

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Journal of Hydro - Meteorology

ISSN 2525 - 2208



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

Số 752
08-2023



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

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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

Số 8 Pháo Đài Láng, Đống Đa, Hà Nội
Điện thoại: 024.39364963
Email: tapchiktvt@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: 40.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN SỐ 752 - 8/2023

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- 1 Nguyễn Đăng Mậu, Trịnh Hoàng Dương, Trần Thị Tâm, Nguyễn Hữu Quyền, Nguyễn Bình Phong, Đặng Như Ý, Lê Văn Phong:** Ảnh hưởng của yếu tố khí tượng đối với năng suất một số cây ăn quả tỉnh Phú Thọ dựa trên tương quan và hồi qui
- 12 Văn Hữu Huệ:** Đánh giá ổn định bờ sông Cổ Chiên, tỉnh Vĩnh Long
- 29 Đào Anh Công, Nguyễn Văn Lượng, Phan Văn Vinh, Phan Như Xuyên, Trịnh Tuấn Long:** Nghiên cứu, đánh giá khả năng ứng dụng sản phẩm dự báo hạn nội mùa của mô hình IFS CY48R1 và CFSv1 cho khu vực Bắc Trung Bộ
- 41 Dương Văn Phong, Nguyễn Gia Trọng, Nguyễn Văn Chiến, Nguyễn Hà Thành, Lý Lâm Hà, Nguyễn Việt Quân, Phạm Ngọc Quang:** Đánh giá giá trị Nitơ Đioxit (NO₂) đối lưu tại Việt Nam giai đoạn 2010–2020
- 51 Nguyễn Đình Hải, Nguyễn Gia Trọng, Phạm Văn Tuấn, Bùi Văn Tòng, Nguyễn Tiến Thành:** Nghiên cứu phương pháp quy chuyển độ cao giữa hải đồ và bản đồ địa hình đáy biển dựa trên dữ liệu thủy triều tại khu vực Vịnh Bắc Bộ
- 62 Trần Thanh Tùng, Trần Đăng Hùng:** Ứng dụng công cụ ước tính độ sâu ngập lũ (FwDET) để xây dựng bản đồ ngập lũ cho lưu vực sông La Tinh, tỉnh Bình Định
- 75 Hoàng Thị Minh, Nguyễn Văn Toàn, Phan Văn Tân:** Hạn chớp nhoáng và một số đặc trưng của nó ở Việt Nam giai đoạn 1961-2020
- 87 Phạm Văn Tiên, Trần Thị Thuỳ Linh, Phạm Khánh Ngọc, Bùi Mạnh Hà, Nguyễn Bá Thủy:** Kết quả ban đầu về mô phỏng ngập lụt vùng ven biển Thanh hoá do nước dâng bão

Bài báo khoa học

Ảnh hưởng của yếu tố khí tượng đối với năng suất một số cây ăn quả tỉnh Phú Thọ dựa trên tương quan và hồi qui

Nguyễn Đăng Mậu^{1*}, Trịnh Hoàng Dương¹, Trần Thị Tâm¹, Nguyễn Hữu Quyền¹, Nguyễn Bình Phong², Đặng Như Ý², Lê Văn Phong¹

¹ Viện khoa học Khí tượng thủy văn và Biến đổi khí hậu; mau.imhen@gmail.com; hoangduongktnn@gmail.com; trantam1810@gmail.com; nhquyen13@gmail.com; lephong2341999@gmail.com

² Đại học Tài Nguyên và Môi trường Hà Nội; nbphong@hunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: mau.imhen@gmail.com; Tel.: +84-382072468

Ban Biên tập nhận bài: 8/6/2023; Ngày phản biện xong: 19/7/2023; Ngày đăng bài: 25/8/2023

Tóm tắt: Bài báo phân tích ảnh hưởng của các yếu tố yếu tố khí tượng (KT) đến năng suất bưởi và chuối ở Phú Thọ dựa trên tương quan và hồi qui tuyến tính nhằm xác định những biện pháp kỹ thuật phù hợp cho gia tăng năng suất. Kết quả cho thấy đối với bưởi, số ngày rét và số lần xuất hiện gió hướng đông bắc cao là những yếu tố ảnh hưởng điển hình đến giai đoạn ra hoa và quả nhỏ của bưởi. Độ ẩm cao cũng là yếu tố thuận lợi cho hoạt động của nấm và sâu bệnh hại quả ở giai đoạn bưởi chín. Đối với chuối, tốc độ gió mạnh là yếu tố ảnh hưởng khá điển hình trong tất cả giai đoạn phát triển và hình thành năng suất. Do đó, nên áp dụng những biện pháp kỹ thuật phù hợp để giảm ảnh hưởng của các yếu tố KT này đến giai đoạn ra hoa, quả chín của bưởi và chuối như giữ ẩm gốc cây, hay trồng cây chắn gió,... Bên cạnh đó, bước đầu đã xây dựng được hai mô hình ước lượng năng suất bưởi và chuối nhằm hướng tới đánh giá tác động của biến đổi khí hậu, phân vùng chuyên canh, cũng như dự báo phục vụ xây dựng kế hoạch tiêu thụ và xuất khẩu đối với bưởi và chuối.

Từ khóa: Ảnh hưởng yếu tố khí tượng; Năng suất của cây bưởi và chuối.

1. Mở đầu

Nông nghiệp thường hoạt động trực tiếp dưới bầu trời, do vậy thời tiết, khí hậu và đất đai đóng vai trò quan trọng đến cây trồng. Nông nghiệp liên hệ phức tạp đối với các điều kiện tự nhiên, trong đó các yếu tố thời tiết, khí hậu là một trong những yếu tố tác động đến nông nghiệp, những tác động này được thể hiện qua dao động của năng suất cây trồng qua các năm cao hay thấp, cũng như chất lượng cao hay thấp [1].

Thật vậy, việc không có đợt lạnh sớm vào tháng 12 và tháng 1 có tác động bất lợi đến nhu cầu tích lũy lạnh cho phân hóa mầm hoa đối với cây ăn quả ôn đới. Đối với cây táo, thiếu thời gian tích lũy lạnh dẫn đến cây ra hoa nhưng không hoàn thiện, tỉ lệ đậu trái kém, chất lượng và năng suất táo giảm [2]. Nhiệt độ đã tăng 1,8°C, nhu cầu lạnh không đủ, thời gian ra hoa của táo muộn hơn, kéo dài và giai đoạn giữa ra hoa và thu hoạch dài hơn đối với táo [3]. Ngày ra hoa cao điểm của cây anh đào (Cherry) đã chuyển sang sớm hơn 5,5 ngày trong 25 năm qua do biến động nhiệt độ vào tháng 2 và tháng 3.

Tác giả [4] cũng đã chỉ ra mối tương quan nghịch đáng kể giữa tốc độ ra hoa của cây họ cam quýt với những thay đổi về nhiệt độ tối đa, tối thiểu ở một số địa điểm ở Iran, điều này cho thấy nhiệt độ tăng làm chậm quá trình ra hoa, và dẫn đến thời gian ra hoa kéo dài hơn. Ở Junagadh, Ấn Độ, phần lớn các giống xoài ra hoa bị chậm lại do nhiệt độ vượt quá nhiệt độ

tối ưu của chúng. Năng suất của xoài, chuối, đu đủ và hồng xiêm được phát hiện là có mối tương quan nghịch với nhiệt độ và lượng mưa trong khoảng thời gian 10 năm ở quận Navasari, Ấn Độ [5]. Trong một nghiên cứu đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đối với sản xuất chuối toàn cầu, một số kết luận đã được rút ra; chẳng hạn như ở các khu vực có nhiệt độ trung bình $\geq 24^{\circ}\text{C}$, chuối sinh trưởng và phát triển thuận lợi hơn. Ở Ấn Độ và Argentina xu thế nhiệt độ cao có thể làm giảm sự phát triển của chuối [6].

Nhiệt độ dưới $12-13^{\circ}\text{C}$ và lượng nước sẵn có trong đất thấp hơn so với trung bình làm chậm quá trình trao đổi chất của cây vào thời kỳ “qua đông”. Nhiệt độ cực đoan (trên 35°C) khiến 50% quả nhỏ bị rụng do bị thâm và cháy quả [7]. Điều này cũng được thấy ở quả vải, táo bị nám nắng, nứt quả khi chúng chịu ảnh hưởng của nhiệt độ cao. Kích thước quả vải có thể bị giảm là do thiếu nước, nhiệt độ tăng dẫn đến cây phát triển nhanh hơn do tích lũy đơn vị nhiệt nhanh hơn [8].

Tác động của thời tiết khí hậu đối với sản xuất nông nghiệp được thể hiện trên nhiều mặt, nó không những ảnh hưởng đến sự sinh trưởng, phát triển cây trồng mà còn ảnh hưởng đến hoạt động sản xuất, hiệu suất sản xuất. Ngoài ra, thiên tai hàng năm cũng đã làm thiệt hại khá nghiêm trọng đến cây trồng. Sự hoạt động của các loại côn trùng có hại, sự phát triển và lây lan của sâu bệnh cũng có liên quan đến điều kiện khí tượng,... Vì vậy, đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố KT đến năng suất cây trồng là cần thiết, là cơ sở khoa học để xác định những biện pháp kỹ thuật phù hợp cho gia tăng năng suất cây ăn quả, thích ứng với biến đổi khí hậu, và phục vụ phát triển nông nghiệp bền vững. Tuy nhiên, trong những năm qua, các công trình trong nước chủ yếu đánh giá ảnh hưởng của điều kiện khí tượng nông nghiệp đến cây lương thực và thực phẩm [1, 9–11], chưa nhiều công trình nghiên cứu đánh giá cho cây ăn quả đã được công bố [12–13].

Một số nghiên cứu ảnh hưởng của yếu tố KT đối với cây trồng dựa trên sử dụng mô hình cây trồng để đánh giá [9–10], hoặc dựa trên ngưỡng sinh học tối ưu theo các giai đoạn sinh trưởng-phát triển và sự hình thành năng suất của cây trồng, hoặc đánh giá tổn thất/thiệt hại của cây trồng do các điều kiện khí tượng cực đoan gây ra [1, 11]. Bên cạnh đó, một số nghiên cứu đánh giá dựa trên mối quan hệ giữa của yếu tố KT đối với cây trồng và sử dụng hồi quy tuyến tính để đánh giá tác động của khí hậu toàn cầu đến các đặc trưng khí hậu trên các tiểu vùng khí hậu, hoặc tác động của biến đổi khí hậu đến năng suất cây trồng [1, 9, 10–15].

Các nghiên cứu thường tách năng suất cây trồng thành hai thành phần: (i) Năng suất xu thế (NSXT) và (ii) năng suất thời tiết, khí hậu (NSTT). Trong đó NSXT là do tác động của khoa học kỹ thuật (điều kiện giống, công nghệ, phân bón, thuốc trừ sâu, quản lý, canh tác,... ngày càng được tốt hơn). Do đó, NSXT ngày càng cao do điều kiện khoa học kỹ thuật ngày càng được hoàn thiện và phát triển. Những điều kiện khí tượng được xác định cho nông nghiệp trước hết là ánh sáng, nhiệt độ và nước. Để trồng được một loại cây cần phải bảo đảm một lượng nhiệt nhất định, hay khi cây trồng tích lũy một tổng lượng nhiệt nhất định, cây sẽ phát dục và chuyển trạng thái sinh trưởng, đồng thời tùy vào loại cây trồng khác nhau, chúng cần nhu cầu nước khác nhau cho sinh trưởng và phát triển. Bên cạnh đó, các yếu tố khí tượng quá thấp hoặc quá cao vượt ra ngoài giới hạn tối ưu của cây sẽ gây ảnh hưởng đến năng suất cây trồng, ví dụ số ngày nắng nóng cao vào thời trở bông-nở hoa sẽ làm cháy phân, dẫn đến năng suất cây trồng giảm. Vì vậy, những tác động của các yếu tố thời tiết, khí hậu đến năng suất cây trồng được gọi là năng suất thời tiết, khí hậu (NSTT) [1, 11–13, 15].

Trong những năm gần đây, ở Việt Nam cây ăn quả đã được phát triển ở nhiều vùng như Sơn La, Hưng Yên,... phục vụ nhu cầu tiêu thụ trong nước, và xuất khẩu từ sản phẩm, chế phẩm của cây ăn quả, giúp chuyển đổi cơ cấu cây trồng. Tỉnh Phú Thọ đã và đang đẩy mạnh phát triển cây ăn quả theo hướng hiệu quả kinh tế cao. Nhiều mặt hàng nông sản đã được cấp mã truy xuất nguồn gốc, cũng như chuối giá trị nông sản như bưởi Đoan Hùng, hay chè Phú Thọ. Tuy nhiên chưa có công trình nghiên cứu nào đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố KT đến sản xuất cây ăn quả ở Phú Thọ được công bố. Trong nghiên cứu này chủ yếu khảo sát ảnh hưởng của điều kiện nhiệt, mưa và một số yếu tố khí hậu cực đoan đối với năng suất bưởi

và chuỗi trung bình tình Phú Thọ dựa trên mối tương quan và hồi qui [15]. Kết quả đánh giá nhằm xác định các yếu tố KT ảnh hưởng chủ đạo vào giai đoạn nhạy cảm của bưởi và chuối để có những biện pháp kỹ thuật phù hợp hạn chế ảnh hưởng của chúng. Bên cạnh đó, nhằm mục đích xác định cơ sở khoa học hướng tới đánh giá tác động của biến đổi khí hậu, phân vùng chuyên canh cây ăn quả, và dự báo năng suất cây trồng chủ lực ở tỉnh Phú Thọ (bưởi và chuối) phục vụ xây dựng quy hoạch sản xuất, kế hoạch tiêu thụ và xuất khẩu.

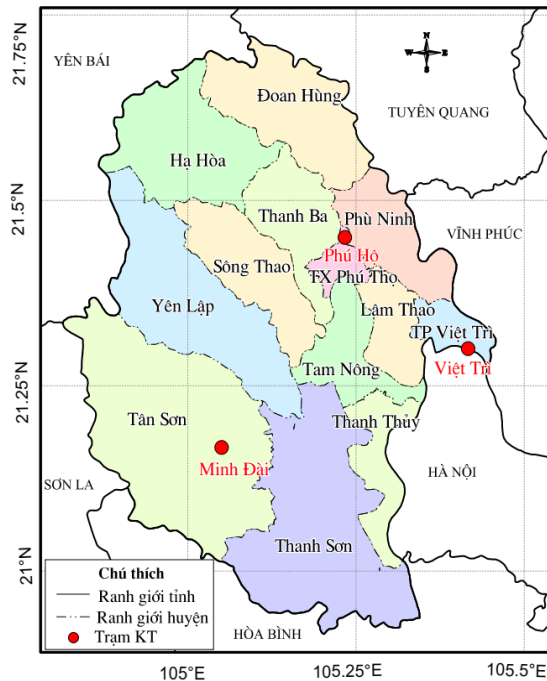
2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu

(1) Số liệu quan trắc khí tượng tại trạm Minh Đài, Phú Hộ và Việt Trì, thời kỳ 2010-2021 được nghiên cứu sử dụng cho đánh giá ảnh hưởng của yếu tố KT đến năng suất thu hoạch cây ăn quả (Hình 1).

(2) Số liệu thống kê về sản xuất cây ăn quả và năng suất thu hoạch (năng suất thực thu bưởi và chuối), thời kỳ 2010-2021. Năng suất này chỉ tính đối với những diện tích cho sản phẩm, không phân biệt năm nào đó có cho sản phẩm hay không (diện tích đưa vào sản xuất kinh doanh), không tính diện tích mới trồng, cây nhỏ và mất trắng [16–17]. Số liệu này được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của yếu tố KT đến năng suất cây ăn quả.

Vì niên giám thống kê chỉ đưa ra năng suất của cả một tỉnh, nên việc sử dụng số liệu 3 trạm KT một cách riêng biệt là chưa phù hợp. Cũng có thể lựa chọn trạm khí tượng gần với vùng diện tích trồng nhiều để đánh giá. Tuy nhiên, để đồng nhất đánh giá, nghiên cứu đã trung bình số học các yếu tố KT trong Bảng 1 từ số liệu KT của 3 trạm để đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố KT đến năng suất cây ăn quả [15].



Hình 1. Sơ đồ trạm khí tượng ở Phú Thọ.

Bảng 1. Các yếu tố khí tượng được sử dụng từ 2010-2021.

TT	Mô tả	Ký hiệu
1	Lượng mưa tháng (mm)	R
2	Lượng mưa ngày lớn nhất trong tháng (mm)	R _{max}
3	Số ngày mưa trong tháng	R _{0,1}
4	Số ngày có mưa trên 10mm trong tháng	R ₁₀
5	Số ngày có mưa trên 50mm trong tháng	R ₅₀
6	Số ngày có mưa trên 100mm trong tháng	R ₁₀₀
7	Nhiệt độ trung bình tháng (°C)	T _{tb}
8	Nhiệt độ tối cao TB tháng (°C)	T _x
9	Nhiệt độ tối thấp TB tháng (°C)	T _n
10	Nhiệt độ tối cao tuyệt đối tháng (°C)	T _{Xtd}
11	Nhiệt độ tối thấp tuyệt đối tháng (°C)	T _{ntd}
12	Số giờ nắng trong tháng (giờ)	H _n
13	Số ngày rét đậm trong tháng	RĐ
14	Số ngày rét hại trong tháng	RH
15	Độ ẩm tối thấp trung bình tháng (%)	U _{min}
16	Độ ẩm trung bình tháng (%)	U _{tb}
17	Tốc độ gió trung bình tháng (m/s)	ff _{tb}
18	Trung bình tháng của tốc độ gió lớn nhất ngày (m/s)	ff _{max}
19	Tổng số obs xuất hiện hướng NE trong tháng	NE

TT	Mô tả	Ký hiệu
20	Tổng số obs xuất hiện hướng SE theo tháng	SE
21	Tổng số obs xuất hiện hướng SW theo tháng	SW
22	Tổng số obs xuất hiện hướng NW theo tháng	NW
23	Số ngày nhiệt độ đạt nắng nóng trong tháng ($T_x \geq 35^\circ\text{C}$)	$T_{x \geq 35}$

2.2. Phương pháp

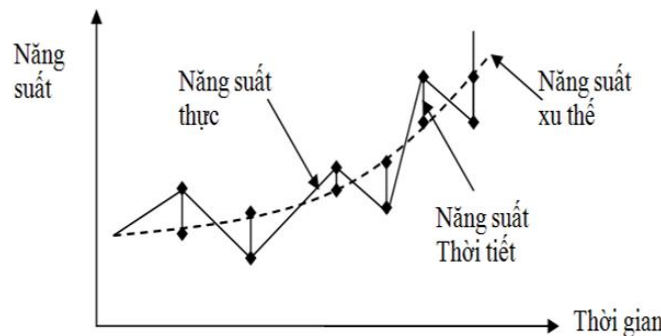
(1) Phương pháp chuẩn hóa số liệu được sử dụng để chuẩn hóa tất cả các đặc trưng khí tượng và NSTT [15]:

$$z_t = \frac{x_t - \bar{x}}{s_x} \tag{1}$$

Trong đó z_t là chuẩn hóa yếu tố khí hậu; x_t, \bar{x}, s_x là các thành phần của chuỗi, giá trị trung bình chuỗi và độ lệch tiêu chuẩn các đặc trưng khí tượng.

(2) Phương pháp tính toán năng suất do thời tiết khí hậu tạo nên (NSTT) được xác định dựa trên năng suất thực tế và năng suất xu thế (NSXT) [1, 11–13, 15].

Để đánh giá ảnh hưởng của yếu tố KT đến năng suất cây trồng, các nghiên cứu thường tách chuỗi năng suất cây trồng trung bình tính ra thành hai phần: (i) Năng suất xu thế và (ii) năng suất thời tiết (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ mô tả các thành phần của năng suất của cây trồng [18].

Có thể biểu diễn mối quan hệ của ba đặc trưng năng suất này như sau [1, 11–13, 15]:

$$\Delta Y_{TT} = Y_T - Y_{XT} \tag{2}$$

Trong đó: ΔY_{TT} là năng suất thời tiết (tấn/ha); Y_T là năng suất thực (tấn/ha) là năng suất chuỗi và bươi; và Y_{XT} là năng suất xu thế (tấn/ha).

- NSXT được xác định dựa trên một hàm đó, có thể là tuyến tính hoặc hàm logistic. Các hàm này được nghiên cứu xác định dựa trên khảo sát ước lượng trên Excel với hệ số tương quan cao nhất được lựa chọn [15, 18–20].

- NSTT (ΔY_{TT}) là năng suất do sự tác động của thời tiết, khí hậu tạo nên [15, 18–20].

(3) Phương pháp tương quan và hồi qui tuyến tính với kỹ thuật từng bước được sử dụng để xác định ảnh hưởng của yếu tố khí tượng đến năng suất cây ăn quả dựa trên mối quan hệ tuyến tính (cụ thể về phương pháp được trình bày trong [21]):

- Hệ số tương quan được xác định:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \tag{3}$$

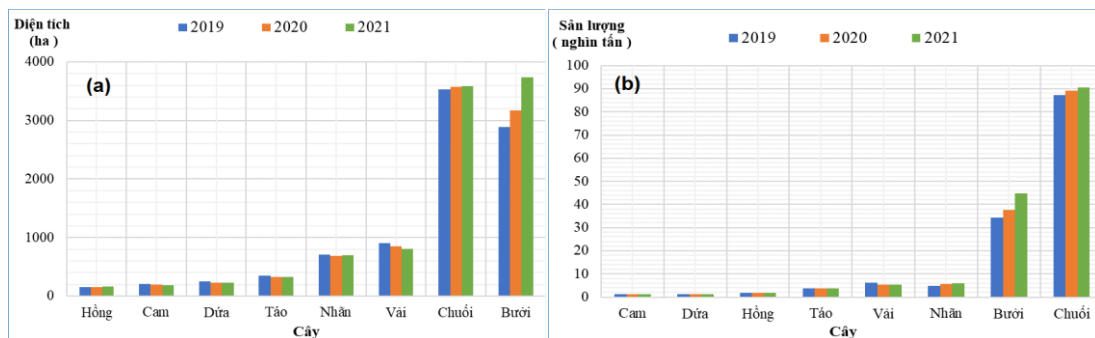
Trong đó y_i là NSTT và x_i là yếu tố KT trong năm i ($i = 1, \dots, 12$); \bar{y} và \bar{x} là giá trị trung bình của y_i hay x_i , n là số năm quan trắc trong 12 năm.

Độ tin cậy của hệ số tương quan được đánh giá dựa theo kiểm nghiệm Student: Hệ số tương quan với dung lượng mẫu (n) là lớn đáng kể khi thỏa mãn tiêu chuẩn tương ứng với $\alpha = 5\%$ hoặc 10% . Dung lượng mẫu 12 năm bậc tự do ($n-2 = 10$), $t_{(\alpha=0.05, 10)} = 2,23$ ($t_{(\alpha=0.1, 10)} = 1,81$), tương đương với $r_{ij} = \pm 0,58$ (0,50), đạt độ tin cậy 95% (90%).

- Phương trình hồi qui được xây dựng dựa trên kỹ thuật từng bước: (1) Tính các hệ số tương quan toàn phần r_{1i} giữa Y và các X_i ($i = 2 \dots m$ biến), xây dựng mô hình với X_1 và xác định biến sai thặng dư $S^{(1)}$; (2) Tính các hệ số tương quan riêng $r_{1i.2}$ ($i = 3, \dots, m$) và chọn hệ số tương quan có giá trị lớn nhất, sau đó xây dựng mô hình hồi qui với biến x_1, x_2 và xác định biến sai thặng dư $S^{(2)}$; (3) So sánh giá trị biến sai thặng dư $S^{(2)}$ với $S^{(1)}$ xác định được ϵ ($|\frac{S^{(2)} - S^{(1)}}{S^{(2)}}| = \epsilon$). Nếu $\epsilon \leq \epsilon_0$ (giá trị tùy chọn cho trước) thì x_2 bị loại và ngược lại $\epsilon \geq \epsilon_0$ thì x_2 sẽ được chọn cho mô hình. Qui trình tiếp tục như bước 2 để xác định trong các biến còn lại. Trong nghiên cứu này đã sử dụng phần mềm thống kê SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) để xây dựng mô hình ước lượng năng suất bưởi và chuối với biến phụ thuộc là chuẩn sai NSTT và các biến độc lập là các đặc trưng trong Bảng 1. Chất lượng của phương trình được đánh giá theo kiểm nghiệm Fisher [21].

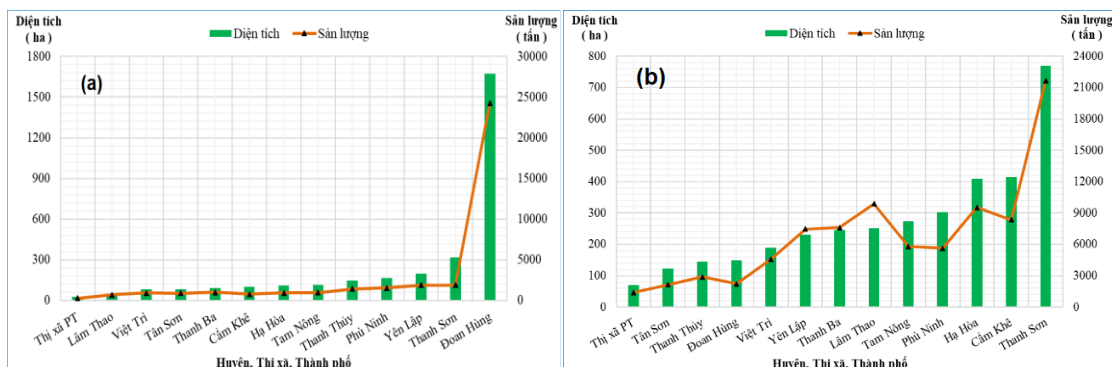
2.3. Hiện trạng sản xuất cây ăn quả ở Phú Thọ

Hình 3 cho thấy chuối và bưởi có diện tích cho thu hoạch đã đưa vào kinh doanh và sản lượng cao nhất tỉnh Phú Thọ. Hiện nay, bưởi là cây trồng chủ lực của tỉnh trong việc thực hiện chuyển đổi cơ cấu cây trồng. Tính đến năm 2021 diện tích cho thu hoạch của bưởi là trên 3,7 nghìn ha, sản lượng gần 32,7 nghìn tấn, tăng hơn 800 ha và sản lượng tăng trên 10,5 nghìn tấn so với năm 2019. Trong đó huyện Đoan Hùng chiếm diện tích và sản lượng bưởi nhiều nhất với 1,7 nghìn ha và khoảng 24,2 nghìn tấn năm 2010. Từ năm 2019-2021 diện tích chuối tăng hơn 50 ha và sản lượng tăng 3,4 nghìn tấn, tăng chậm hơn so với bưởi.



Hình 3. Diện tích cây cho thu hoạch quả đã đưa vào kinh doanh (a) và sản lượng (b) của các loại cây ăn quả tỉnh Phú Thọ giai đoạn 2019-2021.

Hình 4 thấy rằng bưởi được trồng nhiều nhất tại Đoan Hùng với diện tích trên 1500ha với sản lượng đạt 24 nghìn tấn năm 2020. Trong khi đó các huyện khác, bưởi được trồng với diện tích thấp hơn 300ha (thấp nhất tại thị xã Phú Thọ) với sản lượng khoảng 1-2 nghìn tấn. Chuối nhiều nhất ở huyện Thanh Sơn với diện tích cho thu hoạch quả trên 700 ha với sản lượng lên đến 21,6 nghìn tấn năm 2020, tiếp theo huyện Hạ Hòa và Cẩm Khê trồng với diện tích trên 400ha, các huyện khác diện tích trồng thấp hơn 300ha. Đáng chú ý là Lâm Thao, mặc dù diện tích cho thu hoạch khoảng 250ha nhưng sản lượng khá cao trên 9 nghìn tấn.



Hình 4. Diện tích bưởi cho thu hoạch quả đã đưa vào kinh doanh và sản lượng bưởi ở Phú Thọ năm 2020.

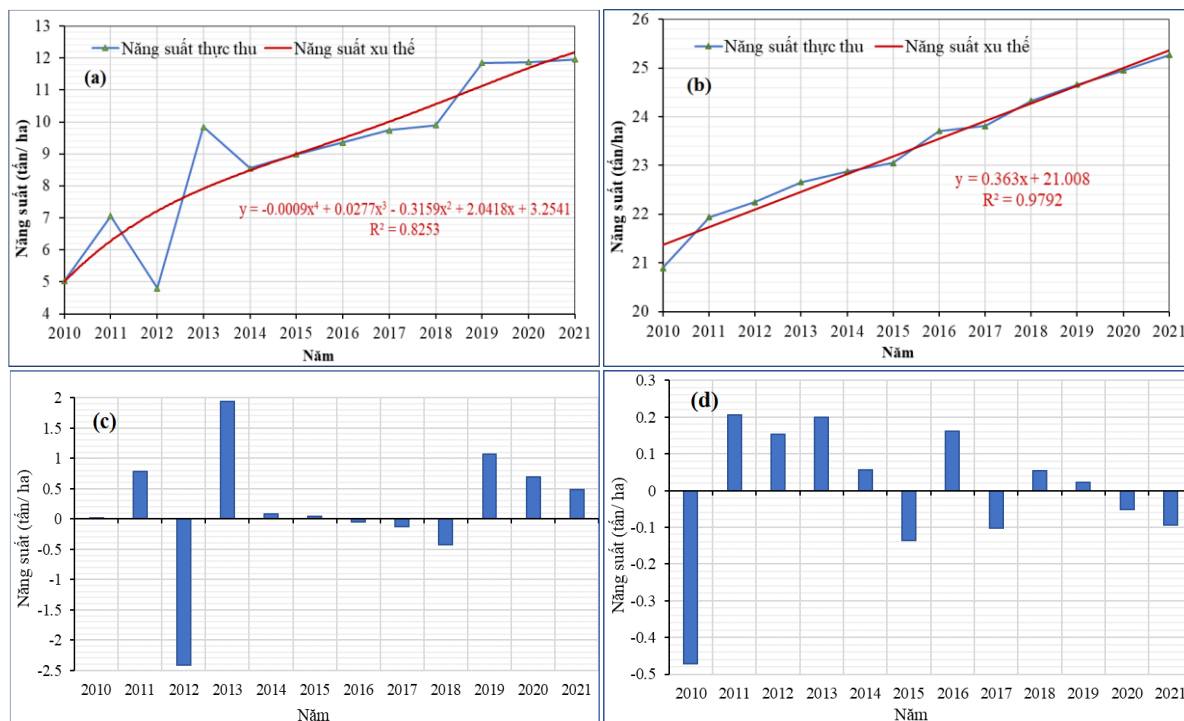
Có thể nhận thấy bưởi, chuối được trồng với diện tích nhiều nhất nhì trong tỉnh Phú Thọ. Hai cây này cũng là cây chủ lực, hoặc kế hoạch phát triển cây chủ lực của tỉnh Phú Thọ. Do đó trong nghiên cứu này sẽ tập trung đánh giá ảnh hưởng của yếu tố KT đối với năng suất bưởi và chuối tại tỉnh Phú Thọ.

3. Kết quả

3.1. Năng suất thực thu và năng suất xu thế

Năng suất thu hoạch (thực thu) và NSXT của bưởi giai đoạn 2010-2021 có xu hướng tăng. Năm 2010 năng suất bưởi thu được khoảng 5 tấn/ha đến năm 2021 khoảng 12 tấn/ha. Năng suất bưởi biến động cao hơn đáng kể trong giai đoạn 2010-2014, những năm gần đây ít biến động hơn. Năng suất chuối có xu hướng tăng dần, năm 2010 thu được khoảng 21 tấn/ha, đến năm 2021 khoảng 25 tấn/ha, tăng 4 tấn/ha. Có thể nhận thấy năng suất chuối ít biến động, điều này cho thấy chuối ít chịu tác động của thời tiết, khí hậu (Hình 5a, 5b).

Hình 5a, 5b nhận thấy năng suất bưởi và chuối (thực thu) có sự biến động cao, thấp so với NSXT, sự biến động cao thấp này cho thấy tác động của thời tiết, khí hậu tạo nên. Sử dụng công thức 2 sẽ chỉ ra năm NSTT dương (thời tiết, khí hậu thuận lợi) và năm âm (thời tiết, khí hậu bất lợi) và được thể hiện trong Hình 5b, 5c. Kết quả cho thấy NSTT của bưởi ở Phú Thọ cao hơn trong các năm 2011, 2013, 2019 dao động trong khoảng từ 0,01 đến 1.06 tấn/ha, điều này cho thấy trong những năm này thời tiết, khí hậu thuận lợi đối với năng suất bưởi. Một số năm thấp như năm 2012, 2018 với giá trị trong khoảng từ 0,08-2,4 tấn/ha, cho thấy thời tiết, khí hậu bất lợi đối với năng suất bưởi. Đối với chuối, những năm NSTT cao như 2011, 2012, 2013, 2016 với giá trị dao động từ 0.01-0.2 tấn/ha, những năm thấp như năm 2010, 2015, 2017 với giá trị từ 0,05-0,4 tấn/ha (Hình 5c, 5d). Nhìn chung, ảnh hưởng bởi các yếu tố thời tiết, khí hậu đến năng suất bưởi rõ ràng hơn so với chuối.



Hình 5. Năng suất thu hoạch (thực thu) và năng suất xu thế của bưởi (a) và chuối (b). Năng suất thời tiết của bưởi (c) và chuối (d) trong giai đoạn 2010-2021.

3.2. Ảnh hưởng của yếu tố khí tượng đến năng suất bưởi và chuối

Hệ số tương quan giữa năng suất bưởi và chuối với các yếu tố KT theo 12 tháng trong Bảng 1, thời kỳ 2010-2021 được thể hiện ở các Bảng 2 và 3, trong đó giá trị màu xanh là hệ

số tương quan thuận, màu cam thể hiện hệ số tương quan nghịch đạt độ tin cậy trên 90%. Hệ số tương quan trên 0,50 (0,58) và dưới -0,50 (-0,58) là đạt độ tin cậy 90% (95%).

Có thể thấy vào tháng 2 số ngày có lượng mưa trên 10mm, nhiệt độ trung bình, và nhiệt độ tối cao trong tháng 2 có tác động tích cực đến năng suất bưởi. Ở Phú Thọ, tháng 2 có nhiệt độ thấp và lượng mưa ít, đây cũng là thời kì bưởi ra hoa và làm quả, vì vậy khi số ngày có lượng mưa trên 10mm và nhiệt độ cao sẽ thuận lợi cho bưởi sinh trưởng và phát triển. Vào thời kì này rét đậm, rét hại và tần suất gió đông bắc cao lại là điều kiện bất lợi đến năng suất bưởi, bởi vì rét đậm, rét hại làm hoa bưởi không phát triển, hoặc kém phát triển, dẫn đến tỷ lệ đậu quả rất thấp. Tháng 4-6, nhiệt độ tối cao tuyệt đối, số ngày nắng nóng cao và tốc độ gió mạnh tương quan nghịch với năng suất bưởi, điều này cho thấy các yếu tố trên sẽ làm giảm năng suất bưởi. Bởi vì đây là thời kỳ quả nhỏ, khi gió càng lớn sẽ dễ làm rụng quả, nhiệt độ cao và số ngày nắng nóng nhiều, dẫn đến quả bị khô, cháy nám hoặc quả chậm phát triển, thịt quả cũng phát triển chậm. Tháng 10 đến tháng 12, đây là thời kỳ bưởi chín, thời gian nắng cao sẽ thuận lợi cho năng suất của bưởi. Tương tự, điều kiện nhiệt độ thấp nhất tuyệt đối cho thấy ảnh hưởng bất lợi đến năng suất bưởi, tuy nhiên số ngày rét hại lại thuận lợi đối với năng suất của bưởi. Điều này có thể là do nhiệt độ tối thấp chủ yếu có vai trò quan trọng liên quan đến khả năng qua đông của cây ăn quả, trong khi đó số ngày rét dưới 15⁰C cao có thể có lợi cho việc kéo dài thời gian để bưởi tập trung dưỡng chất vào quả.

Nhìn chung, đối với bưởi ở Phú Thọ, trong giai đoạn ra hoa, quả nhỏ (tháng 2-4) chịu ảnh hưởng của rét đậm, rét hại và gió đông bắc. Do đó, cần những biện pháp kỹ thuật như phủ gốc cây để giữ ẩm (sử dụng rơm rạ, cỏ khô, nilong,...). Bên cạnh đó, nên trồng những cây chắn gió đông bắc cho vườn cây ăn quả nhằm hạn chế rụng hoa và quả non. Ở giai đoạn bưởi chín và thu hoạch, độ ẩm cao dễ sinh ra nấm và sâu bệnh hại quả. Do đó, nên có những biện pháp kỹ thuật làm giảm độ ẩm ở khu vực vườn cây ăn quả như hun khói, trồng cây che bóng cản nhiệt độ hạ quả thấp, hay tưới nước để giảm sương muối.

Bảng 2. Hệ số tương quan tuyến tính giữa các yếu tố KT đến năng suất bưởi.

Tháng/ Yếu tố	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rn	-0,32	0,21	0,18	0,05	-0,14	0,52	-0,17	-0,41	0,25	0,14	-0,21	-0,18
R _{max}	-0,24	0,33	0,04	-0,04	0,31	0,41	-0,15	-0,31	0,00	0,16	-0,17	-0,15
R _{0.1}	-0,18	-0,19	0,10	0,09	0,04	0,16	0,07	0,10	0,02	0,17	-0,48	-0,62
R ₁₀	-0,32	0,57	0,05	-0,10	-0,10	0,54	-0,02	-0,15	0,32	0,14	-0,08	-0,20
R ₅₀	-0,01	0,10	0,08	0,16	-0,01	0,48	-0,41	-0,44	0,10	0,07	-0,04	0,18
R ₁₀₀	-	-	-	-	-0,01	0,41	-0,13	-0,38	-0,14	-0,15	-	-
T _{tb}	-0,11	0,52	0,21	-0,20	-0,33	-0,24	-0,22	-0,20	-0,22	-0,37	-0,20	-0,49
T _x	-0,03	0,57	0,26	-0,29	-0,17	0,02	-0,02	-0,07	-0,02	-0,35	-0,10	-0,10
T _n	-0,02	0,48	0,26	-0,08	-0,20	-0,22	-0,03	0,20	-0,06	-0,46	-0,01	-0,67
T _{Xtd}	-0,27	0,21	0,09	-0,43	0,10	-0,15	-0,37	0,02	0,49	0,40	-0,47	-0,27
T _{hđ}	0,12	0,44	0,15	-0,06	-0,47	-0,64	-0,11	-0,02	0,01	-0,43	0,14	-0,54
H _n	-0,10	0,25	0,18	-0,37	-0,28	0,47	-0,11	-0,13	0,10	0,10	0,10	0,64
RĐ	-0,32	-0,50	-0,49	0,16	-	-	-	-	-	0,16	0,10	0,47
RH	0,15	-0,61	0,18	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,53
U _{min}	-0,11	-0,03	-0,02	0,32	0,03	-0,02	0,05	0,04	0,28	0,02	-0,70	-0,70
U _{tb}	-0,17	-0,04	0,06	0,46	0,13	0,05	0,10	0,13	0,44	0,13	-0,62	-0,59
ff _{tb}	-0,06	-0,03	-0,05	-0,05	-0,07	-0,04	-0,06	-0,05	-0,06	-0,07	-0,07	-0,05
ff _{max}	-0,42	0,28	-0,04	-0,40	-0,66	0,16	-0,30	-0,22	-0,24	-0,28	-0,38	0,03
NE	-0,14	-0,57	0,06	-0,60	0,46	0,54	-0,11	-0,29	-0,17	0,22	-0,23	0,20
SE	-0,16	0,07	-0,12	-0,11	-0,30	0,03	-0,01	-0,09	-0,09	-0,63	-0,35	-0,23
SW	-0,22	0,23	0,37	0,12	-0,07	-0,07	0,33	-0,34	0,50	0,11	-0,16	0,29
NW	-0,03	-0,21	-0,21	0,26	-0,56	0,19	0,16	-0,46	0,09	-0,08	-0,53	0,00
T _{x35}	-	-	-	-0,71	-0,11	0,19	-0,23	0,01	-0,07	-	-	-

Nhìn vào Bảng 3 có thể thấy, yếu tố độ ẩm tác động đến năng suất chuối xuyên suốt trong 12 tháng. Chuối có đặc tính ưa ẩm, chống chịu hạn kém, nên độ ẩm cao sẽ thuận lợi cho sinh trưởng, phát triển của chuối. Bên cạnh đó, hệ số tương quan giữa tốc độ gió và năng suất chuối đều có tương quan âm trong cả 12 tháng, cho thấy ảnh hưởng tiêu cực đến năng

suất của chuối tỉnh Phú Thọ. Tác hại của gió là làm rách phiến, và mép lá, các vết rách hóa sẹo làm giảm diện tích hoạt động của lá, và có thể làm giảm năng suất đến 20% so với những cây không bị rách lá. Gió mạnh có thể làm gãy, đổ cây chuối gây thiệt hại nghiêm trọng.

Tháng 1-3 là giai đoạn trồng chuối, vào thời kỳ này, lượng mưa trên 50mm, nhiệt độ cao, số giờ nắng và số ngày nắng nóng nhiều (nhiệt độ tối cao $\geq 35^{\circ}\text{C}$) đều tác động tiêu cực đến sinh trưởng và phát triển của chuối, do đây là giai đoạn cây trồng nhạy cảm, cần nhiệt độ vừa đủ và ít mưa để thuận lợi cho việc phát triển chồi. Bên cạnh đó, giai đoạn này cũng là thời điểm thu hoạch chuối ở Phú Thọ. Do đó, số ngày nắng nóng, mưa lớn nhiều sẽ làm quả chín nhanh hơn và dễ dập nát làm ảnh hưởng đến chất lượng quả. Tháng 5 lượng mưa có tương quan dương với năng suất chuối, cho thấy lượng mưa tăng sẽ tác động tích cực đến năng suất chuối, bởi vì đây là giai đoạn trưởng thành của chuối, chuối cần nhu cầu nước cao. Vào tháng 6 và tháng 7, khi nhiệt độ cao làm cho năng suất chuối giảm, do hàm lượng nước trong các bộ phận chuối rất cao và phiến lá rộng, số ngày nắng nóng cao sẽ làm bốc thoát hơi cao, gây bất lợi đến năng suất chuối. Đến tháng 10 và tháng 11 nhiệt độ thấp lại tạo điều kiện thuận lợi cho chuối phát triển quả. Nhìn chung, đối với cây chuối ở Phú Thọ, tốc độ gió mạnh là yếu tố ảnh hưởng đến năng suất chuối khá điển hình, do đó nên có những biện pháp trồng cây chắn gió để hạn chế ảnh hưởng của nó đến sinh trưởng, phát triển của chuối.

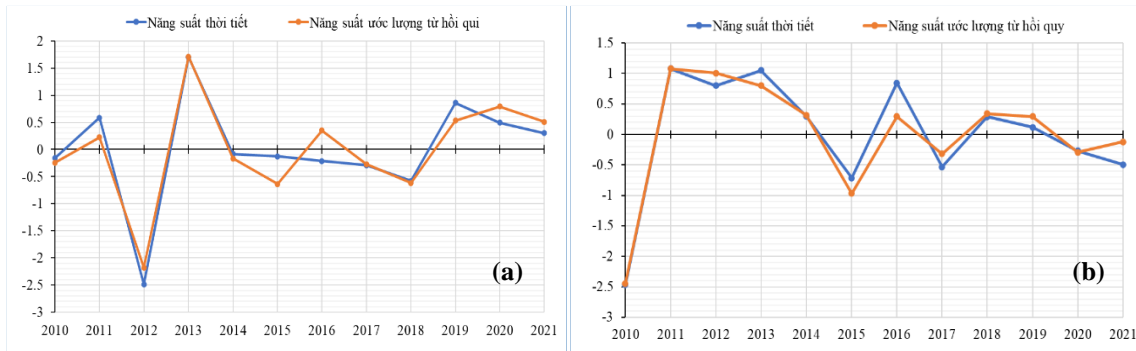
Bảng 3. Hệ số tương quan tuyến tính giữa các yếu tố KT đến năng suất chuối.

Tháng/ Yếu tố	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rn	-0,11	0,34	0,02	0,00	0,52	0,18	0,09	0,22	0,24	-0,16	-0,05	-0,18
R _{max}	-0,27	-0,05	-0,31	0,18	0,26	0,11	0,36	0,21	0,12	-0,16	0,02	-0,04
R _{0.1}	0,34	0,55	0,04	-0,53	0,54	0,28	0,23	-0,35	0,46	0,04	0,11	-0,42
R ₁₀	-0,13	0,22	0,02	0,11	0,42	0,09	0,11	0,18	0,28	-0,02	-0,02	-0,10
R ₅₀	-0,20	-0,16	-0,64	-0,18	0,45	0,30	0,08	0,22	0,01	-0,29	-0,22	0,34
R ₁₀₀	-	-	-	-	-0,07	0,20	0,57	0,02	0,20	-0,08	-	-
T _{tb}	-0,44	-0,48	-0,25	0,30	-0,09	0,03	-0,08	0,26	-0,16	0,25	0,41	-0,09
T _x	-0,61	-0,62	-0,31	0,22	-0,29	-0,33	-0,46	0,21	-0,58	0,20	0,28	-0,06
T _n	-0,44	-0,50	-0,29	0,29	-0,40	-0,30	-0,37	-0,21	0,06	0,45	0,87	-0,32
T _{Xtd}	-0,44	-0,68	-0,46	0,00	-0,24	-0,56	-0,66	0,33	-0,16	0,01	0,36	-0,14
T _{ntd}	-0,28	0,10	-0,12	0,13	-0,38	-0,16	-0,08	-0,33	-0,32	0,66	0,74	-0,27
H _n	-0,29	-0,56	-0,24	0,09	-0,01	0,00	-0,38	0,08	-	-	-	-
RĐ	-0,05	0,23	0,25	-0,08	-	-	-	-	-	-0,08	-0,25	-0,17
RH	0,52	0,14	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-0,08	0,20
U _{min}	0,08	-0,08	-0,39	-0,46	-0,40	-0,64	-0,07	-0,47	-0,48	-0,50	-0,51	-0,59
U _{tb}	0,77	0,55	0,63	0,46	0,74	0,55	0,78	0,61	0,75	0,69	0,62	0,55
ff _{tb}	-0,78	-0,78	-0,77	-0,77	-0,78	-0,77	-0,75	-0,78	-0,77	-0,77	-0,78	-0,76
ff _{max}	-0,07	0,12	0,29	0,42	0,34	0,38	0,58	0,28	0,23	0,31	-0,14	0,43
NE	-0,11	-0,13	-0,39	-0,15	-0,39	0,29	0,12	-0,43	-0,10	-0,17	-0,37	0,18
SE	-0,30	-0,31	-0,30	0,19	0,01	0,16	0,27	0,08	-0,33	0,17	-0,15	0,15
SW	0,58	0,33	0,42	0,41	0,46	0,05	0,21	0,02	0,09	-0,03	0,18	0,04
NW	-0,13	-0,14	0,00	-0,12	-0,29	-0,21	-0,27	0,12	0,22	-0,12	-0,16	0,15
T _{x35}	-	-0,78	-0,08	0,15	-0,06	-0,28	-0,51	0,17	-0,33	-0,16	-	-

Để ước lượng năng suất bưởi và chuối, nghiên cứu đã dựa trên phần mềm SPSS để xây dựng mô hình hồi qui với kỹ thuật từng bước giữa biến phụ thuộc là chuẩn sai của NSTT và biến độc lập là chuẩn sai của các yếu tố KT. Kết quả lựa chọn hai mô hình hồi qui được thể hiện trong Bảng 4. Đánh giá chất lượng của mô hình hồi qui dựa trên kiểm nghiệm Fisher cho thấy hai mô hình hồi qui ước lượng NSTT của bưởi và chuối đều có thể dung được, từ đó có thể ước lượng năng suất thực thu của bưởi và chuối dựa trên công thức 1 và 2. Kết quả so sánh NSTT của bưởi và chuối giữa quan trắc và ước lượng dựa trên hồi qui từ chuối phụ thuộc cho thấy chúng dao động đồng pha và chênh lệch ít (Hình 5).

Đối với bưởi: từ mô hình hồi qui cho thấy số ngày nắng nóng trung bình tháng 4, độ ẩm tối thấp ngày trung bình tháng 11, tốc độ gió trung bình tháng 5, và số obs xuất hiện hướng gió tây bắc trung bình tháng 5 ảnh hưởng bất lợi đối với NSTT của bưởi. Khi các đặc trưng

này càng cao, NSTT của bưởi càng giảm. Mức độ ảnh hưởng của bốn yếu tố này đối với NSTT của bưởi trong mô hình hồi qui là gần tương tự nhau.



Hình 6. Năng suất thời tiết và năng suất tính toán dựa trên hồi qui của (a) bưởi, (b) chuối trong giai đoạn 2010-2021.

Đối với chuối: trong ba yếu tố KT từ mô hình hồi qui, mức độ ảnh hưởng của nhiệt độ tối thấp trung bình tháng 11 đến NSTT của chuối là cao nhất (hệ số hồi qui là 0,678); khi nhiệt độ tối thấp trung bình tháng 11 cao hơn, thuận lợi cho NSTT chuối, và ngược lại. Tiếp đến nhiệt độ tối cao ngày trung bình tháng 1 và số ngày có lượng mưa trên 50 mm tháng 3; khi hai đặc trưng này cao, NSTT thấp hơn và ngược lại.

Bảng 4. Mô hình hồi qui ước lượng NSTT của bưởi và chuối.

STT	Cây	Phương trình	Hệ số (f)	Hệ số (f _{α=0.05})	Đánh giá
1	Bưởi	$Y = -0.357T_{35.4} - 0.453U_{\min 11} - 0.315ff_{\max 5} - 0.231NW_5$	16,526	4,12	$f > f_{\alpha}$: Phương trình có thể sử dụng
2	Chuối	$Y = 0.678T_{n11} - 0.338T_{x1} - 0.223R_{50.3}$	39,965	4,07	$f > f_{\alpha}$: Phương trình có thể sử dụng

4. Kết luận

Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của yếu tố KT dựa trên phương pháp tương quan và hồi qui tuyến tính có một số nhận xét chính sau:

- Mặc dù hệ số tương quan giữa yếu tố KT đến năng suất bưởi và chuối phổ biến thấp nhưng nhìn chung rét đậm, rét hại và số lần xuất hiện gió hướng bắc đã ảnh hưởng đáng kể đến bưởi trong giai đoạn ra hoa, quả non. Nhiệt độ thấp, độ ẩm cao cũng có ảnh hưởng đáng kể đến giai đoạn quả chín. Do đó, nên áp dụng những biện pháp kỹ thuật phù hợp để hạn chế như phủ gốc cây để giữ ẩm, trồng cây chắn gió hạn chế rụng hoa và quả non, hay biện pháp kỹ thuật làm giảm độ ẩm trong giai đoạn quả chín.

- Nhiệt độ cao và số giờ nắng, cũng như số ngày nắng nóng nhiều đều tác động tiêu cực đến giai đoạn chuối phát triển chồi. Độ ẩm không khí cao trong cả năm ảnh hưởng khá điển hình đến năng suất chuối. Do đó nên có những biện pháp kỹ thuật phù hợp để giảm ảnh hưởng của nhiệt độ cao vào giai đoạn đâm chồi, cũng như hạn chế độ ẩm vào giai đoạn ra quả và quả chín của chuối như tưới nước, trồng cây che bóng, hun khói,...

- Đã xây dựng được hai mô hình ước lượng NSTT của bưởi và chuối cho tỉnh Phú Thọ. Các phương trình này có thể được sử dụng cho ước lượng năng suất thực thu của bưởi và chuối, hoặc sử dụng cho đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến năng suất bưởi và chuối khi số liệu trong tương lai có đầy đủ các yếu tố KT trong mô hình, cũng như hướng tới xây dựng mô hình dự báo phục vụ lập kế hoạch tiêu thụ và xuất khẩu.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ sự trợ giúp từ hai đề tài KHCN cấp “Nghiên cứu đổi mới công nghệ dự báo khí hậu nông nghiệp. Áp dụng cho dự báo điều kiện khí hậu nông nghiệp và tác động đến sản xuất lúa ở khu vực đồng bằng sông Hồng”, mã số TNMT.2022.02.15 và Bộ “Nghiên cứu đổi mới công nghệ dự báo các đợt rét đậm, rét hại, mưa lớn trong mùa đông ở khu vực phía Bắc Việt Nam hạn đến 10 ngày dựa trên quy luật hoạt động của dòng xiết cận nhiệt đới”, mã số TNMT.2022.06.08 do Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu chủ trì thực hiện.

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. Viêt, N.V. Tài nguyên khí hậu nông nghiệp Việt Nam. *Nhà xuất bản nông nghiệp*. 2009.
2. Grab, S.; Craparo, A. Advance of apple and pear tree full bloom dates in response to climate change in the southwestern Cape, South Africa 1973–2009. *Agric. For. Meteorol.* **2011**, *151*(3), 406–413.
3. El Yaacoubi, A.; El Jaouhari, N.; Bouriou, M.; El Youssfi, L.; Cherroud, S.; Bouabid, R.; Abouabdillah, A. Potential vulnerability of Moroccan apple orchard to climate change– induced phenological perturbations: effects on yields and fruit quality. *Int. J. Biometeorol.* **2020**, *64*(3), 377–387.
4. Fitchett, J.M.; Grab, S.W.; Thompson, D.I.; Roshan, G. Spatio-temporal variation in phenological response of citrus to climate change in Iran. *Agric. For. Meteorol.* **2014**, *198*, 285–293.
5. Mali, S.C.; Swati, S.; Shrivastava, P.K. Economic Evaluation of Sugarcane Based Agro forestry Systems. *J. Tree Sci.* **2017**, *36*(1), 34–37.
6. Calberto, G.; Staver, C.; Siles, P.; An assessment of global banana production and suitability under climate change scenarios. In: Aziz E (ed) Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2015, pp. 262–291.
7. Kizildeniz, T.; Pascual, I.; Irigoyen, J.J.; Morales, F. Using fruit-bearing cuttings of grapevine and temperature gradient greenhouses to evaluate effects of climate change (elevated CO₂ and temperature, and water deficit) on the cv. red and white Tempranillo. Yield and must quality in three consecutive growing seasons (2013–2015). *Agric. Water Manage.* **2018**, *202*, 299–310.
8. Nath, V.; Kumar, G.; Pandey, S.D.; Pandey, S. Impact of climate change on tropical fruit production systems and its mitigation strategies. Proceeding of the Climate change and agriculture in India: Impact and adaptation. Cham: Springer. 2019, pp. 129–146.
9. Dương, T.H. và cs. Nghiên cứu ứng dụng mô hình ORYZA2000 để đánh giá rủi ro khí hậu nông nghiệp và đề xuất các phương án quản lý sản xuất lúa thích hợp phục vụ phát triển nông nghiệp bền vững ở đồng bằng sông Hồng. Đề tài cấp Cơ sở Viện KHKTTV và BDKH. 2014.
10. Giang, N.T. Nghiên cứu ứng dụng mô hình động thái để xác định công thức luân canh cây trồng vùng phù sa ngọt đồng bằng sông Cửu Long. Luận án tiến nông nghiệp, Trường Đại học Nông nghiệp. 2012.
11. Hà, N.T. và cs. Nghiên cứu dự báo năng suất ngô, đậu tương, lạc và xây dựng công nghệ giám sát KTNNở Việt Nam. Đề tài cấp Bộ. 2008.
12. Giai, N.S.; Quyền, N.H. Về khả năng sử dụng các số liệu quan trắc cây vải của ngành nông nghiệp trong nghiên cứu yếu tố KT đối với sự hình thành năng suất của nó. Tuyển tập báo cáo Hội thảo khoa học lần thứ 10 - Viện KH KTTV & MT. 2015.

13. Quyền, N.H. Nghiên cứu đánh giá và phân vùng khí hậu nông nghiệp phục vụ phát triển ngành trồng trọt tỉnh Sơn La. Luận án tiến sĩ khí tượng và khí hậu học, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu. 2021, tr. 155.
14. Hoàng, C.T.T. Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu đến một số cực trị khí hậu và hiện tượng khí hậu cực đoan ở Việt Nam. Luận án Tiến sĩ Khoa học trái đất. 2015, tr. 158.
15. Han, X.; Chang, L.; Wang, N.; Kong, W.; Wang, C. Effects of Meteorological Factors on Apple Yield Based on Multilinear Regression Analysis: A Case Study of Yantai Area, China. *Atmosphere* 2023, 14, 183.
16. Trục tuyến: <https://www.gso.gov.vn/du-lieu-dac-ta/2019/12/htcttk-cap-tinh-nang-suat-mot-so-loai-cay-trong-chu-yeu/>
17. Trục tuyến: <https://www.gso.gov.vn/du-lieu-dac-ta/2019/03/nong-nghiep/>
18. Hung, N.T.; Quyen, N.H. Effect of the change of climate indicators on agricultural yields in Son La province. *VN J. Sci. Technol.* 2017, 6, 756–766.
19. Irwin, S.H. Revisiting South American Corn and Soybean Yield Trends and Risks. *Farmdoc Daily* 2020, 10, 212.
20. Wang, Y.; Yang, T.; Zhao, R.; Jiang, K.; Ma, X. A New Method for Determining Critical Irrigation Period for Large Regions Based on Precipitation-Meteorological Yield Integral Regression Relationship—A Case Study of Winter Wheat in Shaanxi Province, China. *Appl. Sci.* 2019, 9(23), 5181.
21. Tân, P.V. Phương pháp thống kê trong khí hậu. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội. 2005.

Effects of meteorological factors on yield of some fruit trees in Phu Tho province basis on correlation and regression

Nguyen Dang Mau^{1*}, Trinh Hoang Duong¹, Tran Thi Tam¹, Nguyen Huu Quyen¹, Nguyen Binh Phong², Dang Nhu Y², Le Van Phong¹

¹ Vietnam Institute of Meteorology, Hydrology and Climate Change; mau.imhen@gmail.com; hoangduongktnn@gmail.com; trantam1810@gmail.com; nhquyen13@gmail.com; lephong2341999@gmail.com

² Hanoi University of Natural Resources and Environment; nbphong@hunre.edu.vn

Abstract: The article analyzes the influence of meteorological factors (MF) on the yield of pomelo and banana in Phu Tho based on linear correlation and regression to determine the appropriate technical measures to increase yield of them. The results showed that for pomelos, the high number of cold days and northeasterly winds were typical factors affecting the flowering stage and the small fruit. High humidity is also a favorable factor for the activity of fungi and pests at the ripe grapefruit stage. For bananas, strong wind speed is a typical influencing factor in all stages of growth and yield formation. Therefore, it should be applied to reduce the influence of these factors on the flowering and ripening stage of pomelo and banana such as keeping the stump warm, or planting windbreaks, etc. In addition, we have been built two models to estimate the yield of pomelo and banana, aiming to assess the impact of climate change, zoning specialized crops, productivity forecast serving the development of consumption and export plans for pomelos and bananas

Keyword: Influence of meteorological factors; Yields of pomelo and banana trees.

Bài báo khoa học

Đánh giá ổn định bờ sông Cổ Chiên, tỉnh Vĩnh Long

Văn Hữu Huệ^{1*}

¹ Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, Vĩnh Long; huuhuevan@gmail.com

*Tác giả liên hệ: huuhuevan@gmail.com; Tel.: +84-919235799

Ban Biên tập nhận bài: 14/6/2023; Ngày phản biện xong: 26/7/2023; Ngày đăng bài: 25/8/2023

Tóm tắt: Nghiên cứu đánh giá ổn định bờ sông Cổ Chiên khu vực thành phố Vĩnh Long và huyện Long Hồ, tỉnh Vĩnh Long, góp phần làm rõ nguyên nhân sạt lở ngày càng gia tăng và trầm trọng. Nghiên cứu đã tiến hành khảo sát, đánh giá địa chất, lưu tốc dòng chảy, hình thái lòng sông từ đó xác định các nguyên nhân gây mất ổn định bờ sông và đề xuất các giải pháp bảo vệ. Nghiên cứu đã kết hợp sử dụng các phương pháp điều tra khảo sát, thống kê, mô hình toán, sử dụng công nghệ GIS, ArcGIS, Google Earth, Geoslope. Kết quả nghiên cứu cho thấy những nguyên nhân chủ yếu gây mất ổn định bờ sông là do hạ thấp lòng dẫn, dòng chủ lưu áp sát bờ, tỷ lệ phân lưu dòng chảy, suy giảm bùn cát từ thượng nguồn. Nghiên cứu cũng kiến nghị một số giải pháp khắc phục và có khả năng áp dụng kết quả nghiên cứu vào giám sát, cảnh báo sạt lở cho khu vực nghiên cứu.

Từ khóa: Hạ thấp lòng dẫn; Nguyên nhân mất ổn định bờ sông; Ổn định bờ sông Cổ Chiên; Sạt lở ở Đồng bằng sông Cửu Long.

1. Giới thiệu

Hạ thấp lòng dẫn gây mất ổn định bờ sông nhiều nơi trên thế giới. Hoạt động khai thác đang thay đổi hình thái dòng chảy Sông Kangsabati ở Ấn Độ [1]. Khai thác các bãi biển ở vùng Suriname đã thu hẹp bãi biển Braamspunt - sinh cảnh quan trọng cho rùa biển làm tổ. Khai thác cát ở bờ biển Mozambique dẫn đến lũ quét chưa từng thấy. Khai thác cát đang hạ thấp lòng dẫn Mekong, gây bất ổn bờ sông và làm thay đổi dòng chảy, đe dọa các cộng đồng và động vật hoang dã dọc theo chiều dài hơn 4.000 km của sông [1]. Lòng Mekong đang giảm trung bình 10 cm mỗi năm nhưng hình ảnh định vị thủy âm cho thấy sự xuất hiện của những hố xói lớn mà tác giả [1] cho rằng “Có thể thay đổi hoàn toàn hình dạng dòng sông”.

Trước đây, giao thông thủy ở ĐBSCL là chủ yếu, nhiều đô thị được thành lập ở ngã ba sông như Cần Thơ, Vĩnh Long..., nên nhiều nhà cửa, trụ sở, đường xá, chợ được xây dựng ven sông để thuận tiện cho giao thông. Các công trình ven sông trên đều ổn định do cao trình đáy sông còn cao, gần đây việc hạ thấp lòng dẫn cùng các nguyên nhân khác làm cho các công trình xây dựng từ trước mất dần ổn định, gây sạt lở nhiều nơi, cụ thể như: Ngày 23/4/2017, bờ sông Vàm Nao ở xã Mỹ Hội Đông (Huyện Chợ Mới, An Giang) xảy ra sạt lở, nhấn chìm 14 căn nhà và nền nhà xuống sông; nhiều đê kè ven biển Bạc Liêu liên tục sạt lở nghiêm trọng; Đặc biệt, bờ sông Cổ Chiên (đoạn từ vàm Mương Lộ đến rạch Bà Bống), thuộc ấp Bình Thuận 1, xã Hòa Ninh, Huyện Long Hồ, tỉnh Vĩnh Long đã xảy ra vụ sạt lở nghiêm trọng, vào khoảng 16 giờ 30 phút ngày 05/12/2022, chiều dài đoạn sạt lở khoảng 350 m, rộng khoảng 160 m, tổng diện tích khoảng 41.516 m², thiệt hại 13 căn nhà, 01 nhà kho, 01 xe cuốc, 02 ao cá, 01 ghe tải trọng 2,5 tấn, cùng các vật dụng trong gia đình. Thiệt hại khoảng 35 tỷ đồng, ảnh hưởng rất lớn đến tài sản, đời sống của người dân [2].



Hình 1. Bản đồ và hình ảnh sạt lở tại xã Hòa Ninh, Huyện Long Hồ, Tỉnh Vĩnh Long.

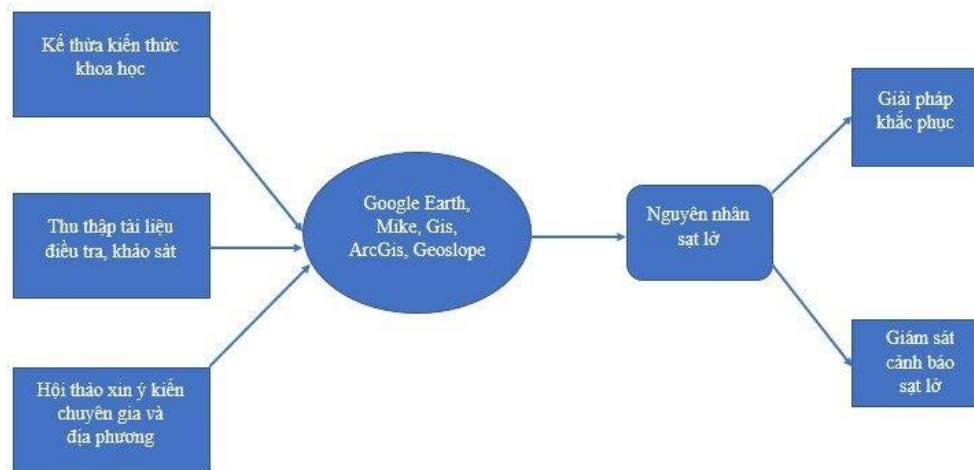
Để tìm nguyên nhân sạt lở, mục tiêu nghiên cứu cụ thể là: (1) Khảo sát, đánh giá về địa chất, lưu tốc dòng chảy, hình thái lòng sông, từ đó đưa ra đánh giá chung về mức độ ổn định, các nguy cơ xảy ra sạt lở bờ sông Cổ Chiên đoạn từ Mỹ Thuận đến bến phà Đình Khao; đánh giá cụ thể khu vực từ rạch Cái Cá đến rạch Bà Bống; (2) Đề xuất các giải pháp bảo vệ khu vực đảm bảo ổn định lâu dài.

2. Tài liệu thu thập và phương pháp nghiên cứu

Thu thập các tài liệu địa hình, thủy văn, khai thác cát, điều tra khảo sát tình hình sạt lở, phỏng vấn người dân [3].

Phạm vi nghiên cứu: Bờ sông Cổ Chiên (đoạn từ rạch Cái Cá đến rạch Bà Bống), khu vực Tp. Vĩnh Long và Huyện Long Hồ, tỉnh Vĩnh Long.

Phương pháp nghiên cứu, kỹ thuật được sử dụng trong nghiên cứu thể hiện trên sơ đồ hình 2.



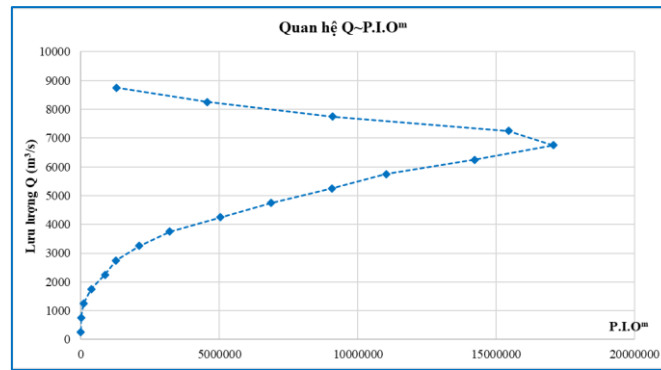
Hình 2. Sơ đồ phương pháp nghiên cứu.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xác định chiều rộng, chiều sâu (B, h) ổn định lòng dẫn

3.1.1. Tính toán lưu lượng tạo lòng tại vị trí xảy ra sạt lở

Từ chuỗi số liệu mô phỏng dòng chảy năm 2005÷2020, nghiên cứu xây dựng đường tần suất lưu lượng dòng chảy tại điểm sạt lở. Dựa trên chuỗi dữ liệu mô phỏng có kiểm chứng số liệu thực tế tại vị trí sạt lở, tính toán lưu lượng tạo lòng (phương pháp của Macca-ve-ép) [4] theo TCVN 8419:2010. Kết quả tính và vẽ quan hệ giữa Q và P.I.Q^m từ biểu đồ, ứng P.I.Q^m lớn nhất có được lưu lượng tạo lòng là Q_{TL} = 6.750 m³/s.



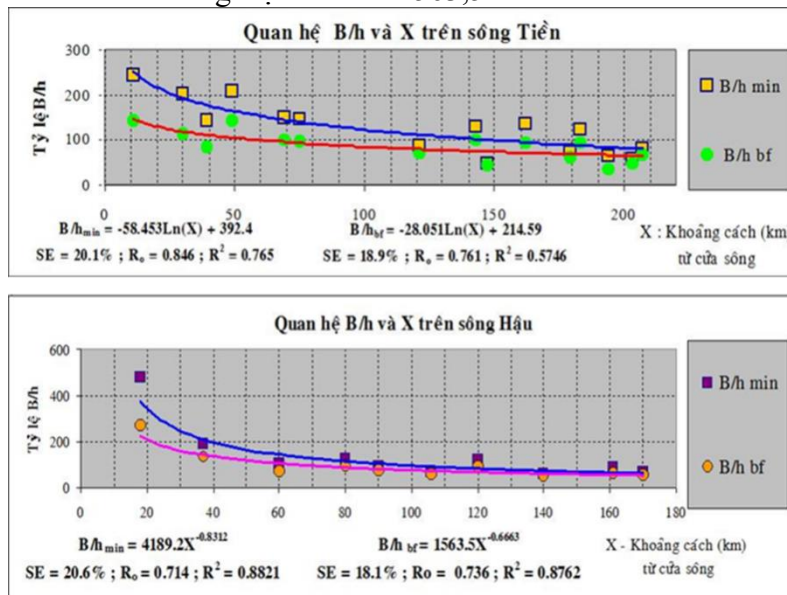
Hình 3. Đường quan hệ giữa Q và P.I.Q^m.

3.1.2. Tính toán mặt cắt (MC) (B, h) ổn định lòng dẫn

Công thức hình thái ổn định lòng dẫn trên Mekong [5] xác định tỷ lệ B/h như trình bày trên Hình 4.

Đối với sông Tiền: $B/h = 214,59 - 28,05 \ln(X)$ (1)

Đối với sông Hậu: $B/h = 1563,5X^{-0,6663}$ (2)



Hình 4. Quan hệ B/h trên mặt cắt ngang Mekong [2].

Lưu vực sông Tiền, khoảng cách từ cửa sông đến mặt cắt tính toán là 90 km. Do vậy, quan hệ B/h theo (1) ta được: $B/h = 88,37$, kết quả tính toán B/h như Bảng 1.

Bảng 1. Các tham số ổn định lòng dẫn.

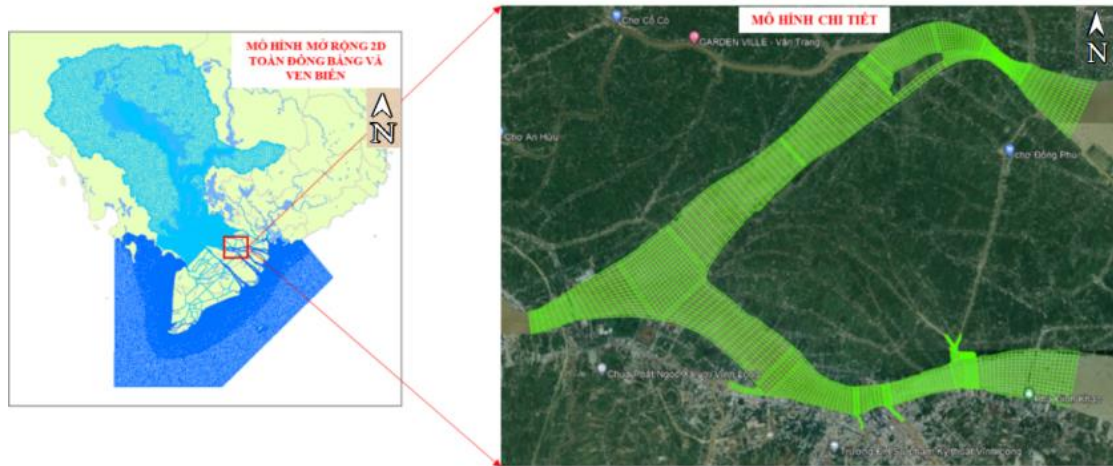
Q_{TL} (m ³ /s)	h (m)	B (m)	X (km)
6750,0	12,10	1068,86	90,0

Chiều sâu lòng dẫn hiện nay (từ 15÷35 m) đã sâu hơn chiều sâu ổn định lòng dẫn.

3.2. Xác định các nguyên nhân xói lở

3.2.1. Thủy văn và chế độ dòng chảy

Để xác định nguyên nhân sạt lở bờ sông Cỏ Chiên (khu vực từ Rạch Cái Cá đến rạch Bà Bống), tỉnh Vĩnh Long, phương pháp mô hình toán được sử dụng trong đó các mô hình với tỉ lệ và mức độ chi tiết khác nhau được thiết lập (Hình 5).



Hình 5. Phân vùng nghiên cứu mô hình.

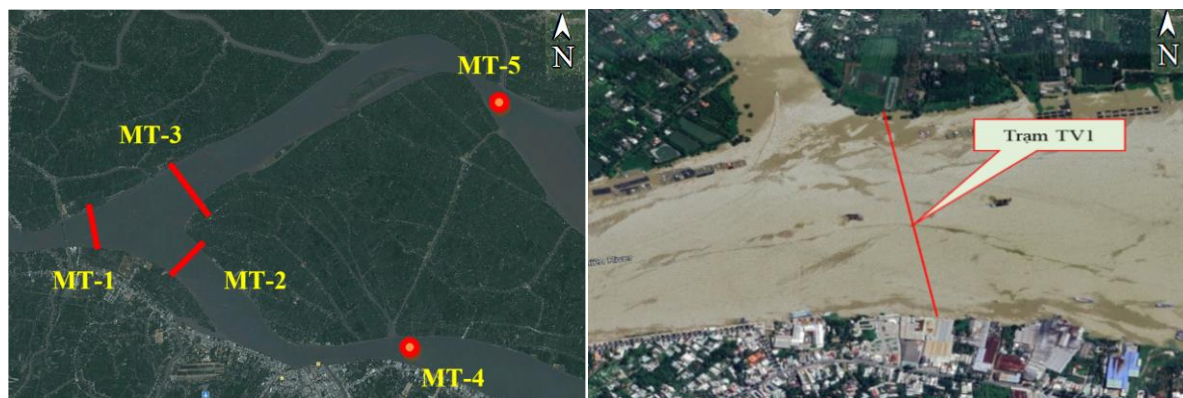
Nhóm mô hình 1 (mô hình mở rộng) bao gồm các mô hình: (1) 1D cho hệ thống sông kênh Mekong và Sài Gòn - Đồng Nai; (2) 2D cho vùng nghiên cứu mở rộng phía biển từ Bà Rịa - Vũng Tàu đến Campuchia. Kết quả của mô hình này được dùng để trích xuất biên cho mô hình nghiên cứu chi tiết (nhóm mô hình 3). Đối với các mô hình 1D độc lập, các module được sử dụng sẽ là MIKE 11 HD, AD. Đối với mô hình 2D độc lập, các module sử dụng sẽ là MIKE 21 FM HD, SW và MT. Đối với mô hình mở rộng được kế thừa từ kết quả nghiên cứu [6] và cập nhật điều kiện biên đến năm 2022.

Nhóm mô hình 2 (mô hình chi tiết) bao gồm các mô hình 2D chi tiết được xây dựng để nghiên cứu chế độ thủy động lực, vận chuyển bùn cát và biến đổi hình thái khu vực bờ sông Cỏ Chiên (khu vực từ Rạch Cái Cá đến rạch Bà Bống), tỉnh Vĩnh Long và vùng phụ cận. Các module của bộ mô hình MIKE được sử dụng cho các mô hình chi tiết tương tự các module được sử dụng cho mô hình 2D mở rộng ở trên.

Nghiên cứu đã thu thập các trạm khảo sát lưu lượng ngắn của các đề tài dự án trước [7] trong phạm vi nghiên cứu mô hình chi tiết phục vụ công tác hiệu chỉnh, kiểm định mô hình. Trong nghiên cứu này, đã bổ sung quan trắc lưu lượng tại 01 trạm tại trị trí xảy ra sạt lở (Hình 6 và Bảng 2).

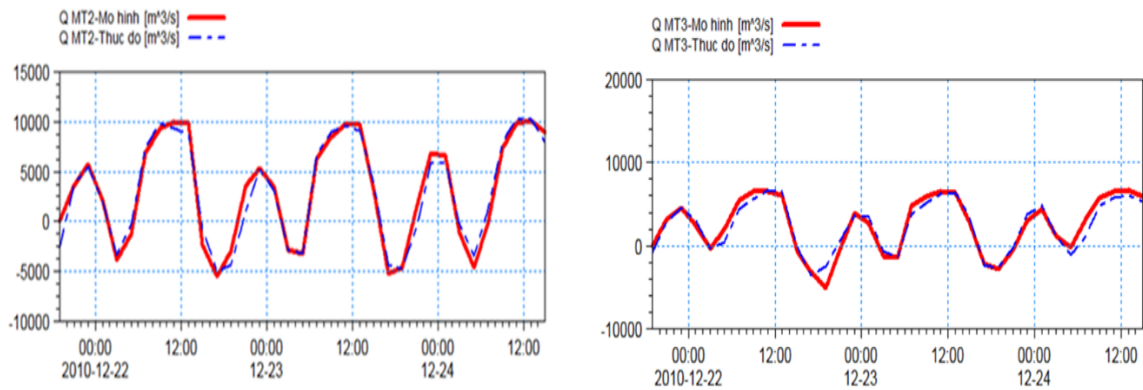
Bảng 2. Vị trí và thời gian đo lưu lượng [2].

TT	Trạm	Vị trí	Thời gian quan trắc	Yếu tố quan trắc
1	MT2	Sông Tiền (đầu cù lao An Bình)	21 ÷ 23/12/2010	Lưu lượng
2	MT3	Sông Cỏ Chiên (đầu cù lao An Bình)	21 ÷ 23/12/2010	Lưu lượng
3	TV 1	Bờ trái 10.267192°, 105.989015° Bờ phải 10.2614191°, 105.990048°	4 ÷ 17/12/2022	Lưu tốc, lưu lượng, mẫu bùn cát

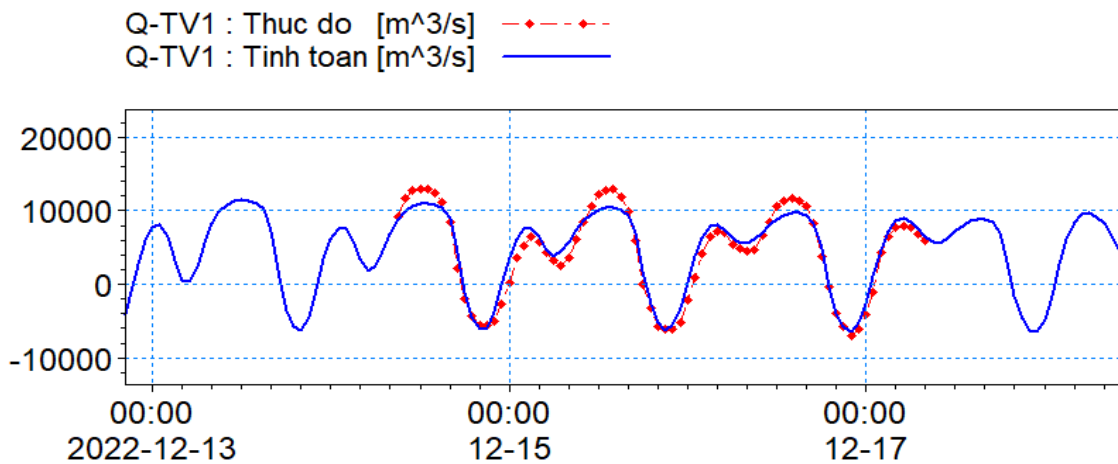


Hình 6. Vị trí các trạm quan trắc lưu lượng, mực nước.

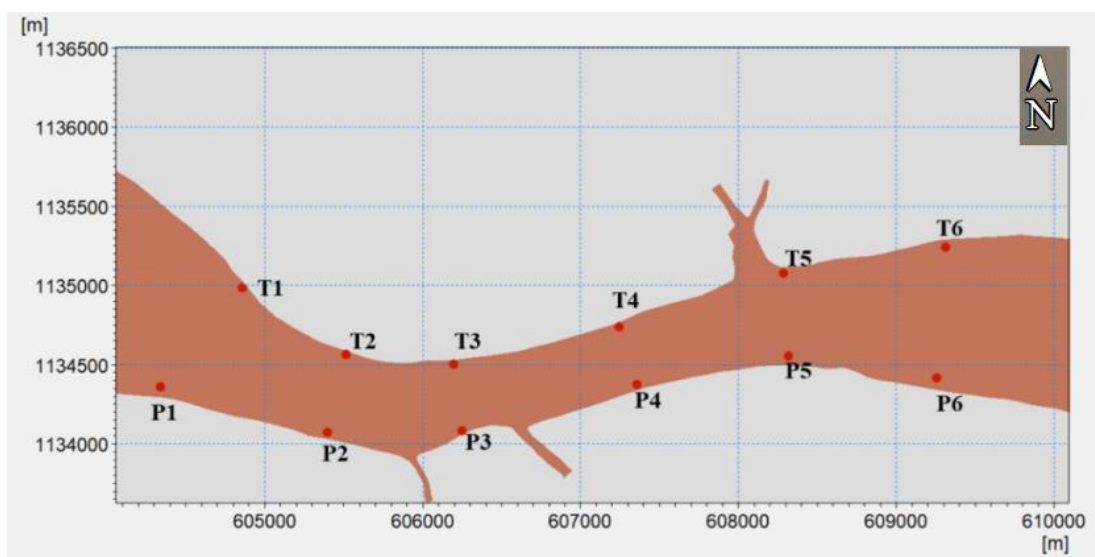
Mực nước thực đo tại các trạm thủy hải văn quốc gia ven biển và khu vực nghiên cứu mở rộng, gồm Tân Châu, Châu Đốc, Cần Thơ, Mỹ Thuận, Vũng Tàu, Phú An, Nhà Bè, Vàm Kênh, Bình Đại, An Thuận, Bến Trại, Mỹ Thanh, Gành Hào, Ông Đốc... từ 2007÷2022 đã được thu thập và sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm định các mô hình mô hình mở rộng. Đối với mô hình nghiên cứu chi tiết kết quả hiệu chỉnh và kiểm định lưu lượng xem (Hình 7-8) [8].



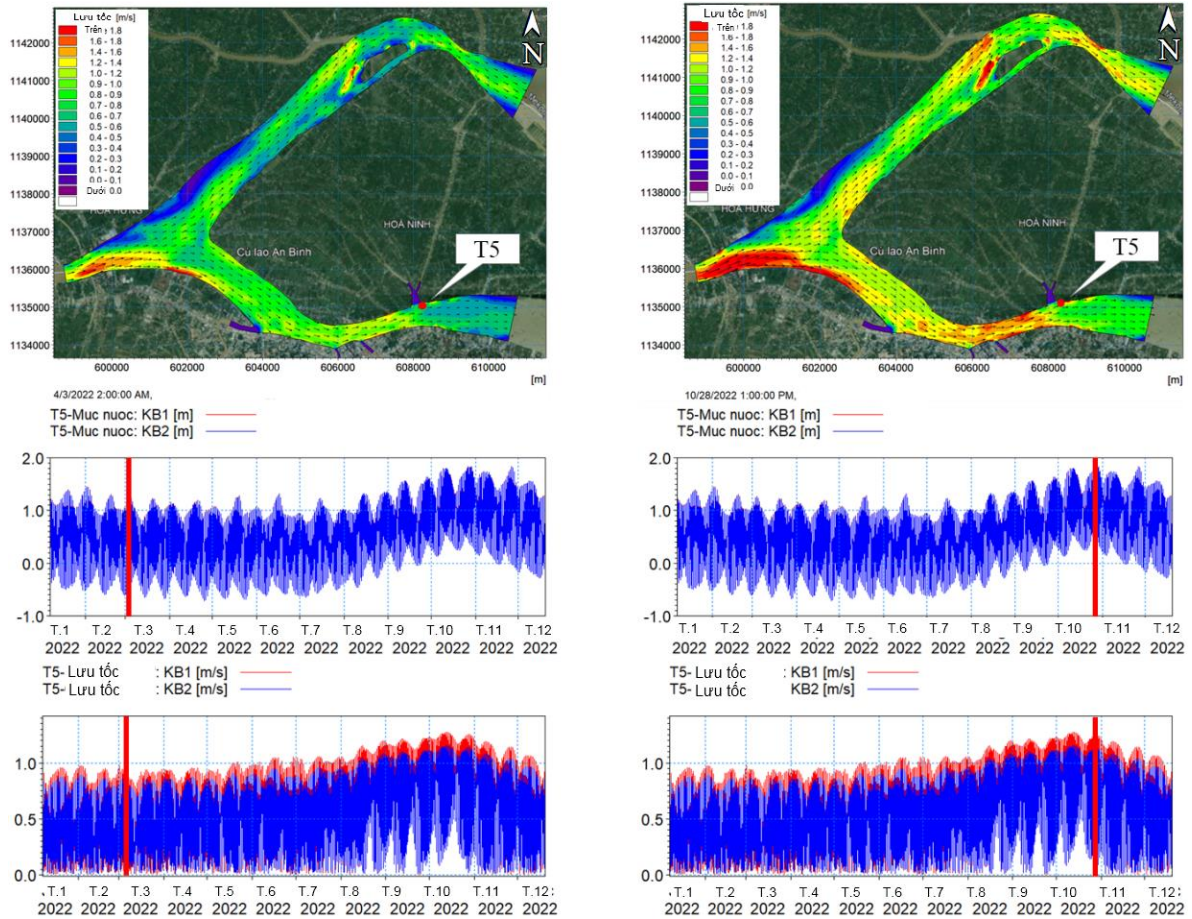
Hình 7. Kết quả hiệu chỉnh lưu lượng tại vị trí MT2, MT3.



Hình 8. Kết quả kiểm định lưu lượng tại vị trí TV1.



Hình 9. Vị trí các điểm phân tích kết quả tính toán.



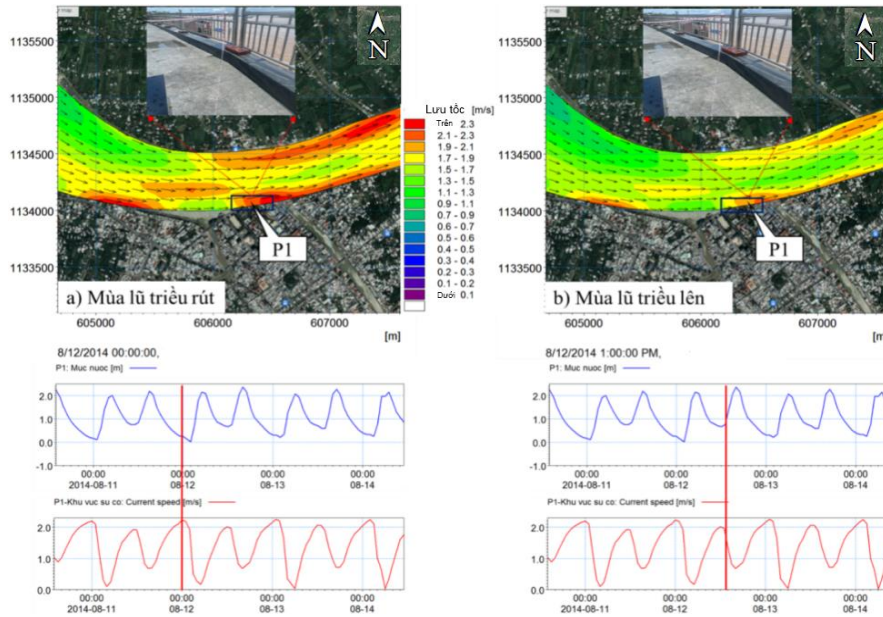
Hình 10. Trường phân bố dòng chảy trong mùa kiệt và mùa lũ lúc triều rút (phía trên), đường quá trình mực nước và dòng chảy tổng hợp tại vị trí T5 (phía dưới) [2].

Chế độ thủy động lực khu vực này khá rõ nét, mùa kiệt (từ tháng 12 đến tháng 6 năm sau) mực nước thấp, giá trị lớn nhất đạt được khoảng 1,0÷1,3 m, dòng chảy tổng hợp thời kỳ này cũng khá nhỏ. Mùa lũ mực nước, vận tốc dòng chảy tăng nhanh, giá trị lớn nhất có thể đạt 1,90 m và 1,3 m/s (Hình 10). Biên độ triều lớn nhất đạt 2 m, chịu chi phối mạnh của chế độ thủy lực thượng nguồn, vận tốc thời kỳ triều rút lớn hơn nhiều so với triều lên.

Khu vực nghiên cứu, mùa kiệt vận tốc dòng chảy lớn nhất đạt 1,37 m/s phía bờ phải và 1,58 m/s phía bờ trái (An Bình). Mùa lũ thì vận tốc dòng chảy lớn nhất là 1,78 m/s phía bờ phải và 1,82 m/s phía bờ trái, dòng chảy thường xuyên có xu hướng áp sát bờ phải (Hình 11) là một trong nguyên nhân chính gây sạt lở khu vực này.

Bảng 3. Thống kê giá trị vận tốc lớn nhất tại các vị trí P1÷T6.

Vị trí	Vmax (m/s)		Vị trí	Vmax (m/s)	
	Mùa lũ	Mùa kiệt		Mùa lũ	Mùa kiệt
P1	1,69	1,10	T1	1,17	0,73
P2	1,39	0,85	T2	1,70	1,08
P3	2,31	1,37	T3	1,87	1,58
P4	2,04	1,26	T4	2,37	1,53
P5	1,56	0,97	T5	1,65	1,07
P6	1,50	0,94	T6	1,50	0,96



Hình 11. Diễn biến vận tốc dòng chảy khu vực kè Phường 5 trong mùa lũ [9].

Khu vực sạt lở, Kè Phường 5 có vận tốc dòng chảy khi triều rút và triều lên đều vượt giá trị cho phép (0,7 m/s), mùa lũ có tác động bào xói lòng dẫn mạnh nhất.

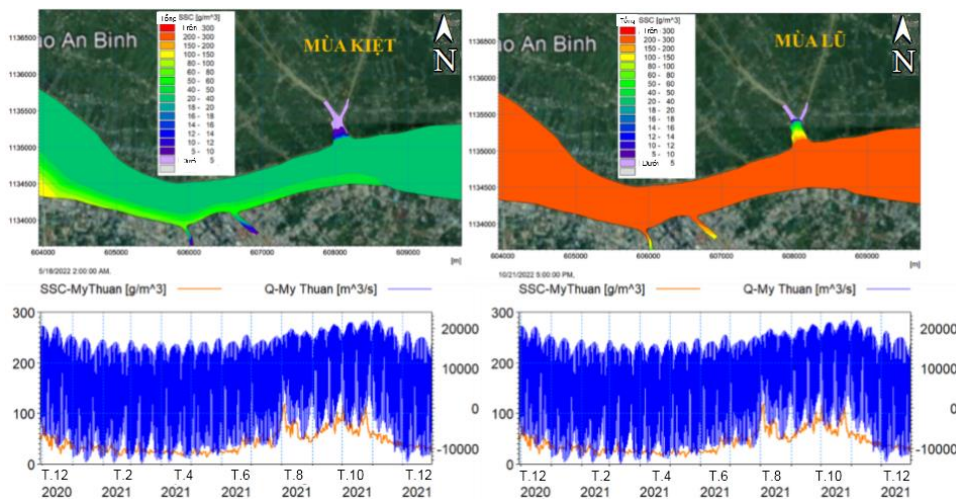
3.2.2. Kết quả tính toán tỷ lệ phân lưu khu vực nghiên cứu

Qua cầu Mỹ Thuận, sông Tiền được phân chia thành hai nhánh: nhánh sông Tiền và sông Cổ Chiên - chảy qua điểm sạt lở. Thập niên 60, tỷ lệ phân lưu tại hai nhánh sông này gần bằng nhau, do những năm 80, phía sông Tiền hình thành cồn giữa sông, ngăn cản dòng chảy, nên ngày nay tỷ lệ phân lưu tại hai nhánh sông này chênh lệch lớn; mùa lũ (từ tháng 7÷11), tỷ lệ phân lưu 61,5÷62,2% tại Cổ Chiên và 37,8÷38,5% tại sông Tiền. Mùa kiệt nhánh Cổ Chiên 60,8÷61,5%, nhánh sông Tiền 38,5÷39,2%, lưu lượng về nhánh sông Cổ Chiên lớn hơn; đây cũng là một nguyên nhân gây sạt lở cho nhánh Cổ Chiên.

3.2.3. Chế độ vận chuyển bùn cát và diễn biến hình thái

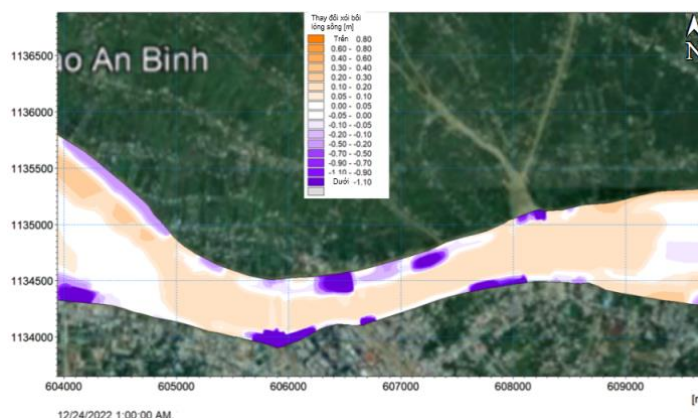
a) Chế độ vận chuyển bùn cát

Tương quan giữa diễn biến bùn cát với điều kiện khí hậu, chế độ thủy văn thượng nguồn (đòng chảy và bùn cát) tại Mỹ Thuận với chu kỳ một năm khí hậu [10].



Hình 12. Tương quan biến động bùn cát với các mùa khí hậu, thủy văn thượng nguồn (trạm Mỹ Thuận), thủy động lực tại vùng nghiên cứu với chu kỳ năm khí hậu [2].

Mùa mưa lũ, nguồn phù sa từ thượng nguồn dồi dào nhất trong năm, mùa lũ từ tháng 7÷11 được xem là thời kỳ cung cấp bùn cát chủ yếu cho vùng ĐBSCL [11]. Dòng chảy trong mùa này là lớn nhất trong năm. Quá trình bồi tụ, xói lở diễn ra chủ yếu trong thời kỳ này. Mùa kiệt, dòng chảy nhỏ, hàm lượng bùn cát khá thấp, điều kiện bồi tụ khá thuận lợi. Tuy nhiên, nguồn cung cấp bùn cát hạn chế dẫn đến xu thế xói lở chiếm ưu thế, đặc biệt là giai đoạn chuyển tiếp từ mùa kiệt sang mùa lũ. Hình 13 trình bày kết quả mô phỏng sau hai năm khu vực nghiên cứu. Diễn biến hình thái cho thấy một số vị trí phía kè Phường 1, Phường 5 xói chân khá lớn, tiềm ẩn nguy cơ mất ổn định của kè. Ngoài ra, phía thượng lưu kè TP. Vĩnh Long xuất hiện một số điểm có nguy cơ sạt lở cao. Phía An Bình, xói bồi xen kẽ, phía đầu cù lao đến Khu du lịch Vĩnh Sang tiềm ẩn nguy cơ sạt lở.



Hình 13. Phân bố xói/bồi vùng nghiên cứu sau hai năm mô phỏng.

b) Diễn biến hình thái vùng nghiên cứu

Kết quả tính toán diễn biến hình thái sau hai năm mô phỏng với điều kiện địa hình năm 2011 (chưa xét đến tác động hạ thấp lòng dẫn, biến đổi bùn cát thượng nguồn) thì khu vực nghiên cứu xói bồi xen kẽ, đáy sông bồi nhẹ với tốc độ trung bình 0,2 m/năm. Kè Phường 1, Phường 5 xói chân với tốc độ 1÷2 m/năm. Tác động của hạ thấp lòng dẫn và thiếu hụt bùn cát đến diễn biến hình thái vùng nghiên cứu.

Kết quả tính toán cho thấy việc kết hợp cả hạ thấp lòng dẫn và thiếu hụt bùn cát sẽ gây nguy hiểm nhất. Với kịch bản này sạt lở hai bên bờ khu vực nghiên cứu là lớn nhất, có những vị trí sạt lở trung bình từ 5÷10 m/2 năm mô phỏng. Qua so sánh giữa các kịch bản nhận thấy rằng hạ thấp lòng dẫn bất thường là nguy hiểm nhất, tình trạng xói lở gia tăng rất nhanh trong điều kiện bùn cát thượng nguồn suy giảm như hiện nay.

3.2.4. Kết quả tính ổn định và tác động tàu thuyền

Tính toán ổn định theo TCXDVN 285:2002 (Sử dụng Geoslope).

$$n_c \times N_{tt} \leq \frac{m}{k_n} \times R; \quad K = \frac{R}{N_{tt}} \geq \frac{n_c \times k_n}{m} \quad (3)$$

Trong đó K là hệ số an toàn chung của công trình; N_{tt} là tải trọng tính toán tổng quát (lực, mô men, ứng suất); R là sức chịu tải tính toán tổng quát; $n_c = 1,0$ là hệ số tổ hợp tải trọng.

- Nếu hệ số an toàn nhỏ nhất $K_{\min} < [K] = 1,15$: Vị trí mặt cắt này mất ổn định.

- Nếu hệ số an toàn nhỏ nhất $K_{\min} > [K] = 1,15$: Vị trí mặt cắt này ổn định.

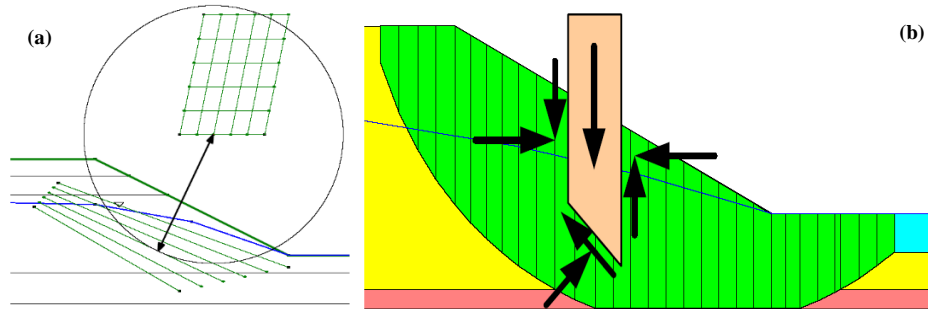
Công cụ tính toán: Sử dụng Geoslope tính toán ổn định chung của mái bờ theo sơ đồ trượt sâu với giả thiết mặt trượt trụ tròn và phương pháp tính Bishop, hệ số an toàn như sau [12]:

$$\frac{M_g}{M_{tr}} \geq [K] \quad (4)$$

Trong đó M_{tr} là tổng mô men của các lực gây trượt lấy với tâm cung trượt; M_g là tổng mô men của các lực chống trượt lấy với tâm cung trượt; $[K]$ là hệ số an toàn cho phép.

$$M_{tr} = R \sum (G_n) \sin \alpha_n; M_g = R [\sum (G_n) \cos \alpha_n \operatorname{tg} \varphi_n + \sum C_n L_n]$$

Trong đó R là bán kính cung trượt; h_1, h_2, h_3 là độ cao trung bình các lớp đất ở các dải; G_n là trọng lượng cột đất thứ n : $G_n = \gamma_n h_n b$; α_n là góc hợp bởi đường pháp tuyến của trung tâm dải n với phương đứng; b, L_n là chiều rộng của dải đất, chiều dài dải cung trượt thứ n ; C, φ là lực dính đơn vị và góc ma sát trong của đất.



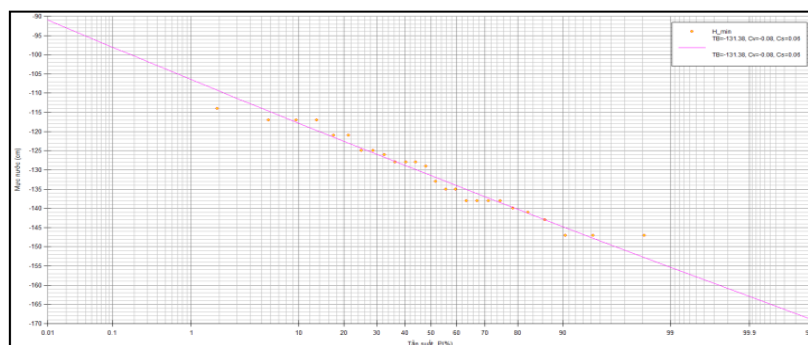
Hình 14. Sơ đồ xác định cung trượt và lực tác dụng lên khối đất: (a) Xác định cung trượt bằng vị trí tâm và tiếp tuyến đi qua; (b) Sơ họa các lực tác dụng lên một phần nhỏ trong cung trượt [13].

Tài liệu tính toán thủy văn: Theo tiêu chuẩn TCXDVN 285:2002 để tính ổn định mái bờ, mực nước tính toán là mực nước nhỏ nhất ứng với tần suất 95%.

Để xác định mực nước ứng với tần suất 95%, từ Bảng 4 giá trị đặc trưng mực nước nhỏ nhất trong vòng 26 năm (1987-2012) tại trạm Mỹ Thuận gần khu vực nghiên cứu, tiến hành tính toán tần suất, kết quả thể hiện ở Bảng 4.

Bảng 4. Phân phối tần suất mực nước nhỏ nhất (H_{min}) [2].

TT	Tần suất	H_{min} (cm)	TT	Tần suất	H_{min} (cm)
1	0,01	-90,93	15	40,00	-128,82
2	0,10	-98,00	16	50,00	-131,49
3	0,20	-100,36	17	60,00	-134,14
4	0,33	-102,15	18	70,00	-136,96
5	0,50	-103,71	19	75,00	-138,52
6	1,00	-106,46	20	80,00	-140,25
7	1,50	-108,18	21	85,00	-142,26
8	2,00	-109,45	22	90,00	-144,78
9	3,00	-111,34	23	95,00	-148,50
10	5,00	-113,91	24	97,00	-150,88
11	10,00	-117,84	25	99,00	-155,37
12	20,00	-122,57	26	99,90	-162,97
13	25,00	-124,35	27	99,99	-169,13
14	30,00	-125,95			



Hình 15. Đường tần suất mực nước nhỏ nhất (H_{min}).

Tài liệu địa hình: Tài liệu khảo sát đo đạc ngày 12/12/2022, sau khi đã xảy ra sạt lở, gồm có bình đồ địa hình tỷ lệ 1/5000; MC ngang tỷ lệ đứng 1/200, ngang 1/200 (lựa chọn các MC nguy hiểm nhất để kiểm tra ổn định).

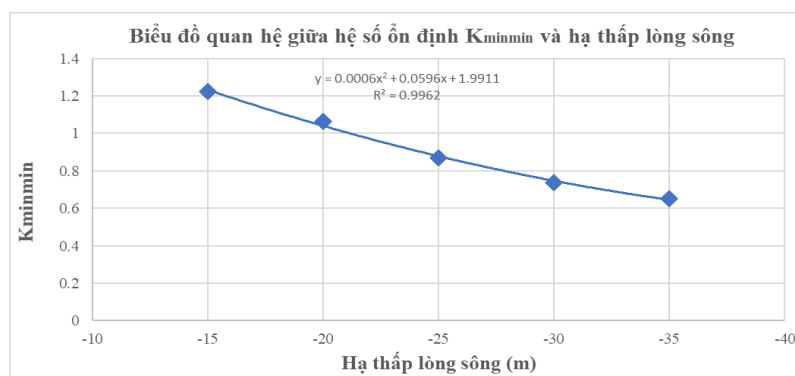
Tài liệu địa chất: Các tài liệu tại hố khoan địa chất khu vực sạt lở Hòa Ninh và các tài liệu khảo sát địa chất tham khảo của các dự án lân cận.



Hình 16. Vị trí các MC kiểm tra ổn định, lấy mẫu bùn khu vực sạt lở Hòa Ninh.

Bảng 5. Tổng hợp kết quả tính toán ổn định tại các MC [2].

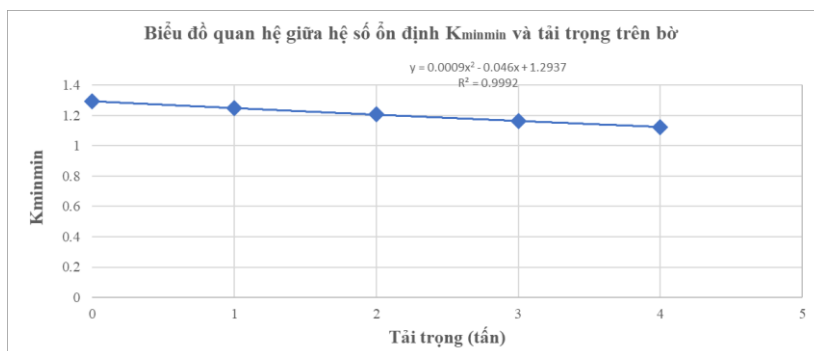
TT	MC tính toán	$K_{\min\min}$	[K]	Nhận xét
<i>Trường hợp hiện trạng</i>				
1	MC Kè Phường 5	1,041	1,15	Tiềm ẩn nguy cơ sạt lở
2	MC 2	1,241	1,15	Mặt cắt ổn định
3	MC 7	1,052	1,15	Tiềm ẩn nguy cơ sạt lở
4	MC 9 trước khi sạt lở	0,704	1,15	Sạt lở bờ
5	MC 9' khi xảy ra sạt lở	0,711	1,15	Sạt lở bờ
6	MC 9'' khi xảy ra sạt lở	0,806	1,15	Sạt lở bờ
7	MC 9''' sau khi sạt lở	1,057	1,15	Tiềm ẩn nguy cơ sạt lở
8	MC 11	1,228	1,15	Mặt cắt ổn định
9	MC12	1,304	1,15	Mặt cắt ổn định
<i>Trường hợp giả định</i>				
8	MC 11 giả định (hạ thấp lòng sông đến -20 m)	1,063	1,15	Tiềm ẩn nguy cơ sạt lở
9	MC 11 giả định (hạ thấp lòng sông đến -25 m)	0,869	1,15	Sạt lở
10	MC 11 giả định (hạ thấp lòng sông đến -30 m)	0,737	1,15	Sạt lở
11	MC 11 giả định (hạ thấp lòng sông đến -35 m)	0,652	1,15	Sạt lở



Hình 17. Quan hệ giữa $K_{\min\min}$ và việc hạ thấp lòng sông phía ngoài.

Bảng 6. Kết quả tính ổn định mái bờ sông ứng với cao trình đáy -15 [2].

STT	Trường hợp tính toán	$K_{\min\min}$	[K]	Nhận xét
1	Chưa gia tải	1,294	1,15	Ổn định
2	Gia tải trên bờ P = 1 tấn	1,247	1,15	Ổn định
3	Gia tải trên bờ P = 2 tấn	1,206	1,15	Ổn định
4	Gia tải trên bờ P = 3 tấn	1,162	1,15	Ổn định
5	Gia tải trên bờ P = 4 tấn	1,125	1,15	Tiềm ẩn nguy cơ sạt lở



Hình 18. Quan hệ giữa $K_{\min\min}$ ứng với cao trình đáy sông -15.

Bảng 7. Kết quả tính toán ổn định mái bờ sông ứng với cao trình đáy -20 [2].

STT	Trường hợp tính toán	$K_{\min\min}$	[K]	Nhận xét
1	Chưa gia tải	1,098	1,15	Tiềm ẩn nguy cơ sạt lở
2	Gia tải trên bờ P = 1 tấn	1,068	1,15	Tiềm ẩn nguy cơ sạt lở
3	Gia tải trên bờ P = 2 tấn	1,035	1,15	Tiềm ẩn nguy cơ sạt lở
4	Gia tải trên bờ P = 3 tấn	1,006	1,15	Tiềm ẩn nguy cơ sạt lở
5	Gia tải trên bờ P = 4 tấn	0,978	1,15	Sạt lở

Kết quả tính toán cho thấy ở những mái lòng sông dốc (MC 7, 9) mái bờ đã gần tới trạng thái ổn định tới hạn khi $K_{\min\min} \approx 1$, chỉ cần một tác động nhỏ như đắp đê bao, chất tải dọc bờ sông cũng có thể gây ra sạt lở mái bờ. Với MC có đường đáy sông thoải (MC 11, 12) thì mái bờ tương đối ổn định ($K_{\min\min} > 1,15$). Tuy nhiên, khi gia tải (đắp đê bao cao từ 1÷2 m) thì hệ số ổn định tổng thể giảm (giảm từ 3÷11% so với hiện trạng) và tiềm ẩn nguy cơ sạt lở.

Khi lòng sông bị hạ thấp từ cao trình -20 trở xuống thì hệ số ổn định giảm dần và dẫn đến mất ổn định bờ sông (giảm từ 13÷47% so với hiện trạng); kết quả cho thấy lòng sông bị hạ thấp là ảnh hưởng nhiều nhất đến ổn định của mái bờ sông. Tác động của sóng tàu thuyền chủ yếu xảy ra ở phía trên bề mặt, đặc biệt là loại xà lan có tải trọng 300 tấn trở lên. Sạt lở ngày 5/12/2022 xảy ra theo hình thức trượt sâu, vì thế có thể nói ảnh hưởng của sóng do tàu thuyền đến vụ sạt lở này là không nhiều.

3.2.5. Phân tích tương tác giữa dòng chảy và lòng dẫn

Vận tốc dòng chảy lớn hơn vận tốc không xói cho phép của đất lòng dẫn, thì sẽ xảy ra xói lở. Mức độ xói lở lệ thuộc vào độ lớn của vận tốc dòng chảy và thời gian duy trì vận tốc lớn. Vận tốc khởi động bùn cát lòng dẫn được xác định từ các công thức của Êri, Gôntraróp, Samốp.

$$\text{Công thức của Êri: } V_{kd} = 3,9 \sqrt{\left(1 + \frac{0,0004}{d}\right)gd} \tag{5}$$

$$\text{Công thức của Gôntraróp [14]: } V_{kd} = \lg \frac{8,8h}{d} \sqrt{\frac{2}{1,75}agd} \tag{6}$$

$$\text{Công thức của Samóp: } V_{kd} = 4,6 \sqrt{\left(\frac{d}{1000}\right)^2} h \tag{7}$$

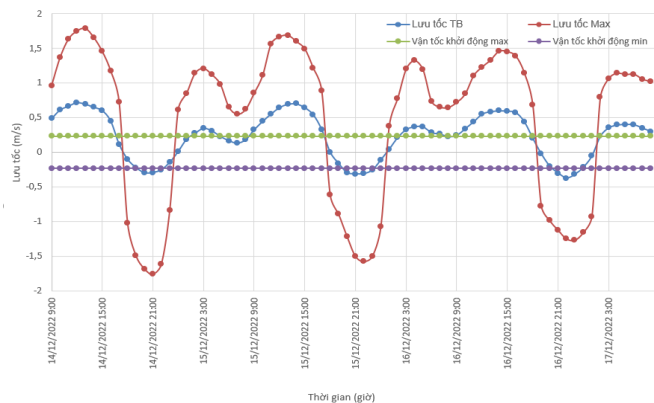
Trong đó V_{kd} là lưu tốc khởi động của bùn cát (m/s); K là hằng số; a là hệ số acsimet; $a = \frac{\gamma_s - \gamma}{\lambda}$ và thường lấy $a = 1,65$; γ_s, γ là trọng lượng riêng của bùn cát, nước (kg/m^3); g là gia tốc trọng trường (m/s^2); h, d là chiều sâu dòng nước, đường kính hạt (m).

Trên cơ sở tài liệu khảo sát địa chất bờ tại vị trí sạt lở, đã tính toán xác định vận tốc khởi động bùn cát của bờ sông bị sạt lở. Kết quả tính toán vận tốc khởi động bùn cát bờ sông như Bảng 8.

Bảng 8. Kết quả tính toán vận tốc khởi động bùn cát ở các độ sâu Hoà Ninh [2].

Mẫu bùn lấy	Đ. kính đTB (mm)	Độ sâu lấy mẫu(h) (m)	V _{kd} (m/s)			
			Êri	Gôntraróp	Samóp	Trung bình
BCD1	0,0726	6,0	0,2655	0,2148	0,2587	0,2463
BCD2	0,0665	15,0	0,2638	0,2209	0,2927	0,2591
BCD3	0,0237	16,0	0,2514	0,1418	0,2097	0,2010
BCD4	0,0483	30,5	0,2586	0,2016	0,2961	0,2521
BCD5	0,0243	19,0	0,2516	0,1450	0,2176	0,2047
BCD6	0,0549	17,0	0,2605	0,2051	0,2803	0,2487
BCD7	0,0400	10,5	0,2562	0,1731	0,2328	0,2207
BCD8	0,0452	8,5	0,2577	0,1798	0,2341	0,2239

Trên cơ sở lưu tốc thực đo tại Hoà Ninh, thống kê vận tốc trung bình mặt cắt, so sánh giữa vận tốc lớn nhất với lưu tốc dòng chảy trung bình tại mỗi thời điểm đo trong khoảng thời gian từ ngày 14÷17/12/2022; các số liệu này được biểu diễn trên cùng một hệ tọa độ (Hình 19) để so sánh phân tích nguyên nhân gây ra sạt lở bởi tác động của dòng chảy. Qua kết quả, vận tốc thực tế nhiều thời điểm lớn hơn vận tốc tính toán trung bình.



Hình 19. So sánh lưu tốc dòng chảy và lưu tốc không xói của lòng dẫn.

3.2.6. Ảnh hưởng của áp lực thấm mái bờ tới sạt lở bờ sông

Áp lực thấm trong trường hợp cột nước thấm lớn, Gradient thấm tại vị trí dòng thấm thoát ra lớn hơn Gradient thấm của đất cấu tạo mái bờ $J > [J]_{cp}$, khi đó dòng thấm sẽ gây ra xói ngầm, tiền đề phát sinh và thúc đẩy quá trình xói lở [15].

Theo kết quả nghiên cứu của đề tài cấp Nhà nước [10], ở ĐBSCL, mực nước sông thay đổi liên tục theo thời gian, cột nước sinh ra áp lực thấm chỉ trên dưới 3 m, hệ số thấm bờ sông lớn nhất khoảng $6 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$, Gradient thấm nhỏ hơn $[J]_{cp} = 0,25 \div 0,50$ rất nhiều. Vì vậy, tác dụng của dòng thấm lên mái bờ sông không nhiều, không đủ khả năng phá vỡ kết cấu bờ. Kết quả khảo sát khu vực xảy ra sạt lở có cột nước sinh ra áp lực thấm chỉ khoảng

hơn 2 m, hệ số thấm $0,08.10^{-5} \div 0,9.10^{-5}$ cm/s. Do đó ảnh hưởng của áp lực thấm mái bờ tới sạt lở bờ là không đáng kể.

3.2.7. Ảnh hưởng của bè cá đến sạt lở bờ sông

Từ đầu sông Cỏ Chiên đến phà Đình Khao, các bè nuôi được bố trí từ 15÷60 m, số lượng gần 1.000 bè lớn nhỏ; mật độ phân bố dày tại khu vực bờ phía của lao An Bình [16].



Hình 20. Khu vực sạt lở (màu đỏ) và các bè cá (màu vàng).

Neo đậu các bè cá sẽ thu hẹp MC ướt, tăng lưu tốc dòng chảy, gây xói lòng dẫn. Tuy nhiên, ở khu vực sạt lở, bè rộng mỗi bè chỉ khoảng từ 6÷7 m, so với bè rộng MC sông gần 1.000 m, nên ảnh hưởng làm thu hẹp MC ướt là không đáng kể.

3.2.8. Thiếu hụt bùn cát do việc xây dựng các hồ chứa thượng nguồn

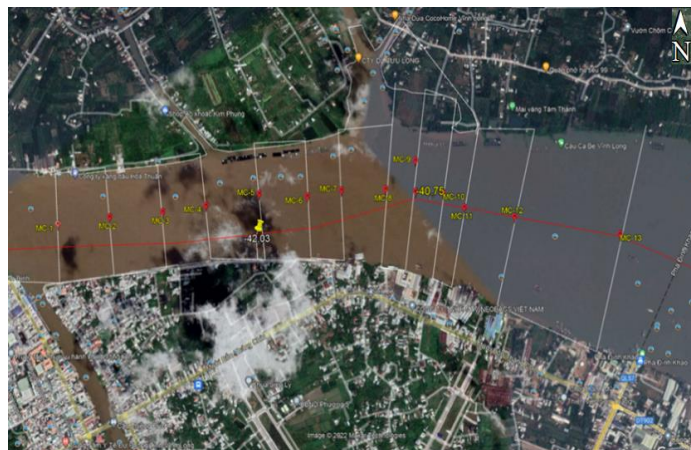
Tổng lượng dòng chảy năm trung bình của ĐBSCL khoảng 500 tỷ m³, 30 tỷ m³ hình thành trong lưu vực phía Campuchia và ĐBSCL, 470 tỷ m³ từ trung thượng lưu Mekong. Phân bố lượng mưa không đều hàng năm, dòng Mekong cũng phân bố theo mùa. Mùa lũ (tháng 7÷11), lượng dòng chảy chiếm 70÷85 % lượng dòng chảy năm [2].

Hàm lượng chất lơ lửng hai trạm Cần Thơ, Mỹ Thuận giảm mạnh từ năm 2015 đến nay. Lượng bùn cát trung bình trước năm 2015 tại Cần Thơ là 23,1 triệu tấn, lớn nhất đạt 46,61 triệu tấn (năm 2009), còn tại Mỹ Thuận trung bình là 32,73 triệu tấn, lớn nhất đạt 52,03 triệu tấn (năm 2009); sau năm 2015 Cần Thơ chỉ đạt 7,98 triệu tấn, Mỹ Thuận chỉ đạt 14,09 triệu tấn. Sự suy giảm bùn cát này do các đập thượng lưu Mekong.

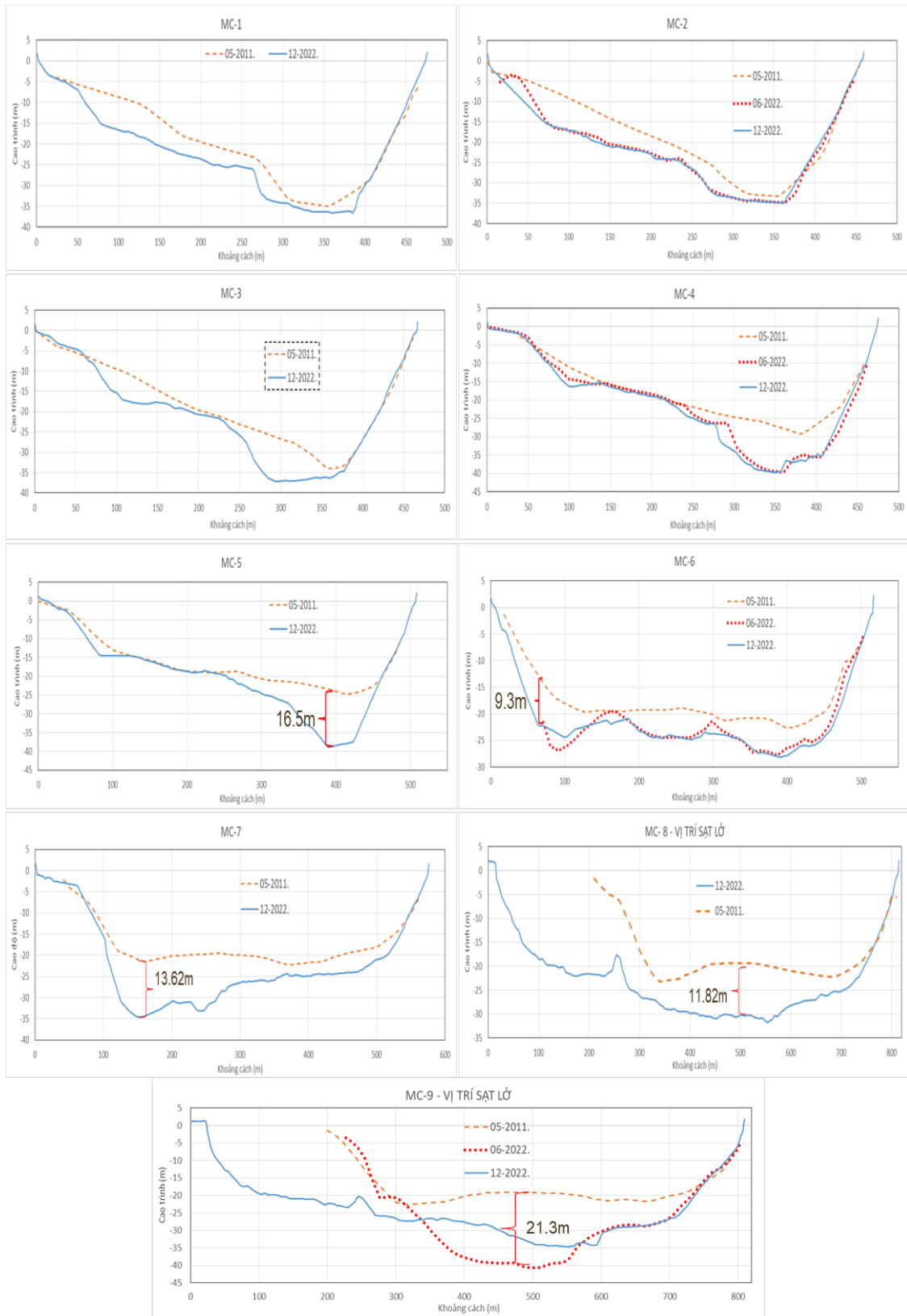
3.2.9. Ảnh hưởng của diễn biến hình thái đến sạt lở bờ sông

Kết quả khảo sát địa hình tháng 5/2011÷12/2022 được thu thập diễn biến hình thái trên MC ngang khu vực nghiên cứu [2] (Hình 21).

Từ kết quả cho thấy phía bờ phải (TP.Vĩnh Long) tuyến lạch sâu đang áp sát tuyến kè phường 5, cách bờ kè 100 ÷120 m có cao trình đáy từ -36 ÷ -42, sâu xuống 16,5 m so với năm 2011. Phía bờ trái (An Bình) tương đối ổn định, riêng mật cát MC 6 cách bờ khoảng 40 m, cao trình đáy -23,1, sâu 9,3 m so với năm 2011.

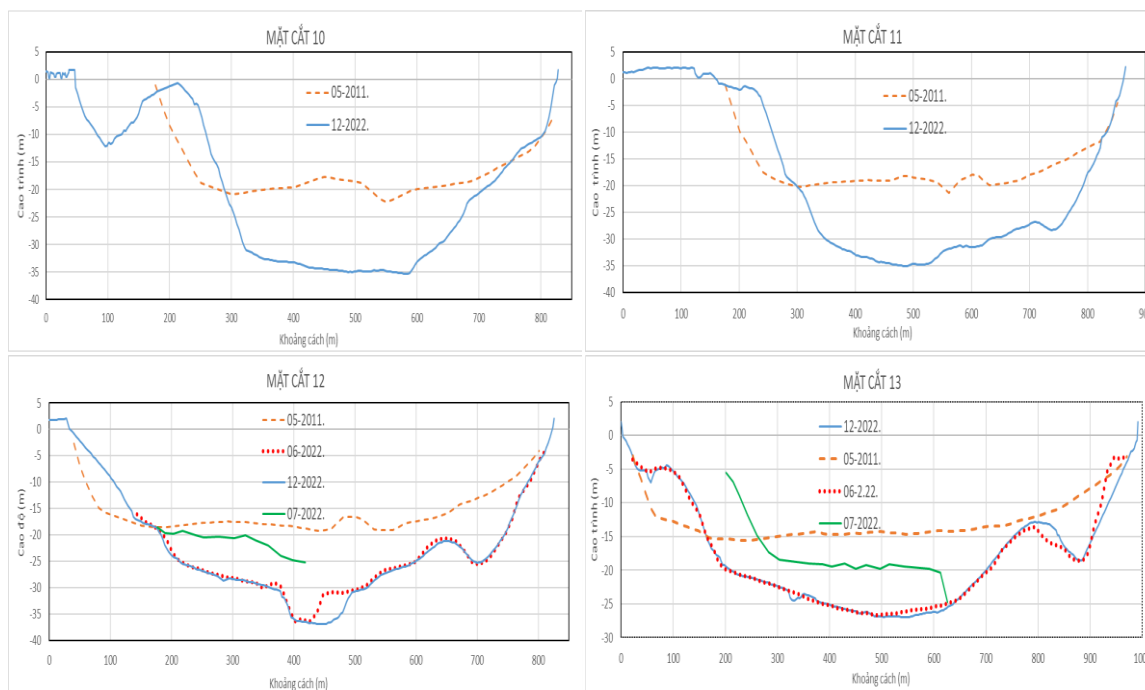


Hình 21. Định vị các MC ngang.



Hình 22. MC1 đến MC 9 giữa hai thời điểm đo năm 2011 và 2022.

Phía bờ phải MC 7 trước khu vực sạt lở ngày 5/12/2022, cách bờ 150 m có cao trình đáy -34,59, sâu xuống 13,62 m so với 2011, MC 8 và 9 đã sạt lở sâu vào bờ khoảng 150÷210 m, cao trình đáy sông khoảng -21. Đặc biệt MC 9 tuyến lạch sâu áp sát bờ trái (An Bình) có cao trình đáy lớn nhất -40,74 (6/2022), sâu xuống 21,3 m so với năm 2011, sự hạ thấp lòng dẫn bất thường và rất lớn làm cho bờ sông bị mất chân gây nên sạt lở.



Hình 23. MC 7 đến MC 11 giữa hai thời điểm đo năm 2011 và 2022.

Cách bờ phải khoảng 100 m đang hình thành tuyến lạch sâu có cao trình đáy khoảng -25, ở giữa lòng sông có cao trình đáy từ -26÷-36, hố xói sâu từ 12,0÷17,8 m so với năm 2011. Tại MC11 và MC12 đo vào tháng 6/2022 và tháng 12/2022 địa hình đáy sông là khá tương đồng (cao trình đáy khoảng -28 ở MC12 và -25÷-30 ở MC11) trong khi địa hình đo vào tháng 7/2022 do đơn vị quản lý khai thác cát cung cấp cao trình đáy sông là -20.

4. Kết luận và kiến nghị

4.1. Kết luận

Dòng sông Tiền sau khi qua cầu Mỹ Thuận được chia thành hai nhánh, nhánh sông Tiền và sông Cổ Chiên: Tỷ lệ phân lưu trung bình vào mùa lũ (từ tháng 7÷11) là 62% tại Cổ Chiên và 38% tại sông Tiền; mùa kiệt ở nhánh Cổ Chiên 61%, nhánh sông Tiền 39%; lưu lượng về nhánh sông Cổ Chiên (phía Vĩnh Long) lớn hơn, tiềm ẩn sạt lở nhiều hơn; trong tương lai cần chỉnh trị sông để phân bố lại tỷ lệ dòng chảy nhằm bảo vệ TP. Vĩnh Long trước nguy cơ sạt lở. Dòng chủ lưu áp sát Kè Phường 1, Phường 5 (TP. Vĩnh Long) với vận tốc vượt giá trị cho phép (0,7 m/s) đã gây sạt lở ở Nhà máy nước (Kè Phường 1); mùa lũ có tác động bào xói lòng dẫn mạnh nhất; cần chỉnh trị dòng chủ lưu ra xa bờ. Một số vị trí phía kè Phường 1, Phường 5 xói chân khá lớn, tiềm ẩn nguy cơ mất ổn định. Thượng lưu hai kè trên xuất hiện một số điểm có nguy cơ sạt lở cao. Phía An Bình, xói bồi xen kẽ, phía đầu cù lao đến Khu du lịch Vinh Sang tiềm ẩn nguy cơ sạt lở; phải thường xuyên theo dõi và ứng phó kịp thời.

Hàm lượng chất lơ lửng hai trạm Cần Thơ, Mỹ Thuận giảm mạnh từ năm 2015 đến nay do các đập thượng lưu Mekong, đây cũng là nguyên nhân hạ thấp lòng dẫn gây sạt lở; khu vực nghiên cứu bị hạ thấp lòng dẫn và thiếu hụt bùn cát hai bên bờ làm cho lòng sông bị hạ thấp từ cao trình -20 trở xuống, một số vị trí lòng sông bị hạ thấp từ -30÷-40 nên hệ số ổn định giảm dần (giảm từ 13 ÷ 47% so với hiện trạng) sẽ gây nguy hiểm, nguy cơ sạt lở lớn.

Hố xói gần bờ khu vực sạt lở Hòa Ninh là kết quả của quá trình khai thác cát; hố xói cách bờ 160 m có cao trình -30; theo WWF, vào tháng 6/2022 tại vị trí này thì độ sâu là -40 m [17]. Hố xói mở rộng, khối đất có tác dụng phản áp (chống trượt) bị mất dần dẫn đến bờ

sông mất ổn định. Đoạn sông có xu thế xói bồi xen kẽ, tốc độ xói bồi trung bình từ 0,1÷0,2 m/năm.

Khu vực nghiên cứu có cột nước sinh ra áp lực thấm khoảng 2 m [18], ảnh hưởng của áp lực thấm không đáng kể; Tác động của sóng tàu thuyền, đập bờ bao, thủy triều, địa chất yếu cũng góp phần làm suy giảm độ ổn định của mái bờ sông, nhưng không phải là nguyên nhân chủ yếu.

4.2. Kiến nghị

- Dừng khai thác cát từ Cầu Mỹ Thuận đến phà Đình Khao trên nhánh sông Cổ Chiên;
- Đánh giá lại quy hoạch khai thác cát toàn tuyến sông Tiền qua tỉnh Vĩnh Long;
- Thường xuyên đánh giá lòng dẫn và ổn định bờ hệ thống sông Tiền, Cổ Chiên;
- Quản lý các hoạt động xây dựng dọc theo bờ sông, nghiêm cấm việc chất tải sạt bờ sông và xây dựng hành lang dự báo sạt lở dọc theo bờ sông Tiền, Cổ Chiên;
- Chính trị dòng chủ lưu ra xa bờ ở khu vực Kè Phường 1 và Phường 5;
- Nghiên cứu phân chia lại lưu lượng dòng chảy, giảm lưu lượng nhánh Cổ Chiên nhằm giảm thiểu sạt lở cho TP. Vĩnh Long.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: V.H.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: V.H.H.; Xử lý số liệu: V.H.H.; Tính toán kết quả: V.H.H.; Viết bản thảo bài báo: V.H.H.; Chỉnh sửa bài báo: V.H.H.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ kết quả dự án: “Đánh giá ổn định bờ sông Cổ Chiên tỉnh Vĩnh Long” của Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam.

Lời cam đoan: Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa từng được công bố, không sao chép các nghiên cứu trước đây.

Tài liệu tham khảo

1. Trục tuyến: <https://www.thiennhien.net/2020/08/07/cac-dong-song-tren-the-gioi-dang-bi-huy-hoai-vi-khai-thac-cat/>.
2. Tú, L.X. Dự án Đánh giá ổn định bờ sông Cổ Chiên (Khu vực từ rạch Cái Cá đến rạch Bà Bống) tỉnh Vĩnh Long. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2023.
3. Sở Tài nguyên và Môi trường Vĩnh Long. Khai thác cát san lấp trên lòng sông Tiền (mỏ An Bình) thuộc xã An Bình huyện Long Hồ, tỉnh Vĩnh Long. Báo cáo đánh giá tác động môi trường dự án, Vĩnh Long, 2011.
4. Bộ Thủy lợi. Sổ tay Kỹ thuật Thủy lợi. Nhà xuất bản Nông nghiệp Hà Nội, 1979.
5. Hùng, L.M.; Sản, Đ.C. Xói lở bờ sông Cửu Long và giải pháp phòng tránh cho các khu vực trọng điểm. Nhà xuất bản Nông Nghiệp, TP. HCM, 2002, tr. 196.
6. Hùng, L.M. Nghiên cứu ảnh hưởng hoạt động khai thác cát đến thay đổi lòng dẫn sông Cửu Long (sông Tiền, sông Hậu). Đề tài Độc lập cấp Nhà nước, mã số ĐTDL.2010-T/29, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2013.
7. Vinh, P.T. Nghiên cứu đề xuất các giải pháp tổng thể cải thiện và bảo vệ môi trường nước phục vụ phát triển bền vững ĐBSCL. Đề tài khoa học cấp Nhà nước thuộc Chương trình KHCN phục vụ bảo vệ môi trường và phòng tránh thiên tai Mã số: KC.08-30, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2020.
8. Hậu, L.P. Động lực học dòng sông. Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 1992, tr. 193.
9. Hậu, L.P. Nghiên cứu các giải pháp KHCN cho hệ thống công trình chính trị sông trên các đoạn trọng điểm vùng đồng bằng Bắc Bộ và Nam Bộ. Đề tài KC08-14/06-10, 2010.
10. Hùng, L.M. và cs. Nghiên cứu dự báo xói lở-bồi lắng lòng dẫn và đề xuất các biện pháp phòng chống cho hệ thống sông ở ĐBSCL. Báo cáo đề tài cấp nhà nước KC.08.15, Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, 2004.

11. Tú, L.X. Nghiên cứu giải pháp hợp lý và công nghệ thích hợp phòng chống xói lở, ổn định dải bờ biển và các cửa sông Cửu Long, đoạn từ Tiền Giang đến Sóc Trăng. Đề tài KHCN độc lập cấp quốc gia, mã số: ĐTDL.CN-07/17, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2022.
12. Lareal, P. và cs. Công trình trên đất yếu trong điều kiện Việt Nam. Công trình hợp tác Việt - Pháp FST N° 4282901, 1989.
13. Whitlow, R. Cơ học đất (Tập 1, 2). Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 1999.
14. Kixêlep, P.G. và cs. Sổ tay tính toán thủy lực. Nhà xuất bản Nông nghiệp Hà Nội, 1984, tr. 312.
15. Dũng, H.A. Nghiên cứu đánh giá ổn định bờ kè ven sông trên đất yếu chịu lực ngang. Luận văn Cao học, ĐH. Bách khoa TP HCM, TP HCM, 2001.
16. Chi Cục Thủy sản Vĩnh Long. Báo cáo đánh giá công tác quản lý nuôi trồng thủy sản trong khu vực nghiên cứu, Vĩnh Long, 2012.
17. Hùng, N.N. Giảm thiểu các tác động của biến đổi khí hậu lên vùng ĐBSCL thông qua sự tham gia của khối công tư trong ngành công nghiệp cát. Dự án WWF, 2022.
18. Tsugaev, R.R. Cơ sở tính toán các công trình thủy lợi bằng đất. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1971.
19. Bích, L.N. và cs. Điều tra biến đổi lòng dẫn hệ thống sông Cửu Long, hạ du sông Đồng Nai - Sài Gòn và định hướng giải pháp kỹ thuật phòng chống sạt lở giảm nhẹ thiên tai trên sông Cửu Long. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 1995-1998.

Assessment of stability of Co Chien riverbank, Vinh Long province

Van Huu Hue^{1*}

¹ Mien Tay Construction University, Vinh Long; huuhuevan@gmail.com

Abstract: This paper presents the result of assessment of stability of the Co Chien riverbank of the Vinh Long city and Long Ho town in Vinh Long province; it contributes to clarify the cause of urgent erosions. The research objectives are to survey, evaluate geology, flow velocity, riverbed morphology, to determine the causes of riverbank instability and propose protection solutions. Research methods include inheritance method, document collection, survey, statistics, mathematical model; Professional solution; Using GIS technology, ArcGIS, Google Earth, Geoslope, etc. The results conclude that the main causes of instability are the lowering of the riverbed, the main flow close to the riverbank, the distributive rate of flow, and the lowering of the sand from upstream. The study also recommends some remedial solutions and can apply the research results to erosion monitoring and warning for the study area.

Keywords: Lowering the riverbed; Causes of riverbank instability; Stabilize Co Chien riverbank; Erosions in the Mekong Delta.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu, đánh giá khả năng ứng dụng sản phẩm dự báo hạn nội mùa của mô hình IFS CY48R1 và CFSv1 cho khu vực Bắc Trung Bộ

Đào Anh Công^{1*}, Nguyễn Văn Lượng¹, Phan Văn Vinh¹, Phan Như Xuyên¹, Trịnh Tuấn Long²

¹ Đai KTTV khu vực Bắc Trung Bộ; daoanhcong.k55.hus@gmail.com; luongnvtv@gmail.com; vinhpv@gmail.com; phannhuxuyen@gmail.com

² Trường Đại học KHTN Hà Nội; trintruanlong@gmail.com

*Tác giả liên hệ: daoanhcong.k55.hus@gmail.com; Tel: +84-948946895

Ban biên tập nhận bài: 15/6/2023 Ngày phản biện xong: 27/7/2023 Ngày đăng bài: 25/8/2023

Tóm tắt: Dự báo hạn nội mùa, hay còn gọi là khoảng dự báo từ 2 tuần đến 2 tháng, trước đây vẫn được coi là “sa mạc của dự báo”, nhưng đây lại là giai đoạn lý tưởng để lập các kế hoạch trung hạn cho công tác quản lý nguồn nước, điều tiết hồ chứa. Ở Việt Nam, những nghiên cứu về bài toán này vẫn chỉ đang nằm ở những bước đi đầu tiên. Để lấp đầy chỗ trống dự báo này, nhóm tác giả đã tiến hành đánh giá kỹ năng dự báo của mô hình IFS CY48R1 và CFSv1 thông qua việc tính toán và phân tích các chỉ số thống kê ME, MAE, RMSE, CORR, Brier score và ROC curve cho hạn dự báo nói trên sử dụng số liệu mưa vệ tinh TRMM và số liệu dự báo lại của hai mô hình. Kết quả chỉ ra rằng cả 2 mô hình đều cho thấy tiềm năng trong việc ứng dụng vào công tác dự báo hạn nội mùa cho khu vực Bắc Trung Bộ. Mô hình CFS có kỹ năng dự báo tốt hơn IFS vào các tháng 11 - tháng 3, nhưng lại thể hiện kỹ năng dự báo kém hơn khá nhiều so với IFS vào các tháng mùa mưa (tháng 7 - tháng 10). Cả 2 mô hình đều tiềm ẩn khả năng hiệu chỉnh sai số hệ thống vào các tháng 12 - tháng 4 và tháng 8 - tháng 10 ở phía Nam khu. Cả 2 mô hình đều có kỹ năng phát hiện những đợt mưa vừa, mưa to đến rất to, tuy nhiên mô hình IFS cho thấy khả năng vượt trội so với CFS khi có tỷ lệ dự báo không thấp hơn nhiều.

Từ khóa: ECMWF; NCEP; IFS CY48R1; CFSv1; Hạn nội mùa; S2S; Bắc Trung Bộ; Dự báo.

1. Mở đầu

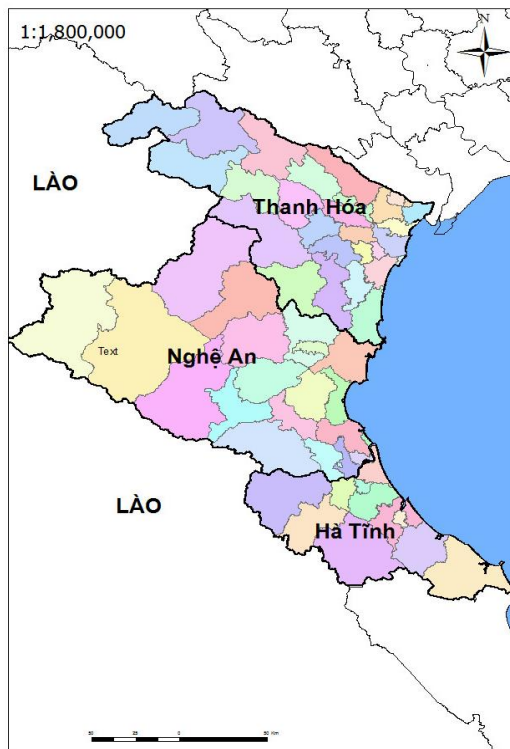
Dự báo hạn nội mùa [1] (từ 2 tuần đến 2 tháng) là giai đoạn nằm giữa dự báo thời tiết (dự báo đến 15 ngày) và dự báo hạn mùa (3-6 tháng), trước đây được coi là “sa mạc của dự báo” [2-3] bởi khoảng thời gian này quá dài khiến phần lớn bộ nhớ về các điều kiện ban đầu của khí quyển bị mất đi và quá ngắn để cho sự biến đổi của đại dương có ảnh hưởng đến. Từ năm 2013, dự án S2S (*sub-seasonal to seasonal prediction project*) [3-4] đã được khởi động với mục tiêu nâng cao khả năng dự báo đối với hạn nội mùa và nâng cao hiểu biết về động lực cũng như các yếu tố khí hậu ảnh hưởng đến hạn dự báo này. Cũng từ khoảng thời gian này, các nghiên cứu về dự báo hạn nội mùa đã có nhưng bước phát triển đáng kể. Năm 2020, tác giả [5] đã đánh giá khả năng dự báo mưa từ tuần 1 đến tuần thứ 4 của các mùa ở châu Phi với 3 mô hình của các trung tâm ECMWF, UKMO và NCEP, kết quả cho thấy mô hình của ECMWF có kỹ năng dự báo vượt trội so với các mô hình khác và tốt hơn ở đông phi so với các khu vực khác, kỹ năng dự báo cho tuần 3-4 cũng giảm mạnh so với tuần 1-2. Năm 2018, nghiên cứu [6] cũng chỉ ra tiềm năng dự báo các hiện tượng thời tiết cực đoan với việc phát

Tap chí Khí tượng Thủy văn **2023**, 752, 29-40; doi:10.36335/VNJHM.2023(752).29-40 <http://tapchikttv.vn/>

hiện trước 3 tuần dị thường nhiệt độ không khí tăng mạnh trong đợt sóng nóng kỷ lục ở Nga năm 2010, hay phát hiện khả năng xảy ra xoáy thuận nhiệt đới bằng việc dự báo dao động Madden-Julian (MJO).

Trong những năm trở lại đây, các nghiên cứu về dự báo hạn nội mùa ở Việt Nam cũng bắt đầu có những bước đi đầu tiên. Năm 2022, tác giả [7] đã nghiên cứu xác định ngày bắt đầu mùa mưa (NBĐMM) sử dụng số liệu dự báo lại của mô hình IFS và CFS đối với dự báo hạn mùa và hạn nội mùa, kết quả cho thấy sai số trung bình của ngày bắt đầu mùa mưa với hạn nội mùa dao động khá lớn (-35 đến +11 ngày) và phụ thuộc vào hạn dự báo cũng như chỉ tiêu xác định NBĐMM, sai số trung bình tuyệt đối cũng dao động tương đương với giá trị tuyệt đối của sai số trung bình (0-30 ngày), cho thấy tiềm năng về cải thiện chất lượng NBĐMM. Năm 2023, tác giả [8] đã tiến hành hiệu chỉnh số liệu dự báo lại (*reforecast*) của mô hình IFS, kết quả nhận được cho thấy sai số ME, MAE, RMSE giảm xuống rõ rệt từ tháng 12 đến tháng 3, các tháng 7-9 sai số tuy giảm nhưng vẫn cao, giá trị tương quan sau hiệu chỉnh hầu như không cải thiện.

Khoảng thời gian từ 2 tuần đến 2 tháng cũng được coi là giai đoạn lý tưởng để xây dựng những kế hoạch trung hạn cho công tác quản lý nguồn nước, điều tiết hồ chứa, đảm bảo sản xuất nông nghiệp và an ninh năng lượng nhưng đây lại là giai đoạn thiếu thông tin dự báo. Chính vì lý do đó, bài báo dưới đây sẽ tập trung nghiên cứu đánh giá kỹ năng dự báo hạn nội mùa của mô hình IFS CY48R1 và CFSv1 cho tổng lượng mưa từng 7 ngày từ tuần thứ 3-6 và nhận định về khả năng ứng dụng kết quả dự báo này cho khu vực Bắc Trung Bộ [9] với mục tiêu lấp đầy chỗ hổng thông tin này.



Hình 1. Bản đồ khu vực Bắc Trung Bộ.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu nghiên cứu

Các bộ số liệu sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm số liệu dự báo lại (*reforecast*) của IFS CY48R1 từ 2000-2019, bộ số liệu dự báo lại của CFSv1 từ 2000-2010 được tải về từ trang web chính thức của dự án S2S và số liệu mưa vệ tinh TRMM từ 2000-2019 được dùng để đánh giá như số liệu quan trắc.

Sản phẩm dự báo hạn nội mùa từ mô hình IFS CY48R1 (sau đây sẽ gọi tắt là IFS) [10–11] của ECMWF được cung cấp với tần suất 2 lần/tuần vào mỗi thứ 2 và thứ 5, sản phẩm bao gồm 11 members (thành phần) dự báo, có hạn dự báo lên đến 46 ngày với bước thời gian dự báo (*time step*) là 6 giờ và độ phân giải ngang là $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$. Sản phẩm được cung cấp miễn phí thông qua dự án S2S và có thể tải về từ trang chủ của dự án S2S: <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/>.

CFS (*Climate Forecast System*) là mô hình dự báo khí hậu hạn mùa được phát triển bởi Trung tâm Dự báo Môi trường Hoa Kỳ (NCEP) bao gồm 2 phiên bản CFSv1 (đã kết thúc nghiệp vụ từ 2011) và CFSv2 đã có nhiều cải tiến đáng kể so với phiên bản trước đó. Sản phẩm dự báo lại được sử dụng trong nghiên cứu này thuộc về phiên bản CFSv1 [10, 12] với độ phân giải từ 0.25° đến 0.5° , hạn dự báo là 44 ngày với 4 members. Bộ số liệu này cũng được phân phối miễn phí qua dự án S2S: <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/> và đã được nội suy về độ phân giải $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ để đồng bộ về mặt không gian với mô hình IFS.

Sản phẩm mưa TRMM [13] (có số hiệu TMPA 3B42_Daily) là sản phẩm mưa 3 giờ được nội suy từ vệ tinh bởi NASA GES DISC (*Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center*) dưới dạng lưới có độ phân giải $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$. Sản phẩm được tải về từ trang web: https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/TRMM_3B42_Daily_7/summary.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sẽ đánh giá hạn dự báo từ 3 đến 6 tuần với từng độ phân giải thời gian là 7 ngày trong 20 năm (2000-2019) đối với mô hình IFS và 11 năm (2000-2010) đối với mô hình CFSv1. Kết quả dự báo nội mùa của IFS có hạn dự báo đến 46 ngày, kết quả dự báo của mô hình CFSv1 và số liệu mưa TRMM sẽ được chia thành $46/7 = 6$ lead-times (hạn dự báo) với độ phân giải 7 ngày và được đánh giá tương ứng với nhau. Tại mỗi ô lưới tương ứng với mỗi hạn dự báo có hai chuỗi số liệu quan trắc và dự báo. Các chỉ số đánh giá thống kê ME, MAE, RMSE, CORR và chỉ số đánh giá pha brier score và ROC curve sẽ được tính cho từng ô lưới.

Với n là số cặp giá trị quan trắc - dự báo, f_i và O_i lần lượt là giá trị dự báo và giá trị quan trắc thứ i ($i=1, 2, \dots, n-1, n$), \bar{f} và \bar{O} lần lượt là giá trị trung bình của dự báo và quan trắc. Các chỉ số đánh giá được tính bằng các công thức sau:

- ME (*Mean error* - Sai số trung bình):

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - O_i) \quad (1)$$

Giá trị ME cho biết khuynh hướng thiên cao hay thiên thấp của giá trị dự báo (f_i) so với giá trị quan trắc (O_i). Giá trị ME nằm trong khoảng $(-\infty; +\infty)$. ME âm cho thấy giá trị dự báo thấp hơn giá trị quan trắc và ngược lại. Khả năng dự báo được xem là “hoàn hảo” (không thiên lệch về một phía nào cả) nếu $ME = 0$. Tuy nhiên, do ME không thực sự phản ánh độ lớn của sai số, nên các chỉ số thống kê khác được sử dụng để đánh giá một cách toàn diện hơn.

- MAE (*Mean absolute error* - Sai số tuyệt đối trung bình) [14]:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|f_i - O_i|) \quad (2)$$

Giá trị MAE mô tả mức độ lệch của giá trị dự báo so với giá trị quan trắc tuy nhiên lại không thể đánh giá được xu thế thiên dương hay thiên âm của dự báo. Giá trị MAE nằm trong khoảng $(0; +\infty)$. Khả năng dự báo của mô hình là tốt nhất khi $MAE = 0$ tương đương với giá trị dự báo và quan trắc hoàn toàn không sai khác.

- RMSE (*Root mean square error* - Sai số trung bình quân phương) [15]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - O_i)^2} \quad (3)$$

Tương tự như MAE, RMSE cũng biểu thị mức độ chênh lệch của dự báo so với quan trắc và có giá trị nằm trong khoảng $(0; +\infty)$, tuy nhiên khác với MAE khi các sai số đều có vai trò tương đương nhau thì RMSE phóng đại các sai số lớn của dự báo. Giá trị RMSE luôn lớn hơn hoặc bằng với MAE, nếu khoảng cách giữa RMSE và MAE càng lớn thì chứng tỏ mô hình càng có nhiều sai số khác nhau. Khi $RMSE = MAE$, tất cả sai số đều có chung mức độ.

- CORR (*Correlation Coefficient* - Hệ số tương quan):

$$CORR = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2 (O_i - \bar{O})^2}} \quad (4)$$

Hệ số tương quan đánh giá tính nhất quán của sự thay đổi theo thời gian hoặc không gian giữa giá trị dự báo và giá trị quan trắc, giá trị của CORR nằm trong khoảng $(-1, +1)$. Khi CORR nhận giá trị dương (âm), mối quan hệ giữa dự báo và quan trắc là đồng biến (nghịch biến), CORR càng tiến đến ± 1 thì tương quan giữa 2 biến càng mạnh, ngược lại khi CORR càng tiến đến 0 thì tương quan càng yếu.

- Brier score (BS)

$$BS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - O_i)^2 \quad (5)$$

Chỉ số Brier score [16–17] được tính bằng cách lấy trung bình của n lần dự báo, với f_i là dự báo xác suất xảy ra sự kiện và O_i nhận giá trị 1 hoặc 0 tương ứng với sự kiện có xảy ra hay không. Brier score được sử dụng để đánh giá độ chính xác của một dự báo xác suất và có giá trị nằm trong khoảng $(0,1)$ với giá trị 0 tương ứng dự báo chính xác hoàn toàn và 1 tương ứng dự báo hoàn toàn sai. Brier score có thể cho chúng ta biết mức độ dự báo chính xác là bao nhiêu, nhưng không nói lên được nó có tốt hơn so với trung bình khí hậu hay không.

- ROC curve (*Receiver operating characteristic curve* - đường cong đặc tính vận hành tiếp nhận) [18–20]

Bảng 1. Bảng khả năng xảy ra của dự báo/quan trắc.

Dự báo	Quan trắc			Tổng
	Positive	Negative	Tổng	
Positive	True Positive (TP)	False positive (FP)	TP + FP	
Negative	False Negative (FN)	True Negative (TN)	FN+TN	
Tổng	TP + FN	FP + TN		

- Xác suất phát hiện POD (*probability of detection*) = TPR (*true positive rate*): cho biết tỷ lệ dự báo đúng (dự báo có và quan trắc có) so với tổng tất cả các lần quan trắc có, có ngưỡng giá trị nằm trong khoảng $(0,1)$ với giá trị 0 thể hiện không có kỹ năng và 1 thể hiện mô hình chính xác hoàn toàn.

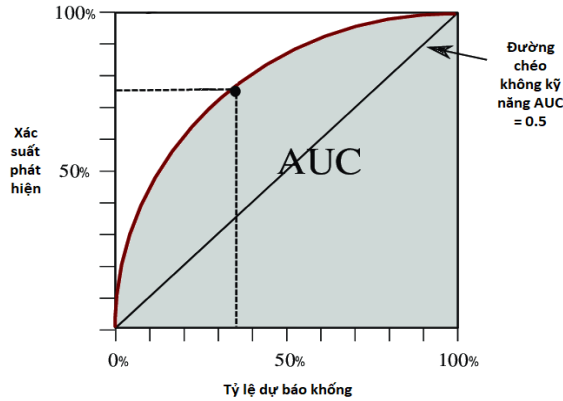
$$POD = TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (6)$$

- Tỷ lệ dự báo không FAR (*False alarm rate*) = FPR (*False positive rate*): cho biết tỷ lệ dự báo không (dự báo có nhưng quan trắc không) so với tổng số lần quan trắc không có hiện tượng xảy ra, giá trị của FAR cũng nằm trong ngưỡng $(0,1)$ với giá trị 0 thể hiện kỹ năng dự báo hoàn hảo.

$$FAR = FPR = \frac{FP}{FP + TN} \quad (7)$$

Đường cong ROC là đồ thị miêu tả mối quan hệ giữa POD được đặt làm trục tung và FAR đóng vai trò là trục hoành. Đường cong thể hiện kỹ năng dự báo tốt khi nó càng hướng

lên góc phía trên bên trái - biểu thị sự vượt trội của POD đối với FAR, nếu đường cong trùng với đường chéo no discrimination (không xác định/không kỹ năng), chứng tỏ dự báo không có kỹ năng ($POD = FAR$), cuối cùng, nếu đường cong nằm dưới đường chéo, thể hiện kỹ năng dự báo kém hơn cả “đoán mò” ($POD < FAR$). Giá trị AUC (*Area under ROC curve* - diện tích dưới đường cong) là phần diện tích được tính từ đường cong ROC đến hết phần dưới của đồ thị và có giá trị nằm trong khoảng (0,1). Mô hình dự báo được coi là tối ưu khi $AUC \geq 0,8$, và mô hình đánh giá không có kỹ năng khi $AUC = 0,5$. Tuy nhiên, với các sự kiện hiếm, việc đánh giá pha có xu hướng không chính xác.



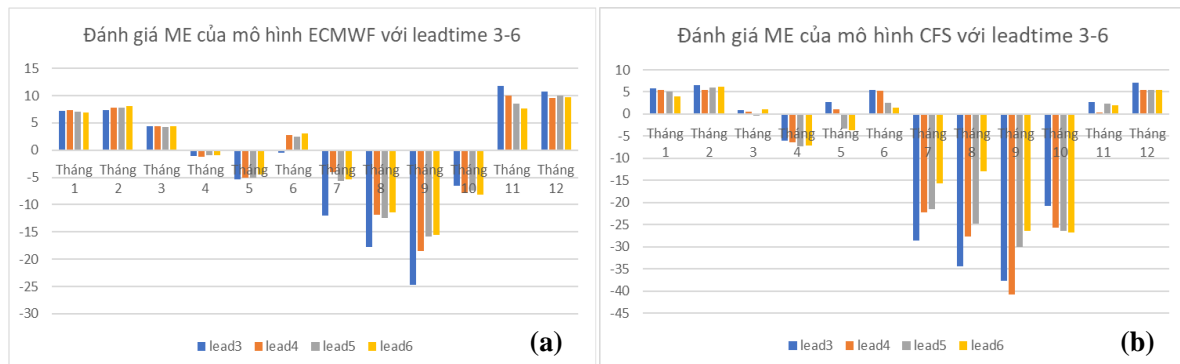
Hình 2. Đồ thị đường cong ROC [20].

3. Kết quả và thảo luận

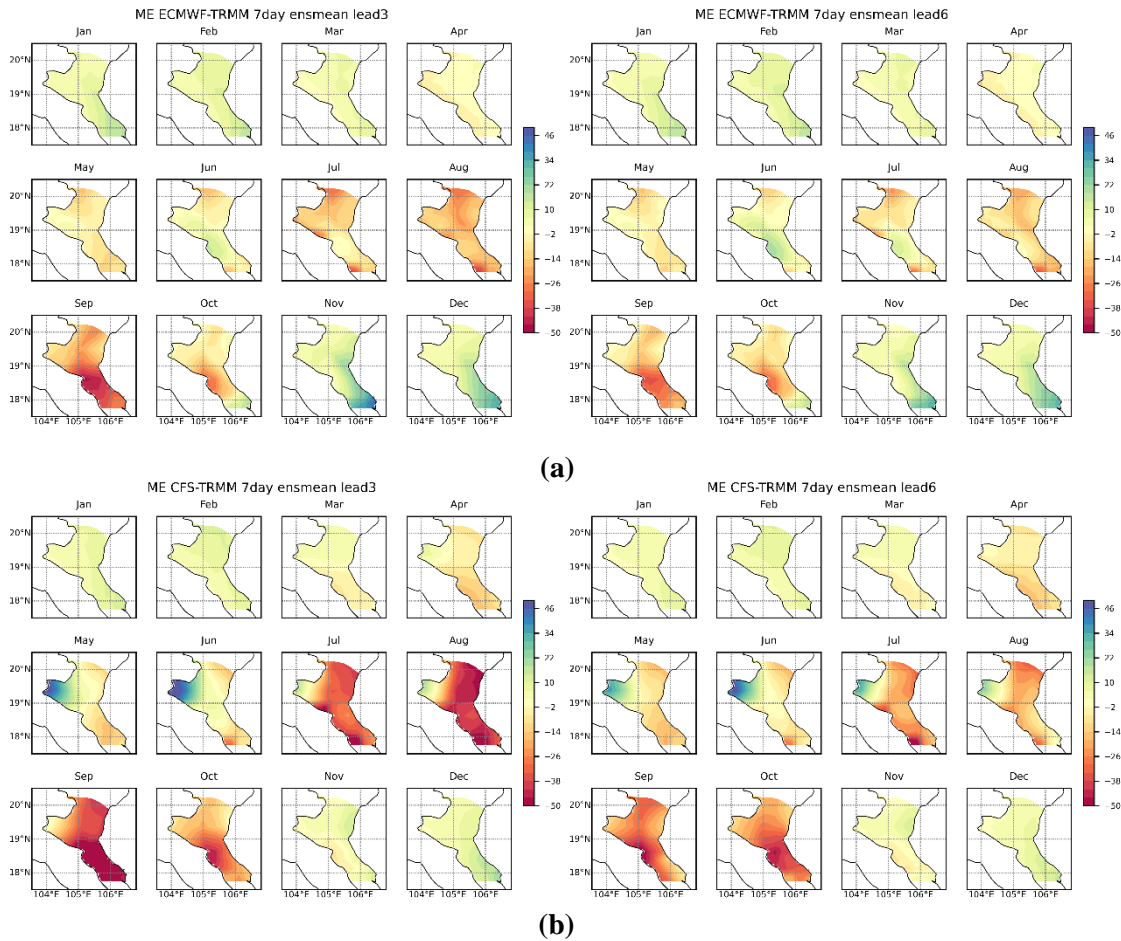
Nhóm nghiên cứu sẽ tiến hành đánh giá kết quả tính toán các giá trị ME, MAE, RMSE, CORR, Brier score và đường cong ROC của trung bình các thành phần dự báo (*ensemble mean*) theo phân bố về thời gian và phân bố về không gian cho độ phân giải 7 ngày và lead-time 3-6 của hai mô hình IFS và CFSv1.

3.1. Phân tích và đánh giá kết quả sai số trung bình ME

Có thể nhận thấy từ hình 3a và 3b rằng, trong giai đoạn mùa khô từ tháng 11 đến tháng 3, chỉ số ME ở cả hai mô hình IFS và CFSv1 đều có xu hướng thiên dương với giá trị tương đối thấp (5,10) mm. Sai số giữa các lead-time là tương đối đồng đều và ME của IFS thấp hơn một chút so với ME của CFSv1. Giá trị ME của IFS đạt cực tiểu vào tháng 4 trong khi ở mô hình CFSv1 là tháng 3. Từ tháng 4 đến tháng 5, ME ở cả 2 mô hình chuyển sang thiên âm và quay lại thiên dương trong tháng 6 với giá trị trong khoảng (-5,+5) mm. Bắt đầu từ tháng 7 đến tháng 10, ME chuyển sang thiên âm khá lớn ở cả 2 mô hình, khi giá trị ME của IFS nằm trong khoảng (-25, -5) mm thì ME của CFSv1 thiên âm mạnh hơn (-41, -15) mm, ở các tháng 7-9, sai số cao hơn trong các lead-time 3-4 và giảm dần ở lead-time 6-7. Trong tháng 10, sai số giảm dần và các lead-time có sai số gần bằng nhau.



Hình 3. (a) Phân bố theo thời gian giá trị ME của mô hình IFS so với TRMM từ lead-time 3-6; (b) Phân bố theo thời gian giá trị ME của mô hình CFSv1 so với TRMM từ lead-time 3-6.



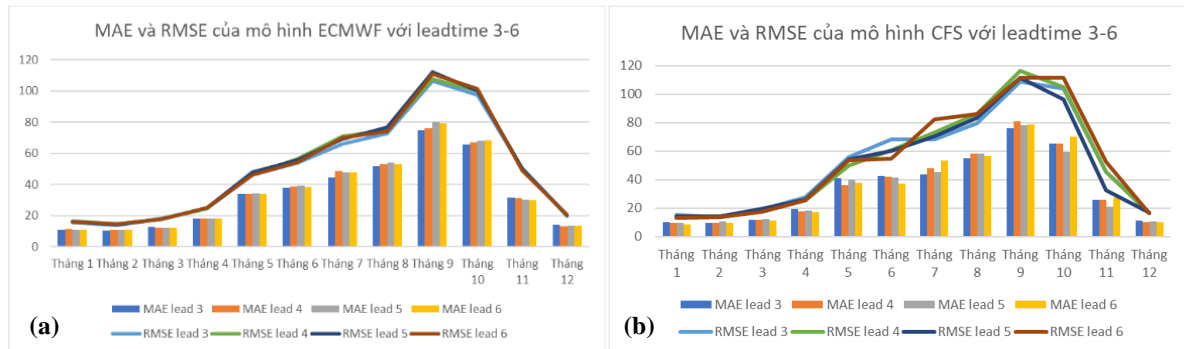
Hình 4. (a) Phân bố theo không gian giá trị ME của mô hình IFS so với TRMM ở lead-time 3 và 6; (b) Phân bố theo không gian giá trị ME của mô hình CFSv1 so với TRMM ở lead-time 3 và 6.

Hình 4a và 4b, có thể thấy giá trị ME ở lead-time 3 và lead-time 6 của cả hai mô hình đều tương tự như nhau, khác biệt duy nhất ở đây là ME ở lead-time 6 đã giảm đi đáng kể so với lead-time 3. Ở cả 2 mô hình, ME từ tháng 11 đến tháng 4 là tương đối thấp (-5, +5), tuy nhiên trong các tháng 11-12, trong khi CFSv1 cho sai số ME khá đồng đều ở trên toàn khu vực thì IFS cho thấy mức độ thiên dương cao hơn khá rõ ở phía nam của khu vực. Từ tháng 5 đến tháng 6, IFS cho kết quả thiên âm nhỏ và khá đồng đều trên cả khu vực, CFSv1 lại thể hiện dự báo thiên dương tương đối cao ở khu vực vùng núi phía tây Nghệ An. Từ tháng 7-10, CFSv1 cho thiên dương nhỏ ở vùng núi phía tây Nghệ An và thiên âm rất lớn ở những vùng còn lại, nhất là phía nam khu vực trong tháng 9. Trong khoảng thời gian đó, IFS cho kết quả thiên âm trung bình trên toàn khu vực, đến tháng 9-10 chuyển sang thiên âm khá rõ ở khu vực phía nam.

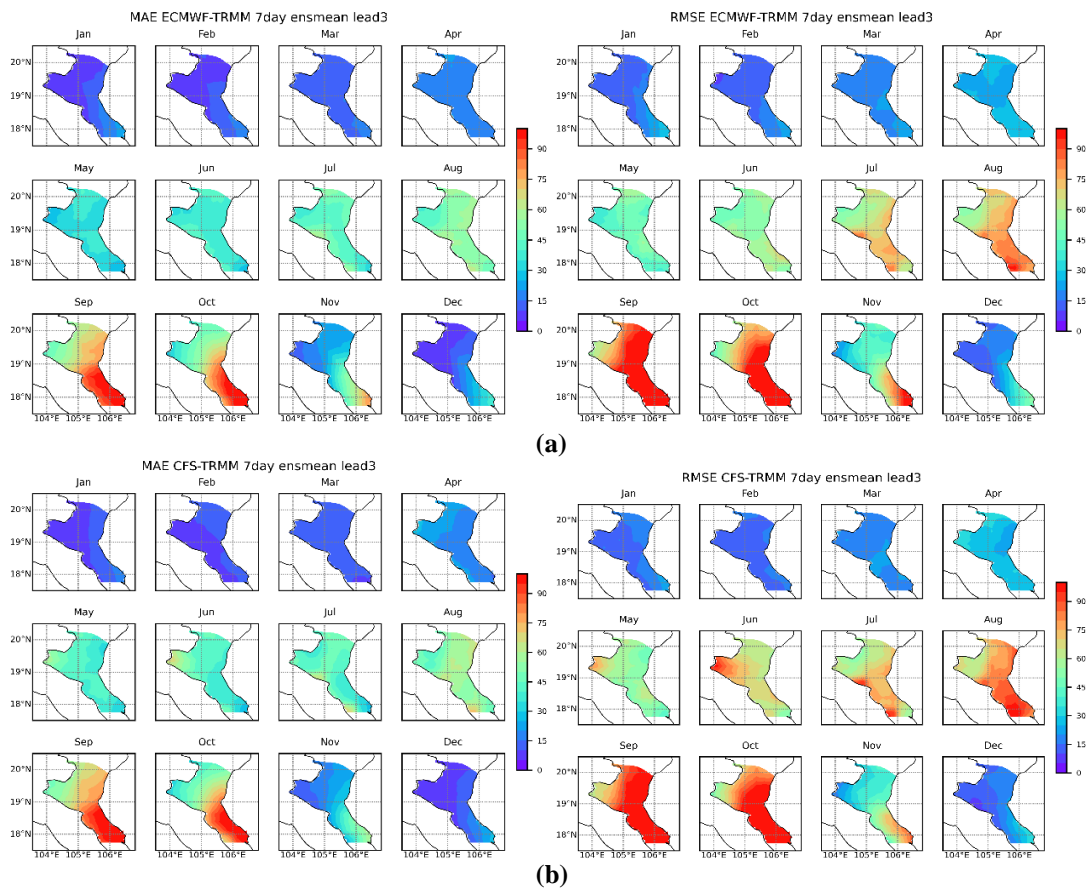
3.2 Phân tích và đánh giá kết quả sai số trung bình tuyệt đối MAE và sai số quân phương RMSE

Hình 5a và 5b có thể thấy ở cả 2 mô hình, giá trị MAE (biểu diễn dưới dạng cột) hầu như không có sự chênh lệch đáng kể và RMSE (biểu diễn dưới dạng đường) cũng vậy, khác biệt duy nhất là sai số ở các lead-time của IFS khá tương đồng nhau, trong khi ở mô hình CFSv1, các lead-time có sai số chênh lệch trong một khoảng nhỏ. Từ tháng 12 đến tháng 4, MAE và RMSE ở cả 2 mô hình có giá trị tương đối thấp (10-20 mm) và gần như xấp xỉ nhau. Nhưng từ tháng 5 đến tháng 10, MAE và RMSE tăng lên khá nhanh ở cả 2 mô hình và đạt giá trị cao nhất vào tháng 9 (100-120 mm), sau đó giảm dần trong các tháng 10-11. Giá trị của RMSE trong giai đoạn này cũng cao hơn hẳn so với MAE, tuy nhiên khoảng cách của RMSE so với

MAE trong các tháng ở mô hình IFS có xu hướng đồng đều hơn, cho thấy khả năng sai số của mô hình có tính “hệ thống”. Trong khi đó, cách biệt giữa MAE và RSME ở mô hình CFSv1 có vẻ bất ổn định hơn, cho thấy sai số là tương đối tản mạn.



Hình 5. (a) Phân bố theo thời gian giá trị ME của mô hình IFS so với TRMM từ lead-time 3-6; (b) Phân bố theo thời gian giá trị ME của mô hình v1 so với TRMM từ lead-time 3-6.



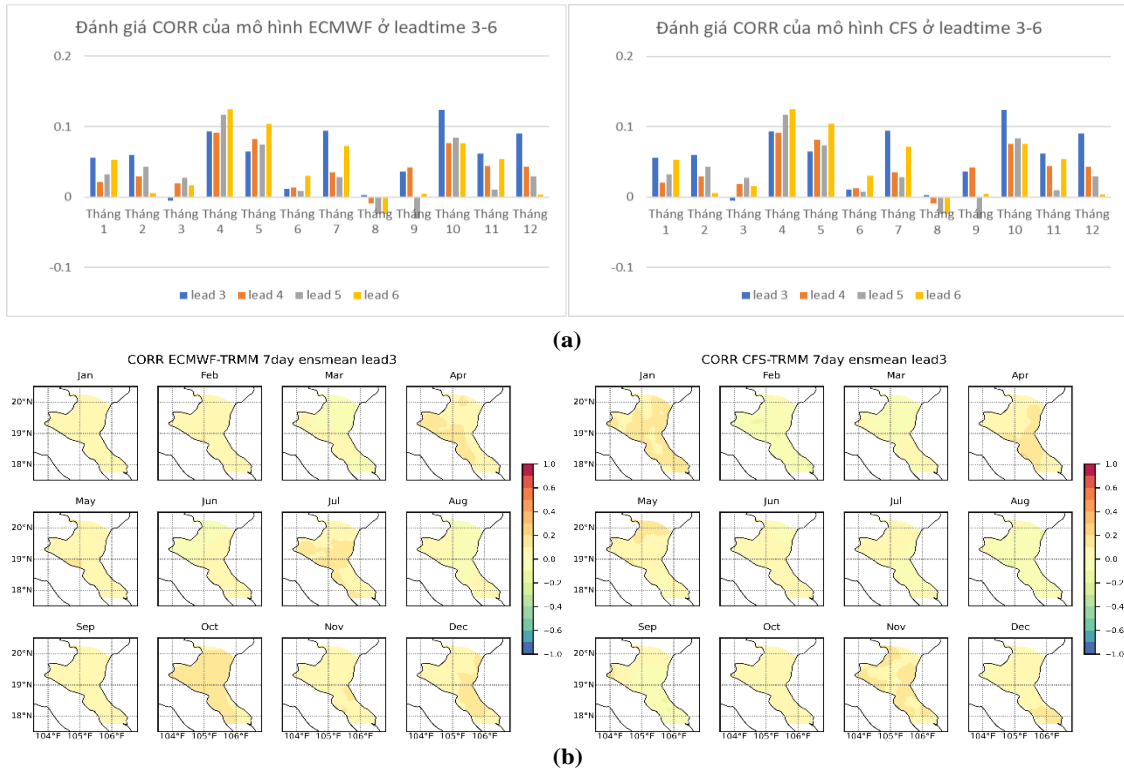
Hình 6. (a) Phân bố theo không gian MAE và RMSE của IFS so với TRMM ở lead-time 3; (b) Phân bố theo không gian MAE và RMSE của CFSv1 so với TRMM ở lead-time 3.

Hình 6a và 6b thấy phân bố theo không gian của MAE và RMSE của cả hai mô hình IFS và CFSv1 là khá tương đồng, cụ thể như sau: Từ tháng 12 đến tháng 3, cả MAE và RSME đều có giá trị nhỏ (dưới 20mm) và tương đối gần nhau. Mọi thứ đảo ngược khi bước vào các tháng 5-8, khi MAE đạt giá trị trung bình (30-60 mm) và dàn trải đều trên toàn bộ khu vực, thì RSME có xu hướng tăng cao hơn ở vùng đồng bằng ven biển và phía nam khu vực (60-90 mm). Trong tháng 9-10, trong khi ở phía nam của khu vực RMSE và MAE tương đồng nhau và đạt giá trị cực đại (90-120) tiềm ẩn khả năng về tính hệ thống trong sai số của mô hình, thì ở phía bắc khu vực, MAE và RSME chênh lệch nhau là khá nhiều, cho thấy sự phân

tán trong sai số. Điều này cho thấy phân bố nam - bắc và đồng bằng - vùng núi của MAE và RMSE là tương đối khác biệt.

3.3. Phân tích và đánh giá kết quả hệ số tương quan CORR

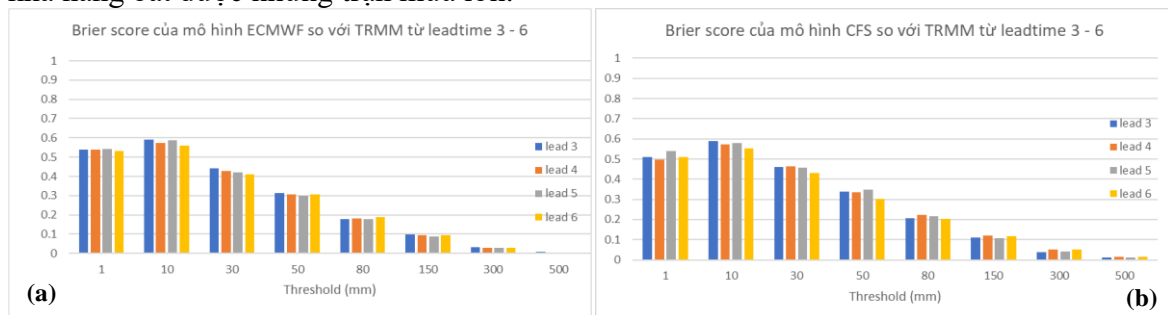
Hình 7a và 7b thấy rằng hệ số tương quan ở cả 2 mô hình là rất thấp, cho thấy dự báo và quan trắc hầu như không có quan hệ tuyến tính nào.



Hình 7. (a) Phân bố theo thời gian CORR của IFS (trái) và CFSv1 (phải) so với TRMM ở lead-time 3; (b) Phân bố theo không gian CORR của IFS (trái) và CFSv1 (phải) so với TRMM ở lead-time 3.

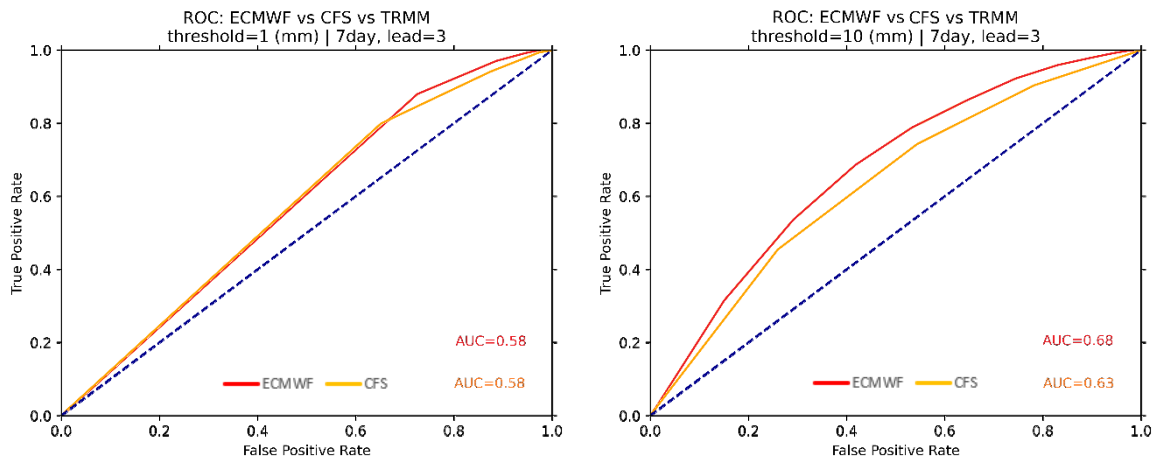
3.4. Phân tích và đánh giá chỉ số Brier score (BS)

Từ hình 8a và 8b, có thể thấy giá trị BS ở các lead-time hầu như có rất ít sự khác biệt. Với lượng mưa dưới 30mm/7 ngày ở cả 2 mô hình, giá trị của BS nằm trong khoảng 0.4 – 0.6, cho thấy kỹ năng dự báo chỉ ở mức trung bình. Với lượng mưa 50mm/7 ngày, cả hai mô hình đã cho thấy sự cải thiện trong kỹ năng dự báo khi có BS xấp xỉ 0.3. Đối với lượng mưa từ 80-150 mm/7 ngày, BS có giá trị dưới 0.2, chứng tỏ khả năng phát hiện những đợt mưa vừa và mưa to của cả IFS và CFSv1 là khá tốt. Với những đợt mưa rất to có tổng lượng 300 đến 500mm/7 ngày, chỉ số BS có giá trị tiệm cận và bằng 0, cho thấy cả 2 mô hình đều có khả năng bắt được những trận mưa lớn.



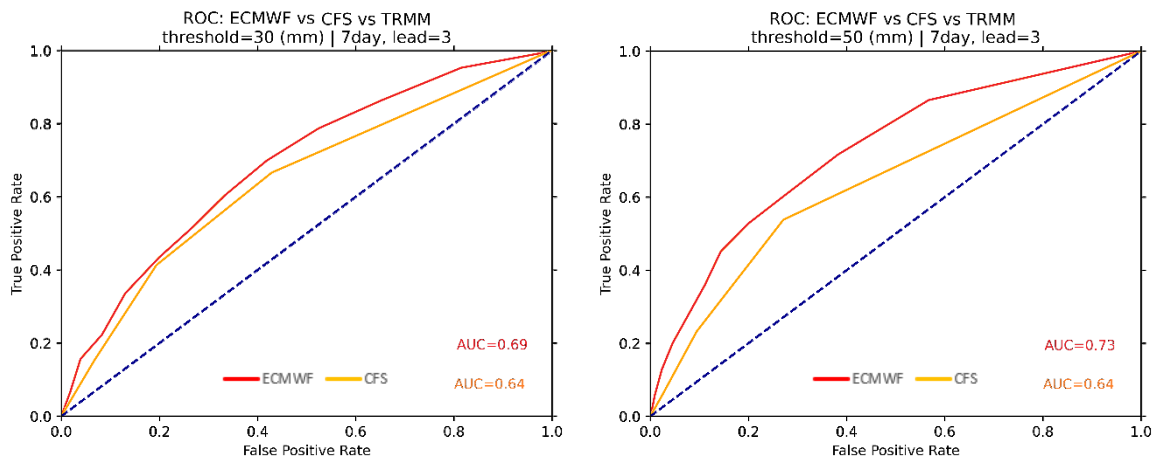
Hình 8. (a) Brier score của mô hình IFS so với TRMM với các ngưỡng mưa khác nhau từ lead-time 3-6; (b) Brier score của mô hình CFSv1 so với TRMM với các ngưỡng mưa khác nhau từ lead-time 3-6.

3.5 Phân tích và đánh giá đường cong ROC và AUC



Hình 9. (a) ROC của IFS và CFS tại ngưỡng mưa 1mm; (b) ROC của IFS và CFS tại ngưỡng mưa 10mm.

Hình 9a cho thấy ở ngưỡng mưa rất nhỏ (1 mm/7 ngày), đường cong ROC của hai mô hình IFS và CFSv1 đều chỉ nhỉnh một chút so với đường chéo không phân biệt, giá trị AUC của cả 2 mô hình đều là 0.58 cho thấy kỹ năng dự báo pha tương đối kém. Hình 9b đánh giá kỹ năng dự báo với ngưỡng mưa nhỏ (10 mm/7 ngày và 30 mm/7 ngày), cả 2 mô hình đều cho kỹ năng ở mức trung bình, tuy nhiên mô hình IFS thể hiện kỹ năng dự báo nhỉnh hơn với AUC = 0,68 so với AUC của CFSv1 là 0,63.

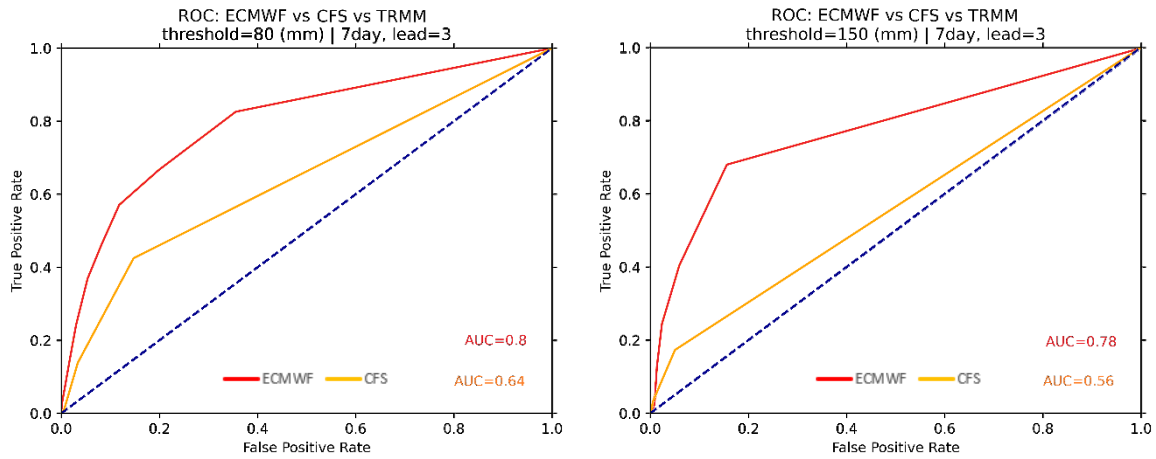


Hình 9. (c) ROC của IFS và CFS tại ngưỡng mưa 30mm; (d) ROC của IFS và CFS tại ngưỡng mưa 50mm.

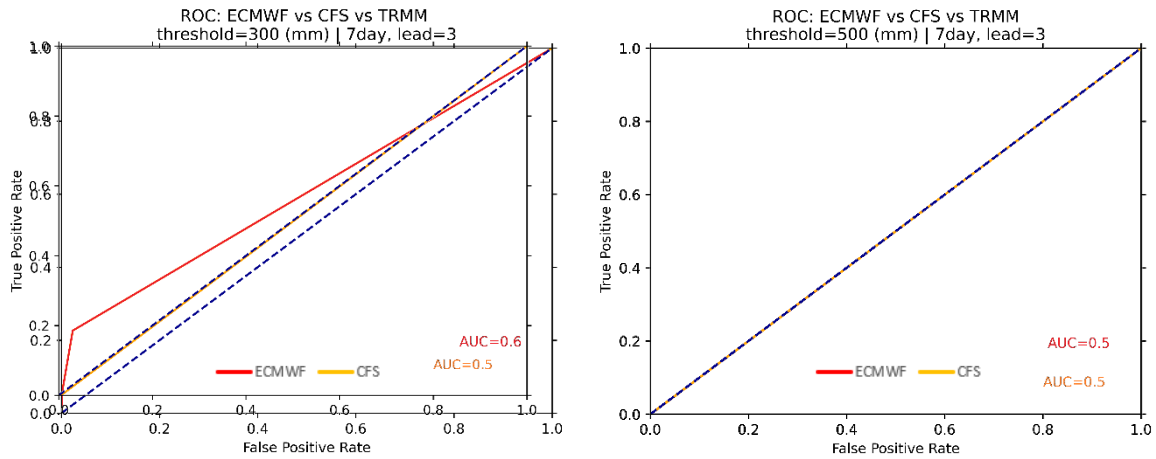
Đánh giá ở ngưỡng mưa 30 mm/7 ngày, hình 9c cho thấy một lần nữa cả 2 mô hình đều thể hiện kỹ năng dự báo trung bình, và IFS vẫn có kỹ năng nhỉnh hơn so với CFSv1. Kỹ năng dự báo ở ngưỡng mưa 30 mm/7 ngày cũng cao hơn so với 10 mm/7 ngày. Ở ngưỡng mưa 50 mm/7 ngày, trong khi mô hình CFSv1 chỉ thể hiện kỹ năng dự báo trung bình với AUC = 0,64, thì IFS cho thấy kỹ năng dự báo tốt hơn với AUC có giá trị 0,73 (Hình 9c, 9d).

Hình 9e và 9f nhận ra sự vượt trội đáng kể đối với kỹ năng dự báo của mô hình IFS với lượng mưa vừa (80 mm/7 ngày) và mưa to (150 mm/7 ngày), mô hình IFS đã thể hiện kỹ năng dự báo rất tốt với AUC lần lượt là 0,8 và 0,78. Trong khi đó, mô hình CFSv1 cho thấy kỹ năng dự báo trung bình và kém khi giá trị AUC chỉ lần lượt là 0,64 và 0,56.

Đánh giá kỹ năng dự báo mưa rất to (300-500 mm), cả 2 mô hình đều cho kỹ năng dự báo kém và cực kỳ kém khi đường cong ROC tiệm cận và trùng với đường chéo không phân biệt, AUC của cả 2 mô hình cũng có giá trị cực kỳ thấp, chỉ ở trong ngưỡng 0,5-0,6.



Hình 9. (e) ROC của IFS và CFS tại ngưỡng mưa 80mm; (f) ROC của IFS và CFS tại ngưỡng mưa 150mm.



Hình 9. (g) ROC của IFS và CFS tại ngưỡng mưa 300mm; (h) ROC của IFS và CFS tại ngưỡng mưa 500 mm.

4. Kết luận

Thông qua quá trình đánh giá kỹ năng dự báo của mô hình IFS và CFSv1 so với số liệu mưa TRMM, có thể rút ra một vài kết luận như sau:

Cả 2 mô hình đều cho thấy tiềm năng trong việc ứng dụng vào công tác dự báo hạn nội mùa cho khu vực Bắc Trung Bộ. Mô hình CFSv1 có kỹ năng dự báo tốt hơn IFS vào các tháng 11 - tháng 3, nhưng lại thể hiện kỹ năng dự báo kém hơn khá nhiều so với IFS vào các tháng mùa mưa (tháng 7 - tháng 10). Cả 2 mô hình đều tiềm ẩn khả năng hiệu chỉnh sai số hệ thống vào các tháng 12 - tháng 4 và tháng 8 - tháng 10 ở phía Nam khu vực, khi MAE và RMSE của cả 2 mô hình trong những giai đoạn này có giá trị tương đồng với nhau. Đối với hệ số tương quan CORR, cả 2 mô hình đều cho giá trị rất thấp, cho thấy hầu như không có quan hệ tuyến tính giữa dự báo và kết quả quan trắc. Cả 2 mô hình đều có kỹ năng phát hiện những đợt mưa vừa, mưa to đến rất to, tuy nhiên mô hình IFS cho thấy khả năng vượt trội so với CFSv1 khi có tỷ lệ dự báo không thấp hơn nhiều.

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

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn Đề tài cấp bộ “Nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo mưa hạn nội mùa từ một số mô hình toàn cầu kết hợp với mô hình thủy văn để phục vụ quản lý nguồn nước, điều tiết hồ chứa cho khu vực Bắc Trung Bộ”, mã số TNMT.2022.02.17 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. Vitart, F.; Ardilouze, C.; Bonet, A.; Brookshaw, A.; Chen, M.; Codorean, C.; Déqué, M.; Ferranti, L.; Fucile, E.; Fuentes, M.; Hendon, H.; Hodgson, J.; Kang, H.S.; Kumar, A.; Lin, H.; Liu, G.; Liu, X.; Malguzzi, P.; Mallas, I.; Manoussakis, M.; Mastrangelo, D.; MacLachlan, C.; McLean, P.; Minami, A.; Mladek, R.; Nakazawa, T.; Najm, S.; Nie, Y.; Rixen, M.; Robertson, A.W.; Ruti, P.; Sun, C.; Takaya, Y.; Tolstykh, M.; Venuti, F.; Waliser, D.; Woolnough, S.; Wu, T.; Won, D.J.; Xiao, H.; Zaripov, R.; Zhang, L. The subseasonal to seasonal (S2S) prediction project database. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **2017**, 98, 163–173.
2. Vitart, F.; Andrew, W.R. Sub–seasonal to seasonal prediction, XIII–XIV, 2019.
3. Christopher, J.W. et al. Potential applications of subseasonal-to-seasonal (S2S) predictions. *Meteorol. Appl.* **2017**, 24(3), 315–325.
4. Pegion, K. et al. The subseasonal experiment (SubX): A multimodel subseasonal prediction experiment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **2019**, 100, 2043–2060. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0270.1>.
5. de Andrade, F.M.; Young, M.P.; MacLeod, D.; Hiron, L.C.; Woolnough, S.J.; Black, E. Subseasonal precipitation prediction for africa: Forecast evaluation and sources of predictability. *Wea. Forecasting* **2021**, 36, 265–284.
6. Vitart, F.; Robertson, A.W. The sub–seasonal to seasonal prediction project (S2S) and the prediction of extreme events. *Clim. Atmos. Sci* **2018**, 1, 3. <https://doi.org/10.1038/s41612-018-0013-0>.
7. Hà, P.T. Dự báo hạn mùa và nội mùa ngày bắt đầu mùa mưa ở Việt Nam trên cơ sở sản phẩm mô hình số. Luận án Tiến sỹ, Đại học Quốc Gia Hà Nội, Việt Nam, 2022.
8. Hương, H.T.T.; Lượng, N.V.; Vinh, P.V.; Hà, P.T. Nghiên cứu hiệu chỉnh sản phẩm dự báo mưa hạn nội mùa cho khu vực Bắc Trung Bộ bằng phương pháp phân vị với xấp xỉ Gamma (QM–G). *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 748, 77–89. Doi: 10.36335/VNJHM.2023(748).77-89.
9. Trục tuyến: <https://dkvbtb.gov.vn/gioi-thieu/gioi-thieu-ve-dai-khi-tuong-thuy-van-khu-vuc-bac-trung-bo-16.html>.
10. Trục tuyến: <https://confluence.ecmwf.int/display/S2S/Models>.
11. Trục tuyến: <https://confluence.ecmwf.int/display/FCST/Implementation+of+IFS+Cycle+48r1>.
12. Saha, S. et al. The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **2010**, 91, 1015–1058. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1>.
13. George, J.H.; David, T.B. TRMM and other data precipitation data set documentation, 2018, pp. 44.
14. Cort, J.W.; Kenji, M. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Clim. Res.* **2005**, 30, 79–82.
15. Hyndman, R.J.; Koehler, A.B.. Another look at measures of forecast accuracy. *Int. J. Forecasting* **2006**, 22(4), 679–688.
16. Glenn, W.B. Verification of forecasts expressed in terms of probability. *Mon. Weather Rev.* **1950**, 78(1), 1–3.
17. Christopher, A.T.F. Comparing probabilistic forecasting systems with the brier score. *Wea. Forecasting* **2007**, 22, 1076–1088. <https://doi.org/10.1175/WAF1034.1>.
18. Marzban, C. The ROC curve and the area under it as performance measures. *Wea. Forecasting* **2004**, 19, 1106–1114. <https://doi.org/10.1175/825.1>.

19. Fawcett, T. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognit. Lett.* **2005**, 27(8), 861–874. Doi:10.1016/j.patrec.2005.10.010.
20. Rodríguez–Hernández, M.M.; Rosa, E.P.; Juan, M.R. Statistical analysis of the evolutive effects of language development in the resolution of mathematical problems in primary school education. *Mathematics* **2021**, 9(10), 1081. Doi:10.3390/math9101081.

Research and evaluate the applicability of IFS CY48R1 and CFSV1 models for subseasonal forecasting for the North Central region

Dao Anh Cong^{1*}, Nguyen Van Luong¹, Phan Van Vinh¹, Phan Nhu Xuyen¹, Trinh Tuan Long²

¹ North Central regional hydro-meteorology center; daoanhcong.k55.hus@gmail.com; luongnvkttv@gmail.com; vinhpv@gmail.com; phannhuxuyen@gmail.com

² Ha noi university of science; trinhtuanlong@gmail.com

Abstract: The subseasonal to seasonal forecast, also known as the time span from two weeks to two months, was previously considered the “desert of predictability”, but this is the ideal period for making medium-term plans for water resource management and reservoir regulation. In Vietnam, the research on this problem is still only in the first steps. To fill this forecast gap, the authors conducted a study and evaluated the forecasting skills of the IFS CY48R1 and CFSv1 models for the aforementioned forecast period using TRMM satellite rainfall data and re-forecasting data of ECMWF and CFSV1 models to calculate statistical indicators ME, MAE, RMSE, CORR, Brier score and ROC curve. The results show that both models show the potential for application in subseasonal forecasting for the North Central region. The CFSv1 model has better forecasting skills than IFS in November - March but shows much worse forecasting skills than IFS in the rainy months (July - October). Both models have the potential to correct systematic errors in the months of December - April and August - October in the South of the area. Both models can detect moderate, heavy to very heavy rains, however, the IFS model shows superior ability to CFS when it has a much lower false positive rate.

Keywords: ECMWF; NCEP; IFS CY48R1; CFSv1; Subseasonal to seasonal; S2S; North central region; Forecast.

Bài báo khoa học

Phân tích chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất sử dụng hàm ANN từ kết quả xử lý chuỗi dữ liệu GNSS theo thời gian

Dương Văn Phong¹, Nguyễn Gia Trọng^{1,2*}, Nguyễn Văn Chiến³, Nguyễn Hà Thành⁴, Lý Lâm Hà⁵, Nguyễn Việt Quân⁶, Phạm Ngọc Quang^{1,2}

¹ Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mở - Địa chất; duongvanphong@humg.edu.vn; nguyengiatrong@humg.edu.vn; phamngocquang@humg.edu.vn

² Nhóm nghiên cứu Trắc địa cao cấp - môi trường, Trường Đại học Mở - Địa chất; nguyengiatrong@humg.edu.vn

³ Công ty cổ phần địa ốc Phú Long; mchoangchien@gmail.com

⁴ Viện Vật lý địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; hathanh5984@gmail.com

⁵ Phòng Kinh tế hạ tầng huyện Cam Lâm, tỉnh Khánh Hòa; funnylams@gmail.com

⁶ Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam; vietquan2407@gmail.com

*Tác giả liên hệ: nguyengiatrong@humg.edu.vn; Tel.: +84-963124980

Ban Biên tập nhận bài: 15/6/2023; Ngày phản biện xong: 29/7/2023; Ngày đăng bài: 25/8/2023

Tóm tắt: Chuyển dịch thẳng đứng là sự thay đổi độ cao của bề mặt đất mà nguyên nhân chính là do các hoạt động kiến tạo gây ra. Sự thay đổi độ cao của bề mặt do chuyển dịch thẳng đứng có liên hệ mật thiết với các hiện tượng tai biến thiên nhiên như mực nước biển dâng, ngập lụt hoặc xâm nhập mặn. Để xác định chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất có các phương pháp như sử dụng dữ liệu đo cao thủy chuẩn hình học, sử dụng dữ liệu định vị bằng vệ tinh (GNSS), dữ liệu giao thoa ra đa. Nghiên cứu này xác định chuyển dịch thẳng đứng cho điểm CTHO thuộc mạng lưới VNGEONET thông qua phân tích chuỗi dữ liệu GNSS sử dụng phần mềm Gamit/Globk. Để phân tích chuỗi kết quả chuyển dịch thẳng đứng trên, các tác giả đề xuất phương pháp dự báo chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất sử dụng mô hình mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) với dữ liệu đầu vào là kết quả phân tích dữ liệu GNSS sử dụng phần mềm Gamit/Globk. Kết quả tính thực nghiệm cho thấy, các đặc trưng về sai số dự báo sử dụng mô hình ANN cho độ chính xác cao thể hiện qua các chỉ tiêu sai số đó là giá trị MAE là 0,005, giá trị MSE là 0,0004 và giá trị RMSE là 0,006.

Từ khóa: Chuyển dịch thẳng đứng; Sụt lún mặt đất; GNSS; AI; ANN.

1. Mở đầu

Vỏ Trái đất không phải là một khối thống nhất mà được tạo thành từ các mảng khác nhau. Theo thời gian, các mảng liên tục chuyển dịch theo các hướng khác nhau mà nguyên nhân chủ yếu đó là sự chuyển dịch của các lớp vật chất bên trong lòng Trái đất. Chuyển dịch của các mảng được chia thành chuyển dịch ngang (theo hướng Bắc và hướng Đông) và chuyển dịch thẳng đứng. Bên cạnh sự nâng lên của lớp vỏ Trái đất, còn có hiện tượng sụt lún bề mặt đất gây ra bởi cả tự nhiên và con người. Sụt lún bề mặt đất có thể sinh ra do quá trình khai thác nước ngầm, khai thác mỏ,... hoặc quá trình nén trầm tích tại châu thổ của các con sông mà đồng bằng sông Cửu Long là trường hợp điển hình. Chuyển dịch thẳng đứng có liên quan mật thiết với mực nước biển dâng tại các vùng ven biển giúp xác định được giá trị tuyệt

đổi sự dâng lên của mực nước biển. Bên cạnh đó, nghiên cứu sự nâng lên và sụt lún bề mặt đất có ý nghĩa lớn đối với công tác quy hoạch trong bối cảnh biến đổi khí hậu đặc biệt đối với các vùng có địa hình thấp so với mực nước biển như Đồng bằng sông Cửu Long, thành phố Hồ Chí Minh của Việt Nam.

Tác giả [1] đã phân tích dữ liệu đo GNSS liên tục tại các trạm nghiệm triều để xác định giá trị chuyển dịch thẳng đứng của vỏ Trái đất tại các điểm có dữ liệu qua đó xác định được chính xác giá trị dâng lên của mực nước biển bằng cách sử dụng hỗn hợp dữ liệu GNSS và dữ liệu nghiệm triều. Nhằm phát huy tối đa ưu điểm của các loại dữ liệu trong xác định sụt lún bề mặt, cần sử dụng kết hợp dữ liệu đo GNSS, InSAR và dữ liệu đo thủy chuẩn hình học; Tác giả [2] đã xác định sụt lún bề mặt cho khu vực Jakarta (Indonexia) giai đoạn 1982-2010. Tuy nhiên, dữ liệu GNSS trong nghiên cứu này cũng là dữ liệu đo tương đối tính theo chu kỳ.

Trên cơ sở kết hợp dữ liệu viễn thám, đo thủy chuẩn hình học, dữ liệu địa chất thủy văn, tác giả [3] đã xác định sụt lún cho khu vực Bắc Kinh của Trung Quốc. Trí tuệ nhân tạo đã được ứng dụng khá hiệu quả trong nghiên cứu xác định sụt lún bề mặt, trong số đó có thể kể đến một số công trình tiêu biểu như các công trình [4-5]. Trong công trình nghiên cứu [6], các tác giả đã sử dụng phần mềm GipsyX để phân tích dữ liệu GNSS nhằm xác định chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất khu vực bờ biển Texas trong mối liên hệ với mực nước biển dâng và đã xác định được chuyển dịch thẳng đứng với độ chính xác lên tới 0,3 mm/năm.

Tác giả [7] đã giới thiệu tổng quan về ứng dụng học máy trong công nghệ GNSS, tuy nhiên hầu hết các mô hình và ứng dụng tương ứng được đề cập trong công trình này chủ yếu trong lĩnh vực xử lý tín hiệu GNSS chứ không phải ứng dụng trong xử lý và phân tích dữ liệu đo GNSS cũng như sản phẩm sau đó. Tác giả [8] đã sử dụng hàm mạng chức năng cơ sở xuyên tâm (Radial Basic function network) để phân tích chuỗi dữ liệu chuyển dịch xác định được bằng công nghệ GNSS trong khoảng 2 năm cho độ chính xác tốt hơn so với kết quả sử dụng hàm hồi quy truyền thống.

Công nghệ GNSS cho phép xác định chuyển dịch thẳng đứng mặt đất với độ chính xác rất cao nhưng có nhược điểm là chỉ xác định tại điểm có đặt máy thu tín hiệu vệ tinh. Để có thể xác định giá trị sụt lún trên phạm vi rộng (bề mặt), nghiên cứu sử dụng dữ liệu giao thoa radar là một hướng nghiên cứu đang được quan tâm trong giai đoạn hiện nay. Tác giả [9] đã sử dụng dữ liệu TerraSAR-X và Cosmos SkyMed xác định sụt lún cho khu vực trung tâm của Hà Nội trong giai đoạn từ năm 2011 đến năm 2014 với kết quả xác định vận tốc chuyển dịch lên tới -10mm/năm.

Trên cơ sở sử dụng dữ liệu GNSS đo theo phương pháp định vị tương đối tĩnh truyền thống kết hợp sử dụng phần mềm Bernese phiên bản 5.0 để phân tích dữ liệu, tác giả [10] đã xác định độ lớn và hướng chuyển dịch theo phương nằm ngang của đới đứt gãy Lai Châu - Điện Biên. Hà Nội là một đô thị lớn của Việt Nam, nơi xảy ra hiện tượng sụt lún bề mặt khá mạnh do ảnh hưởng của hiện tượng khai thác nước ngầm nên đã thu hút sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu. Ngoài kết quả đã công bố trong [2], còn có một số nghiên cứu khác sử dụng dữ liệu giao thoa radar xác định sụt lún cho khu vực Hà Nội như các nghiên cứu của [11-13]. Các kết quả nghiên cứu của các tác giả cho thấy, bề mặt của Hà Nội sụt lún ở mức vài cm với các khu vực khác nhau. Sử dụng kết hợp dữ liệu GNSS, viễn thám và dữ liệu quan trắc mực nước ngầm của các hố khoan, tác giả [14] đã xác định sụt lún bề mặt khu vực Hà Nội giai đoạn 2016-2020. Dữ liệu GNSS trong trường hợp này được phân tích sử dụng phần mềm Gipsy-Oasis.

Sử dụng phần mềm Gamit/Globk để phân tích chuỗi dữ liệu đo GNSS liên tục từ năm 2010 đến năm 2020, tác giả [15] đã xác định chuyển dịch cho khu vực Tây Bắc của Việt Nam. Đây là một trong những công trình đầu tiên tại Việt Nam sử dụng dữ liệu GNSS theo chuỗi thời gian (đo liên tục) để xác định chuyển dịch. Tuy nhiên, công trình này chưa ứng dụng các mô hình toán học để phân tích chuỗi kết quả chuyển dịch xác định được bằng công nghệ GNSS. Ứng dụng phương pháp tương tự như trong công trình nghiên cứu [15], tác giả [16-17] đã phân tích dữ liệu thu nhận được của một số trạm CORS thuộc mạng lưới

VNGEONET để xác định chuyển dịch vỏ Trái đất trên lãnh thổ Việt Nam. Bên cạnh đó, các tác giả cũng quan tâm đến xác định vận tốc chuyển dịch thẳng đứng cho khu vực thực nghiệm.

Bên cạnh phương pháp xử lý dữ liệu theo lưới bằng các phần mềm đã đề cập như Gamit/Globk, Gipsy-Oasis, Bernese, đã có một số công trình nghiên cứu sử dụng phương pháp định vị tuyệt đối chính xác để xác định lượng chuyển dịch của vỏ Trái đất. Tác giả [18] đã sử dụng hàm tuyến tính đơn giản để xấp xỉ chuỗi đại lượng dịch chuyển xác định được từ dữ liệu đo GNSS tại một số trạm thu tín hiệu liên tục trong giai đoạn từ năm 2016 đến năm 2018. Tác giả [19–20] đã phân tích chuỗi đại lượng chuyển dịch để tìm ra quy luật chuyển dịch theo mùa từ dữ liệu đo GNSS.

Tác giả [21] đã đánh giá độ chính xác kết quả quan trắc chuyển dịch thời gian thực sử dụng công nghệ GNSS với kết quả xác định được chuyển dịch với độ chính xác ± 3 mm về vị trí mặt bằng và ± 5 mm theo phương độ cao. Tác giả [22–23] là một trong số ít các tác giả đã có công bố sử dụng trí tuệ nhân tạo trong dự báo chuyển dịch lún tại Việt Nam. Trong nghiên cứu [22], tác giả đã ứng dụng trí tuệ nhân tạo để phân tích chuyển dịch của một số công trình cầu dây văng, trong khi tác giả [23] ứng dụng để phân tích chuyển dịch bề mặt mỏ do ảnh hưởng của quá trình khai thác.

Như vậy có thể thấy rằng, chưa có công trình nào tại Việt Nam ứng dụng trí tuệ nhân tạo phân tích chuỗi kết quả chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất xác định được bằng công nghệ GNSS để dự báo chuyển dịch. Xuất phát từ các phân tích nêu trên, nhóm tác giả đặt ra mục tiêu ứng dụng thành công mô hình mạng nơ ron nhân tạo để dự báo chuyển dịch thẳng đứng từ dữ liệu đầu vào là kết quả phân tích dữ liệu đo GNSS bằng các phần mềm chuyên dụng.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu

Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu này là dữ liệu được kế thừa từ kết quả nghiên cứu của công trình [16]. Theo đó, sử dụng phần mềm Gamit/Globk để phân tích chuỗi dữ liệu GNSS thu được bởi một số trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET trong giai đoạn từ tháng 8 năm 2019 đến tháng 3 năm 2022. Đây là các trạm thu tín hiệu GNSS được xây dựng và quản lý bởi Cục Đo đạc - Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam bao gồm 2 loại là các trạm Geodetic CORS và NTRIP với các mốc được chôn tới tầng đá gốc. Kết quả của quá trình phân tích xác định được giá trị các thành phần tọa độ điểm của các ngày liên tiếp nhau trên cơ sở đó có thể xác định được chuyển dịch của điểm. Trong số các điểm đã được phân tích, nhóm nghiên cứu lựa chọn kết quả chuyển dịch của điểm CTHO (đặt tại thành phố Cần Thơ) làm dữ liệu đầu vào của nghiên cứu này. Đây là điểm có lượng chuyển dịch về độ cao khá lớn và nằm trong vùng nghiên cứu sụt lún trọng điểm tại Việt Nam. Do ảnh hưởng của hiện tượng sụt lún mà tại Cần Thơ nói riêng và Đồng bằng sông Cửu Long nói chung thường xuyên xảy ra ngập lụt do triều cường và xâm nhập mặn. Dữ liệu đầu vào của nghiên cứu này được thể hiện như trong bảng 1.

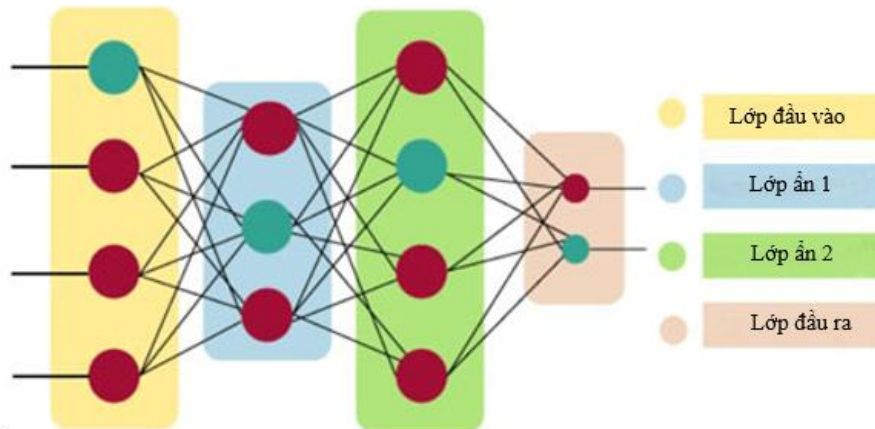
Bảng 1. Dữ liệu chuyển dịch đầu vào của điểm CTHO (Tọa độ điểm trong hệ ITRF, độ cao sử dụng là độ cao trắc địa).

Năm	Tháng	Ngày	Giờ	Phút	X (m)	Y (m)	H (m)
2019	8	20	11	59	1116180.8186	11594258.3294	3.53097
2019	8	21	11	59	1116180.8209	11594258.3314	3.53605
2019	8	22	11	59	1116180.8178	11594258.3289	3.53313
2019	8	23	11	59	1116180.8183	11594258.3301	3.53434
2019	8	24	11	59	1116180.8195	11594258.3344	3.53365
2019	8	25	11	59	1116180.8183	11594258.3318	3.53124

Năm	Tháng	Ngày	Giờ	Phút	X (m)	Y (m)	H (m)
2019	8	26	11	59	1116180.8170	11594258.3314	3.52258
2019	8	27	11	59	1116180.8198	11594258.3297	3.52514
2019	8	28	11	59	1116180.8192	11594258.3314	3.53134
2019	8	29	11	59	1116180.8180	11594258.3319	3.53964
2019	8	30	11	59	1116180.8199	11594258.3319	3.53323
2019	8	31	11	59	1116180.8185	11594258.3312	3.53309
2019	9	1	11	59	1116180.8187	11594258.3332	3.52444
2019	9	2	11	59	1116180.8192	11594258.3296	3.53421
2019	9	3	11	59	1116180.8210	11594258.3301	3.52647
2019	9	4	11	59	1116180.8129	11594258.3322	3.52494
2019	9	5	11	59	1116180.8145	11594258.3332	3.52028
2019	9	6	11	59	1116180.8168	11594258.3331	3.52521

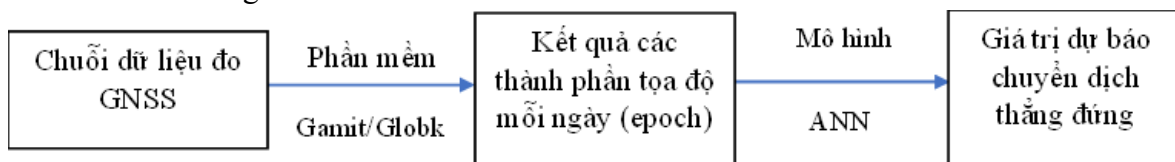
2.2. Phương pháp nghiên cứu

Mạng lưới thần kinh nhân tạo (ANN) là một hệ thống tạo ra bằng cách bắt chước bộ não của con người. Trong mạng lưới thần kinh nhân tạo cũng có các nơ ron được kết nối với nhau trong các lớp khác nhau của mạng. Nguyên lý hoạt động của mạng lưới ANN được minh họa như trong hình 1.



Hình 1. Nguyên lý hoạt động của mô hình ANN.

Từ hình 1 có thể thấy, với lớp dữ liệu đầu vào đã có, trải qua các lớp ẩn là các lớp xử lý sẽ có được lớp kết quả đầu ra. Quy trình tính toán dự báo chuyển dịch thẳng đứng có thể được biểu diễn như trong hình 2.



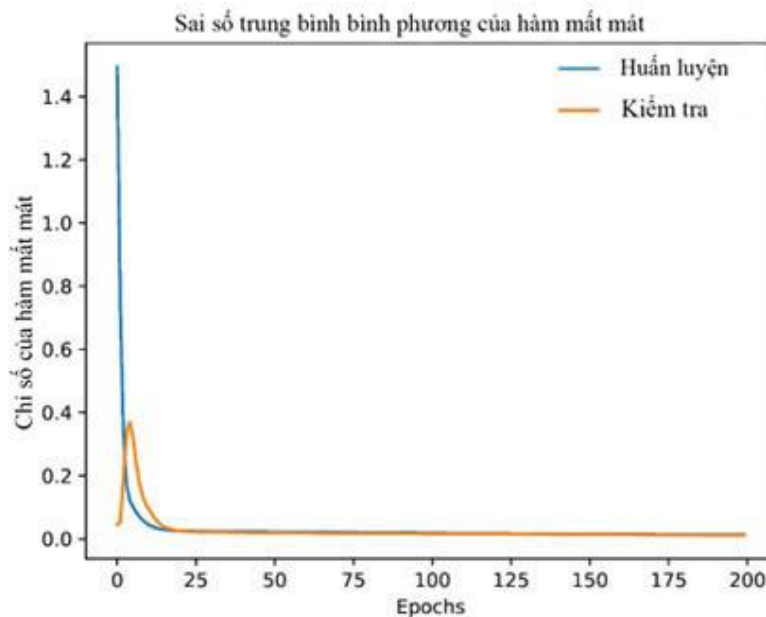
Hình 2. Quy trình dự báo chuyển dịch thẳng đứng với mô hình ANN.

Trong nghiên cứu này, dữ liệu đầu vào bao gồm các nhóm thời gian, thành phần tọa độ theo hướng Bắc, thành phần tọa độ theo hướng Đông và thành phần độ cao. Số lượng bước thời gian được lựa chọn là 10 có nghĩa là mô hình ANN sẽ học các dữ liệu mức độ chuyển dịch vô trái đất theo phương thẳng đứng được thu thập trong 10 ngày để dự báo cho ngày tiếp theo.

Giải thuật huấn luyện được sử dụng đó là giải thuật “Adam”, hàm mục tiêu sai số bình phương trung bình (*MSE - Mean Square Error*) được sử dụng để đánh giá hiệu suất của mô hình huấn luyện. Trong nghiên cứu này, cấu trúc mạng nơ ron chỉ gồm 1 lớp ẩn với 10 nút trong lớp với số lần tính lặp được lựa chọn là 200 lần.

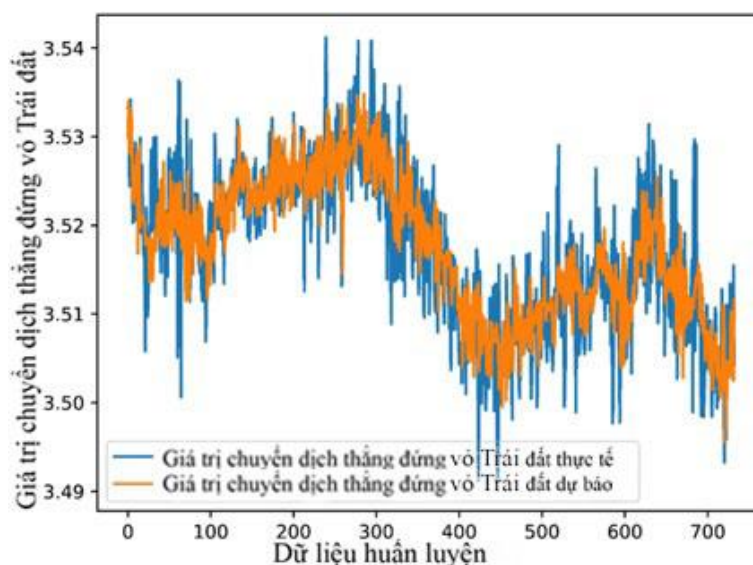
3. Kết quả và thảo luận

Để có thể sử dụng mô hình ANN dự báo chuyển dịch thẳng đứng trong trường hợp này, chia bộ dữ liệu ban đầu thành hai tập hợp là dữ liệu huấn luyện và dữ liệu kiểm tra. Bộ dữ liệu huấn luyện chiếm 80% và bộ dữ liệu kiểm tra chiếm 20% tổng dữ liệu ban đầu. Kết quả huấn luyện mô hình ANN và sai số MSE tương ứng được cho như trong hình 3.

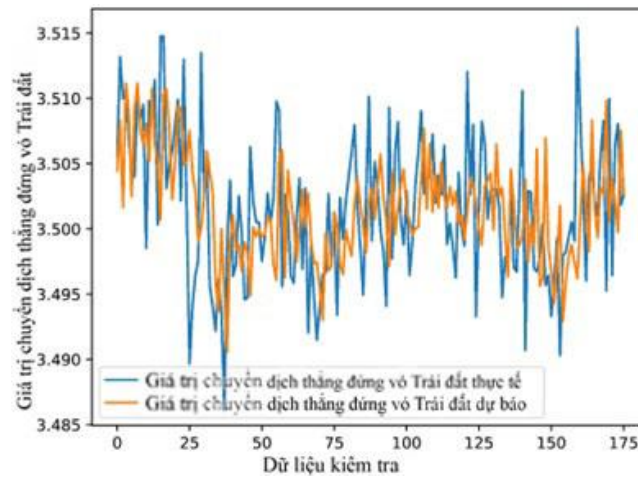


Hình 3. Kết quả huấn luyện mô hình ANN và giá trị độ chính xác sai số bình phương trung bình.

Hình 3 có thể thấy mô hình ANN đã được huấn luyện rất tốt, các đường cong hiệu suất huấn luyện và kiểm tra có mức độ phù hợp rất cao, có mức độ hội tụ cao và không xảy ra hiện tượng quá mức (*over fitting*). Kết quả dự báo chuyển dịch thẳng đứng tại điểm CTHO đối với tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra được cho tương ứng như trong hình 4 và hình 5.

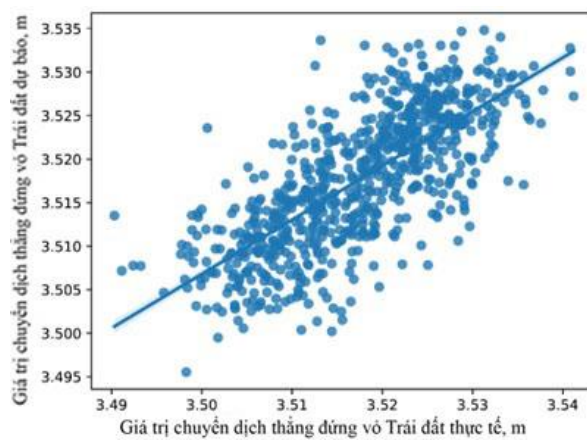


Hình 4. Kết quả dự báo chuyển dịch thẳng đứng đối với tập dữ liệu huấn luyện.

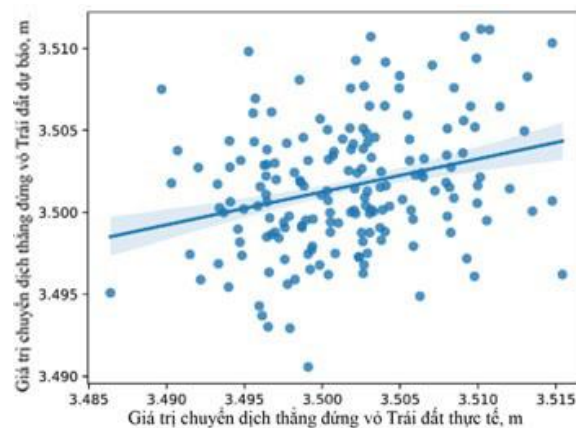


Hình 5. Kết quả dự báo chuyển dịch thẳng đứng đối với tập dữ liệu kiểm tra.

Từ kết quả dự báo chuyển dịch với tập dữ liệu kiểm tra cho thấy mô hình ANN được phát triển rất phù hợp để dự báo chuyển dịch thẳng đứng thể hiện qua độ lệch giữa giá trị dự báo và giá trị thực tế không quá lớn. Tuy nhiên, từ kết quả dự báo trong hình 4 và hình 5 có thể thấy, độ lệch giữa giá trị chuyển dịch dự báo so với giá trị chuyển dịch đã biết ở một số thời điểm có thể lên tới đơn vị cm. Độ lệch như vậy tồn tại do trong chuỗi dữ liệu chuyển dịch xác định được bằng công nghệ GNSS có thể vẫn còn nhiều chưa được ước tính và loại trừ. Để có thể đánh giá toàn diện về khả năng ứng dụng mô hình ANN trong dự báo chuyển dịch thẳng đứng, các tác giả đã tiến hành phân tích hồi quy trên cả tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra. Kết quả phân tích hồi quy được cho như trong hình 6 và hình 7.



Hình 6. Phân tích hồi quy trên tập dữ liệu huấn luyện.



Hình 7. Phân tích hồi quy trên tập dữ liệu kiểm tra.

Với kết quả phân tích hồi quy sử dụng mô hình ANN như trong hình 6 và hình 7 có thể thấy, mức độ tương quan của cả tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra là rất tốt. Từ các phân tích trên cho thấy, mô hình ANN có độ tin cậy rất cao trong dự báo chuyển dịch thẳng đứng võ Trái đất dựa trên chuỗi dữ liệu GNSS theo thời gian.

Các chỉ số về độ chính xác như sai số tuyệt đối trung bình (*Mean Absolute Error - MAE*), sai số bình phương trung bình (*Mean Squared Error - MSE*) và sai số trung phương (*Root Mean Squared Error - RMSE*) được xác định cho cả tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra. Các chỉ số này được xác định theo các công thức:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y - \hat{y}| \quad (1) \quad MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2 \quad (2) \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2} \quad (3)$$

Với kết quả được cho như trong bảng 2.

Bảng 2. Thống kê các đặc trưng sai số.

Mô hình	Tập dữ liệu huấn luyện			Tập dữ liệu kiểm tra		
	MAE	MSE	RMSE	MAE	MSE	RMSE
ANN	0,005	0,00040	0,006	0,005	0,00034	0,006

Từ các thống kê trong bảng 2 có thể thấy, các đặc trưng về sai số khi phân tích dữ liệu chuyển dịch thẳng đứng sử dụng mô hình ANN rất nhỏ chứng tỏ kết quả dự báo chuyển dịch thẳng đứng là chính xác và tin cậy.

Kết quả của nghiên cứu này mới chỉ ứng dụng mô hình ANN để dự báo lượng chuyển dịch thẳng đứng võ Trái đất mà chưa xác định được lượng chuyển dịch theo chu kỳ (ví dụ lượng chuyển dịch theo năm). Ưu điểm của phương pháp đã đề xuất đó là có thể dự báo được lượng chuyển dịch cho khoảng thời gian tương đối dài (175 ngày - tương ứng với 175 epoch như trong hình 3) có thể được sử dụng để dự báo chuyển dịch đặc biệt trong quan trắc chuyển dịch của các công trình.

4. Kết luận

Chuyển dịch thẳng đứng bề mặt đất có liên quan mật thiết đối với tai biến thiên nhiên như mực nước biển dâng, ngập lụt và xâm nhập mặn cũng như làm ảnh hưởng đến các công trình trong trường hợp giá trị nâng lên/ sụt lún vượt quá giới hạn cho phép, do đó nghiên cứu phương pháp để dự đoán chuyển dịch nâng lên/ sụt lún bề mặt một cách chính xác và tin cậy luôn được đặt ra.

Trong số các loại dữ liệu phục vụ xác định chuyển dịch thẳng đứng bề mặt thì dữ liệu GNSS cho kết quả xác định chuyển dịch với độ chính xác cao nhất. Bên cạnh đó, với chuỗi dữ liệu GNSS theo thời gian cho phép nâng cao độ chính xác xác định chuyển dịch cũng như quy luật chuyển dịch thẳng đứng võ Trái đất.

Sử dụng mô hình ANN để dự báo chuyển dịch thẳng đứng võ Trái đất cho độ chính xác cao thể hiện qua các chỉ tiêu sai số như trong nghiên cứu này đó là giá trị MAE là 0,005, giá trị MSE là 0,0004 và giá trị RMSE là 0,006. Tuy nhiên, độ lệch giá trị chuyển dịch thẳng đứng xác định được trong nghiên cứu này vẫn còn lớn, có thể còn tồn tại nhiều trong chuỗi giá trị chuyển dịch xác định được thông qua phân tích chuỗi dữ liệu GNSS theo thời gian. Trong thời gian tới cần tiếp tục nghiên cứu lọc bỏ nhiễu trong chuỗi dữ liệu đầu vào để nâng cao hơn nữa độ chính xác và độ tin cậy của việc dự báo chuyển dịch thẳng đứng sử dụng mô hình ANN cũng như các mô hình học máy, trí tuệ nhân tạo khác.

Nghiên cứu này mới chỉ dự báo chuyển dịch thẳng đứng thuần túy dựa vào các giá trị tọa độ theo thời gian mà chưa xét đến các yếu tố liên quan ví dụ như các yếu tố khí tượng, sự thay đổi của mực nước ngầm Trong thời gian tới, cần tiếp tục nghiên cứu phát triển mô hình

ANN đã đề xuất đề dự báo chuyên dịch thẳng đứng với nhiều loại dữ liệu đầu vào hơn. Tuy nhiên, với những kết quả đã đạt được, mô hình ANN đã được đề xuất trong bài báo này hoàn toàn có thể được áp dụng để dự báo chuyên dịch thẳng đứng vỏ Trái đất dựa trên dữ liệu GNSS-CORS tại Việt Nam; đặc biệt là đối với vùng đồng bằng sông Cửu Long và thành phố Hồ Chí Minh, những nơi mà hiện tượng sụt lún có ảnh hưởng khá nghiêm trọng đối với các yếu tố kinh tế - xã hội nơi đây.

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

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. Teferle, F.N.; Bingley, R.M.; Williams, S.D.P.; Baker, T.F.; Dodson, A.H. Using continuous GPS and absolute gravity to separate vertical land movements and changes in sea-level at tide-gauges in the UK, *Phil. Trans. R. Soc. A* **2006**, *364*, 917–930. Doi:10.1098/rsta.2006.1746.
2. Hasanuddin, Z.A.; Heri, A.; Irwan, G.; Yoichi, F.; Yusuf, E.P.; Deguchi, T. Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development. *Nat. Hazards* **2011**, *59*, 1753–1771. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9866-9>.
3. Beibei, C.; Huili, G.; Xiaojuan, L.; Kunchao, L.; Lin, Z.; Mingliang, G.; Chaofan, Z. Characterization and causes of land subsidence in Beijing, China. *Int. J. Remote Sens.* **2016**, *38*(3), 808–826. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2016.1259674>.
4. Hai-Min, L.; Shui-Long, S.; Annan, Z.; Jun, Y. Risk assessment of mega-city infrastructures related to land subsidence using improved trapezoidal FAHP. *Sci. Total Environ.* **2019**, 135310. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135310>.
5. Omid, R.; Fatemeh, F.; Seyed, A.N.; Trent, B.; Milad, S.; Ravinesh, C.D.; Artemi, C.; Farnoush, M.; Dieu, T.B. Land subsidence modelling using tree-based machine learning algorithms. *Sci. Total Environ.* **2019**, 239–252. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.496>.
6. Xiaojun, Q.; Tianxing, C.; Philippe, T.; Jason, L. Land subsidence with tide gauge, radar altimetry and GNSS: A case study at subsiding coast in Texas. Proceedings of the 34th International technical meeting of the satellite division of the institute of navigation, 2021, 3956–3962.
7. Siemuri, A.; Kuusniemi, H.; Elmusrati, M.S.; Välisuo, P.; Shamsuzzoha, A. Machine Learning Utilization in GNSS—Use Cases, Challenges and Future Applications. Proceeding of the 2021 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), Tampere, Finland, 2021, pp. 1–6. Doi: 10.1109/ICL-GNSS51451.2021.9452295.
8. Kiani, M. On GNSS residual position time series prediction and analysis using radial basic function networks machine learning. Second international conference on Development of Materials engineering technology, mining, and geology, 2020.
9. Duy, N.B.; Dinh, H.T.M.; Francesco, S.; Steffen, D.; Ramon, H. Measuring Land subsidence in Ha Noi city by means of Radar Interferometry technique Using TerraSAR-X and Cosmos SkyMed Data. Proceeding of the 7th FIG Regional Conference, Spatial Data Serving People: Land Governance and the Environment - Building the Capacity, 2009.

10. Dương, N.A.; Fumiaki, K.; Tô, T.Đ.; Xuyên, N.Đ.; Nguyễn, P.Đ.; Hải, V.Q.; Công, D.C. Đánh giá chuyển động hiện đại đới đứt gãy Lai Châu - Điện Biên sử dụng chuỗi số liệu đo GPS 2002 - 2010. *Tap chí Các khoa học về trái đất* **2011**, 33(3), 690–694.
11. Khắc, Đ.V.; Kiên, N.C.; Teferle, F.N.; Bingley, R.M.; Williams, S.D.P.; Baker, T.F.; Dodson, A.H. Using continuous GPS and absolute gravity to separate vertical land movements and changes in sea-level at tide-gauges in the UK. *Phil. Trans. R. Soc. A* **2006**, 364, 917–930. Doi:10.1098/rsta.2006.1746.
12. Anh, T.V.; Cuong, T.Q.; Anh, N.Đ.; Dinh, H.T.M.; Anh, T.T.; Hung, N.N.; Linh, L.T.T. Application of PSInSAR method for determining of land subsidence in Hanoi city by Cosmo-SkyMed imagery. International Conference on GeoInformatics for Spatial-Infrastructure Development in Earth & Allied Sciences (GIS-IDEAS), 2016.
13. Dinh, H.T.M.; Cuong, T.Q.; Nhan, P.Q.; Trung, D.T.; Anh, N.D.; El-Moussawi, I.; Thuy L.T. Measuring Ground Subsidence in Ha Noi Through the Radar Interferometry Technique Using TerraSAR-X and Cosmos SkyMed Data. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* **2019**, 2(10), 3874–3884. Doi:10.1109/JSTARS.2019.2937398.
14. Luyen, B.K.; Phong, L.V.V.; Phuong, D.D.; Long, N.Q.; Hai, P.V.; Ha, T.H.; Lei, X. Recent land deformation detected by Sentinel-1A InSAR data (2016–2020) over Hanoi, Vietnam, and the relationship with groundwater level change. *GISci. Remote Sens.* **2021**, 58(2), 161–179. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1868198>.
15. Minh, L.H.; Hung, V.T.; Jyr-Ching, H.; Minh, N.L.; Bor-Shouh, H.; Horng-Yue, C.; Thang, N.C.; Thanh, N.H.; Thanh, L.T.; Mai, N.T.; Hong, P.T.T. Contemporary movement of earth's crust in the northwestern Vietnam by continuous GPS data. *VN J. Earth Sci.* **2020**, 42(4), 334–350. <https://doi.org/10.15625/0866-7187/42/4/15282>.
16. Trọng, N.G.; Nghĩa, N.V.; Khải, P.C.; Thành, N.H.; Hà, L.L.; Dũng, V.T.; Quân, N.V.; Quang, P.N. Xác định chuyển dịch trên phạm vi lãnh thổ Việt Nam dựa vào dữ liệu của các trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 739, 59–66. Doi: 10.36335/VNJHM.2022(739).59-66.
17. Trọng, N.G.; Nghĩa, N.V.; Hà, L.L.; Thành, N.H.; Dũng, V.T.; Quân, N.V.; Trong, B.H. Nghiên cứu đề xuất mô hình tính vận tốc chuyển dịch thẳng đứng được xác định bằng công nghệ GNSS. Kỷ yếu Hội nghị khoa học toàn quốc Trái đất, Môi trường bền vững lần thứ V, 2022, tr. 392–399. Doi: 10.15625/vap.2022.0192.
18. Lau, N.N.; Richard, C.; Hoa, H.M. Determination of tectonic velocities of some continuously operating reference stations (CORS) in Vietnam 2016 - 2018 by using precise point positioning. *VN J. Earth Sci.* **2020**, 43(1), 1–12. <https://doi.org/10.15625/0866-7187/15571>.
19. Trong, T.D.; Huy, N.D.; Quang, V.N.; Long, N.Q. Crustal displacement in Vietnam using CORS data during 2018 - 2021. *Earth Sci. Res. J.* **2023**, 27(1), 27–36. <https://doi.org/10.15446/esrj.v27n1.102630>.
20. Trong, T.Đ.; Long, N.Q.; Huy, N.Đ. (2021). General geometric model of GNSS position time series for crustal deformation studies - A case study of CORS station in Vietnam. *J. Pol. Miner. Eng. Soc.* **2021**, 2(1), 183–198. <https://doi.org/10.29227/IM-2021-02-16>.
21. Khai, P.C.; Trong, T.Đ.; Hai, N.V. GNSS-CORS-Based technology for real-time monitoring of landslides on water dump - A case study at the Deo Nai south dump, Vietnam. *J. Pol. Miner. Eng. Soc.* **2020**, 1(2), 181–191. <http://doi.org/10.29227/IM-2020-02-23>.
22. Linh, N.T. Nghiên cứu giải pháp công nghệ quan trắc chuyển vị công trình cầu trong điều kiện Việt Nam. Luận án tiến sĩ Kỹ thuật trắc địa - bản đồ, Trường Đại học Mở - Địa chất, 2022.

23. Long, N.Q. Đánh giá khả năng ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo dự báo lún bề mặt mỏ do khai thác hầm lò. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất* **2016**, 55, 79–88.
24. Robert, J.S. Artificial Neural Networks. McGraw-Hill New York, 1997.
25. Jacek, M.Z. Introduction to artificial neural systems. West publishing company St. Paul, 1992, 8, pp. 754.

Analysis of land vertical movement using ANN function from the results of processing GNSS time series data

**Dương Văn Phong¹, Nguyễn Gia Trọng^{1,2*}, Nguyễn Văn Chiên³, Nguyễn Hà Thanh⁴,
Ly Lam Hà⁵, Nguyễn Việt Quan⁶, Phạm Ngọc Quang^{1,2}**

¹ Faculty of Geomatics and Land administration, Hanoi University of Mining and Geology; nguyengiatrong@humg.edu.vn; duongvanphong@humg.edu.vn; phamngocquang@humg.edu.vn

² Geodesy and Environment research group, Hanoi University of Mining and Geology; nguyengiatrong@humg.edu.vn

³ Phu Long Real Estate Joint Stock Company; mchoangchien@gmail.com

⁴ Vietnam Academy of Science and Technology; hathanh5984@gmail.com

⁵ Department of Economy and Infrastructure of Cam Lam district, Khanh Hoa province; funnylams@gmail.com

⁶ Department Of Survey, Mapping and Geographic Information Vietnam; vietquan2407@gmail.com

Abstract: Vertical displacement is the change in elevation of the land surface which is mainly caused by tectonic activities. The variation of surface's height is closely related with the natural disaster phenomena such as sea level rise, inundation or saline intrusion. There are many ways of determining the vertical displacement such as geometric elevation, using GNSS data and SAR. In this research, the authors determine the vertical displacement of CTHO station that belong to VNGEONET network through analysing the GNSS data series by using Gamit/Globk software package. To analyze the above data series, a new method for predicting the land vertical displacement using ANN (Artificial Neuron Network) model with input data is the GNSS data analysis results from Gamit/Globk. The experimental results show that the characteristics of the prediction error using the ANN model for high accuracy are expressed through the error criteria which are the MAE value of 0.005, the MSE value of 0.0004 and the RMSE value is 0.006.

Keywords: Land vertical movement; Land subsidence; GNSS time series; AI; ANN.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu phương pháp quy chuyển độ cao giữa hải đồ và bản đồ địa hình đáy biển dựa trên dữ liệu thủy triều tại khu vực Vịnh Bắc Bộ

Nguyễn Đình Hải¹, Nguyễn Gia Trọng^{2,3}, Phạm Văn Tuấn¹, Bùi Văn Tông^{1*}, Nguyễn Tiến Thành¹

¹ Đoàn Đo đạc biên vẽ hải đồ và Nghiên cứu biển, Quân chủng Hải quân;
hthhaim@gmail.com; tuandvlk53@gmail.com; tongd6@gmail.com;
nguyen.tien.thanh.navy@gmail.com

² Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất;
nguyengiatrong@humg.edu.vn

³ Nhóm nghiên cứu Trắc địa cao cấp - Môi trường, Trường Đại học Mỏ - Địa chất;
nguyengiatrong@humg.edu.vn

*Tác giả liên hệ: tongd6@gmail.com; Tel.: +84-899148655

Ban Biên tập nhận bài: 5/7/2023; Ngày phản biện xong: 7/8/2023; Ngày đăng bài: 25/8/2023

Tóm tắt: Bản đồ địa hình và hải đồ có ý nghĩa vô cùng quan trọng trong việc bảo vệ an ninh quốc phòng, chủ quyền biển đảo cũng như phát triển kinh tế xã hội. Sự chênh lệch giá trị độ cao trên bản đồ địa hình và hải đồ là một vấn đề đang được nhiều nhà khoa học quan tâm. Vấn đề đồng bộ hai giá trị này về cùng một mặt chuẩn trên diện rộng là rất khó khăn và vô cùng phức tạp. Để quy chuyển độ cao giữa bản đồ địa hình và hải đồ, các nhà nghiên cứu trước đây thường xác định độ chênh giữa độ cao hải đồ và bản đồ địa hình tại các trạm nghiệm triều rồi tiến hành nội suy tầng dày cho các điểm khác. Nghiên cứu sử dụng phương pháp quy chuyển độ cao hải đồ và bản đồ địa hình về một mặt chuẩn bằng phương pháp dự báo thủy triều nhiều năm, cụ thể là tại khu vực Vịnh Bắc Bộ ứng dụng mô hình Delft 3D. Kết quả thủy triều đạt độ chính xác cao và thiết lập được bản đồ phân bố A_0 . Tác giả đã tiến hành quy chuyển độ cao hai mảnh bản đồ trong khu vực nghiên cứu và nhận được kết quả tốt từ việc so sánh các giá trị lồng ghép và đo đạc thực tế với độ lệch không vượt quá 0,5 m. Độ lệch quy chuyển độ cao giữa hải đồ và bản đồ địa hình tại các điểm kiểm tra đạt ở mức 6 cm.

Từ khóa: Bản đồ địa hình; Hải đồ; Quy chuyển độ cao; Delft 3D.

1. Mở đầu

Hiện nay, hiệp đồng diễn tập giữa các đơn vị bộ binh và quân chủng Hải quân diễn ra thường xuyên và liên tục, mà bản đồ nói chung (bao gồm lục đồ và hải đồ) đóng vai trò cực kỳ quan trọng, nhất là giá trị địa hình khu vực giáp gianh giữa biển và đất liền, biển và đảo, nó có nghĩa quyết định quy mô tổ chức chiến thuật tác chiến, hướng và vị trí đổ bộ của các phương tiện chiến tranh. Tuy nhiên các giá trị về địa hình trên hai bản đồ này không được quy chuẩn về cùng một mặt phẳng nên việc khai thác ứng dụng hai loại bản đồ này rất khó khăn [1]. Qua quá trình nghiên cứu, khai thác khoa học công nghệ tiên tiến và cơ sở dữ liệu phong phú tại đơn vị, tác giả đã thử nghiệm xử lý lồng ghép giá trị độ sâu giữa bản đồ lục địa và bản đồ biển bằng phương pháp dự báo thủy triều nhiều năm tại khu vực Vịnh Bắc Bộ. Đây là khu vực có tính chất nhật triều, biên độ dao động lớn có thể lên tới 4,2 m và chịu ảnh

hường khá nhiều bởi yếu tố địa hình. Ngoài ra khu vực cửa vịnh là nơi giao thoa các tính chất triều nên thủy triều biến đổi khá phức tạp [2].

Dưới đây là một số khái niệm sử dụng trong nghiên cứu:

Số “0 hải đồ” hay còn gọi là số “0 độ sâu” sử dụng trong bản đồ biển, được lấy trùng với mực nước cực tiểu triều thiên văn (mực nước ròng thấp nhất có thể xảy ra), ở một số nước giá trị này được xác định bằng cách phân tích độ cao triều trong chuỗi độ cao nhiều năm (lý tưởng nhất là 19 năm) dự tính theo các hằng số điều hòa, rồi chọn lấy độ cao mực nước ròng thấp nhất trong số tất cả những độ cao dự tính trong những năm đó [1, 3].

Số “0 lục địa” là mực chuẩn dùng đo các độ cao trên đất liền như độ cao của đê, đập, cầu cảng... Được lấy trùng với mực nước biển trung bình nhiều năm [1, 3].

Như vậy để lồng ghép được giá trị độ sâu giữa 2 loại bản đồ với nhau thì cần tính được giá trị mực nước biển trung bình trong nhiều năm (A_0) theo mốc số “0 hải đồ” là có thể giải quyết được bài toán.

Hiện tại toàn bộ hải đồ khu vực Vịnh Bắc Bộ đều đã được Đoàn Đo đạc biên vẽ hải đồ và Nghiên cứu biển chuẩn hóa và biên tập với giá trị độ sâu lấy theo mốc “số 0 hải đồ”. Do đó để lồng ghép với lục đồ thì cần tính được giá trị mực nước trung bình nhiều năm tại từng vị trí là có thể lồng ghép hai loại bản đồ này với nhau. Tuy nhiên do điều kiện không cho phép nên giá trị A_0 khu vực ngoài khơi xa hay những trạm hải văn phụ quan trắc không được dài ngày, độ chính xác không cao. Do đó, giải pháp nghiên cứu đưa ra là sử dụng mô hình dự báo thủy triều, tiến hành dự báo dài hạn sau đó tính kết quả A_0 từng vị trí trên khu vực nghiên cứu, từ đó đưa ra được bản đồ phân bố mực nước trung bình nhiều năm toàn vùng nghiên cứu.

Tính toán, dự báo thủy triều là một trong những công việc cơ bản mà mỗi đơn vị, cơ quan, trung tâm nghiên cứu đều quan tâm. Sự phát triển của khoa học công nghệ cùng với việc ra đời của các mô hình toán đã làm cho việc tính toán, dự báo thủy triều trở nên đơn giản và dễ dàng hơn rất nhiều. Có thể kể đến các mô hình toán như: Mô hình MIKE (Đan Mạch), Delft 3D (Hà Lan)... Tuy nhiên, mỗi mô hình đều có những ưu và nhược điểm khác nhau, tùy thuộc vào đặc điểm và yêu cầu của bài toán để lựa chọn mô hình phù hợp. Nghiên cứu này lựa chọn mô hình Delft 3D Open source của viện nghiên cứu thủy động lực Hà Lan. Đây là mô hình cho phép người dùng có thể can thiệp, cải tiến, thêm các phương trình toán thông qua ngôn ngữ lập trình Python. Do đó, giá trị A_0 sẽ được tính toán trực tiếp trên mô hình toán mà không phải mất thời gian trích xuất dữ liệu và tính toán bằng công cụ ngoài.

Nghiên cứu ứng dụng mô hình thủy văn, thủy lực tại Việt Nam hết sức phong phú thông qua các công bố đã có. Xâm nhập mặn là một trong những loại thiên tai xảy ra khá phổ biến tại nước ta, các tác giả đã sử dụng mô hình MIKE, MIKE 3, MIKE 11 ... để nghiên cứu mô phỏng xâm nhập mặn cho các vùng cửa sông [4–9]. Trên cơ sở ứng dụng các mô hình MIKE 21 FM, MIKE 21 COUPLE các nhà nghiên cứu đã tính toán dòng chảy cho các vùng ven biển và ảnh hưởng của dòng chảy đối với các hình thái cửa sông ven biển [10–12].

Trong những năm gần đây, vấn đề quản lý và sử dụng tài nguyên nước được đặc biệt quan tâm nhằm sử dụng một cách bền vững và có hiệu quả nguồn tài nguyên này. Trong công trình [13], các tác giả đã sử dụng mô hình MIKE NAM, MIKE 11 HD để tính toán tài nguyên nước mặt cho vùng đồng bằng sông Cửu Long.

Là quốc gia chịu ảnh hưởng nặng nề của biến đổi khí hậu, nghiên cứu mô phỏng và xây dựng bản đồ ngập lụt được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm. Tác giả Nguyễn Xuân Tiến và nhiều người khác [14–15] đã áp dụng mô hình thủy văn, thủy lực mô phỏng lũ, ngập lụt cho một số hệ thống sông. Bên cạnh đó, các tác giả cũng tính toán được lượng xả lũ tối ưu trên cơ sở các mô hình nêu trên [14].

Để có thể quy chuyển được độ cao hải đồ với độ cao bản đồ địa hình, một vấn đề hết sức quan trọng đó là cần phải thiết lập được các mặt chuẩn mực nước biển như mặt “0” độ sâu, trung bình và mặt nước biển cao nhất. Trong các nghiên cứu [16–17] đã xác định được các bề mặt nêu trên đồng thời vẽ được bản đồ các bề mặt chuẩn mực nước biển trên cơ sở sử

dụng công cụ ArcGIS. Tuy nhiên trong các công trình nêu trên chưa bàn đến việc quy chuyển độ cao giữa hải đồ và bản đồ địa hình cho các bản đồ đã có.

Lương Thanh Thạch và nhiều người khác [18] đã nghiên cứu quy chiếu trị đo sâu địa hình đáy biển cho luồng hàng hải Lạch Huyện dựa trên các mô hình mặt biển đã được đề cập trong [16–17].

Trên cơ sở sử dụng mô hình MIKE 21 FM, tác giả [19] đã tiến hành quy chiếu trị đo sâu địa hình đáy biển dựa trên mô hình tính toán thủy triều và các mô hình mặt biển. Bản chất khi tính chuyển sử dụng mô hình MIKE để dự báo thủy triều sẽ lấy mặt chuẩn là chuẩn độ cao trên lục địa (hay chuẩn độ cao của bản đồ địa hình).

Từ các phân tích nêu trên có thể thấy, mặc dù đã có nhiều công trình nghiên cứu sử dụng mô hình thủy văn, thủy lực cho nhiều mục tiêu ứng dụng khác nhau nhưng chưa có công trình nào tại Việt Nam sử dụng mô hình thủy văn để quy chuyển giá trị độ cao giữa bản đồ địa hình và hải đồ. Mô hình Delft 3D cho phép dự báo thủy triều trên cơ sở số “0” hải đồ, dữ liệu địa hình và dữ liệu nghiệm triều. Nghiên cứu này sẽ sử dụng mô hình Delft 3D, dữ liệu thủy triều để quy chuyển độ cao giữa hải đồ và bản đồ địa hình cho khu vực thực nghiệm tại Vịnh Bắc Bộ, Việt Nam.

2. Giới thiệu về khu vực, dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực và dữ liệu thực nghiệm

Khu vực nghiên cứu của bài báo này bao gồm toàn bộ vùng nước của Vịnh Bắc Bộ với diện tích mặt nước khoảng 120.000 km² giới hạn bởi eo biển Quỳnh Châu rộng khoảng 35 km giữa bán đảo Lô Châu và đảo Hải Nam thuộc Trung Quốc và cửa chính của vịnh được xác định là đường thẳng từ đảo Côn Cỏ, tỉnh Quảng Trị, Việt Nam và mũi Oanh Ca, Hải Nam, Trung Quốc, rộng 110 hải lý (khoảng 200 km) [16]. Vị trí khu vực thực nghiệm được cho như trong hình 1.



Hình 1. Khu vực thực nghiệm thuộc Vịnh Bắc Bộ.

Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm:

- Số liệu độ sâu và đường bờ của khu vực nghiên cứu được trích xuất từ hải đồ tỷ lệ 1:25.000, 1:100.000 và 1:200.000 do Hải quân nhân dân Việt Nam xuất bản từ năm 2017 trở lại đây để làm dữ liệu đầu vào cho mô hình toán.

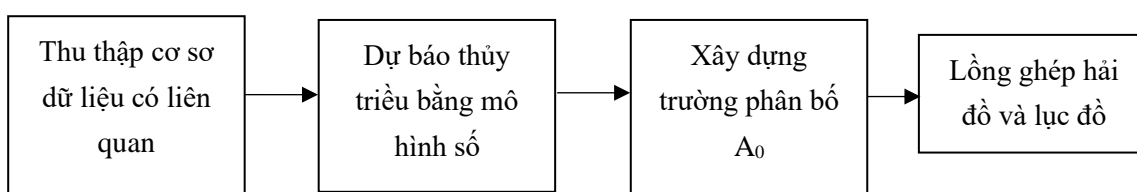
- Số liệu về dao động mực nước thu thập trong khuôn khổ dự án “Điều tra tổng hợp tài nguyên, môi trường vùng biển Tây Vịnh Bắc Bộ phục vụ phát triển kinh tế biển và quốc phòng an ninh” của Đoàn Đo đạc biên vẽ hải đồ và Nghiên cứu biển/ Bộ tham mưu Hải quân để hiệu chỉnh mô hình.

- Bảng thủy triều của Hải quân nhân dân Việt Nam xuất bản năm 2022 [20]. Cơ sở dữ liệu mực nước trung bình một số trạm ngoài khơi được khai thác trong phần mềm Total Tide của tổ chức thủy đạc quốc tế IHO [21].

- Các hằng số điều hòa thủy triều ở phía ngoài xa bờ được thu thập từ cơ sở dữ liệu FES2004 được dùng làm đầu vào cho các biên tính của mô hình [22].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu sử dụng trong bài báo này được thể hiện trong hình 2.



Hình 2. Phương pháp chuyển đổi độ cao giữa bản đồ địa hình và hải đồ.

Để thực hiện quy chuyển độ cao giữa bản đồ địa hình và độ cao hải đồ theo quy trình đề xuất trong hình 2, các phương pháp được sử dụng trong nghiên cứu gồm mô hình toán Delft 3D và xây dựng trường phân bố A_0 .

2.2.1. Mô hình toán Delft 3D

Bài báo nghiên cứu sử dụng modul Delft 3D-Flow trong hệ thống mô hình Delft 3D có cơ sở toán học như sau:

- Phương trình liên tục cho độ sâu trung bình của các điểm được xác định theo công thức:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \left[(d + \zeta) U \sqrt{G_{\eta\eta}} \right]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \left[(d + \zeta) U \sqrt{G_{\xi\xi}} \right]}{\partial \eta} = Q \quad (1)$$

Trong đó ξ, η là các hệ tọa độ trong hệ tọa độ cong trục giao; $\sqrt{G_{\xi\xi}}, \sqrt{G_{\eta\eta}}$ là các hệ số chuyển đổi từ hệ tọa độ cong trục giao sang hệ tọa độ Đề các; d : là độ sâu tại điểm tính (độ sâu của nước dưới đường chuẩn (0 hải đồ)); ζ là mực nước tại thời điểm tính (so với 0 Hải đồ); U, V lần lượt là các thành phần vận tốc trung bình theo các hướng ξ, η ; q_{in} và q_{out} lần lượt là các nguồn nước đưa vào và đưa ra trên một đơn vị thể tích; H là độ dày cột nước tại thời điểm tính ($H = \zeta + d$); P, E lần lượt là lượng mưa và bốc hơi.

Với Q thể hiện lượng thêm vào hay mất của nguồn nước thì sự bốc hơi và mưa trên 1 đơn vị diện tích:

$$Q = H \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + P - E \quad (2)$$

- Phương trình bảo toàn động lượng theo hướng ξ và η (tọa độ cong trục giao) như sau:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} - fv \\ & = -\frac{1}{\rho_0\sqrt{G_{\xi\xi}}} P_\xi + F_\xi + \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v_v \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + M_\xi \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial v}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} + fu \\ & = -\frac{1}{\rho_0\sqrt{G_{\eta\eta}}} P_\eta + F_\eta + \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v_v \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + M_\eta \end{aligned} \quad (4)$$

Trong đó ω là vận tốc theo hướng σ trong hệ tọa độ σ (m/s); f là tham số Coriolis (1/s); M_ξ, M_η : lần lượt là các ngoại lực theo các hướng ξ, η . Các giá trị P_ξ, P_η là gradient áp suất; F_ξ, F_η : là ứng suất Reynol; ρ_0 : là tỷ trọng của nước; u, v lần lượt là vận tốc dòng chảy theo hướng ξ, η (hay x, y); F là thông lượng rối (m/s^2); uv là thành phần nhớt theo phương thẳng đứng; M là mô men động lượng thêm vào hay mất đi.

2.2.2. Công thức tính giá trị A_0

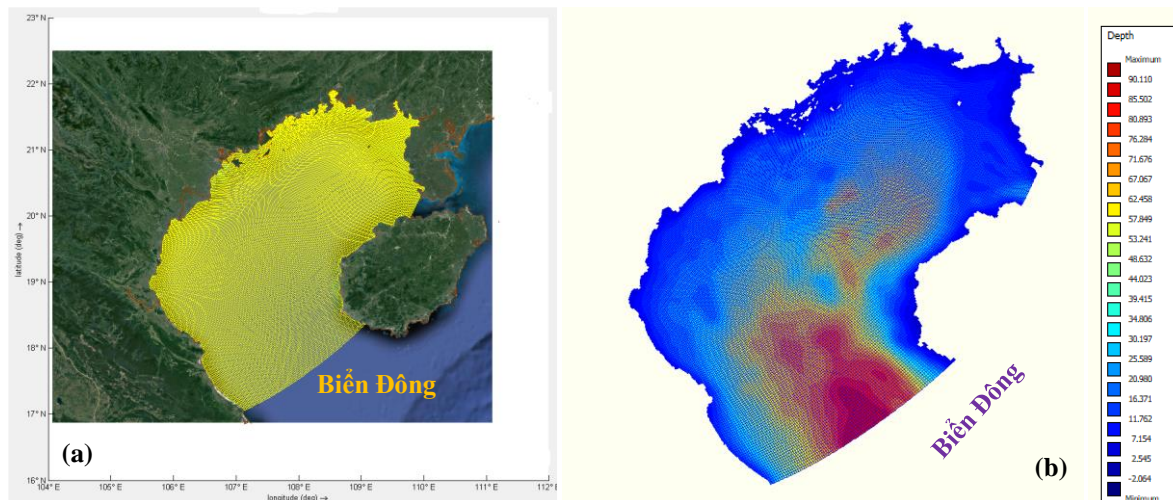
- Sau khi hiệu chỉnh mô hình đưa về giá trị thủy triều có độ chính xác cao thông qua các tham số hiệu chỉnh. Giá trị A_0 được xác định như sau:

$$A_0(i, j) = \frac{\sum_{t=0}^{t=n} \zeta(i, j)}{n} \quad (5)$$

Trong đó $A_0(i, j)$ là giá trị mực nước biển trung bình nhiều năm tại các điểm có tọa độ (i, j) theo mô hình toán tương ứng; $\zeta(i, j)$ là giá trị mực nước biển tức thời so với “0” hải đồ tại các điểm có tọa độ (i, j) theo mô hình toán tương ứng với thời gian $t = 1, n$; t là thời gian tương ứng; n là số lần ứng với thời gian 1 lần/ giờ.

2.3. Thiết lập mô hình tính toán thủy triều cho vùng biển Vịnh Bắc Bộ bằng mô hình Delft 3D

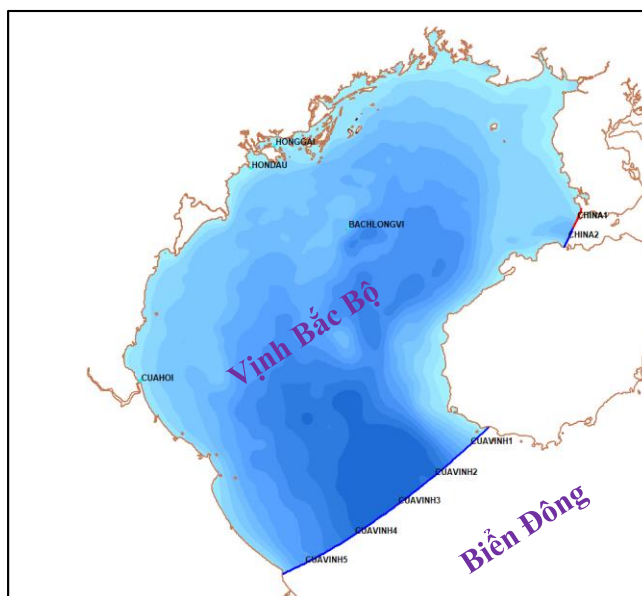
Mô hình toán học cho các loại dữ liệu được thiết lập trên hệ tọa độ WGS 84. Giới hạn về đường bờ được trích xuất từ hải đồ, miền tính được chia thành 443×536 điểm tính, kích thước các ô lưới biến đổi từ 120 m đến 500 m. Lưới độ sâu được thiết lập theo nội suy



Hình 3. (a) Lưới tính; (b) Lưới độ sâu.

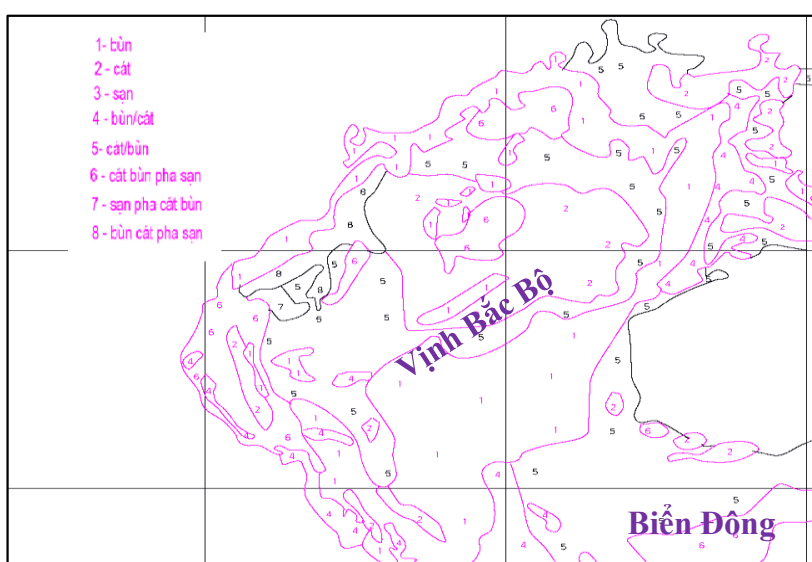
(Kriging) để đảm bảo mật độ điểm trong từng ô lưới (Hình 3a). Theo chiều thẳng đứng, toàn bộ cột nước được chia làm 5 lớp độ sâu theo hệ tọa độ σ (Hình 3b).

Mô hình thiết lập với 7 biên lỏng (tại eo Quỳnh Châu 2 biên, cửa vịnh 5 biên). Dữ liệu đầu vào các biên bao gồm: mực nước biển trung bình và 8 bộ hằng số điều hòa thủy triều đại diện cho các 8 sóng chính ($K_1, O_1, M_2, S_1, S_2, P_1, Q_1, N_2$). Quá trình truyền triều từ các biên vào trong đất liền dưới dạng độ cao mực nước được tính toán thời gian từ tháng 1/2000 đến 12/2022.



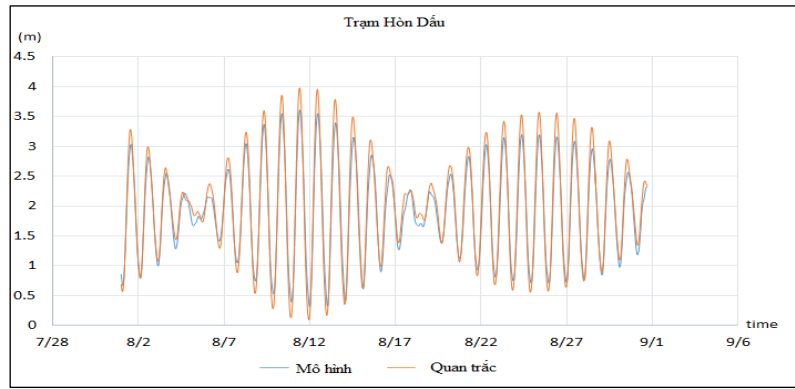
Hình 4. Vị các biên trên mô hình.

Do quá trình ảnh hưởng của địa hình nên trong bài báo này tác giả có sử dụng số liệu trầm tích đáy thu thập nhiều năm của Đoàn Đo đạc biên vẽ hải đồ và Nghiên cứu biển làm cơ sở tính toán hệ số nhám đáy Manning biến đổi từng miền theo tiêu chuẩn TCVN 10716:2015.



Hình 5. Phân vùng trầm tích khu vực Vịnh Bắc Bộ.

Các kết quả tính toán của mô hình như mực nước đã được hiệu chỉnh và kiểm định thông qua việc so sánh với số liệu quan trắc trong thời gian tương ứng. Kết quả tính toán dao động mực nước của mô hình, sau lần hiệu chỉnh cuối kết quả so sánh cho thấy đã có sự phù hợp cả về pha và biên độ giữa số liệu quan trắc và tính toán (Hình 4).



Hình 6. So sánh mực nước quan trắc và tính theo mô hình tại trạm Hòn Dấu tháng 8/2022.

Kết quả tính toán hệ số tương quan giữa mực nước quan trắc và tính toán dao động xác định được lần lượt là 0.93 đến 0.98, Sai số bình phương trung bình tương ứng lần lượt là 0,22 m và 0,20 m như thống kê trong Bảng 1.

Bảng 1. Bảng đánh giá theo chỉ số R và RMS.

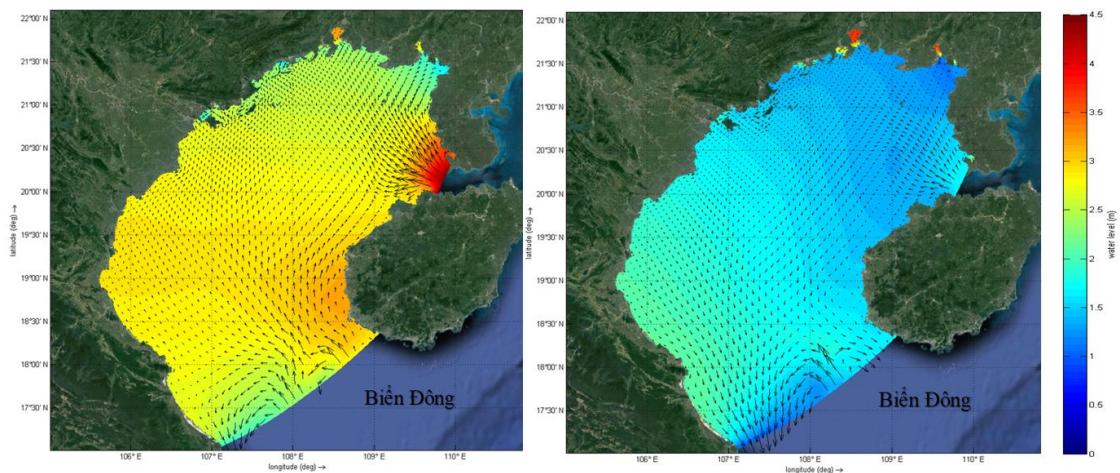
STT	Tên trạm	Chỉ số đánh giá	
		R	RMS
1	Hòn Dấu	0,98	0,2
2	Bạch Long Vĩ	0,95	0,22
3	Hồng Gai	0,96	0,22
4	Cửa Hội	0,93	0,26

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả tính toán thủy triều và giá trị A_0

3.1.1. Kết quả tính toán thủy triều khu vực Vịnh Bắc Bộ

Thủy triều khu vực Vịnh Bắc Bộ dao động với biên độ lớn ở khu vực phía Bắc với biên độ khoảng 3,8 m đến 4,2 m. Khu vực cửa vịnh thì biên độ nhỏ hơn dao động từ 1 m đến 1,5 m (Hình 7a, 7b). Kết quả tính toán thủy triều khu vực Vịnh Bắc Bộ có thể giúp ích cho các hoạt động quân sự, dân sự và đánh bắt cá ngư dân. Ngoài ra kết quả này cũng mang ý nghĩa quan trọng trong việc cải chính số đo sâu khi không có điều kiện nghiệm triều thực tế tại những khu vực khó khăn về khảo sát.



Hình 7. (a) Pha triều lên; (b) Pha triều xuống.

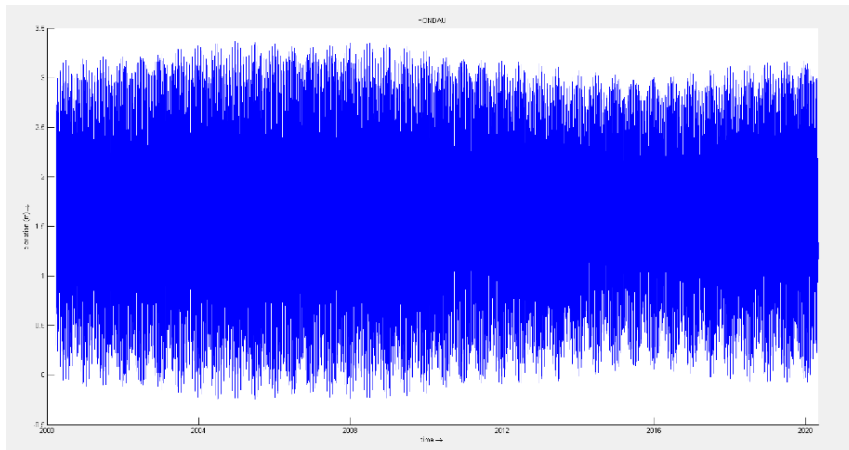
3.1.2. Kết quả tính giá trị A_0 phân bố theo không gian

Từ công thức xác định A_0 đã biết, xác định được giá trị A_0 tại các trạm nghiệm triều là Hòn Dấu, Hồng Gai, Cửa Hội với các giá trị được cho trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả so sánh giá trị A_0 tính toán và trong bản thủy triều của Hải quân nhân Việt Nam xuất bản năm 2022.

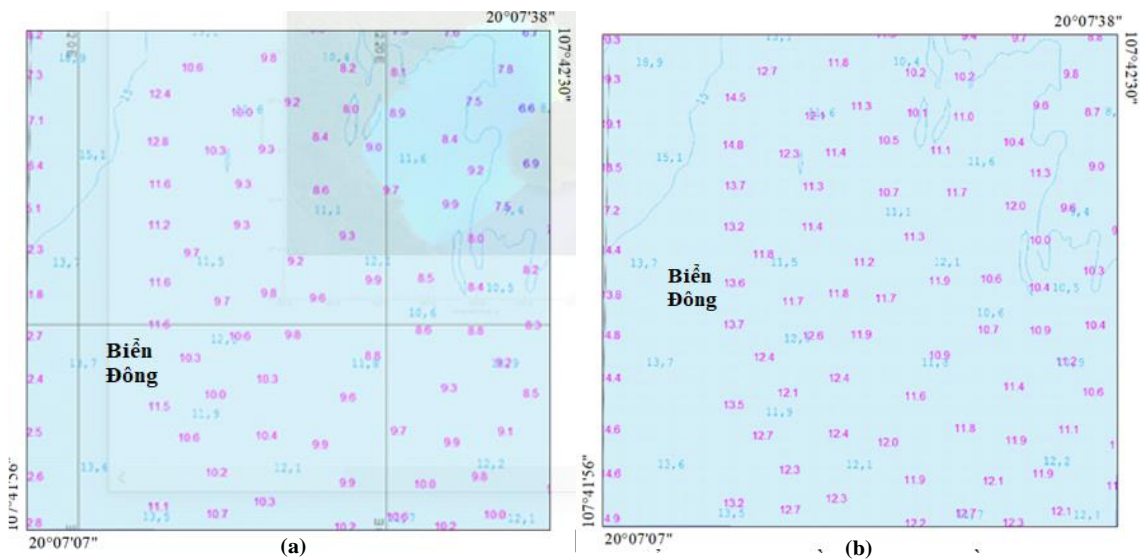
STT	Tên trạm	Mực nước trung bình A_0		Độ lệch (m)
		Tính toán (m)	Bảng thủy triều (m)	
1	Hòn Dấu	1,97	1,93	0,04
2	Hồng Gai	2,04	2,06	0,02
3	Cửa Hội	1,77	1,71	0,06

Từ kết quả cho trong bảng 2 có thể thấy, kết quả xác định mực nước trung bình với độ lệch 6 cm giữa giá trị của mô hình với giá trị cho trong bảng thủy triều là khá tốt. Tuy nhiên, do số trạm nghiệm triều còn ít nên chưa đánh giá được hết độ chính xác xác định mực nước trung bình của phương pháp này.



Hình 8. Kết quả dự báo thủy triều tại trạm Hồng Gai từ năm 2000 đến năm 2022.

Trên cơ sở hàm đã xác định được, tiến hành lập bản đồ giá trị A_0 cho toàn bộ Vịnh Bắc Bộ.



Hình 9. (a) Sự chênh lệch độ cao hải đồ (màu xanh) với độ cao lục địa (màu hồng); (b) Quy chuẩn độ cao hải đồ (màu xanh) về độ cao lục địa (màu hồng).

3.2. Kết quả quy chuyển độ cao giữa độ cao lục địa và độ cao hải đồ

Từ bản đồ A₀ đã thành lập được, tiến hành quy chuyển (làm khớp) giữa độ cao lục địa và độ cao hải đồ cho mảnh bản đồ có danh pháp I-25-055 tại khu vực đảo Bạch Long Vĩ với kết quả quy chuyển như trong hình 9a, 9b.

Kết quả so sánh giá trị độ cao cho các điểm trên bản đồ cho thấy, giá trị độ cao xác định được sau khi quy chuyển có độ lệch dao động từ 0,05 m đến 0,50 m. Đối chiếu với độ chính xác xác định độ sâu của bản đồ địa hình đáy biển cho thấy giá trị độ cao sau quy chuyển có độ chính xác nằm trong giới hạn cho phép.

4. Kết luận

Qua kết quả nghiên cứu và tính toán thực nghiệm, bài báo này đã xác lập được phương pháp quy chuyển độ cao giữa độ cao trên bản đồ địa hình và độ cao hải đồ bằng phương pháp dự báo thủy triều nhiều năm.

Kết quả dự báo thủy triều như bài báo đề xuất có thể sử dụng trong các công tác đo đạc ngoại nghiệp tại Đoàn Đo đạc, biên vẽ hải đồ và Nghiên cứu biển nói riêng, Quân chủng Hải quân và các đơn vị liên quan nói chung. Ngoài ra ra việc xác định giá trị A₀ được tính toán chi tiết rõ ràng cho từng phạm vi nhỏ trên khu vực. Kết quả quy chuyển độ cao cho thấy, độ chính xác xác định độ cao sau quy chuyển hoàn toàn đáp ứng yêu cầu xác định độ sâu trong thành lập địa hình đáy biển.

Hạn chế của nghiên cứu là chưa có nhiều số liệu kiểm chứng với các điểm thực đo khác, chỉ dừng lại ở hiệu chỉnh, kiểm định với 03 trạm hải văn: Hòn Dấu, Hồng Gai, Cửa Hội và số liệu thực đo tại trạm Bạch Long Vĩ.

Trong thời gian tới, cần tiếp tục đánh giá độ chính xác xác định độ sâu sử dụng phương pháp mà các tác giả đã đề xuất tại các vùng biển khác nhau tại Việt Nam.

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

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

Tài liệu tham khảo

1. Long, K.V.; Thạch, L.T.; Hiếu, T.V.; Thủy, Đ.X. Xây dựng mô hình mặt biển trung bình và mặt biển thấp nhất khu vực trên vùng biển Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* **2018**, 37, 20–32.
2. Tó, L.Đ. Hải dương học biển Đông. Nhà xuất bản đại học Quốc gia Hà Nội, 1999.
3. Phong, D.V.; Long, K.V.; Mong, Đ.V. Nghiên cứu xây dựng mô hình số mặt chuẩn độ sâu cho Biển Đông. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất* **2019**, 60(1), 79–86.
4. Long, B.T.; Diệp, L.T.M. Mô phỏng sự phụ thuộc xâm nhập mặn và các yếu tố thủy văn bằng MIKE3 – Trường hợp cửa sông Vệ, Quảng Ngãi. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 728, 1–16. doi:10.36335/VNJHM.2021(725).1-16.
5. Hồng, N.V.; Đông, N.P. Mô phỏng xâm nhập mặn các sông chính trên địa bàn tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu trong bối cảnh biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 728, 67–79. doi:10.36335/VNJHM.2021(728).67-79.
6. Tuệ, N.N.; Hà, N.T.; Phương, N.T.; Tiến, P.V.; Lộc, H.H.; Đại, H.V. Nghiên cứu ứng dụng mô hình MIKE để đánh giá ảnh hưởng của sự biến đổi khí hậu và nước biển dâng đến quá trình xâm nhập mặn ở các cửa sông lưu vực sông Vu Gia – Thu Bồn, Việt Nam. *Tạp chí Khoa học và công nghệ* **2018**, 124, 106–113.

7. Lam, Đ.H.; Phương, N.H.; Đạt, N.Đ.; Giang, N.T. Xây dựng mô hình MIKE 11 phục vụ công tác dự báo thủy văn và xâm nhập mặn tỉnh Bến Tre. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 740(1), 38–49. doi:10.36335/VNJHM.2022 (740(1)).38-49.
8. Đại, H.V.; Hiền, N.T.; Hiền, T.D.; Khánh, N.Q. Đánh giá độ nhạy một số tham số trong mô hình mô phỏng xâm nhập mặn hệ thống sông Mã. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 643, 24–28.
9. Hạnh, N.Đ.; Hải, O.T.; Hạ, L.A.; Anh, T.N.; Dur, N.H. Nghiên cứu xây dựng chương trình mô phỏng quá trình xâm nhập mặn hai chiều (2D). *Tạp chí Khoa học biến đổi khí hậu* **2014**, 17, 30–39.
10. Hương, P.T.; Quỳ, N.B.; Long, N.L. Ứng dụng mô hình MIKE 21 FM nghiên cứu ảnh hưởng của sóng và dòng chảy đến cửa sông Đà Rằng tỉnh Phú Yên. *Tạp chí Khoa học công nghệ hàng hải* **2011**, 27, 42–46.
11. Hồng, N.V.; Hoàng, T.T.; Vi, V.T.T.; Linh, H.T.M. Nghiên cứu tính toán dòng chảy khu vực cửa sông Cổ Chiên bằng mô hình MIKE 21 FM. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, 666, 21–25.
12. Khoa, L.V.; Tiến, P.V. Nghiên cứu dòng RIP ven biển Đà Nẵng bằng mô hình MIKE COUPLE. *Tạp chí Khoa học và công nghệ Đại học Đà Nẵng* **2017**, 5(1), 52–55.
13. Hà, N.N.; Trình, N.M.; Minh, H.T.N. Ứng dụng mô hình MIKE NAM, MIKE 11 HD tính toán tài nguyên nước mặt lưu vực sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 731, 54–68. doi:10.36335/VNJHM.2021(731).54-68.
14. Tiến, N.X.; Huân, H.L.; Toàn, P.T.; Linh, N.V. Xây dựng mô hình mô phỏng lũ và tính toán tối ưu xả lũ cho hệ thống hồ chứa ở vùng sông không ảnh hưởng triều. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 687, 23–31.
15. Tiến, N.X.; Sơn, N.T.; Linh, N.V. Áp dụng mô hình thủy văn, thủy lực mô phỏng ngập lụt hạ du sông Cà. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 710, 1–13. doi: 10.36335/VNJHM.2020(710).1-13.
16. Long, K.V. Nghiên cứu xác định các yêu cầu kỹ thuật đối với dữ liệu trắc địa, hải văn đảm bảo định vị dẫn đường cho tàu ngầm trong vùng biển Việt Nam. Luận án tiến sĩ kỹ thuật trắc địa - bản đồ, Trường Đại học Mở - Địa chất, 2019.
17. Hòa, H.M. Báo cáo tổng hợp kết quả nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ Đề tài cấp Nhà nước “Nghiên cứu đánh giá các mặt chuẩn mực nước biển (mặt “0” độ sâu, trung bình và cao nhất) theo các phương pháp trắc địa, hải văn và kiến tạo hiện đại phục vụ xây dựng các công trình và quy hoạch đới bờ Việt Nam trong xu thế biến đổi khí hậu”, mã số KC.09.19/11–15. 2015.
18. Thạch, L.T.; Định, N.A.; Hồng, N.T.; Hải, T.V. Quy chiếu trị đo sâu địa hình đáy biển dựa trên các mô hình mặt biển. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* **2020**, 43, 18–23.
19. Hồng, N.T.; Trang, N.T.; Thạch, L.T.; Định, N.A.; Hải, T.V.; Mong, Đ.V. Quy chiếu trị đo sâu địa hình đáy biển dựa trên mô hình tính toán thủy triều và các mô hình mặt biển. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* **2020**, 44, 16–24.
20. Hải quân nhân dân Việt Nam. Bảng thủy triều, 2022.
21. IHO. S44-IHO Standards for hydrographic surveys 2008.
22. Lyard, F.; Lefevre, F.; Letellier, T.; Francis, O. Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. *Ocean Dyn.* **2006**, 56, 394–415. <https://doi.org/10.1007/s10236-006-0086-x>.
23. Delft Hydraulics. Delft3D-FLOW User Manual, 2009.

Method for vertical datum conversion between nautical charts and topographic maps based on tidal data in the Gulf of Tonkin

Nguyen Dinh Hai¹, Nguyen Gia Trong^{2,3}, Pham Van Tuan¹, Bui Van Tong^{1*}, Nguyen Tien Thanh¹

¹ Viet Nam's people naval hydrographic and oceanographic department;
hthhaim@gmail.com; tuandvlk53@gmail.com; tongd6@gmail.com;
nguyen.tien.thanh.navy@gmail.com

² Faculty of Geomatics and Land administration, Hanoi University of Mining and Geology; nguyengiatrong@humg.edu.vn

³ Geodesy and environment research group, Hanoi University of Mining and Geology;
nguyengiatrong@humg.edu.vn

Abstract: Topographic maps and charts are extremely important in protecting national security, sovereignty over sea and islands as well as socio-economic development. The difference in elevation values on topographic maps and charts is a problem that many scientists are interested. The problem of synchronizing these two values to the same standard on a large scale is very difficult and extremely complex. In order to convert the altitude between topographic maps and charts, researchers in the past often determined the difference between the altitude of the chart and the topographic map at tidal stations and then interpolated the increase in thickness for other points. This paper proposes a method to convert the altitude of the chart and topographic map to a standard plane by multi-year tidal forecasting method, specifically in the Gulf of Tonkin using Delft 3D model. Tide results have high accuracy and A_0 distribution map is established. The author has carried out the elevation conversion of two map pieces in the study area and got good results from comparing the integrated values and actual measurements with a deviation of no more than 0.5 m. The altitude conversion deviation between the chart and topographic map at the test points is 6 cm.

Keywords: Topographic maps; Chart; Vertical datum transformation; Delft 3D.

Bài báo khoa học

Ứng dụng công cụ ước tính độ sâu ngập lũ (FwDET) để xây dựng bản đồ ngập lũ cho lưu vực sông La Tinh, tỉnh Bình Định

Trần Thanh Tùng^{1*}, Trần Đăng Hùng²

¹ Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy Lợi; t.t.tung@tlu.edu.vn

² Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; danghung2261991@gmail.com

*Tác giả liên hệ: t.t.tung@tlu.edu.vn; Tel.: +84–913229895

Ban Biên tập nhận bài: 3/7/2023; Ngày phản biện xong: 7/8/2023; Ngày đăng bài: 25/8/2023

Tóm tắt: Phân tích viễn thám thường được sử dụng để thành lập bản đồ ngập lũ cho những trận lũ lịch sử đã xảy ra trong quá khứ. Trong công tác quản lý và ứng phó với lũ lớn, lũ khẩn cấp, việc xây dựng bản đồ ngập lũ dựa trên tư liệu ảnh viễn thám rất có giá trị vì nó có thể cung cấp thông tin quan sát liên tục về mức độ ngập lũ trên các khu vực rộng lớn. Thông tin về độ sâu ngập trên toàn vùng rất quan trọng để đánh giá thiệt hại, cứu hộ và ưu tiên phân bổ nguồn lực cứu trợ. Công cụ ước tính độ sâu ngập do lũ (FwDET) đã được phát triển để có thể tính toán nhanh độ sâu nước dựa trên bản đồ vùng ngập lũ và mô hình số độ cao (DEM). Nghiên cứu đã thử nghiệm xây dựng bản đồ độ sâu ngập lũ cho lưu vực sông La Tinh, tỉnh Bình Định trong trận lũ lịch sử năm 2016 từ ảnh Sentinel 1 với các nhóm số liệu DEM khác nhau. Kết quả cho thấy công cụ FwDET có thể mô phỏng khá chính xác độ sâu ngập lũ và kết quả mô phỏng phụ thuộc khá nhiều vào chất lượng của số liệu DEM. Dữ liệu DEM ALOS 12,5 m cho kết quả mô phỏng tốt nhất và sát với thực tế nhất với giá trị $R^2 = 0,66$ so với dữ liệu DEM MERIT ($R^2 = 0,5$) và DEM SRTM ($R^2 = 0,12$).

Từ khóa: Độ sâu ngập lũ; FwDET; DEM; Sentinel 1; Sông La Tinh.

1. Mở đầu

Lũ lụt là một trong những loại hình thiên tai nghiêm trọng, được quan tâm nghiên cứu khá nhiều trên thế giới. Trong các báo cáo đánh giá thảm họa toàn cầu, lũ lụt luôn được xếp hạng trong số các thảm họa thiên nhiên có sức tàn phá nặng nề nhất. Đặc biệt, tần suất và mức độ nghiêm trọng của lũ lụt dự kiến sẽ tăng lên đối với hầu hết các nơi trên thế giới do các tác động của biến đổi khí hậu [1], cùng với sự gia tăng dân số. Do đó, những đánh giá nhanh về mức độ và tác động của lũ bằng cách sử dụng các vệ tinh quan sát Trái đất là rất cần thiết.

Hiện nay công tác giám sát, phân tích và dự báo lũ lụt thường dựa trên các mô hình thủy văn, thủy động lực và phân tích viễn thám. Việc áp dụng các công cụ và kỹ thuật này cho các sự kiện lũ lụt ven biển thường gặp khó khăn do độ dốc địa hình thấp, cơ chế lũ lụt khác nhau và các tương tác ven sông - ven biển phức tạp. Các mô hình thủy động lực học thường dựa vào dữ liệu địa hình để mô phỏng động lực học chất lỏng (ví dụ: các mô hình GSSHA và LISFLOOD-FP) [2]. Độ biến thiên thấp của địa hình ven biển làm tăng yêu cầu về dữ liệu DEM có độ phân giải cao (ví dụ: DEM lidar), tuy nhiên điều đó có thể tăng thời gian chạy và tính toán của mô hình.

Phân tích lũ lụt dựa trên viễn thám có thể được sử dụng để nhanh chóng tạo ra các bản đồ phạm vi lũ lụt trong thời gian gần như thực. Viễn thám có những lợi thế đáng kể so với các phương pháp mô hình hóa, đặc biệt là đối với ứng phó khẩn cấp và phân tích quy mô lớn, đặc biệt là ở các vùng ven biển nơi mô phỏng mức độ lũ lụt chính xác có thể gặp khó khăn

[3]. Tuy nhiên, những nhược điểm của phương pháp viễn thám bao gồm các hạn chế về tính khả dụng của hình ảnh và thời gian thu nhận, độ phân giải thô, độ che phủ của mây (đối với cảm biến quang học), tính phi tuyến tính trong phản xạ tín hiệu (đặc biệt đối với cảm biến radar) và tầm nhìn bị che khuất bởi thảm thực vật, địa hình, tòa nhà và bóng của chúng. Viễn thám cũng không thể dễ dàng sử dụng để lập bản đồ độ sâu của nước.

Thông tin kịp thời về độ sâu của nước lũ rất quan trọng để chỉ đạo các nguồn lực cứu hộ và cứu trợ cũng như xác định khả năng tiếp cận. Khi có sẵn thông tin về độ sâu lũ lụt cũng có thể được sử dụng để phân tích thiệt hại tài sản và đánh giá rủi ro lũ lụt [4–6]. Một số phương pháp định lượng độ sâu nước lũ sử dụng bản đồ lũ lụt dựa trên viễn thám đã được đề xuất. Tác giả [6] kết hợp bản đồ phạm vi ngập lũ với mô phỏng thủy động lực học. Mặc dù đưa ra kết quả chính xác nhưng phương pháp này tốn nhiều dữ liệu và thời gian tính toán, do đó cản trở khả năng sử dụng của nó đối với các ứng dụng quy mô lớn, khan hiếm dữ liệu và gần thời gian thực. Tác giả [7] phát triển mô hình tính toán độ sâu nước lũ dựa trên phạm vi lũ lụt và các lớp DEM có độ phân giải cao. Tác giả [8] sử dụng một khái niệm tương tự nhưng thay vì các mặt cắt ngang, công cụ ước tính độ sâu nước lũ (*FwDET*) của họ xác định độ cao mực nước lũ cho mỗi ô trong miền ngập lũ dựa trên ranh giới ô lũ gần nhất của nó. Do đó, *FwDET* loại bỏ nhu cầu về dữ liệu thực địa trong khi vẫn duy trì khả năng sử dụng của nó với các bản đồ phạm vi lũ lụt phức tạp và phân mảnh từ bất kỳ nguồn và độ phân giải nào.

Tại Việt Nam, tác giả [9] đã xây dựng bản đồ ngập lũ hạ lưu các hệ thống sông Bến Hải và Thạch Hãn tỉnh Quảng Trị từ các kết quả mô phỏng bằng mô hình thủy lực kết nối 1-2 chiều MIKE FLOOD. Mô hình 1 chiều được xây dựng cho mạng lưới sông kênh Bến Hải và Thạch Hãn có tính đến trao đổi nước thông qua sông Cánh Hòm và sông Vĩnh Định ở khu vực hạ lưu. Miền tính của mô hình 2 chiều bao trùm toàn bộ các đồng bằng ngập lũ và vùng cát ven biển. Bộ mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm định với các trận lũ lịch sử năm 2005 và 1999.

Năm 2012, tác giả [10] đã áp dụng thành công mô hình EFDC để tính toán, mô phỏng diện tích ngập, độ sâu ngập tại các vị trí thuộc vùng hạ lưu sông Ba để phục vụ công tác dự báo, cảnh báo và phòng chống lũ. Nghiên cứu đã xây dựng bộ bản đồ cảnh báo lũ ứng với trận lũ năm 2009 và ứng với các tần suất 1%, 2%, 5% và 10%. Tác giả [11] đã xây dựng bản đồ ngập lũ hạ du hồ chứa nước Ea Drăng với các kịch bản xả lũ. Nghiên cứu đã sử dụng bộ công cụ HEC-HMS, HEC-RAS và GIS để dự báo lũ, lụt và cung cấp được các thông tin rất quan trọng như phạm vi ngập, diện tích ngập, độ sâu ngập ứng với các cấp xả lưu lượng của hồ chứa và mưa trên lưu vực.

Tác giả [12] nghiên cứu ứng dụng mô hình MIKE 11 và MIKE FLOOD để mô phỏng nguy cơ ngập lũ, sau đó kết hợp với công nghệ bản đồ (ArcGIS) xác định giá trị thiệt hại do ngập tương ứng. Trong đó, mức độ thiệt hại được phân chia theo hộ dân, hộ kinh doanh và đơn vị sản xuất theo đơn vị hành chính của thành phố. Giá trị thiệt hại tương ứng với độ sâu ngập của từng vùng đã được chỉ ra trong nghiên cứu này và sẽ được ứng dụng để quản lý rủi ro do ngập lũ cho vùng nghiên cứu.

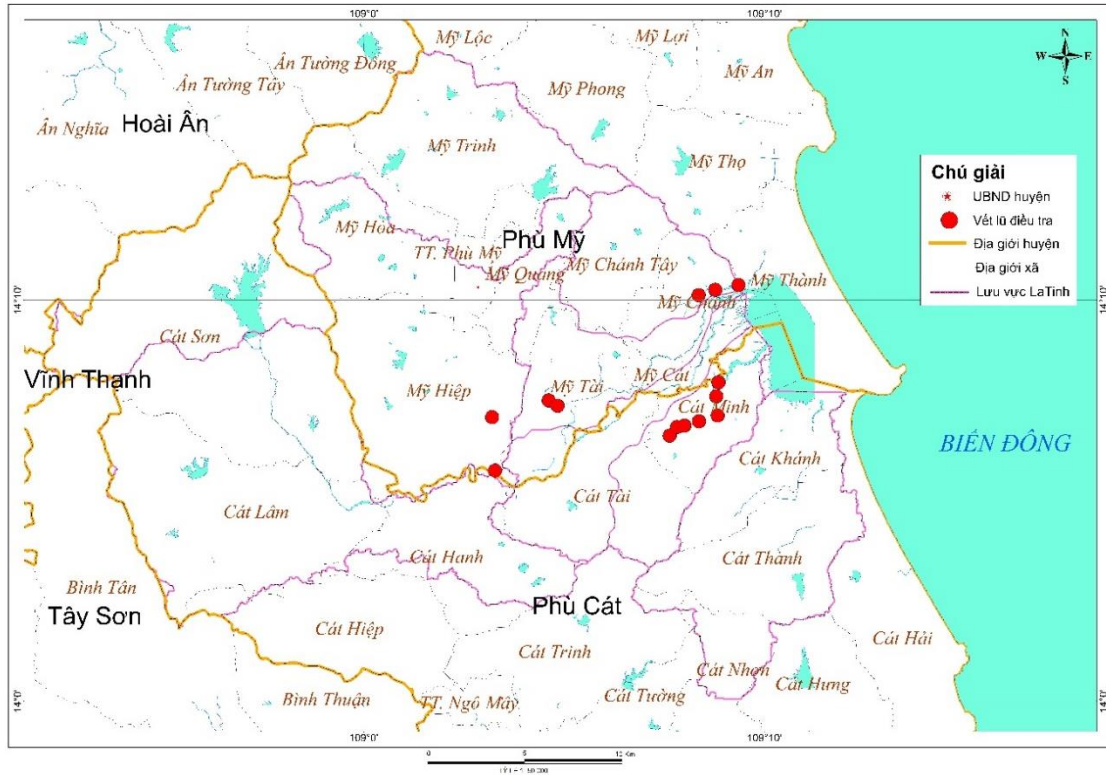
Tác giả [13] đã ứng dụng mô hình MIKE FLOOD mô phỏng và xây dựng bản đồ ngập lũ cho vùng hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai. Mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm định với các năm lũ lớn năm 1999 và 2000. Bộ mô hình đã được sử dụng để mô phỏng và đánh giá mức độ ngập do lũ theo các kịch bản tổ hợp của các nguyên nhân gây ngập lũ như: xả lũ hồ chứa, lũ thượng nguồn, mưa lớn và triều cường. Những nghiên cứu trên cho thấy công tác giám sát, phân tích ngập lũ tại Việt Nam chủ yếu đang tiếp cận theo hướng sử dụng các mô hình thủy văn, thủy lực, chưa có phương pháp tiếp cận mới để rút ngắn thời gian tính toán, đáp ứng tốt hơn nhu cầu về thông tin cho các cấp quản lý thiên tai.

Với những ưu điểm về tốc độ tính toán và không yêu cầu về dữ liệu vết lũ, có thể phục vụ để đánh giá nhanh trên phạm vi rộng lớn cũng như gần thời gian thực. Bài báo thử nghiệm sử dụng mô hình *FwDET* để xây dựng bản đồ độ sâu ngập lũ lưu vực sông La Tinh cho trận lũ lịch sử năm 2016 với dữ liệu phạm vi ngập lũ được giải đoán từ ảnh vệ tinh Sentinel 1.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu thu thập

2.1. Phạm vi và không gian nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là lưu vực sông La Tinh với khu vực hạ du là một trọng điểm thường xuyên bị ngập lũ. Các sông đều có phần thượng lưu dốc, mạng lưới sông suối phát triển hình nan quạt, khả năng tập trung nước lũ nhanh. Mặt khác, vùng đồng bằng nhỏ hẹp và bị các dải cát ven biển che chắn ngăn cản việc thoát lũ và gây ra ngập lũ ở vùng đồng bằng.



Hình 1. Bản đồ lưu vực sông La Tinh.

2.2. Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu

2.2.1. Dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel 1

Trận lũ lịch sử từ ngày 11 tháng 12 đến ngày 20 tháng 12 năm 2016, bài báo thu thập 2 ảnh Sentinel 1 cho các thời điểm trước và trong trận lũ lịch sử [14].

Bảng 1. Dữ liệu ảnh thu thập phục vụ cho nghiên cứu.

TT	Ngày nhận ảnh	Loại ảnh	Độ phân giải	Tên ảnh
1	7/11/2016	Sentinel 1	10m	COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1S DV_20161107T223608_20161107T22363
2	13/12/2016	Sentinel 1	10m	COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1S DV_20161213T223607_20161213T2

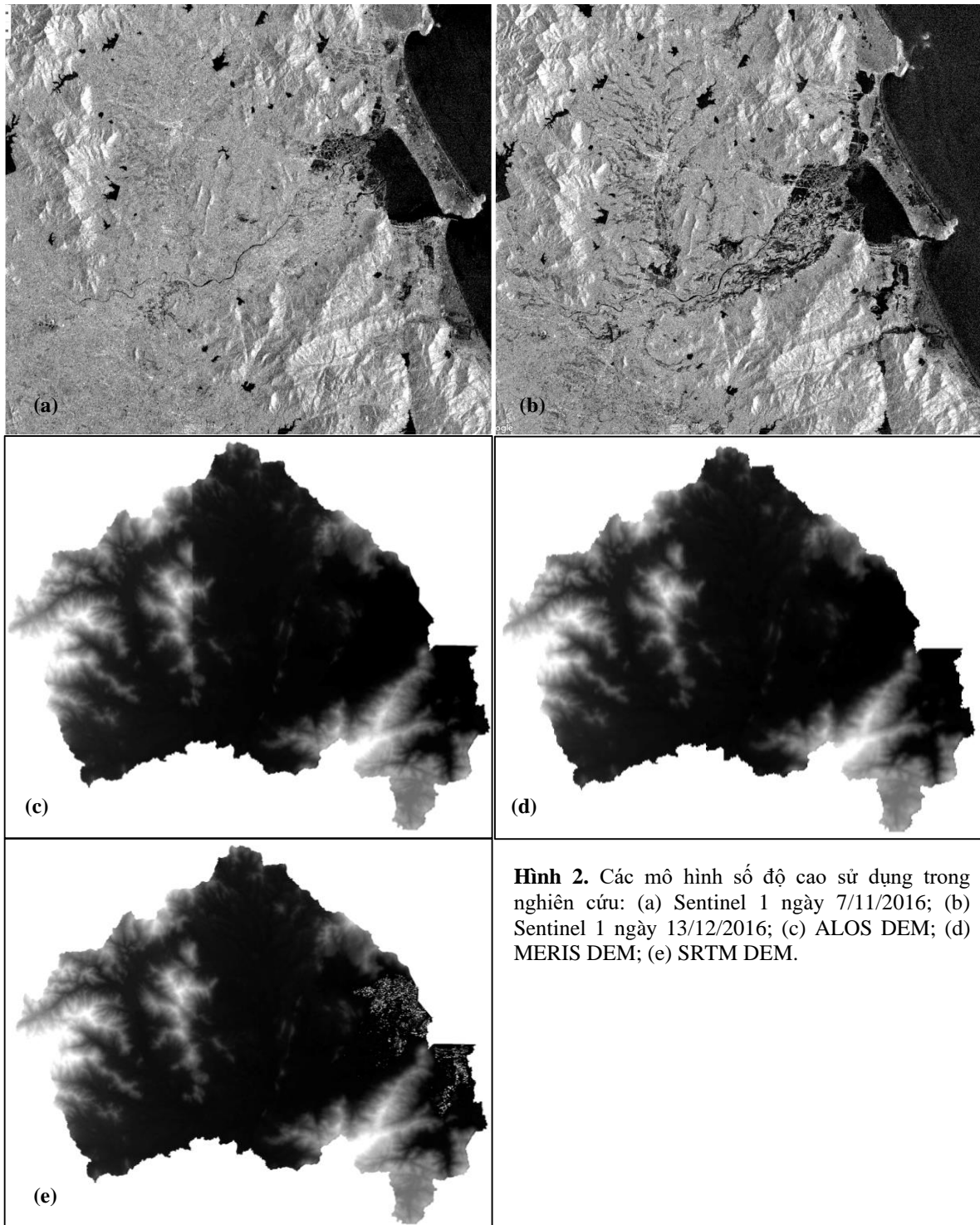
2.2.2. Số liệu mô hình số độ cao DEM

Để có thể đánh giá ảnh hưởng của dữ liệu DEM tới kết quả mô phỏng ngập lụt, bài báo đã tiến hành mô phỏng ngập lụt với 3 dữ liệu DEM khác nhau (Hình 2). Đây là 3 nguồn dữ liệu DEM toàn cầu, cung cấp miễn phí với độ phân giải tốt nhất hiện nay.

- SRTM DEM là mô hình số độ cao của Mỹ có độ phân giải không gian khoảng 30 m với độ phủ bao trùm gần hết thế giới và độ chính xác theo phương đứng là dưới 16 m [15].

- ALOS DEM là mô hình số độ cao có độ phân giải 12,5 mét được chụp bởi Cơ quan thám hiểm hàng không vũ trụ Nhật Bản (JAXA). Đây là bộ dữ liệu độ cao quy mô toàn cầu chính xác nhất hiện nay. Hệ thống sử dụng Vệ tinh quan sát Trái đất nâng cao DAICHI (ALOS) dựa trên cặp ảnh lập thể thu nhận từ cảm biến PRISM [16].

- MERIS DEM được phát triển bằng cách loại bỏ nhiễu thành phần lỗi (độ lệch tuyệt đối, nhiễu sọc, nhiễu đốm và độ lệch chiều cao cây) khỏi các DEM trong không gian hiện có (SRTM3 v2.1 và AW3D-30m v1). Nó thể hiện độ cao của địa hình ở độ phân giải 3 giây (~90m ở đường xích đạo) và bao phủ các vùng đất trong khoảng 90N-60S, được tham chiếu đến Geoid EGM96 [17].



Hình 2. Các mô hình số độ cao sử dụng trong nghiên cứu: (a) Sentinel 1 ngày 7/11/2016; (b) Sentinel 1 ngày 13/12/2016; (c) ALOS DEM; (d) MERIS DEM; (e) SRTM DEM.

2.2.3. Số liệu vết lũ

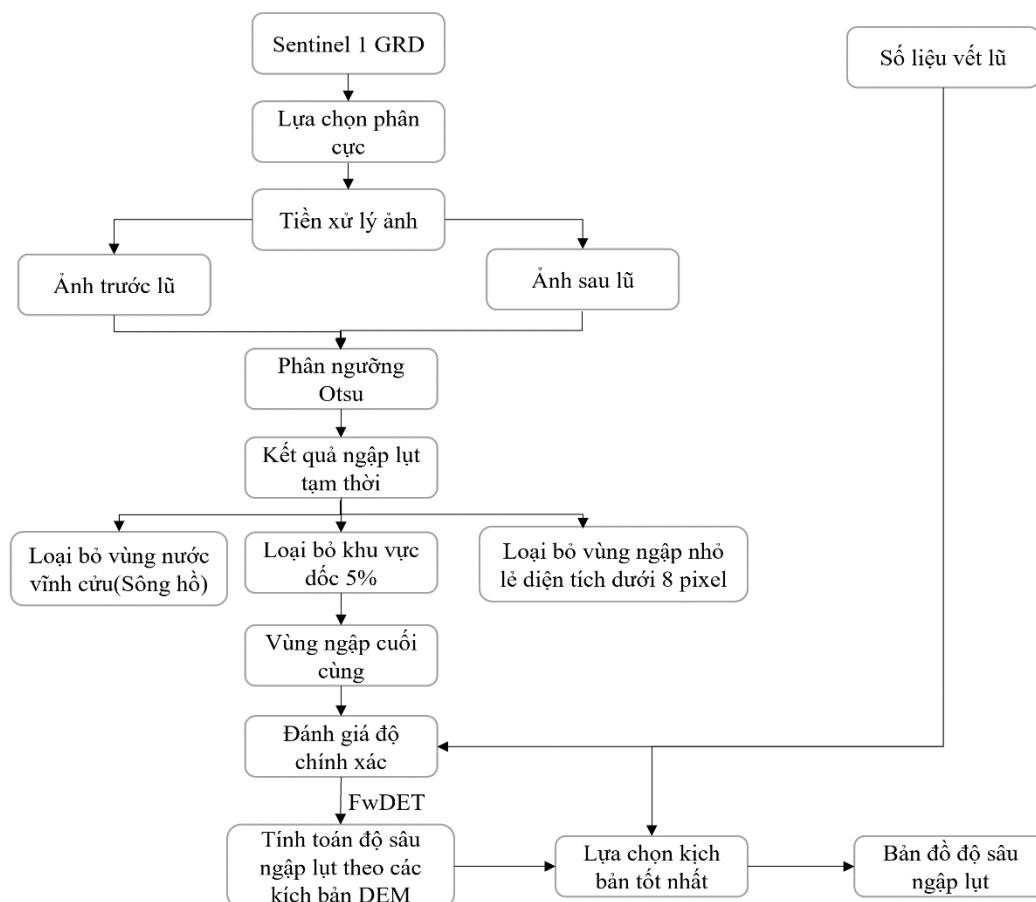
Để phục vụ đánh giá độ chính xác của kết quả giải đoán độ sâu ngập lũ, nghiên cứu đã sử dụng bộ số liệu điều tra vết lũ tháng 12/ 2016 trên lưu vực sông La Tinh do Chi cục Thủy lợi tỉnh Bình Định thực hiện [18]. Các số liệu khảo sát được trình bày tại Bảng 2.

Bảng 2. Số liệu vết lũ khảo sát năm 2016.

STT	X	Y	Cao trình vết lũ (m)	STT	X	Y	Cao trình vết lũ (m)
1	586746,4	1561395	15,15	8	596037,7	1561235	3,81
2	586889,6	1558939	14,12	9	596875,8	1561507	3,63
3	589288,7	1562172	9,12	10	596811,8	1562393	2,86
4	589685,5	1561929	9,01	11	596905,9	1563031	2,82
5	594723,3	1560573	4,90	12	596001,6	1567038	2,21
6	595053,6	1560970	4,26	13	596745,4	1567282	2,28
7	595381,7	1561036	4,19	14	597791,2	1567507	1,38

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Để có thể ước tính được độ sâu ngập lũ cho lưu vực sông La Tinh trước tiên cần giải đoán được chính xác diện tích ngập lũ từ dữ liệu ảnh vệ tinh. Trong nghiên cứu giải đoán ngập lũ, việc sử dụng các cảm biến quang học thường không đáng tin cậy do sự tương đồng về không gian giữa các khu vực bị ngập, ảnh chụp thời điểm ngập lũ thường có mây và không có khả năng phát hiện nước ứ đọng trong thảm thực vật. Nhờ sử dụng sóng radio có bước sóng dài, ảnh radar độ mở tổng hợp (SAR) có thể thu được tín hiệu phản xạ từ bề mặt trong mọi điều kiện thời tiết như mây, mù, bụi khí quyển và cả những trận mưa nặng hạt. Do ở



Hình 3. Sơ đồ các bước thực hiện ước tính độ sâu ngập lũ từ ảnh viễn thám.

bước sóng dài ảnh SAR không còn bị ảnh hưởng bởi tán xạ khí quyển như ảnh quang học nên nó cho phép xác định được năng lượng bước sóng trong mọi điều kiện thời tiết và môi trường vì thế ảnh SAR có thể được thu tại bất kỳ thời điểm nào mà không phải quan tâm tới thời tiết. Bên cạnh đó, với đặc điểm là sử dụng nguồn năng lượng chủ động nên cơ chế tạo ảnh của SAR hoàn toàn không phụ thuộc vào nguồn bức xạ năng lượng mặt trời do đó ảnh Radar có thể thu được cả ngày lẫn đêm. Hơn nữa, do đặc điểm hấp thụ mạnh sóng radar của nước, vì vậy đối tượng nước thường có màu đen khi hiển thị trên ảnh SAR nên có thể nhận dạng và tách biệt được vùng ngập rõ ràng. Nhờ đặc điểm này ảnh SAR luôn được khuyến nghị ứng dụng để nghiên cứu ngập lũ.

Có nhiều loại ảnh radar trên thế giới hiện nay, tuy nhiên ảnh radar Sentinel 1 là loại ảnh có nhiều ưu điểm nổi bật. Ảnh có độ phân giải cao $10m \times 10m$. Bên cạnh đó nguồn ảnh có thể sử dụng miễn phí vậy nên bài báo lựa chọn ảnh Sentinel 1 để giải đoán trận ngập lũ lịch sử năm 2016 cho lưu vực sông La Tinh. Sau khi có được lớp phạm vi ngập lũ tiến hành tính toán độ sâu ngập lũ theo mô hình FwDET với các mô hình số độ cao khác nhau để lựa chọn kịch bản ngập tốt nhất. Quy trình nghiên cứu chi tiết được thể hiện Hình 3.

2.3.1. Phương pháp giải đoán vùng ngập lũ từ ảnh Sentinel 1

Ảnh Sentinel 1 sau khi thu thập sẽ được tiền xử lý bao gồm các bước gồm các bước:

- Gắn quỹ đạo vệ tinh cho ảnh, áp dụng tệp quỹ đạo chính xác để cải thiện mã hóa địa lý của sản phẩm.

- Cắt ảnh theo khu vực nghiên cứu để tiết kiệm thời gian xử lý và tính toán.

- Hiệu chỉnh bức xạ là quá trình chuyển đổi giá trị đo được tại bộ cảm biến thành giá trị địa vật lý (thường là hệ số tán xạ ngược σ_0).

- Tăng cường chất lượng ảnh - lọc ảnh để loại bỏ các nhiễu do cảm biến tạo ra trên hình ảnh radar tránh các lỗi tiềm ẩn trong phân tích. Sử dụng bộ lọc Lee và giữ nguyên kích thước bộ lọc như mặc định là 3×3 .

Hiệu chỉnh hình học, hiệu chỉnh biến dạng hình học của ảnh do quá trình chụp ảnh, do ảnh hưởng chênh cao địa hình và do việc chuyển đổi hệ tọa độ từ điểm ảnh từ tọa độ không gian ảnh sang tọa độ vuông góc - tọa độ Descartes.

Ảnh radar có các phân cực VV, HH, VH và HV. Phân cực HH tốt nhất để phát hiện vùng đất ngập nước vì nó ít bị ảnh hưởng bởi các cấu trúc thực vật theo chiều dọc. Phân cực VH nhạy cảm với điều kiện ẩm ướt và độ ẩm của đất. Các phân cực chéo như VV tốt cho việc phân biệt các kiểu thảm thực vật thân thảo với gỗ (nhạy cảm với sinh khối).

Phân cực VH có khả năng phát hiện vùng ngập tốt hơn phân cực VV vậy nên ảnh Sentinel 1 sau khi được tiền xử lý sẽ tách riêng phân cực VH ra để chiết tách thông tin mặt nước trước và sau ngập.

Một phương pháp đơn giản và phổ biến để lập bản đồ nước là phân ngưỡng. Ngưỡng sẽ được xác định bằng biểu đồ histogram. Xác định ngưỡng phân tách mặt nước tự động dựa trên thuật toán phân ngưỡng của Otsu. Phương pháp Otsu tập trung vào việc khai thác và tính toán từ thông tin Histogram của bức ảnh. Bằng việc tính toán trên tất cả các mức Threshold, ta có thể chọn mức thỏa mãn việc phân chia giữa giữa các lớp đối tượng là tốt nhất. Tán xạ ngược dưới ngưỡng được phân loại là thân nước hoặc đất ngập nước. Tán xạ ngược phía trên ngưỡng được phân loại là đất khô. Kết quả thu được là mặt nạ nhị phân, giá trị bằng 0 là đất, giá trị bằng 1 là nước.

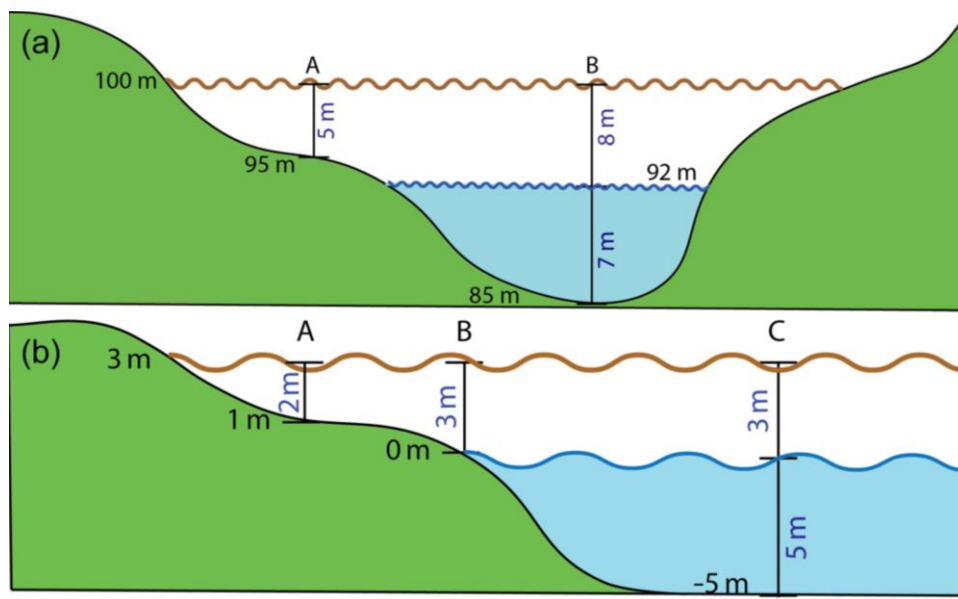
Sau khi phân ngưỡng và giải đoán vùng ngập lũ cho các thời điểm trước và trong ngập lũ. Tiến hành chồng chập kết quả giải đoán vùng ngập của 2 thời điểm để xác định vùng ngập lũ cuối cùng. Kết quả ngập cuối cùng sẽ được biên tập loại bỏ các khu vực thuộc độ dốc lớn hơn 5%, các khu vực thuộc vùng nước sông hồ cũng như các vùng ngập nhỏ lẻ diện tích dưới 8 pixel.

Kết quả ngập lũ sau khi phân loại sẽ được so sánh đối chiếu với số liệu vết lũ khảo sát để đánh giá độ chính xác.

2.3.2. Sử dụng FwDET ước tính độ sâu ngập lũ

Sau khi xác định được phạm vi vùng ngập tiến hành xác định độ sâu vùng ngập bằng cách sử dụng công cụ ước tính độ sâu nước lũ (*FwDET*) được phát triển bởi Phòng thí nghiệm mô hình hóa và động lực học bề mặt tại Đại học Alabama tính toán độ sâu ngập lũ bằng cách sử dụng lớp phạm vi lũ lụt và một mô hình độ cao kỹ thuật số (*DEM*) [19]. Công cụ này cho phép người dùng ước tính độ sâu mực nước lũ chỉ với lớp bề mặt lũ giải đoán.

Cốt lõi của thuật toán *FwDET* là xác định độ cao mực nước lũ cục bộ. Quá trình tính toán độ sâu của nước *FwDET* tuân theo quy trình: (1) chuyển đổi đa giác ngập lũ thành lớp đường; (2) Tạo lớp raster từ lớp đường có cùng kích thước ô lưới và căn chỉnh như *DEM*; (3) Trích xuất giá trị *DEM* (độ cao) cho các ô lưới này (được gọi là ô lưới biên); (4) Phân bổ cao độ nước lũ cục bộ cho mỗi ô lưới trong phạm vi miền bị ngập lũ từ ô lưới ranh giới gần nhất của nó và (5) Tính toán độ sâu của nước lũ bằng cách trừ độ cao của nước lũ cục bộ khỏi độ cao địa hình tại mỗi ô lưới trong miền bị ngập lũ [20]. Dữ liệu độ sâu nước lũ sau đó được xử lý trong phần mềm ArcGIS để thể hiện các mức độ ngập lũ trên khu vực nghiên cứu.



Hình 4. Quy trình thực hiện ước tính độ sâu ngập lũ từ ảnh viễn thám.

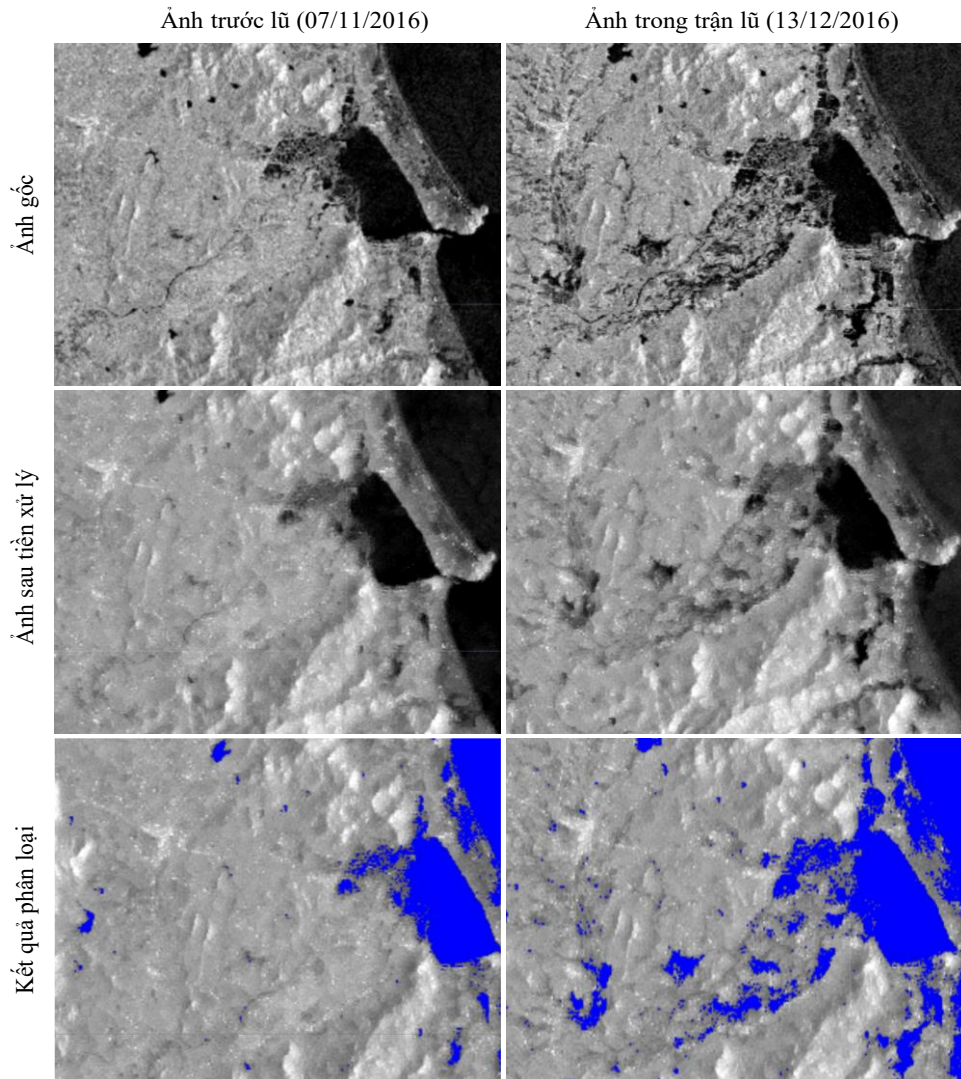
Hình 4 minh họa phương pháp tính toán độ sâu nước lũ *FwDET*. Độ cao (số màu đen) của phạm vi vùng ngập (100 m ở trên và 3 m ở dưới được sử dụng để tính toán độ sâu ngập lũ (số màu xanh) cho mỗi ô lưới trong miền ngập lũ (điểm A). Trong ngập lũ ven sông: (a) sẽ đánh giá độ sâu ngập trên sông (như điểm B) vì các *DEM* thường nằm bất được độ cao của mặt nước. Trong ngập lũ ven biển (b), ranh giới lũ lụt hướng ra biển có thể ở bờ biển (điểm B) hoặc trên biển (điểm C) và không thể được sử dụng để ước tính độ sâu của nước lũ (độ cao ≤ 0) [10]. Kết quả sau khi tính toán độ sâu ngập lũ được so sánh với số liệu điều tra khảo sát vết lũ lịch sử năm 2016.

3. Kết quả và thảo luận

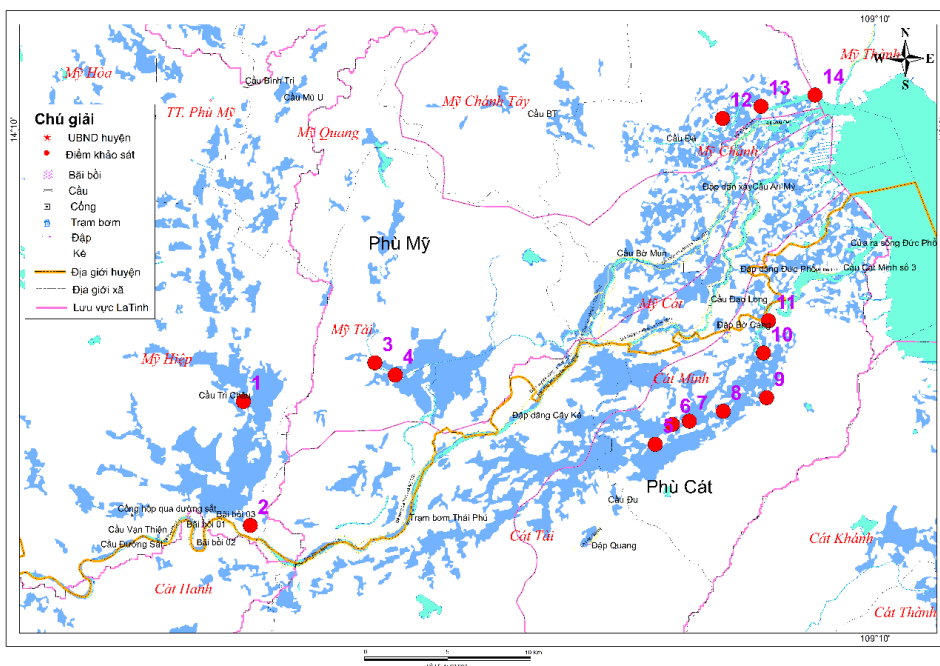
3.1. Kết quả giải đoán ngập lũ

Kết quả phân tích ngập lũ cho các thời điểm trước và sau khi ngập cho trận lũ lịch sử tháng 12/2016 lưu vực sông La Tinh được thống kê theo Hình 5.

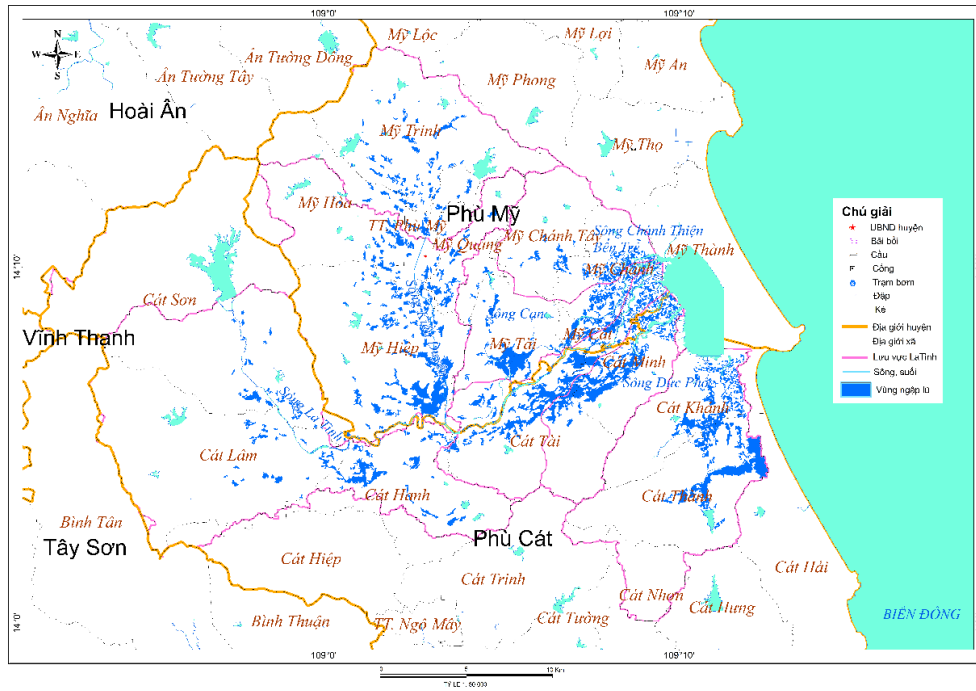
Dữ liệu vết lũ 2016 trùng 13/14 điểm so với kết quả ngập giải đoán vết lũ năm 2016 (Hình 6), đạt độ chính xác 92% là độ tin cậy khá cao. Kết quả giải đoán ngập lũ cho trận lũ tháng 12 năm 2016 thể hiện trên hình 7.



Hình 5. Số liệu vết lũ khảo sát năm 2016.



Hình 6. Vùng ngập giải đoán năm 2016 với vết lũ tương ứng.



Hình 7. Kết quả giải đoán ngập lũ cho trận lũ tháng 12 năm 2016.

3.2. Kết quả giải đoán độ sâu ngập lũ

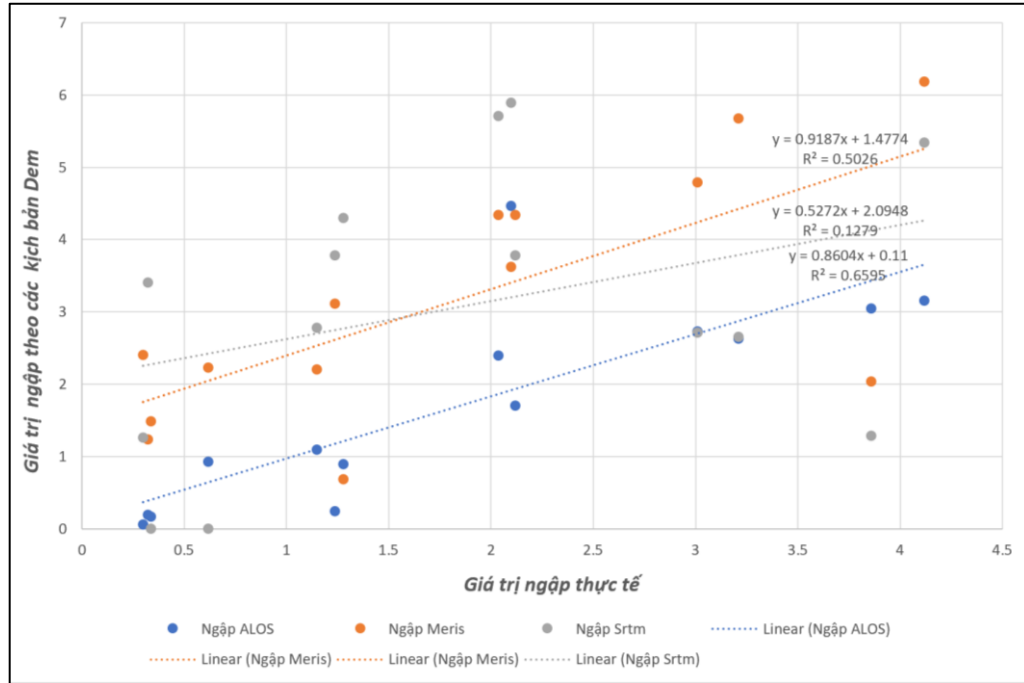
Tiến hành mô phỏng độ sâu ngập lũ theo các mô hình số độ cao khác nhau bao gồm: ALOS, MERIS và SRTM DEM. Kết quả sau khi tính toán độ sâu ngập lũ cho từng DEM được so sánh với số liệu điều tra khảo sát vết lũ lịch sử năm 2016 như Bảng 2. Kết quả được thống kê theo Bảng 3 và biên tập thành biểu đồ như Hình 8.

Bảng 3. Thống kê kết quả mô phỏng ngập lũ từ các nguồn dữ liệu DEM.

Vị trí	Độ sâu ngập thực tế (m)	Độ sâu ngập ALOS (m)	Độ sâu ngập MERIS (m)	Độ sâu ngập SRTM (m)
1	1,15	1,09	2,2	2,78
2	2,12	1,7	4,34	3,78
3	4,12	3,15	6,18	5,34
4	3,01	2,73	4,79	2,71
5	2,1	4,46	3,62	5,89
6	1,23	0,24	3,11	3,78
7	0,32	0,19	1,23	3,4
8	0,29	0,06	2,4	1,26
9	0,61	0,92	2,23	0
10	3,86	3,04	2,03	1,28
11	0,33	0,167	1,48	0
12	3,21	2,63	5,67	2,65
13	1,28	0,89	0,68	4,3
14	2,03	2,39	4,34	5,71

Kết quả cho thấy rằng kết quả mô phỏng độ sâu ngập lũ sử dụng công cụ FwDET phụ thuộc nhiều vào độ phân giải và chất lượng của DEM đầu vào. Các DEM có độ phân giải cao hơn thường mang lại sự tương quan mạnh hơn với bộ dữ liệu độ sâu ngập lũ (mô phỏng), ở

đây DEM ALOS 12,5 m cho kết quả mô phỏng tốt nhất và sát với thực tế nhất với giá trị $R^2 = 0,66$. Một ngoại lệ đáng chú ý là DEM MERIT ($R^2 = 0,5$), ở độ phân giải 90 m, mang lại kết quả tốt hơn so với DEM SRTM có độ phân giải tốt hơn là 30m ($R^2 = 0,12$). Điều này có thể là do địa hình đã được loại bỏ nhiều thành phần lỗi của MERIT, kết quả của thuật toán loại bỏ nhiễu được sử dụng để tạo ra nó. Điều này nhấn mạnh tầm quan trọng của chất lượng DEM đối với các phân tích về lũ lụt.



Hình 8. Tương quan ngập thực tế và ngập mô phỏng từ các nguồn dữ liệu DEM.

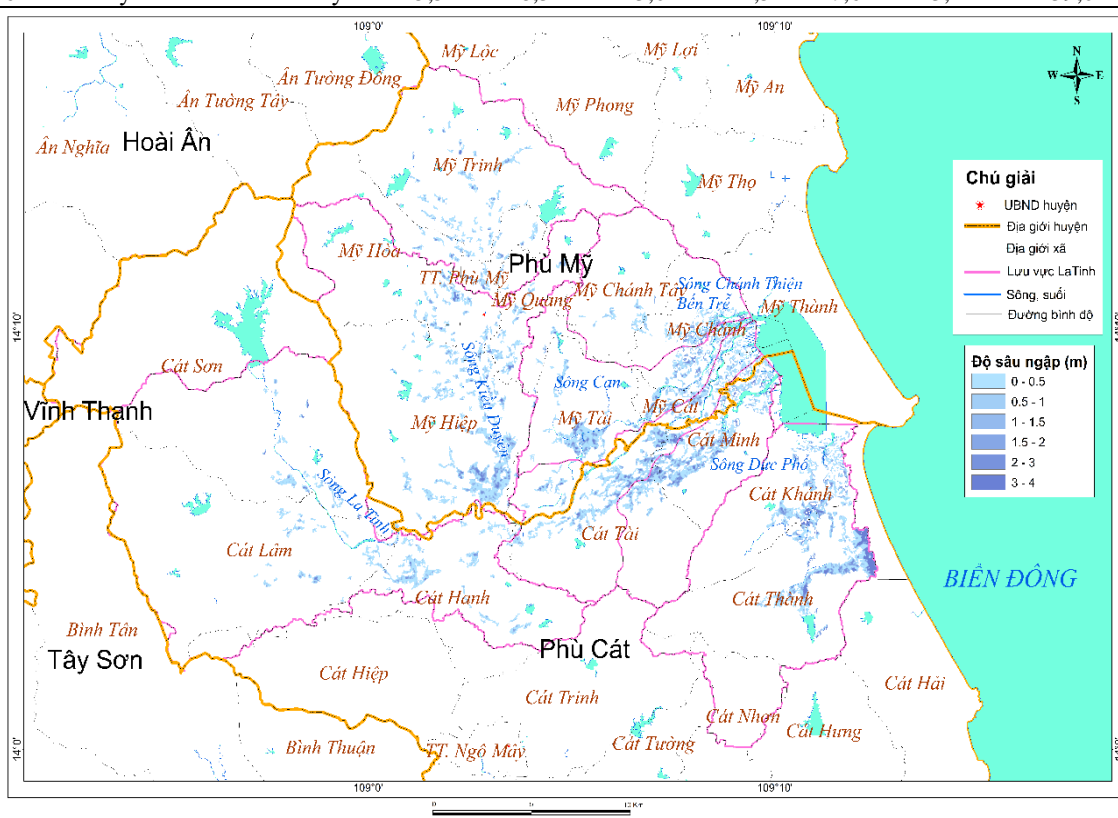
Bên cạnh đó dựa vào vị trí khảo sát vết lũ và kết quả mô phỏng ngập của DEM ALOS ta thấy: Vị trí khảo sát 1, 2 thuộc thượng nguồn sông La Tinh, hạ lưu của hồ Hội Sơn. Vị trí khảo sát 3, 4 thuộc nhánh sông Kiều Duyên, huyện Phù Mỹ. Vị trí khảo sát 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 thuộc sông Đức Phổ. Vị trí khảo sát 12, 13, 14 thuộc lưu vực sông Chánh Thiện, Bến Trề đều có kết quả tương quan, mô phỏng ngập lũ khá tốt, với mức độ chênh lệch thấp. Duy chỉ có vị trí khảo sát 5,6 thuộc xã Cát Tài, hạ lưu sông Đức Phổ là có sai số lớn, điều này có thể do chất lượng của DEM khu vực này không được tốt, có nhiều nhiễu.

Lựa chọn kịch bản ngập với DEM ALOS bài báo xây dựng bản đồ độ sâu ngập lũ cho lưu vực sông La Tinh trong trận lũ lịch sử tháng 12/2016 (Hình 9). Sử dụng các công cụ phân tích không gian tính toán mức độ ngập lũ theo từng cấp ngập cho từng xã lưu vực La Tinh. Kết quả thống kê được trình bày tại Bảng 4. Kết quả thống kê cho thấy, khu vực thượng nguồn sông La Tinh, hạ lưu của hồ Hội Sơn là khu vực ít bị ảnh hưởng bởi ngập lũ nhất với diện tích bị ngập lũ không cao, tập trung ở xã Cát Sơn, với diện tích ngập khoảng 105 ha và xã Cát Lâm với diện tích ngập khoảng 108 ha. Bên cạnh đó khu vực này độ sâu ngập lụt cũng khá thấp chủ yếu từ 0-0,5 m.

Bảng 4. Diện tích ngập lũ theo cấp ngập cho từng xã.

TT	Tên xã	Tên huyện	0 – 0,5m	0,5m – 1m	1m – 1,5m	1,5m – 2m	2m – 3m	3m – 4m	Tổng diện tích ngập
1	Cát Sơn	Phù Cát	75,6	15,3	5,7	2,8	2,5	3,7	105,6
2	Cát Lâm	Phù Cát	84,1	13,5	5,2	2,6	1,7	1,0	108,2
3	Mỹ Hiệp	Phù Mỹ	452,7	104,5	47,8	26,6	20,5	9,0	661,1
4	Mỹ Trinh	Phù Mỹ	131,4	27,8	11,1	5,1	4,3	2,9	182,6
5	Cát Hanh	Phù Cát	180,8	36,3	10,9	5,3	2,8	1,0	237,0

TT	Tên xã	Tên huyện	0 – 0,5m	0,5m – 1m	1m – 1,5m	1,5m – 2m	2m – 3m	3m – 4m	Tổng diện tích ngập
6	Mỹ Hòa	Phù Mỹ	77,5	19,1	10,0	5,6	4,2	3,8	120,2
7	Cát Thành	Phù Cát	249,8	68,0	43,3	28,8	36,9	75,6	502,4
8	Cát Tài	Phù Cát	308,4	78,0	40,2	25,8	23,6	8,6	484,6
9	Cát Khánh	Phù Cát	166,6	52,2	27,2	18,9	17,7	10,7	293,3
10	Mỹ Tài	Phù Mỹ	200,6	54,8	28,9	17,2	18,5	7,5	327,5
11	Cát Minh	Phù Cát	269,3	96,2	50,1	33,3	31,5	15,0	495,3
12	Mỹ Chánh	Phù Mỹ	258,1	66,4	30,1	20,2	21,4	8,5	404,7
13	Mỹ Chánh Tây	Phù Mỹ	36,6	7,1	2,1	0,7	0,3	0,2	46,9
14	Mỹ Quang	Phù Mỹ	84,5	19,9	9,2	4,9	4,7	2,8	126,0
15	TT. Phù Mỹ	Phù Mỹ	86,9	20,1	8,0	5,0	3,6	0,7	124,2
16	Mỹ Cát	Phù Mỹ	145,5	48,3	23,0	11,5	7,6	3,1	239,0



Hình 9. Bản đồ độ sâu ngập lũ lưu vực sông La Tinh cho trận lũ 12/2016.

Khu vực nhánh sông Kiều Duyên, huyện Phù Mỹ là khu vực bị ảnh hưởng bởi ngập lũ lớn với diện tích ngập lớn nhất tập trung ở khu vực suối Đăng Quang xã Mỹ Hiệp (661 ha ngập lũ) và khu vực suối Nhài xã Mỹ Tài (327 ha ngập lũ). Khu vực xã Mỹ Hiệp, Mỹ Tài cũng có các khu vực có độ sâu lớn lên tới 3÷4m.

Khu vực ngã 3 sông Kiều Duyên - La Tinh thuộc các xã Cát Hạnh, Cát Tài. Khu vực xã Cát Hạnh không bị ảnh hưởng lớn bởi ngập lũ với tổng diện tích bị ngập khoảng 237 ha với độ sâu ngập lụt chủ yếu trong khoảng 0-1 m. Xã Cát Tài là khu vực bị ảnh hưởng lớn bởi ngập lũ với diện tích ngập lũ khoảng 484.6ha với độ sâu ngập lũ trong khoảng 1-3 m cũng khá lớn khoảng gần 100 ha.

Khu vực hạ lưu, sông Đức Phổ và La Tinh là khu vực bị ảnh hưởng lớn nhất bởi ngập lũ do trận lũ lịch sử năm 2016 với hầu hết khu vực hạ lưu đều bị ảnh hưởng. Các xã bị ảnh hưởng nặng nề nhất bao gồm Mỹ Chánh 404.7 ha, Mỹ Cát 239 ha, Cát Minh 495 ha, Cát Khánh 293 ha và Cát Thành 502 ha. Xã Cát Thành còn là khu vực có độ sâu ngập lụt trung bình lớn nhất, khu vực có độ sâu ngập lụt từ 3-4 m lên tới 75 ha.

4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo đã ứng dụng thành công ảnh Sentinel 1 để giải đoán cũng như ước tính độ sâu ngập lũ cho trận lũ tháng 12/2016 lưu vực sông La Tinh. Kết quả cho thấy xã Cát Thành có diện tích bị ảnh hưởng cùng với độ sâu ngập lũ là lớn nhất.

Công cụ ước tính độ sâu của nước lũ (FwDET) tính toán độ sâu của nước chỉ dựa trên vùng ngập lũ và DEM. Điều này cho phép ứng dụng nhanh chóng trên các phạm vi lớn, điều này rất thuận lợi cho việc ứng phó với thảm họa trên quy mô lớn hoặc thường xuyên.

So sánh kết quả mô phỏng theo các kịch bản DEM khác nhau cho thấy DEM có độ phân giải cao hơn thường mang lại kết quả chính xác hơn. Một ngoại lệ đáng chú ý là DEM 90 m MERIT hoạt động tốt hơn so với DEM 30 m SRTM. Điều này có thể là do địa hình đã được loại bỏ nhiều thành phần lỗi của MERIT với kết quả của thuật toán loại bỏ nhiễu được sử dụng để tạo ra nó.

Khái niệm, phương pháp tính của FwDET có khả năng cung cấp thông tin cho phân tích viễn thám, cung cấp một phương pháp tiếp cận mới cho việc lập bản đồ ngập lũ tuy nhiên một nhược điểm lớn của phương pháp là chưa sử dụng thông tin vết lũ trong tính toán vậy nên kết quả mô phỏng vẫn chưa có độ chính xác cao, cần thiết có những nghiên cứu chuyên sâu hơn trong tương lai để bổ sung hạn chế này của công cụ.

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

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

Tài liệu tham khảo

- Higgins, S.A.; Overeem, I.; Steckler, M.S.; Syvitski, J.P.M.; Seeber, L.; Akhter, S.H. InSAR measurements of compaction and subsidence in the Ganges-Brahmaputra Delta, Bangladesh. *J. Geophys. Res. Earth*. **2014**, *119*, 1768–1781.
- Cohen, S.; Raney, A.; Munasinghe, D.; Galantowicz, J.; Brakenridge, G.R. Estimating floodwater depths from flood inundation maps and topography. *Proceeding of the SPIE 10778. Remote. Sens. Open. Coastal. Ocean. Inland Waters*. **2018**, 107780M.
- Tessler, Z.D.; Vörösmarty, C.J.; Grossberg, M.; Gladkova, I.; Aizenman, H.; Syvitski, J.P.M.; Foufoula-Georgiou, E. Profiling risk and sustainability in coastal deltas of the world. *Science* **2015**, *349*, 638–643.
- Islam, M.M.; Sadu, K. Flood damage and modelling using satellite remote sensing data with gis: Case study of Bangladesh. *Remote. Sens. Hydrol.* (Eds.): Owe, M.; Brubaker, K.; Ritchie, J.; Rango, A. IAHS Publication, Oxford, UK, **2001**, pp. 455–458.
- Nadal, N.C.; Zapata, R.E.; Pagan, I.; Lopez, R.; Agudelo, J. Building damage due to riverine and coastal floods. *J. Water Res.* **2009**, *136*, 327–336.
- Nguyen, N.Y.; Ichikawa, Y.; Ishidaira, H. Estimation of inundation depth using flood extent information and hydrodynamic simulations. *Hydrol. Res. Lett.* **2016**, *10*, 39–44.
- Schumann, G.; Hostache, R.; Puech, C.; Hoffmann, L.; Matgen, P.; Pappenberger, F.; Pfister, L. High-resolution 3-D flood information from radar imagery for flood hazard management, *IEEE T. Geosci. Remote.* **2007**, *45*, 1715–1725.
- Cohen, S.; Brakenridge, G.R.; Kettner, A.; Bates, B.; Nelson, J.; McDonald, R.; Huang, Y.; Munasinghe, D.; Zhang, J. Estimating floodwater depths from flood inundation maps and topography. *J. Am. Water Resour. As.* **2018**, *54*, 847–858.

9. Anh, T.N. Xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu các sông Bến Hải và Thạch Hãn, tỉnh Quảng Trị. *Tạp chí khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2011**, 1S, 1–8.
10. Hòa, B.M.; Hương, H.T.L. Nghiên cứu xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu vực sông Ba. *Tạp chí khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2012**, 1S, 10–15.
11. Tuấn, H.N. Xây dựng bản đồ ngập lụt hạ du hồ chứa nước EADRĂNG tỉnh Đắk Lắk ứng với các kịch bản xả lũ và đánh giá thiệt hại do ngập lụt gây ra. *Tạp chí khoa học và công nghệ Thủy lợi* **2017**, 39, 1–8.
12. Quảng, L.T.; Dũng, L.Đ.; Anh, T.N. Mô phỏng và xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 747, 9–20.
13. Hưng, N.V.; Cường, N.Q.; Hưng, B.V. Xây dựng bản đồ ngập lụt phục vụ công tác chống ngập, quy hoạch đô thị trên địa bàn thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 725, 29–38.
14. Trục tuyến: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1>.
15. Trục tuyến: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1>
16. Trục tuyến: <https://asf.alaska.edu/data-sets/derived-data-sets/alos-palsar-rtc/alos-palsar-radiometric-terrain-correction/>
17. Trục tuyến: https://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/MERIT_DEM/
18. Báo cáo kết quả điều tra vết lũ tháng 12/2016 trên lưu vực sông La Tinh. Chi cục Thủy lợi tỉnh Bình Định, 2016.
19. Cohen, S.; Raney, A. FwDET v2.0. Online available: <https://sdml.ua.edu/models/>. Last access: 9 September 2019.
20. Cohen, S.; Raney, A. FwDET v2.0. Online available: https://csdms.colorado.edu/wiki/Model_download_portal. Last access: 9 September 2019.

Application of Floodwater Depth Estimation Tool in estimating flooding map for the La Tinh river basin, Binh Dinh Province

Tran Thanh Tung^{1*}, Tran Dang Hung²

¹ ThuyLoi University; t.t.tung@tlu.edu.vn

² VietNam Institute of Meteorology, Hydrology & Climate Change; danghung2261991@gmail.com

Abstract: Remote sensing analysis is commonly utilised for creating flood inundation maps of historical flood events that have occurred in the past. In flood management and response to large-scale and emergency floods, constructing flood inundation maps based on remote sensing data holds significant value as they allow continuous observation of flood extent over large areas. Information about the flooding deep of the entire region is crucial for damage assessment, rescue operations, and prioritising the allocation of relief resources. The Floodwater Depth Estimation Tool (FwDET) has been applied to estimate flooding depths based on flood inundation maps and digital elevation models. This study was developed a flood inundation map for the La Tinh river basin, during the 2016 historical flood event using Sentinel 1 imagery and various DEM datasets. The results demonstrated that the FwDET tool can accurately simulate floodwater depths, and the quality of the DEM data significantly influences the simulation outcomes. DEM ALOS 12.5 m provides the best simulation results with $R^2 = 0,66$ in comparison with DEM MERIT ($R^2 = 0,5$) và DEM SRTM ($R^2 = 0,12$).

Keywords: Flood Depth; FwDET; DEM, Sentinel 1; La Tinh River.

Bài báo khoa học

Hạn chớp nhoáng và một số đặc trưng của nó ở Việt Nam giai đoạn 1961-2020

Hoàng Thị Minh¹, Nguyễn Văn Toàn², Phan Văn Tân^{2*}

¹ Ban Quản lý TW các dự án Thủy lợi, Bộ Nông nghiệp và PTNT; minhprc@gmail.com

² Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; phanvantan@hus.edu.vn; nguyenvantoan_t64@hus.edu.vn

*Tác giả liên hệ: phanvantan@hus.edu.vn; Tel.: +84-912066237

Ban Biên tập nhận bài: 5/7/2023; Ngày phản biện xong: 12/8/2023; Ngày đăng bài: 25/8/2023

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này, sự biến động theo không gian và thời gian của một số đặc trưng hạn chớp nhoáng (Flash Drought) giai đoạn 1961-2020 trên toàn lãnh thổ đất liền Việt Nam đã được khảo sát, đánh giá. Các sự kiện hạn chớp nhoáng được xác định theo độ ẩm đất (soil moisture) trung bình trong lớp đất tầng rễ (0-100cm), được lấy từ số liệu tái phân tích ERA5, độ phân giải 0.25°. Trên cơ sở các đợt hạn chớp nhoáng, một số đặc trưng hạn và xu thế biến đổi của chúng đã được xác định. Kết quả cho thấy, cả nước ghi nhận số đợt hạn chớp nhoáng dao động trong khoảng 1,5-5,0 đợt/năm và biến động theo vùng cũng như theo thời gian. Tần suất xuất hiện hạn ở các khu vực và các tháng trong năm cũng khác nhau. Trung bình các đợt hạn kéo dài khoảng 25 ngày/đợt, tuy nhiên, có sự chênh lệch đáng kể giữa các vùng và các giai đoạn. Nhìn chung các đặc trưng hạn chớp nhoáng có xu thế tăng lên ở khu vực phía Nam và Tây Bắc, các vùng còn lại có xu thế không đổi hoặc giảm rất nhẹ.

Từ khóa: Hạn chớp nhoáng; Biến động; Xu thế; Việt Nam.

1. Mở đầu

Hạn hán là sự thiếu hụt nước so với trung bình khí hậu do thiếu hụt lượng mưa trong một giai đoạn nào đó và thường gây ra những tác động tiêu cực đối với nhiều lĩnh vực kinh tế, xã hội và môi trường [1–3]. Ở Việt Nam, xét về mức độ nguy hiểm, hạn hán có thể được xếp thứ ba sau bão và lũ lụt, nhưng nếu xét về mức độ gây thiệt hại thì thậm chí nó có thể xếp thứ nhất hoặc thứ hai. Hạn hán thường được phân thành bốn loại gồm hạn khí tượng, hạn nông nghiệp, hạn thủy văn và hạn kinh tế xã hội [4–5]. Đến đầu những năm 2000, xuất hiện thêm một kiểu hạn mới được gọi là *Flash drought (FD)*, tạm dịch là “hạn chớp nhoáng”, và đã nhanh chóng trở thành một lĩnh vực khoa học được quan tâm đặc biệt. Hạn chớp nhoáng (FD) cũng bắt nguồn từ nguyên nhân thiếu hụt lượng mưa, nhưng có thể còn đi kèm với sự gia tăng bốc hơi do nhiệt độ cao, độ ẩm thấp, gió mạnh và trời nắng. Khi đó, tình trạng khô hạn gây tác động xấu cho nông nghiệp và các hệ sinh thái có thể nhanh chóng xuất hiện, biểu hiện là thiếu hụt độ ẩm đất và suy giảm sức khỏe thảm thực vật [6].

Hiện nay, cộng đồng khoa học vẫn đang thiếu sự đồng thuận, nhất quán về định nghĩa “hạn chớp nhoáng”, nhưng bất kỳ định nghĩa nào cũng chú trọng đến hai khía cạnh quan trọng nhất là khởi phát nhanh (tính chớp nhoáng - flash) và thiếu hụt nước (hạn hán - drought) [6]. Nhiều nghiên cứu đã cho rằng FD xuất hiện khi độ ẩm đất trung bình 1 pentad (5 ngày) giảm từ hạng phân vị cao nào đó xuống hạng phân vị thấp nào đó trong một khoảng thời gian nào đó [7–12]. Cụ thể hơn, tác giả [13] đã xác định FD qua ba tiêu chí: (1) Hạng phân vị độ

âm trung bình lớp đất tầng rễ giảm từ 40% xuống 20%, với tốc độ giảm trung bình tối thiểu 5% mỗi pentad; (2) nếu độ ẩm đất tăng trở lại 20% thì đợt hạn kết thúc; (3) đợt hạn cần kéo dài ít nhất 3 pentad [13]. Các tiêu chí xác định FD cũng hết sức đa dạng như dựa trên sóng nhiệt, dựa trên sự thiếu hụt lượng mưa,... mà hệ quả là làm sụt giảm nhanh chóng độ ẩm đất.

Tiêu chí xác định FD do sóng nhiệt (*Heat-wave-driven (HWD)*) và do thiếu hụt lượng mưa (*Precipitation-deficit-driven (PDD)*) đã được tác giả [11] đề cập đến trong nghiên cứu. Cụ thể, FD do HWD xem xét các điều kiện xuất hiện FD khi dị thường nhiệt độ không khí (T2m) tính theo pentad lớn hơn một độ lệch chuẩn, hạng phân vị độ ẩm lớp đất 1 m trên cùng giảm xuống dưới 40% và dị thường bốc hơi nước > 0. Còn đối với FD do PDD thì FD xuất hiện khi hạng phân vị lượng mưa tính theo pentad giảm xuống 40%, dị thường T2m lớn hơn một độ lệch chuẩn và dị thường bốc hơi nước < 0 (do thiếu nguồn cấp). Ngoài ra, FD cũng có thể được xác định dựa trên chỉ số hạn Hoa Kỳ (*The United States Drought Monitor - USDM*). Theo tác giả [11], USDM chia hạn hán thành năm cấp cường độ, FD xuất hiện khi sụt giảm từ 2 cấp cường độ trở lên trong khoảng thời gian 4 tuần. Kết quả nghiên cứu [14] về sự khởi phát FD dựa trên mức độ sụt giảm phân vị độ ẩm đất cho thấy thời gian khởi phát một đợt FD trong vòng 1 pentad (5 ngày) chiếm tần suất khoảng 33,64-46,18%, xu hướng này tăng đáng kể trên toàn cầu trong giai đoạn 2000-2020. Nghiên cứu cũng chỉ ra tần suất xuất hiện FD không giống nhau ở các nơi trên thế giới. Cụ thể, FD có xu hướng xảy ra nhiều hơn ở các vùng ẩm và bán ẩm, bao gồm Đông Nam Á, Đông Á, lưu vực sông Amazon, Đông Bắc Mỹ và Nam Nam Mỹ.

Về tác động của FD, FD được cho là “cực đoan của các cực đoan” vì nó là sự kết hợp của khô hạn, diễn biến nhanh và tác động tiêu cực hơn [15]. Do đặc tính khởi phát nhanh và tiến triển nhanh nên loại hạn này khó dự báo. Một đợt hạn có thể tuy ngắn nhưng nếu cường độ mạnh, đất bị suy kiệt độ ẩm nghiêm trọng chỉ trong vài ngày đến vài tuần, và nhất là khi nó xảy ra vào thời điểm nhạy cảm của cây trồng (giai đoạn sinh trưởng mạnh) thì có thể ảnh hưởng trực tiếp đến năng suất, chất lượng sản phẩm và gây thiệt hại kinh tế cho ngành nông nghiệp [14, 16, 17]. Điển hình như đợt hạn xảy ra ở miền trung Hoa Kỳ năm 2012 với tốc độ phát triển và cường độ bất thường, đã gây thiệt hại khoảng 35,7 tỷ USD [14].

Ở Việt Nam, khái niệm FD là một chủ đề hoàn toàn mới và chưa thấy có công trình nào đề cập đến. Tình hình FD ở Việt Nam như thế nào hiện đang là một câu hỏi. Do đó, trong nghiên cứu này, như một sự khởi đầu, chúng tôi sẽ khảo sát tình hình FD, đánh giá sự biến đổi theo không gian và thời gian của các đặc trưng FD, như tần suất xuất hiện, tốc độ sụt giảm độ ẩm đất, độ kéo dài đợt hạn, độ khắc nghiệt, cường độ, tốc độ gia tăng cường độ và xu hướng biến đổi của chúng trên lãnh thổ đất liền Việt Nam trong giai đoạn 1961-2020.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu và xử lý số liệu

Số liệu được sử dụng trong nghiên cứu này là độ ẩm đất lớp đất tầng rễ (0-100 cm) tái phân tích ERA5 của Trung tâm dự báo hạn vừa Châu Âu (ECMWF). Số liệu có thể lấy miễn phí tại địa chỉ: <https://cds.climate.copernicus.eu>.

Độ ẩm đất (SM) được cho trên lưới với độ phân giải ngang 0.25 độ kinh vĩ. Số liệu SM theo ngày thuộc lớp đất tầng rễ được lấy trung bình từ 4 kỳ quan trắc (00, 06, 12, 18 UTC) của ba lớp đất (lớp 1: 0-7 cm; lớp 2: 7-28 cm; lớp 3: 28-100 cm) trong giai đoạn 1961-2020 (60 năm). Miền tính bao phủ toàn bộ vùng đất liền của Việt Nam, giới hạn bởi các tọa độ từ 101.125E đến 110.875E và từ 7.625N đến 24.375N.

Do SM được cho dưới dạng thể tích nước trong một đơn vị thể tích đất (m^3/m^3) của từng lớp đất nên trước khi tiến hành tính toán, SM sẽ được lấy trung bình của ba lớp và xem đó là SM của lớp đất tầng rễ. Tiếp theo, SM sẽ được tính trung bình trượt 5 ngày (pentad trượt) trước khi chuyển đổi về hạng phân vị thay vì m^3/m^3 theo nguyên tắc sau đây: (1) Mỗi một ngày trong năm sẽ lấy số liệu của 5 ngày liên tiếp, bao gồm ngày đang xét cùng với 2 ngày

trước và 2 ngày sau. Với 60 năm số liệu (1961-2020), mỗi ngày trong năm sẽ có tất cả 300 giá trị lập thành một tập mẫu đại diện (lưu ý rằng vì không lấy số liệu của năm 1960 và 2021 nên các ngày 1/1 và 31/12 chỉ có 298 mẫu, 2/1 và 30/12 chỉ có 299 mẫu). Tập mẫu này được sử dụng để lập hàm phân bố SM của ngày đang xét, ký hiệu là $F(x)$; (2) Trên cơ sở hàm phân bố có được ở bước 1), hạng phân vị của SM (x_i) của ngày thứ i tương ứng của từng năm sẽ được xác định như là giá trị $F(x_i)$ nhân với 100 (%).

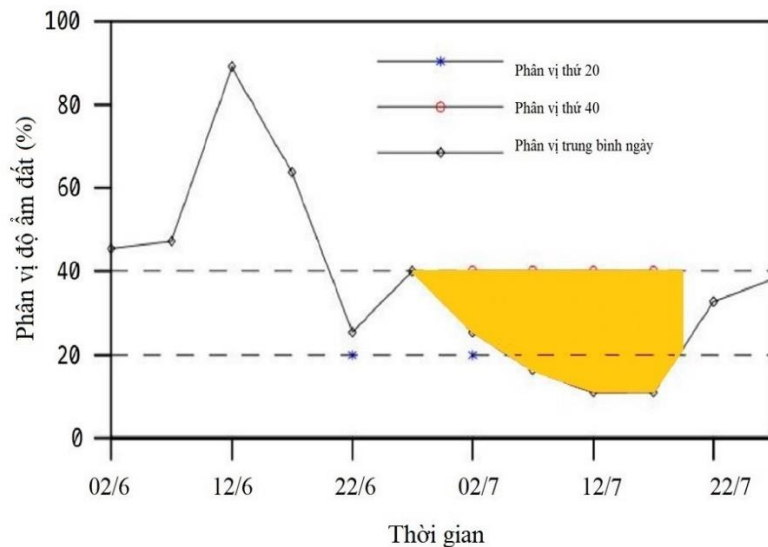
2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Cách xác định một đợt hạn chớp nhoáng

Tiêu chí để xác định một đợt hạn chớp nhoáng trong nghiên cứu này dựa trên nghiên cứu của tác giả [18] mà nó xuất phát từ [13] với một số điều chỉnh. Sự khác biệt cơ bản giữa phương pháp được sử dụng ở đây so với [18] là, trong khi [18] xác định một đợt FD từ số liệu pentad (tức mỗi năm có 73 giá trị), nghiên cứu này sử dụng giá trị trung bình trượt 5 ngày (tức mỗi năm có 365 giá trị). Một đợt hạn chớp nhoáng sẽ xảy ra nếu:

- Độ ẩm đất hàng ngày giảm từ hạng phân vị thứ 40 (40%) xuống dưới hạng phân vị thứ 20 (20%), với tốc độ giảm trung bình không dưới 5% mỗi pentad (5 ngày);
- Nếu độ ẩm đất phục hồi trở lại hạng phân vị thứ 20 (20%) và vượt lên hạng phân vị thứ 40 (40%) thì đợt hạn được coi là kết thúc;
- Đợt hạn cần kéo dài ít nhất 3 pentad (15 ngày).

Hai tiêu chí đầu mô tả các giai đoạn khởi phát và kết thúc của một đợt FD. Tiêu chí thứ ba là thời gian tối thiểu để một đợt FD được xác định. Trong một số trường hợp, FD còn phải thỏa mãn thêm một điều kiện nữa là độ dài đợt hạn không được vượt quá 90 ngày để đảm bảo rằng FD là hiện tượng có quy mô thời gian nội mùa. Sơ đồ tóm tắt phương pháp nhận diện một sự kiện FD được mô tả tại Hình 1.



Hình 1. Minh họa cách xác định một đợt hạn chớp nhoáng (FD).

2.2.2. Các đặc trưng của hạn chớp nhoáng

Các đặc trưng được tính cho từng (tiểu) giai đoạn và biểu diễn giá trị trung bình các đặc trưng cho từng (tiểu) giai đoạn. Trong nghiên cứu này các đặc trưng sau đây sẽ được khảo sát.

1) Tần suất hạn: Tần suất FD (FREQ) được xác định bởi trung bình số đợt hạn trong năm tính cho một giai đoạn nào đó. Trong nghiên cứu này, để xem xét sự biến đổi theo thời gian của tần suất FD, tần suất được xác định cho từng khoảng thời gian 5 năm một, từ 1961-2020. Ngoài

ra, nếu coi một tháng nào đó có ít nhất 5 ngày liên tiếp thỏa mãn tiêu chí FD là tháng có FD (do một đợt FD phải kéo dài hơn 5 ngày), thì tần suất FD cho từng tháng trong năm (Freq_mon) sẽ được xác định bởi tỷ số giữa số lần có FD của tháng đó và tổng số năm khảo sát (60 năm).

2) Tốc độ sụt giảm độ ẩm đất: Tốc độ sụt giảm độ ẩm đất (SPD) trong giai đoạn khởi phát (giai đoạn hạng phân vị độ ẩm đất bắt đầu giảm từ 40% xuống đến dưới 20%) là một trong những đặc trưng quan trọng, phản ánh tính “chớp nhoáng” của hạn. Tốc độ này càng lớn thì mức độ nguy hiểm của FD càng lớn. Mỗi một đợt FD có thể có tốc độ sụt giảm khác nhau nhưng không dưới 5%/pentad. Tốc độ sụt giảm độ ẩm đất của một đợt FD được xác định bởi tỷ số giữa hiệu của hạng phân vị độ ẩm đất tại ngày bắt đầu giảm xuống dưới 40% và ngày mà nó giảm xuống dưới 20% chia cho độ dài của khoảng thời gian đó, tính bằng %/pentad.

3) Độ kéo dài: Độ kéo dài (DD) mỗi đợt FD là số ngày liên tiếp tính từ thời điểm FD bắt đầu khởi phát đến thời điểm FD kết thúc.

4) Độ khắc nghiệt: Độ khắc nghiệt (DS) của một đợt FD được xác định bằng tổng tích lũy của hiệu giữa 40% và hạng phân vị SM các ngày trong đợt FD, từ ngày bắt đầu đến ngày kết thúc.

5) Cường độ: Cường độ (DI) của một đợt FD được xác định bởi tỷ số giữa độ khắc nghiệt DS và độ kéo dài DD của đợt.

6) Tốc độ gia tăng cường độ (Cường suất): Tốc độ gia tăng cường độ (hay có thể gọi là cường suất - RD) là trung bình của tích lũy mức độ sụt giảm tương đối của độ ẩm đất giữa hai thời điểm liên tiếp, tính từ lúc khởi phát đến lúc độ ẩm đất đạt giá trị nhỏ nhất đầu tiên, được xác định bởi công thức:

$$RD = \frac{\sum_{i=1}^d rd_i}{d} \quad (1), \text{ Trong đó } rd_i = \left(\frac{SM_{i-1} - SM_i}{SM_{i-1}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Trong đó RD là tốc độ gia tăng cường độ; rd_i là mức độ sụt giảm tương đối ngày thứ i ; SM_i, SM_{i-1} là hạng phân vị ngày thứ $i, i-1$; d là khoảng thời gian (ngày) từ thời điểm bắt đầu đợt FD cho đến thời điểm hạng phân vị độ ẩm đất đạt giá trị nhỏ nhất đầu tiên và vẫn nhỏ hơn 20%.

2.2.3. Xu thế biến đổi

Xu thế biến đổi theo thời gian của các đặc trưng của FD được xác định bằng hệ số góc Sen [19] với kiểm nghiệm Mann-Kendall [20–21] ở mức ý nghĩa 10%.

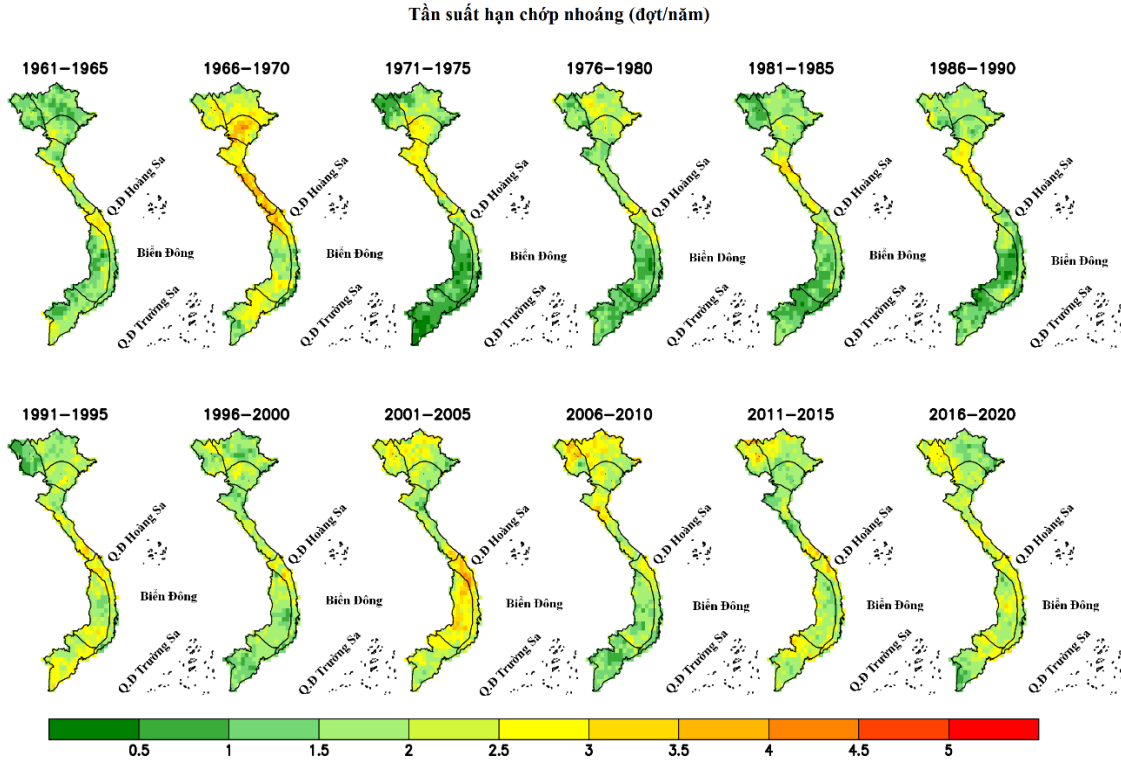
Trong nghiên cứu này, các đặc trưng được tính toán và biểu diễn giá trị trung bình theo tiểu giai đoạn 5 năm (12 tiểu giai đoạn), riêng xu thế biến đổi được tính toán dựa theo chuỗi số liệu từng năm của các đặc trưng (chuỗi 60 giá trị).

3. Kết quả và thảo luận

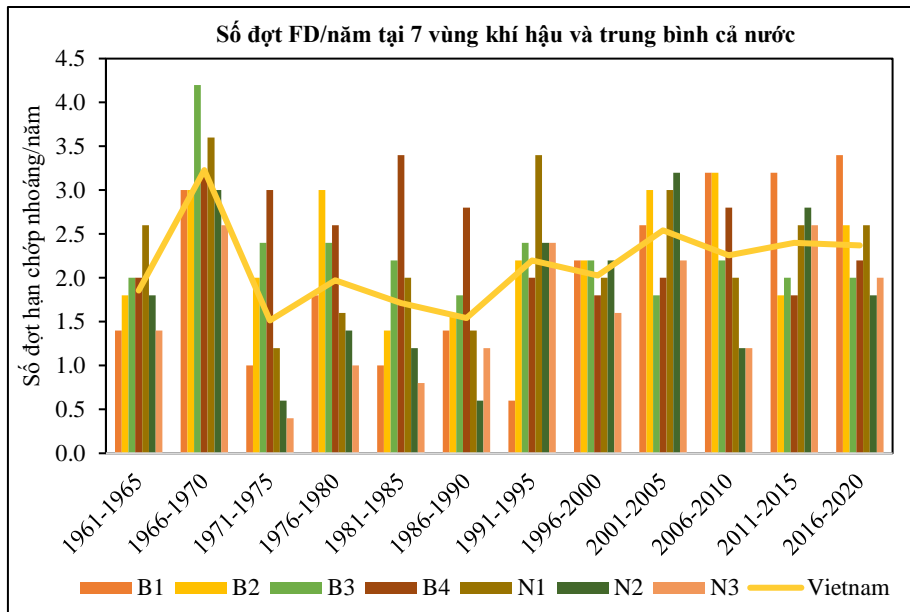
3.1. Sự biến động của các đặc trưng hạn chớp nhoáng ở Việt Nam

3.1.1. Tần suất hạn

Hình 2 trình bày kết quả xác định trung bình số đợt FD hàng năm cho từng giai đoạn 5 năm từ 1961-2020. Qua đó nhận thấy số đợt hạn chớp nhoáng phân bố không đồng đều ở các vùng trên cả nước và có sự biến động theo thời gian. Số đợt FD hàng năm dao động trong khoảng từ 1,5-5,0 đợt. Giai đoạn 1966-1970 ghi nhận số đợt FD ở Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ tăng lên đáng kể, tương tự cho giai đoạn 2001-2005 ở Tây Nguyên, Nam Bộ và Nam Trung Bộ. Nhìn chung (Hình 3), khu vực phía Nam (N2 và N3) và vùng Tây Bắc Bộ (B1) có số đợt FD ít hơn so với các vùng còn lại, với số đợt trung bình mỗi năm lần lượt là 1,85, 1,62 và 2,07 đợt/năm; Trung Bộ (B4 và N1) là khu vực có số đợt FD trung bình năm cao nhất, cụ thể là 2,47 đợt/năm ở B4 và 2,33 đợt/năm ở N1. Đông Bắc Bộ (B2) và Đồng Bằng Bắc Bộ (B3) không có sự khác biệt đáng kể, trung bình lần lượt là 2,32 và 2,30 đợt/năm.



Hình 2. Số đợt FD trung bình hàng năm cho từng giai đoạn 5 năm.

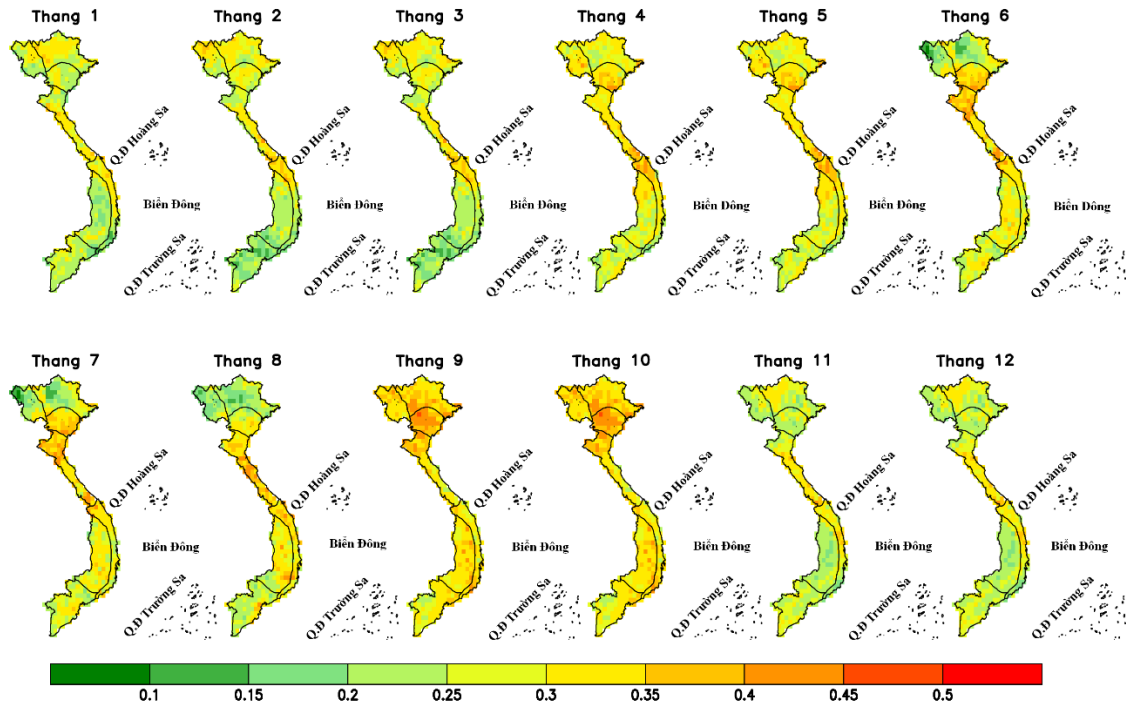


Hình 3. Số đợt FD trung bình hàng năm trên các vùng khí hậu và trên cả nước giai đoạn 1961-2020.

Bên cạnh việc xác định số đợt hạn trung bình hàng năm, nghiên cứu cũng xem xét tần suất xuất hiện FD vào các tháng trong năm. Kết quả cho thấy FD xuất hiện nhiều hơn trong khoảng tháng 4-10 với tần suất đạt 0,35-0,5 (35-50%) và ít hơn trong khoảng từ tháng 11-3 năm sau với tần suất 0,15-0,3 (15-30%). Ở hầu hết các vùng khí hậu, các tháng mùa đông (tháng 11-3) có độ ẩm đất vốn đã ở mức thấp nên khả năng sụt giảm nhanh gần như khá ít (tính chộp nhoáng thấp), do đó FD xảy ra ít hơn. Ngược lại, vào các tháng mùa hè, thời kỳ mưa nhiều trên hầu hết các vùng khí hậu, sự luân phiên các ngày nắng và mưa là tiền đề cho sự sụt giảm độ ẩm đất nhanh (tính chộp nhoáng cao) nên khả năng xuất hiện FD cao hơn.

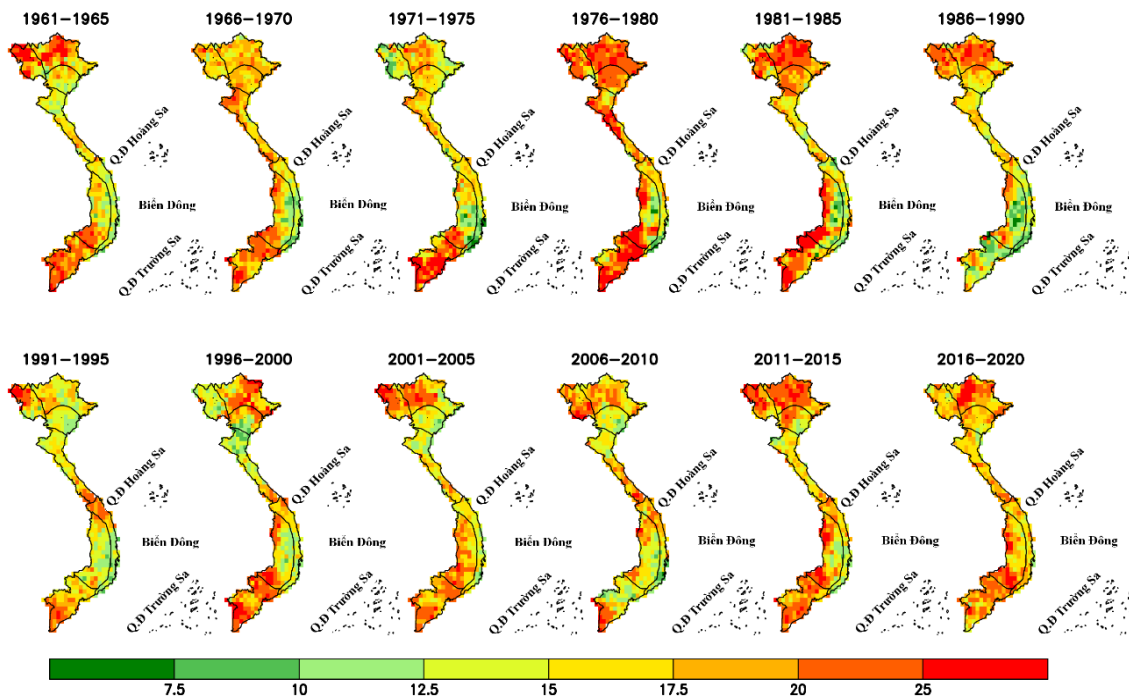
Tháng 9 và 10 có tần suất xuất hiện FD cao nhất trong năm (từ 0,4-0,5), trong đó, phần lớn vùng B3, một số tỉnh của B2 và B4 là khu vực có tần suất hạn cao nhất > 0,5. Đây là thời điểm giao mùa giữa mùa mưa và mùa khô, do đó, các yếu tố khí hậu chính như lượng mưa giảm mạnh, thời tiết bắt đầu khô, hanh, đã dẫn đến việc giảm độ ẩm đất và tạo điều kiện để hình thành, phát triển các đợt FD trong giai đoạn này.

Tỉ lệ xuất hiện hạn chộp thoáng theo tháng



Hình 4. Tần suất xuất hiện FD trong các tháng giai đoạn 1961-2020.

Tốc độ sụt giảm độ ẩm đất (%/pentad)



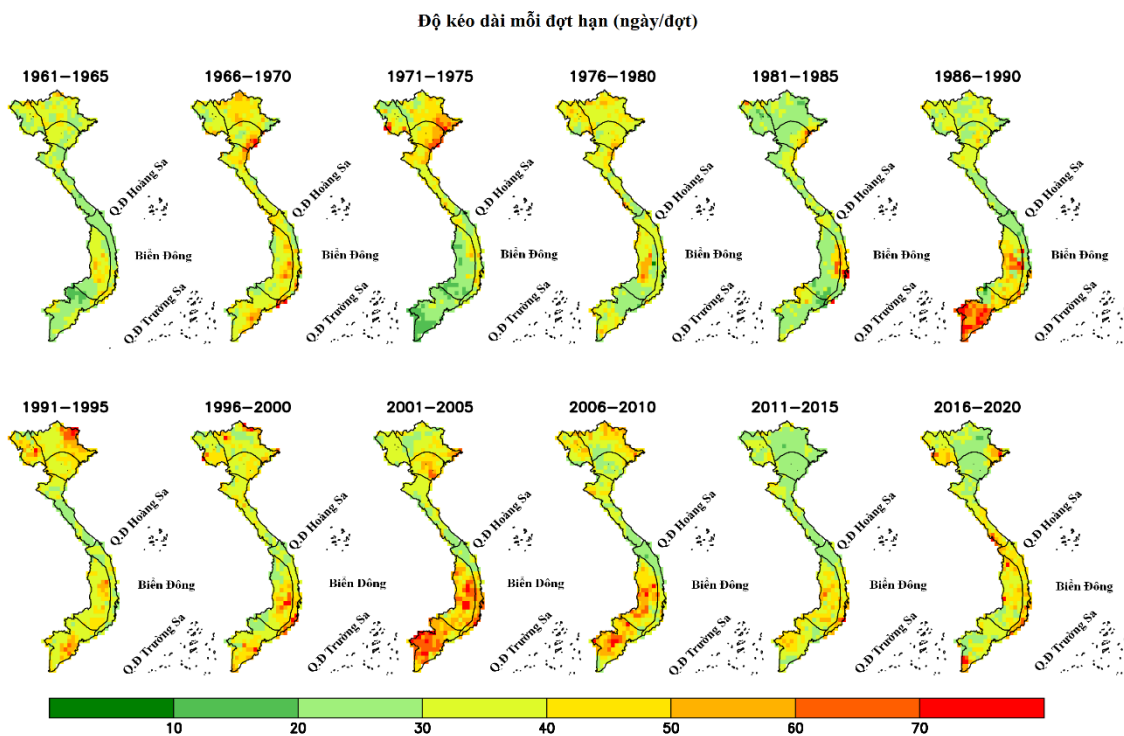
Hình 5. Tốc độ sụt giảm độ ẩm đất giai đoạn khởi phát FD.

3.1.2. Tốc độ sụt giảm độ ẩm đất giai đoạn khởi phát

Tốc độ sụt giảm độ ẩm đất giai đoạn khởi phát (SPD) phản ánh tính chớp nhoáng (flash) của FD, là một trong những đặc trưng quan trọng cần được xem xét. Hình 5 đưa ra kết quả tính SPD trung bình hàng năm cho từng giai đoạn 5 năm từ 1961-2020. Có thể thấy SPD trung bình có tính ổn định cao. Cụ thể, trong mỗi đợt FD xảy ra ở các khu vực, dù ở giai đoạn nào, SPD đều được ghi nhận ở mức từ 16% đến > 25%/pentad. Trên toàn quốc thì khu vực Nam Trung Bộ (N1) ghi nhận giá trị SPD thấp hơn, từ 12-20%/pentad. Điều này khá phù hợp với thực tế khi N1 là vùng khô hạn nhất cả nước, độ ẩm đất thấp và do đó SPD cũng thấp hơn so với các vùng khác. Như vậy, có thể thấy tính chớp nhoáng của FD ở Việt Nam khá mạnh, kéo theo các đợt FD sẽ xuất hiện nhanh.

3.1.3. Độ kéo dài đợt hạn

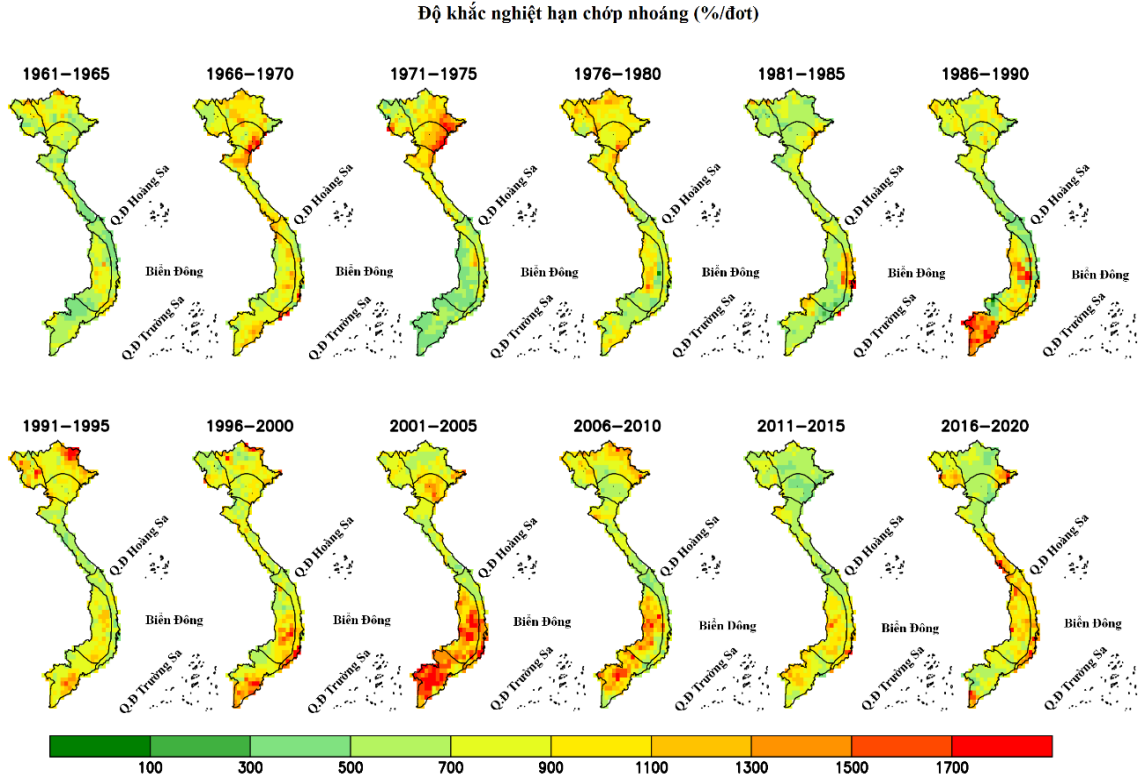
Hình 6 trình bày kết quả độ kéo dài đợt hạn (DD) trung bình hàng năm cho từng giai đoạn 5 năm từ 1961-2020. Các đợt hạn chớp nhoáng ở Việt Nam có thể kéo dài từ 15-70 ngày, phổ biến nhất vào khoảng 30-40 ngày. Giai đoạn 1961-1985, DD ở các vùng phía Bắc (B1-B4) có xu hướng dài hơn các vùng phía Nam (N1-N3), tuy nhiên từ năm 1986-2020, đặc trưng này lại thể hiện xu hướng ngược lại. Trong 60 năm qua, trung bình độ kéo dài đợt hạn không có sự thay đổi nhiều trong mỗi vùng, chỉ có Tây Nguyên và Nam Bộ ghi nhận một số đợt FD có DD lớn hơn vào giai đoạn 1986-1990 và 2001-2010 (khoảng 60, 70 ngày).



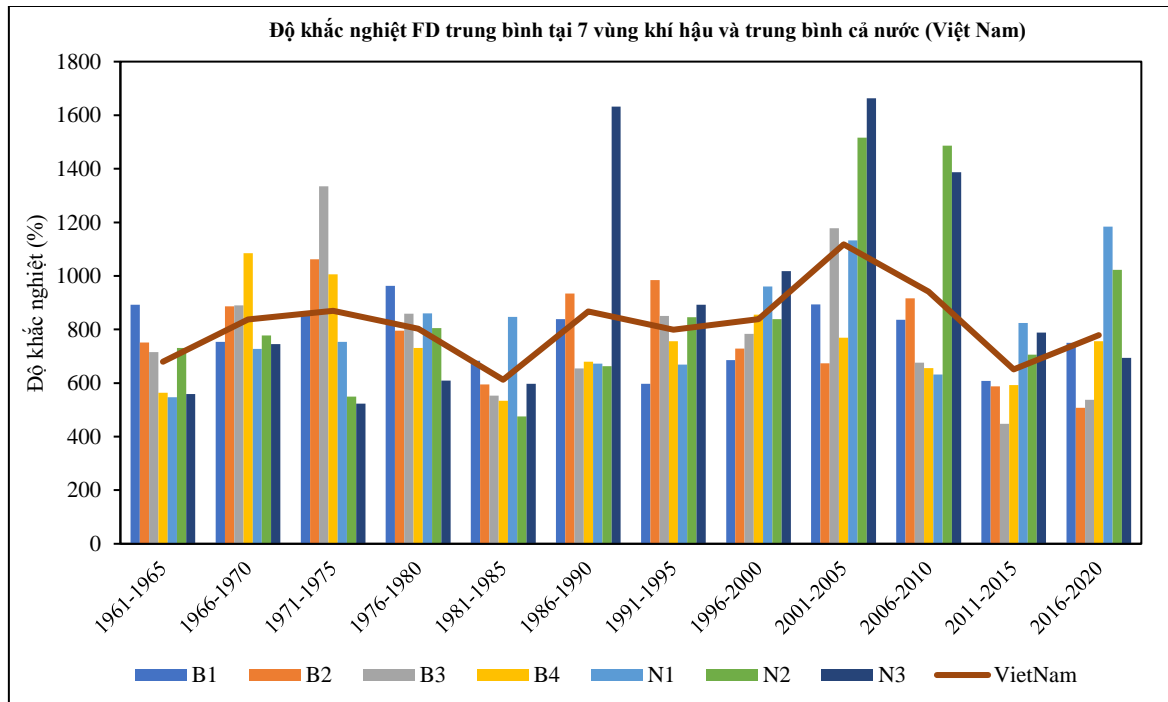
Hình 6. Độ kéo dài trung bình các FD theo từng giai đoạn 5 năm.

3.1.4. Độ khắc nghiệt

Hình 7 và 8 trình bày kết quả tính độ khắc nghiệt trung bình (DS) của các đợt FD hàng năm cho từng giai đoạn 5 năm từ 1961-2020. Có thể thấy DS có giá trị khoảng 810%. Lưu ý rằng DS là tổng tích lũy của hạng phân vị độ ẩm đất trong từng đợt FD nên DD lớn sẽ kéo theo DS lớn. Kết quả tính toán cũng cho thấy, đặc trưng này có sự biến động đáng kể theo thời gian ở Bắc Bộ, Tây Nguyên, Nam Bộ và Nam Trung Bộ, chỉ có Bắc Trung Bộ ghi nhận mức biến động không đáng kể. DS ở các vùng khí hậu không chênh lệch nhau nhiều. Trong các vùng khí hậu thì Tây Nguyên và Nam Bộ có DS cao bất thường trong giai đoạn 2001-2010 (1600%), do sự gia tăng độ dài các đợt hạn tại hai vùng này.



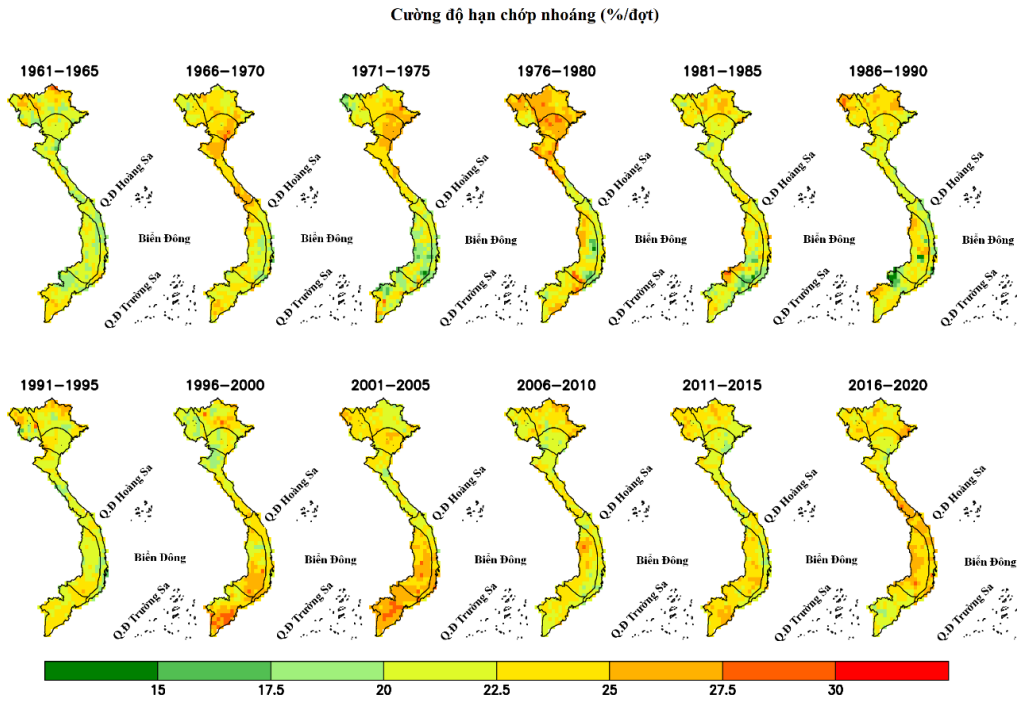
Hình 7. Độ khắc nghiệt trung bình FD theo từng giai đoạn 5 năm.



Hình 8. Độ khắc nghiệt trung bình FD trên các vùng khí hậu và trên cả nước giai đoạn 1961-2020.

3.1.5. Cường độ

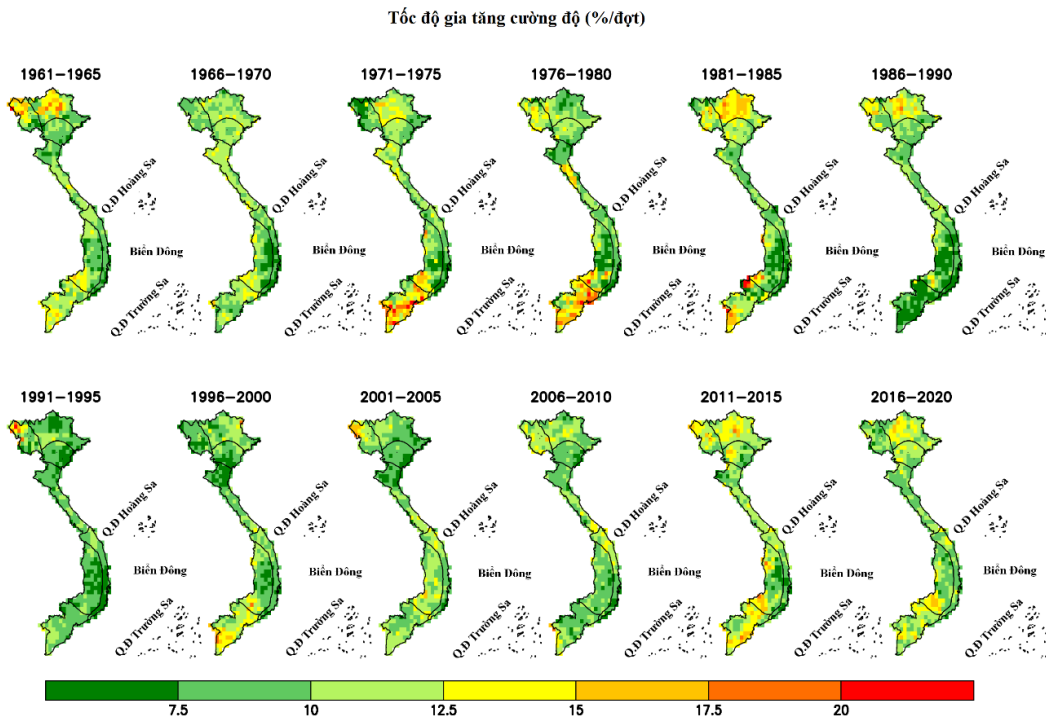
Hình 9 trình bày kết quả tính trung bình cường độ hạn (DI) hàng năm cho từng giai đoạn 5 năm từ 1961-2020. Mặc dù độ khắc nghiệt có sự biến động lớn trên cả nước nhưng cường độ lại khá đồng đều ở các khu vực. Cường độ trung bình của các đợt FD dao động từ 20-25%/ngày, có một số vị trí giảm xuống mức 17-18%/ngày.



Hình 9. Cường độ FD theo từng giai đoạn 5 năm.

3.1.6. Tốc độ gia tăng cường độ (Cường suất)

Hình 10 trình bày kết quả tính trung bình tốc độ gia tăng cường độ (RD) hàng năm cho từng giai đoạn 5 năm từ 1961-2020. Trung bình cả nước, RD của các đợt FD là 10,7%/đợt. Đặc trưng này không chênh lệch nhiều giữa các vùng, tuy vậy RD có sự tăng lên khá đột biến ở Nam Bộ vào giai đoạn 1971-1980 và ở Đông Bắc Bộ vào giai đoạn 1981-1990, với mức 17%/đợt. Với RD càng lớn thì FD diễn ra càng nhanh và độ ẩm đất giảm xuống mức thấp nhất (chạm đáy) càng nhanh. Trong điều kiện như vậy, những loại cây trồng nào không thích ứng được với tốc độ sụt giảm, thiếu hụt độ ẩm đất nhanh thì sẽ bị ảnh hưởng nghiêm trọng.

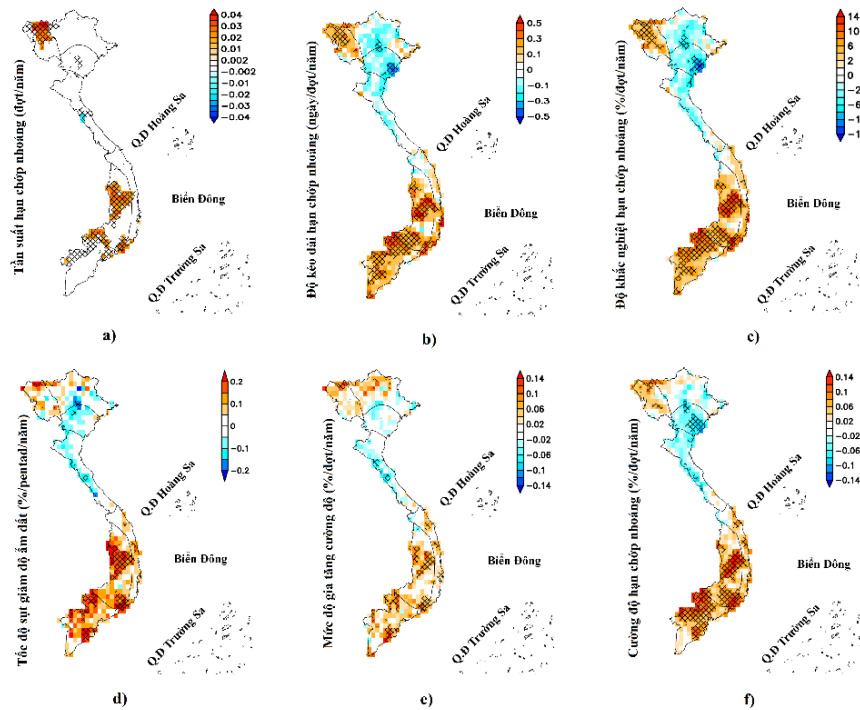


Hình 10. Tốc độ gia tăng cường độ FD theo từng giai đoạn 5 năm.

3.2. Xu thế biến đổi của các đặc trưng hạn chộp nhoáng

Xu thế biến đổi theo thời gian của các đặc trưng FD trên toàn lãnh thổ Việt Nam được dẫn ra trên hình 11. Có thể nhận thấy sự phân hoá không gian khá rõ về xu thế này. Đó là, trong khi trên miền khí hậu phía Nam (N1-N3) và vùng Tây Bắc xu thế tăng diễn ra phổ biến đối với tất cả các đặc trưng thì ba vùng khí hậu còn lại (B2-B4) hoặc có xu thế giảm không đáng kể hoặc không biến đổi. Trong đó, trong 60 năm qua, ba vùng phía Nam và Tây Bắc ghi nhận số đợt hạn tăng lên 0,02-0,04 đợt/năm, SPD tăng 0.1%/pentad/năm, DD tăng 0,3-0,5 ngày/đợt/năm, DS tăng 6-10%/đợt/năm, DI tăng 0,07-0,14%/đợt/năm, và RD tăng 0.06-0,12%/đợt. Các vùng Đông Bắc, Đồng Bằng Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ có số đợt hạn gần như không đổi, với SPD giảm 0,05-0,1%/pentad/năm, DD giảm 0,1-0,3 ngày/đợt/năm, DS giảm 2-6%/đợt/năm, DI giảm 0,02-0,06/đợt, và RD giảm 0,01-0,02%/đợt/năm. Như vậy, FD và các đặc trưng của FD tại các khu vực phía Nam và Tây Bắc tăng lên khá đáng kể, các khu vực còn lại duy trì xu thế không đổi (số đợt hạn) hoặc giảm nhẹ (các đặc trưng còn lại). Một số vùng như Tây Nguyên, một phần của Nam Bộ và các tỉnh Đà Nẵng, Ninh Thuận, Bình Thuận, Sơn La, Hà Nội cho thấy độ tin cậy của xu thế đạt mức ý nghĩa 10%.

Xu thế biến đổi của các đặc trưng hạn chộp nhoáng ở Việt Nam



Hình 11. Xu thế biến đổi các đặc trưng hạn chộp nhoáng giai đoạn 1961-2020: (a) Số đợt hạn; (b) Độ kéo dài; (c) Độ khắc nghiệt; (d) Tốc độ sụt giảm độ ẩm đất; (e) Mức độ gia tăng cường độ; (f) Cường độ. (Phần gạch chéo thể hiện mức ý nghĩa dưới 10%).

4. Kết luận và khuyến nghị

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã sử dụng số liệu độ ẩm đất tái phân tích ERA5 để xác định hiện tượng hạn chộp nhoáng, tính các đặc trưng và xu thế biến động của loại hạn này trên lãnh thổ đất liền Việt Nam trong giai đoạn 1961-2020. Kết quả nhận được cho thấy, hạn chộp nhoáng ở Việt Nam trong khoảng thời gian nghiên cứu các đặc trưng hạn như số đợt hạn, độ kéo dài đợt hạn và độ khắc nghiệt có sự biến động nhiều theo thời gian và không gian. Các khu vực phía Nam có số đợt hạn ít hơn so với phía Bắc nhưng độ kéo dài đợt hạn dài hơn nên kéo theo mức độ khắc nghiệt lớn hơn. Khu vực phía Nam và vùng Tây Bắc cũng ghi nhận xu thế tăng ở tất cả các đặc trưng của FD.

Điểm đáng chú ý là nghiên cứu đã phát hiện thấy các đợt hạn chộp nhoáng thường xuất hiện vào mùa mưa có thể có ý nghĩa đối với ngành nông nghiệp, các nhà sản xuất, nông dân, v.v. Bởi thông thường người ta ít nghĩ đến hạn vào thời kỳ này nên có thể ít chú ý đến việc trữ nước và chủ động tưới cho cây trồng. Do đó, đây có thể là thông tin quan trọng cho các hoạt động cảnh báo, phòng tránh và ứng phó với hạn chộp nhoáng.

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

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

Tài liệu tham khảo

1. Van Loon, A.F. Hydrological drought explained. *Wiley Interdiscip. Rev.: Water* **2015**, 2, 359–392. <https://doi.org/10.1002/wat2.1085>.
2. Wilhite, D.A. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. In *Drought: A Global Assessment*, Edited by Donald A. Wilhite, Chap. 1, London: *Routledge*, **2000**, 1, 3–18.
3. WMO. Drought Monitoring and Early Warning: Concepts, Progress and Future Challenges, WMO- No. 1006, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2006, pp. 24. Online available: <https://www.uncclern.org/wp-content/uploads/library/wmo123.pdf>.
4. Mishra, A.K.; Singh, V.P. A review of drought concepts. *J. Hydrol.* **2010**, 391(1), 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>.
5. Wilhite, D.A.; Glantz, M.H. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water Int.* **1985**, 10, 111–120.
6. Otkin, J.A.; Svoboda, M.; Hunt, E.D.; Ford, T.W.; Anderson, M.C.; Hain, C.; Basara, J.B. Flash droughts: A review and assessment of the challenges imposed by rapid-onset droughts in the United States. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2018**, 99(5), 911–919. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0149.1>.
7. Otkin, J.A.; Anderson, M.C.; Hain, C.; Svoboda, M.; Johnson, D.; Mueller, R.; Tadesse, T.; Wardlow, B.; Brown, J. Assessing the evolution of soil moisture and vegetation conditions during the 2012 United States flash drought. *Agric. For. Meteorol.* **2016**, 218–219, 230–242.
8. Ford, T.W.; Labosier, C.F. Meteorological conditions associated with the onset of flash drought in the Eastern United States. *Agric. For. Meteorol.* **2017**, 247, 414–423. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.031>.
9. Basara, J.B.; Christian, J.I.; Wakefield, R.A.; Otkin, J.A.; Hunt, E.H.; Brown, D.P. The evolution, propagation, and spread of flash drought in the Central United States during 2012. *Environ. Res. Lett.* **2019**, 14, 084025. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2cc0>.
10. Nguyen, H.; Wheeler, M.C.; Otkin, J.A.; Cowan, T.; Frost, A.; Stone, R. Using the evaporative stress index to monitor flash drought in Australia. *Environ. Res. Lett.* **2019**, 14(6), 064016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2103>.
11. Osman, M.; Zaitchik, B.F.; Badr, H.S.; Christian, J.I.; Tadesse, T.; Otkin, J.A.; Anderson, M.C. Flash drought onset over the contiguous United States: Sensitivity of inventories and trends to quantitative definitions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2021**, 25(2), 565–581. <https://doi.org/10.5194/hess-25-565-2021>.
12. Zhang, L.; Liu, Y.; Ren, L.; Teuling, A.J.; Zhu, Y.; Wei, L.; Zhang, L.; Jiang, S.; Yang, X.; Fang, X.; Yin, H. Analysis of flash droughts in China using machine

- learning. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2022**, 26, 3241–3261. <https://doi.org/10.5194/hess-26-3241-2022>.
13. Yuan, X.; Wang, L.; Wu, P.; Ji, P.; Sheffield, J.; Zhang, M. Anthropogenic shift towards higher risk of flash drought over China. *Nat. Commun.* **2019**, 10(1), 4661. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12692-7>.
 14. Qing, Y.; Wang, S.; Ancell, B.C.; Yang, Z.L. Accelerating flash droughts induced by the joint influence of soil moisture depletion and atmospheric aridity. *Nat. Commun.* **2022**, 13, 1139. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28752-4>.
 15. Otkin, J.A.; Woloszyn, M.; Wang, H.; Svoboda, M.; Skumanich, M.; Pulwarty, R.; Lisonbee, J.; Hoell, A.; Hobbins, M.; Haigh, T.; Cravens, A.E. Getting ahead of Flash Drought: From Early Warning to Early Action. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2022**, 103(10), E2188–E2202. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0288.1>.
 16. Basara, J.B.; Christian, J.I.; Wakefield, R.A.; Otkin, J.A.; Hunt, E.H.; Brown, D.P. The evolution, propagation, and spread of flash drought in the Central United States during 2012. *Environ. Res. Lett.* **2019**, 14, 084025. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2cc0>.
 17. Tyagi, S.; Zhang, X.; Saraswat, D.; Sahany, S.; Mishra, S.K.; Niyogi, D. Flash drought: Review of concept, prediction and the potential for machine learning, deep learning methods. *Earth Future* **2022**, 10, e2022EF002723. <https://doi.org/10.1029/2022EF002723>.
 18. Mukherjee, S.; Mishra, A.K. A multivariate flash drought indicator for identifying global hotspots and associated climate controls. *Geophys. Res. Lett.* **2022**, 49, e2021GL096804. <https://doi.org/10.1029/2021GL096804>.
 19. Sen, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. Am. Stat. Assoc.* **1968**, 63, 1379–1389.
 20. Kendall, M.G. Rank Correlation Methods, 2nd edition. London: Charles Griffin & Co, 1955.
 21. Mann, H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica J. Econom. Soc.* **1945**, 13, 245–259.

Flash drought in Vietnam and some of its characteristics during the period of 1961-2020

Hoang Thi Minh¹, Nguyen Van Toan², Phan Van Tan^{2*}

¹ Central Project Office for Water Resources, Ministry of Agriculture and Rural development; minhprc@gmail.com

² Hanoi University of Sciences, Vietnam National University, Hanoi; phanvantan@hus.edu.vn; nguyenvantoan_t64@hus.edu.vn

Abstract: This study investigated the spatio-temporal variation of some flash drought's characteristics across the mainland of Vietnam in the period 1961-2020. Flash drought events were identified using mean root zone soil moisture (RZSM; 0-100cm), the data was extracted from ERA5 reanalysis, at the resolution 0.25°. On the basis of flash drought events, a number of characteristics and their variation trends have been recognized. The results show that, on average, there were 1.5-5.0 flash drought events per year across the country, and the number of events varied by regions and time periods. The frequency of FD occurrence in regions and months of the year also varied. Mean duration of drought events across the country was about 25 days per event, however, there was considerable variation among regions and time periods. The general variation trend of the flash drought characteristics was recorded with an increase in the South and Northwest regions, while other regions had a constant trend.

Keywords: Flash drought; Variability; Trend; Vietnam.

Bài báo khoa học

Kết quả ban đầu về mô phỏng ngập lụt vùng ven biển Thanh hoá do nước dâng bão

Phạm Văn Tiến¹, Trần Thị Thuỳ Linh^{2,4}, Phạm Khánh Ngọc², Bùi Mạnh Hà³, Nguyễn Bá Thủy^{2*}

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

² Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia; nguyentranlinh99@gmail.com;
ngocpkchibo@gmail.com; thuybanguyen@gmail.com

³ Trung tâm Hải văn; manhhamhc@gmail.com

⁴ Khoa Các khoa học liên ngành - Đại học Quốc gia Hà Nội

*Tác giả liên hệ: thuybanguyen@gmail.com; Tel.: +84-975853471

Ban Biên tập nhận bài: 15/6/2023; Ngày phản biện xong: 17/8/2023; Ngày đăng bài: 25/8/2023

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này, nguy cơ ngập lụt do nước dâng bão tại ven biển Thanh Hoá cho một số kịch bản về bão đổ bộ vào khu vực với độ cao thủy triều ở mức trung bình được mô phỏng bằng mô hình số trị tích hợp thủy triều, sóng biển và nước dâng do bão (mô hình SuWAT). Trong đó, mô hình SuWAT được phát triển thuật toán biên di động để mô phỏng ngập lụt do nước dâng bão. Kết quả mô phỏng cho thấy với bão cấp 12 và thời gian mô phỏng 90 giờ kể từ khi bão hình thành thì tại thời điểm 71 giờ, mực nước tại ven biển Thanh Hoá bắt đầu dâng, thời điểm sau 73 giờ nước dâng đã bắt đầu gây ngập tại một số khu vực trũng ven biển và dọc theo lưu vực các sông, tại thời điểm 79 giờ hầu hết các khu vực có nước dâng đã ngập sâu nhất. Khu vực có diện tích ngập rộng và sâu nhất là ven biển huyện Hậu Lộc, quanh lưu vực sông Yên, sông Mã, sông Trường Giang và sông Lèn. Với trường hợp bão cấp 15 đổ bộ, tổng diện tích ngập tại ven biển Thanh Hoá lên tới 153,2 km². Đây là những kết quả nghiên cứu ban đầu về ngập lụt ven biển do nước dâng bão, làm cơ sở để tiếp tục phát triển mô hình cũng như thực hiện trong nhiều kịch bản khác nhau về địa hình và cấp bão đổ bộ.

Từ khóa: Bão; Nước dâng do bão; Ngập lụt ven biển; Mô hình tích hợp.

1. Mở đầu

Bão là thiên tai có nguồn gốc khí tượng thủy văn (KTTV) nguy hiểm mà hệ quả là hiện tượng ngập lụt vùng ven bờ, xói lở bờ và xâm nhập mặn do nước biển dâng cao kèm theo sóng lớn, nhất là trong bối cảnh biến đổi khí hậu, được nhận định sẽ có nhiều bão mạnh/siêu bão với diễn biến bất thường có thể ảnh hưởng tới đất liền Việt Nam. Trên thế giới, lịch sử đã chứng kiến nhiều cơn bão gây nước biển dâng cao kèm theo sóng lớn làm ngập vùng ven bờ trên diện rộng: Bão Katrina đổ bộ vào bang New Orleans Mỹ tháng 8 năm 2005 gây nước dâng tới 6,0 m làm khoảng 1800 người chết, thiệt hại 81,2 tỷ đô la với nguyên nhân chủ yếu do ngập lụt bởi nước dâng cao; Bão Nargis đổ bộ vào Myanmar tháng 5 năm 2008, là cơn bão gây thương vong về người nhiều nhất trong lịch sử Myanmar, số người chết tới 90.000 và hơn 56.000 người mất tích, ước tính thiệt hại khoảng 10 tỷ đô la; Siêu bão Haiyan với cấp 17 tràn vào Phillipine đã làm chết hơn 7000 người, trong đó chủ yếu bởi ngập lụt do nước dâng bão cao tới 5m đúng vào thời điểm thủy triều cao [1]. Tại Việt Nam, lịch sử đã ghi nhận nhiều cơn bão gây nước biển dâng cao kèm theo sóng lớn làm tràn, vỡ đê, gây ngập lụt trên diện rộng. Riêng giai đoạn từ năm 2005 đến nay đã có một loạt cơn bão đổ bộ vào thời điểm

Tạp chí Khí tượng Thủy văn **2023**, 752, 87-96; doi:10.36335/VNJHM.2023(752).87-96 <http://tapchikttv.vn/>

triều cường với nước dâng bão cao từ 1-2 m làm vỡ đê, gây ngập úng nghiêm trọng (bão Washi năm 2005 tại Hải Phòng; bão Damrey năm 2005 tại Nam Định; bão Xangsane năm 2006 và bão Ketsana năm 2009 tại Huế và Đà Nẵng, bão Kalmaegy năm 2014 tại Quảng Ninh, bão Doksuri năm 2017 tại Nghệ An-Hà Tĩnh, bão Vamco năm 2020 tại Quảng Bình-Quảng Trị) [1–5]. Bão Damrey (9/2005) với cấp gió 10-11 đổ bộ trực tiếp vào ven Biển Nam Định đúng vào kỳ triều cường gây nước dâng và sóng lớn làm vỡ đê, ngập nhiều khu vực sâu trong đê [1]. Bão Doksuri (7/2017) đổ bộ vào ven biển Nghệ An-Hà Tĩnh đúng thời điểm ven biển Bắc Bộ đang kỳ triều cao đã gây nước dâng tràn ngập nhiều tuyến đê biển từ Hải Phòng tới Hà Tĩnh làm ngập úng nhiều khu vực trũng Hình 1 [6].



Hình 1. Ngập lụt ven bờ do nước dâng và sóng trong bão tại ven biển Thanh Hóa trong bão Doksuri tháng 9/2017: (a) Tại ven biển Sầm Sơn; (b) Tại đê biển Hậu Lộc [6].

Chính vì sự tàn khốc của bão nên nghiên cứu về bão và nước dâng đã được thực hiện theo nhiều hướng tiếp cận khác nhau để phục vụ dự báo, cảnh báo cũng như phục vụ quy hoạch và thiết kế các công trình trên biển, ven biển. Do hạn chế về năng lực tính toán nên tới thời điểm hiện tại các nghiên cứu về nước dâng bão chủ yếu tập trung đánh giá cũng như xây dựng công nghệ dự báo, cảnh báo độ cao nước dâng ở mép nước, chưa có nhiều nghiên cứu về ngập lụt ven biển do nước dâng bão, nhất là hướng nghiên cứu bằng mô hình số trị.

Trên thế giới, gần đây xu hướng xây dựng mô hình số trị để mô phỏng ngập lụt do nước dâng bão ngày càng được phát triển do đáp ứng được năng lực tính toán. Các nghiên cứu ban đầu được thực hiện dựa trên phát triển mô hình nước nông 2 chiều với nước dâng do tác động của gió và khí áp [7–11]. Gần đây, ảnh hưởng của thủy triều và sóng đối với mô phỏng nước dâng và ngập lụt ven biển đã được xem xét trong nhiều nghiên cứu gần đây [12–16].

Tại Việt Nam có thể điểm qua vài công trình nghiên cứu về ngập lụt ven biển do nước dâng bão: Trong năm 2012, [17] tập trung vào xây dựng mô hình dự báo nước dâng do bão và ngập lụt vùng ven biển Thừa Thiên Huế, mô phỏng các kịch bản ngập lụt nước dâng bão ứng với tần suất 1%, 2%, 5%, 10% và 20% và nước biển dâng do biến đổi khí hậu 0 cm, 30 cm và 75 cm và xây dựng phần mềm trợ giúp ra quyết định. Trong năm 2016, sau sự kiện cơn bão Haiyan (11/2013) gây ngập lụt do nước biển dâng và sóng trong bão trên diện rộng tại Philippines, Tổng cục Phòng, chống thiên tai, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn đã xây dựng bản đồ nguy cơ ngập ven biển cho tình huống bão mạnh/siêu bão đổ bộ vào ven biển Việt Nam, trong đó có khu vực ven biển tỉnh Thanh Hóa [18]. Tuy nhiên, dự án này chỉ tập trung xây dựng bản đồ ngập ven biển cho một số kịch bản xác định của vị trí bão đổ bộ với cấp bão mạnh tới siêu bão (cấp 12-16) tại một số pha thủy triều. Ảnh hưởng của thủy triều và sóng đến ngập lụt do nước dâng do bão tại một số khu vực Miền Trung cũng được nghiên cứu bằng các mô hình tích hợp [19–21].

Theo yêu cầu thực tế hiện nay, thông tin dự báo về ngập lụt vùng ven biển khi bão ảnh hưởng cần được cung cấp thường xuyên theo ca dự báo tới các cơ quan phòng chống thiên tai để phục vụ xây dựng phương án ứng phó đối với tất cả các cơn bão có khả năng gây ngập chứ không chỉ với bão mạnh/siêu bão vì trên thực tế hiện tượng ngập lụt vùng ven biển do

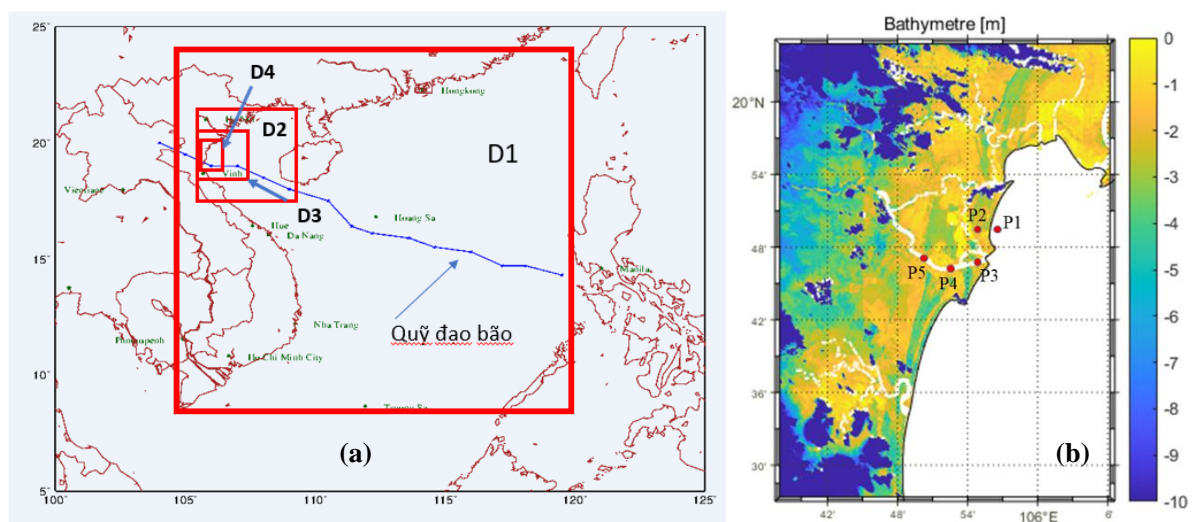
nước dâng và sóng lớn trong bão không chỉ xảy ra trong bão mạnh/siêu bão mà có nhiều trường hợp bão có cường độ không lớn nhưng đổ bộ vào thời điểm triều cường đã gây ngập úng tại nhiều khu vực trũng kể cả tại những khu vực có đê biển chắn như đã phân tích ở trên. Đề dự báo ngập lụt có độ tin cậy cao cần đòi hỏi số liệu chi tiết về địa hình và độ phân giải theo không gian của lưới tính. Tuy nhiên, đây là vấn đề khó khăn đối với bài toán trong dự báo nghiệp vụ vì phải đảm bảo thời gian phát thông tin dự báo, cảnh báo. Trong nghiên cứu này, mô hình tích hợp thủy triều, sóng biển và nước dâng do bão SuWAT được phát triển thuật toán biên di động để mô phỏng ngập lụt ven biển do nước dâng bão [12–14]. Kết quả về mô phỏng ngập lụt do một số cấp bão đổ bộ vào khu vực ven biển Thanh Hoá được phân tích.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu phục vụ nghiên cứu

Để mô phỏng ngập lụt do nước dâng do bão tại ven biển Thanh Hoá số liệu địa hình ven biển Thanh Hoá được thu thập từ bản đồ địa hình tỷ lệ 1/50.000 cho toàn bộ khu vực. Đây là nguồn dữ liệu được Tổng cục Phòng, chống thiên tai (nay là Cục Quản lý đê điều và Phòng chống thiên tai), Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn chuyên giao trong dự án “*Xây dựng bản đồ nguy cơ ngập ven biển cho tình huống bão mạnh, siêu bão đổ bộ vào ven biển Việt Nam*”, trong đó có khu vực ven biển tỉnh Thanh Hóa [8]. Riêng với khu vực ven biển Sầm Sơn, số liệu địa hình đã được cập nhật từ bản đồ tỷ lệ 1/10.000 do Cục Biển và hải đảo Việt Nam thực hiện những năm gần đây. Trên hình 2b thể hiện phân bố độ cao địa hình khu vực ven biển Thanh Hoá ứng với miền tính D4. Có thể thấy rằng khu vực ven biển phía bắc của tỉnh thuộc địa danh huyện Hậu Lộc sẽ là nơi có nguy cơ ngập cao khi bão đổ bộ trong trường hợp không có đê biển che chắn, do đây là khu vực có địa hình trũng, thoải. Trong nghiên cứu này, do hạn chế về thời gian nên số liệu về đê biển chưa được cập nhật vào lưới tính của mô hình, đây cũng là hạn chế của nghiên cứu này.

Nguy cơ ngập lụt tại ven biển Thanh Hoá được tính với bão có quỹ đạo đổ bộ giả định theo hướng Tây Tây Bắc như trên hình 2a. Theo kết quả nghiên cứu [22], thông qua phân tích số liệu bão dự tính cho giai đoạn 2051-2110 từ mô hình MRI-CGCM3 thì đây là quỹ đạo bão với cường độ mạnh nhất đổ bộ vào khu vực và gây nước dâng lớn nhất tại ven biển Thanh Hoá. Do vậy, trong nghiên cứu này sẽ sử dụng quỹ đạo bão như trên hình 2a với cấp bão đổ bộ từ cấp 10 đến cấp 15 để tính ngập lụt tại ven biển Thanh Hoá. Thời gian tồn tại của bão là 90 giờ, các thông tin cơ bản của cấp bão được trình bày trong Bảng 1.



Hình 2. (a) Miền tính và quỹ đạo bão sử dụng để mô phỏng; (b) Địa hình lưới tính chi tiết (D4) khu vực ven biển Thanh Hoá và vị trí điểm trích xuất.

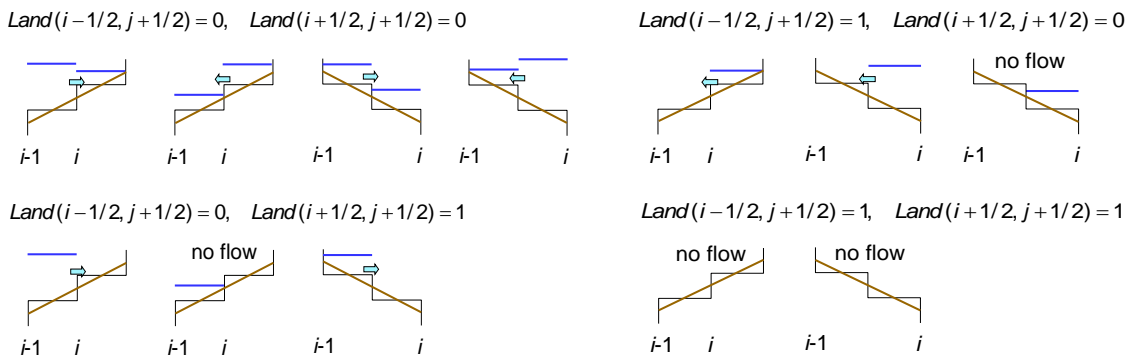
Bảng 1. Các thông số cơ bản của bão.

TT	Cấp bão	Áp suất tại tâm (hPa)	Bán kính gió cực đại (km)	Tốc độ chi chuyển (km/h)
1	10	984	50	15
2	11	980	50	15
3	12	976	50	15
4	13	954	50	15
5	14	948	50	15
6	15	940	50	15

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, mô hình tích hợp thủy triều, sóng biển và nước dâng do bão (SuWAT-Surge Wave and Tide) được sử dụng để tính nước dâng do bão trong một số nghiên cứu trước [12–14] đã được phát triển tính năng mô phỏng ngập lụt thông qua xây dựng thuật toán biên di động. Trên bảng 1 mô tả thuật toán biên di động của mô hình minh họa theo hướng \times (kinh tuyến) với chỉ số “land” là một biến trong mô hình. Trong đó chỉ “land” được xác định là ngập (hay kho) nếu “land = 0” và không ngập (uớt) nếu “land = 1”. Trong suốt quá trình tính của mô hình, tại từng bước thời gian dao động mực nước tại từng điểm $Z(i,j)$ luôn được so sánh với độ cao tại điểm đó $H(i,j)$ để xác định xem có lượng nước tràn vào vùng đất khô hay không và dòng chảy đi vào hay đi ra, tùy thuộc vào độ cao của mực nước và địa hình tại đó. Quy trình cũng tương tự được sử dụng cho hướng y.

Bảng 2. Thuật toán mô tả biên di động trong mô hình SuWAT.



Để mô phỏng ngập lụt do nước dâng tại ven biển Thanh Hoá, mô hình SuWAT được thiết kế theo lưới vuông và lồng 04 lớp. Miền tính và độ phân giải của từng lưới tính thể hiện như trên hình 2a và bảng 3, thông tin cụ thể như sau:

- Lưới tính Biển Đông (lưới D1): Đây là lưới tính lớn nhất, bao phủ từ vĩ độ 8°-22°N, kinh độ 105° - 120°E với độ phân giải ngang 4 phút (khoảng 7400 m).
- Lưới D2: Độ phân giải 2000m trong phạm vi 18.0° - 22.0°N, 105.0° - 110.0°E.
- Lưới D3: Độ phân giải 1000m trong phạm vi 18.40° - 20.24°N, 105.5° - 107.0°E.
- Lưới D4 (chi tiết nhất cho ven biển Thanh Hoá): Độ phân giải 200 m trong phạm vi 19.450° - 20.086°N, 105.625° - 106.110°E.

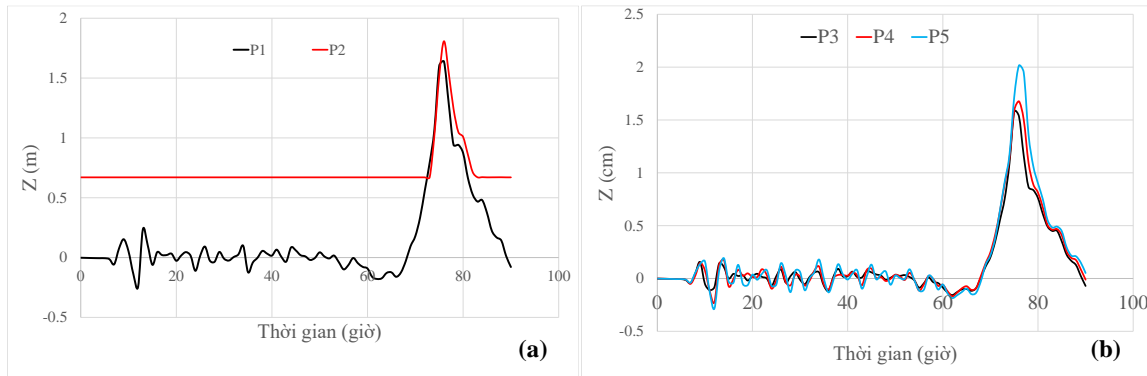
Bảng 3. Miền tính và độ phân giải các lưới tính của mô hình.

Lưới	Miền tính	Số điểm tính theo kinh & vĩ tuyến	Độ phân giải (m)
D1	105°- 120°E, 8-22°N	200 × 192	8000 × 8000
D2	105.0°- 110°E, 18.0°-22°N	274 × 214	2000 × 2000
D3	105.5°- 107°E, 18.0°-20.24°N	164 × 246	1000 × 1000
D4	105.625°- 106.11°E, 19.45°-20.086°N	264 × 350	200 × 200

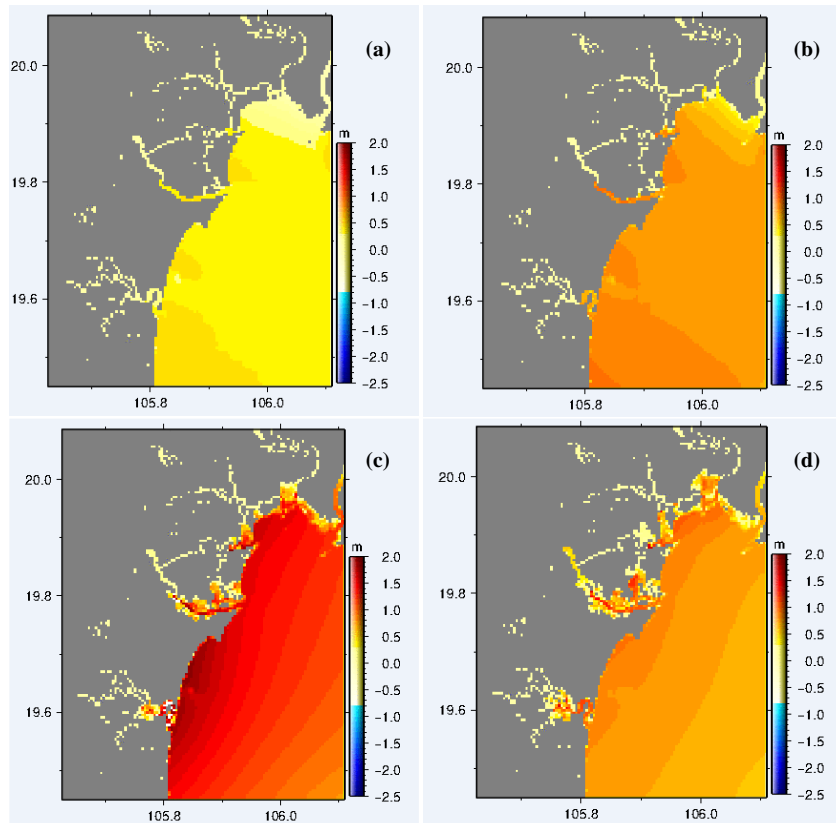
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Diễn biến ngập lụt do nước dâng bão tại ven biển Thanh Hoá

Trên hình 3 là dao động mực nước trên nền mực nước triều trung bình tại 05 vị trí điểm minh họa trên hình 2a. Đây là kết quả trường hợp mô phỏng ngập lụt ven biển Thanh Hoá với bão cấp 12 đổ bộ vào kỳ triều trung bình. Thời gian tính 90 giờ từ khi bão hình thành cho tới lúc đi sâu vào đất liền. Trong đó P₁ là vị trí ngoài biển, gần bờ có độ sâu 2,0 m, P₂ là vị trí trên đất liền có độ cao 0,67 m, các điểm P₃, P₄ và P₅ nằm dọc theo trên sông Mã. Kết quả phân tích cho thấy, tại vị trí P₁, sau 69 giờ nước biển bắt đầu dâng, nước dâng cao nhất là 1,54 m tại thời điểm 75 giờ và sau đó xuống dần. Tại điểm P₂ nước dâng muộn hơn, bắt đầu lúc 73 giờ và đạt đỉnh 1,81m lúc 76 giờ. Các điểm P₃, P₄ và P₅ nằm dọc trên sông Mã nên thời gian lan truyền nước dâng nhanh hơn, thời gian nước bắt đầu dâng tại 03 điểm gần như trùng nhau, nhưng thời gian nước dâng đạt đỉnh tại các điểm sâu bên trong muộn hơn, cụ thể tại P₃ sau 75 giờ, P₄ sau 76 giờ và P₅ sau 77 giờ. Độ cao nước dâng lớn nhất tại P₃, P₄, P₅ tương ứng là 1,57 m, 1,67 m và 2,10 m.

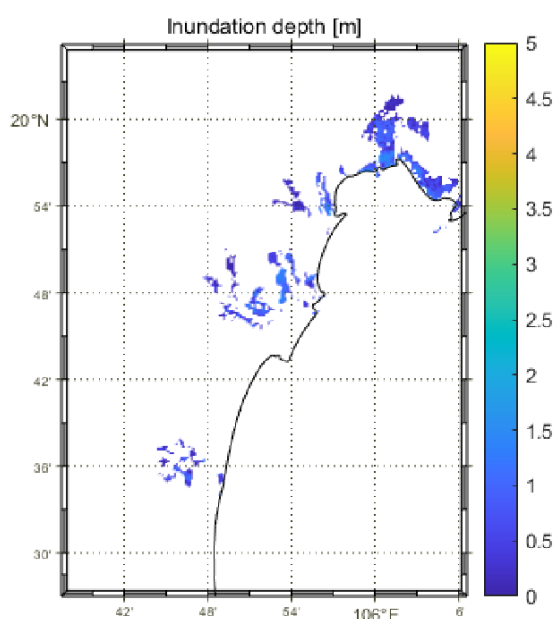


Hình 3. Dao động mực nước tại các vị trí với trường hợp bão cấp 12 đổ bộ kỳ triều trung bình.



Hình 4. Phân bố dao động mực nước sau: (a) 71 giờ, (b) 73 giờ, (c) 76 giờ và (d) 79 giờ.

Phân bố độ cao mực nước trên nền mực nước biển tại các thời điểm sau 71 giờ, 73 giờ, 76 giờ và 79 giờ thể hiện trên hình 4. Đây là kết quả của miền tính chi tiết nhất (miền D₄). Trong đó, tại thời điểm 71 giờ, mực nước tại ven biển Thanh Hoá bắt đầu dâng, thời điểm sau 73 nước dâng đã bắt đầu gây ngập tại một số khu vực trung ven biển và dọc theo lưu vực các sông đổ ra biển Thanh Hoá. Tại thời điểm 76 giờ, nhiều khu vực bị ngập sâu nhất và sau đó nước bắt đầu rút. Tại thời điểm 79 giờ, mặc dù tại phần lớn khu vực bị ngập mực nước đã rút, tuy nhiên nhiều phần đất sâu trong đất liền vẫn tiếp tục bị ngập. Phân bố độ sâu ngập lớn nhất thể hiện trên hình 5, trong đó khu vực bị ngập nhiều nhất là phần ven biển phía bắc tỉnh thuộc huyện Hậu Lộc và quanh lưu vực sông Yên, sông Mã, sông Trường Giang và sông Lèn. Thống kê diện tích ngập theo khoảng độ cao nước dâng thể hiện trên bảng 3 cho thấy tổng diện tích bị ngập khoảng 14,9 km² và độ sâu ngập lớn nhất tới hơn 2,0 m. Mặc dù mô hình SuWAT đã được hiệu chỉnh và kiểm định với tính nước dâng do bão tại khu vực trong một số nghiên cứu trước [1, 22], tuy nhiên, do thiếu số liệu quan trắc về ngập lụt nên kết quả mô phỏng ngập lụt chưa được đánh giá, đây cũng là hạn chế trong nghiên cứu này và sẽ được triển khai trong thời gian tới.



Hình 5. Phân bố độ sâu ngập lụt lớn nhất tại ven biển Thanh Hoá với bão cấp 12 đổ bộ kỳ triều trung bình.

Bảng 3. Diện tích ngập theo khoảng độ cao nước dâng do bão trường hợp bão cấp 12 đổ bộ kỳ triều trung bình.

Thứ tự	Khoảng nước dâng do bão (m)	Diện tích ngập (km ²)
1	0,0-0,5	7,3
2	>0,5-1,0	4,5
3	>1,0-1,5	2,9
4	>1,5-2,0	0,3
5	>2,0-2,5	0,1
6	>2,5-3,0	0

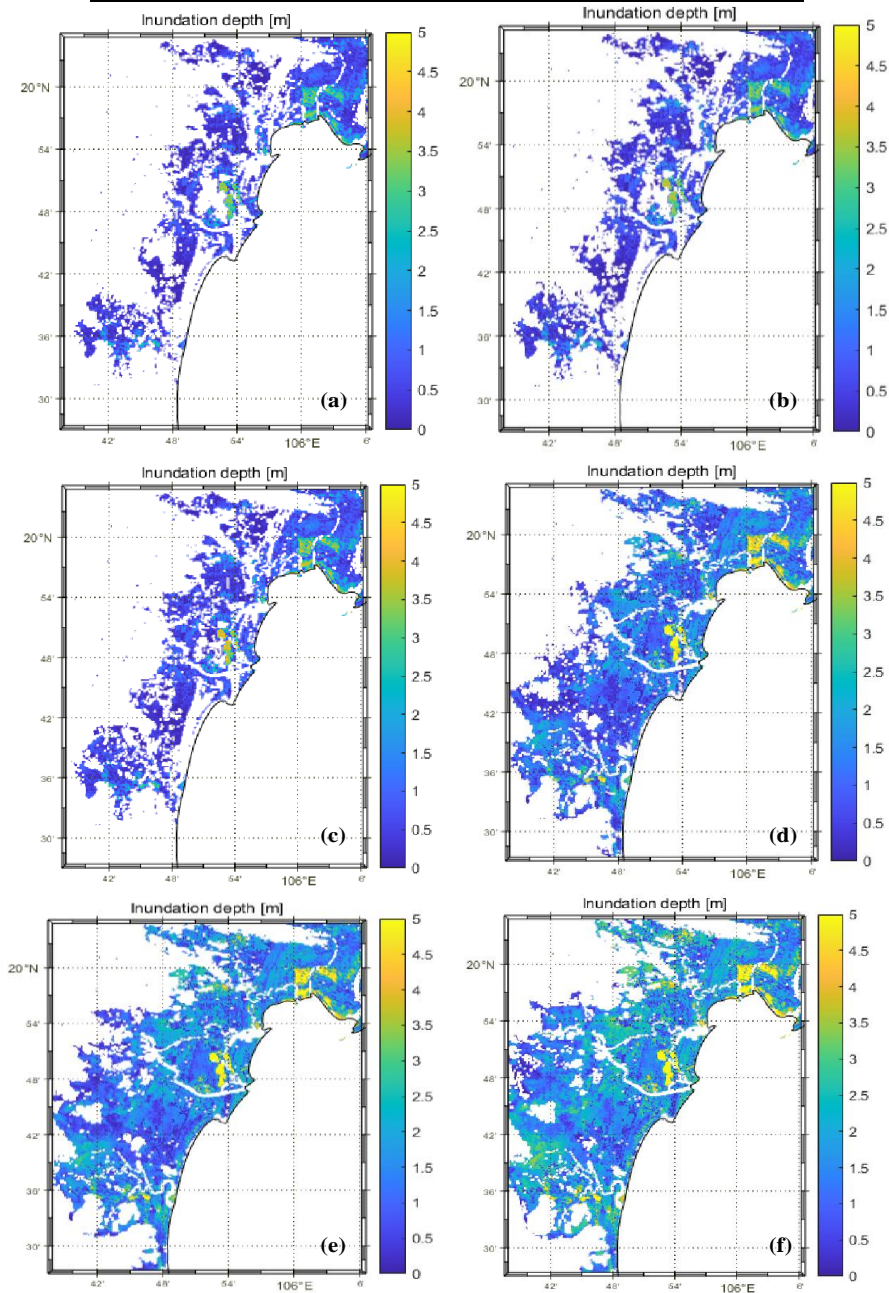
3.2. Kịch bản ngập lụt với các cấp bão đổ bộ lúc triều cường

Khi bão đổ bộ vào kỳ triều cường luôn có nguy cơ cao về ngập lụt tại vùng ven biển do tổ hợp của thủy triều và nước dâng do bão. Mức độ ngập vùng ven biển Thanh Hoá do nước dâng bão với trường hợp bão với quỹ đạo như trên hình 2a và cấp 10-15 đổ bộ vào lúc triều cường được thống kê trên bảng 4, phân bố độ sâu ngập lụt lớn nhất thể hiện trên hình 6. Trong đó, bão cấp 14 và 15 được lựa chọn mô phỏng bởi nghiên cứu [19] cho thấy khu vực ven biển Bắc Bộ có thể có bão cấp 14-15 đổ bộ trong tương lai. Theo đó, các khu vực đất trũng ven

biển và quanh lưu vực sông có thể ngập với diện tích 93,9 km² trong trường hợp bão cấp 10 đổ bộ. Với bão cấp 15, diện tích ngập lên tới 153,2 km². So sánh với trường hợp bão cấp 12 đổ bộ vào lúc triều trung bình, diện tích ngập lụt khi bão đổ bộ vào lúc triều cường đã tăng 15,6 lần (Hình 5 và Hình 6c).

Bảng 4. Diện tích ngập với các cấp bão đổ bộ vào lúc triều cường.

Cấp bão	Diện tích ngập (km ²)
Cấp 10	93,9
Cấp 11	98,1
Cấp 12	103,3
Cấp 13	135,0
Cấp 14	143,8
Cấp 15	153,2



Hình 6. Phân bố độ sâu ngập lụt lớn nhất tại ven biển Thanh Hoá với bão cấp 10 (a), 11 (b), 12 (c), 13 (d), 14(e) và 15 (f) đổ bộ kỳ triều cường.

4. Kết luận và kiến nghị

Trong nghiên cứu này, mô hình số trị tích hợp thủy triều, sóng biển và nước dâng do bão (mô hình SuWAT) được phát triển thuật toán biên di động để mô phỏng ngập lụt do nước dâng bão tại ven biển Thanh Hoá. Mô hình đã được thử nghiệm mô phỏng ngập lụt tại ven biển Thanh Hoá với một số cấp bão mạnh đổ bộ vào khu vực. Các khu vực bị ngập nhiều nhất là phần ven biển phía bắc tỉnh thuộc huyện Hậu Lộc và quanh lưu vực sông Mã, sông Trường Giang, sông Lèn và sông Yên. Diện tích và độ sâu ngập tăng dần theo cấp bão. Diện tích ngập lụt khi bão đổ bộ vào lúc triều cường lớn hơn 15,6 lần so với khi đổ bộ vào lúc triều trung bình (trường hợp bão cấp 12). Mặc dù kết quả mô phỏng ngập lụt chưa được đánh giá với số liệu thực tế, tuy nhiên mô hình SuWAT đã được kiểm định với nước dâng do bão tại khu vực và xu thế của kết quả mô phỏng tương đối phù hợp với lan truyền nước dâng trong thực tế, đây là cơ sở để tiếp tục triển khai phát triển mô hình này. Kiểm định mô hình với số liệu thực tế, sử dụng số liệu địa hình chi tiết với các công trình ven biển trên khu vực như đê biển và xem xét ảnh hưởng của nước dâng do sóng cũng như dòng chảy sông tới ngập lụt ven biển khi bão ảnh hưởng sẽ là những hướng nghiên cứu tiếp theo.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường, mã số TNMT.2022.06.04 và đề tài Độc lập cấp quốc gia mã số ĐTDL.CN-46/22, tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn.

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. Thủy, N.B. Nghiên cứu lựa chọn mô hình dự báo nước dâng do bão vào dự báo nghiệp vụ tại Việt Nam. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2017.
2. Chiến, Đ.Đ.; Thủy, N.B.; Sáo, N.T.; Thái, T.H.; Kim, S. Nghiên cứu tương tác sóng và nước dâng do bão bằng mô hình số trị. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, *647*, 19–24.
3. Thủy, N.N. Nghiên cứu cơ chế gây nước dâng sau khi bão đổ bộ tại ven biển Bắc Bộ. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2017**, *17(4B)*, 208–216.
4. Thuy, N.B.; Kim, S.; Dang, V.H.; Cuong, H.D.; Wettre, C.; Hole, L.R. Assessment of Storm Surge along the coast of Central Vietnam. *J. Coastal Res.* **2017**, *33*, 518–530.
5. Thuy, N.B.; Kim, S.; Anh, T.N.; Cuong, N.K.; Thuc, P.T.; Hole, L.H. The influence of moving speeds, wind speeds, and sea level pressures on after-runner storm surges in the Gulf of Tonkin, Vietnam. *Ocean Eng.* **2020**, *212*, 107613.
6. Trục tuyến: <https://vtv.vn/trong-nuoc/bao-so-10-gay-mua-lon-tai-thanh-hoa-moi-tuyen-duong-ngap-trong-nuoc-20170915172525371.htm>.
7. Brocchini, M.; Dodd, N. Nonlinear shallow water equation modelling for coastal engineering. *J. Waterway Port Coastal Ocean Eng.* **2008**, *134(2)*, 104–120.
8. Chen, X.; Ji, P.; Wu, Y.; Zhao, L. Coupling simulation of overland flooding and underground network drainage in a coastal nuclear power plant. *Nucl. Eng. Des.* **2017**, *325*, 129–134.

9. Choi, J.W.; Jun, H.D. Inundation damage assessment for coastal urban area considering complex causes of inundation. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.* **2018**, *18*, 283–290.
10. Dasgupta, S.; Huq, M.; Khan, Z.H.; Ahmed, M.M.Z.; Mukherjee, N.; Khan, M.; Pandey, K.D. Vulnerability of Bangladesh to cyclones in a changing climate: Potential damages and adaptation cost. World Bank Policy Research Working Paper, 2010.
11. Didier, D.; Bernatchez, P.; Boucher-Brossard, G.; Lambert, A.; Fraser, C.; Barnett, R.L.; Wiersts, S.V. Coastal flood assessment based on field debris measurements and wave runup empirical model. *J. Mar. Sci.* **2015**, *3(3)*, 560–590.
12. Kim, S.; Mase, H.; Kawasaki, K.I.; Tuhi, M.; Mizutani, H.; Hiraishi, T. Surge-wave-tide prediction model including transient wave runup, overtopping and overflow modelling. *J. Jpn. Soc. Civil Eng. Ser B2 (Coastal Eng.)* **2018**, *74(2)*, I_547-I_552.
13. Kim, S.Y.; Yasuda, T.; Mase, H. Storm surge simulations occurred in Tosa Bay by using surge-wave-tide coupled model. *Annu. J. Coastal Eng.* **2008**, *55*, 321–325.
14. Kim, S.Y.; Yasuda, T.; Mase, H. Wave set-up in the storm surge along open coasts during Typhoon Anita. *Coastal Eng.* **2010**, *57*, 631–642.
15. Lee, S.; Kang, T.; Sun, D.; Park, J.J. Enhancing an analysis method of compound flooding in coastal areas by linking flow simulation models of coasts and watershed. *Sustainability* **2020**, *12*, 6572.
16. Leroy, S.; Pedreros, R.; Andre, C.; Paris, F.; Lecacheux, S.; Marche, F.; Vinchon, C. Coastal flooding of urban areas by overtopping: Dynamic modelling application to the Johanna storm (2008) in Gâvres (France). *Nat. Hazard Earth Syst. Sci. Discuss.* **2014**, *2*, 4947–4985.
17. Liên, N.T.V. Đánh giá mức độ rủi ro vùng bờ tỉnh Thừa Thiên - Huế do nước biển dâng và xây dựng phần mềm trợ giúp ra quyết định. Đề tài độc lập - hợp tác giữa Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam với UBND tỉnh Thừa Thiên Huế, 1996.
18. Tổng cục phòng, Chống thiên tai. Bản đồ nguy cơ ngập cho tình huống bão mạnh, siêu bão đổ bộ vào ven biển Việt Nam, 2016.
19. Thai, T.H.; Tri, D.Q.; Anh, N.X.; Hoa, V.V.; Nguyen, H.V.; Nhat, N.V.; Tuyet, Q.T.T.; Pham, H.T.T.; Chung, P.H.; Thang, V.V.; et al. Numerical Simulation of the Flood and Inundation Caused by Typhoon Noru Downstream from the Vu Gia-Thu Bon River Basin. *Sustainability* **2023**, *15*, 8203. <https://doi.org/10.3390/su1510820>.
20. Thái, T.H.; Trí, Đ.Q.; Hoàng, Đ.V. Nghiên cứu mô phỏng tác động của sóng và nước dâng bão khu vực ven biển miền Trung. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *687*, 1–14.
21. Tran, T.D.; Dinh, D.T.; Doan, Q.T.; Tran, Q.T. Applications of numerical modelling for the study on storm surge in typhoon Xangsane in the central coast of Vietnam. *Trop. Cyclone Res. Rev.* **2018**, *7(3)*, 179–192.
22. Anh, N.P.; Thủy, N.B.; Ngọc, P.K.; Kim, S. Đánh giá bão trên Biển Đông và nước dâng do bão tại ven biển Bắc Bộ trong bối cảnh biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *737*, 75–86.

Initial results of coastal inundation in Thanh Hoa coastal area due to storm surge

Pham Van Tien¹, Tran Thi Thuy Linh^{2,4}, Pham Khanh Ngoc², Bui Manh Ha³, Nguyen Ba Thuy^{2*}

¹ Vietnam Institute of Meteorology, Hydrology and Climate; phamvantienbn@gmail.com

² National Centre for Hydrometeorological Forecasting; nguyentranlinh99@gmail.com; ngocpkchibo@gmail.com; thuybanguyen@gmail.com

³ Oceanography Center; manhhamhc@gmail.com

⁴ Faculty of Interdisciplinary Sciences, Vietnam National University

Abstract: In this study, the risk of coastal inundation due to storm surge in coastal of Thanh Hoa province for several scenarios of typhoon landfall the area with average height tidal cases is simulated by a couple model of surge, wave and tidal (SuWAT model). In which, the SuWAT model is developed with a moving boundary treatment to simulate inundation due to storm surge. Simulation results show that with typhoon level 12 and simulation time of 90 hours since the typhoon appear, at 71 hours, the water level in Thanh Hoa coastal area started to rise, after 73 inundation occur in some low-lying coastal areas and along river basins, at 79 hours, most of the areas with rising water were at their deepest. The area with the largest and deepest flooded area is along the coast of Hau Loc district, around the basins of Yen river, Ma river, Truong Giang river and Len river. In the case of a typhoon level 15, the total inundation area is up to 153.2 km². These are the initial research results on coastal inundation due to storm surge, which serve as a basis for further model development as well as implementation in many different scenarios in terms of terrain and storm intensity.

Keywords: Storm surge; Coastal inundation; A couple model.

Table of content

- 1 Mau, N.D.; Duong, T.H.; Tam, T.T.; Quyen, N.H.; Phong, N.B.; Y, D.N.; Phong, L. Effects of memotological factors on yield of some fruit trees in Phu Tho Province basis on correlation and regression. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 752, 1–11.
- 12 Hue, H.V. Assessment of stability of Co Chien riverbank, Vinh Long Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 752, 12–28.
- 29 Cong, D.A.; Luong, N.V.; Vinh, P.V.; Xuyen, P.N.; Long, T.T. Assessment of wastewater generation in the inner area of the coastal zone of Ho Chi Minh City until 2030. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 752, 29–40.
- 41 Phong, D.V.; Trong, N.G.; Chien, N.V.; Thanh, N.H.; Ha, L.L.; Quan, N.V.; Quang, P.N. Analysis of land vertical movement using ANN function from the results of processing GNSS time series data. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 752, 41–50.
- 51 Hai, N.D.; Trong, N.G.; Tuan, P.V.; Tong, B.V.; Thanh, N.T. Method for vertical datum conversion between nautical charts and topographic maps based on tidal data in the Gulf of Tonkin. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 752, 51–61.
- 62 Tung, T.T.; Hung, T.D. Application of floodwater depth estimation tool in estimating flooding map for the La Tinh river basin, Binh Dinh Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 752, 62–74.
- 75 Minh, H.T.; Toan, N.V.; Tan, P.V. Flash drought in Vietnam and some of its characteristics during the period of 1961-2020. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 752, 75–86.
- 87 Tien, P.V.; Linh, T.T.T.; Ngoc, P.K.; Ha, B.M.; Thuy, N.B. Initial results of coastal inundation in Thanh Hoa coastal area due to storm surge. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 752, 87–96.