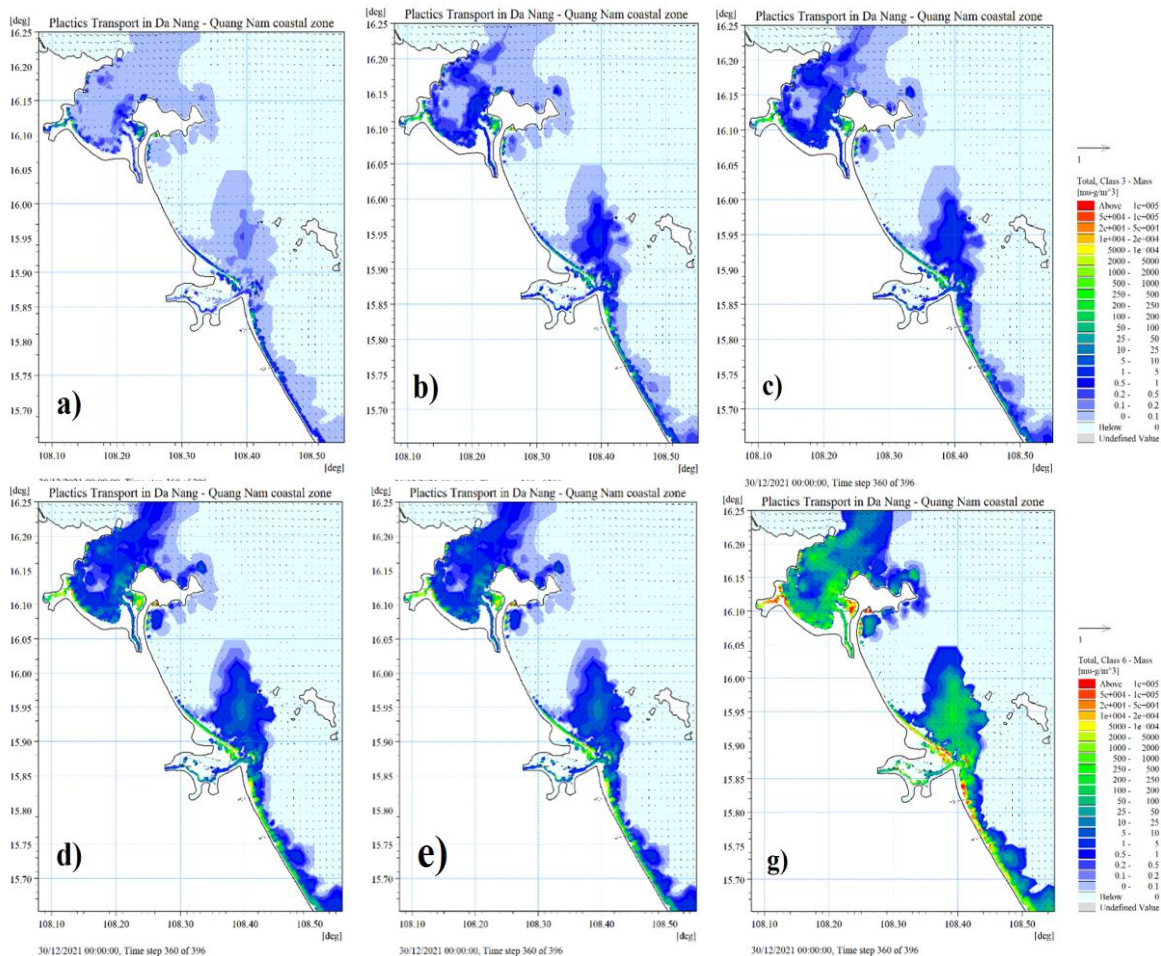
3.3. Kết quả tính toán gió mùa Đông Bắc trong tháng 12/2021

Tương tự như tháng 7/2021 (mùa hè), tháng 12/2021 (đại diện mùa đông) cũng được tính toán mô phỏng quá trình truyền tải rác thải nhựa. Thông tin đầu vào phục vụ mô hình tính toán truyền tải rác thải nhựa được tính toán với điều kiện gió, mực nước sông ra và thủy triều của tháng 12 năm 2021. Trong mùa đông, hướng gió chủ yếu từ Đông Bắc. Kết quả cũng được đánh giá so sánh mực nước giữa thực đo và tính toán tại trạm Hội An, trạm Dung Quất và trạm Sơn Trà có độ chính xác tương quan cao (Bảng 5).

Bảng 5. Đánh giá độ chính xác thống kê mực nước (m) của trạm Sơn Trà, trạm Hội An và trạm Dung Quất phục vụ mô phỏng mùa đông (12/2021).

TT	Chỉ số đánh giá	Trạm Sơn Trà		Trạm Hội An	Trạm Dung Quất	
		Chưa hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh		Chưa hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh
1	R	0,811	0,968	0,963	0,789	0,956
2	RSR	1,199	0,069	0,202	0,777	0,190
3	NSE	-18,268	0,910	0,832	0,569	0,792

Vào tháng 12/2021 (mùa đông), dưới tác động của gió thì hệ thống hoàn lưu có xu hướng di chuyển từ từ bắc xuống nam. Tuy nhiên, hệ thống hoàn lưu ven biển sẽ hình thành các đặc điểm chế độ riêng biệt, có nơi dòng chảy lệch khỏi dòng chính, tạo ra các xoáy ven bờ quy mô nhỏ do tác động ảnh hưởng của địa hình và đường bờ. Ở khu vực xa bờ, hiện trường đồng đều hơn khu vực gần bờ do ảnh hưởng của thủy triều nên có sự xoay đổi hướng theo con nước triều lên xuống trong ngày.



Hình 12. Trường nồng độ rác thải nhựa tổng cộng của các loại sau 15 ngày (lúc 07 giờ ngày 30/12/2021) (a) Loại 1; b) Loại 2; c) Loại 3; d) Loại 4; e) Loại 5; g) Loại 6).

Tuy nhiên, các kết quả tính toán nồng độ rác thải nhựa trong nghiên cứu cho thấy xu hướng phát tán rác thải nhựa trong môi trường cũng được quyết định bởi hệ thống hoàn lưu này (Hình 12). Cụ thể, loại 4 cho thấy rằng sự thay đổi truyền tải nồng độ rác thải nhựa theo thời gian là đáng kể (Hình 12d). Quá trình này cho thấy nồng độ rác thải nhựa có xu hướng truyền tải từ bắc xuống nam và chạy áp sát dọc theo bờ biển. Đặc biệt, do đặc điểm hình thái đường bờ đã tạo ra hệ thống hoàn lưu dẫn đến phân bố rác thải hầu hết ở trên vịnh Đà Nẵng. Các khu vực tập trung nồng độ rác thải nhựa lớn là vịnh Đà Nẵng, khu vực nhỏ lân cận cảng cá Thọ Quang, vùng cửa Đại và theo ven bờ phía nam cửa Đại. Sự phân bố của rác thải nhựa thay đổi mạnh mẽ theo mô phỏng tương tự như tháng 7/2021.

Hơn nữa, đánh giá xem xét theo cấp độ nồng độ đầu vào khác nhau thì các kết quả tính toán sau 15 ngày cũng được thể hiện tương tự tháng 7/2021 (Hình 12). Các loại được thể hiện sự phân bố nồng độ rác thải nhựa trong không gian khá đồng nhất qua bức tranh tổng thể so sánh với loại 4. Sự phân bố này cho thấy quy luật của các quá trình biến đổi là tập trung phù hợp, không xảy ra các trường hợp khác biệt dị thường theo phân bố tỷ lệ nồng độ của nguồn đầu vào. Hình 12g thể hiện với nguồn đầu vào nồng độ lớn nhất cho thấy phân bố rác thải nhựa trong không gian sau 15 ngày khá rõ nét thông qua phân giải màu trên hình ảnh với các khu tập trung cao (màu đỏ, màu cam), trung bình (màu vàng, xanh lá cây), thấp (màu xanh nước biển) và vùng không bị ảnh hưởng.

Cần phải lưu ý rằng chưa có kịch bản nào thỏa mãn chính xác nồng độ của rác thải nhựa trong các vùng khác nhau, đặc biệt là quá trình tổng hợp các dữ liệu quan sát đo đạc chưa thống nhất và đồng nhất với nhau. Điều này có thể là do thực tế số lượng các loại đầu vào rộng rãi hơn

3.4. Thảo luận

Nghiên cứu này là một trường hợp lý tưởng từ nhiều khía cạnh. Thực tế, ô nhiễm nhựa của các biển châu Á lớn hơn một bậc so với các đại dương trên thế giới [44]. Mà do khối lượng rác thải không được quản lý tốt nên chúng thải ra các vùng biển châu Á là lớn nhất trên thế giới [45].

Ô nhiễm nhựa biển là ngày càng gia tăng gây ra sức ép đối với môi trường. Do tác động ảnh hưởng bất lợi nghiêm trọng đến các hệ sinh thái biển và do chi phí rất lớn để xử lý ô nhiễm này nhằm làm sạch các bãi biển [1]. Tuy nhiên, cần có chung tay góp sức của cộng đồng và một bước tiến đột phá trong nghiên cứu sẽ cải thiện chất lượng thông tin có sẵn về ô nhiễm rác thải biển, đòi hỏi tiêu chuẩn hóa các bộ dữ liệu [29].

Các công trình nghiên cứu ở nhiều nước về rác thải nhựa như nghiên cứu phân tán trên toàn đại dương do sóng đổ ra và sinh hoạt người dân ven biển [46], nghiên cứu vùng biển Nhật bản do tác động sóng, gió và dòng chảy mặt [47], vùng biển Ấn Độ Dương [48], toàn đại dương [49]. Tuy nhiên, hiện nay có rất ít ấn phẩm liên quan tính toán mô phỏng phân bố trong không gian ở Việt Nam. Gần đây, nghiên cứu rác thải nhựa chủ yếu theo dạng khảo sát và phân tích thu thập mẫu xác định các nguồn và phân loại ở ven biển Thanh Hóa [42], trên sông Sài Gòn Đồng Nai [50], trên sông Hương [51], một số vị trí ở thành phố Đà Nẵng [52], .v.v. Nhưng đối với bài toán truyền tải hay lan truyền khuếch tán của rác thải nhựa trong không gian biển đổi theo thời gian được nhắc đến còn rất hạn chế. Kết quả tính toán được chứng minh truyền tải rác thải nhựa bằng phân bố nồng độ thay đổi theo thời gian do tác động hoạt động thủy động lực tại khu vực cửa sông và ven bờ Đà Nẵng–Quảng Nam.

4. Kết luận

Trong bài báo này, bài toán truyền tải rác thải nhựa được nghiên cứu với các đầu vào giả định 06 loại nguồn gốc rác thải nhựa khác nhau áp dụng với khu vực của sông ven bờ Đà Nẵng–Quảng Nam theo điều kiện thực tế của tháng 7/2021 và tháng 12/2021 bằng

phương pháp tiếp cận Lagrange (theo dõi hạt di chuyển). Công cụ tính toán là mô hình MIKE 21/3 Couple FM (HD và PT) với điều kiện đầu vào thực (gió, mực nước, thủy triều). Các kết quả đánh giá hiệu chỉnh và kiểm nghiệm theo số liệu mực nước so sánh giữa tính toán và quan trắc thực đo theo các chỉ số thông dụng đảm bảo độ chính xác cao. Dự trên bộ thông số của mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm tin cậy. Sau đó, tiến hành tính toán mô phỏng các kịch bản (tháng 7/2021 và tháng 12/2021) đối với 06 loại rác thải nhựa cụ thể: Đối với tháng 7/2021 (đại diện mùa hè), nồng độ rác thải nhựa phân bố chủ yếu ở một số khu vực ven bờ phía Tây Bắc vịnh Đà Nẵng, vùng lân cận cảng cá Thọ Quang và rải rác dải ven bờ từ bán đảo Sơn Trà đến khu vực cửa sông cửa Đại. Ngược lại, tháng 12/2021 (đại diện mùa đông), sự phân bố tập trung rác thải nhựa mạnh hơn, rộng hơn như toàn bộ vịnh Đà Nẵng, vùng biển cửa Đại và kéo dài dọc theo bờ biển về phía Nam. Các yếu tố đầu vào là chế độ thủy động lực sẽ quyết định việc phân bố nồng độ rác thải ở vùng cửa sông ven bờ và vùng biển xa của khu vực nghiên cứu.

Tóm lại, đây chỉ là kết quả nghiên cứu tính toán ban đầu vẫn chưa thể hiện được hết các đặc trưng ven bờ và cửa sông; thời gian hiệu chỉnh và kiểm nghiệm vẫn còn hạn chế; đặc biệt là đầu vào rác thải nhựa chưa được cụ thể hóa thay đổi theo thời gian; hàm lượng của các nguồn phát thải rác nhựa là đồng nhất; và tính chất các quá trình biến đổi và tương tác về vật lý, hóa học và sinh học trong hệ sinh thái tương tác với nhau chưa được thể hiện rõ nét. Nên khu vực này vẫn cần có những nghiên cứu cụ thể và sâu hơn để thể hiện lột tả được bức tranh tổng thể hơn và ứng dụng cho các vấn đề liên quan khác.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.Q. Trinh, Đ.Đ. Châm; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.Q. Trinh, Đ.Đ. Châm, H.H. Giang.; Xử lý số liệu: H.T. Bình, L.Đ. Hạnh., N.T. Sơn, Đ.T. Thảo, L.T. Hưng, H.H. Giang, N.Q. Vinh.; Viết bản thảo bài báo: N.Q. Trinh, Đ.Đ. Châm, H.H. Giang; Chỉnh sửa bài báo: N.Q. Trinh, N.Q. Vinh.

Lời cảm ơn: Tác giả xin chân thành cảm ơn đề tài cơ sở chọn lọc cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam với mã số đề tài CSCL 10.01/22–22 do TS. Nguyễn Quốc Trinh làm chủ nhiệm, Viện Địa lý – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam là cơ quan chủ trì đã hỗ trợ, cung cấp cơ sở dữ liệu để thực hiện bài báo này.

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

Tài liệu tham khảo

1. Napper, I.E.; Thompson, R.C. Plastic debris in the marine environment: history and future challenges. *Global Chall.* **2020**, *4*, 1900081. <https://doi.org/10.1002/gch2.201900081>.
2. Lebreton, L.C.M.; Slat, B.; Ferrari, F.; Sainte–Rose, B.; et al. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Nat. Sci. Rep.* **2018**, *8*, 4666. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>.
3. Hale, R.; Seeley, M.; la Guardia, M.; Mai, L.; Zeng, E. A global perspective on microplastics. *J. Geophys. Res–Oceans* **2020**, *125*. <https://doi.org/10.1029/2018JC014719>.
4. Plastics Europe Plastics–the Facts 2020. An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. 2020, pp. 44. Available online: <http://www.Plast.org> (accessed on 20 December 2021).
5. Kane, I.; Clare, M.; Miramontes, E.; Wogelius, R.; Rothwell, J.; Garreau, P.; Pohl, F. Seafloor microplastic hotspots controlled by deep–sea circulation. *Science* **2020**, *368*, 1140–1145. <https://doi.org/10.1126/science.aba5899>.
6. Seltenrich, N.E. New Link in the Food Chain? Marine Plastic Pollution and Seafood Safety. *Environ. Health Perspect.* **2016**, *124*, A123.

7. Andrady, A.L. The plastic in microplastics: A review. *Mar. Pollut. Bull.* **2017**, *119*, 12–22.
8. Cho, Y.; Shim, W.J.; Jang, M.; Han, G.M.; Hong, G.M. Nationwide monitoring of microplastics in bivalves from the coastal environment of Korea. *Environ. Pollut.* **2021**, *270*, 116175. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116175>.
9. MacLeod, M.; Arp, H.P.H.; Tekman, M.B.; Jahnke, A. The global threat from plastic pollution. *Science* **2021**, *373*(6550), 61–65. <https://doi.org/10.1126/science.abg5433>.
10. Senathirajah, K.; Attwood, S.; Bhagwat, G.; Carbery, M.; Wilson, S.; Palanisami, T. Estimation of the mass of microplastics ingested—A pivotal first step towards human health risk assessment. *J. Hazard. Mater.* **2021**, *404*, 124004.
11. Liu, J.; Zhu, X.; Teng, J.; Zhao, J.; Li, C.; Shan, E.; Zhang, C.; Wang, Q. Pollution characteristics of microplastics in mollusks from the coastal area of Yantai, China. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **2021a**, *107*, 693–699. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03276-7>.
12. Minh, N.Đ. Rác thải nhựa trong môi trường biển tại Quảng Bình: Nguồn gốc, tồn tại và ảnh hưởng Tuyển tập báo cáo “Ô nhiễm rác thải nhựa trên biển Việt nam”, Hội thảo khoa học quốc tế, Viện Tài nguyên và Môi trường, Đại học quốc gia Hà Nội, 2019, 67–74.
13. Hien, H.T.; H.T Lan.; Trang, T.D.M.; Cuc, N.T.T.; Sen, T.M.; Long, N.T. Initial results of microplastics on the sediment surface in the Balat river mouth, Northern Vietnam. Proceedings of international workshop for marine plastic pollution in vietnam: Current situation and solutions, Hanoi, **2019**, 130–138.
14. Trang, N.T.; Hiền, B.T.T.; Cường, C.T. Bước đầu đánh giá hiện trạng ô nhiễm rác thải nhựa tại một số bãi biển Việt Nam. *Tap chí Môi trường* **2020**, *6*, 30–31.
15. Nghi, D.T. et al. A study of microplastic pollution in Cua Luc bay. *Vietnam J. Mar. Sci. Technol.* **2020**, *20*(4B), 139–146. <https://doi.org/10.15625/1859-3097/15834>.
16. Lim, D.T. et al. Preliminary assessment of marine debris pollution and coastal water quality on some beaches in Thanh Hoa province, Vietnam. *Vietnam J. Mar. Sci. Technol.* **2021**, *21*(3), 327–338. <https://doi.org/10.15625/1859-3097/15951>.
17. Cham, D.D. et al. Distribution and characteristics of microplastics in surface water at some beaches in Thanh Hoa province, Viet Nam. *VN J. Catal. Adsorption* **2021**, *10*(1), 193–200.
18. Masry, M.; Rossignol, S.; Gardette, J.L.; Therias, S.; Bussi`ere, P.O.; Wong–Wah–Chung, P. Characteristics, fate, and impact of marine plastic debris exposed to sunlight: A review. *Mar. Pollut. Bull.* **2021**, *171*, 112701. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112701>.
19. Browne, M.; Galloway, T.; Thompson, R. Microplastic—an emerging contaminant of potential concern? *Integr. Environ. Asses.* **2010**, *3*, 559–566. <https://doi.org/10.1002/ieam.5630030412>.
20. Liu, M.; Ding, Y.; Huang, P.; Zheng, H.; Wang, W.; Ke, H.; Chen, F.; Liu, L.; Cai, M. Microplastics in the western Pacific and South China Sea: spatial variations reveal the impact of Kuroshio intrusion. *Environ. Pollut.* **2021b**, *288*, 117745. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117745>.
21. Cai, M.; Liu, M.; Qi, H.; Cui, Y.; Zhang, M.; Huang, P.; Wang, L.; Xie, M.; Li, Y.; Wang, W.; Ke, H.; Liu, F. Transport of microplastics in the South China Sea: a review. *Gondwana Res.* **2021**, *S1342–937X*(21), 00351–00358. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.12.003>.
22. Fu, D.; Zhang, Q.; Fan, Z.; Qi, H.; Wang, Z.; Peng, L. Aged microplastics polyvinyl chloride interact with copper and cause oxidative stress towards microalgae

- Chlorella vulgaris*. *Aquat. Toxicol.* **2019**, 216, 105–319. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105319>.
23. Huan, N.M.; Trinh, N.Q. Object drift forecast in the ocean the Leeway numerical method. International Conference on Bien Dong 2012, 90 years of marine science in Vietnamese and adjacent waters. NhaTrang City, Vietnam.
 24. Trinh, N.Q.; Huan, N.M.; Hieu, P.D.; Toan, D.V. Simulation for object drift forecast in the East Vietnam Sea by the Leeway numerical method. Proceedings of the 14th Asian Congress Fluid Mechanics, Volum2, October 15–19, 2013. Hanoi–Halong, Vietnam.
 25. Trinh, N.Q.; Huân, N.M.; Hiều, P.Đ.; Toán, D.V. Mô phỏng chuyển động trôi của vật thể trên biển Đông bằng phương pháp số. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 640, 39–45.
 26. Trinh, N.Q. Nghiên cứu và phát triển mô phỏng lan truyền và biến đổi dầu tại khu vực Biển Đông. *Tap chí Dầu khí* **2017**, 8, 51–59.
 27. Trinh, N.Q.; Vinh, N.Q. Nghiên cứu và phát triển mô phỏng dầu tràn ngược thời gian trên khu vực Biển Đông. *Tap chí Dầu khí* **2018**, 2, 60–68.
 28. Long, B.T.; Diem, T.T.L. Assessing marine environmental carrying capacity in semi-enclosed coastal areas – Models and related databases. *Sci. Total Environ.* **2022**, 838, 156043. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156043>.
 29. Galgani, F.; Brien, A.S.; Weis, J. et al. Are litter, plastic and microplastic quantities increasing in the ocean?. *Micropl. Nanopl.* **2021**, 1, 2. doi:<https://doi.org/10.1186/s43591-020-00002-8>.
 30. van Sebille, E. et al. The physical oceanography of the transport of floatingmarine debris. *Environ. Res. Lett.* **2020**, 15, 023003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d7d>.
 31. Hardesty, B.D.; Harari, J.; Isobe, A.; Lebreton, L.C.M.; Maximenko, N.A.; Potemra, J.; van Sebille, E.; Vethaak, A.D.; Wilcox, C. Using numerical model simulations to improve the understanding of micro-plastic distribution and pathways in the marine environment. *Front. Mar. Sci.* **2017**, 4, 30. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00030>.
 32. van Sebille, E.; Griffies, S.M.; Abernathy, R.; Adams, T.P.; Berloff, P.; Biastoch, A.; Blanke, B.; Chassignet, E.P.; Cheng, Y.; Cotter, C.J.; Deleersnijder, E. Do “os,” K., Drake, H.F., Drijfhout, S., Gary, S.F., Heemink, A.W., Kjellsson, J., Koszalka, I.M., Lange, M., Lique, C., MacGilchrist, G.A., Marsh, R., Mayorga Adame, C.G., McAdam, R., Nencioli, F., Paris, C.B., Piggott, M.D., Polton, J.A., Rùhs, S., Shah, S.H., Thomas, M.D., Wang, J., Wolfram, P.J., Zanna, L., Zika, J.D., 2018. Lagrangian ocean analysis: fundamentals and practices. *Ocean Model.* **2018**, 121, 49–75. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2017.11.008>.
 33. Bình, H.T.; Châm, Đ.Đ.; Thảo, Đ.T.; Hạnh, L.Đ.; Sơn, N.T.; Huân, N.M.; Trinh, N.Q. Nghiên cứu các quá trình thủy động lực tích hợp (sóng, dòng chảy và mực nước) bằng MIKE 21/3 coupled model FM vùng biển Đà Nẵng. *Tap chí khí tượng thủy văn* **2022**, 735, 1–11. Doi:10.36335/VNJHM.2022(735).1-11.
 34. Thông tin của Đà Nẵng. **2022**. https://danang.gov.vn/gop-y-do-an/chi-tiet?id=3009&_c=94677463.
 35. Thông tin của Quảng Nam, **2022**. https://quangnam.gov.vn/webcenter/portal/ubnd/pages_tin-tuc/chi-tiet?dDocName=PORTAL072221.
 36. DHI. MIKE 21/3 Couple Model FM, User Guide. DHI, **2019a**.
 37. DHI. Hydrodynamic and Transport Module, MIKE 21/3 Couple Model FM, Scientific Documentation. DHI, **2019b**.

38. DHI. Particle Tracking Module, MIKE 21/3 Couple Model FM, Scientific Documentation. DHI, **2019c**.
39. Huấn, N.M.; Trinh, N.Q. Quy chuẩn hệ cao độ phục vụ lồng ghép bản đồ lục địa và bản đồ biển. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2009**, 582, 19–26.
40. DHI. MIKE 21 TOOLBOX, User Guide. DHI, **2019d**.
41. NOAA, 2022. <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/index.html>.
42. Dũng, L.V.; Dực, T.H.; Hà, N.T.H.; Tùng, N.D.; Tuệ, N.T.; Hiếu, P.V.; Định, N.Q.; Nhuận, M.T. Nghiên cứu phương pháp xác định hạt vi nhựa trong môi trường trầm tích bãi triều ven biển, áp dụng thử nghiệm tại xã Đa Lộc, huyện Hậu Lộc, tỉnh Thanh Hóa. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 715, 1–12. [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2020\(715\).1-12](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2020(715).1-12).
43. Harris, P.T. The fate of microplastic in marine sedimentary environments: A review and synthesis. *Mar. Pollut. Bull.* **2020**, 158, 111398. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111398>.
44. Isobe, A.; Tokai, T.; Uchida, K.; Iwasaki, S. East Asian seas, a hot spot of pelagic microplastics. *Mar. Pollut. Bull.* **2015**, 101, 618–623. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.10.042>.
45. Jambeck, J.R.; Geyer, R.; Wilcox, C.; Siegler, T.R.; Rerryman, M.; Andrady, A.; Narayan, R.; Law, K.L. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* **2015**, 347, 768–771.
46. Chenillat, F.; Huck, T.; Maes, C.; Grima, N.; Blanke, B. Fate of floating plastic debris released along the coasts in a global ocean model. *Mar. Pollut. Bull.* **2021**, 165, 112116. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112116>.
47. Iwasaki, S.; Isobe, A.; Kako, S.; Uchida, K.; Tokai, T. Fate of microplastics and mesoplastics carried by surface currents and wind waves: A numerical model approach in the Sea of Japan. *Mar. Pollut. Bull.* **2017**, 121, 85–96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.057>.
48. Qi, H.; Li, H.; Meng, X.; Peng, L.; Zheng, H.; Wang, L.; Wang, W.; Chen, K.; Zhang, J.; Zhang, H.; Cai, M. Fate of microplastics in deep-sea sediments and its influencing factors: Evidence from the Eastern Indian Ocean. *Sci. Total Environ.* **2022**, 828, 154266. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154266>.
49. Evangelidou, N.; Tichý, O.; Eckhardt, S.; Zwaafink, C.G.; Brahney, J. Sources and fate of atmospheric microplastics revealed from inverse and dispersion modelling: From global emissions to deposition. *J. Hazard. Mater.* **2022**, 432, 128585. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128585>.
50. Phú, H.; Hân, H.T.N.; Thảo, N.L.N.; Đông, Đ.V.; Hân, T.G. Nghiên cứu mức độ ô nhiễm vi nhựa trong nước và trầm tích sông Sài Gòn – Đồng Nai. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 731, 69–81. [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2021\(731\).69-81](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2021(731).69-81).
51. Tuan, T.N.; Long, N.D.H.; Hieu, D.V.; Thang, L.V. Current state of waste plastic on the Huong river bed, Hue city. Proceedings of international workshop for marine plastic pollution in vietnam: Current situation and solutions, Hanoi, 2019, 45–54.
52. Manh, D.V.; Thao, L.T.X.; Ngo, V.D.; Thom, D.T. Distribution and occurrence of microplastics in wastewater treatment plants. *Envi. Tech. Inno.* **2022**, 26, 102286. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102286>.

Application of 2D models for the problem of plastic waste transmission to seasonal characteristics in the Danang–Quang Nam sea

Nguyen Quoc Trinh^{1,2*}, Dao Dinh Cham^{1,2}, Hoang Thai Binh¹, Dao Thi Thao¹, Le Duc Hanh¹, Nguyen Thai Son¹, Le Trung Hung³, Hoang Ha Giang⁴, Nguyen Quang Vinh⁵

¹ Institute of Geography, Vietnam Academy of Science and Technology (VAST), No. 18, Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Ha Noi; nqtrinh@ig.vast.vn; maitrinhvinh@gmail.com; chamvdl@gmail.com; hoangthaibinh@yahoo.com; thaodt010@wru.vn; hanhvdl@gmail.com; nguyenthaison99@gmail.com

² Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology (VAST), No. 18, Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Ha Noi; nqtrinh@ig.vast.vn; maitrinhvinh@gmail.com; chamvdl@gmail.com

³ Vietnam Hydro-meteorological Data and Information Center, Vietnam Meteorological and Hydrological Administration (VNMHA), MONRE, No 8, Phao Dai Lang, Dong Da, Ha Noi; hungtntl@gmail.com

⁴ Thai Nguyen University of Sciences, Tan Thinh Ward, Thai Nguyen City, Thai Nguyen; hoanghagianghl@gmail.com

⁵ Aero-Meteorological Observatory (AMO), Vietnam Meteorological and Hydrological Administration (VNMHA), MONRE, No 8, Phao Dai Lang, Dong Da, Ha Noi; vinhk46da@yahoo.com

Abstract: In this study, a two-dimensional model is used to solve the problem of plastic waste transmission in the coastal estuary area of Da Nang–Quang Nam by DHI's MIKE 21/3 Couple Model FM model using hydrodynamic components (HD) and Particle Tracking (PT) applied to the problem of plastic waste transmission. Calculation results are calibrated, tested and simulated based on comparative assessment of water level factors between calculated and observed at hydrological stations (Cam Le, Cau Lau and Hoi An), marine-hydrometeorological stations. (Son Tra and Dung Quat) period 2018–2022. These results are evaluated according to the correlation index (R) greater than 0.9, the NSE index greater than 0.74 and the RSR index less than 0.2. From the calculation results of plastic waste transmission, there are seasonal fluctuations with specific typical months such as July 2021 (summer) with a tendency to move from South to North, December 2021 (winter) with a tendency to move from South to North. direction of movement from North to South. The calculation results show that it is possible to develop further studies with more realistic input conditions.

Keywords: Plastic waste; MIKE 21/3 Couple; Water Level; Da Nang; Quang Nam.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu, chế tạo và thử nghiệm thiết bị đo mực nước tự động không tiếp xúc bằng công nghệ radar

Trần Quang Ngọc^{1*}, Nguyễn Minh Hải¹, Trần Văn Tuấn², Vũ Ngọc Linh³

¹ Trung tâm Quan trắc khí tượng thủy văn; tqngoc@gmail.com

² Công ty trách nhiệm hữu hạn khoa học và công nghệ Sonrad; vtuan72@gmail.com

³ Vụ Quản lý dự báo khí tượng thủy văn; vnlinh@monre.gov.vn

*Tác giả liên hệ: tqngoc@gmail.com; Tel: +84-913554906

Ban Biên tập nhận bài: 12/10/2022; Ngày phản biện xong: 22/11/2022; Ngày đăng bài: 25/11/2022

Tóm tắt: Hiện nay, các thiết bị đo tự động trên mạng lưới quan trắc khí tượng thủy văn hầu như phụ thuộc hoàn toàn vào thiết bị ngoại nhập, việc nghiên cứu, chế tạo, tiến tới làm chủ công nghệ sản xuất thiết bị đo tự động khí tượng thủy văn là rất cần thiết. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu, chế tạo và thử nghiệm thiết bị đo mực nước tự động theo nguyên lý đo không tiếp xúc bằng công nghệ radar. Dựa trên nghiên cứu lý thuyết về nguyên lý hoạt động của radar đo mực nước, thuật toán phân tích phổ FFT (*Fast Fourier Transform*) và thuật toán tìm đỉnh chính xác (*Peak detection*), kết hợp với các hoạt động thiết kế, chế tạo điện tử, nghiên cứu đã sản xuất thành công thiết bị đo mực nước không tiếp xúc theo nguyên lý radar sử dụng sóng điều tần liên tục (*Frequency Modulated Continuous Wave*). Thiết bị đo sử dụng sóng tần số 60GHz có thể đo mực nước từ 0,5 đến 40 m, độ phân giải cho phép đo được tới 0,001 m, độ chính xác của thiết bị sau quá trình thử nghiệm là $\pm 0,003$ m. Thiết bị đã được Trung tâm Quan trắc khí tượng thủy văn kiểm định và cấp giấy chứng định đạt yêu cầu kỹ thuật đo lường.

Từ khóa: Đo mực nước tự động; Chế tạo radar đo mực nước; FMCW radar đo mực nước.

1. Mở đầu

Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của kỹ thuật điện tử, viễn thông và công nghệ thông tin, các thiết bị phục vụ quan trắc, giám sát các yếu tố khí tượng thủy văn ngày một trở nên hiện đại, cho phép thực hiện các phép đo liên tục, có độ chính xác rất cao, tự động truyền tín hiệu theo thời gian thực, góp phần nâng cao chất lượng dữ liệu phục vụ công tác giám sát, dự báo, cảnh báo khí tượng thủy văn [1].

Thực hiện chiến lược tự động hóa, hiện đại hóa ngành khí tượng thủy văn, nâng cao năng lực cho hệ thống quan trắc hỗ trợ dự báo và cảnh báo thiên tai, trong những năm qua mạng lưới trạm quan trắc khí tượng thủy văn đang dần thay thế các thiết bị quan trắc thủ công bằng các thiết bị quan trắc hiện đại, tự động quan trắc thông qua các dự án đầu tư của Nhà nước, các khoản viện trợ ODA. Tuy nhiên, các dự án hầu hết đều đầu tư qua hình thức mua sắm thiết bị của một số hãng chuyên sản xuất thiết bị đo khí tượng thủy văn ở nước ngoài (từ Mỹ, Phần Lan, Hàn Quốc, Trung Quốc...) do trong nước hiện tại chưa có hãng nào sản xuất hay lắp ráp [2]. Việc phụ thuộc vào thiết bị ngoại nhập, với chi phí mua sắm cao, nên hầu như các trạm không được đầu tư thiết bị dự phòng, dẫn tới quan trắc bị gián đoạn nếu thiết bị gặp sự cố hoặc trong thời gian bảo trì, bảo dưỡng.

Những năm gần đây, các nghiên cứu, chế tạo chế tạo thiết bị quan trắc khí tượng thủy văn ở nước ta cũng đã bắt đầu xuất hiện, một số nghiên cứu nổi bật như chế tạo thiết bị quan trắc lưu lượng nước [3], quan trắc độ mặn [4], bước đầu đã chế tạo thành công một số thiết bị

Tạp chí Khí tượng Thủy văn 2022, 743, 52-60; doi:10.36335/VNJHM.2022(743).52-60 <http://tapchikittv.vn>

quan trắc tự động. Tuy nhiên, phần đa các nghiên cứu, chế tạo tập trung vào sản xuất các thiết bị phụ trợ như mô đun hỗ trợ các trạm quan trắc tự động [5], mô đun chuyển đổi dữ liệu quan trắc thủ công sang tự động truyền dữ liệu [6], bộ tích hợp và truyền dữ liệu [7]. Hiện vẫn chưa có nhiều các nghiên cứu, chế tạo các thiết bị quan trắc hiện đại, sử dụng công nghệ cao, ví dụ như radar đo mực nước tự động.

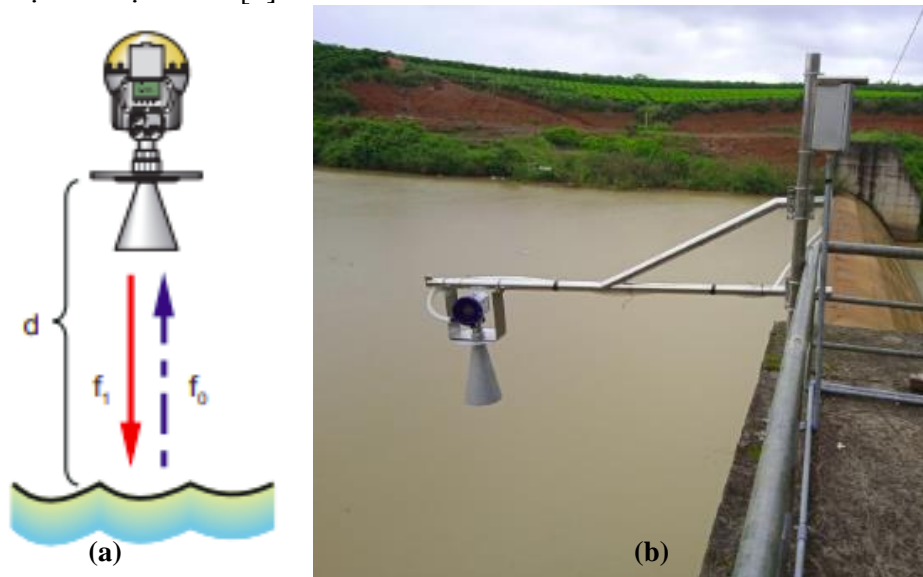
Để góp phần giảm bớt sự phụ thuộc vào công nghệ quan trắc của nước ngoài, thông qua hoạt động nghiên cứu nguyên lý phản xạ của sóng điện từ, cấu trúc, tính năng và các thuật toán của radar đo mực nước, nhóm nghiên cứu đã phối hợp với Công ty trách nhiệm hữu hạn công nghệ Sonrad chế tạo thành công thiết bị quan trắc mực nước tự động. Thử nghiệm trong phòng thí nghiệm và hiện trường tại trạm thủy văn Thanh Sơn tỉnh Phú Thọ, bước đầu cho kết quả thiết bị hoạt động ổn định, sai số đảm bảo yêu cầu và được Trung tâm Quan trắc khí tượng thủy văn cấp giấy chứng định đạt yêu cầu kỹ thuật đo lường.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu công nghệ đo mực nước bằng radar

Radar (*Radio Detection and Ranging*) là việc sử dụng sóng vô tuyến để phát hiện các đối tượng trong môi trường [8]. Thiết bị radar cho phép xác định khoảng cách (phạm vi), vị trí góc (góc tới) và vận tốc. Ban đầu, công nghệ radar được sử dụng trong quân sự, nhưng hiện nay được ứng dụng rất nhiều trong các mục đích dân sự như giám sát giao thông, hàng không, hàng hải, thiên văn học, giám sát đại dương, khí tượng thủy văn, đo độ cao, quan trắc địa chất và các ứng dụng tự động khác.

Hiện nay, ứng dụng nguyên lý radar để đo mực nước rất phổ biến. Khoảng cách từ bề mặt đến thiết bị được xác định bằng mối quan hệ giữa vận tốc sóng và khoảng thời gian truyền, nhận. Radar phát tín hiệu sóng tới vuông góc với bề mặt nước, sóng phản xạ từ bề mặt chất nước sẽ được thiết bị thu lại. Khoảng thời gian từ lúc phát sóng tới khi nhận được sóng phản xạ được ghi lại, từ đó xác định được khoảng cách từ bề mặt nước đến thiết bị, qua đó xác định được độ cao mực nước [9].

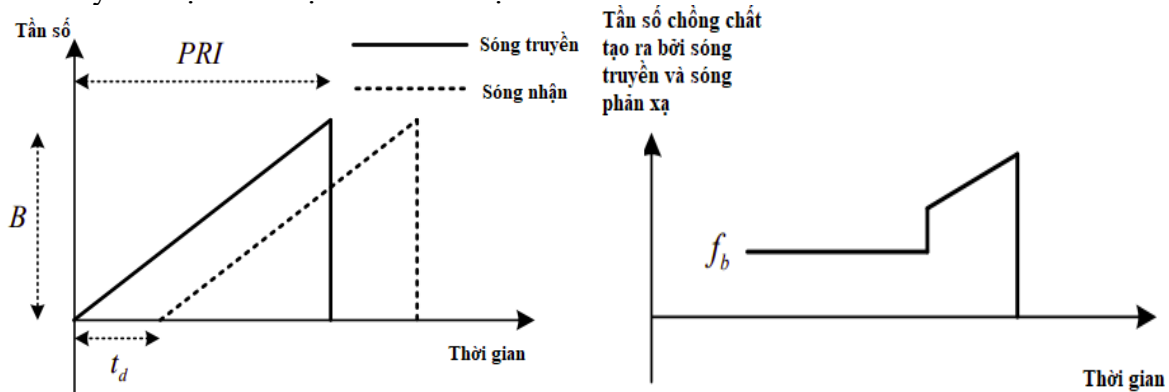


Hình 1. Minh họa thiết bị đo mực nước bằng công nghệ radar và hình ảnh thiết bị thực tế.

2.2. Nguyên lý cơ bản của radar sử dụng sóng điều tần liên tục

Radar sử dụng sóng điều tần liên tục (*Frequency Modulated Continuous Wave*) là loại radar sử dụng một loại sóng liên tục ở một tần số nhất định [10], sau đó được điều chế tần số (*Frequency modulation*) trong một khoảng thời gian T. Điều này tạo cho tín hiệu truyền đi theo một “dấu thời gian”. Tín hiệu truyền tới mục tiêu và một phần của nó được phản xạ trở

lại radar, tín hiệu phản xạ được so sánh với tín hiệu ban đầu bằng cách trộn tín hiệu và sau đó xử lý tín hiệu thu được theo sơ đồ tại Hình 2.



Hình 2. Tín hiệu radar FMCW: Tần số, thời gian truyền nhận và tần số sau khi trộn hai sóng.

Tại thời điểm “ t_0 ” radar phát ra một sóng có tần số f và vận tốc V truyền tới một bề mặt phản xạ cách điểm phát một khoảng cách R , sóng phản xạ được thu lại tại thời điểm t_n , lúc này sóng đã truyền đi được một khoảng cách là $2R$. Khi đó, công thức đơn giản tính khoảng cách giữa radar và bề mặt phản xạ là:

$$2R = VT = V(T_n - T_0) = V. \Delta T \tag{1}$$

Trường hợp sử dụng sóng điều tần liên tục ta có công thức tính khoảng cách giữa radar và bề mặt phản xạ là:

$$R = \frac{V.PRI.f_b}{2.B} \tag{2}$$

Trong đó PRI là khoảng thời gian lặp lại xung (*Pulse Repetition Interval*), V là vận tốc sóng truyền, f_b là tần số sau khi trộn giữa sóng truyền và sóng nhận, B là tần số dải băng thông điều tần [11].

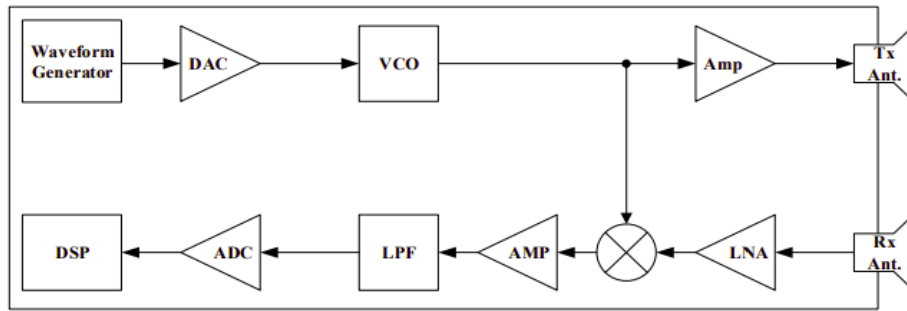
Với các giá trị V , B và PRI đã được xác định trước, khoảng cách R được xác định chính xác khi tần số sóng trộn f_b được xác định chính xác. Phương pháp phân tích phổ FFT và thuật toán tìm đỉnh chính xác (Peak detection) sẽ được ứng dụng để xác định tần số này.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Thiết kế, chế tạo phần cứng, phần mềm cho thiết bị

3.1.1. Sơ đồ khối thiết bị và thiết kế phần cứng thiết bị

Thiết bị đo mực nước bằng radar sử dụng sóng điều tần bao gồm hai bộ phận chính: (1) Mô đun phát sóng bao gồm: bộ phận tạo sóng (*Waveform Generator*) được kết nối với mạch chuyển đổi số tương tự (*DAC-Digital-to-analog converter*), mạch dao động điều khiển bằng điện áp (*VCO-Voltage controlled oscillator*) và Ăng ten phát sóng. (2) Mô đun thu sóng gồm: Ăng ten thu được kết nối với bộ khuếch đại tín hiệu tạp âm thấp (*LNA-Low-noise amplifier*), bộ lọc thông thấp có chức năng lọc các tín hiệu tần số thấp (*LPF-Low-pass filter*), bộ chuyển đổi tương tự ra số (*ADC-Analog digital converter*) và bộ xử lý tín hiệu (*DSP-Digital signal processing*) [11].

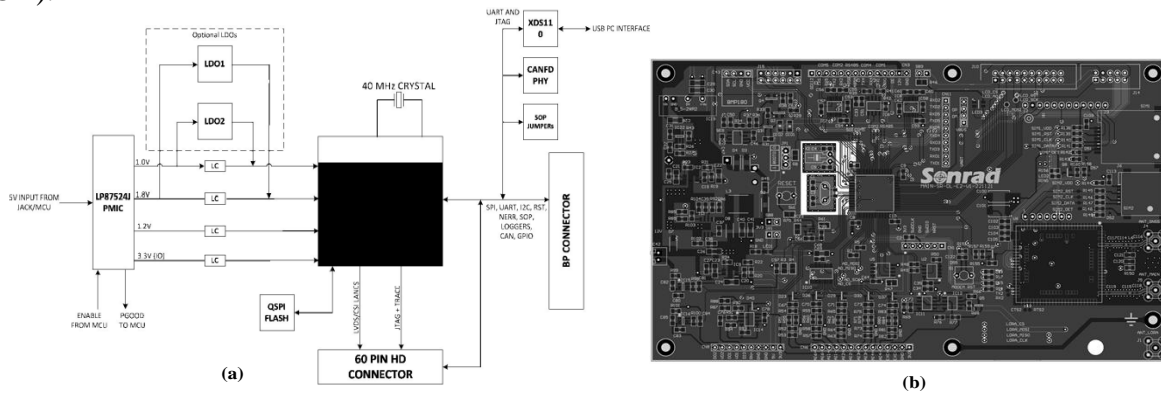


Hình 3. Sơ đồ khối của thiết bị đo mực nước bằng radar sử dụng sóng biến tần liên tục.

3.1.2. Hệ thống nhúng

Hệ thống nhúng (*Embedded system*) là một thuật ngữ để chỉ một hệ thống có khả năng tự trị được nhúng vào trong một môi trường hay một hệ thống mẹ. Đó là các hệ thống tích hợp cả phần cứng và phần mềm phục vụ các bài toán chuyên dụng trong nhiều lĩnh vực công nghiệp, tự động hoá điều khiển, quan trắc và truyền tin. Đặc điểm của các hệ thống nhúng là hoạt động ổn định và có tính năng tự động hoá cao. Hệ thống nhúng thường được thiết kế để thực hiện một chức năng chuyên biệt nào đó [12].

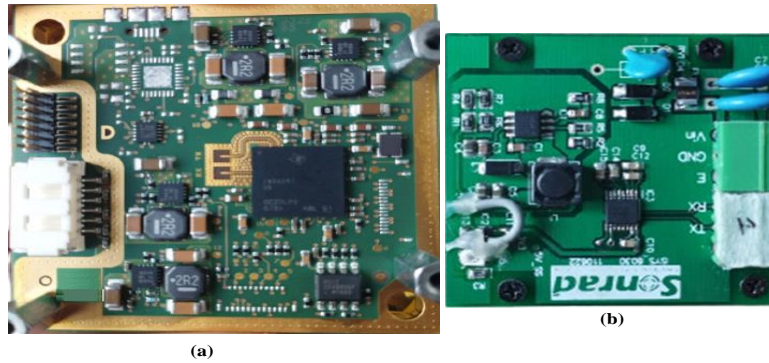
Trên cơ sở mô hình hoạt động của thiết bị phần cứng của thiết bị radar được thiết kế theo hệ thống nhúng gồm: phần cứng (gồm các bộ phận chip vi xử lý, các linh kiện điện tử, mạch kết nối connector...), phần mềm tính toán và điều khiển (được thiết kế trên ngôn ngữ lập trình C++).



Hình 4. (a) Sơ đồ khối hệ thống nhúng; (b) Thiết kế 3D của thiết bị đo mực nước bằng radar sử dụng sóng biến tần liên tục.

3.1.3. Phần cứng của thiết bị

Dựa trên thiết kế hệ thống nhúng và sơ đồ khối thiết bị, sử dụng các linh kiện điện tử của hãng Texas Instrument như: Chip đơn tích hợp AWR1243FBIGABLRQ1 là bộ thu phát FMCW có khả năng hoạt động ở băng tần 76 đến 81 GHz là thiết bị sử dụng phổ biến cho các hệ thống radar công suất thấp [13], chip xử lý tín hiệu kỹ thuật số ARM Cortex 4 có chức năng điều khiển tín hiệu kỹ thuật số [14], chip LP8752x-Q1 quản lý nguồn [15]...và các thành phần điện tử hỗ trợ kết nối khác, nghiên cứu đã chế tạo thành công phần cứng cho thiết bị radar đo mực nước (Hình 5).

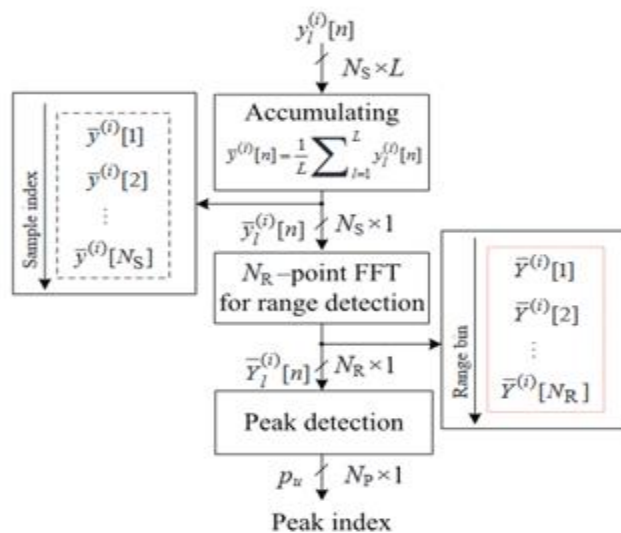


Hình 5. (a) Hình ảnh thực tế của bộ vi xử lý trung tâm; (b) Bo mạch kết nối.

3.1.4. Thuật toán và phần mềm

Cốt lõi phần mềm của thiết bị là thuật toán tính toán khoảng cách dựa trên tần số f_b (tần số sau khi trộn giữa sóng truyền và sóng nhận). Để xác định f_b , thiết bị áp dụng phương pháp phân tích phổ FFT và thuật toán tìm đỉnh chính xác (*Peak detection*) nhằm tăng độ phân giải [16–17].

Ngôn ngữ lập trình C++ được nhóm nghiên cứu sử dụng để viết phần mềm nhúng điều khiển tính toán và cấu hình thiết bị.



Hình 6. Thuật toán xác định tần số f_b để tính khoảng cách.

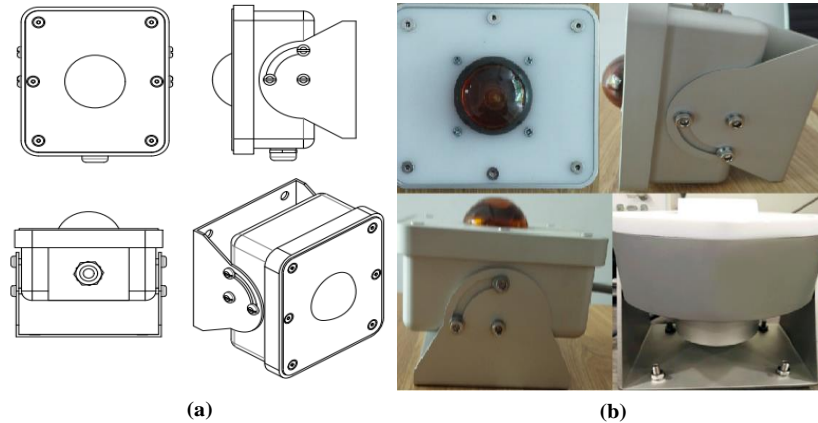
3.2. Thiết kế phần cơ khí của thiết bị

IP “*Ingress Protection*” hoặc “*International Protection*” là tên một hệ thống xếp loại cho biết khả năng bảo vệ linh kiện của các thiết bị điện tử [18]. Hệ thống xếp hạng này bao gồm kí tự chữ hoặc số, mỗi kí tự sẽ cho biết thông tin về mức độ bảo vệ đối với một tác động khác nhau (Hình 7).



Hình 7. Minh họa cấp độ bảo vệ thiết bị theo tiêu chuẩn IP.

Với chức năng đo mực nước, radar được lắp đặt ở ngoài trời, sử dụng tại khu vực sông, suối, hồ có độ ẩm cao dễ gây hỏng hóc thiết bị khi bị nước xâm nhập. Do vậy, thiết kế phần cơ khí thiết bị và sử dụng vật liệu làm vỏ thiết bị là nhôm tĩnh điện và nhựa HDPE đảm bảo thiết bị đủ tiêu chuẩn IP67. Cụ thể, theo tiêu chuẩn IP67, thiết bị có thể sử dụng được ngoài trời, chống mưa, chống bụi xâm nhập tuyệt đối (Hình 8).



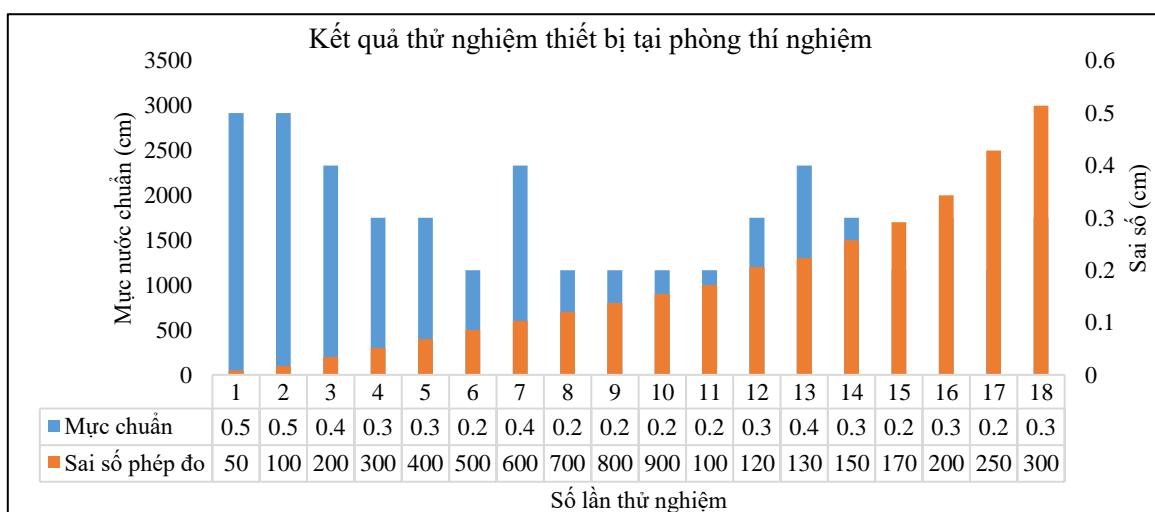
Hình 8. (a) Bản vẽ thiết kế phần cơ khí; (b) Hình ảnh thực tế của radar.

3.3. Kết quả thử nghiệm thiết bị

3.3.1. Kết quả tại phòng thí nghiệm

Để xác định được độ chính xác của thiết bị đo mực nước, nhóm nghiên cứu đã tiến hành so sánh kết quả đo của thiết bị với chuẩn mực nước hiện đang sử dụng tại phòng Thiết bị và Kiểm định của Trung tâm Quan trắc khí tượng thủy văn và kiểm tra thực tế tại trạm Thủy văn Thanh Sơn, huyện Thanh Sơn, Phú Thọ.

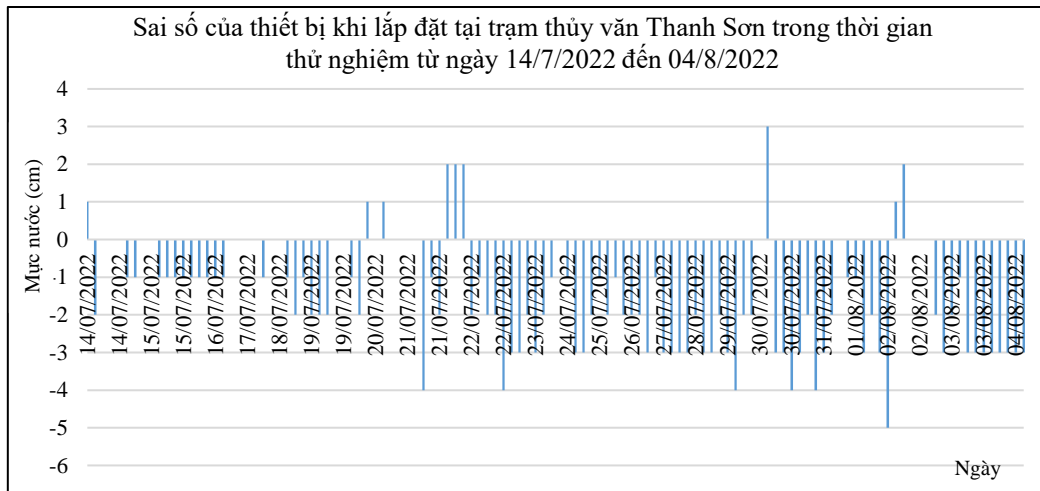
Tại phòng thí nghiệm, thiết bị được thử nghiệm 18 lần đo với các mực chuẩn được chọn từ 500 đến 3500 cm. Kết quả số liệu quan trắc có độ sai lệch trung bình so với mực chuẩn là +0,3 cm, sau 18 lần thử nghiệm kết quả đều cho mực nước thiên cao hơn so với mực chuẩn (Hình 9). So sánh với sai số của các thiết bị quan trắc mực nước bằng công nghệ radar hiện nay đang sử dụng cho thấy, thiết bị chế tạo không thua kém với các thiết bị nhập ngoại [19–22].



Hình 9. Kết quả thử nghiệm sai số đo trong phòng thí nghiệm.

3.3.2. Kết quả thử nghiệm tại hiện trường

Thiết bị được lắp đặt tại tuyến đo thủy văn của trạm thủy văn Thanh Sơn, Phú Thọ từ ngày 14 tháng 7 đến 04 tháng 8 năm 2022. Tại hiện trường, kết quả thử nghiệm có sự khác biệt với thử nghiệm trong phòng thí nghiệm, số liệu quan trắc được thiên thấp hơn so với mực nước quan trắc của trạm thủy văn, với mức sai khác dao động từ -5 đến 3 cm (Hình 10). Kết quả khác biệt này nguyên nhân do mặt sông không phải là mặt nước tĩnh như trong phòng thí nghiệm và giá trị mực nước đo bằng thủy chí thường không có độ chính xác cao.



Hình 10. Kết quả thử nghiệm sai số đo tại trạm thủy văn Thanh Sơn.

4. Kết luận

Với mục đích nghiên cứu, chế tạo và thử nghiệm thiết bị quan trắc mực nước tự động, trên cơ sở lý thuyết về phản xạ sóng điện từ, nghiên cứu đã chế tạo thành công thiết bị quan trắc mực nước tự động theo công nghệ radar sử dụng sóng biển tần liên tục. Kết quả thử nghiệm bước đầu cho thấy, sai số của thiết bị chế tạo tương đồng với sai số của các thiết bị ngoại nhập hiện đang sử dụng trên mạng lưới quan trắc khí tượng thủy văn.

Nghiên cứu đã đạt được kết quả khả quan, tuy nhiên vẫn còn nhiều điểm hạn chế như thiết bị mới chỉ được thử nghiệm trong khoảng thời gian ngắn, tại một vị trí quan trắc, cần có thời gian thử nghiệm đủ dài để khẳng định chắc chắn sai số của thiết bị đảm bảo quy chuẩn, tiêu chuẩn về sai số cho phép trong quan trắc mực nước thủy văn trước khi đưa vào quan trắc nghiệp vụ và mặt hạn chế lớn nhất là vẫn phụ thuộc vào việc mua linh kiện của nước ngoài.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: V.N.L., T.Q.N.; Lựa chọn giải pháp, đề xuất cải tiến công nghệ: T.V.T., N.M.H.; Viết bản thảo bài báo: T.Q.N.; Chỉnh sửa bài báo: V.N.L.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả cảm ơn đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ “Nghiên cứu xây dựng hệ thống cảnh báo mức nước lũ từ xa sử dụng sóng vô tuyến cho các lưu vực sông nhỏ” đã tài trợ cho nghiên cứu này và Công ty trách nhiệm hữu hạn khoa học và công nghệ Sonrad đã hỗ trợ công nghệ chế tạo thiết bị.

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. Hashim, Y.; Idzha, A.H.B.M.; Jabbar, W.A. The Design and Implementation of a Wireless Flood Monitoring System. *J. Telecommun. Electron. Comput. Eng.* **2021**, *10*(3–2), 7–11.
2. Anh, T.N.; Dũng, L.D.; Minh, L.D.; Quang, T.V.; Bình, H.T.; Bình, P.D.; Nguyễn, N.V.; Luân, N.P. Đánh giá khả năng ứng dụng công nghệ Radar quan trắc lưu lượng nước tự động tại một số các trạm thủy văn hạng I khu vực Tây Bắc và Việt Bắc. *Tạp*

- chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 729, 91–101. Doi:10.36335/VNJHM.2021(729).91-101.
3. Thắng, T.M.; Tuấn, H.A.; Tuấn, T.V. Nghiên cứu thiết kế chế tạo hệ thống quan trắc lưu lượng dòng chảy và lượng mưa hỗ trợ điều tiết an toàn hệ thống hồ thủy điện Hòa Bình. *Tap chí khoa học và công nghệ Việt Nam* **2015**, 2(7), 12–15.
 4. Sơn, B.H. Nghiên cứu bộ chuẩn SWE (Sensor Web Enablement) của OGC và áp dụng thử nghiệm xây dựng các hệ thống mạng lưới quan trắc độ mặn theo tiêu chuẩn mở quốc tế. Chương trình Quản lý và Phát triển đô thị, Sở Khoa học và Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh, 2019.
 5. Thái, T.H. Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo module phục vụ đo lường giám sát trong trạm khí tượng tự động. Viện Nghiên cứu điện tử, tin học và tự động hóa. Báo cáo Tổng kết đề tài, 2009.
 6. Khánh, D.V.; Quang, H.V. Nghiên cứu, xây dựng giải pháp tự động hóa quản lý hoạt động nghiệp vụ trạm khí tượng thủy văn và truyền tin theo thời gian thực từ các trạm khí tượng thủy văn truyền thống. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 683, 44–51.
 7. Hân, N.V.; Hà, N.V.; Tuấn, N.M. Phát triển và thử nghiệm công nghệ tự động hóa quan trắc gió. *Tap chí khoa học biến đổi khí hậu* **2018**, 8, 23-29.
 8. Alizadeh, M. FMCW Radar System. Jul 09, 2019. <https://uwaterloo.ca/centre-for-intelligent-antenna-and-radio-systems/sites/ca.centre-for-intelligent-antenna-and-radio-systems/files/uploads/files/fmcwradarsystem.pdf>.
 9. Hai, C.; Li, Y.; Wang, X. Digital Signal Processing for A Level Measurement System Based on FMCW Radar. Proceeding of the IEEE International Conference on Control and Automation, 2007, 2843–2847. Doi:10.1109/ICCA.2007.4376881.
 10. de Oliveira, L.G.; Nuss, B.; Alabd, M.B.; Diewald, A.; Pauli, M.; Zwick, T. Joint Radar–Communication Systems: Modulation Schemes and System Design. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* **2022**, 70(3), 1521–1551.
 11. Ju, Y.; Kim, S.D.; Lee, J. Development of Digital Signal Processing Module for Level Measurement Radar. Advanced Radar Technology Laboratory, Robotics Research Division, Daegu Geongbuk Institute of Science & Technology, Daegu, Korea. 2013, 1–2.
 12. Yaghmour, K. Building Embedded Linux Systems, 2006.
 13. AWR1243 Single-Chip 77- and 79-GHz FMCW Transceiver datasheet (Rev. D). <https://www.Ti.com>.
 14. ARM Cortex 4 microcontroller. <https://www.ti.com>.
 15. LP8752x-Q1 10-A Buck Converter With Integrated Switches datasheet. <https://www.Ti.com>.
 16. Colak, A.M.; Manabe, T.; Shibata, Y.; Kurokawa, F. Peak Detection Implementation for Real–Time Signal Analysis Based on FPGA. *Circuits Syst.* **2018**, 9, 148–167.
 17. Bialer, O.; Jonas, A.; Tom Tire, T. Code design for Automotive MIMO Radar, EUSIPCO. 2021. ISBN: 978-9-0827-9706-0.
 18. IP Rating Chart. <https://www.dsmt.com/resources/ip-rating-chart/>.
 19. Vaisala. QHR104 Radar Water Level Sensor. <https://www.vaisala.com>.
 20. SUTRON. Radar Level Sensor (RLS) CSI Specifications. <https://www.sutron.com>.
 21. SUTRON. Laboratory and Field Tests of the Sutron RLR-0003-1 Water Level Sensor. <https://www.sutron.com>.
 22. Cambellsientific. Sonic ranging sensor. <https://www.campbellsci.eu/>.

Research, manufacture and test automatic non–contact water level measuring device using radar technology

Tran Quang Ngoc^{1*}, Nguyen Minh Hai¹, Tran Van Tuan², Vu Ngoc Linh³

¹ Center for Hydrometeorological Observation; tqngoc@gmail.com

² Sonrad Science and Technology Co., Ltd; vtuan72@gmail.com

³ Department of Hydrometeorological Forecasting Management; vnlinh@monre.gov.vn

Abstract: Currently, automatic measuring devices on the hydrometeorological monitoring network of Vietnam almost completely depend on imported equipment, research, manufacture, and progress to mastering the technology of automatic measurement equipment production. hydrometeorology is essential. This paper presents the results of research, manufacture and testing of automatic water level measuring device according to the principle of non-contact measurement by radar technology. Based on theoretical research on the operating principle of water level radar, FFT (Fast Fourier Transform) spectrum analysis algorithm and Peak detection algorithm, combined with design and fabrication activities. In order to create electronics, the research has successfully built a water level radar (type FMCW radar). Water level radar using 60GHz frequency wave can measure water level from 0.5 to 40 m, resolution 0.001 m, accuracy of device after testing is ± 0.003 m. This equipment has been tested and certified by the Center for hydrometeorological observation and has met the metrological requirements.

Keywords: Automatic water level measurement; Fabrication of water level radar; FMCW water level radar.

Bài báo khoa học

Đặc điểm hoạt động của bão trên biển đông khi có ảnh hưởng của gió mùa

Chu Thị Thu Hường^{1*}, Trần Đình Linh¹, Nguyễn Bình Phong¹, Đoàn Thị Thanh Thanh Huyền¹, Thào Thị Dự¹

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội; ctthuong@hunre.edu.vn; tdlinh@hunre.edu.vn; nbphong@hunre.edu.vn; doanhuyen2209@gmail.com; dohunre.160300@gmail.com

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

Ban Biên tập nhận bài: 2/10/2022; Ngày phản biện xong: 23/11/2022; Ngày đăng bài: 25/11/2022

Tóm tắt: Những đặc điểm về tần suất, cường độ, quỹ đạo bão hoạt động trên biển Đông khi chịu tác động của các hệ thống gió mùa đã được xác định dựa trên bộ số liệu bão trong thời kỳ 1981–2020 được cung cấp bởi Cơ quan khí tượng Nhật Bản (JMA). Qua đó thấy rằng, bão trên Biển Đông thường hoạt động kết hợp với gió mùa mùa hè (GMMH) trong các tháng tháng chính hè (chiếm 45,3%); hay kết hợp với KKL trong các tháng mùa đông (chiếm 30,3%); còn trong các tháng đầu và cuối đông thì kết hợp đồng thời với cả hai hệ thống GMMH và KKL (chiếm 24,4%). Các cơn bão chỉ chịu tác động của riêng KKL hoặc GMMH thường có cường độ yếu hơn (cấp 8, cấp 9). Song khi bão chịu tác động đồng thời của cả KKL và GMMH thì cường độ bão tăng lên với nhiều cơn bão đạt cấp siêu bão. Bão thường di chuyển theo hướng tây bắc (khi chịu ảnh hưởng của các hệ thống gió mùa, nhất là GMMH) và di chuyển theo hướng tây và tây nam (khi bão hoạt động kết hợp với KKL hoặc đồng thời cả KKL và GMMH). Sau một thời gian hoạt động trên biển Đông, bão thường đổi hướng di chuyển xuống phía nam (khi chịu ảnh hưởng của KKL), nhưng lại đổi hướng đi lên phía bắc (khi chịu ảnh hưởng của GMMH hoặc kết hợp cả KKL và GMMH).

Từ khóa: Bão; Không khí lạnh; Gió mùa mùa hè; Cường độ và quỹ đạo bão.

1. Đặt vấn đề

Như chúng ta đã biết, xoáy thuận nhiệt đới (XTNĐ) hay bão là một trong những hiện tượng thiên tai có sức tàn phá lớn, gây ảnh hưởng không nhỏ đến kinh tế, xã hội và con người. Trên Biển Đông, bão thường hoạt động từ tháng 3 đến tháng 12 [1], song mùa bão thường kéo dài từ tháng 5 đến tháng 12 [2] hay từ tháng 6 đến tháng 11 [3–4] với tần suất lớn hơn trong các tháng 8, 9 và 10 [1, 3]. Hàng năm, khoảng 10 đến 12 XTNĐ hoạt động trên Biển Đông và ảnh hưởng đến Việt Nam [3]. XTNĐ hình thành trên biển Tây Bắc Thái Bình Dương (TBTBD) chiếm 53% [5] hoặc 67% [3], còn hình thành trên Biển Đông chiếm khoảng 47% [5] hoặc 33% [3]. Bão có mật độ lớn nhất ở khu vực giữa và bắc Biển Đông và ít nhất trên vùng biển từ Bình thuận tới Cà Mau [6]. Trong những năm gần đây, số ngày có bão và mật độ bão trên Biển Đông [7] và TBTBD đều giảm [6], song số XTNĐ có cường độ mạnh trên cấp 13 lại gia tăng [7]. XTNĐ có tần suất lớn nhất ở biển Trung Trung Bộ (trong thời gian từ tháng 6 đến tháng 10) và giảm khoảng 0,1 đến 0,2 cơn trên vùng Bắc Biển Đông. Chúng hoạt động chủ yếu ở biển Nam Trung Bộ (trong tháng 11 và 12). Hơn nữa, các XTNĐ ảnh hưởng đến Việt Nam thường có quỹ đạo hướng từ WNW đến WSW [8]. Cường độ XTNĐ hình

thành trên khu vực Biển Đông thường yếu hơn trên biển TBTBD [3, 9]. XTND hoạt động trên khu vực Biển Đông có tới 66% đạt cường độ bão (cấp 8 đến 11), 26% đạt cường độ bão mạnh (cấp 12 đến 13) và chỉ có 8% đạt cường độ bão rất mạnh (cấp 14 đến 15) [9].

Cùng với bão và những hiện tượng thời tiết cực đoan, gió mùa là một trong những hệ thống hoàn lưu quy mô lớn, có ảnh hưởng không nhỏ đến thời tiết, khí hậu Việt Nam. Hoạt động của chúng được thể hiện thông qua hai hệ thống gió chính là: gió mùa mùa hè (GMMH) và gió mùa mùa đông (GMMĐ). Không chỉ quan tâm đến những hệ quả của gió mùa mà ngày bắt đầu, kết thúc cũng như cường độ của các hệ thống gió mùa cũng đã được rất nhiều các Nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm nghiên cứu.

Cường độ của GMMĐ đã được xác định dựa trên gradient khí áp giữa áp cao Siberia với áp thấp Aleut và gradient khí áp giữa áp cao Siberia với rãnh xích đạo [17] hay gradient khí áp kinh hướng trung bình trên vùng từ khu vực Trung Bộ đến vùng rìa phía nam của áp cao Siberia (15–40°N; 100–130°E) [10] hoặc chỉ số gió kinh hướng mực 925hPa trung bình trên khu vực miền khí hậu phía bắc Việt Nam (16–23,5°N; 102–108,5°E) [10]. Hơn nữa, khi tốc độ gió kinh hướng trên vùng này có giá trị chuyển từ dương (gió lệch nam) sang âm (gió lệch bắc) và duy trì trong ít nhất 2 ngày liên tiếp thì sẽ xác định là một đợt KKL khả nghi. Tuy nhiên, các tác giả cũng cho rằng, khi có XTND hoạt động trên Biển Đông, chỉ tiêu này thường sẽ thỏa mãn. Do đó, giá trị biến áp 24 giờ của khí áp mực nước biển (Pmsl) trung bình vùng (20–24°N; 105–110°E) đã được đưa ra. Khi giá trị biến áp này lớn hơn hoặc bằng 1hPa thì xem là thời điểm KKL ảnh hưởng đến Việt Nam [10–11].

Hoạt động của GMMĐ thường được thể hiện bởi các đợt KKL. KKL thường ảnh hưởng đến Việt Nam từ tháng 9 đến tháng 5 năm sau [12]. Trung bình mỗi năm có gần 30 đợt KKL (thời kỳ 1994–2003) [13] và khoảng 27–28 đợt KKL (thời kỳ 1981–2019) [12] ảnh hưởng đến Việt Nam. Tổng số đợt KKL trong các chính đông chiếm khoảng 50% số đợt KKL trong mùa đông. Số đợt KKL có xu thế tăng khoảng 0,5 đợt/1 thập kỷ trong mùa đông, đặc biệt tăng lên trong thời kỳ chính đông song lại giảm trong thời kỳ đầu và cuối đông [12]. Các đợt KKL được đặc trưng bởi sự mạnh lên của dòng xiết cận nhiệt đới vào mùa đông. Hơn nữa, sự tồn tại và ổn định của dòng xiết gió tây nhánh phía nam cao nguyên Tây Tạng còn được xem là dấu hiệu mở đầu hay kết thúc GMMĐ. Khi dòng xiết này mạnh lên, áp cao Siberia tăng cường (khí áp ở tâm lớn hơn 1050hPa) thì sẽ có KKL [13]. Các đợt KKL trung bình thường có 7 ngày, cũng có thể kéo dài tới 9 ngày [14].

Tương tự GMMĐ, hoạt động của GMMH trên khu vực Đông Á nói chung và Biển Đông nói riêng được nhiều tác giả quan tâm dựa trên các chỉ số gió mùa để xác định ngày bắt đầu, kết thúc và cường độ của nó. Hoạt động của hệ thống GMMH được thể hiện rõ rệt nhất thông qua hệ thống gió tây nam thổi từ rìa của các áp cao cận nhiệt nam bán cầu vượt xích đạo đưa không khí ẩm từ biển vào đất liền, gây mưa cho nhiều khu vực mà nó đi qua. Do đó, chỉ số gió vĩ hướng mực 850hPa và lượng mưa trên các vùng được xem là những đối tượng chính trong các nghiên cứu về GMMH. Ngày bắt đầu GMMH trên khu vực Biển Đông được xác định dựa vào chỉ số gió vĩ hướng trung bình vùng (5°N–15°N, 110°E–120°E) trên mực 850 hPa (U850) [15]. Đây cũng là chỉ số được sử dụng để xác định sự biến động của một số đặc trưng GMMH ở Việt Nam [16].

GMMH ảnh hưởng đến Việt Nam thường bắt đầu vào khoảng cuối tháng 4, đầu tháng 5 [10, 17–20], đạt cực đại vào tháng 6, tháng 7 sau đó suy yếu từ cuối tháng 8 đến tháng 10. Trong thời kỳ La Nina, GMMH thường bắt đầu sớm và kết thúc muộn hơn trong thời kỳ El Nino [10, 19–20]. Trên khu vực Biển Đông, GMMH thường bắt đầu từ ngày 15 đến 20 tháng 5 (thời kỳ 1948–2001) [15], vào ngày 14/5 (thời kỳ 1979–1993) và ngày 30/8 (thời kỳ 1994–2008) [21] song trong cả hai thời kỳ GMMH kết thúc vào khoảng giữa tháng 10 [21]. Như vậy, GMMH trên khu vực Việt Nam và Biển Đông thường hoạt động trong thời gian từ tháng 5 đến tháng 10.

Có thể thấy, hầu hết các nghiên cứu chỉ phân tích những biến đổi về tần suất, cường độ hay quỹ đạo bão trong từng tháng, năm hay qua các năm ở một thời kỳ nào đó mà chưa đề cập tới ảnh hưởng của các hệ thống gió mùa. Mặc dù, một số ít nghiên cứu có đề cập tới ảnh

hường của các hệ thống thời tiết đến bão song chỉ xem xét riêng rẽ từng hệ thống như KKL [5] hay một số trường hợp cụ thể.

Trong thực tế, các cơn bão thường hoạt động kết hợp với ít nhất một hệ thống gió mùa: GMMĐ hoặc GMMH hoặc đồng thời của cả hai hệ thống này. Cũng như nhiều nghiên cứu trước đó, trong nghiên cứu này, hoạt động của GMMĐ được thể hiện qua thời gian kéo dài, cường độ của các đợt KKL. Khi KKL và GMMH hoạt động có thể làm quỹ đạo, cường độ hay cấu trúc bão thay đổi. Bởi thế, đặc điểm hoạt động của bão trên Biển Đông trong các tháng, thời kỳ 1981–2020 khi chúng chịu ảnh hưởng của các hệ thống gió mùa sẽ được phân tích chi tiết trong bài viết này.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu

2.1.1 Số liệu bão

Nghiên cứu sử dụng bộ số liệu bão gồm tên bão, vị trí (kinh, vĩ độ), cường độ (P_{min} , V_{max}) 6 giờ 1 lần trong thời gian tồn tại (từ khi hình thành đến tan rã) trong thời kỳ 1981–2020. Bộ số liệu này được cung cấp bởi Cơ quan khí tượng Nhật Bản (JMA) được download từ website: <http://agora.ex.nii.ac.jp/>.

2.1.2. Số liệu tái phân tích

Để xác định thời gian ảnh hưởng của KKL và GMMH, bài viết sử dụng bộ số liệu tái phân tích trường khí áp mực nước biển (P_{msl}) và trường gió vĩ hướng mực 850hPa trong từng 6h/1 lần. Bộ số liệu này có độ phân giải 0.5×0.5 độ kinh/vĩ trong thời kỳ 1981–2020, được cung cấp bởi Trung tâm Dự báo hạn vừa Châu Âu (ECMWF) và được download từ trang web: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form>.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Xác định thời kỳ không khí lạnh hoạt động

Để xác định hoạt động của các đợt KKL, nghiên cứu đã phân tích diễn biến của giá trị biến áp 24 giờ của P_{msl} trung bình vùng: $20\text{--}25^\circ\text{N}$; $105\text{--}115^\circ\text{E}$. Đây là vùng chịu ảnh hưởng đầu tiên khi KKL hoạt động trên khu vực Biển Đông và Việt Nam. Khi đó, KKL được xem như có ảnh hưởng đến khu vực khi biến áp 24 giờ có giá trị lớn hơn hoặc bằng 1hPa. Chỉ số này được đưa ra dựa trên nghiên cứu trước đó khi xác định ngày có KKL ảnh hưởng đến Việt Nam [10–11]. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, do chỉ quan tâm đến hoạt động của KKL trên khu vực biển Đông nên vùng xác định biến áp 24 giờ sẽ được mở rộng hơn sang phía đông.

2.2.2. Phương pháp xác định thời kỳ gió mùa mùa hè hoạt động

Như đã đề cập tới trong phần 1, cho đến nay, đã có không ít chỉ GMMH được đưa ra để xác định ngày bắt đầu cũng như cường độ của GMMH trên mỗi vùng. Trong bài viết này, hoạt động của GMMH trên Biển Đông được xác định dựa trên chỉ số gió vĩ hướng mực 850hPa trung bình trên khu vực Biển Đông ($5^\circ\text{N}\text{--}15^\circ\text{N}$, $110^\circ\text{E}\text{--}120^\circ\text{E}$). Đây là chỉ số đã được [15–16] sử dụng để xác định đặc điểm trong hoạt động của GMMH trên khu vực Biển Đông và Việt Nam. Khi đó, ngày được xem là có GMMH hoạt động nếu chỉ số này có giá trị lớn hơn 0,5 m/s.

2.2.3. Phương pháp xác định cường độ và quỹ đạo của bão

a) Xác định cường độ:

Dựa vào bộ số liệu bão tên bão trong thời kỳ 1981–2020 gồm: vị trí (kinh, vĩ độ), cường độ (P_{min} , V_{max}) 6 giờ 1 lần trong thời gian tồn tại (từ khi hình thành đến tan rã), nghiên cứu

xác định các cơn bão hoạt động trên khu vực Biển Đông bao gồm cả các cơn bão hình thành và đổ bộ vào khu vực Biển Đông. Khu vực này được giới hạn bởi phạm vi từ 3–26°N và 80–120°E. Khi đó, cường độ các cơn bão được xác định:

Bão (*Tropical Storm–TS*): có V_{max} từ 17–24 m/s (từ cấp 8 đến cấp 9);

Bão mạnh (*Severe Tropical Storm–STS*): có V_{max} từ 24–33 m/s (từ cấp 10 đến cấp 11);

Bão rất mạnh (*Typhoon–TY*): có V_{max} lớn hơn hoặc bằng 33 m/s (cấp 12 trở lên).

b) Xác định quỹ đạo:

Quỹ đạo của bão hoạt động trên Biển Đông được phân tích dựa trên 5 dạng quỹ đạo sau:

Dạng 1: Quỹ đạo lệch Bắc: Quỹ đạo bão đi theo hướng từ Bắc Tây Bắc đến Bắc Đông Bắc (NNW đến NNE), tức là, nếu lấy hướng Bắc làm trung tâm thì quỹ đạo của bão đi vào góc quanh hướng Bắc 22,5 độ;

Dạng 2: Quỹ đạo từ Bắc Tây Bắc đến Tây Tây Bắc (NNW đến WNW), gồm những XTNĐ có quỹ đạo lân cận hướng Tây Bắc một góc 22,5 độ;

Dạng 3: Quỹ đạo thiên Tây gồm những cơn bão có hướng di chuyển trùng với hướng chính Tây hoặc lệch về hai phía của hướng Tây một góc không quá 22,5 độ, tức là các cơn bão có quỹ đạo từ Tây Tây Bắc đến Tây Tây Nam (WNW đến WSW);

Dạng 4: Quỹ đạo lệch Nam từ Tây Tây Nam đến Nam (WSW đến S), gồm những XTNĐ có quỹ đạo lệch về phía Nam kể từ hướng WNW;

Dạng 5: Quỹ đạo dạng đặc biệt gồm các cơn bão di chuyển với quỹ đạo thay đổi nhanh, thất nút, xoáy tròn ốc,...

Do quỹ đạo bão thường thay đổi liên tục trong thời gian hoạt động của nó nên quỹ đạo được xác định trong nghiên cứu này là quỹ đạo của bão khi di chuyển trên ít nhất ½ quãng đường trên Biển Đông trước khi đổ bộ vào đất liền.

2.2.4. Phương pháp xác định hoạt động của bão khi kết hợp với gió mùa

Tần suất bão khi chịu ảnh hưởng của các hệ thống gió mùa sẽ được xác định dựa trên số liệu thống kê các cơn bão hoạt động trên khu vực Biển Đông (3–26°N, 80–120°E), bao gồm tất cả các cơn bão hình thành trên Biển Đông hoặc hình thành trên biển Thái Bình Dương, sau đó đi vào Biển Đông.

Đồng thời, các chỉ số đặc trưng cho hoạt động của KKL và GMMH đã được xác định trong thời gian từ khi các cơn bão hình thành đến khi tan rã. Mỗi cơn bão, ngay sau khi đi vào Biển Đông, nếu một hoặc cả hai chỉ số gió mùa thỏa mãn thì cơn bão đó được xem như sẽ hoạt động kết hợp với một hoặc cả 2 hệ thống gió mùa.

Từ đó, đặc điểm hoạt động của bão kết hợp với từng hệ thống: KKL, GMMH cũng như cả KKL và GMMH trong từng tháng, năm, thời kỳ 1981–2020 đã được phân tích trong mục 3 để thấy rõ tần suất tác động của các hệ thống gió mùa đến bão.

3. Kết quả và thảo luận

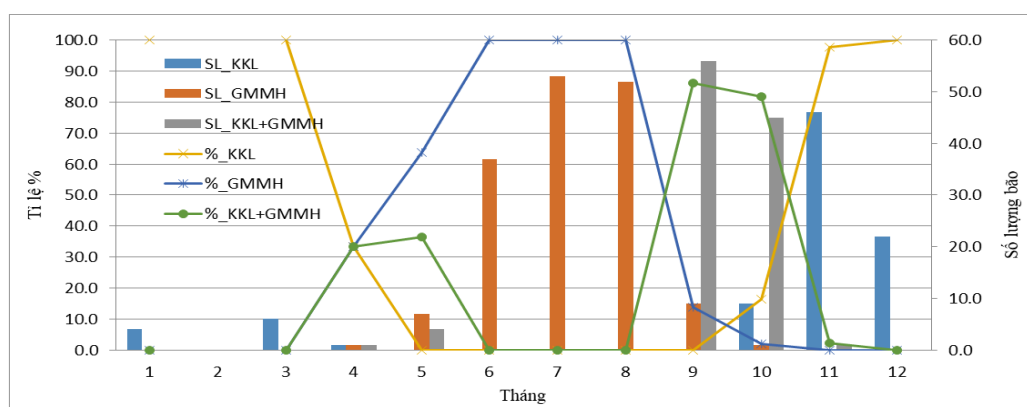
3.1. Tần suất hoạt động của bão khi có gió mùa

Như đã đưa ra ở trên, GMMH thường hoạt động trong thời gian từ tháng 5 đến tháng 10 (gần trùng với thời kỳ hoạt động của bão), còn KKL thì bắt đầu từ tháng 9 đến tháng 5 năm sau. Bởi vậy, số lượng các cơn bão khi chịu ảnh hưởng của GMMH chiếm tỉ lệ lớn nhất (chiếm 45,3%). Trong thời kỳ đầu (tháng 9, 10) và cuối mùa đông (tháng 4, 5) bão thường chịu ảnh hưởng kết hợp của cả KKL và GMMH (chiếm 30,3%). Tất nhiên, trong các tháng mùa đông, các cơn bão hoạt động sẽ chịu ảnh hưởng của KKL. Thời gian này, bão hoạt động ít hơn nên chỉ có 24,4% số các cơn bão hoạt động kết hợp với KKL (Bảng 1).

Bảng 1. Tần suất bão hoạt động trong các hệ thống gió mùa.

Tần suất	Hình thức			
	Tổng số	KKL	GMMH	KKL+GMMH
Số lượng	353	86	160	107
Tỉ lệ %	100	24,4	45,3	30,3

Thật vậy, bão hoạt động chịu ảnh hưởng của riêng GMMH tập trung trong các tháng chính hè (tháng 6, 7, 8), thời gian KKL gần như không hoạt động trên biển Đông. Trong số các hình thể được xét, toàn bộ bão hoạt động trong thời gian này chỉ chịu ảnh hưởng của riêng GMMH. Sang tháng 9 và tháng 10, số lượng bão chịu tác động của riêng GMMH giảm rõ rệt. Kết quả cũng tương tự trong thời gian tháng 4, tháng 5 khi tỉ lệ bão chịu ảnh hưởng của GMMH lần lượt khoảng 33 và 63%. Vào thời kỳ chuyển tiếp từ mùa hè sang mùa đông, bão thường chịu ảnh hưởng của cả KKL và GMMH với tỉ lệ tương ứng trên 86% (trong tháng 9) và xấp xỉ 82% (trong tháng 10). Trong thời kỳ mùa đông (từ tháng 11 đến tháng 3 năm sau), bão chỉ chịu ảnh hưởng của KKL (Hình 1).



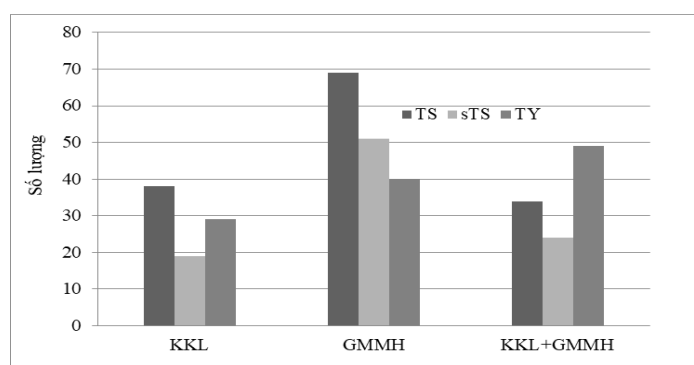
Hình 1. Diễn biến trong năm của số lượng bão và tỉ lệ % của nó trong các hình thể.

Hơn nữa, số lượng bão hoạt động kết hợp với các hệ thống gió mùa thường đạt cực đại vào thời gian tần suất bão xuất hiện lớn nhất. Cụ thể, tháng 7, 9 và 11 là các tháng có tần suất bão cực đại tương ứng khi chúng kết hợp với các hệ thống GMMH, KKL kết hợp với GMMH và KKL (Hình 1).

3.2. Đặc điểm cường độ bão khi kết hợp với các hệ thống gió mùa

Hình 2 chỉ ra đặc điểm cường độ bão khi chịu ảnh hưởng của các hệ thống gió mùa. Khi kết hợp với KKL hoặc GMMH, bão thường có cường độ cấp 8, cấp 9. Còn khi kết hợp đồng thời với cả KKL và GMMH thì bão thường có cường độ cấp 12, trên cấp 12.

Thật vậy, khi chịu ảnh hưởng của KKL hoặc kết hợp cả KKL và GMMH, số lượng bão mạnh là ít nhất. Trong khi bão tương tác với GMMH thì số lượng bão đạt đến cường độ siêu bão lại chỉ có 40 cơn (chiếm 1/4 trên tổng số XTNĐ chịu ảnh hưởng của GMMH). Sự khác biệt về cường độ bão trong các hình thể thời tiết một phần do thời gian các hình thể tác động đến bão. Như đã phân tích ở trên, thời gian bão chịu ảnh hưởng của KKL hoặc GMMH thường vào thời kỳ GMMĐ hoặc thời kỳ giữa hè, thời gian bão hoạt động trên biển Đông có cường độ chủ yếu là cấp 8, cấp 9. Trong khi, trong tháng 9, tháng 10 khi bão thường chịu ảnh hưởng đồng thời của KKL và GMMH thì tỉ lệ bão đạt đến cấp độ siêu bão lớn hơn rất nhiều (Hình 2).



Hình 2. Phân bố cường độ bão trong các hình thể thời tiết.

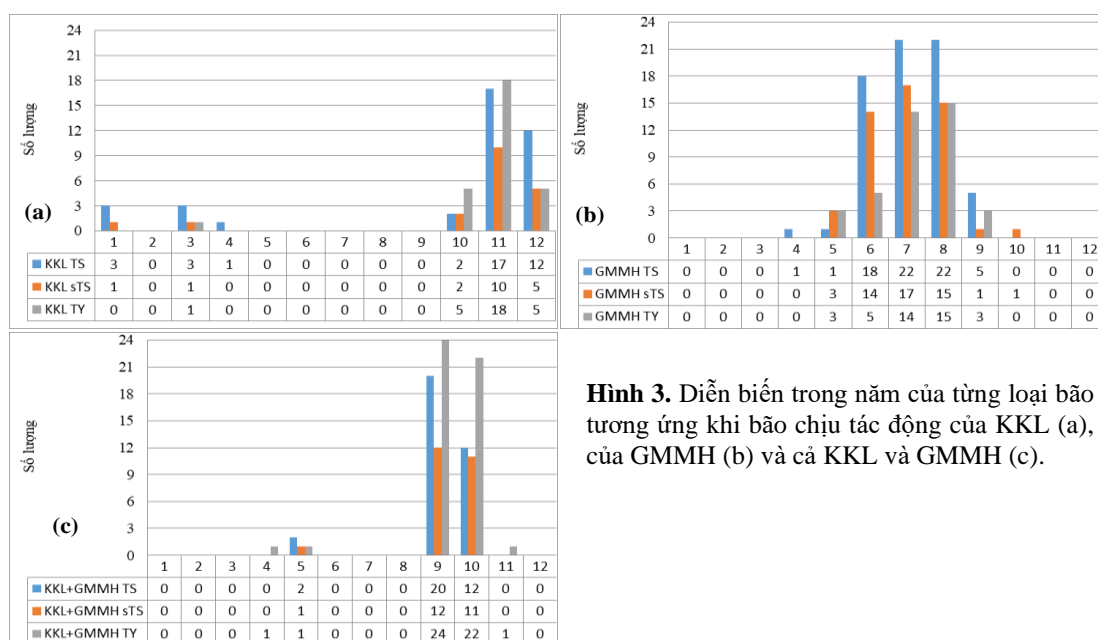
Tỉ lệ % số lượng bão kết hợp với từng hệ thống theo từng loại bão thể hiện ở bảng 2. Kết quả cho thấy với bão thường, số lượng bão hoạt động kết hợp với GMMH chiếm tỉ lệ lớn nhất với gần 50%. Bão hoạt động kết hợp với KKL (chiếm 27%) và chỉ 24,1% số cơn bão có cường độ trung bình khi chúng hoạt động kết hợp cả KKL và GMMH. Bão có cường độ mạnh thường hoạt động kết hợp với GMMH (chiếm 54,3%), kết hợp với KKL (chiếm 24,6%) còn lại khoảng 25,5% là bão kết hợp với cả hai hệ thống. Trong khi đó, các siêu bão hay bão có cường độ rất mạnh lại thường hoạt động cùng cả 2 hệ thống gió mùa (chiếm 41,5%), và khi chỉ kết hợp với GMMH (chiếm 33,9%) hay kết hợp với KKL (chiếm 24,6%) (Bảng 2).

Bảng 1. Tỉ lệ % số lượng bão trong mỗi hệ thống theo cường độ bão.

Loại bão	Hệ thống tương tác			Tổng theo từng cấp độ bão (con)
	KKL	GMMH	KKL +GMMH	
TS	27,0 (44,2)	48,9 (43,1)	24,1 (31,8)	141
sTS	20,2 (22,1)	54,3 (21,9)	25,5 (22,4)	94
TY	24,6 (33,7)	33,9 (25,0)	41,5 (45,8)	118
Tổng số	86	160	107	353

Ghi chú: Số trong ngoặc đơn là tỉ lệ % của từng cấp bão so với tổng số bão trong hình thể đó

Hơn nữa, trong tháng 9, tháng 10 và tháng 11, dù chịu ảnh hưởng của riêng KKL hay đồng thời của cả KKL và GMMH thì số lượng bão đạt tới cường độ siêu bão cũng lớn nhất. Trong khi đó, khi ảnh hưởng của GMMH, các cơn bão có cấp độ cấp 8, cấp lại chiếm ưu thế (Hình 3).



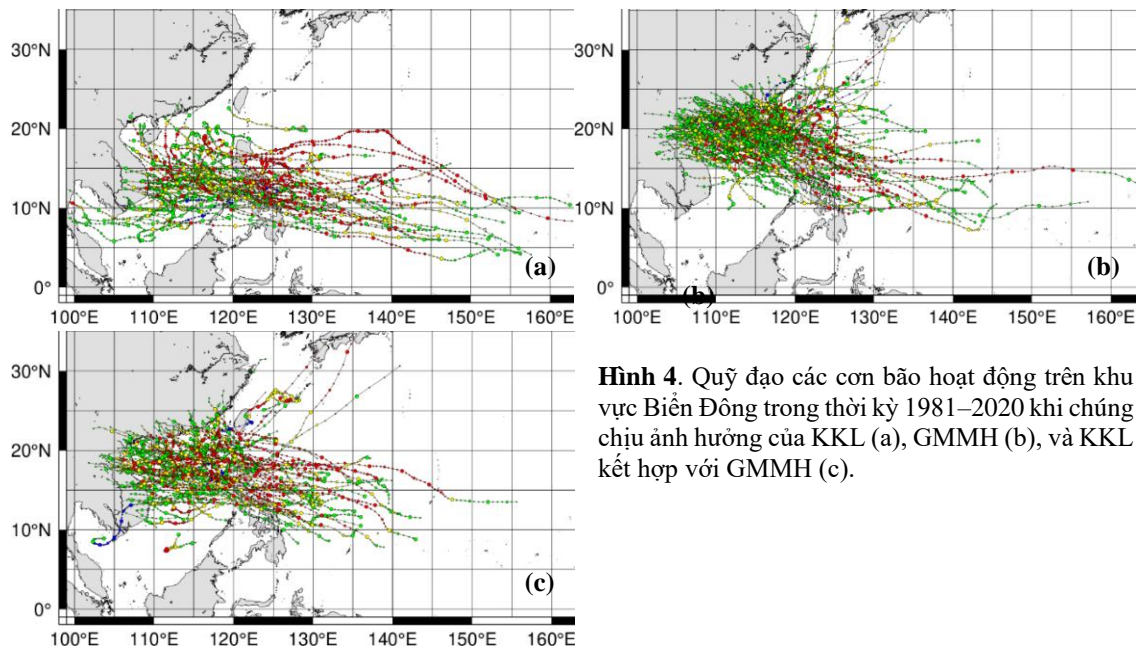
Hình 3. Diễn biến trong năm của từng loại bão tương ứng khi bão chịu tác động của KKL (a), của GMMH (b) và cả KKL và GMMH (c).

3.3. Đặc điểm quỹ đạo bão trong các hình thể

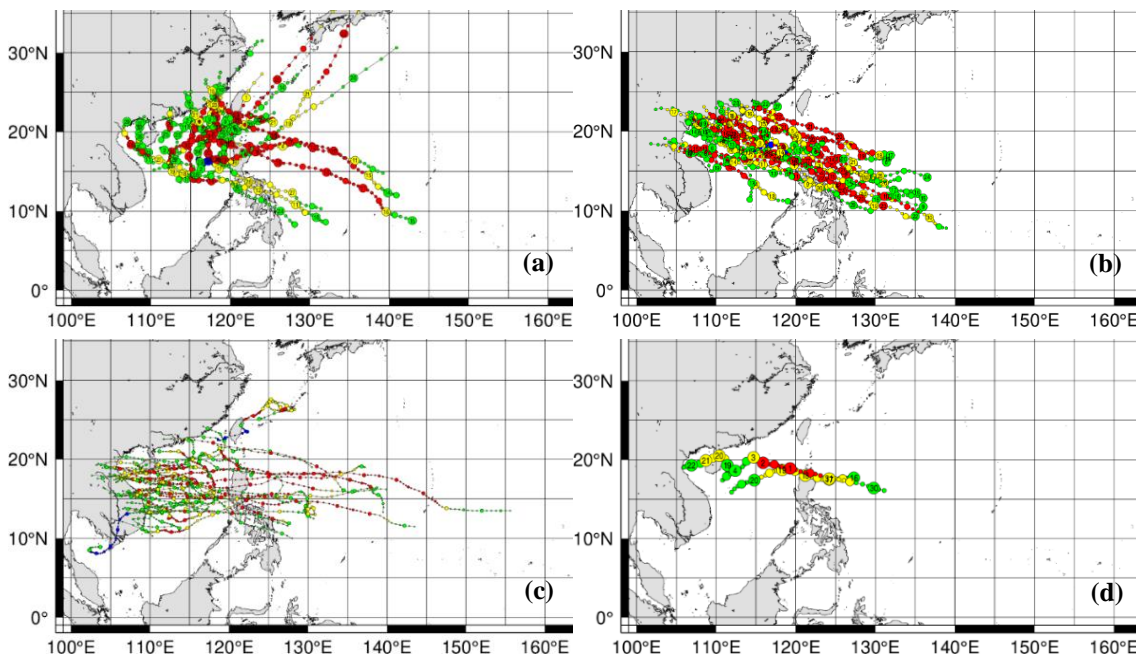
Hình 4 thể hiện đặc điểm quỹ đạo bão hoạt động trên biển Đông khi nó kết hợp với các hệ thống gió mùa. Có thể thấy, quỹ đạo theo hướng tây bắc vẫn chiếm đa số trong cả ba trường hợp: bão kết hợp với KKL, GMMH hay kết hợp đồng thời KKL và GMMH. Trong nghiên cứu này, các dạng quỹ đạo điển hình được minh họa trong hình 5 khi các cơn bão hoạt động kết hợp đồng thời với KKL và GMMH.

Cụ thể, khi bão hoạt động kết hợp với KKL thì quỹ đạo chủ đạo là tây hoặc tây bắc (Hình 4 và 6). Cụ thể, khi bão đi vào biển Đông và khi bão gần đổ bộ hoặc tan rã lần lượt có tới 74/86 và 62/86 cơn có quỹ đạo loại này (Hình 5). So với thời điểm bão đi vào biển Đông, quỹ đạo bão lúc gần đổ bộ hoặc tan ra có nhiều thay đổi. Có tới 35 (chiếm 40,7%) cơn đổi hướng sau thời gian đầu hoạt động trên biển Đông. Trong đó có 17 cơn đổi hướng xuống

phía nam, phần lớn trong số này đổi hướng từ tây bắc sang thiên tây hoặc tây xuống tây nam làm tăng số lượng bão di chuyển lệch nam lúc gần đổ bộ vào đất liền (Bảng 2).



Hình 4. Quỹ đạo các cơn bão hoạt động trên khu vực Biển Đông trong thời kỳ 1981–2020 khi chúng chịu ảnh hưởng của KKL (a), GMMH (b), và KKL kết hợp với GMMH (c).

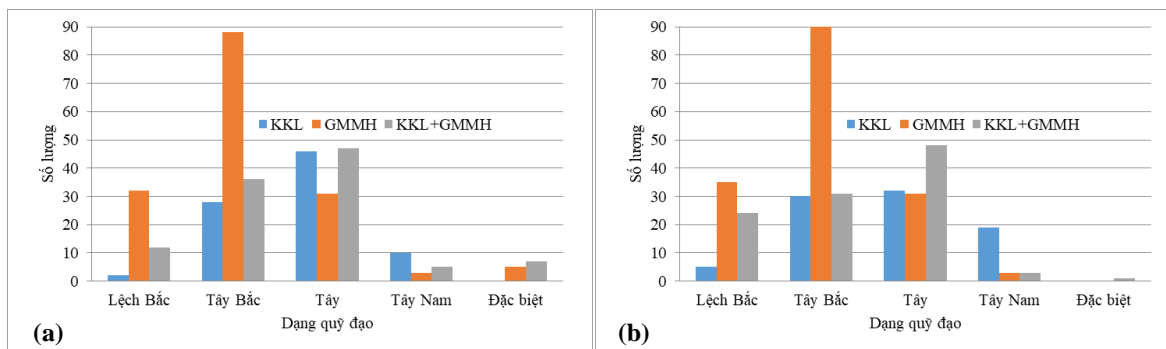


Hình 5. Quỹ đạo các cơn bão hoạt động trên khu vực Biển Đông trong thời kỳ 1981–2020 khi chúng chịu ảnh hưởng của KKL và GMMH: Lệch bắc (a), Tây Bắc (b), Tây (c) và Tây Nam (d).

Đối với bão hoạt động kết hợp với GMMH, quỹ đạo bão phần lớn cũng có hướng tây bắc, chiếm gần 2/3 tổng số bão (90 cơn bão). Số còn lại chủ yếu di chuyển lệch bắc hoặc thiên tây (Hình 4). Trong đó, quỹ đạo lệch bắc cũng chiếm đa số so với các cơn bão chịu ảnh hưởng của KKL (Hình 6). Khi đi vào biển Đông, quỹ đạo bão chịu ảnh hưởng của GMMH thay đổi không nhiều. Chỉ có 26,1% bão thay đổi hướng khi gần đổ bộ hoặc tan rã, đồng thời phần lớn bão thay đổi hướng đi lên phía bắc tương tự như khi bão tương tác đồng thời với KKL và GMMH (Bảng 3, Hình 5).

Tương tự, quỹ đạo bão khi chúng hoạt động đồng thời với KKL và GMMH cũng có hướng chủ đạo là tây bắc hoặc tây (Hình 4–5), trong đó có khoảng 50 cơn bão có quỹ đạo hướng tây và 30 cơn có quỹ đạo hướng tây bắc (Hình 5). Gần một nửa số cơn bão trong hình thể này, sau thời gian hoạt động trên biển Đông có xu hướng đổi hướng. Phần lớn các cơn

bão đi lên phía bắc (26 cơn) và chỉ 13 cơn đổi hướng xuống phía nam (Hình 6, Bảng 3). Ngoài ra, có 05 cơn lúc đầu có quỹ đạo xoắn tròn ốc sau đó đổi hướng di chuyển theo hướng thiên Tây (Bảng 3).



Hình 6. Các dạng quỹ đạo của bão khi nó tương tác với các hình thể khác nhau lúc mới vào biển Đông (a) và lúc gần đổ bộ hoặc tan rã (b).

Bảng 3. Số lượng các cơn bão đổi hướng khi hoạt động trên biển Đông trong các hình thể.

Hình thể	Tổng	Số bão đổi hướng	
		Đổi hướng lên phía bắc	Đổi hướng xuống phía nam
KKL	35 (40,7)	18	17
GMMH	42 (26,4)	23	17
KKL+GMMH	44 (41,1)	26	13

4. Kết luận

Phân tích đặc điểm hoạt động của bão trên biển Đông khi kết hợp với các hệ thống gió mùa như KKL, GMMH hay đồng thời cả KKL và GMMH trong thời kỳ 1981–2020, bài báo đưa ra một số kết luận sau:

- Bão thường hoạt động kết hợp với một hoặc cả hai hệ thống GMMĐ và GMMH. Bão thường hoạt động kết hợp với GMMH (trong các tháng chính hè, chiếm 45,3%), kết hợp với KKL (trong các tháng mùa đông, chiếm 24,4%) và kết hợp đồng thời với KKL và GMMH (trong các tháng đầu và cuối đông, chiếm 30,3%). Tần suất bão lớn nhất xảy ra trong các tháng 7, 9 và 11.

- Bão chịu ảnh hưởng của riêng KKL hoặc GMMH thường có cường độ yếu hơn (chủ yếu đạt cấp 8, cấp 9). Song khi bão chịu ảnh hưởng đồng thời của cả hai hệ thống gió mùa thì cường độ bão thường rất mạnh (trên cấp 12).

- Bão thường di chuyển theo hướng tây bắc (khi chịu ảnh hưởng của các hệ thống gió mùa, nhất là GMMH) và di chuyển theo hướng tây và tây nam (khi bão hoạt động kết hợp với KKL hoặc đồng thời cả KKL và GMMH).

- Sau một thời gian hoạt động trên biển Đông, bão thường đổi hướng di chuyển xuống phía nam (khi chịu ảnh hưởng của KKL), nhưng lại đổi hướng đi lên phía bắc (khi chịu ảnh hưởng của GMMH hoặc kết hợp cả KKL và GMMH).

Có thể thấy, hoạt động của các hệ thống gió mùa đã phần nào ảnh hưởng đến quỹ đạo, cường độ bão hoạt động trên Biển Đông. Điều này có thể là nhân tố làm thay đổi cấu trúc các trường khí tượng trong bão, gây ảnh hưởng không nhỏ đến thời tiết trên các khu vực mà bão ảnh hưởng. Đây là những vấn đề khoa học cần được nghiên cứu sâu hơn trong tương lai.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, mã số TNMT.2021.562.04.

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

Tài liệu tham khảo

1. Ngũ N.Đ. Nghiên cứu xây dựng bản đồ phân vùng tai biến môi trường tự nhiên lãnh thổ Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ cấp Nhà nước, Mã số: KC-08-01, 2010.
2. Bình, T.D. Nghiên cứu thực nghiệm cấu trúc MEZO của bão và các quy luật trong sự phát triển của chúng, Đề tài hợp tác Việt Xô, số 3, giai đoạn 1991-1993, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, 1993.
3. Hường, C.T.T.; Dợ, T.T. Nghiên cứu sự biến đổi cường độ xoáy thuận nhiệt đới hoạt động trên Biển Đông trong các giai đoạn phát triển. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 739, 10-19.
4. Weatherford, C.L.; Gray, W.M. Typhoon structure as revealed by aircraft reconnaissance. Part II: Structural variability. *Mon. Wea. Rev.* **1988**, 116, 1044-1056.
5. Nga, Đ.T.H.; Việt, N.M.; Cường, H.Đ. Xu thế diễn biến của tần số xoáy thuận nhiệt đới ở Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2011**, 602, 31-37.
6. Hiệp, N.V.; Tuyết, L.T. Đặc điểm hoạt động của bão ở Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông qua số liệu IBTrACS. Tuyển tập báo cáo hội thảo khoa học quốc gia về khí tượng, thủy văn, môi trường và biến đổi khí hậu (lần thứ 18), Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, **2015**, tr. 9-14.
7. Đức, T.Q.; Hà, P.T.; Duy, Đ.B.; Nam, P.Q. Thay đổi hoạt động của bão Biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 715, 27-36.
8. Khiêm, M.V. và cs. Nghiên cứu xây dựng Atlas khí hậu và biến đổi khí hậu. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước, BDKH.17, 2016.
9. Thắng, N.V. Biến đổi của tần số XTND trên Biển Đông và ảnh hưởng đến Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, **2011**, 604, 5-8.
10. Hường, C.T.T. Nghiên cứu sự dịch chuyển của các hệ thống gió mùa và ảnh hưởng của nó đến thời tiết, khí hậu Việt Nam. Đề tài nghiên cứu Khoa học cấp Bộ, Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2018.
11. Linh, Đ.T.; Hường, C.T.T. Phương pháp xác định ngày bắt đầu gió mùa mùa đông ở Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 693, 12-22.
12. Hường, C.T.T.; Bình, H.T. Nghiên cứu ảnh hưởng của ENSO đến tần suất và cường độ không khí lạnh. *Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2020**, 34, 138-147.
13. Minh, T.C. Dấu hiệu Synop dùng trong dự báo hạn 2, 3 ngày đối với các đợt xâm nhập lạnh vào Việt Nam. *Tạp chí khoa học ĐHQGHN, KHTN&CN*. TXXI, **2005**, 3PT.
14. Yi, Z.; Sperber, K.R.; Boyle, J.S. Climatology and Interannual Variation of the East Asian Winter Monsoon: Results from the 1979-95 NCEP/NCAR Reanalysis. *Mon. Wea. Rev.* **1997**, 125, 2605.
15. Wang, B.; Lin, H.; Zhang, Y.; Lu, M.M. Definition of South China Sea monsoon onset and Cemmencement of the East Asia summer monsoon, *J. Clim.* **2004**, 17, 699-710.
16. Đức, T.Q. Xu thế biến động của một số đặc trưng gió mùa mùa hè khu vực Việt Nam, *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2011**, 27(3S), 14-20.
17. Mậu, N.Đ. Nghiên cứu đánh giá và dự tính biến động của các đặc trưng gió mùa mùa hè ở Việt Nam. Luận án tiến sỹ Khoa học Trái đất, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, 2018.

18. Hương, N.T.T. Biến đổi một số đặc trưng gió mùa hè ở Tây Nguyên và Nam Bộ. Luận án tiến sỹ Khí tượng và Khí hậu học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2018.
19. Ngử, N.Đ và cs. Tác động của ENSO đến thời tiết, khí hậu, môi trường và kinh tế xã hội Việt Nam. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước, Viện Khí tượng Thủy văn và Môi trường, 2022.
20. Dzung, N.L.; Matsumotoa, J.; Thanh, N.D. Climatological onset date of summer monsoon in Vietnam. *Int. J. Climatol.* **2013**, 34(11), 3237–3250. Doi: 10.1002/joc.3908.
21. Kajikawa, Y.; Wang, B. Interdecadal change of the South China Sea summer monsoon onset. *J. Clim.* **2021**, 27, 3207–3218. Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00207.1.

Characteristics of storm activities in the east sea when the effect of the monsoons

Chu Thi Thu Huong^{1*}, Tran Dinh Linh¹, Nguyen Binh Phong¹, Doan Thi Thanh Thanh Huyen¹, Thao Thi Do¹

¹ Hanoi University of Natural Resources and Environment; ctthuong@hunre.edu.vn; tdlinh@hunre.edu.vn; doanhuyen2209@gmail.com; dohunre.160300@gmail.com

Abstract: The frequency and duration of operation as well as the characteristics of intensity and trajectory of storms those are operating in the East Sea when under the influence of monsoon systems have been determined based on the dataset of storms operating in the Sea East in the period 1981–2020. The results show that, storms in the East Sea often operate in conjunction with the summer monsoon (GMMH) in the mid-summer months (accounting for 45.3%); or combined with KKL in winter months (30.3%); while in the first and last months of winter, it is combined with both GMMH and KKL systems (accounting for 24.4%). Storms under the influence of KKL or GMMH alone are mainly category 8, category 9, but when it is under the simultaneous impact of both KKL and GMMH, many storm intensity increases with many storms reaching super typhoon level. Storms usually move in a northwest direction (when influenced by monsoon systems, especially GMMH) and move west and southwest (when storms are active in combination with KKL or both KKL and GMMH). After a period of activity in the East Sea, storms often change direction to move south (when affected by KKL), but change direction to the north (when affected by GMMH or a combination of KKL and GMMH).

Keywords: Tropical Storm; Cold air; Summer monsoon; Intensity and track of tropical storm.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu khoanh vùng khu vực dễ bị tổn thương do xâm nhập mặn tại tỉnh Vĩnh Long trong bối cảnh nước biển dâng

Lê Ngọc Tuấn^{1*}, Đậu Văn Hùng², Nguyễn Thế Hùng³, Lê Quang Toại⁴

¹ Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQG TpHCM; lntuan@hcmus.edu.vn

² Phân viện Khoa học KTTV và BĐKH; vanhung0494@gmail.com

³ Trường Đại học Xây dựng miền Trung; nguyenthehung@muce.edu.vn

⁴ Viện Khí tượng Thủy văn Hải văn và Môi trường; lqtoaihd@gmail.com

*Tác giả liên hệ: lntuan@hcmus.edu.vn; Tel.: +84–098371379

Ban Biên tập nhận bài: 12/9/2022; Ngày phản biện xong: 11/11/2022; Ngày đăng bài: 25/12/2022

Tóm tắt: Bằng phương pháp chỉ số, nghiên cứu nhằm mục tiêu khoanh vùng các khu vực dễ bị tổn thương (DBTT) do xâm nhập mặn (XNM) trên cơ sở đánh giá sự phơi nhiễm, tính nhạy cảm và khả năng thích ứng (KNTU) với XNM tại tỉnh Vĩnh Long đến năm 2030, chỉ ra các khía cạnh, nguồn lực, đối tượng, khu vực đáng quan tâm, các nguyên nhân chi phối (các mắt xích khiếm khuyết) của hệ thống–đóng góp cơ sở quan trọng để xây dựng các giải pháp ứng phó phù hợp. Chỉ số DBTT do XNM (V) hiện ở mức trung bình, chi phối chủ yếu bởi chỉ số KNTU (AC), chỉ số nhạy cảm (S) trong mối quan hệ với chỉ số phơi nhiễm (E) khác nhau giữa các khu vực, đồng thời phản ánh tính ưu tiên trong hoạch định các giải pháp ứng phó. Đến năm 2030, trong bối cảnh gia tăng chỉ số E do nước biển dâng (NBD), việc quy hoạch hợp lý kinh tế–xã hội (KTXH), đặc biệt trong phát triển nông nghiệp góp phần đáng kể trong giảm thiểu chỉ số S; cùng với sự tăng cường chỉ số AC thông qua đầu tư, cải thiện các nguồn lực về con người, tài chính, vật chất và xã hội ở cấp cộng đồng cũng như chính quyền địa phương... đóng góp tích cực cho mục tiêu giảm thiểu chỉ số V–kỳ vọng đạt mức thấp.

Từ khóa: Tính dễ bị tổn thương; Khả năng thích ứng; Xâm nhập mặn; Nước biển dâng.

1. Đặt vấn đề

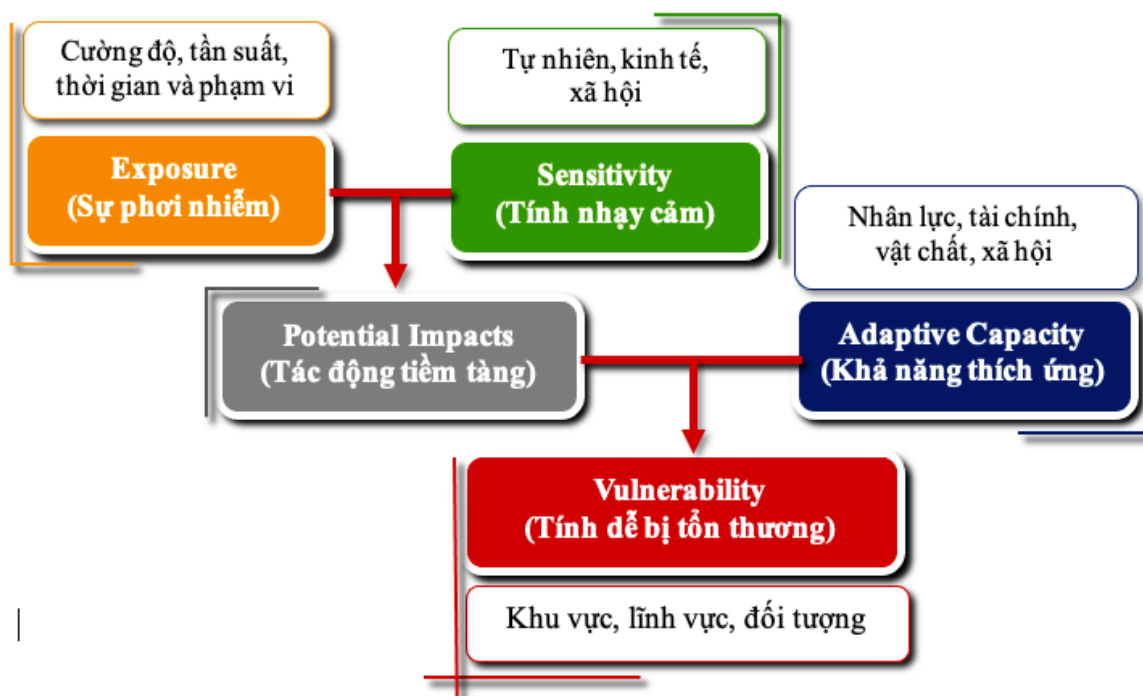
Tính DBTT do BĐKH là mức độ mà một hệ thống (tự nhiên, xã hội, kinh tế) có thể bị tổn thương hoặc không có KNTU với những tác động bất lợi của biến đổi khí hậu (BĐKH) [1]. Không chỉ phụ thuộc vào bản chất của BĐKH (sự phơi nhiễm), tính DBTT còn bị chi phối bởi tính nhạy cảm và KNTU của hệ thống [2–5]. Trong bối cảnh BĐKH và NBD, XNM là vấn đề thu hút nhiều sự quan tâm bởi những thách thức nghiêm trọng cũng như cơ hội đối với các hoạt động sinh kế nông nghiệp [6–10]. Tiếp cận theo IPCC [2], tính DBTT do XNM nguồn nước mặt được triển khai nghiên cứu đối với một số khu vực và lĩnh vực nhạy cảm như nông nghiệp, thủy sản, công nghiệp, cấp nước tại tỉnh Đồng Nai [11], nước sạch và vệ sinh môi trường tại huyện Cần Giò – Tp.HCM [12–13]... Các kết quả nghiên cứu trọng tâm bao gồm bộ chỉ thị đánh giá tính DBTT do XNM trong bối cảnh BĐKH [14], mức độ phơi nhiễm [15–16], mức độ nhạy cảm [11] và khả năng thích ứng với XNM [17], khoanh vùng các khu vực DBTT, đồng thời xác định tương ứng các khía cạnh và nguồn lực hạn chế, tạo cơ sở quan trọng để hoạch định các giải pháp nhằm tăng cường KNTU, cải thiện tính nhạy cảm và hạn chế sự phơi nhiễm với XNM. Tỉnh Vĩnh Long tọa lạc trong vùng đồng bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL), các hoạt động kinh tế gắn bó mật thiết với tài nguyên thiên nhiên, chịu

chi phối sâu sắc bởi các điều kiện tự nhiên và những ảnh hưởng đáng kể do NBD. Năm 2016 ghi nhận độ mặn lịch sử (9,2‰ tại vàm Vũng Liêm, 8,8‰ tại cống Nàng Âm...), ảnh hưởng hơn 25.000 ha cây trồng, gây thiệt hại nghiêm trọng (gần 300 tỷ đồng) tại các khu vực canh tác nông nghiệp trên địa bàn huyện Vũng Liêm, Trà Ôn, Mang Thít... Tình trạng XNM tiếp tục gia tăng trong những năm 2019–2020: mặn xuất hiện sớm, xâm nhập sâu, tái xác lập kỉ lục độ mặn ở các tháng đầu mùa khô và kéo dài đến tận tháng 3–4. Ranh mặn 4‰ ngày càng xâm nhập vào sâu vào đất liền (hơn 50 km tính từ cửa sông), không chỉ ảnh hưởng đến vùng sản xuất lúa mà còn ảnh hưởng đến vùng chuyên canh cây ăn trái, cây màu của tỉnh.

Nghiên cứu nhằm mục tiêu khoanh vùng các khu vực DBTT do XNM tại tỉnh Vĩnh Long đến năm 2030 trên cơ sở đánh giá sự phơi nhiễm, tính nhạy cảm và KNTU đóng góp cơ sở quan trọng để xây dựng các giải pháp ứng phó phù hợp.

2. Phương pháp nghiên cứu

Trên cơ sở đánh giá diễn biến và nguy cơ XNM các sông chính tại tỉnh Vĩnh Long đến năm 2030, Khung ý niệm đánh giá tính DBTT theo IPCC [2] được áp dụng để khoanh vùng các khu vực đáng quan tâm (Hình 1).



Hình 1. Khung ý niệm đánh giá tính DBTT.

2.1. Phương pháp điều tra, khảo sát

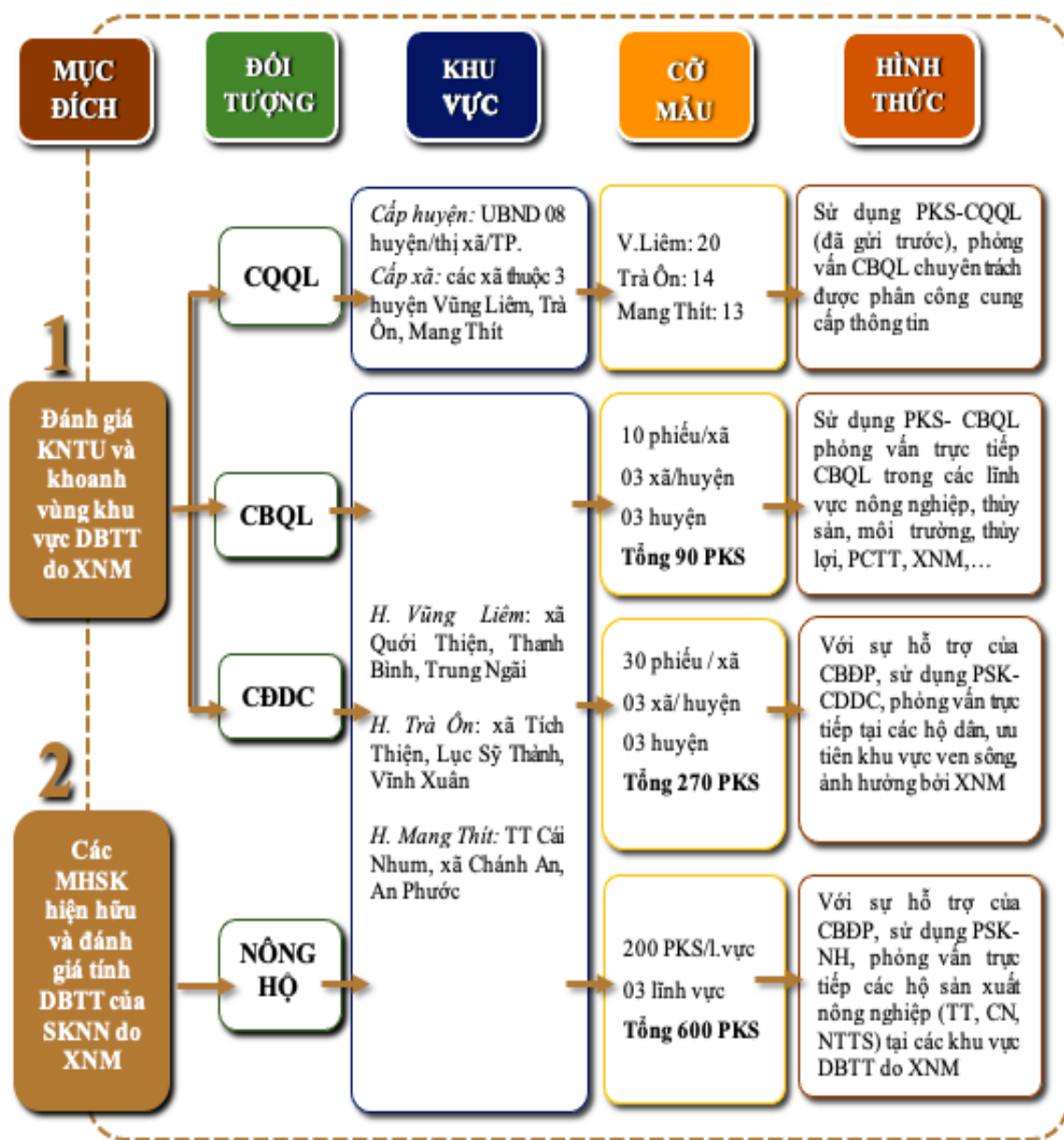
Trong nghiên cứu này, 02 đợt điều tra, khảo sát được triển khai nhằm thu thập các thông tin, dữ liệu liên quan. Với sự tư vấn của Chi cục Thủy lợi, Ban chỉ huy Phòng chống thiên tai – tìm kiếm cứu nạn, Trung tâm Khuyến nông tỉnh Vĩnh Long, Sở Tài nguyên và Môi trường, Sở Công thương, UBND các huyện, phạm vi khảo sát được xác định đại diện cho các khu vực chịu nhiều tác động của XNM tại tỉnh Vĩnh Long với các thông tin cơ bản như mô tả ở Hình 2 và Hình 3.

2.2. Phương pháp chỉ số

Áp dụng các công thức (1)–(4), chỉ số tổng hợp của từng câu phần được tính toán dựa trên giá trị chuẩn hoá của chỉ thị i và trọng số ưu tiên w_i , trong đó: n là số lượng các chỉ thị thành phần; E , S , AC và V lần lượt là chỉ số phơi nhiễm, nhạy cảm, KNTU và DBTT do

XNM; E_i , S_i , AC_i , là giá trị chuẩn hoá của chỉ thị thứ i trong cấu phần E, S, AC; w_{Ei} , w_{Si} , w_{ACi} là trọng số ưu tiên của chỉ thị thứ i trong cấu phần E, S, AC.

$$E = \sum_{i=1}^n E_i \times w_{Ei} \text{ (1); } S = \sum_{i=1}^n S_i \times w_{Si} \text{ (2); } AC = \sum_{i=1}^n AC_i \times w_{ACi} \text{ (3); } V = \frac{(E + S + 100 - AC)}{3} \text{ (4);}$$

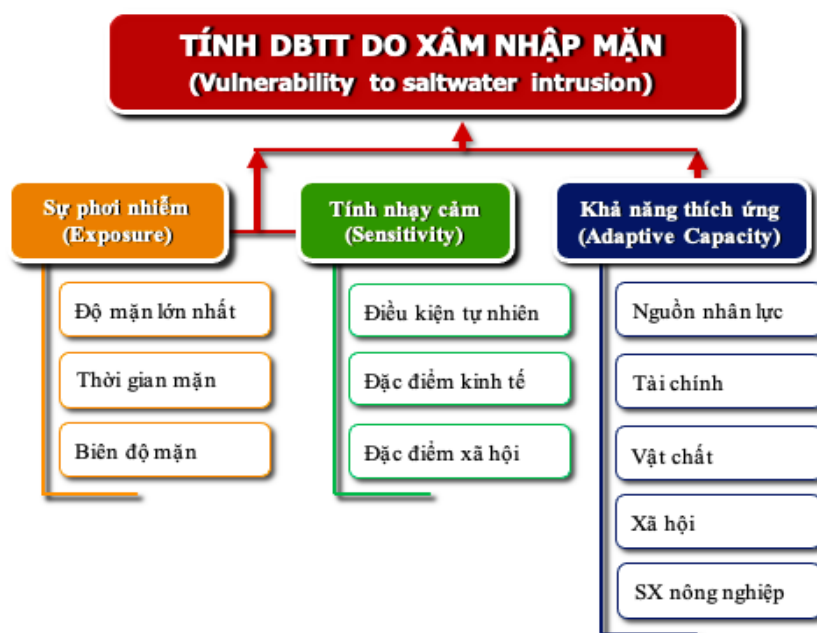


Hình 2. Thông tin chung về các đợt điều tra, khảo sát.

Bảng 1 trình bày thang chỉ số, dao động từ 0–100, phân thành 5 khoảng với bước nhảy là 20. Các bản đồ chuyên đề được xây dựng bằng kỹ thuật GIS tích hợp, chồng ghép các lớp thông tin có trọng số, tính toán các chỉ số và thống kê không gian... thông qua phần mềm ArcGIS 10.0 trên bản đồ nền tỷ lệ 1: 50.000, hệ tọa độ VN_2000.

Bảng 1. Thang chỉ số đánh giá và quy ước màu sắc.

Chỉ số	0–20	21–40	41–60	61–80	81–100
E, S, V	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao
AC	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao



Hình 3. Cấu trúc BCT đánh giá, khoanh vùng khu vực DBTT do XNM.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Bộ chỉ thị đánh giá tính DBTT do XNM

Bộ chỉ thị đánh giá tính DBTT được xây dựng theo ý niệm của IPCC, gồm 38 chỉ thị thành phần, trong đó, 4 chỉ thị thể hiện mức độ phơi nhiễm (E), 17 chỉ thị thể hiện tính nhạy cảm (S) chia làm 3 nhóm (điều kiện tự nhiên, xã hội, kinh tế) và 17 chỉ thị thể hiện KNTU (AC) của chính quyền và cộng đồng dân cư (Bảng 2). Ngoài yêu cầu khoa học cần thiết, bộ chỉ thị cân nhắc tính sẵn có của số liệu cũng như khả năng tính toán cho từng chỉ thị thành phần nhằm tập hợp đầy đủ số liệu phục vụ so sánh, đánh giá giữa những khu vực khác nhau. Kết quả tính toán các chỉ số E, S, AC, V tại tỉnh Vĩnh Long giai đoạn 2016–2030 được thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 2. Bộ chỉ thị và trọng số tương ứng phục vụ đánh giá tính DBTT do XNM.

Cấu phần	Nhóm chỉ thị	Chỉ thị thành phần	Mã số	Trọng số			
				Riêng	Nhóm	Ưu tiên	
Sự phơi nhiễm (E)	Độ mặn (E.dm)	Độ mặn cao nhất năm	E.dm	1	0,42	0,42	
		Dao động độ mặn tháng mặn nhất	E.dd	1	0,25	0,25	
	Thời gian (E.tg)	Thời gian nhiễm mặn trên 1‰	E.tg.1	0,33	0,32	0,11	
		Thời gian nhiễm mặn trên 4‰	E.tg.4	0,67		0,22	
	Điều kiện tự nhiên (S.tn)	Cao độ địa hình	Mật độ sông suối	S.tn.1	0,34	0,30	0,10
Khoảng cách từ khu vực được xét đến các cửa sông, cửa biển			S.tn.2	0,28	0,08		
Đặc điểm dân số			S.tn.3	0,38	0,12		
Tính nhạy cảm (S)	Đặc điểm dân số	Tổng dân số	S.xh.1	0,09	0,29	0,03	
		Mật độ dân số	S.xh.2	0,11		0,03	
	Xã hội (S.xh)	Tốc độ gia tăng tự nhiên	S.xh.3	0,11		0,03	
		Tốc độ gia tăng dân số cơ học	S.xh.4	0,11		0,03	
		Đối tượng DBTT	S.xh.5	0,15		0,04	
		Tỷ lệ người già (>65t), trẻ em (<5t) và dân tộc thiểu số	S.xh.6	0,09		0,03	
	Kinh tế (S.kt)	Tỷ lệ hộ nghèo	S.xh.7	0,18		0,05	
		Tỷ lệ HGD không tiếp cận được nguồn nước cấp tập trung	S.xh.8	0,16		0,05	
		Ti trọng ngành nông nghiệp	S.kt.1	0,19		0,41	0,08
		Sử dụng đất cho SXNN	S.kt.2	0,21			0,09

Cấu phần	Nhóm chỉ thị	Chỉ thị thành phần	Mã số	Trọng số			
				Riêng	Nhóm	Ưu tiên	
Khả năng thích ứng (AC)	Chính quyền (AC.cq)	Diện tích trồng trọt	Lúa vụ Đông Xuân	S.kt.3	0,13	0,05	
			Lúa vụ Hè Thu	S.kt.4	0,15	0,06	
			Hoa màu, cây ăn trái....	S.kt.5	0,16	0,07	
		Diện tích NTTS		S.kt.6	0,15	0,06	
		Nhân lực	Số cán bộ được phân công lĩnh vực BDKH và XNM	AC.cq.1	0,08	0,05	
			Nhận thức của cán bộ quản lý về BDKH và XNM	AC.cq.2	0,15	0,09	
		Tài chính	Ngân sách cho hoạt động ứng phó BDKH và sự cố XNM.	AC.cq.3	0,15	0,09	
		Thủy lợi	Số trạm quan trắc mặn	AC.cq.4	0,11	0,06	
			Tỷ lệ đất nông nghiệp được hỗ trợ bởi các công trình ngăn mặn	AC.cq.5	0,15	0,09	
			Mật độ kênh rạch được nạo vét	AC.cq.6	0,08	0,05	
		Xã hội	Chương trình hỗ trợ phòng chống và khắc phục hậu quả do XNM.	AC.cq.7	0,16	0,09	
			Tỷ lệ nhân viên y tế/dân số	AC.cq.8	0,06	0,04	
			Tỷ lệ giáo viên/học sinh	AC.cq.9	0,06	0,04	
		Cộng đồng (AC.cd)	Nhân lực	Nhận thức của nông hộ về BDKH và XNM	AC.cd.1	0,19	0,08
				Tỷ lệ lao động có việc làm	AC.cd.2	0,09	0,04
			Tài chính – vật chất	Thu nhập bình quân đầu người	AC.cd.3	0,12	0,05
				Khả năng tiếp cận thông tin khi có sự cố (internet. TV...)	AC.cd.4	0,13	0,06
				Khả năng chủ động nguồn nước sinh hoạt khi có sự cố (dung tích lưu trữ, thời gian sử dụng...).	AC.cd.5	0,13	0,42
	SXNN thích ứng XNM		Đa dạng giống cây trồng chịu mặn	AC.cd.6	0,12	0,05	
			Tỷ lệ diện tích các cây trồng chịu mặn/tổng diện tích cây trồng (bao gồm lúa)	AC.cd.7	0,11	0,05	
			Đa dạng các loại thủy sản nước lợ	AC.cd.8	0,11	0,05	

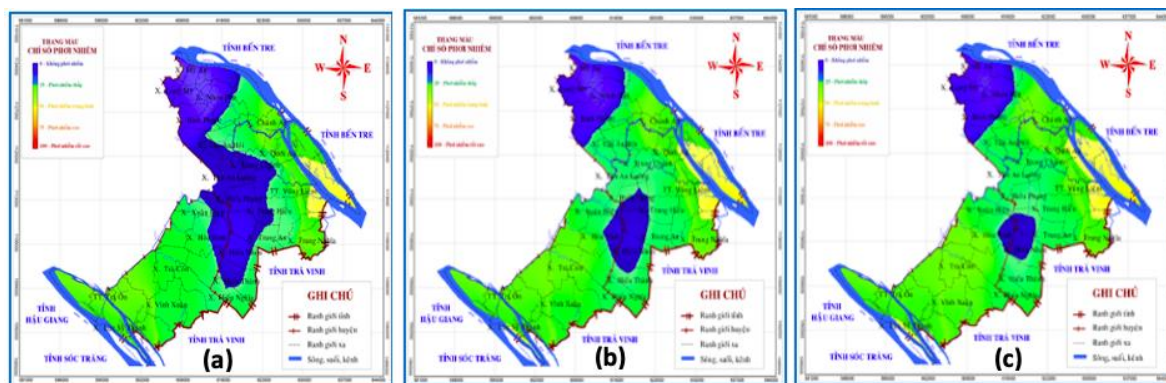
3.2. Đánh giá khả năng phơi nhiễm với XNM

Độ mặn cao nhất: chỉ số E.dm tại 03 huyện Vũng Liêm, Trà Ôn, Mang Thít hiện ở mức thấp–trung bình (36–46) và có xu hướng gia tăng trong giai đoạn 2020–2030. Vũng Liêm và Trà Ôn có E.dm cao hơn bởi lần lượt nằm kề sông Hậu và sông Cổ Chiên (gần cửa sông hơn huyện Mang Thít). Đáng quan tâm là 2 xã Thanh Bình và Trung Thành Đông (huyện Vũng Liêm) nằm ở cù lao, giữa 2 sông lớn là Cổ Chiên và Pang Tra–khu vực có độ mặn cao nhất tỉnh Vĩnh Long (10‰).

Dao động độ mặn: chỉ số E.dd trung bình của tháng mặn nhất trong năm (tháng 2) tại 03 huyện Trà Ôn, Mang Thít, Vũng Liêm đang ở mức rất thấp–thấp (lần lượt là 18, 13, 24) và có xu hướng gia tăng đến năm 2030, đặc biệt tại khu vực xã Thanh Bình, Trung Thành Đông (mức cao). Dao động độ mặn lớn sẽ gây bất lợi cho nhiều hoạt động kinh tế, đặc biệt là nông nghiệp, khi đó, các biện pháp thích ứng cần được quan tâm.

Thời gian nhiễm mặn: chỉ số E.tg tại Mang Thít, Vũng Liêm, Trà Ôn hiện dao động ở mức rất thấp–thấp (lần lượt là 10, 26, 28). Giai đoạn 2020–2030, chỉ số E.tg có xu hướng gia tăng, nhất là khu vực xã Lục Sĩ Thành, Trung Thành Đông (mức trung bình) và xã Thanh Bình (mức cao). Điều này được giải thích bởi Mang Thít cách xa cửa sông hơn Trà Ôn và Vũng Liêm nên thời gian xảy ra XNM ngắn hơn.

Khả năng phơi nhiễm tổng hợp với XNM: Chỉ số E.xnm hiện ở mức thấp (22, 33, 34 tương ứng với Mang Thít, Trà Ôn, Vũng Liêm), tiếp tục gia tăng đến năm 2030 (dao động từ 26–38). Xét phạm vi cấp xã/thị trấn, đáng quan tâm tại xã Trung Thành Đông và Thanh Bình (H.Vũng Liêm) xấp xỉ mức cao (56 và 58) do tọa lạc ven sông Cổ Chiên và Pang Tra, chịu nhiều ảnh hưởng của triều cường và XNM (Hình 4). Chi phối chủ yếu chỉ số E.xnm tại Trà Ôn, Vũng Liêm là độ mặn, tại Vũng Liêm do dao động mặn và tại Trà Ôn do thời gian mặn.



Hình 4. Chỉ số phơi nhiễm với xâm nhập mặn: (a) năm 2016; (b) năm 2020; (c) năm 2030.

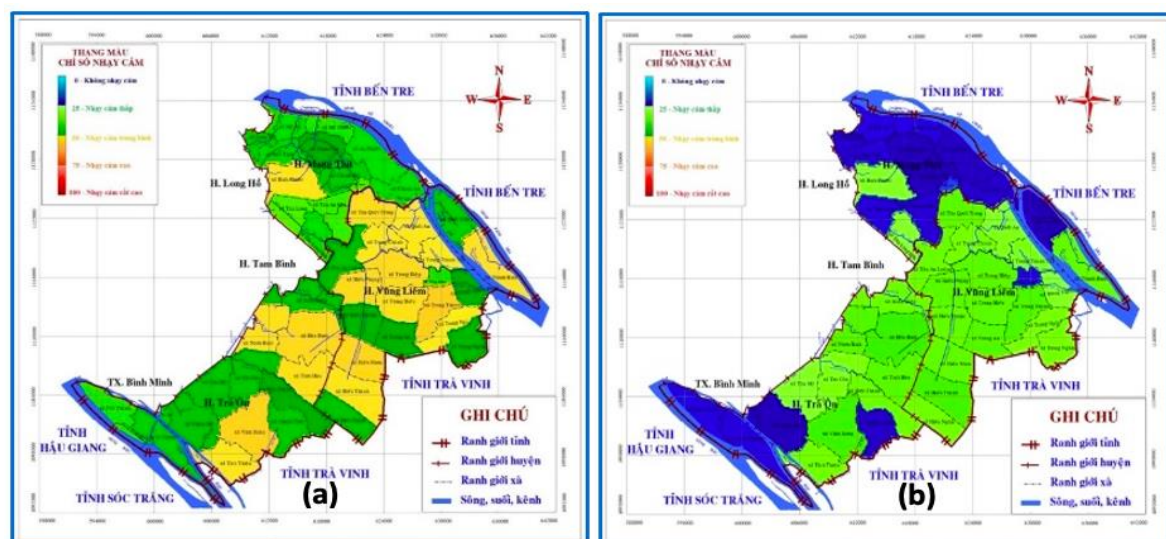
3.3. Đánh giá tính nhạy cảm với XNM

Điều kiện tự nhiên: chỉ số S.tn đang ở mức trung bình–cao (57–64), đáng quan tâm là huyện Mang Thít. Xét theo cấp xã, chỉ số S.tn phân bố từ mức trung bình–cao, đặc biệt tại xã Tân Quới Trung và Bình Phước xấp xỉ mức rất cao (75 và 80), chủ yếu do mật độ sông suối tương đối cao và cao độ địa hình thấp (0,75–1,8 m so với mực nước biển).

Đặc điểm xã hội: chỉ số S.xh tại 03 huyện đang ở mức thấp (32–37), trong đó Trà Ôn là khu vực đáng quan tâm nhất. Hầu hết các xã/thị trấn tại khu vực nghiên cứu có chỉ số S.xh ở mức thấp, ngoại trừ các xã Trung Nghĩa, Quới An, Trung Hiếu, Hiếu Nhơn (≥ 42 , mức trung bình). Giai đoạn 2020–2030, chỉ số S.xh có xu hướng giảm nhưng không đáng kể do các chính sách cải thiện chất lượng đời sống người dân chưa có nhiều đột phá.

Đặc điểm kinh tế: chỉ số S.kt hiện dao động ở mức thấp–trung bình (34–54), đáng quan tâm tại huyện Vũng Liêm và Trà Ôn. Ở phạm vi cấp xã, chỉ số S.kt phân bố rộng hơn, từ mức rất thấp–cao (14–75). Đến năm 2030, sự phụ thuộc vào kinh tế nông nghiệp khiến S.kt tại Vũng Liêm gia tăng, đặc biệt tại các xã Trung Hiếu, Hiếu Thuận, Tân An Lương, Hiếu Nhơn, Trung An, Trung Hiệp, Hiếu Phụng và Hiếu Nghĩa (trên mức trung bình).

Tính nhạy cảm tổng hợp với XNM: chỉ số S.xnm hiện dao động ở mức trung bình (41–50), cao nhất tại huyện Vũng Liêm, chi phối chủ yếu bởi các đặc điểm kinh tế (còn phụ thuộc nhiều vào ngành nông nghiệp). Xét ở phạm vi cấp xã, chỉ số S.xnm phân bố ở mức thấp–trung bình (35–57), đáng quan tâm tại Hòa Bình, Vĩnh Xuân, Thới Hòa, Nhơn Bình (huyện Trà Ôn), Hiếu Thành, Trung Thành (huyện Vũng Liêm). Giai đoạn 2020–2030, chỉ số S.xnm có xu hướng giảm do những điều chỉnh trong quy hoạch kinh tế nói chung và phát triển nông nghiệp nói riêng trên địa bàn tỉnh (Hình 5).



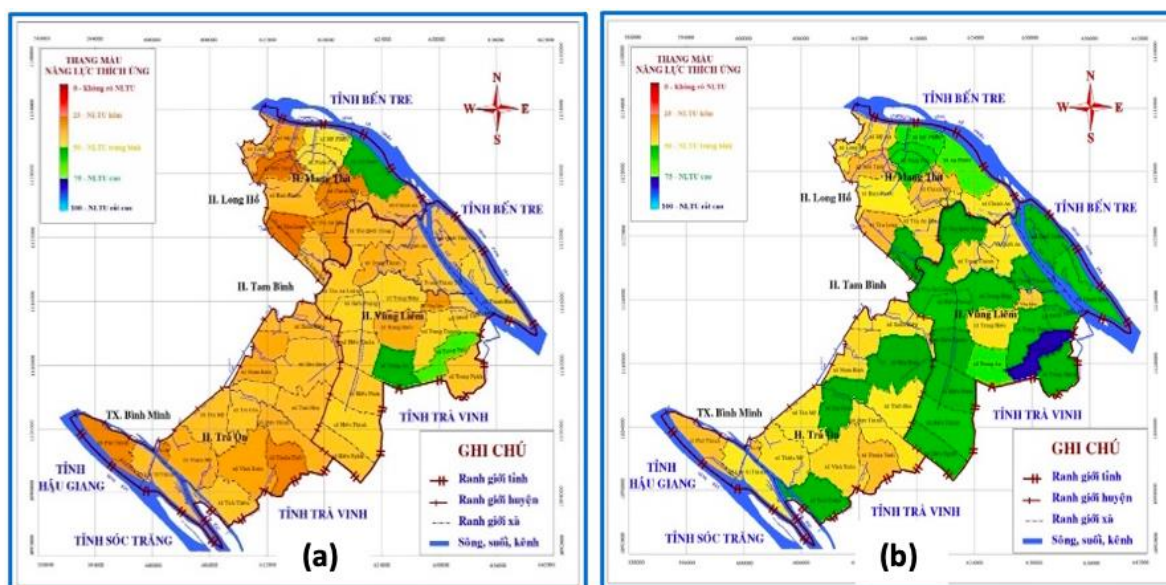
Hình 5. Chỉ số nhạy cảm với XNM: (a) năm 2016, (b) năm 2030.

3.4. Đánh giá năng lực thích ứng với XNM

Chính quyền địa phương: chỉ số AC.cq hiện ở mức thấp (31–34), đáng quan tâm tại huyện Mang Thít. Ở quy mô cấp xã, chỉ số AC.cq dao động khá lớn, từ mức rất thấp đến mức trung bình (16–56). KNTU của chính quyền địa phương giai đoạn 2020–2030 có xu hướng gia tăng, dao động ở mức trung bình do các nhóm nguồn lực chưa chuyển biến đáng kể.

Cộng đồng dân cư (CĐDC): kết quả điều tra, khảo sát tại 3 huyện Vũng Liêm, Mang Thít và Trà Ôn cho thấy hiểu biết chung về BĐKH và XNM của CĐDC còn hạn chế, nhiều lỗ hổng thông tin và kiến thức có liên quan, chỉ khoảng 38% đạt mức tốt. Bên cạnh đó, nhận thức về hiện trạng và nguy cơ XNM tại địa phương cũng khá thấp trong khi những tác động đến đời sống và sản xuất ngày càng rõ ràng và nghiêm trọng. Chỉ số AC.cd hiện ở mức trung bình (36–42), thấp nhất tại huyện Trà Ôn. Ở phạm vi cấp xã, chỉ số AC.cd phân bố khá rộng, từ thấp–cao (28–75). Đến năm 2030, với những định hướng phát triển KTXH nói chung cũng như việc nâng cao nhận thức, cải thiện KNTU với XNM và BĐKH, chỉ số AC.cd ở hầu hết các xã tại khu vực nghiên cứu (32/47 xã) kì vọng trên mức cao (≥ 60 điểm). Nhìn chung, để tăng cường KNTU với XNM của CĐDC tại tỉnh Vĩnh Long, cần ưu tiên cải thiện trình độ lao động và khả năng tiếp cận thông tin, cơ cấu cây trồng vật nuôi thích ứng với XNM.

KNTU tổng hợp với XNM: chỉ số AC.xnm tại Trà Ôn và Mang Thít ở mức thấp (36–37), tại Vũng Liêm ở mức trung bình (42). Các khu vực có chỉ số AC đáng quan tâm bao gồm Tân Long, Hòa Tịnh, Chánh Hội (huyện Mang Thít), Thuận Thới, Phú Thành, TT Trà Ôn (huyện Trà Ôn) (Hình 6). Giai đoạn 2020–2030 ghi nhận sự gia tăng KNTU nhưng không đáng kể. Các nguồn lực còn hạn chế tại địa phương như cơ sở vật chất (khả năng tiếp cận thông tin, công trình ngăn mặn hỗ trợ sản xuất nông nghiệp...), nhân lực (trình độ của cán bộ quản lý và CĐDC), tài chính (ngân sách khắc phục thiệt hại do thiên tai, XNM).



Hình 6. Chỉ số KNTU với XNM: (a) năm 2016; (b) năm 2030.

Bảng 3. Chỉ số E, S, AC và V–XNM tại khu vực nghiên cứu.

(a) Chi tiết năm 2020

TT	Xã/Thị trấn	Chỉ số phơi nhiễm				Chỉ số nhạy cảm				Chỉ số KNTU			V
		E.dm	E.dd	E.tg	E	S.tn	S.xh	S.kt	S	AC.cq	AC.cd	AC	
1	Lục Sĩ Thành	52	26	49	45	31	32	24	28	35	50	44	44
2	Thiện Mỹ	51	22	38	39	39	35	36	37	33	47	46	46
3	Tân Mỹ	50	25	26	36	38	35	42	39	36	50	44	44
4	Hựu Thành	44	16	29	32	45	34	50	44	35	47	45	45

TT	Xã/Thị trấn	Chỉ số phơi nhiễm				Chỉ số nhạy cảm				Chỉ số KNTU			V
		E.dm	E.dd	E.tg	E	S.tn	S.xh	S.kt	S	AC.cq	AC.cd	AC	
5	Thới Hòa	43	15	27	31	44	31	61	47	35	50	46	46
6	Hòa Bình	41	16	21	28	40	30	73	51	35	53	46	46
7	Nhon Bình	48	24	20	33	39	32	61	46	43	32	47	47
8	Xuân Hiệp	41	16	18	27	35	30	55	42	37	45	43	43
9	Tích Thiện	48	20	43	39	39	28	52	41	34	48	46	46
10	TT. Trà Ôn	50	22	34	38	40	38	24	33	26	39	46	46
11	Vĩnh Xuân	46	18	29	33	42	33	66	49	33	43	48	48
12	Trà Côn	48	23	25	34	41	39	41	40	44	42	44	44
13	Thuận Thới	45	16	28	32	42	30	32	34	32	31	45	45
14	Phú Thành	50	21	37	38	30	30	24	28	31	33	45	45
TRÀ ÔN		47	20	30	35	39	33	46	40	35	44	39	45
15	TT. Cái Nhum	49	27	17	33	23	30	13	21	36	43	38	38
16	Tân An Hội	43	20	17	29	39	29	29	32	30	42	42	42
17	Chánh Hội	45	23	14	29	35	29	40	35	25	42	44	44
18	Tân Long Hội	41	16	18	27	37	31	42	37	32	57	40	40
19	Chánh An	52	40	22	39	28	30	30	29	35	46	43	43
20	Long Mỹ	31	3	10	17	51	29	32	37	26	59	38	38
21	Bình Phước	32	5	10	18	40	31	42	38	33	52	38	38
22	An Phước	49	30	14	33	34	31	33	33	50	60	37	37
23	Mỹ Phước	37	14	5	21	34	29	24	28	43	64	32	32
24	Nhon Phú	31	7	3	16	39	31	37	36	43	58	34	34
25	Hòa Tịnh	29	2	7	15	40	30	30	33	21	40	40	40
26	Mỹ An	29	5	2	14	30	30	24	28	34	40	35	35
27	Tân Long	37	11	15	23	37	28	29	31	19	42	42	42
MANG THÍT		39	16	12	24	40	30	31	32	33	50	40	39
28	Quới Thiện	58	55	38	51	28	27	44	34	38	52	47	47
29	Thanh Bình	62	71	57	63	26	31	57	40	41	55	52	52
30	Trung Ngãi	50	26	35	39	41	30	47	40	60	77	37	37
31	Hiếu Phụng	41	12	19	26	40	35	57	46	36	60	42	42
32	Hiếu Thuận	38	9	19	25	41	33	54	44	34	55	42	42
33	Trung Thành	46	20	28	34	40	40	57	47	34	65	45	45
34	Trung Hiệp	44	15	22	30	37	35	57	45	34	63	43	43
35	Trung Chánh	43	16	20	29	42	31	51	43	32	47	45	45
36	Trung T. Đông	61	69	50	60	40	41	39	40	36	60	51	51
37	Tân An Luông	43	16	18	28	36	32	55	43	32	61	42	42
38	TT. Vũng Liêm	52	30	27	39	29	33	25	29	28	42	45	45
39	Tân Quới Trung	51	27	18	34	36	40	53	44	32	56	45	45
40	Trung An	41	8	29	29	42	33	59	46	48	63	40	40
41	Trung T. Tây	56	46	34	46	34	32	47	39	37	58	47	47
42	Trung Nghĩa	53	23	35	40	39	27	52	41	34	58	46	46
43	Quới An	53	41	28	42	44	30	48	42	32	51	48	48
44	Trung Hiếu	42	12	25	29	42	29	59	45	18	66	45	45
45	Hiếu Nhon	39	8	23	26	41	31	56	44	30	62	42	42
46	Hiếu Nghĩa	43	9	30	30	42	30	50	42	35	55	43	43
47	Hiếu Thành	41	8	27	28	45	41	60	50	34	65	44	44
VŨNG LIÊM		48	26	29	36	38	33	51	42	35	59	45	44

(b) Giai đoạn 2016–2030

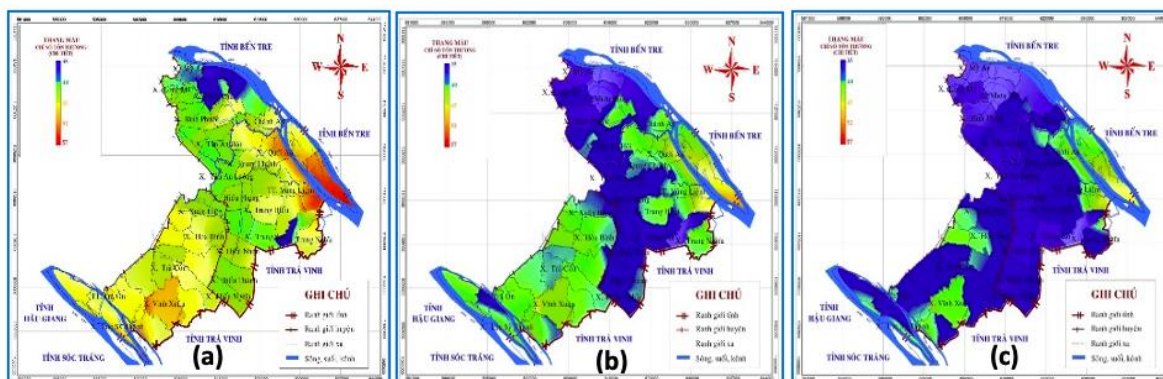
TT	Xã/Thị trấn	2016				2020				2030			
		E	S	AC	V	E	S	AC	V	E	S	AC	V
1	Lục Sĩ Thành	42	44	39	49	45	28	41	44	46	19	49	38
2	Thiện Mỹ	37	46	36	49	39	37	39	46	40	23	47	39
3	Tân Mỹ	34	46	40	47	36	39	42	44	37	25	49	38
4	Hựu Thành	30	49	37	47	32	44	40	45	33	30	48	38
5	Thới Hòa	29	53	39	48	31	47	41	46	32	33	49	39
6	Hòa Bình	26	55	40	47	28	51	42	46	30	37	50	39
7	Nhon Bình	31	53	35	49	33	46	38	47	34	33	45	41
8	Xuân Hiệp	25	45	38	44	27	42	40	43	29	30	48	37
9	Tích Thiện	36	51	41	49	39	41	43	46	41	29	52	39
10	TT. Trà Ôn	36	43	29	50	38	33	32	46	38	21	39	40
11	Vĩnh Xuân	32	56	34	51	33	49	37	48	34	36	45	42
12	Trà Côn	32	46	41	46	34	40	43	44	36	27	51	37
13	Thuận Thới	31	45	29	49	32	34	32	45	33	21	39	38
14	Phú Thành	37	39	29	49	38	28	32	45	39	18	40	39
TRÀ ÔN		33	48	36	48	35	40	39	45	37	27	46	39
15	TT. Cái Nhum	30	36	36	43	33	21	39	38	35	13	48	33
16	Tân An Hội	26	37	32	44	29	32	35	42	31	19	45	35
17	Chánh Hội	26	44	29	47	29	35	32	44	31	24	41	38
18	Tân Long Hội	24	40	39	42	27	37	43	40	29	25	51	34
19	Chánh An	36	41	37	47	39	29	40	43	41	20	49	38
20	Long Mỹ	15	43	37	41	17	37	40	38	18	21	49	30
21	Bình Phước	16	52	38	43	18	38	41	38	19	25	50	32
22	An Phước	30	41	51	40	33	33	54	37	35	22	63	31
23	Mỹ Phước	18	38	48	36	21	28	52	32	22	18	61	26
24	Nhon Phú	14	48	47	39	16	36	50	34	17	23	59	27
25	Hòa Tịnh	14	42	26	43	15	33	29	40	16	20	38	33
26	Mỹ An	13	40	34	40	14	28	37	35	15	18	46	29
27	Tân Long	21	35	26	43	23	31	29	42	25	19	38	35
MANG THÍT		22	41	37	42	24	32	40	39	26	21	49	32
28	Quới Thiện	47	44	40	50	51	34	44	47	53	25	52	42
29	Thanh Bình	58	52	44	55	63	40	47	52	65	31	55	47
30	Trung Ngãi	37	50	63	41	39	40	67	37	41	28	75	31
31	Hiếu Phụng	24	54	44	45	26	46	46	42	28	32	54	35
32	Hiếu Thuận	22	48	42	43	25	44	43	42	26	31	51	36
33	Trung Thành	31	57	44	48	34	47	47	45	35	34	54	39
34	Trung Hiệp	26	54	44	46	30	45	46	43	31	32	53	37
35	Trung Chánh	26	51	36	47	29	43	38	45	31	28	46	38
36	Trung T. Đông	56	49	43	54	60	40	46	51	62	26	54	45
37	Tân An Lương	25	46	42	43	28	43	44	42	30	30	53	36
38	TT. Vũng Liêm	35	39	32	47	39	29	34	45	40	18	43	39
39	Tân Quới Trung	31	53	39	48	34	44	42	45	36	32	50	39
40	Trung An	27	49	51	41	29	46	54	40	30	33	61	34
41	Trung Thành Tây	42	50	42	50	46	39	45	47	48	27	52	41
42	Trung Nghĩa	38	48	41	48	40	41	44	46	41	28	52	39
43	Quới An	38	51	38	51	42	42	40	48	44	26	48	40
44	Trung Hiếu	26	53	36	48	29	45	38	45	30	32	47	38

TT	Xã/Thị trấn	2016				2020				2030			
		E	S	AC	V	E	S	AC	V	E	S	AC	V
45	Hiếu Nhon	24	55	41	46	26	44	43	42	27	31	52	35
46	Hiếu Nghĩa	29	46	41	45	30	42	43	43	31	29	53	36
47	Hiếu Thành	27	52	44	45	28	50	47	44	29	35	55	37
VŨNG LIÊM		34	50	42	47	36	42	45	44	38	30	53	38

3.5. Đánh giá DBTT do XNM

Chỉ số V.XNM hiện ở mức trung bình (42–48), lần lượt theo thứ tự giảm dần là Trà Ôn, Vũng Liêm và Mang Thít. Ở phạm vi cấp xã/thị trấn, chỉ số V chủ yếu ở mức trung bình (43/47 xã), đáng quan tâm là xã Trung Thới Đông và Thanh Bình (54–55 điểm) tại huyện Vũng Liêm. Giai đoạn 2020–2030, sự phơi nhiễm gia tăng không đáng kể, tính nhạy cảm ít hơn (do điều chỉnh quy hoạch phát triển KTXH, đặc biệt là diện tích và cơ cấu ngành nông nghiệp) cùng với KNTU được đầu tư cải thiện là tiền đề và động lực của xu hướng suy giảm chỉ số V-xnm (đạt cận trên của mức thấp) (Hình 7). Chỉ số này là kết quả của sự thay đổi tích cực và đồng thời của các khu vực, lĩnh vực và đối tượng liên quan trong hệ thống, đặt ra yêu cầu thường xuyên giám sát, đánh giá và điều chỉnh ở các quy mô và mức độ khác nhau, phù hợp với bối cảnh cụ thể của từng giai đoạn.

Bên cạnh chỉ số V-xnm, các khu vực đáng quan tâm (cấp xã) còn được xác định trong mối quan hệ với các chỉ số E, S, AC. Trong đó, tổ hợp điều kiện chỉ số V, E, S của xã đang xét trên mức trung bình, AC dưới mức trung bình, đồng thời lớn hơn chỉ số tương ứng trung bình cấp huyện. Bảng 3 đóng góp cơ sở định hướng ưu tiên các giải pháp ứng phó cho mỗi xã cũng như tổng thể phạm vi nghiên cứu.



Hình 7. Chỉ số DBTT do XNM (chi tiết thang 35–60): (a) năm 2016, (b) năm 2020, (c) năm 2030.

Bảng 3. Các khu vực và khía cạnh đáng quan tâm trong mối quan hệ với tính DBTT do XNM.

Cấu phần	Khu vực		Khía cạnh	
	Khu vực	Mô tả	Khía cạnh	Mô tả
1. Phơi nhiễm	Vũng Liêm	Thanh Bình, T.T.Đông, Quới Thiện, T.T.Tây, Quới An, Trung Nghĩa, Trung Ngãi	Độ mặn	Vũng Liêm, Trà Ôn
	Trà Ôn	L.S.Thành, Tích Thiện	Dao động mặn	Vũng Liêm
	Mang Thít	Chánh An	Thời gian mặn	Trà Ôn
2. Nhạy cảm	Vũng Liêm	Trung Thành, Hiếu Nhon, Hiếu Phụng, Trung Hiệp, Trung Hiếu, T.Q.Trung	Kinh tế	Trà Ôn, Vũng Liêm - Sử dụng đất cho SXNN - Sự phụ thuộc vào nông nghiệp
	Trà Ôn	Vĩnh Xuân, Hoà Bình, Thới Hoà, Nhon Bình, Tích Thiện	Tự nhiên	Mang Thít, Vũng Liêm - Cao độ địa hình - Thủy hệ
	Mang Thít	Thanh Bình, Trung Thành Tây, Quới An	Xã hội	Trà Ôn, Vũng Liêm - Đặc điểm dân số - Người già, trẻ em, hộ nghèo.

Cấu phần	Khu vực		Khía cạnh		
	Khu vực	Mô tả	Khía cạnh	Mô tả	
3. Khả năng thích ứng	Trà Ôn	Phú Thành, Thuận Thới, TT.Trà Ôn	Chính quyền	Vũng Liêm, Mang Thít	- Nhân lực: số lượng và trình độ CBQL
	Mang Thít	Tân Long, Hoà Tịnh, Chánh Hội			- Vật chất: công trình ngăn mặn, hỗ trợ SXNN
	Vũng Liêm	TT.Vũng Liêm, Trung Chánh, Trung Hiếu, Quới An, T.Q.Trung	Cộng đồng	Vũng Liêm, Trà Ôn	- Tài chính: ngân sách hỗ trợ khắc phục thiệt hại
4. Tính dbtt	Vũng Liêm	KNTU	KNTU	Vũng Liêm, Trà Ôn	Chính quyền: nguồn nhân lực, vật chất, tài chính
		Phơi nhiễm			
	Trà Ôn	KNTU	Tính nhạy cảm	Vũng Liêm, Trà Ôn	- Kinh tế nông nghiệp
		Nhạy cảm			
	Mang Thít	Phơi nhiễm	Sự phơi nhiễm	Vũng Liêm, Trà Ôn	- Địa hình, thủy hệ
		KNTU			
	Nhạy cảm			- Độ mặn	
	Phơi nhiễm			- Dao động mặn	

4. Kết luận

Bằng phương pháp chỉ số, nghiên cứu nhằm mục tiêu khoanh vùng các khu vực DBTT do XNM tại tỉnh Vĩnh Long đến năm 2030 trên cơ sở đánh giá sự phơi nhiễm, tính nhạy cảm và KNTU với XNM; chỉ ra các khía cạnh, nguồn lực, đối tượng, khu vực đáng quan tâm, các nguyên nhân chi phối (các mắt xích khiếm khuyết) của hệ thống đóng góp cơ sở quan trọng để xây dựng các giải pháp ứng phó phù hợp.

Chỉ số E.xnm hiện ở mức thấp (22–34), tiếp tục gia tăng đến năm 2030 (26–38). Chỉ số S.xnm hiện dao động ở mức trung bình (41–50), cao nhất tại huyện Vũng Liêm, có xu hướng giảm trong giai đoạn 2020–2030 do những điều chỉnh về quy hoạch kinh tế và phát triển nông nghiệp. Chỉ số AC.xnm tại Trà Ôn và Mang Thít ở mức thấp (36–37), tại Vũng Liêm ở mức trung bình (42), dự báo gia tăng trong giai đoạn 2020–2030 nhưng không đáng kể. Tính DBTT do XNM hiện ở mức trung bình, chi phối chủ yếu bởi chỉ số AC, S trong mối quan hệ với chỉ số E khác nhau giữa các khu vực, đồng thời phản ánh tính ưu tiên trong hoạch định các giải pháp ứng phó. Đến năm 2030, trong bối cảnh gia tăng chỉ số E do NBD; việc quy hoạch hợp lý KTXH, đặc biệt trong phát triển nông nghiệp góp phần đáng kể trong giảm thiểu chỉ số S; cùng với sự tăng cường chỉ số AC thông qua đầu tư, cải thiện các nguồn lực sinh kế, dự kiến đóng góp tích cực cho mục tiêu giảm thiểu chỉ số V-xnm kỳ vọng đạt mức thấp. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng để giảm nhẹ tính DBTT, cần ưu tiên tăng cường các nguồn lực thích ứng hơn là tập trung các giải pháp đối phó với XNM.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của nhiệm vụ: “Nghiên cứu mô hình đa dạng hóa sinh kế thích ứng với xâm nhập mặn trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại tỉnh Vĩnh Long”.

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

Tài liệu tham khảo

1. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu, 2008.
2. IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report – Summary for Policymakers, Assessment of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, 2007.
3. Allison, E.H.; Perry, A.L.; Badjeck, M.C.; Adger, W.N.; Brown, K.; Conway, D.; Halls, A.S.; Pilling, G.M.; Reynolds, J.D.; Andrew, N.L.; Dulvy, N.K. Climate change and fisheries: a comparative analysis of the relative vulnerability of 132 countries. *Fisheries* **2009**, 10, 173–196.
4. World Bank. Climate Risks and Adaptation in Asian Coastal Mega cities. A Synthesis Report, 2010.
5. Tuấn, L.N. Tổng quan nghiên cứu về đánh giá tính dễ bị tổn thương do biến đổi khí hậu. *Tap chí phát triển khoa học và công nghệ* **2017**, 20(T2), 5–20.
6. Tuấn, L.N.; Thịnh, N.N.; Phùng, N.K. Xây dựng kịch bản mực nước biển dâng trong bối cảnh biến đổi khí hậu cho khu vực thành phố Hồ Chí Minh. *Tap chí Phát triển Khoa học và Công nghệ. Chuyên san KHTN* **2018**, 2(5), 184–191.
7. Phùng, L.T.; Phùng, N.K.; Nam, B.C.; Hoàng, T.X.; Tuấn, L.N. Ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến xâm nhập mặn ở tỉnh Vĩnh Long. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 674, 8–15.
8. Tuan, L.N.; Minh, P.N. Assessing changes in saltwater intrusion in some main rivers of Vinhlong province. *Tap chí phát triển khoa học và công nghệ* **2017**, 20(T4), 261–269.
9. Phùng, N.K.; Bảy, N.T.; Kim, T.T.; Tuấn, L.N. Nguy cơ xâm nhập mặn các sông chính tỉnh Đồng Nai trong bối cảnh biến đổi khí hậu và nước biển dâng. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 678, 1–11.
10. Tuấn, L.N.; Nguyệt, N.L.P.; Kiệt, H.A. Diễn biến xâm nhập mặn trên các sông chính chảy qua địa bàn TpHCM. *Tap chí Nghiên cứu khoa học và công nghệ quân sự* **2017**, 182–191.
11. Tuấn, L.N.; Thuý, T.T. Đánh giá mức độ nhạy cảm với xâm nhập mặn trên địa bàn tỉnh Đồng Nai đến năm 2030. *Tap chí phát triển khoa học và công nghệ* **2016**, T5, 256–267.
12. Tuan, L.N. Identifying vulnerability indicators to climate change of rural fresh water and sanitation. *J. Environ. Sci. Manage.* **2018**, 21–1, 38–45.
13. Tuấn, L.N. Đánh giá năng lực thích ứng với biến đổi khí hậu của lĩnh vực nước sạch và vệ sinh môi trường huyện Cần Giờ. *Tap chí phát triển khoa học và công nghệ* **2017**, 20(T3), 95–106.
14. Hoang, T.X.; Tuan, L.N. Identifying vulnerability indicators to saltwater intrusion in the context of climate change. *J. Sci. Technol.* **2015**, 53(5A), 212–219.
15. Tuan, L.N.; Hoang, T.X. Assessment of exposure level to saltwater intrusion in the context of climate change in Dong Nai province to 2030. *Sci. Technol. Dev. J.* **2017**, 20(T4), 251–260.
16. Tuan, L.N.; Hoang, T.X. Assessment of exposure level to climate change of fresh water and sanitation – A case study in CanGio district. *VN J. Sci. Technol.* **2018**, 56(1), 71–80.
17. Tuan, L.N.; My, V.T.N. Assessment of adaptive capacity to saltwater intrusion in the context of climate change in Dong Nai province to 2030. *Sci. Technol. Dev. J.* **2016**, T5, 225–233.

Vulnerability due to saltwater intrusion in the context of sea level rise - a case study in Vinh Long province

Le Ngoc Tuan^{1*}, Dau Van Hung², Nguyen The Hung³, Le Quang Toai⁴

¹ University of Science (VNU–HCMC); lntuan@hcmus.edu.vn

² Sub-Institute of Hydrometeorology and Climate Change

³ MienTrung University of Civil Engineering

⁴ Institute of Meteorology Hydrology Oceanography and Environment;
lqtoaihd@gmail.com

Abstract: By index method, the study aimed to localize vulnerable areas due to saltwater intrusion (SI) in Vinh Long province till 2030 on the basis of exposure (E), sensitivity (S) and adaptive capacity (AC) assessment, pointing out the aspects, objects, sectors, and areas of concern, the dominant causes (defective links) of the system - important fundamental contributions to develop appropriate response solutions. The vulnerability (V) index due to SI was currently at an average level, mainly driven by the AC and S indices in relation to the different E indices among investigated regions. The results also reflected the priority in planning response solutions. By 2030, in the context of increasing the E index due to sea level rise, rational socio-economic planning, especially in agricultural development, would significantly contribute to reducing the S index. Besides, the enhancement of the AC index via investing and improving human, financial, material and social resources at the community level as well as the local government... would positively contribute to mitigating V index to be low as expectation.

Keywords: Adaptive capacity; Saltwater intrusion; Sea level rise; Vulnerability.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu ảnh hưởng tương tác đại dương–khí quyển trong mô phỏng bão trên khu vực Biển Đông

Vũ Hải Đăng¹, Nguyễn Thị Thanh^{2*}, Phạm Văn Tiến², Nguyễn Bá Thủy³, Đỗ Ngọc Thực¹

¹ Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; vuhaidang@hotmail.com; dothuc.vn@gmail.com

² Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; thanhnt.met@gmail.com; phamvantienbn@gmail.com

³ Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia; thuybanguyen@gmail.com

*Tác giả liên hệ: thanhnt.met@gmail.com; Tel.: +84–974042757

Ban Biên tập nhận bài: 15/10/2022; Ngày phản biện xong: 24/11/2022; Ngày đăng: 25/11/2022

Tóm tắt: Tương tác đại dương–khí quyển ảnh hưởng rất lớn đến sự hình thành và phát triển của bão thông qua việc cung cấp năng lượng cho bão dưới dạng thông lượng ẩn nhiệt và ẩm nhiệt. Nhằm nghiên cứu ảnh hưởng tương tác đại dương–khí quyển đến mô phỏng bão trên khu vực Biển Đông, nghiên cứu tiến hành mô phỏng cơn bão Conson (2021) và siêu bão Noru (2022) bằng mô hình kết hợp WRF và 3DPWP. Kết quả nghiên cứu cho thấy tương tác đại dương–khí quyển làm giảm đáng kể SST tại khu vực tâm bão, dẫn đến giảm cường độ bão khi so sánh với trường hợp không tính đến tương tác đại dương–khí quyển. Kết hợp mô hình WRF và mô hình 3DPWP làm giảm sai số mô phỏng cường độ ở cơn bão Conson từ 1–2,4 m/s nhưng làm tăng sai số mô phỏng cường độ bão ở cơn bão Noru từ 1–4 m/s khi so sánh với trường hợp sử dụng mô hình WRF riêng lẻ. Việc đưa hiệu ứng tương tác đại dương khí quyển vào mô hình WRF cải thiện sai số trung bình khoảng cách khoảng 42 km ở hạn dự báo đến 30 giờ đối với cơn bão Conson, tuy nhiên gia tăng sai số trung bình khoảng cách đến 50 km đối với cơn bão Noru do làm lệch hướng của quỹ đạo hoặc làm bão di chuyển chậm hơn so với trường hợp không tính đến tương tác đại dương–khí quyển.

Từ khóa: Bão; Biển Đông; Tương tác đại dương–khí quyển; WRF; 3DPWP.

1. Mở đầu

Việt Nam là một trong những quốc gia chịu ảnh hưởng nặng nề của thiên tai và biến đổi khí hậu [1]. Trong đó, bão là một trong những loại hình thiên tai thường gây thiệt hại nghiêm trọng nhất về kinh tế, xã hội, môi trường và đe dọa tính mạng con người. Trong những năm gần đây, hoạt động bão trên khu vực Biển Đông có những diễn biến bất thường, có xu hướng thay đổi về tần suất, cường độ, quỹ đạo do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Do đó, nghiên cứu cơ chế và dự báo bão là vấn đề cần thiết nhằm nâng cao khả năng phòng, chống, ứng phó với thiên tai. Nhiều nỗ lực nghiên cứu nhằm nâng cao khả năng dự báo bão được thực hiện thông qua những cải tiến trong mô hình số trị và ứng dụng các khoa học kỹ thuật tiên tiến. Trong vài thập kỷ gần đây, kỹ năng dự báo quỹ đạo bão đã được cải thiện đáng kể [2–4], tuy nhiên kỹ năng dự báo cường độ bão chưa được cải thiện nhiều [5–6], một phần nguyên nhân là do sự tương tác phức tạp giữa nội động lực, cấu trúc bão và môi

trường đại dương–khí quyển xung quanh [7–8]. Tương tác đại dương–khí quyển ảnh hưởng rất lớn đến sự hình thành và phát triển của bão thông qua việc cung cấp năng lượng cho bão dưới dạng thông lượng nhiệt và ẩm nhiệt. Sự hội tiếp âm của đại dương trong quá trình tương tác đại dương–khí quyển trong bão là quá trình giảm SST ở khu vực tâm bão, thông qua quá trình xáo trộn thẳng đứng và quá trình nước trời [9].

Quá trình xáo trộn thẳng đứng xảy ra do gió bề mặt biển mạnh lên làm tăng ma sát bề mặt, tạo nên dòng chảy trong lớp xáo trộn. Sự biến đổi của vận tốc dòng chảy theo phương thẳng đứng ở phía trên của đại dương tạo nên xoáy rối, gây nên xáo trộn và cuốn hút phần tử nước lạnh từ lớp nôm nhiệt lên lớp xáo trộn. Quá trình xáo trộn thẳng đứng xảy ra trong vài giờ và thường làm giảm nhiệt độ mặt nước biển ở khu vực tâm bão, làm giảm quá trình bốc hơi và do đó, giảm năng lượng cung cấp cho bão tồn tại và phát triển [10]. Đối với quá trình nước trời, gió trong bão xoáy ngược chiều kim đồng hồ ở Bắc bán cầu gây ra ứng suất bề mặt có dạng xoáy, dẫn đến dòng chảy bề mặt lúc đầu có dạng xoáy ngược chiều kim đồng hồ. Mặt khác, lực Coriolis làm dòng chảy hướng sang phải, kết quả của hai quá trình này làm dòng chảy bề mặt đại dương hướng ra ngoài tâm bão. Khi nước ở lớp bề mặt đại dương được đẩy ra xa tâm bão, nước lạnh ở lớp dưới đại dương chuyển động lên bề mặt biển thay thế, tạo ra quá trình nước trời ở khu vực tâm bão theo lý thuyết lớp biên Ekman. Không giống như quá trình xáo trộn, quá trình nước trời thường xảy ra trong khoảng thời gian từ nửa ngày trở lên. Do đó, đối với những cơn bão di chuyển chậm, hiệu ứng giảm SST ở khu vực tâm bão thể hiện rõ ràng hơn so những cơn bão di chuyển nhanh [11–12]. Nghiên cứu [7] cho thấy SST giảm lớn hơn 2,5°C cản trở sự tăng cường cường độ bão, thậm chí có thể làm suy yếu cường độ bão [11, 13]. Vùng SST giảm do bão có thể tồn tại khoảng 1 đến 2 tuần và có thể ảnh hưởng đến quỹ đạo, cường độ của cơn bão tiếp theo [14–15]. Do đó, cung cấp ước lượng mức độ giảm SST chính xác sẽ góp phần cải thiện kỹ năng dự báo cường độ bão [7, 16].

Nghiên cứu mô hình hóa quá trình tương tác đại dương–khí quyển đã được các nhà khoa học quan tâm từ nửa cuối của thế kỷ XX. Một trong những mô hình đơn giản được sử dụng để nghiên cứu tương tác đại dương–khí quyển là mô hình lớp xáo trộn đại dương 1 chiều (OML) [17]. Các nghiên cứu [18–19] cho thấy kết hợp mô hình nghiên cứu và dự báo thời tiết (WRF) và mô hình OML đã mô phỏng được quá trình giảm SST do bão, do đó, cải thiện được sai số dự báo cường độ bão. Một số nghiên cứu khác sử dụng kết hợp giữa mô hình khí quyển và mô hình đại dương 3 chiều để nghiên cứu tương tác đại dương khí quyển trong bão. Mô hình đại dương 3 chiều Price–Weller–Pinkel (3DPWP) được phát triển bởi [20–21] đưa vào trong lõi động lực của mô hình WRF. Sử dụng mô hình WRF kết hợp với mô hình 3DPWP cho phép mô phỏng sự thay đổi các đặc điểm của lớp xáo trộn đại dương như nhiệt độ, độ muối, độ sâu lớp xáo trộn trong thời gian bão đi qua, dẫn đến giảm SST, thông lượng nhiệt, ẩm và trường gió bề mặt ở khu vực gần tâm bão, từ đó giảm sai số dự báo cường độ bão khoảng 29–47% ở hạn dự báo từ 24 đến 96 giờ [22–23]. Nghiên cứu tương tác đại dương–khí quyển thông qua việc sử dụng kết hợp mô hình đại dương đầy đủ và mô hình khí quyển bất thủy tĩnh cũng đã được thực hiện [11, 24–26]. Các kết quả nghiên cứu cho thấy khả năng dự báo cường độ bão được cải thiện đáng kể khi đưa vào tính toán quá trình giảm SST do bão.

Ở trên ta, nghiên cứu tương tác đại dương–khí quyển trong bão bằng mô hình số trị chưa được quan tâm nhiều. Nghiên cứu [27] kết nối không đồng thời các mô hình khí tượng và đại dương nhằm dự báo bão, sóng và nước dâng trong bão. Nghiên cứu [28] kết nối mô hình khí quyển HWRF với mô hình hải dương ROMS để dự báo quỹ đạo và cường độ bão. Kết quả nghiên cứu cho thấy kết nối mô hình hải dương vào mô hình khí tượng đã biểu diễn được quá trình SST giảm do bão thể hiện qua sự biến đổi nhiệt độ nước biển theo phương thẳng đứng. Quá trình giảm SST này tác động trở lại làm ảnh hưởng tới cường độ và quỹ đạo bão. Theo đó, cường độ cơn bão được mô phỏng bằng mô hình kết hợp đại dương–khí quyển có xu hướng nhỏ hơn về cường độ khi so sánh cơn bão được mô phỏng

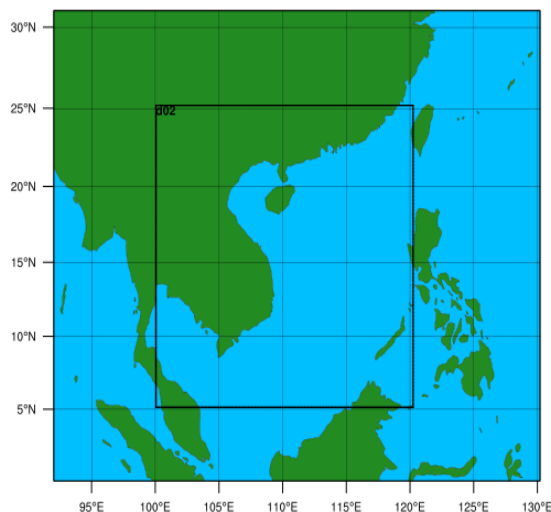
bằng mô hình HWRF chạy độc lập. Tuy nhiên, ảnh hưởng của SST giảm do bão đến quỹ đạo và cường độ thể hiện rõ rệt khi bão mạnh, di chuyển chậm và không thể hiện rõ rệt khi bão yếu hoặc di chuyển với tốc độ tương đối nhanh.

Nhằm nghiên cứu ảnh hưởng tương tác đại dương–khí quyển, cụ thể là ảnh hưởng của sự giảm SST do bão gây ra, đến mô phỏng cường độ và quỹ đạo bão trên khu vực Biển Đông, nghiên cứu tiến hành mô phỏng hai cơn bão Conson (2021) và Noru (2022) bằng việc kết hợp mô hình WRF và mô hình 3DPWP.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu sử dụng

2.1. Lựa chọn các tham số cho mô hình WRF

Mô hình số trị được sử dụng trong nghiên cứu này là hệ thống mô hình WRF nghiên cứu nâng cao (ARW) phiên bản 4.1 được phát triển chủ yếu bởi Phòng Khí tượng qui mô nhỏ và qui mô vừa thuộc Trung tâm quốc gia nghiên cứu Khí quyển (NCAR), Trung tâm quốc gia dự báo môi trường (NCEP), Mỹ. Nghiên cứu lựa chọn 2 miền tính lưới lồng: miền tính 1 nằm từ khoảng 0–31°N và 92–130°E với kích thước 135×158 lưới và độ phân giải ngang 27 km; miền tính thứ 2 được lồng vào miền tính trên với khoảng 5–25°N và 100–120°E với kích thước 259×250 lưới và độ phân giải ngang 9 km (Hình 1).



Hình 1. Miền tính của mô hình WRF được lựa chọn.

Kế thừa các nghiên cứu lựa chọn tham số hóa các quá trình vật lý cho mô hình WRF [28], nghiên cứu lựa chọn các tham số cho mô hình WRF như sau: Sơ đồ New Thompson [29] cho sơ đồ vi vật lý; Kain–Fritsch [30] cho sơ đồ đối lưu; RRTMG [31] cho sơ đồ bức xạ sóng ngắn và bức xạ sóng dài; YSU [32] cho sơ đồ lớp biên hành tinh.

2.2. Mô hình 3DPWP

Mô hình 3DPWP là mô hình hoàn lưu đại dương 3 chiều đầy đủ về mặt vật lý với các quá trình đại dương bao gồm quá trình cuốn hút/ xáo trộn, vận chuyển thẳng đứng/ nước trời, vận chuyển ngang, tuy nhiên, không bao gồm dòng chảy nền và độ sâu đáy biển. Đây là mô hình đại dương thủy tĩnh với các phương trình động lượng, nhiệt và muối như dưới đây:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + fKV + V \cdot \nabla V + W \frac{\partial V}{\partial z} = \frac{1}{\rho_o} \frac{\partial \tau}{\partial z} - \frac{1}{\rho_o} \nabla P \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + V \cdot \nabla T + W \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{1}{\rho_o C_p} \frac{\partial H}{\partial z} \quad (2)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + V \cdot \nabla S + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial E}{\partial z} \quad (3)$$

Trong đó T và S là nhiệt độ và độ muối; P là áp suất thủy tĩnh; H , E và τ là các thông lượng nhiệt (ẩn nhiệt và hiển nhiệt), muối và động lượng; V là dòng chảy ngang và W là thành phần thẳng đứng của vận tốc; f là tham số Coriolis.

Mô hình 3DPWP được kết nối trong lõi động lực của hệ thống mô hình ARW với thiết lập các điểm lưới ngang như mô hình WRF, 30 mực thẳng đứng với độ phân giải 10 m đối với lớp từ 5 m đến 195 m và 20 m đối với các lớp từ 210 m đến 390 m. Trong nghiên cứu này, điều kiện ban đầu của mô hình 3DPWP bao gồm trường SST được lấy từ số liệu GFS như trong mô hình WRF, cấu trúc nhiệt, muối theo chiều thẳng đứng tại mỗi nút lưới là các profile nhiệt, muối từ số liệu trung bình nhiều năm. Điều kiện biên xung quanh được coi là biên kín, tất cả giá trị tại điểm đất liền và bên ngoài miền tính được cho bằng 0.

2.3. Thiết kế thử nghiệm

Để nghiên cứu ảnh hưởng tương tác đại dương–khí quyển đến cường độ và quỹ đạo bão trên Biển Đông, nghiên cứu thực hiện mô phỏng lại cơn bão Conson (2021) và cơn bão Noru (2022) hoạt động trên khu vực Biển Đông với hai trường hợp thử nghiệm: (1) Mô phỏng bão bằng mô hình WRF (CONTROL); (2) Mô phỏng bão bằng mô hình WRF kết hợp với mô hình 3DPWP (OCEAN). Tất cả các tham số khí quyển, điều kiện ban đầu và điều kiện biên khác được thiết lập như nhau cho cả hai trường hợp mô phỏng.

2.4. Số liệu sử dụng

Các trường ban đầu và điều kiện biên cho mô hình WRF là số liệu phân tích của mô hình Hệ thống Dự báo toàn cầu (GFS), độ phân giải ngang $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ kinh, vĩ, các số liệu cách nhau 6 giờ, được cung cấp bởi NOAA thông qua trang web: <https://www.ncei.noaa.gov/data/global-forecast-system/access/grid-004-0.5-degree/forecast>.

Số liệu về bão bao gồm kinh, vĩ độ tại tâm bão, tốc độ gió mực sát bề mặt lớn nhất ở vùng gần tâm bão (V_{max}), áp suất mực mặt biển nhỏ nhất tại tâm bão (P_{min}) được khai thác từ nguồn dữ liệu quỹ đạo bão chuẩn (*Best Track*) của Trung tâm Cảnh báo Bão Mỹ (JTWC) thông qua trang web: <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/>.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Sơ lược về cơn bão Conson (2021) và cơn bão Noru (2022)

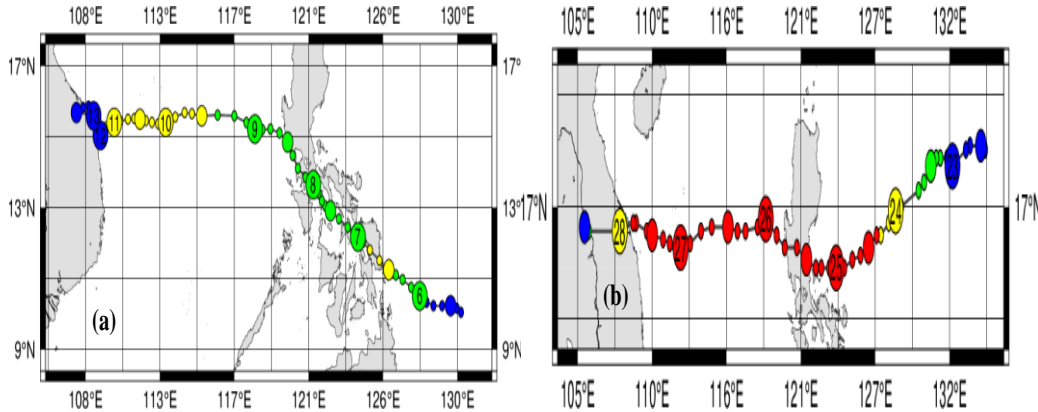
3.1.1. Cơn bão Conson (2021)

Cơn bão Conson (cơn bão số 5 năm 2021) được hình thành từ vùng áp thấp trên khu vực ngoài khơi quần đảo Lu–đông (Philippin), di chuyển theo hướng Tây Bắc và đi vào Biển Đông vào tối ngày 08/9/2021 với V_{max} đạt cấp 9, giạt cấp 11. Sáng 09/9, bão chuyển hướng di chuyển theo hướng Tây với tốc độ khoảng 20 km/h. Đến đêm 9/9, bão Conson mạnh lên cấp 10, giạt cấp 12, tốc độ di chuyển giảm xuống 15 km/h, sau đó giảm dần cường độ. Tối ngày 11/9, khi di chuyển đến khu vực đảo Lý Sơn, V_{max} giảm xuống cấp 8, sau đó suy yếu thành áp thấp nhiệt đới và tan trên vùng biển Quảng Nam–Quảng Ngãi vào trưa ngày 12/9 (Hình 2a).

3.1.2. Cơn bão Noru (2022)

Cơn bão Noru (cơn bão số 4 năm 2022) là một siêu bão hình thành từ khu vực biển phía đông Philippin. Sau khi đổ bộ vào quần đảo Lu–đông (Philippin), bão Noru đi vào Biển Đông vào sáng sớm ngày 26/9/2022 với V_{max} mạnh cấp 12–13, giạt cấp 15 và di chuyển nhanh theo hướng Tây trên khu vực Biển Đông với tốc độ 25 km/h. Hồi 07 giờ ngày 27/9, vị trí tâm bão ở khoảng 15,5 độ Vĩ Bắc; 112,1 độ Kinh Đông, trên vùng biển phía Nam quần đảo Hoàng Sa, với V_{max} đạt cấp 14–15, giạt trên cấp 17. Bão Noru tiếp tục di chuyển theo hướng Tây với tốc độ 20 km/h và giảm dần cường độ. Hồi 04 giờ ngày 28/9,

vị trí tâm bão ở khoảng 15,8 độ Vĩ Bắc; 108,1 độ Kinh Đông, trên đất liền khu vực Thừa Thiên Huế–Quảng Ngãi, V_{max} đạt cấp 10–11, giạt cấp 13. Bão tiếp tục đi sâu vào đất liền, suy yếu và tan dần trên khu vực phía nam nước Lào (Hình 2b).

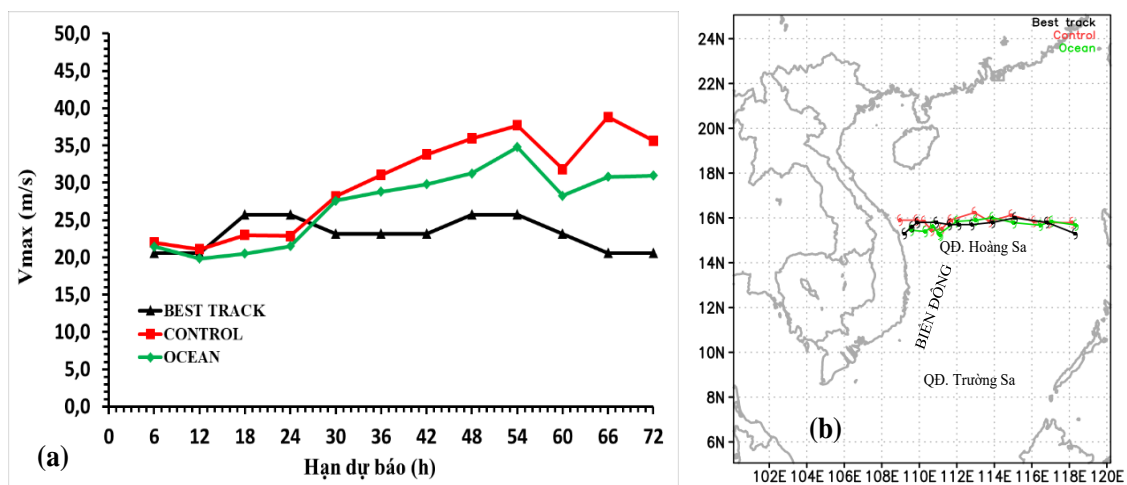


Hình 2. Đường đi của: (a) cơn bão Conson (2021);(b) cơn bão Noru (2022) [33].

3.2. Mô phỏng cơn bão Conson (2021)

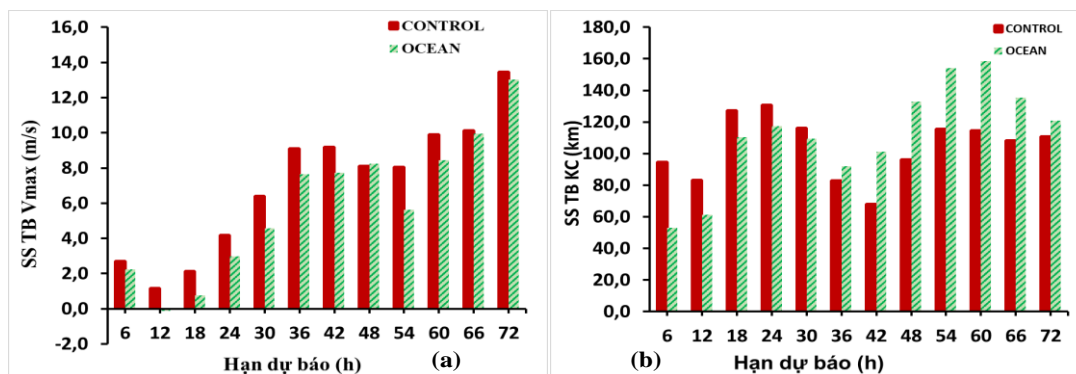
Đối với mỗi trường hợp thử nghiệm, mô phỏng cơn bão Conson (2021) được thực hiện với 4 phiên mô phỏng lần lượt là: 2021090812, 2021090818, 2021090900 và 2021090906. Thông thường, có thể sử dụng cả 2 chỉ số V_{max} và P_{min} để đánh giá cường độ bão, tuy nhiên, đối với xấp xỉ cho phép, P_{min} có thể tính được từ số liệu V_{max} khi dùng hàm tương quan kinh nghiệm áp suất–gió. Do đó, nghiên cứu này chỉ sử dụng chỉ số V_{max} để đánh giá cường độ bão mô phỏng.

Mô phỏng V_{max} và quỹ đạo bão theo 2 trường hợp CONTROL và OCEAN với phiên 2021090818 (ứng với thời điểm bắt đầu mô phỏng 18Z ngày 08/09/2021) được trình bày tại Hình 3. Theo đó, cả hai trường hợp mô phỏng chưa tốt diễn biến tăng giảm cường độ bão Conson. Tại hạn dự báo từ 12 đến 24 giờ, V_{max} trong cả hai trường hợp mô phỏng đều thấp hơn so với thực tế, ngược lại từ hạn dự báo 30 giờ đến 72 giờ, cả hai trường hợp cho V_{max} cao hơn so với thực tế. Mô phỏng V_{max} theo trường hợp OCEAN gần với Best track hơn khi so sánh với trường hợp CONTROL tại các hạn dự báo từ 30 đến 72 giờ. Một điều đáng lưu tâm là cường độ bão mô phỏng bởi OCEAN có xu thế nhỏ hơn so với trường hợp CONTROL tại hầu hết các hạn dự báo (Hình 3a). Điều này sẽ được thảo luận kỹ hơn ở phần sau. Mô phỏng quỹ đạo bão trong hai trường hợp tương đối bám sát so với quỹ đạo bão thực tế (Hình 3b).



Hình 3. Mô phỏng: (a) V_{max} ; (b) quỹ đạo bão Conson (2021) theo 2 trường hợp CONTROL và OCEAN với thời điểm ban đầu mô phỏng 18Z ngày 08/9/2021.

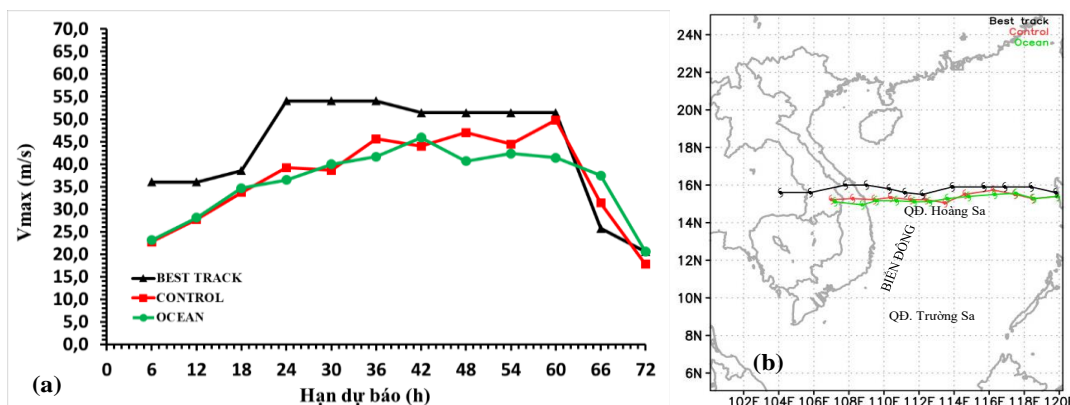
Đánh giá sai số trung bình V_{max} của cơn bão Conson theo hai trường hợp với 4 phiên mô phỏng cho thấy việc kết hợp mô hình WRF và mô hình 3DPWP làm giảm sai số mô phỏng V_{max} so với trường hợp sử dụng mô hình WRF riêng lẻ, với giá trị sai số V_{max} giảm 1–2,4 m/s (Hình 4a). Sai số trung bình khoảng cách trong trường hợp OCEAN được cải thiện với sai số khoảng cách giảm khoảng 42 km khi so sánh với trường hợp CONTROL ở hạn dự báo đến 30 giờ. Tuy nhiên, ở các hạn dự báo từ 36 giờ đến 72 giờ, sai số trung bình khoảng cách ở trường hợp OCEAN lớn hơn đáng kể khi so sánh với trường hợp CONTROL (Hình 4b).



Hình 4. (a) Sai số trung bình V_{max} ; (b) Sai số trung bình khoảng cách của mô phỏng bão Conson (2021) theo 2 trường hợp CONTROL và OCEAN.

3.3. Mô phỏng cơn bão Noru (2022)

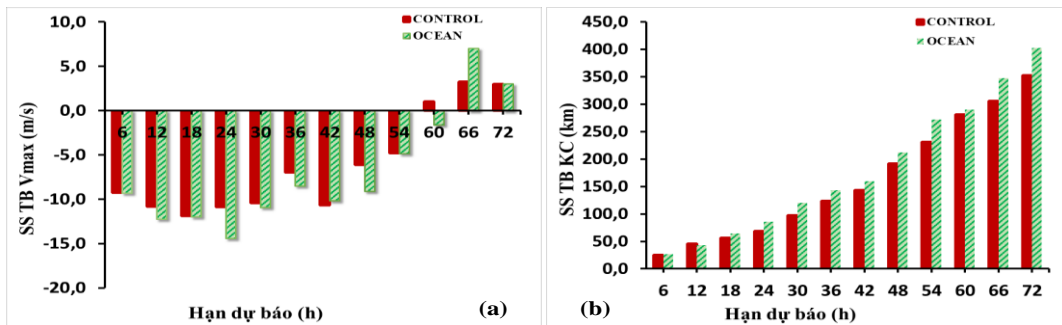
Mô phỏng cơn bão Noru (2022) được thực hiện theo hai trường hợp CONTROL và OCEAN với 4 phiên mô phỏng lần lượt là: 2022092512, 2022092518, 2022092600, 2022092606. Kết quả mô phỏng V_{max} và quỹ đạo bão Noru theo 2 trường hợp với phiên 2022092512 (ứng với thời điểm bắt đầu mô phỏng 12Z ngày 25/09/2022) được trình bày tại Hình 5.



Hình 5. Mô phỏng: (a) V_{max} ; (b) quỹ đạo bão Noru (2022) theo 2 trường hợp CONTROL và OCEAN với thời điểm ban đầu mô phỏng 12Z ngày 25/9/2022.

Hình 5a mô phỏng V_{max} trong cả hai trường hợp thấp hơn đáng kể so với cường độ bão Noru thực tế đạt được tại hầu hết các hạn dự báo. Điều này có thể lý giải do Noru là một siêu bão với V_{max} trên khu vực Biển Đông có thể đạt đến 46 m/s. Thông thường, xoáy bão ban đầu từ mô hình toàn cầu GFS yếu hơn so với thực tế, đặc biệt đối với các cơn bão có cường độ rất mạnh [34]. Tương tự như cơn bão Conson (2021), mô phỏng cường độ bão Noru trong trường hợp OCEAN yếu hơn so với trường hợp CONTROL. Mô phỏng quỹ đạo bão trong cả hai trường hợp có xu thế lệch về phía nam và di chuyển chậm hơn so với thực tế. Quỹ đạo bão được mô phỏng ở trường hợp OCEAN có xu hướng lệch nam hơn so với trường hợp CONTROL.

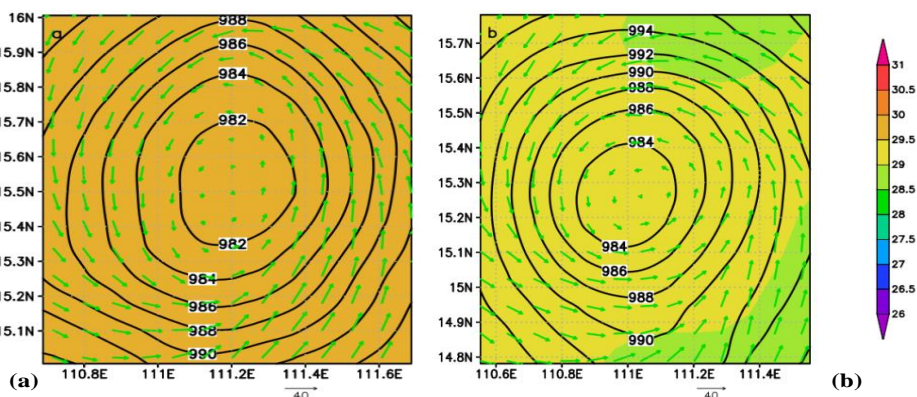
Từ kết quả đánh giá sai số trung bình V_{max} của cơn bão Noru đối với 4 phiên mô phỏng cho thấy V_{max} trong cả hai trường hợp có xu thế nhỏ hơn so với thực tế ở các hạn dự báo trước 54 giờ và có xu thế lớn hơn thực tế đối với các hạn từ 60 đến 72 giờ do trên thực tế, ở các thời điểm này bão đã đi vào đất liền khu vực Trung Trung Bộ, suy yếu đáng kể, trong khi mô phỏng trong hai trường hợp cho bão đang hoạt động trên biển. Khác với cơn bão Conson, sai số trung bình V_{max} của cơn bão Noru ở trường hợp OCEAN lớn hơn ở trường hợp CONTROL, với giá trị chênh lệch 1–4 m/s (Hình 6a). Sai số trung bình khoảng cách trong cả hai trường hợp rất lớn, đặc biệt có thể lên đến 200–400 km ở các hạn dự báo từ 48 giờ đến 72 giờ do mô phỏng bão Noru di chuyển chậm và lệch nam hơn so với thực tế. Sai số trung bình khoảng cách ở trường hợp OCEAN lớn hơn đến 50 km so với trường hợp CONTROL (Hình 6b).



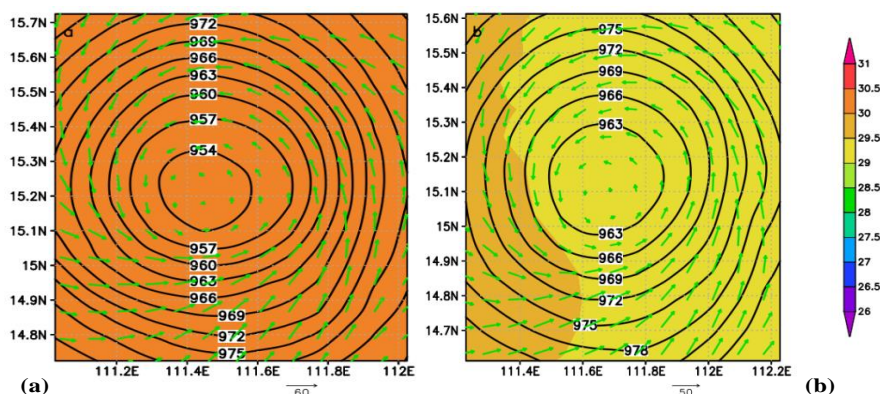
Hình 6. (a) Sai số trung bình V_{max} ; (b) Sai số trung bình khoảng cách của mô phỏng bão Noru (2022) theo 2 trường hợp CONTROL và OCEAN.

3.4. Mô phỏng SST, khí áp mực mặt biển, vận tốc gió, thông lượng ẩn nhiệt tại khu vực tâm bão

Để phân tích rõ hơn ảnh hưởng của tương tác đại dương–khí quyển đến mô phỏng bão, bài báo xem xét đến mô phỏng các trường SST, khí áp mực mặt biển, vận tốc gió, thông lượng ẩn nhiệt tại khu vực tâm bão theo hai trường hợp mô phỏng. Hình 7 và hình 8 cho thấy tương tác đại dương–khí quyển trong bão làm giảm đáng kể SST khu vực tâm bão khoảng 1 đến 1,5°C đối với cả 2 cơn bão Conson và Noru sau 48h mô phỏng, tuy nhiên, vùng có SST giảm 1,5°C ở cơn bão Noru lớn hơn so với cơn bão Conson. Theo đó, hiệu khí áp mực mặt biển giữa OCEAN và CONTROL ở cơn bão Noru lớn hơn so với ở cơn bão Conson, với giá trị lần lượt là -9mb và -2mb. Mức độ giảm vận tốc gió khu vực gần tâm bão ở trường hợp OCEAN so với trường hợp CONTROL trong cơn bão Noru thể hiện rõ rệt hơn trong cơn bão Conson. Giá trị lớn nhất của V_{max} đạt 60 m/s ở trường hợp CONTROL giảm xuống 50 m/s ở trường hợp OCEAN đối với cơn bão Noru và giảm từ 40 m/s ở trường hợp CONTROL xuống 30 m/s ở trường hợp OCEAN đối với cơn bão.

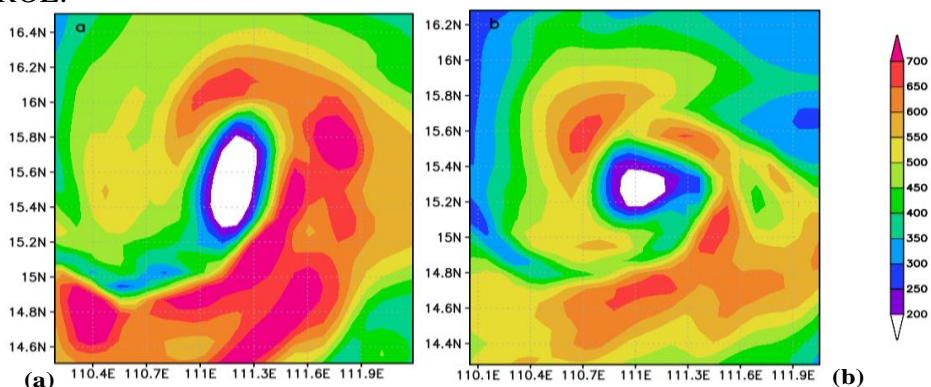


Hình 7. Mô phỏng 48h trường SST, khí áp mực mặt biển, gió trong bão Conson (2021) với thời điểm ban đầu mô phỏng 18Z ngày 08/9/2021 theo hai trường hợp: a) CONTROL và b) OCEAN.

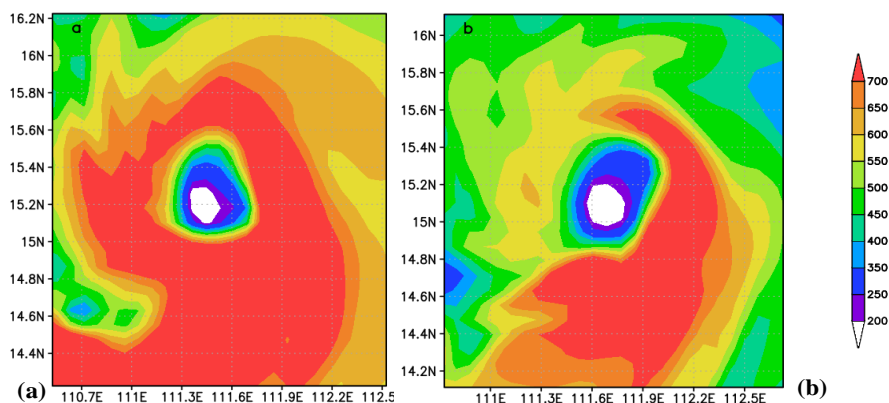


Hình 8. Mô phỏng 48h trường SST, khí áp mực mặt biển, gió trong bão Noru (2022) với thời điểm ban đầu mô phỏng 12Z ngày 25/9/2022 theo hai trường hợp: a) CONTROL và b) OCEAN.

Tâm nóng của bão được duy trì do hội tụ ẩm và vận chuyển thông lượng ẩn nhiệt ở lớp biên dưới khí quyển và giải phóng ẩn nhiệt trong khí quyển phía trên. Do đó, phân tích thông lượng ẩn nhiệt và ẩn nhiệt cho thấy đến mức độ mạnh yếu của cường độ bão. Hình 9 và hình 10 biểu diễn mô phỏng 48h thông lượng ẩn nhiệt tại khu vực tâm bão Conson và Noru. Theo đó, việc kết hợp mô hình WRF và mô hình 3DPWP làm giảm đáng kể thông lượng ẩn nhiệt và ẩn nhiệt ở khu vực tâm bão so với trường hợp sử dụng mô hình WRF riêng lẻ ở cả hai cơn bão Noru và Conson. Từ những phân tích trên cho thấy tương tác đại dương–khí quyển làm giảm đáng kể SST tại khu vực tâm và sự phản hồi của đại dương lên khí quyển làm giảm thông lượng ẩn nhiệt, ẩn nhiệt, dẫn đến giảm cường độ bão khi so sánh với trường hợp không tính đến hiệu ứng tương tác đại dương–khí quyển. Một điều thú vị có thể nhận ra là mặc dù kết quả mô phỏng cả hai cơn bão đều chỉ rõ cường độ bão theo trường hợp OCEAN giảm đáng kể so với trường hợp CONTROL, tuy nhiên, kết quả mô phỏng cơn bão Conson cho thấy sự cải thiện đáng kể sai số mô phỏng cường độ bão, ngược lại, kết quả mô phỏng cơn bão Noru làm gia tăng thêm sai số mô phỏng cường độ bão. Một phần nguyên nhân có thể nhận thấy khi xem xét mô phỏng bão từ trường ban đầu GFS. Tại thời điểm ban đầu mô phỏng, dữ liệu GFS mô tả tương đối chính xác cường độ bão đối với cơn bão Conson (V_{max} tại hạn dự báo 6 giờ, Hình 3a), tuy nhiên, dữ liệu GFS mô tả bão thấp rất nhiều so với thực tế (sau 6 giờ dự báo, V_{max} ở trường hợp CONTROL và OCEAN chỉ đạt khoảng 23 m/s, trong khi số liệu Best track từ JTWC là 36 m/s, xem Hình 5a). Sự khác biệt giữa mô phỏng và thực tế ở thời điểm ban đầu là một trong những nguyên nhân dẫn đến mô phỏng cường độ bão thấp hơn so với thực tế ở cơn bão Noru. Hiệu ứng tương tác đại dương–khí quyển làm giảm thêm cường độ bão, dẫn đến gia tăng sai số mô phỏng về cường độ bão Noru ở trường hợp OCEAN khi so sánh với trường hợp CONTROL.



Hình 9. Mô phỏng 48h thông lượng ẩn nhiệt tại khu vực tâm bão Conson (2021) với thời điểm ban đầu mô phỏng 18Z ngày 08/9/2021 theo hai trường hợp: (a) CONTROL;(b) OCEAN.



Hình 10. Mô phỏng 48h thông lượng ản nhiệt tại khu vực tâm bão Noru (2022) với thời điểm ban đầu mô phỏng 12Z ngày 25/9/2022 theo hai trường hợp: a) CONTROL và b) OCEAN.

4. Kết luận

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng tương tác đại dương–khí quyển đến mô phỏng hai cơn bão Conson (2021) và Noru (2022) trên khu vực Biển Đông thông qua việc kết hợp mô hình WRF và mô hình 3DPWP. Kết quả nghiên cứu cho thấy tương tác đại dương–khí quyển làm giảm đáng kể SST tại khu vực tâm bão và phản hồi của đại dương lên khí quyển làm giảm thông lượng ản nhiệt, hiện nhiệt, dẫn đến giảm cường độ bão khi so sánh với trường hợp không tính đến tương tác đại dương–khí quyển. Kết hợp mô hình WRF và mô hình 3DPWP làm giảm sai số mô phỏng cường độ ở cơn bão Conson từ 1–2,4 m/s nhưng làm tăng sai số mô phỏng cường độ bão ở cơn bão Noru từ 1–4 m/s khi so sánh với trường hợp sử dụng mô hình WRF riêng lẻ. Một trong những nguyên nhân dẫn đến sự khác biệt này là do xoáy bão ban đầu từ GFS yếu hơn nhiều so với thực tế đối với siêu bão Noru. Điều này đưa đến lưu ý trong xem xét tính hiệu quả của kết nối mô hình đại dương–khí quyển để dự báo cường độ bão đối với những cơn bão có cường độ rất mạnh và siêu bão. Việc đưa hiệu ứng tương tác đại dương khí quyển vào mô hình WRF cải thiện sai số trung bình khoảng cách khoảng 42 km ở hạn dự báo đến 30 giờ đối với cơn bão Conson, tuy nhiên gia tăng sai số trung bình khoảng cách đến 50 km đối với cơn bão Noru do làm lệch hướng của quỹ đạo hoặc làm bão di chuyển chậm hơn so với trường hợp không tính đến tương tác đại dương–khí quyển. Mặc dù các kết quả của nghiên cứu này cho thấy việc đưa hiệu ứng đại dương khí quyển vào mô hình WRF cải thiện sai số mô phỏng cường độ và quỹ đạo bão ở cơn bão có cường độ yếu như cơn bão Conson, tuy nhiên, cần có những nghiên cứu sâu hơn cho nhiều cơn bão với các đặc trưng khác nhau để có thể ứng dụng vào thực tế dự báo bão. Mặt khác, việc sử dụng cấu trúc nhiệt, muối theo chiều thẳng đứng trung bình nhiều năm chưa phản ánh được điều kiện đại dương trong thực tế, do đó, cần nghiên cứu sử dụng số liệu trường nhiệt, muối phân tích/ tái phân tích làm đầu vào cho mô hình 3DPWP.

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

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn Đề tài “Nghiên cứu ảnh hưởng biến động của trường nhiệt bề mặt lên quá trình hoạt động của các cơn bão trên Biển Đông phục vụ công tác dự báo bão”, mã số VAST06.05/20–21, đã hỗ trợ về số liệu và phương pháp luận để thực hiện bài báo này.

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

Tài liệu tham khảo

1. IMHEN và UNDP. Báo cáo đặc biệt của Việt Nam về Quản lý rủi ro thiên tai và hiện tượng cực đoan nhằm thúc đẩy thích ứng với biến đổi khí hậu. NXB Tài Nguyên – Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2015.
2. Krishnamurti, T.N.; Kishtawal, C.M.; LaRow, T.E.; Bachiochi, D.R.; Zhang, Z.; Williford, C.E; Gadgil, S.; Surendran, S. Improved weather and seasonal climate forecasts from multimodel superensemble. *Science* **1999**, 285, 1548–1550.
3. McAdie, C.J.; Lawrence, M.B. Improvements in tropical cyclone track forecasting in the Atlantic basin, 1970–98. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2000**, 81, 989–997.
4. Montgomery, M.T.; Smith, R.K. Recent developments in the fluid dynamics of tropical cyclones. *Annu. Rev. Fluid. Mech.* **2017**, 49, 541–574.
5. DeMaria, M.; Sampson, C.R.; Knaff, J.A.; Musgrave, K.D. Is tropical cyclone intensity guidance improving? *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2014**, 95(3), 387–398.
6. Cangialosi, J.P.; Blake, E.; DeMaria, M.; Penny, A.; Latta, A.; Rappaport, E.; Tallapragada, V. Recent progress in tropical cyclone intensity forecasting at the National Hurricane Center. *Weather Forecasting* **2020**, 35, 1913–1922.
7. Emanuel, K.A. Thermodynamic control of hurricane intensity. *Nature* **1999**, 401(6754), 665–669.
8. Kaplan, J.; Rozoff, C.M.; DeMaria, M.; Sampson, C.R.; Kossin, J.P.; Velden, C.S.; et al. Evaluating environmental impacts on tropical cyclone rapid intensification predictability utilizing statistical models. *Weather Forecasting* **2015**, 30(5), 1374–1396.
9. Price, J.F. Upper ocean response to a hurricane. *J. Phys. Oceanogr.* **1981**, 11, 153–175.
10. Wang, Z.Q.; Duan, A.M. A New Ocean Mixed–Layer Model Coupled into WRF. *Atmos. Oceanic Sci. Lett.* **2012**, 5(3), 170–175.
11. Schade, L.R.; Emanuel, K.A. The Ocean’s Effect on the Intensity of Tropical Cyclones: Results from a Simple Coupled Atmosphere–Ocean Model. *J. Atmos. Sci.* **1999**, 56, 642–651.
12. Vissa, N.K.; Satyanarayana, A.N.V.; Kumar, B.P. Response of upper ocean and impact of barrier layer on Sidr cyclone induced sea surface cooling. *Ocean Sci. J.* **2013**, 48(3), 279–288.
13. Lin, I.I.; Wu, C.C.; Pun, I.F.; Ko, D.S. Upper-ocean thermal structure and the Western North Pacific category 5 typhoons. Part I: ocean features and the category 5 typhoons’ intensification. *Mon. Weather Rev.* **2008**, 136, 3288–3306.
14. Baranowski, D.; Flatau, P.; Chen, S.; Black, P. Upper ocean response to the passage of two sequential typhoons. *Ocean Sci.* **2014**, 10, 559–570.
15. Wu, R.; Li, C. Upper ocean response to the passage of two sequential typhoons. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers **2018**, 132, 68–79.
16. Wu, C.C.; Tu, W.T.; Pun, I.F.; Lin, I.I.; Peng, M.S. Tropical cyclone–ocean interaction in Typhoon Megi (2010), a synergy study based on ITOP observations and atmosphere–ocean coupled model simulations. *J. Geophys. Res.: Atmos.* **2016**, 121(1), 153–167.
17. Pollard, R.T.; Rhines, P.B.; Thompson, R.Y. The deepening of the wind–mixed layer. *Geophys. Fluid. Dyn.* **1973**, 3, 381–404.
18. Yablonsky, R.M.; Ginis, I. Limitation of one–dimensional ocean models for coupled hurricane–ocean model forecasts. *Mon. Weather Rev.* **2009**, 137, 4410–4419.

19. Mohan, G.M.; Srinivas, C.V.; Naidu, C.V.; Baskaran, R.; Venkatraman, B. Real-time numerical simulation of tropical cyclone Nilam with WRF: experiments with different initial conditions, 3D-Var and Ocean Mixed Layer Model. *Nat. Hazards* **2015**, *77*, 597–624.
20. Price, J.F.; Weller, R.A.; Pinkel, R. Diurnal cycling: Observations and models of the upper ocean response to diurnal heating, cooling, and wind mixing. *J. Geophys. Res.* **1986**, *91*, 8411–8427.
21. Price, J.F.; Sanford, T.B.; Forristall, G.Z. Observations and simulations of the forced response to moving hurricanes. *J. Phys. Oceanogr.* **1994**, *24*, 233–260.
22. Lee, C.; Chen, S. Stable boundary layer and its impact on tropical cyclone structure in a coupled atmosphere–ocean model. *Mon. Weather Rev.* **2014**, *142*, 1927–1944.
23. Srinivas, C.V.; Mohan, G.M.; Naidu, C.V.; Baskaran, R.; Venkatraman, B. Impact of Air–Sea coupling on the simulation of Tropical Cyclones in the North Indian Ocean using a simple 3D–Ocean model coupled to ARW: Impact of Air–Sea coupling on Cyclones. *J. Geophys. Res. Atmos.* **2016**, *121*(16), 9400–9421.
24. Bao, J.W.; Wilczak, J.M.; Choi, J.K.; Kantha, L.H. Numerical simulations of sea–air interaction under high wind conditions using a coupled model: A study of hurricane development. *Mon. Wea. Rev.* **2000**, *128*, 2190–2210.
25. Jiang, X.; Zhong, Z.; Liu, C. The Effect of Typhoon–Induced SST Cooling on Typhoon Intensity: The Case of Typhoon Chanchu (2006). *Adv. Atmos. Sci.* **2008**, *25*(6), 1062–1072.
26. Perrie, W.; Ren, X.; Zhang, W.; Long, Z. Simulation of extratropical hurricane Gustav using a coupled atmosphere ocean sea spray model. *Geophys. Res. Lett.* **2004**, *31*, L03110. Doi:10.1029/2003GL 018571.
27. Tiến, T.T. Xây dựng công nghệ dự báo liên hoàn bão, nước dâng và sóng ở Việt Nam bằng mô hình số với thời gian dự báo trước 3 ngày. Báo cáo tổng kết Đề tài NCKH cấp Nhà nước thuộc Chương trình “Khoa học và công nghệ phục vụ phòng tránh thiên tai, bảo vệ môi trường và sử dụng hợp lý tài nguyên thiên nhiên”, MS: KC.08.05/06–10, 2010.
28. Cường, H.Đ. Nghiên cứu ứng dụng mô hình WRF phục vụ dự báo thời tiết và bão ở Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ, 2011.
29. Thompson, G.; Paul, R.F.; Roy, M.R.; William, D.H. Explicit Forecasts of Winter Precipitation Using an Improved Bulk Microphysics Scheme. Part II: Implementation of a New Snow Parameterization. *Mon. Wea. Rev.* **2008**, *136*, 5095–5115.
30. Kain, J.S. The Kain–Fritsch convective parameterization: An update. *J. Appl. Meteor.* **2004**, *43*, 170–181.
31. Iacono, M.J.; Delamere, J.S.; Mlawer, E.J.; Shephard, M.W.; Clough, S.A.; Collins, W.D. Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models. *J. Geophys. Res.* **2008**, *113*, D13103.
32. Hong, S.Y.; Noh, Y.; Dudhia, J. A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Mon. Wea. Rev.* **2006**, *134*, 2318–2341.
33. Digital Typhoon: Typhoon Images and Information. Available online: <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>.
34. Du, T.D.; Ngo–Duc, T.; Hoang, M.T.; Kieu, C.Q. A Study of Connection between Tropical Cyclone Track and Intensity Errors in the WRF Model. *Meteo. Atmos. Phys.* **2013**, *122*, 55–64.

The effect of atmosphere–ocean interaction on tropical cyclone simulations in the East Sea

Vu Hai Dang¹, Nguyen Thi Thanh^{2*}, Pham Van Tien², Nguyen Ba Thuy³, Do Ngoc Thuc¹

¹ Institute of Marine Geology and Geophysics – Vietnam Academy of Science and Technology; vuhaidang@hotmail.com; dothuc.vn@gmail.com

² Vietnam Institute of Meteorology Hydrology and Climate Change; thanhnt.met@gmail.com; phamvantienbn@gmail.com

³ The National Centre for Hydro–Meteorological Forecasting; thuybanguyen@gmail.com

Abstract: The atmosphere–ocean interaction strongly affects the formation and development of tropical cyclones through providing energy for tropical cyclone in the form latent heat and sensible heat fluxes. In order to study the effect of atmosphere–ocean interaction on tropical cyclone simulations in the East Sea, the paper simulates tropical cyclone Conson (2021) and super typhoon Noru (2022) using a coupling WRF and 3DPWP models. Results show that the atmosphere–ocean interaction significantly reduces SST in the center of tropical cyclone, leading to a decrease in tropical cyclone intensity when compared to the non ocean–atmosphere interaction case. Coupling WRF and 3DPWP models reduces the 1–2.4 m/s simulated maximum 10-m sustainable wind errors of the tropical cyclone Conson, however, increases the 1–4 m/s simulated maximum 10-m sustainable wind errors of the super typhoon Noru as compared with the WRF model case. Considering the ocean–atmosphere interaction improves the 42 km mean distance errors at the up to 30–hour forecast for the Conson, but increases the up to 50 km mean distance errors for the Noru due to deflection the track or moving more slowly as compare with the default case.

Keywords: Tropical cyclone; the East Sea; The atmosphere–ocean interaction; WRF; 3DPWP.

Table of content

- 1** Ngoc, T.Q.; Hai, N.M.; Linh, V.N. Research and selection of monitoring technology solutions to build flood warning systems for sub-basins in Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *743*, 1–9.
- 10** Lam, H.P.; Huyen, L.K.; Chinh, T.H. A seasonal prediction method for the number of tropical cyclones in East Sea and landfall in Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *743*, 10–22.
- 23** Minh, N.H.; Dung, P.T.; Van, V.T.T.; Dai, H.V.; Khiem, M.V.; Nhung, N.T.P. Bias correction of radar rainfall estimates for improving hydrological simulation. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *743*, 23–35.
- 36** Trinh, N.Q.; Cham, D.D.; Binh, H.T.; Thao, D.T.; Hanh, L.D.; Son, N.T.; Hung, L.T.; Giang, H.H.; Vinh, N.Q. Application of 2D models for the problem of plastic waste transmission to seasonal characteristics in the Danang–Quang Nam sea. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *743*, 36–51.
- 52** Ngoc, T.Q.; Hai, N.M.; Tuan, T.V.; Linh, V.N. Research, manufacture and test automatic non-contact water level measuring device using radar technology. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *743*, 52–60.
- 61** Huong, C.T.T.; Linh, D.T.; Phong, N.B.; Huyen, D.T.T.T; Thao, T.D. Characteristics of storm activities in the East Sea when the effect of the monsoons. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *743*, 61–70.
- 71** Tuan, L.N.; Hung, D.V.; Hung, N.T.; Toai, L.Q. Vulnerability due to saltwater intrusion in the context of sea level rise - a case study in Vinh Long Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *743*, 71–83.
- 84** Dang, V.H.; Thanh, N.T.; Tien, P.V.; Thuy, N.B.; Thuc, D.N. The effect of atmosphere–ocean interaction on tropical cyclone simulations in the East Sea. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *743*, 84–95.