

**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 761**  
**05-2024**



## Q. TÔNG BIÊN TẬP

PGS. TS. Đoàn Quang Trí

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

### Giấy phép xuất bản

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

### Tòa soạn

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

### Chế bản và In tại:

Công ty TNHH Đầu Tư Nông Nghiệp Việt Nam  
ĐT: 0243.5624399

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

Giá bán: 40.000 đồng

# TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

SỐ 761 - 5/2024

## MỤC LỤC

### Bài báo khoa học

- 1 Nguyễn Hoàng Sơn, Đào Đình Châm, Phạm Khánh Vũ, Phan Anh Hằng: Đánh giá tính dễ bị tổn thương do biến đổi khí hậu trong sản xuất nông nghiệp ở huyện Hướng Hoá, tỉnh Quảng Trị
- 13 Nguyễn Phúc Hiếu, Đỗ Dương Hoàng Vân, Đào Nguyên Khôi: Xây dựng mô hình mô phỏng chỉ số chất lượng không khí cho thành phố Hồ Chí Minh bằng phương pháp học máy
- 25 Nguyễn Đình Hải, Phạm Ngọc Quang: Xây dựng mô hình số 3D địa hình đáy biển dựa trên phương pháp đường cong tham số
- 36 Dương Thị Ngọc Tuyền, Hồng Minh Hoàng, Mạch Phương Thảo, Hứa Ngọc Huỳnh Trang, Huỳnh Văn Quốc, Lê Tấn Lợi, Đỗ Thị Phương Thảo: Ứng dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS) hỗ trợ công tác quản lý và đánh giá hiện trạng sử dụng nước dưới đất tại huyện Cầu Ngang, tỉnh Trà Vinh
- 46 Lê Song Giang, Nguyễn Hoàng Thanh Bình, Nguyễn Ngọc Minh Phú, Nguyễn Thị Thanh Hoa: Đánh giá nguy cơ và rủi ro ngập tại Thành phố Thủ Đức theo cách tiếp cận xác suất của tổ hợp
- 56 Huỳnh Phú, Trần Thị Minh Hà, Nguyễn Thị Huệ: Nghiên cứu đánh giá chất lượng nước các sông chính tỉnh Bình Thuận và đề xuất các giải pháp tiền đề bảo vệ nguồn nước
- 70 Nguyễn Quốc Trinh, Nguyễn Minh Huân, Phạm Quang Nam, Nguyễn Quang Vinh, Đỗ Thị Thu Hà, Nguyễn Quang Thành: Đánh giá nhiệt độ bề mặt nước biển khu vực biển Việt Nam giai đoạn 2000-2022 theo dữ liệu của mô hình HYCOM
- 82 Đỗ Văn Vững, Nguyễn Đức Hà, Nguyễn Huy Dương, Trần Thế Việt: Ứng dụng TRIGRS và kết hợp TRIGRS với Scoops3D trong dự báo trượt lở đất do mưa

Bài báo khoa học

## Đánh giá tính dễ bị tổn thương do biến đổi khí hậu trong sản xuất nông nghiệp ở huyện Hướng Hoá, tỉnh Quảng Trị

Nguyễn Hoàng Sơn<sup>1,2</sup>, Đào Đình Chăm<sup>3\*</sup>, Phạm Khánh Vũ<sup>4</sup>, Phan Anh Hằng<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế; nhsonsp@hueuni.edu.vn

<sup>2</sup> Viện Đào tạo mở và Công nghệ thông tin, Đại học Huế; nhsonsp@hueuni.edu.vn

<sup>3</sup> Viện Địa lý - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; ddcham@ig.vast.vn

<sup>4</sup> Trường THPT Nguyễn Thiện Thuật, Thành phố Nha Trang, tỉnh Khánh Hoà;

pkvu.c3ntthuath@khanhhoa.edu.vn

<sup>5</sup> Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế; pahang@hueuni.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: ddcham@ig.vast.vn; Tel.: +84-912446889

Ban Biên tập nhận bài: 5/12/2023; Ngày phản biện xong: 8/1/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2024

**Tóm tắt:** Biến đổi khí hậu là một thách thức đối với người dân ở huyện Hướng Hóa, tỉnh Quảng Trị. Nghiên cứu tiến hành đánh giá tính dễ bị tổn thương trong sản xuất nông nghiệp cho 21 xã, thị trấn. Áp dụng công thức tính toán dễ bị tổn thương trong sản xuất nông nghiệp của IPCC. Các chỉ số tính toán gồm: (1) Độ phơi nhiễm; (2) Độ nhạy cảm; (3) Khả năng thích ứng. Trên cơ sở kết quả tính chỉ số các biến E, S, AC, nghiên cứu đã xác định được các xã, thị trấn trong huyện có chỉ số tổn thương do biến đổi khí hậu ở mức thấp đến cao. Trong đó, Có 7 xã có mức độ tổn thương cao (Lia, A Dơi, Thanh, Ba Tầng, Hướng Linh, Hướng Việt, Hướng Lập); 12 xã có mức độ tổn thương trung bình (Hướng Phùng; Hướng Sơn; Tân Hợp; Hướng Tân; Tân Thành; Tân Long; Tân Liên; Húc; Thuận; Tân Lập; Hướng Lộ; Xy); 2 xã, thị trấn có chỉ số dễ bị tổn thương thấp (thị trấn Lao Bảo, thị trấn Khe Sanh). Kết quả này sẽ giúp cho các nhà quản lý địa phương trong việc đưa ra các biện pháp thích ứng phù hợp với biến đổi khí hậu và thiên tai ở địa phương.

**Từ khóa:** Biến đổi khí hậu; Nông nghiệp; Tổn thương; Hướng Hoá; Bền vững.

### 1. Giới thiệu

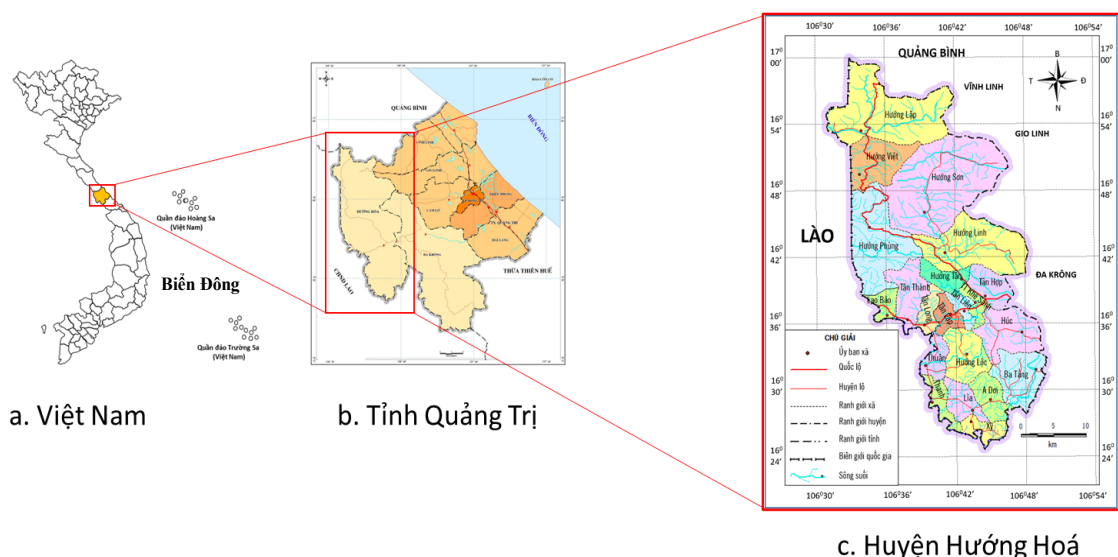
Tính dễ bị tổn thương (TDBTT) là mức độ nhạy cảm hay không thể chống chịu của một hệ thống/đối tượng trước các tác động bất lợi của biến đổi khí hậu (BĐKH), bao gồm dao động khí hậu và các hiện tượng khí hậu cực đoan [1]. Hiện nay, các nghiên cứu về TDBTT chủ yếu dựa vào khung đánh giá của IPCC, bao gồm độ phơi nhiễm (*Exposure*), độ nhạy cảm (*Sensitivity*) và khả năng thích ứng (*Adaptive capacity*). Tùy theo mỗi khu vực, địa phương mà các tác giả lựa chọn cách tiếp cận đánh giá khác nhau dựa trên khung đánh giá tổn thương của IPCC [1].

Các phương pháp thường được sử dụng rộng rãi đánh giá TDBTT do BĐKH đối với sản xuất nông nghiệp là: AHP; GIS; điều tra, khảo sát thực địa và phỏng vấn nông hộ. (1) Sử dụng AHP và GIS trong đánh giá TDBTT: Nghiên cứu [2] sử dụng GIS và AHP để xác định TDBTT của các khu vực có nguy cơ lũ lụt đô thị ở Eldoret, Kenya; Ở Việt Nam, phương pháp này được sử dụng cho nhiều địa phương khác nhau: xây dựng chỉ số dễ bị tổn thương lũ lụt cho các xã vùng hạ lưu sông Thu Bồn [3]; xây dựng bộ chỉ số tổn thương do thiên tai tại thành phố Quy Nhơn, Bình Định [4]; phân vùng mức độ tổn thương cho các xã ven biển huyện Phú Lộc, tỉnh Thừa Thiên Huế [5]; đánh giá mức độ tổn thương của ngành nông nghiệp

tỉnh Nghệ An thông qua việc sử dụng phương pháp AHP với sự hỗ trợ của phần mềm Expert Choice [6]; xác định chỉ số dễ bị tổn thương dưới tác động của BĐKH tại Côn Đảo [7]. Các công trình này có hướng chung là căn cứ vào đặc điểm của từng khu vực cụ thể để xác định các trọng số của từng chỉ số bằng quy trình Phân tích thứ bậc (AHP), dữ liệu sẽ được chuẩn hóa và được sắp xếp thành năm mức độ: rất thấp, thấp, trung bình, cao, rất cao; các bản đồ được phân cấp theo thang màu để biểu thị kết quả của từng chỉ số: độ phơi nhiễm, độ nhạy cảm, khả năng thích ứng và tính dễ bị tổn thương. (2) Sử dụng tổng hợp nhiều phương pháp (AHP và GIS, kết hợp với điều tra, khảo sát thực địa và phỏng vấn nông hộ) để xây dựng chỉ số của các hợp phần E, S, AC phù hợp cho từng địa phương, theo hướng tiếp cận sinh kế cộng đồng. Các nghiên cứu đã được tiến hành như đánh giá tác động của xâm nhập mặn đến hệ sinh thái nông nghiệp ở tỉnh Bến Tre [8]; phân cấp mức độ tổn thương trên hệ thống đầm phá Tam Giang - Cầu Hai [9]; đánh giá TDBTT và khả năng thích ứng do xâm nhập mặn đối với sản xuất nông nghiệp trong bối cảnh BĐKH tại khu vực cửa sông ven biển tỉnh Nam Định [10]; đánh giá TDBTT do lũ lụt ở lưu vực sông Bến Hải - Thạch Hãn [11]. Các nghiên cứu này tiếp tục sử dụng khung lý thuyết đã được IPCC đưa ra năm 2007 để xác định mức độ phơi bày, mức độ nhạy cảm và khả năng thích ứng; sử dụng phần mềm ArcGIS để tính toán TDBTT bằng công thức  $V = f(E \times S \times AC)$  và phân cấp tổn thương theo chỉ số của các biến E, S, AC.

Đánh giá TDBTT được các tác giả quan tâm nhiều ở khu vực đồng bằng và vùng ven biển, nơi chịu tác động mạnh do BĐKH và nước biển dâng. Khu vực miền núi phía tây còn ít các đánh giá tổn thương phù hợp với hoạt động sản xuất nông nghiệp của cộng đồng dân tộc thiểu số. Hiện nay, BĐKH đã và đang gây rủi ro lớn đối với khu vực vùng núi miền trung Việt Nam. Trong đó, huyện Hướng Hoá, tỉnh Quảng Trị là nơi thường chịu tác động của các loại hình thiên tai với tần suất và mức độ ngày càng lớn. Dân cư ở đây phần lớn là cộng đồng dân tộc thiểu số, sinh kế phụ thuộc chủ yếu vào nông nghiệp, hoạt động sản xuất nông nghiệp dễ bị tổn thương do thiên tai [12, 13].

Để bổ sung thêm các tài liệu nghiên cứu về tác động của thiên tai ở khu vực miền núi, nghiên cứu này tiếp tục sử dụng khung đánh giá của IPCC để đánh giá TDBTT do BĐKH gây ra đối với sản xuất nông nghiệp ở huyện Hướng Hoá. Phương pháp khảo sát thực địa kết hợp phỏng vấn nông hộ, AHP và GIS được sử dụng cho khu vực nghiên cứu. Nghiên cứu đã đánh giá được độ phơi nhiễm, khả năng thích ứng, độ nhạy cảm của sản xuất nông nghiệp, từ đó đánh giá được mức độ tổn thương do BĐKH đối với sản xuất nông nghiệp ở các xã, thị trấn thuộc huyện Hướng Hoá, tỉnh Quảng Trị. Kết quả đạt được phù hợp với các nghiên cứu trước đây trong đánh giá TDBTT ở Việt Nam. Vì vậy, đây là tài liệu tin cậy phục vụ cho việc phát triển nông nghiệp của địa phương một cách bền vững.



Hình 1. Sơ đồ khu vực nghiên cứu.

## 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Hướng Hoá là huyện miền núi phía Tây của tỉnh Quảng Trị, có diện tích 1150,86 km<sup>2</sup>, dân số khoảng 90 nghìn người (Hình 1). Hướng Hoá có đặc điểm về khí hậu và địa hình rất phức tạp, thường chịu ảnh hưởng của các loại hình thiên tai với tần suất và cường độ lớn. Trong đó, nhiều nhất là bão, lũ quét, ngập úng, hạn hán, sạt lở đất,... Giai đoạn từ năm 2015 - 2022, thiên tai diễn biến rất phức tạp, khó lường đã gây thiệt hại lớn đến sản xuất nông nghiệp và cuộc sống của người dân [13]. Biểu hiện rõ nhất là tình trạng thiếu nước vào mùa khô, ngập úng vào mùa mưa, ngoài ra các hiện tượng thời tiết cực đoan đã làm giảm diện tích đất canh tác, năng suất và sản lượng cây trồng vật nuôi, thậm chí một số mùa vụ mất mùa hoàn toàn [13,14,16].

### 2.2. Dữ liệu

Số liệu sơ cấp: số liệu được thu thập từ người dân thông qua 2 đợt điều tra, khảo sát thực địa kết hợp phỏng vấn nông hộ, bao gồm: các thông tin về mô hình nông nghiệp, thu nhập, ảnh hưởng của thiên tai đến sản xuất nông nghiệp, mức độ thiệt hại, khả năng thích ứng của các hộ gia đình.

Số liệu thứ cấp: các số liệu về khí tượng, thủy văn (nhiệt độ trung bình năm, lượng mưa năm, số ngày nắng nóng, số ngày rét hại, số cơn bão, số ngày lũ lụt) được thu thập ở khu vực nghiên cứu trong giai đoạn 2012 - 2022 (Bảng 1). Dữ liệu nghiên cứu được thu thập tại trạm khí tượng Khe Sanh.

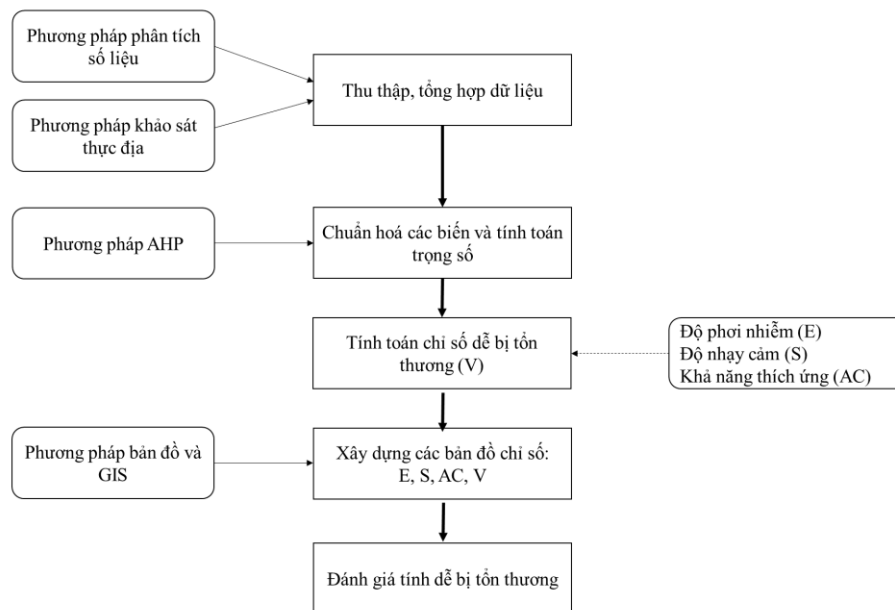
Các số liệu về diện tích, sản lượng, lao động, nguồn nước, cơ sở hạ tầng, kinh tế được thu thập từ Niên giám thống kê hằng năm của huyện Hướng Hóa, các văn bản báo cáo tình hình kinh tế xã hội, báo cáo các mô hình sản xuất nông nghiệp của Ủy ban Nhân dân huyện Hướng Hoá (Bảng 1).

**Bảng 1.** Nguồn dữ liệu.

STT	Nhóm chỉ tiêu	Chỉ tiêu	Nguồn thu thập
1	Khí tượng, thủy văn	Nhiệt độ trung bình năm	[12, 13, 16]
		Lượng mưa năm	[12, 13, 16]
		Số ngày nắng nóng	[12, 13, 16]
		Số ngày rét hại	[12, 13, 16]
		Số cơn bão	[12, 13, 16]
2	Diện tích	Số ngày lũ lụt	[12, 13, 16]
		Diện tích cây hằng năm	[14, 15, 16]
		Diện tích cây lâu năm	[14, 15, 16]
3	Sản lượng	Diện tích nuôi trồng thủy sản	[14, 15, 16]
		Sản lượng cây hằng năm	[14, 15, 16]
		Sản lượng cây lâu năm	[14, 15, 16]
4	Lao động	Sản lượng nuôi trồng thủy sản	[14, 15, 16]
		Lao động được giải quyết việc làm	[14, 15, 16]
5	Nguồn nước	Tỉ lệ lao động được đào tạo	[14, 15, 16]
		Số hộ tham gia nông nghiệp	[14, 15, 16]
6	Cơ sở hạ tầng	Tỉ lệ diện tích được tiếp cận nước tưới	[14, 15, 16]
		Tỉ lệ diện tích thiếu nước tưới	[14, 15, 16]
7	Kinh tế	Tỉ lệ hệ thống thủy lợi được bê tông hóa	[14, 15, 16]
		Tỉ lệ số hộ áp dụng cơ giới hóa trong sản xuất	[14, 15, 16]
		Số hộ tiếp cận vốn vay	[14, 15, 16]
		Số hộ tiếp cận ngân sách hỗ trợ thiên tai	[14, 15, 16]

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

Đánh giá TDBTT của BĐKH trong sản xuất nông nghiệp ở huyện Hướng Hoá được thực hiện theo sơ đồ ở Hình 2.



**Hình 2.** Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

### 2.3.1. Phương pháp phân tích số liệu

Nghiên cứu đã tiến hành thu thập và phân tích số liệu sơ cấp và thứ cấp để có cái nhìn tổng quan về vấn đề BĐKH và tác động của nó đến sản xuất nông nghiệp ở huyện Hướng Hóa, tỉnh Quảng Trị. Trên cơ sở phân tích dữ liệu đã có, nghiên cứu sử dụng phần mềm Excel để chuẩn hoá và phân tích số liệu.

### 2.3.2. Phương pháp khảo sát thực địa

Nghiên cứu đã được tổ chức thành 2 đợt khảo sát thực địa. Đợt 1 (tháng 02 năm 2023) tiến hành khảo sát, thu thập các số liệu sơ cấp ở các xã phía nam của huyện (Xy, Lìa, Ba Tầng, Thanh, Thuận, A Dơi, Hướng Lộc, Húc, Tân Long, Tân Lập, Hương Liên, TT Khe Sanh, TT Lao Bảo, Tân Thành, Hướng Tân và Tân Lập). Đợt 2 (tháng 07 năm 2023) tiến hành khảo sát thu thập số liệu từ các xã phía bắc của huyện (Hướng Linh, Hướng Phùng, Hướng Sơn, Hướng Việt và Hướng Lập). Các kết quả khảo sát sẽ bổ sung nguồn số liệu để có cơ sở đánh giá mức độ tổn thương do BĐKH gây ra đối với hoạt động SXNN huyện Hướng Hóa, tỉnh Quảng Trị.

### 2.3.3. Phương pháp phân tích thứ bậc AHP

Phương pháp phân tích thứ bậc AHP [17] được sử dụng để xác định các trọng số cho các tiêu chí, bao gồm:

- Bước 1. Xây dựng hệ thống phân cấp AHP;
- Bước 2. Thiết lập ma trận đề so sánh các chỉ tiêu;
- Bước 3. Tính toán trọng số cho các chỉ tiêu;
- Bước 4. Kiểm tra tính thống nhất và tổng hợp kết quả.

### 2.3.4. Phương pháp tính toán các chỉ số

Trọng số cho các biến thành phần được xác định bằng công thức (1). Trong đó:  $X_i$  là trọng số của biến thành phần;  $X_{ij}$  là giá trị của biến  $j$  tương ứng với biến thành phần  $X_i$ ;  $n$  là số biến phụ trong biến thành phần.

$$X_i = \frac{\sum_j^n X_{ij} n_j}{\sum_j^n n_j} \quad (1)$$

Sau khi xác định được trọng số của các biến thành phần, biến (E, S, AC) được xác định bằng công thức (2). Trong đó: X là trọng số của các biến (E, S, AC);  $X_i$  là trọng số của các biến thành phần cấu thành nên biến đã được tính ở công thức (3);  $n_i$  là số lượng các biến thành phần cấu thành nên biến.

$$X = \frac{\sum_i^n X_i n_i}{\sum_i^n n_i} \tag{2}$$

- Tính dễ bị tổn thương được biểu thị bằng công thức:  $V = f(E, S, AC)$  (3). Trong đó: E là độ phơi nhiễm, E càng cao mức độ tác động càng mạnh (E càng thấp càng tốt); S là độ nhạy cảm, S càng cao mức độ nhạy cảm càng lớn (S càng thấp càng tốt); AC là khả năng thích ứng, AC càng cao thì khả năng thích ứng càng tốt (AC càng cao càng tốt); V là chỉ số dễ bị tổn thương do BĐKH.

Phân cấp mức độ của các chỉ số E, S, AC, V thành 5 mức: rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao (Bảng 2) [19, 20, 22].

**Bảng 2.** Phân cấp mức độ của các chỉ số E, S, AC, V.

STT	Giá trị	Phân cấp
1	$0,0 \leq V \leq 0,20$	Rất thấp
2	$0,201 \leq V \leq 0,4$	Thấp
3	$0,401 \leq V \leq 0,6$	Trung bình
4	$0,601 \leq V \leq 0,8$	Cao
5	$0,801 \leq V \leq 1,0$	Rất cao

### 2.3.5. Phương pháp bản đồ và GIS

Nghiên cứu sử dụng phương pháp bản đồ và GIS để xây dựng các bản đồ đánh giá chỉ số E, S, AC, V ở cấp cấp độ: rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao [18].

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Chỉ số các biến E, S, AC trong đánh giá TDBTT

#### 3.1.1. Độ phơi nhiễm (E)

Độ phơi nhiễm là bản chất và mức độ một hệ thống chịu tác động của các biến đổi thời tiết đặc biệt. Hay nói cách khác, độ phơi nhiễm là mức độ tác động của các tác nhân liên quan đến thiên tai, khí hậu và tác động trực tiếp đến hoạt động sản xuất nông nghiệp [1]. Các biến thành phần được lựa chọn bao gồm: biến động nhiệt độ theo số liệu thực tế trong thời gian quan trắc từ 2012 đến 2022 (E1); biến động lượng mưa theo số liệu thực tế trong thời gian quan trắc từ 2012 đến 2022 (E2); các hiện tượng thời tiết cực đoan (E3). Nghiên cứu áp dụng công thức (1) và (2) để tính toán chỉ số các biến của độ phơi nhiễm theo đơn vị cấp xã (Bảng 3).

**Bảng 3.** Chỉ số các biến của độ phơi nhiễm theo đơn vị cấp xã.

STT	Xã, thị trấn	E1 (Nhiệt độ)	E2 (Lượng mưa)	E3 (Thời tiết cực đoan)	E (Độ phơi nhiễm)
1	Khe Sanh	0,619	0,425	0,517	0,518
2	Lao Bảo	0,619	0,425	0,475	0,491
3	Hướng Lập	0,619	0,425	0,580	0,561
4	Hướng Việt	0,619	0,425	0,547	0,539
5	Hướng Phùng	0,619	0,425	0,505	0,511
6	Hướng Sơn	0,619	0,425	0,498	0,506
7	Hướng Linh	0,619	0,425	0,533	0,529
8	Tân Hợp	0,619	0,425	0,476	0,491
9	Hướng Tân	0,619	0,425	0,522	0,522
10	Tân Thành	0,619	0,425	0,561	0,548

STT	Xã, thị trấn	E1 (Nhiệt độ)	E2 (Lượng mưa)	E3 (Thời tiết cực đoan)	E (Độ phơi nhiễm)
11	Tân Long	0,619	0,425	0,528	0,526
12	Tân Lập	0,619	0,425	0,500	0,507
13	Tân Liên	0,619	0,425	0,525	0,524
14	Húc	0,619	0,425	0,580	0,561
15	Thuận	0,619	0,425	0,558	0,546
16	Hướng Lộc	0,619	0,425	0,528	0,526
17	Ba Tầng	0,619	0,425	0,530	0,527
18	Thanh	0,619	0,425	0,580	0,561
19	A Dơi	0,619	0,425	0,580	0,561
20	Lìa	0,619	0,425	0,558	0,546
21	Xy	0,619	0,425	0,548	0,539

Bảng 3 và hình 3a cho thấy: chỉ số độ phơi nhiễm của 21 xã, thị trấn đều ở mức trung bình. Mức độ dao động nhỏ trong khoảng 0,491 đến 0,561. Huyện Hướng Hóa có diện tích không lớn, có vị trí địa lý tương đồng, vì vậy, mức độ phơi nhiễm trước điều kiện thời tiết khí hậu của 21 xã cơ bản không quá nhiều sự chênh lệch.

### 3.1.2. Độ nhạy cảm (S)

Độ nhạy cảm là mức độ của một hệ thống chịu tác động (trực tiếp hoặc gián tiếp) có lợi cũng như bất lợi bởi các tác nhân kích thích liên quan đến khí hậu [1]. Biến thành phần được lựa chọn bao gồm: diện tích (S1); sản lượng (S2); lao động (S3); nguồn nước (S4). Nghiên cứu áp dụng công thức (1) và (2) để tính toán chỉ số S theo đơn vị cấp xã (Bảng 4).

**Bảng 4.** Chỉ số các biến của độ nhạy cảm theo đơn vị cấp xã.

STT	Xã, thị trấn	S1 (Diện tích)	S2 (Sản lượng)	S3 (Lao động)	S4 (Nguồn nước)	S (Độ nhạy cảm)
1	Khe Sanh	0,412	0,541	0,346	0,542	0,453
2	Lao Bảo	0,468	0,442	0,418	0,450	0,444
3	Hướng Lập	0,830	0,688	0,701	0,803	0,751
4	Hướng Việt	0,705	0,683	0,724	0,642	0,693
5	Hướng Phùng	0,338	0,659	0,370	0,754	0,510
6	Hướng Sơn	0,735	0,595	0,629	0,674	0,657
7	Hướng Linh	0,716	0,516	0,693	0,612	0,636
8	Tân Hợp	0,717	0,467	0,824	0,838	0,700
9	Hướng Tân	0,589	0,369	0,700	0,545	0,551
10	Tân Thành	0,519	0,363	0,625	0,765	0,550
11	Tân Long	0,833	0,389	0,464	0,732	0,593
12	Tân Lập	0,521	0,457	0,631	0,442	0,519
13	Tân Liên	0,552	0,362	0,629	0,383	0,490
14	Húc	0,826	0,576	0,635	0,728	0,688
15	Thuận	0,872	0,912	0,810	0,879	0,867
16	Hướng Lộc	0,772	0,592	0,503	0,446	0,590
17	Ba Tầng	0,751	0,773	0,676	0,534	0,697
18	Thanh	0,874	0,914	0,860	0,780	0,864
19	A Dơi	0,852	0,908	0,795	0,866	0,854
20	Lìa	0,785	0,787	0,680	0,734	0,748
21	Xy	0,843	0,397	0,564	0,828	0,642

Bảng 4 và hình 3b cho thấy: Các chỉ số của độ nhạy cảm khá lớn, dao động trong khoảng từ 0,489 đến 0,867. Trong đó một số xã có độ nhạy cảm lớn như: Húc (0,688); Hướng Việt (0,693); Ba Tầng (0,697); Tân Hợp (0,700); Lìa (0,748); Hướng Lập (0,751); A Dơi (0,800); Thanh (0,864); Thuận (0,867). Các xã này ngoài chịu sự tác động chung giống như các xã khác về các về các hiện tượng thời tiết, do đặc điểm địa hình, thủy văn nên ở đây chịu tác động thêm của vào mùa mưa, dẫn đến diện tích, năng suất và sản lượng của cây trồng, vật nuôi cũng ảnh hưởng theo. Từ đó làm cho chỉ số nhạy cảm tổng thể tăng lên. Những khu vực



còn lại đều có chỉ số nhạy cảm ở mức trung bình. Đây là những xã, thị trấn ở các vị trí và điều kiện địa hình tương đối thuận lợi nên chịu sự tác động của các hiện tượng lũ lụt ít hơn, diện tích, và sản lượng cây trồng vật nuôi ít bị tác động hơn nên chỉ số nhạy cảm có phần thấp hơn các xã đã nêu trên. Tuy nhiên cần phải khẳng định lại, mặc dù chỉ số nhạy cảm thấp hơn các xã đã nêu, song chỉ số này cũng không thấp hơn quá nhiều và vẫn ở mức độ trung bình. Không có xã có chỉ số nhạy cảm thấp.

### 3.1.3. Khả năng thích ứng (AC)

Khả năng thích ứng là khả năng của một hệ thống nhằm thích ứng với BĐKH bao gồm sự thay đổi cục đoạn của khí hậu nhằm giảm thiểu các thiệt hại, khai thác yếu tố có lợi hoặc để phù hợp với tác động của BĐKH [1]. Biến thành phần được lựa chọn bao gồm: cơ sở hạ tầng (AC1); kinh tế (AC2). Nghiên cứu áp dụng công thức (1) và (2) để tính toán chỉ số AC theo đơn vị cấp xã (Bảng 5).

**Bảng 5.** Chỉ số các biến của khả năng thích ứng theo đơn vị cấp xã.

STT	Xã, thị trấn	AC1 (Cơ sở hạ tầng)	AC2 (Kinh tế)	AC
1	Khe Sanh	0,804	0,806	0,805
2	Lao Bảo	0,651	0,822	0,737
3	Hướng Lập	0,422	0,492	0,457
4	Hướng Việt	0,391	0,443	0,417
5	Hướng Phùng	0,885	0,410	0,647
6	Hướng Sơn	0,678	0,505	0,592
7	Hướng Linh	0,365	0,265	0,315
8	Tân Hợp	0,760	0,431	0,595
9	Hướng Tân	0,776	0,536	0,656
10	Tân Thành	0,645	0,569	0,607
11	Tân Long	0,733	0,514	0,623
12	Tân Lập	0,651	0,508	0,580
13	Tân Liên	0,704	0,325	0,514
14	Húc	0,443	0,596	0,520
15	Thuận	0,577	0,696	0,636
16	Hướng Lộc	0,643	0,389	0,516
17	Ba Tầng	0,392	0,404	0,398
18	Thanh	0,391	0,396	0,393
19	A Dơi	0,704	0,212	0,458
20	Lìa	0,595	0,364	0,479
21	Xy	0,768	0,300	0,534

Bảng 5 và hình 3c cho thấy: các chỉ số khả năng thích ứng của các xã trong huyện dao động lớn từ mức thấp (0,201-0,400) đến mức cao (0,601-0,80). Trong số 21 xã, thị trấn thì có 6 xã, thị trấn có chỉ số khả năng thích ứng ở mức cao (> 0,601) gồm: Khe Sanh (0,805); Lao Bảo (0,737); Hướng Phùng (0,647); Hướng Tân (0,656); Tân Thành (0,607) và Tân Long (0,623). Các địa phương này là những nơi có điều kiện kinh tế, xã hội tốt hơn các xã khác, người nông dân đã áp dụng các biện pháp cơ giới hóa vào sản xuất, hệ thống thủy lợi cũng được bê tông hóa đồng thời khả năng tiếp cận vốn vay cũng ở mức cao. Do đó, chỉ số khả năng thích ứng nằm ở mức cao. Những xã có khả năng thích ứng thấp nhất trong huyện bao gồm: Ba Tầng (0,398); Thanh (0,393); A Dơi (0,458); Lìa (0,479); Hướng Lập (0,457); Hướng Việt (0,417); Hướng Linh (0,315); Tân Liên (0,514); Hướng Lộc (0,516); Húc (0,520). Ngược lại với các xã, thị trấn có điều kiện kinh tế, xã hội tốt hơn như đã nêu trên thì đây là những xã có điều kiện kinh tế khó khăn của huyện, Tỷ lệ nông dân đã áp dụng các biện pháp cơ giới hóa vào sản xuất chưa cao, hệ thống thủy lợi cũng chưa được đầu tư đúng mức, đồng thời khả năng tiếp cận vốn vay cũng ở mức thấp. Do đó, chỉ số khả năng thích ứng nằm ở mức thấp.

3.2. Tình dễ bị tổn thương do biến đổi khí hậu đối với sản xuất nông nghiệp huyện Hướng Hóa, Quảng Trị

Chỉ số dễ bị tổn thương (V) được tính theo công thức (3) và kết quả được thể hiện ở bảng 6.

**Bảng 6.** Các chỉ số E, S, AC, V theo đơn vị cấp xã.

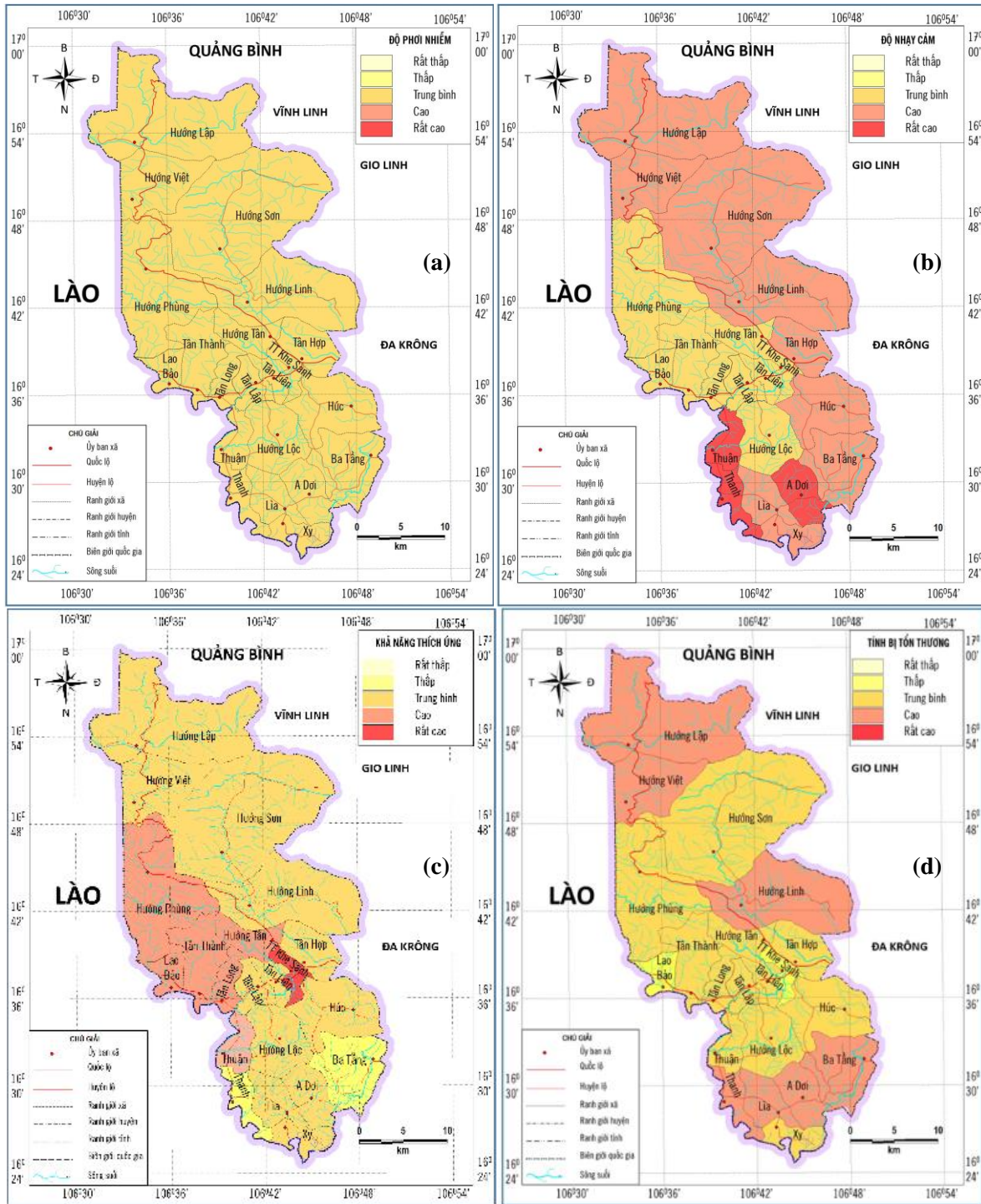
STT	Xã, thị trấn	E	S	AC	V
1	Khe Sanh	0,518	0,453	0,805	0,389
2	Lao Bảo	0,491	0,444	0,737	0,399
3	Hướng Lập	0,561	0,751	0,457	0,618
4	Hướng Việt	0,539	0,693	0,417	0,605
5	Hướng Phùng	0,511	0,510	0,647	0,458
6	Hướng Sơn	0,506	0,657	0,592	0,524
7	Hướng Linh	0,529	0,636	0,315	0,617
8	Tân Hợp	0,491	0,700	0,595	0,532
9	Hướng Tân	0,522	0,551	0,656	0,473
10	Tân Thành	0,548	0,550	0,607	0,497
11	Tân Long	0,526	0,593	0,623	0,498
12	Tân Lập	0,507	0,519	0,580	0,482
13	Tân Liên	0,524	0,490	0,514	0,500
14	Húc	0,561	0,688	0,520	0,576
15	Thuận	0,546	0,867	0,636	0,592
16	Hướng Lộ	0,526	0,590	0,516	0,534
17	Ba Tầng	0,527	0,697	0,398	0,609
18	Thanh	0,561	0,864	0,393	0,677
19	A Dơi	0,561	0,854	0,458	0,652
20	Lia	0,546	0,748	0,479	0,605
21	Xy	0,539	0,642	0,534	0,549

Bảng 6 và hình 3d cho thấy: 21 xã, thị trấn trong huyện có chỉ số tổn thương do BĐKH ở mức thấp đến mức cao. Dao động trong khoảng từ 0,389 đến 0,677.

7 xã có mức độ tổn thương cao, bao gồm: Lia (0,605); A Dơi (0,652); Thanh (0,677); Ba Tầng (0,609) Hướng Linh (0,617); Hướng Việt (0,605) và Hướng Lập (0,618). Những xã này như đã phân tích ở trên những xã này ngoài chịu tác động chung từ các hiện tượng thời tiết cực đoan như rét đậm, rét hại, bão, hạn hán thì còn chịu tác động lớn từ lũ lụt, do đó kéo theo sự thay đổi bất lợi đối với sản xuất nông nghiệp. Ngoài ra khả năng thích ứng của các xã này ở mức thấp nên chỉ số dễ bị tổn thương tăng cao.

12 xã có chỉ số dễ bị tổn thương ở mức trung bình, bao gồm: Hướng Phùng; Hướng Sơn; Tân Hợp; Hướng Tân; Tân Thành; Tân Long; Tân Lập; Tân Liên; Húc; Thuận; Hướng Lộ; Xy. Mặc dù nằm trong mức độ trung bình, song một số xã có chỉ số tổn thương tương đối cao, điển hình là Thuận (0,592); Húc (0,576); Xy (0,549); Hướng Lộ (0,534); Tân Hợp (0,532); Hướng Sơn (0,524). Những xã này một phần chịu tác động tiêu cực của BĐKH, một phần các chỉ số thích ứng về cơ sở hạ tầng và kinh tế không được tốt do vậy kéo theo chỉ số dễ bị tổn thương tăng cao.

2 xã, thị trấn có chỉ số dễ bị tổn thương thấp đó là: thị trấn Khe Sanh (0,389) và thị trấn Lao Bảo (0,489). 2 thị trấn này chịu tác động của các điều kiện khí hậu tương đồng với các xã khác trong toàn huyện, tuy nhiên các chỉ số nhạy cảm liên quan đến diện tích, sản lượng cây trồng, vật nuôi; lao động; nguồn nước... thường dừng lại ở mức trung bình, đồng thời chỉ số khả năng thích ứng cao do vậy kéo theo chỉ số dễ bị tổn thương hạ thấp xuống.



**Hình 3.** Bản đồ TDBTT do BĐKH ở huyện Hướng Hóa: (a) Độ phơi nhiễm (E); (b) Độ nhạy cảm (S); (c) Khả năng thích ứng (AC); (d) Tính dễ bị tổn thương (V).

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã đánh giá được TDBTT (theo IPCC) trong sản xuất nông nghiệp ở huyện Hướng Hóa, tỉnh Quảng Trị cho 21 xã, thị trấn. Kết quả như sau: (1) Độ phơi nhiễm: các xã có diện tích không lớn, có vị trí địa lý tương đồng, vì vậy, mức độ phơi nhiễm trước điều kiện thời tiết khí hậu không quá nhiều sự chênh lệch; (2) Độ nhạy cảm: Các chỉ số của độ nhạy cảm khá lớn, dao động trong khoảng từ 0,489 đến 0,867; (3) Khả năng thích ứng của các xã trong huyện dao động lớn từ mức thấp (0,201-0,40) đến mức cao (0,601-0,80). Trên cơ sở kết quả tính chỉ số các biến E, S, AC, nghiên cứu đã xác định được chỉ số dễ bị tổn thương do BĐKH cho từng xã trên địa bàn nghiên cứu. Cụ thể: các xã của huyện Hướng Hóa

có chỉ số tổn thương do BĐKH ở mức thấp đến mức cao. Dao động trong khoảng từ 0,389 đến 0,677. Có 7 xã có mức độ tổn thương cao; 12 xã có mức độ tổn thương trung bình (0,401-0,60); có 2 xã, thị trấn có mức độ tổn thương thấp.

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

**Lời cảm ơn:** Công trình này được Đại học Huế hỗ trợ một phần theo Chương trình nghiên cứu đề tài cấp Bộ mã số B2023-DHH-28. Bên cạnh đó, còn có sự hỗ trợ của đề tài Khoa học Công nghệ thuộc Chiến lược Tăng trưởng xanh cấp Viện Hàn lâm Khoa học Công nghệ Việt Nam, mã số DATT00.01/24-26.

**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. IPCC. Climate change 2007: Impact, Adaptation and Vulnerability, 2007.
2. Ouma, Y.O.; Tateishi, R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water* **2014**, 6(6), 1515–1545.
3. Văn, C.T.; Sơn, N.T.; Anh, T.N.; Tuấn, N.C. Xây dựng chỉ số dễ bị tổn thương lũ lụt sử dụng phương pháp phân tích hệ thống phân cấp (AHP) - thử nghiệm cho vài đơn vị cấp xã tỉnh Quảng Nam thuộc vùng hạ lưu sông Thu Bồn. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 643, 10–18.
4. Long, P.T.; Nam, B.C.; Tín, N.V. Ứng dụng phương pháp AHP đánh giá mức độ tổn thương do thiên tai tại các xã thuộc thành phố Quy Nhơn, Bình Định. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2015**, 660, 26–31.
5. Sơn, N.H.; Quân, N.T.; Toại, L.V.; Lại, N.T. Ứng dụng GIS trong đánh giá tính dễ bị tổn thương do biến đổi khí hậu đối với sản xuất nông nghiệp các xã ven biển huyện Phú Lộc, tỉnh Thừa Thiên Huế. Kỷ yếu Hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc 2017, Quy Nhơn.
6. Hoàng, L.T.T. Đánh giá mức độ tổn thương của ngành nông nghiệp tỉnh Nghệ An do tác động của biến đổi khí hậu có tính đến trọng số của các chỉ thị. *VNU J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2019**, 35(4), 57–67.
7. Nga, N.T.T.; Thắng, N.T.X. Áp dụng phương pháp tính toán trọng số AHP để xác định chỉ số dễ bị tổn thương dưới tác động của biến đổi khí hậu tại Côn Đảo. *Tạp chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường* **2019**, 64, 25–35.
8. Renaud, F.G. Resilience and shifts in agro-ecosystems facing increasing sea-level rise and salinity intrusion in Ben Tre Province, Mekong Delta. *Clim. Change* **2015**, 133, 69–84.
9. USAID và CSSH. Đánh giá TDBTT do BĐKH trên hệ thống đầm phá Tam Giang - Cầu Hai tỉnh Thừa Thiên Huế, **2017**.
10. Văn, N.C.; Tuấn, N.L.; Anh, N.T.; Hiếu, N.V. Đánh giá tính dễ bị tổn thương và khả năng thích ứng do xâm nhập mặn đối với sản xuất nông nghiệp trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại khu vực cửa sông ven biển tỉnh Nam Định. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 716, 63–78. doi:10.36335/VNJHM.2020(716). 63-78.
11. Van, C.T.; Tuan, N.C.; Son, N.T.; Tri, D.Q.; Anh, L.N.; Tran, D.D. Flood vulnerability assessment and mapping: A case of Ben Hai-Thach Han River basin in Vietnam. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* **2022**, 75, 102969.
12. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Quảng Trị. Báo cáo tổng kết nhiệm vụ xây dựng, cập nhật kế hoạch hành động ứng phó với biến đổi khí hậu giai đoạn 2021-2030, tầm nhìn đến 2050 của tỉnh Quảng Trị.

13. UBND huyện Hướng Hóa. Kế hoạch phòng, chống thiên tai giai đoạn 2021-2025 huyện Hướng Hóa. Số 138/KH-UBND ngày 14 tháng 03 năm 2022.
14. UBND huyện Hướng Hóa. Báo cáo kinh tế xã hội, giai đoạn 2017-2022.
15. UBND huyện Hướng Hóa. Báo cáo tổng hợp một số mô hình phát triển sản xuất nông lâm nghiệp giai đoạn 2016-2020, định hướng phát triển một số mô hình trên địa bàn huyện giai đoạn 2021-2025. Số 545/BC-UBND ngày 25 tháng 10 năm 2022.
16. Chi cục Niên giám thống kê huyện Hướng Hóa. Niên giám thống kê huyện Hướng Hóa các năm 2015, 2016-2021, Quảng Trị.
17. Saaty, R. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Math. Modell.* **1987**, 9(3-5), 161–176.
18. Balica, S.F.; Wright, N.G.; Van der Meulen, F. A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Nat. Hazards* **2012**, 64, 73–105.
19. Son, N.H.; Cham, D.D.; Mai, T.T.T.; Tin, L.V.; Hang, P.A.; Lang, L.P.C.; Quan, N.T. GIS application in assessment on environmental management and natural resources of communes in Thua Thien - Hue province. Proceeding of the International Conference on Earth Observation & Natural Hazards **2017** (ICEO 2017). ISBN: 978-604-913-650-4.
20. Son, N.H.; Quân, N.T. Đánh giá tính dễ bị tổn thương của các hệ sinh thái ở các xã ven biển tỉnh Thừa Thiên Huế. Kỷ yếu Hội nghị khoa học Địa lý toàn quốc, Quy Nhơn, 2017.
21. Son, N.H.; và cs. Mô hình sinh kế bền vững nhằm giảm thiểu mức độ tổn thương do biến đổi khí hậu gây ra ở các xã bãi ngang ven biển khu vực Bình - Trị - Thiên. Đề tài KHCN cấp Bộ 2018. Mã số: B2018-DHH-61.
22. Son, N.H.; và cs. Nghiên cứu, đề xuất mô hình sinh kế bền vững nhằm giảm thiểu mức độ tổn thương do biến đổi khí hậu gây ra ở các xã thuộc vùng đồng bào dân tộc thiểu số và miền núi tỉnh Thừa Thiên Huế. Đề tài cấp Đại học Huế 2022, mã số: DHH2022-19-02.

## **Assessing agricultural production's vulnerability to climate change in Huong Hoa district, Quang Tri province**

**Nguyen Hoang Son<sup>1,2</sup>, Dao Dinh Cham<sup>3\*</sup>, Pham Khanh Vu<sup>4</sup>, Phan Anh Hang<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Hue University of Education, Hue University; nhsonsp@hueuni.edu.vn

<sup>2</sup> Institute of Open Education and Information Technology, Hue University; Nhsonsp@hueuni.edu.vn

<sup>3</sup> Institute of Geography, Vietnam Academy of Science and Technology; ddcham@ig.vast.vn

<sup>4</sup> Nguyen Thien Thuat High School, Nha Trang City, Khanh Hoa Province; pkvu.c3ntthuat@khanhhoa.edu.vn

<sup>5</sup> University of Science, Hue University; pahang@hueuni.edu.vn

**Abstract:** Climate change is challenging for people whose livelihoods depend on agricultural production in Huong Hoa district, Quang Tri province. The study assessed vulnerability in agricultural production activities in 21 communes and towns. We were applying the IPCC's formula for calculating vulnerability in agricultural production activities. Calculated indices include (1) exposure; (2) Sensitivity and (3) Adaptive Capacity (AC). Based on the results of calculating the index of the main variables E, S, and AC, the study has identified communes and towns in the district with a low to high climate change vulnerability index. Among them, there are 7 communes with high levels of vulnerability (Lia, A Doi, Thanh, Ba Floor, Huong Linh, Huong Viet, Huong Lap); 12 communes have

an average level of vulnerability (Huong Phung; Huong Son; Tan Hop; Huong Tan; Tan Thanh; Tan Long; Tan Lap; Tan Lien; Huc; Thuan; Huong Loc; Xy); and 2 communes or towns have a low vulnerability index (Khe Sanh town, Lao Bao town). This result will help local managers make appropriate adaptation measures for climate change and natural disasters locally.

**Keywords:** Climate change; Agriculture; Vulnerability; Huong Hoa; Sustainability.

Bài báo khoa học

# Xây dựng mô hình mô phỏng chỉ số chất lượng không khí cho thành phố Hồ Chí Minh bằng phương pháp học máy

Nguyễn Phúc Hiếu<sup>1</sup>, Đỗ Dương Hoàng Vân<sup>1</sup>, Đào Nguyên Khôi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Khoa Môi trường, Trường ĐH Khoa học tự nhiên, ĐHQG-HCM;  
phuchieu50@gmail.com; vanhoanggg25@gmail.com; dnkhôi@hcmus.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: dnkhôi@hcmus.edu.vn; Tel.: +84-088304379

Ban Biên tập nhận bài: 10/12/2023; Ngày phản biện xong: 11/1/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2024

**Tóm tắt:** Nghiên cứu áp dụng các mô hình học máy bao gồm MLP (*Multi-layer Perceptron*), RF (*Random Forest*) và SVR (*Support Vector Regression*) để dự báo chỉ số chất lượng không khí tại Tp. Hồ Chí Minh. Dữ liệu đầu vào bao gồm chỉ số chất lượng không khí AQI (*Air Quality Index*) và 5 biến khí tượng (điểm sương, áp suất, nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió) từ tháng 3/2019 đến tháng 6/2021, với 70% dữ liệu đầu vào được sử dụng cho giai đoạn huấn luyện và 30% dữ liệu còn lại sử dụng cho giai đoạn kiểm tra. Thông qua phân tích tương quan và phân tích tự tương quan một phần, 6 kịch bản với các thông số đầu vào khác nhau được xây dựng để mô phỏng chỉ số AQI. Kết quả cho thấy cả 3 mô hình đều có hiệu suất dự báo tốt ở cả 6 kịch bản. Trong đó, mô hình MLP với 5 thông số đầu vào (MLP-K5) cho hiệu quả dự báo tốt nhất với  $MSE = 0,0045$ ,  $R^2 = 0,89$ ,  $NSE = 0,886$ . Đối với mô hình SVR, mô hình SVR với 6 thông số đầu vào (SVR-K6) cho kết quả dự báo tốt nhất với  $MSE = 0,0048$ ,  $R^2 = 0,88$ ,  $NSE = 0,879$ . Đối với mô hình RF, mô hình RF với 6 thông số đầu vào (RF-K6) cho kết quả dự báo tốt nhất với  $MSE = 0,005$ ,  $R^2 = 0,88$ ,  $NSE = 0,875$ . Kết quả cho thấy, mô hình MLP có khả năng mô phỏng tốt chỉ số chất lượng không khí cho thành phố Hồ Chí Minh.

**Từ khóa:** Chỉ số chất lượng không khí; MLP; SVR; RF; Phương pháp học máy.

## 1. Đặt vấn đề

Hiện nay, thế giới ngày càng phát triển do quá trình công nghiệp hóa, đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ. Đi đôi với sự phát triển là mối lo ngại lớn về vấn đề ô nhiễm không khí. Ô nhiễm không khí là chủ đề có tầm quan trọng cao, các vấn đề toàn cầu đã chứng minh rằng tác động gây hại của nó đến sức khỏe thể chất con người và hệ sinh thái [1]. Chất lượng không khí là tiêu chí quan trọng để đánh giá mức độ ô nhiễm của một khu vực. Chất lượng không khí xấu là 1 trong 5 nguy cơ lớn gây hại cho sức khỏe trên thế giới, ví dụ như tiếp xúc lâu dài với không khí ô nhiễm liên quan đến bệnh nhiễm trùng đường hô hấp, đau tim, đột quỵ và ung thư phổi [2]. Theo báo cáo của Ngân hàng Thế giới năm 2022 [3], nồng độ  $PM_{2.5}$  trung bình hàng năm tại Việt Nam luôn cao hơn từ 4 đến 5 lần so với ngưỡng an toàn của Tổ chức Y tế thế giới là  $10 (\mu g/m^3)$ , và năm 2016 ước tính có hơn 60.000 ca tử vong có liên quan đến ô nhiễm không khí và theo Liên minh Toàn cầu về Sức khỏe và Ô nhiễm ước tính số ca tử vong lên hơn 50.000 vào năm 2019. Bên cạnh đó, Hội đồng cố vấn kinh tế ước tính thiệt hại kinh tế của ô nhiễm không khí sẽ bằng 1% GDP vào năm 2020, dựa trên chi phí tiền tệ liên quan đến việc gia tăng tỷ lệ mắc bệnh và tổn thất lực lượng lao động.

Thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM) là trung tâm kinh tế của khu vực Nam bộ và cả nước, nằm ở ngã tư quốc tế giữa các con đường hàng hải từ Bắc xuống Nam, từ Tây sang Đông, là tâm điểm của khu vực Đông Nam Á. Đây là đầu mối giao thông nối liền các tỉnh

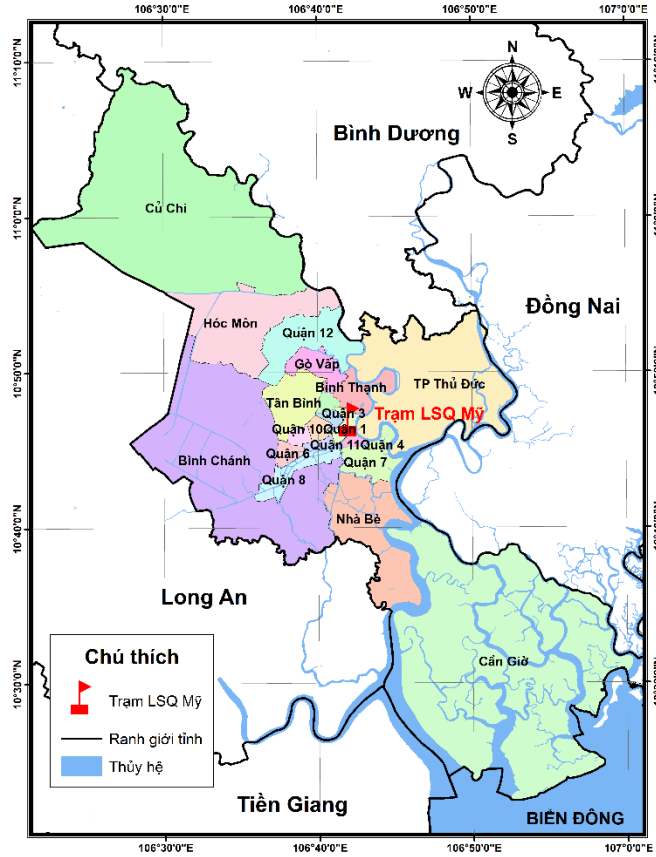
trong vùng, và nằm trong vùng chuyển tiếp giữa miền Đông Nam Bộ và đồng bằng sông Cửu Long (Hình 1) [4]. Theo Sở Giao thông vận tải TP.HCM, tính đến năm 2019 thành phố có khoảng 8,7 triệu phương tiện giao thông đang hoạt động, cùng với bụi thải từ hoạt động xây dựng trên địa bàn đã và đang làm trầm trọng thêm tình trạng ô nhiễm không khí trong thành phố. Theo đà phát triển của kinh tế, lượng dân cư ngày càng tăng. Tổng dân số của TP.HCM năm 2022 là hơn 9,389 triệu người, chiếm gần 9,44% dân số cả nước và 49,92% dân số vùng Đông Nam Bộ [5]. Dân số ngày càng đông cũng là một trong những nguyên nhân gây nên những vấn đề về môi trường mà trong đó phải kể đến là vấn đề về ô nhiễm không khí. Đây cũng là một trong những vấn đề bức thiết và được quan tâm hiện nay tại khu vực, vì vậy TP.HCM được lựa chọn là khu vực nghiên cứu. Dự báo ô nhiễm không khí rất quan trọng đối với sự can thiệp sức khỏe cộng đồng và hoạch định chính sách kiểm soát ô nhiễm không khí [6]. Vì vậy, việc sử dụng mô hình hóa trong dự báo chất lượng không khí để kiểm soát ô nhiễm trở nên phổ biến tại nhiều quốc gia trên thế giới. Có nhiều phương pháp khác nhau để dự báo chất lượng không khí như mô hình thống kê, mô hình vật lý,... Trong đó, học máy đã được ứng dụng rộng rãi để dự báo chỉ số chất lượng không khí vì các ưu điểm như tính đơn giản, tính chính xác của kết quả dự báo, mô hình hóa được các mối quan hệ phức tạp và phi tuyến giữa một tập hợp dữ liệu đầu vào và mục tiêu, xử lý được bộ dữ liệu lớn. Do đó, sử dụng phương pháp học máy trong dự báo chất lượng không khí được các nhà nghiên cứu trong và ngoài nước quan tâm đến nhiều hơn, đặc biệt là trong sự bùng nổ phát triển của công nghệ 4.0.

Một số nghiên cứu cho thấy được tính ứng dụng của học máy với khả năng dự báo chất lượng không khí [7–10]. Điển hình như nghiên cứu của Mehdi và cộng sự năm 2019 sử dụng mô hình RF (*Random Forest*), XGB (*XGBoost*) và DL (*Deep Learning*) dự báo nồng độ PM<sub>2.5</sub> tại thủ đô Tehran, Iran; nhìn chung kết quả cho thấy các mô hình có hiệu suất khá tốt với chỉ số R<sup>2</sup> trên 0,63, MAE trong khoảng 10-11,15 và RMSE trong khoảng 13,62-15,89 [11]. Nghiên cứu của Mauro Castelli và cộng sự năm 2020 đã sử dụng mô hình SVR (*Support Vector Regression*) kết hợp RBF (*Radial Basis Function*) để dự báo CO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, nhìn chung, kết quả dự báo đa số đều tốt. Chỉ số R<sup>2</sup> dao động trong khoảng 0,77-0,99, MAE dao động trong khoảng 0,08-0,46 [12]. Nghiên cứu của Doreswamy và cộng sự năm 2020 sử dụng mô hình MLP (*Multi-layer Perceptron*), RF, DT (*Decision Tree*), GB (*Gradient Boosting*) để dự báo nồng độ PM<sub>2.5</sub> tại huyện Bình Đông, Đài Loan với dữ liệu đầu vào gồm nồng độ CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> và tốc độ gió, nhiệt độ. Kết quả dự báo tốt với R<sup>2</sup> > 0,79, MSE < 6,28, MAE < 0,04, RMSE < 0,17 [13]. Nghiên cứu của Mạc Duy Hưng và cộng sự năm 2017 đã ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo để xây dựng mô hình dự báo nồng độ SO<sub>2</sub> cực đại ngày cho thành phố Hà Nội. Kết quả cho thấy, ANN là có triển vọng để xây dựng mô hình dự báo thống kê chất lượng không khí, với giá trị của RMSE, RMSE và MAE lần lượt là 11,7%, 3,28 và 2,58 [14]. Một nghiên cứu khác của Nguyễn Thị Thu Phương và cộng sự năm 2020 sử dụng mô hình MLP và SVM (*Support Vector Machine*) dự báo nồng độ O<sub>3</sub> đối lưu hàng giờ tại tỉnh Quảng Ninh. Nhìn chung, mô hình SVM có hiệu suất tốt hơn so với MLP, đặc biệt là trong các tình huống dao động lớn và nồng độ ozone cao [15].

Có thể thấy, các mô hình học máy được áp dụng phổ biến và có hiệu quả trong việc mô phỏng và dự báo chất lượng không khí ở các khu vực ngoài nước. Tuy nhiên, các nghiên cứu về ứng dụng các mô hình học máy trong mô phỏng chất lượng không khí ở nước ta vẫn còn hạn chế, đặc biệt là tại TP.HCM vẫn chưa có nghiên cứu nào thực hiện. Vì vậy, nghiên cứu sẽ áp dụng các mô hình học máy để mô phỏng chỉ số chất lượng không khí tại khu vực TP.HCM.

Mục tiêu chính của nghiên cứu là dự báo AQI tại TP.HCM dựa trên các mô hình học máy với các mục tiêu cụ thể bao gồm: (1) Xây dựng các thuật toán học máy MLP, RF và SVR bằng ngôn ngữ python; (2) Dự báo AQI tại TP.HCM dựa trên các mô hình học máy đã xây dựng.

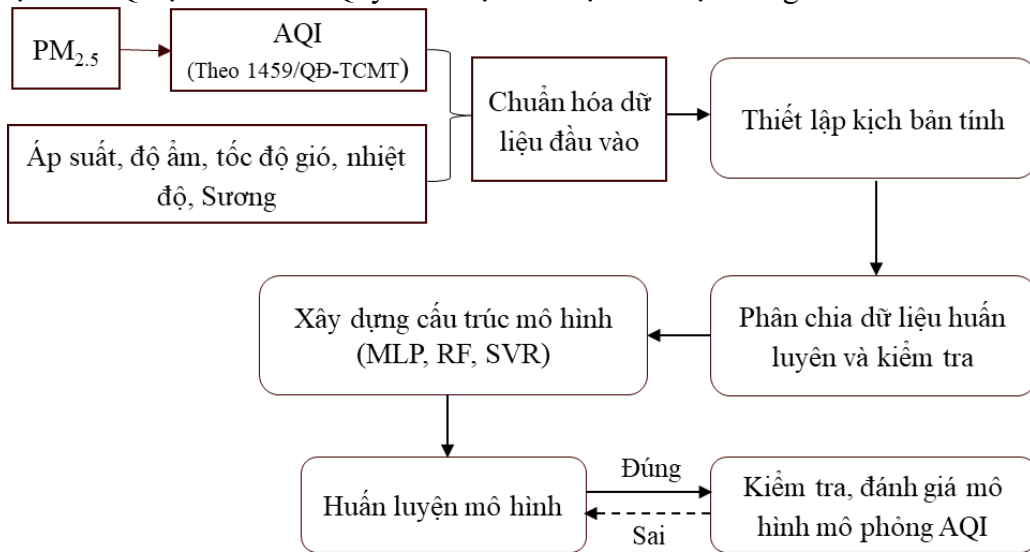




Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

2. Phương pháp nghiên cứu

Để đạt được các mục tiêu đề ra, nghiên cứu tiến hành thực hiện các bước sau: (1) Thu thập dữ liệu từ trạm Tổng lãnh sự quán Hoa Kỳ tại TP.HCM bao gồm áp suất, độ ẩm, tốc độ gió, nhiệt độ, sương, PM<sub>2.5</sub>; (2) Tính toán AQI theo Quyết định số 1459/QĐ-TCMT của Tổng cục môi trường năm 2019; (3) Chuẩn hóa dữ liệu đầu vào; (4) Tính tương quan giữa các biến và thiết lập kịch bản tính toán; (5) Phân chia dữ liệu phục vụ quá trình huấn luyện và kiểm tra mô hình; (6) Xây dựng 03 mô hình học máy MLP, RF, SVR; (7) Huấn luyện, kiểm tra mô hình dự báo AQI tại TP.HCM. Quy trình cụ thể được thể hiện trong Hình 2.

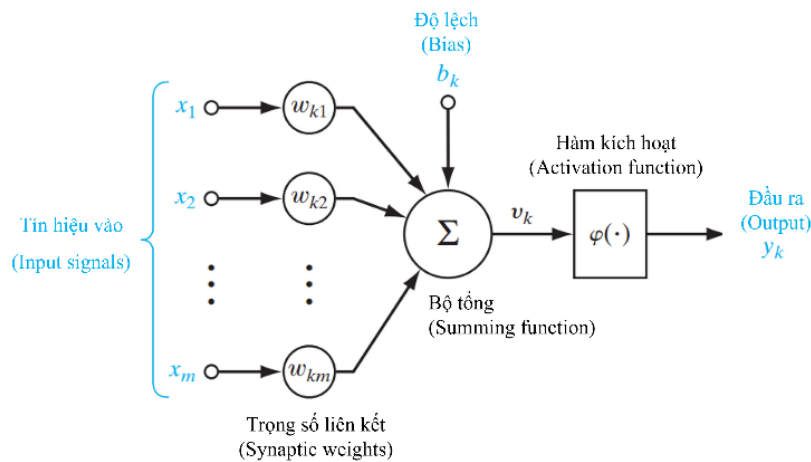


Hình 2. Khung nghiên cứu.

2.1. Mô hình học máy

2.2.1. Mô hình Multilayer Perceptron (MLP)

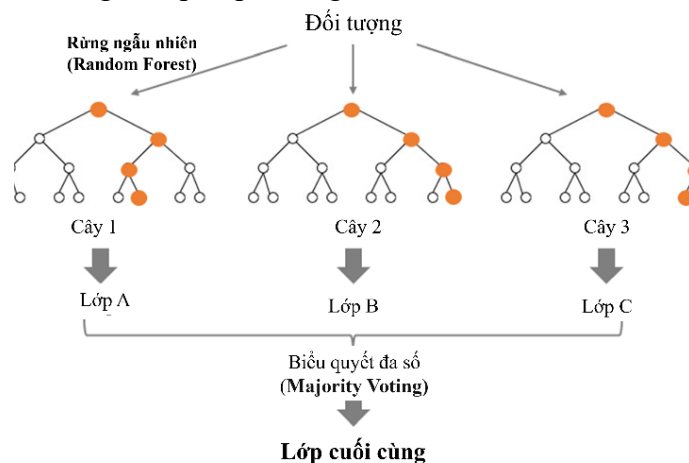
Mạng nơ-ron nhân tạo là một trong những thuật toán học máy phổ biến hiện nay. Nó được mô phỏng dựa trên sự hoạt động của các tế bào thần kinh của con người. MLP thuộc một trong những mạng nơ-ron phổ biến hiện nay. MLP gồm hệ thống các nơ-ron đơn giản được kết nối với nhau, là một mô hình đại diện cho một ánh xạ phi tuyến giữa một vectơ đầu vào và một vectơ đầu ra. Các node kết nối với nhau bằng trọng số và tín hiệu đầu ra, là một hàm của tổng các đầu vào cho node được sửa đổi bằng một hàm truyền phi tuyến đơn giản hay còn gọi là hàm kích hoạt. Kiến trúc của MLP có thể thay đổi nhưng nhìn chung sẽ bao gồm một số lớp nơ-ron nhân tạo. Lớp đầu vào không đóng vai trò tính toán mà chỉ đóng vai trò truyền vector đầu vào cho mạng. Một mô hình MLP có thể có một hoặc nhiều lớp ẩn và cuối cùng là một lớp đầu ra [16]. Hình 3 mô tả cấu trúc mô hình MLP.



Hình 3. Cấu trúc mô hình MLP.

2.2.2. Mô hình Random Forest (RF)

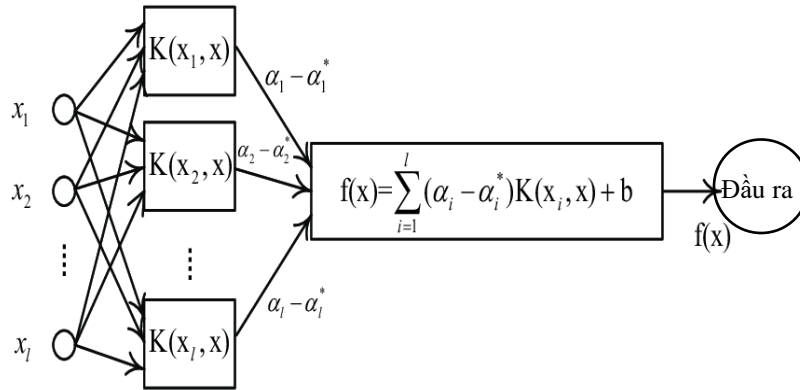
RF là thuật toán học máy thuộc dạng học có giám sát. RF xây dựng nhiều cây quyết định trên các tập con khác nhau của tập dữ liệu đã cho và lấy giá trị trung bình để cải thiện độ chính xác dự đoán của tập dữ liệu đó. Thay vì dựa vào một cây quyết định, RF lấy dự đoán từ mỗi cây và dựa trên đa số dự đoán từ đó đưa ra kết quả dự đoán cuối cùng. Số lượng cây lớn hơn dẫn đến độ chính xác cao hơn và ngăn ngừa vấn đề overfitting. RF còn bổ sung tính ngẫu nhiên cho mô hình, thay vì tìm kiếm đặc tính quan trọng nhất trong khi tách node, nó sẽ tìm kiếm đặc tính tốt nhất trong số tập hợp con ngẫu nhiên. Hình 4 thể hiện cấu trúc của mô hình.



Hình 4. Mô hình RF.

### 2.2.3. Mô hình Support Vector Regression (SVR)

Mô hình SVR được xây dựng dựa trên mô hình SVM với lợi thế: số lượng tham số tự do ít hơn, khả năng dự báo tốt hơn và huấn luyện nhanh hơn. Trong SVR, dữ liệu sẽ được ánh xạ vào không gian đặc trưng k-chiều, thông qua ánh xạ phi tuyến đưa mô hình hồi quy tuyến tính phù hợp với các điểm dữ liệu trong không gian này. Sau đó, dữ liệu tuyến tính thu được được sử dụng để dự báo trong không gian đặc trưng mới. Lúc này, ánh xạ từ không gian đầu vào vào không gian đặc trưng mới được xác định bởi hàm kernel. Hình 5 thể hiện mô hình SVR.



**Hình 5.** Cấu trúc mô hình SVR.

### 2.3. Thu thập xử lý và phân chia dữ liệu

#### 2.3.1. Thu thập và xử lý số liệu

Dữ liệu được thu thập là các thông số được quan trắc liên tục từ trạm Lãnh sự quán Mỹ từ tháng 3/2019 đến tháng 6/2021, bao gồm 06 thông số như sau: nồng độ PM<sub>2.5</sub>, nhiệt độ, tốc độ gió, độ ẩm không khí, điểm sương, áp suất. Sau khi thu thập dữ liệu nồng độ PM<sub>2.5</sub> tại điểm quan trắc, giá trị chỉ số chất lượng không khí (AQI) của PM<sub>2.5</sub> được tính theo hướng dẫn của Quyết định số 1459/QĐ-TCMT năm 2019. Bảng 1 thể hiện đặc trưng thống kê của các dữ liệu thu thập.

**Bảng 1.** Đặc trưng thống kê của dữ liệu

	Biến	Min	Max	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Đơn vị
Dữ liệu chất lượng không khí	AQI	2,5	213,6	66,8	42,2	
	Nhiệt độ	23	31	27,9	1,5	°C
Dữ liệu khí tượng	Tốc độ gió	0,5	5,9	2,54	1,0	m/s
	Độ ẩm	47	100	77,4	10,7	%
	Điểm sương	14,5	26,5	23,4	2,4	°C
	Áp suất	1003	1014	1009	1,89	mb

Vì dữ liệu thu thập gồm nhiều thuộc tính với các tỷ lệ, đơn vị khác nhau và giá trị của các dữ liệu ban đầu có khoảng chênh lệch lớn nên thuật toán học máy có thể bị ảnh hưởng từ việc này. Do đó, thay đổi tỷ lệ các thuộc tính để tất cả các thuộc tính có chung một tỷ lệ là việc cần thiết. Điều này hữu ích cho các thuật toán có trọng số đầu vào như hồi quy và mạng nơ-ron nhân tạo. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp chuẩn hóa MinMaxScaler để chuẩn hóa dữ liệu về khoảng [0;1] theo công thức:

$$x'_i = \frac{x_i - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \tag{1}$$

Trong đó:  $x'_i$  là giá trị  $x_i$  sau khi chuyển đổi;  $x_i$  là giá trị ban đầu;  $\min(x_i)$  là giá trị nhỏ nhất của biến  $i$ ;  $\max(x_i)$  là giá trị lớn nhất của biến  $i$ .

### 2.3.2. Phân chia dữ liệu

Phân chia dữ liệu cũng là một trong những phần quan trọng trong việc xây dựng mô hình, việc phân chia dữ liệu kém có thể dẫn đến hiệu suất mô hình không chính xác và có nhiều thay đổi. Tập huấn luyện bao gồm các điểm dữ liệu được sử dụng trực tiếp trong việc xây dựng mô hình. Tập kiểm tra gồm các dữ liệu được dùng để đánh giá hiệu quả của mô hình. Để đảm bảo tính phổ quát, dữ liệu kiểm tra không được sử dụng trong quá trình xây dựng mô hình. Điều kiện cần để một mô hình hiệu quả là kết quả đánh giá trên cả tập huấn luyện và tập kiểm tra đều cao [17]. Các phương pháp phân chia dữ liệu có thể được phân loại thành phương pháp có giám sát và phương pháp không có giám sát [18]. Không có quy tắc thống nhất về cách phân chia tập huấn luyện và kiểm tra [19]. Tùy vào dữ liệu hiện có mà trong quá trình xây dựng mô hình sẽ đưa ra được tỷ lệ thích hợp nhất. Qua quá trình thử và sai, nghiên cứu đưa ra tỷ lệ tối ưu cho mô hình là 70:30, 70% dữ liệu sử dụng cho quá trình huấn luyện và 30% dữ liệu sử dụng cho quá trình kiểm tra.

### 2.4. Xây dựng kịch bản dữ liệu đầu vào cho mô hình

Lựa chọn thông số đầu vào là một trong những bước rất quan trọng trong việc xây dựng mô hình học máy bởi nó ảnh hưởng đến kết quả đầu ra cũng như tính chính xác của mô hình. Trong nghiên cứu này, phân tích tự tương quan từng phần và phân tích tương quan được áp dụng để xây dựng kịch bản dự báo.

#### 2.4.1. Tự tương quan từng phần (PACF)

Biểu đồ tương quan là một cách trực quan để hiển thị mối tương quan nối tiếp trong dữ liệu thay đổi theo thời gian (tức là dữ liệu chuỗi thời gian). Tương quan nối tiếp (còn được gọi là tự tương quan) là trường hợp sai số tại một thời điểm trong thời gian di chuyển đến một điểm tiếp theo trong thời gian. PACF thu được mối tương quan tuyến tính của mỗi giá trị  $x_t$  của chuỗi với các giá trị khác ở các độ trễ khác nhau, như  $x_{t-1}$ ,  $x_{t-2}$ ,... nhưng loại bỏ sự can thiệp của các giá trị khác. Ví dụ, mối tương quan giữa  $x_t$  và  $x_{t-2}$  có sự giao thoa của  $x_{t-1}$ , PACF sẽ loại bỏ sự can thiệp đó [20].

**Bảng 2.** Kết quả phân tích tự tương quan từng phần của AQI đối với các mức thời gian trễ.

Độ trễ (ngày)	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7	t-8	t-9	t-10
Hệ số tương quan (r)	0,92	0,19	0,08	0,15	0,09	0,03	0,01	0,11	0,07	0,04

Bảng 2 thể hiện kết quả tự tương quan từng phần của dữ liệu AQI với các mức thời gian trễ khác nhau. Trong bảng kết quả, AQI có mức tương quan cao nhất với AQI (t - 1) với giá trị tương quan là 0,92, các giá trị AQI tại các mức thời gian trễ khác có giá trị tương quan nhỏ hơn 0,19. Do đó, nghiên cứu này sử dụng biến AQI (t - 1) làm biến đầu vào.

#### 2.4.2. Phân tích tương quan

Phân tích tương quan có thể xác định mối liên hệ tuyến tính giữa biến chất lượng không khí và các biến khí tượng. Bảng 3 thể hiện kết quả tương quan theo thứ tự từ cao đến thấp giữa biến AQI và các biến khí tượng trễ 1 ngày. Phân tích cho thấy, điểm sương có mối quan hệ chặt chẽ nhất với AQI ( $r = -0,403$ ), tương quan thấp nhất là biến nhiệt độ với  $r = -0,229$ . Các biến áp suất, độ ẩm, tốc độ gió có mức tương quan lần lượt giảm dần.

**Bảng 3.** Tương quan giữa AQI (t) và các biến khí tượng (t-1).

	Điểm sương (t-1)	Áp suất (t-1)	Độ ẩm (t-1)	Tốc độ gió (t-1)	Nhiệt độ (t-1)
AQI (t)	-0,403	0,371	-0,278	-0,274	-0,229

### 2.4.3. Xây dựng kịch bản biến đầu vào cho mô hình

Thông qua phân tích PACF và phân tích tương quan giữa các biến khí tượng và biến AQI, 6 kịch bản được xây dựng tương ứng với số lượng biến đầu vào tăng dần. Cụ thể, các kịch bản dự báo được thể hiện trong Bảng 4.

**Bảng 4.** Kịch bản dự báo AQI của các mô hình MLP, RF và SVR.

STT	Kịch bản	Thông số đầu vào					
1	K1	AQI (t-1)					
2	K2	AQI (t-1)	Điểm sương (t-1)				
3	K3	AQI (t-1)	Điểm sương (t-1)	Áp suất (t-1)			
4	K4	AQI (t-1)	Điểm sương (t-1)	Áp suất (t-1)	Độ ẩm (t-1)		
5	K5	AQI (t-1)	Điểm sương (t-1)	Áp suất (t-1)	Độ ẩm (t-1)	Tốc độ gió (t-1)	
6	K6	AQI (t-1)	Điểm sương (t-1)	Áp suất (t-1)	Độ ẩm (t-1)	Tốc độ gió (t-1)	Nhiệt độ (t-1)

### 2.5. Đánh giá hiệu suất cho mô hình

Để đánh giá hiệu suất mô hình, nghiên cứu này sử dụng các chỉ số thống kê như hệ số tương quan  $R^2$ , hệ số hiệu quả Nash-Sutcliffe (NSE) và sai số bình phương trung bình (MSE). Giá trị của  $R^2$  và NSE càng tiến về gần 1 cho thấy hiệu quả mô hình càng cao, giá trị MSE càng tiến về gần 0 cho thấy sai số càng nhỏ, mức độ dự báo càng tốt. Các chỉ số thống kê có công thức như sau:

Hệ số tương quan  $R^2$

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - \bar{y}^{obs}) \times (y_i^{sim} - \bar{y}^{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - \bar{y}^{obs})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i^{sim} - \bar{y}^{sim})^2}} \right]^2 \tag{3}$$

Sai số bình phương trung bình (MSE)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{sim})^2 \tag{4}$$

Chỉ số Nash-Sulcliffe (NSE)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - \bar{y}^{obs})^2} \tag{5}$$

Trong đó  $y_i^{obs}$  là giá trị quan trắc thứ  $i$ ;  $y_i^{sim}$  là giá trị dự báo thứ  $i$ ;  $\bar{y}^{obs}$  là giá trị quan trắc trung bình;  $\bar{y}^{sim}$  là giá trị dự báo trung bình.

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Mô hình MLP

Chỉ số chất lượng không khí được dự báo bằng mô hình MLP theo 6 kịch bản. Kết quả dự báo được thể hiện trong Bảng 5. Qua đó cho thấy mô hình MLP có khả năng dự báo chất lượng không khí tốt. Cụ thể, kết quả giai đoạn kiểm tra đều cao hơn giai đoạn huấn luyện và các giá trị  $MSE < 0,0064$ ,  $R^2 > 0,84$  và  $NSE > 0,84$ . Ngoài ra, trong 6 kịch bản, kịch bản có hiệu quả dự báo cao nhất là kịch bản 5 thông số đầu vào (MLP-K5) với  $MSE = 0,0052$ ,  $R^2 = 0,86$ ,  $NSE = 0,869$  cho quá trình huấn luyện và  $MSE = 0,0045$ ,  $R^2 = 0,89$ ,  $NSE = 0,89$  cho quá trình kiểm tra. Ngược lại, kịch bản có hiệu quả thống kê thấp nhất là kịch bản 1

(MLP-K1) với  $MSE = 0,0064$ ,  $R^2 = 0,84$ ,  $NSE = 0,84$  cho quá trình huấn luyện và  $MSE = 0,0048$ ,  $R^2 = 0,88$ ,  $NSE = 0,88$  cho quá trình kiểm tra. Đồ thị so sánh diễn biến chất lượng không khí trong 2 giai đoạn huấn luyện và kiểm tra giữa kết quả từ MLP-K5 và quan trắc được thể hiện trong Hình 6.

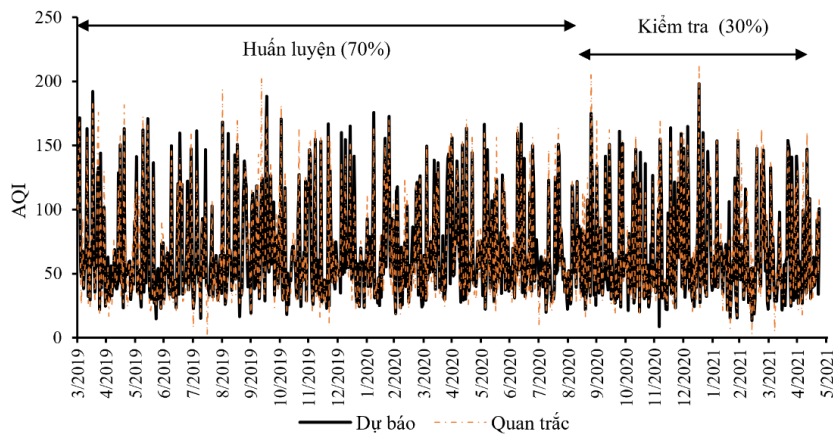
Cấu trúc tổng thể và các tham số của mô hình MLP với 5 thông số đầu vào (MLP-K5) được thể hiện trong Bảng 6. Mô hình MLP với 3 lớp ẩn có số lượng nơ-ron trong mỗi lớp khác nhau. Hàm kích hoạt được chọn sử dụng là hàm ReLU với tốc độ học là 0,001. Hàm tối ưu được sử dụng là Adam.

**Bảng 5.** Hiệu quả dự báo của mô hình MLP theo 6 kịch bản thông số đầu vào.

Kịch bản	Huấn luyện			Kiểm tra		
	MSE	R <sup>2</sup>	NSE	MSE	R <sup>2</sup>	NSE
K1	0,0064	0,84	0,84	0,0048	0,88	0,88
K2	0,0061	0,85	0,85	0,0048	0,88	0,88
K3	0,0061	0,85	0,85	0,0048	0,88	0,88
K4	0,0055	0,86	0,86	0,0052	0,87	0,87
K5	0,0052	0,86	0,87	0,0045	0,89	0,89
K6	0,0057	0,86	0,86	0,0045	0,89	0,89

**Bảng 6.** Cấu trúc và tham số trong mô hình MLP-K5.

Cấu trúc mô hình	Số lớp ẩn	Loại lớp ẩn	Số nơ-ron
		1	Dense
	2	Dense	5
	3	Dense	3
Tham số mô hình	Hàm kích hoạt	ReLU	
	Tốc độ học	0,001	
	Hàm tối ưu	Adam	
	Epochs	8000	
	Batch_size	150	



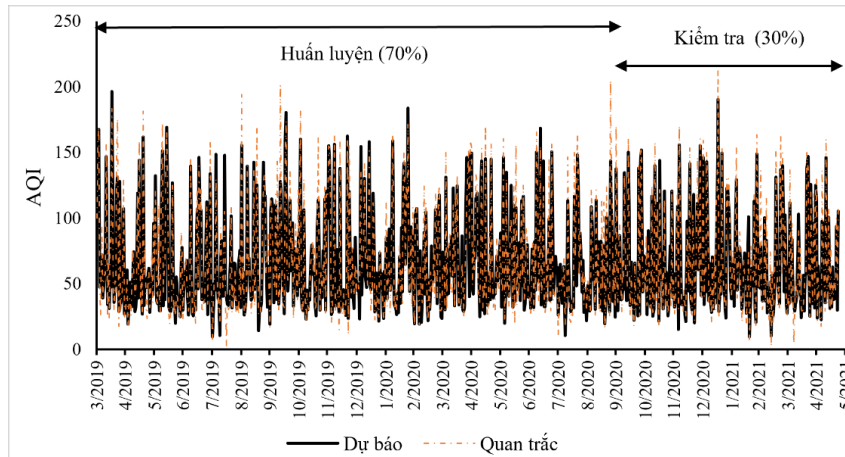
**Hình 6.** Diễn biến giá trị AQI dự báo và quan trắc của mô hình MLP-K5 trong giai đoạn 2019-2020.

### 3.2. Mô hình RF

Chỉ số chất lượng không khí được dự báo bằng mô hình RF theo 6 kịch bản. Kết quả dự báo được thể hiện trong Bảng 7. Qua đó cho thấy mô hình RF có khả năng dự báo chất lượng không khí tốt mặc dù kết quả của giai đoạn huấn luyện đều cao hơn giai đoạn kiểm tra. Nhìn chung, các giá trị  $MSE < 0,004$ ,  $R^2 > 0,9$  và  $NSE > 0,90$  trong giai đoạn huấn luyện, và  $MSE < 0,006$ ,  $R^2 > 0,84$ , và  $NSE > 0,84$  trong giai đoạn kiểm tra. Trong 6 kịch bản, kịch bản có hiệu quả thống kê tốt nhất là kịch bản 6 (RF-K6) với  $MSE = 0,004$ ,  $R^2 = 0,9$ ,  $NSE = 0,90$  cho quá trình huấn luyện và  $MSE = 0,005$ ,  $R^2 = 0,88$ ,  $NSE = 0,88$  cho quá trình kiểm tra. Đồ thị so sánh diễn biến chất lượng không khí trong 2 giai đoạn huấn luyện và kiểm tra giữa kết quả từ RF-K6 và quan trắc được thể hiện trong Hình 7.

**Bảng 7.** Hiệu quả dự báo của mô hình RF theo 6 kịch bản thông số đầu vào.

Kịch bản	Huấn luyện			Kiểm tra		
	MSE	R <sup>2</sup>	NSE	MSE	R <sup>2</sup>	NSE
K1	0,004	0,91	0,91	0,006	0,86	0,86
K2	0,002	0,93	0,93	0,006	0,84	0,84
K3	0,002	0,95	0,95	0,005	0,85	0,85
K4	0,0009	0,98	0,95	0,005	0,85	0,85
K5	0,003	0,92	0,96	0,005	0,87	0,87
K6	0,004	0,90	0,90	0,005	0,88	0,88



**Hình 7.** Diễn biến giá trị AQI dự báo và quan trắc của mô hình RF-K6 trong giai đoạn 2019-2020.

Cấu trúc và các tham số của mô hình RF được sử dụng cho kịch bản 6 thể hiện trong Bảng 8. Mô hình được xây dựng với các tham số *n\_estimator* là 8000, *min\_sample\_split* là 2, *min\_sample\_leaf* là 8, *max\_depth* là 50.

**Bảng 8.** Tham số trong mô hình RF-K6.

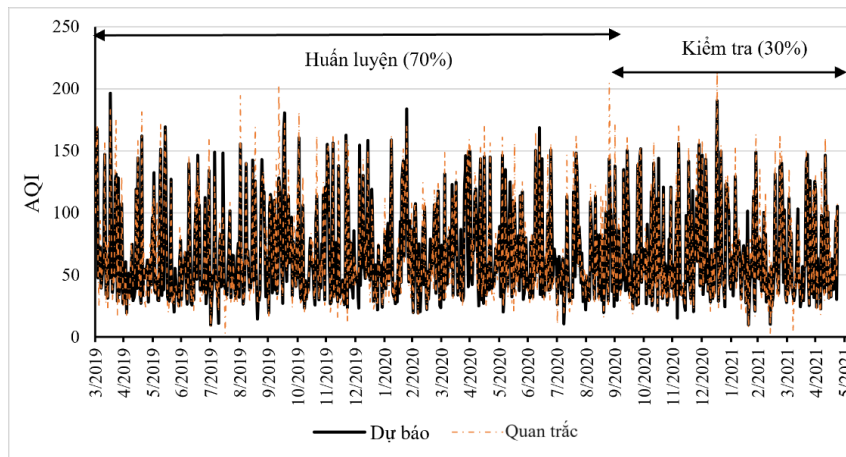
	<b>N_estimators</b>	<b>8000</b>
Tham số mô hình	<i>Min_sample_split</i>	2
	<i>Min_sample_leaf</i>	8
	<i>Max_depth</i>	50

### 3.3. Mô hình SVR

Mô hình SVR được sử dụng để dự báo chỉ số chất lượng không khí tại TP.HCM theo 6 kịch bản. Hiệu quả dự báo được thể hiện trong Bảng 9. Qua đó cho thấy hiệu quả dự báo của SVR ở mức tốt. Cũng như mô hình MLP, hiệu quả dự báo giai đoạn kiểm tra đều cao hơn giai đoạn huấn luyện. Cả 6 kịch bản đều cho  $R^2 = 0,84$ ,  $MSE < 0,0065$ ,  $NSE = 0,84$  cho giai đoạn huấn luyện, và  $R^2 = 0,88$ ,  $MSE < 0,0051$ ,  $NSE > 0,87$  đối với giai đoạn kiểm tra. Kịch bản cho dự báo tốt nhất là kịch bản 6 (SVR-K6) với  $MSE = 0,0064$ ,  $R^2 = 0,84$ ,  $NSE = 0,84$  cho giai đoạn huấn luyện, và  $MSE = 0,0048$ ,  $R^2 = 0,88$ ,  $NSE = 0,88$  cho giai đoạn kiểm tra. Đồ thị so sánh diễn biến chất lượng không khí trong 2 giai đoạn huấn luyện và kiểm tra giữa kết quả từ SVR-K6 và quan trắc được thể hiện trong Hình 8.

**Bảng 9.** Hiệu quả dự báo của mô hình SVR theo 6 kịch bản thông số đầu vào.

Kịch bản	Huấn luyện			Kiểm tra		
	MSE	R <sup>2</sup>	NSE	MSE	R <sup>2</sup>	NSE
K1	0,0065	0,84	0,835	0,005	0,88	0,875
K2	0,0065	0,84	0,837	0,0051	0,87	0,872
K3	0,0064	0,84	0,839	0,005	0,88	0,875
K4	0,0064	0,84	0,84	0,0049	0,88	0,877
K5	0,0063	0,84	0,841	0,005	0,88	0,875
K6	0,0064	0,84	0,84	0,0048	0,88	0,879



**Hình 8.** Diễn biến giá trị AQI dự báo và quan trắc của mô hình SVR-K6 trong giai đoạn.

Cấu trúc và các tham số của mô hình SVR được sử dụng cho kịch bản 6 thể hiện trong Bảng 10. Mô hình được xây dựng với hàm kernel là rbf, hệ số gamma là 0,0005, hệ số epsilon là 0,002, max\_iter là 12000.

**Bảng 10.** Tham số trong mô hình SVR-K6.

Tham số mô hình	Kernel	rbf
	C	100
Gamma	0,0005	
Epsilon	0,002	
Max_iter	12000	

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã thực hiện dự báo chỉ số chất lượng không khí cho thông số PM<sub>2.5</sub> tại khu vực TP.HCM dựa trên 3 mô hình MLP, RF và SVR. Kết quả cho thấy cả 3 mô hình đều có khả năng dự báo tốt với chỉ số MSE < 0,0065, R<sup>2</sup> > 0,84, NSE > 0,835 trong cả 2 giai đoạn huấn luyện và kiểm tra. Đối với mô hình MLP, mô hình MLP-K5 (kịch bản với 5 thông số đầu vào) cho hiệu suất dự báo tốt nhất. Đối với RF và SVR, mô hình RF-K6 và SVR-K6 cho hiệu suất dự báo tốt nhất với 6 thông số đầu vào. Nhìn chung, mô hình MLP-K5 là mô hình tối ưu nhất vì cho kết quả huấn luyện, kiểm tra tốt nhất, đồng thời sử dụng ít dữ liệu đầu vào nhất trong cả ba mô hình, cụ thể mô hình MLP với 5 thông số đầu vào là AQI(t-1) và các biến khí tượng trễ 1 ngày là sương, áp suất, độ ẩm, tốc độ gió cho hiệu quả dự báo tốt nhất với MSE = 0,0045, R<sup>2</sup> = 0,89 và NSE = 0,886. Kết quả đạt được trong nghiên cứu này khá tương đồng với kết quả từ nhóm nghiên cứu [14] thực hiện mô phỏng chất lượng không khí tại thành phố Hà Nội, các nghiên cứu đều cho thấy các mô hình dựa trên mạng nơ ron nhân tạo có hiệu quả mô phỏng tốt chất lượng không khí tại khu vực.

Bên cạnh các kết quả đạt được, nghiên cứu vẫn còn một số hạn chế, cụ thể nghiên cứu chỉ thực hiện dự báo tại 1 trạm Tổng lãnh sự quán Mỹ tại TP.HCM, cũng như chỉ tính AQI do PM<sub>2.5</sub> mà chưa xem xét đến các thông số ô nhiễm khác như NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>,... Trong nghiên cứu tiếp theo sẽ thực hiện tại nhiều trạm quan trắc hơn cũng như tính toán AQI dựa trên các thông số khác cùng với thông số PM<sub>2.5</sub>. Tuy nhiên, kết quả đạt được trong nghiên cứu đã cho thấy ưu điểm, tiềm năng ứng dụng của các thuật toán học máy trong dự báo chỉ số chất lượng không khí. Thông qua đó, các nghiên cứu tiếp theo sẽ ứng dụng các thuật toán này để dự báo những thông số chất lượng không khí khác hoặc sử dụng các biến đầu vào đa dạng hơn.

**Đóng góp tác giả:** N.P.H.: phương pháp, tính toán và phân tích kết quả, viết bản thảo; Đỗ D.H.V.: thu thập dữ liệu, tính toán và phân tích kết quả, viết bản thảo; Đ.N.K.: Lên ý tưởng, phương pháp, viết và chỉnh sửa bản thảo.



**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của Sở Khoa Học và Công Nghệ Tp.HCM và được thực hiện bởi Viện Khoa học và Công nghệ Tính toán (ICST) thông qua Hợp đồng thực hiện nhiệm vụ khoa học và công nghệ số 11/2020/HĐ-QPTKHCN ngày 22 tháng 04 năm 2020.

**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. Nguyen, T.N.T.; Bui, Q.H.; Pham, V.H.; Luu, V.H.; Man, D.C.; Pham, N.H.; Le, T.H.; Nguyen, T.T. Particulate matter concentration mapping from MODIS satellite data: a Vietnamese case study. *Environ. Res. Lett.* **2015**, *10*(9), 095016.
2. Lelieveld, J.; Poschl, U. Chemists can help to solve the air pollution health crisis. *Nature* **2017**, *551*, 291–293.
3. World Bank. Vietnam - Country climate and development report. Washington DC., Chapter 1: Vietnam's Development Model and Climate Challenges. 2022, pp.9.
4. Sở Tài Nguyên và Môi trường TP.HCM. Báo cáo hiện trạng môi trường TP.HCM năm 2021.
5. Tổng Cục Thống Kê. Kết quả toàn bộ tổng điều tra dân số và nhà ở năm 2022.
6. Gou, Q.; He, Z.; Li, S.; Li, X.; Meng, J.; Hou, Z.; Liu, J.; Chen, Y. Air pollution forecasting using artificial and wavelet neural networks with meteorological conditions. *Aerosol Air Qual. Res.* **2020**, *20*, 1429–1439.
7. Karimian, H.; Li, Q.; Wu, C.; Qi, Y.; Mo, Y.; Chen, G.; Zhang, X.; Sachdeva, S. Evaluation of different machine learning approaches to forecasting PM<sub>2.5</sub> mass concentrations. *Aerosol Air Qual. Res.* **2019**, *19*, 1400–1410.
8. Doreswamy.; Harishkumar, K.S.; Yogesh, K.M.; Gad, I. Forecasting air pollution particular matter (PM<sub>2.5</sub>) using machine learning regression models. *Procedia Comput. Sci.* **2020**, *171*, 2057–2066.
9. Zaman, N.A.F.K.; Kanniah, K.D.; Kaskaoutis, D.G.; Latif, M.T. Evaluation of machine learning models for estimating PM<sub>2.5</sub> concentrations across Malaysia. *Appl. Sci.* **2021**, *11*(16), 7326.
10. Preetham Vignesh, P.; Hiang, J.H.; Kishore, P. Predicting PM<sub>2.5</sub> concentration across USA using machine learning. *Earth Space Sci.* **2023**, *10*(10), e2023EA002911.
11. Zamani Joharestani, M.; Cao, C.; Ni, X.; Bashir, B.; Talebiesfandarani, S. PM<sub>2.5</sub> prediction based on Random Forest, XGBoost and Deep Learning multisource remote sensing data. *Atmos.* **2019**, *10*(7), 373.
12. Castelli, M.; Clemente, F.M.; Popovic, A.; Silva, S.; Vanneschi, L. A machine learning approach to predict air quality in California. *Complexity* **2020**, 8049504.
13. Doreswamy, Harishkumar, K.S.; Yogesh, K.M.; Ibrahim, G. Forecasting air pollution particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) using machine learning regression models. *Procedia Comput. Sci.* **2020**, *171*, 2057-2066.
14. Hung, M.D.; Dũng, N.T.; Cơ, H.X. Nghiên cứu ứng dụng mạng neuron nhân tạo để xây dựng mô hình dự báo nồng độ SO<sub>2</sub> cực đại ngày. *Tạp chí Khoa Học & Công Nghệ Đại học Thái Nguyên* **2017**, *166*(06), 127–132.
15. Phuong, N.T.T.; Hung, M.D.; Nam, D.T.; Dung, N.T. Forecast of hourly tropospheric ozone concentration in Quang Ninh using MLP and SVM. *J. Sci: Earth Env. Sci.* **2020**, *36*(3), 46–54.
16. Gardner, M.W.; Dorling, S.R. Artificial neural networks (the multilayer perceptron) - A review of applications in the atmosphere sciences. *Atmos. Environ.* **1998**, *32*(14), 2627–2636.
17. Tiệp, V.H. Machine Learning cơ bản. <https://machinelearningcoban.com/>.

18. Cabaneros, S.M.; Calautit, J.K.; Hughes, B.R. A review of artificial neural network models for ambient air pollution prediction. *Environ. Modell. Software* **2019**, *119*, 285–304.
19. Chen, Y.; Song, L.; Liu, Y.; Yang, L.; Li, D. A review of the artificial neural network models for water quality prediction. *Appl. Sci.* **2020**, *10(17)*, 5776.
20. Flores, J.H.F.; Engel, P.M.; Pinto, R.C. Autocorrelation and partial autocorrelation functions to improve neural networks models on univariate time series forecasting. *Proceeding of the 2012 International Joint Conference on Neural Networks*, 2012, pp. 1–8.

## Developing model for simulation of air quality index in Ho Chi Minh City using machine learning algorithms

Nguyen Phuc Hieu<sup>1</sup>, Do Duong Hoang Van<sup>1</sup>, Dao Nguyen Khoi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Environment, University of Science, VNU-HCM; phuchieu50@gmail.com; vanhoanggg25@gmail.com; dnkhai@hcmus.edu.vn

**Abstract:** The aim of this study is to predict the Air Quality Index (AQI) in Ho Chi Minh City using three machine learning algorithms: Multilayer Perceptron (MLP), Random Forest (RF), and Support Vector Regression (SVR). The input data comprise AQI and five meteorological variables (dew point, pressure, temperature, humidity, and wind speed) recorded from March 2019 to June 2021. Seventy percent of the input data is used for the training phase, while the remaining 30% is applied for the testing phase. Correlation analysis and partial autocorrelation analysis were employed to develop six scenarios of input variables. The results indicate that all three machine learning models exhibit robust performance in predicting AQI for Ho Chi Minh City. Notably, the MLP model demonstrates superior predictive capabilities, particularly in the scenario incorporating five input variables (MLP-K5), yielding the best results with  $MSE = 0.0045$ ,  $R^2 = 0.89$ , and  $NSE = 0.886$ . The SVR model, under the scenario of six input variables (SVR-K6), achieves optimal performance in AQI prediction with  $MSE = 0.0048$ ,  $R^2 = 0.88$ , and  $NSE = 0.879$ . Similarly, the RF model, in the scenario utilizing six input variables (RF-K6), yields the most accurate prediction results with  $MSE = 0.005$ ,  $R^2 = 0.88$ , and  $NSE = 0.875$ . In conclusion, the findings evince the proficiency of the Multilayer Perceptron model (MLP) in accurately simulating the Air Quality Index for Ho Chi Minh City.

**Keywords:** Air Quality Index; Multilayer Perceptron; Support Vector Regression; Random Forest; Machine learning.

Bài báo khoa học

# Xây dựng mô hình số 3D địa hình đáy biển dựa trên phương pháp đường cong tham số

Nguyễn Đình Hải<sup>1</sup>, Phạm Ngọc Quang<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup> Đoàn Đo đạc, biên vẽ hải đồ và nghiên cứu biển; hthhaithem@gmail.com

<sup>2</sup> Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mở - Địa chất; phamngocquang@humg.edu.vn

<sup>3</sup> Nhóm nghiên cứu Trắc địa cao cấp - môi trường, Trường Đại học Mở - Địa chất

\*Tác giả liên hệ: phamngocquang@humg.edu.vn; Tel.: +84-973037551

Ban biên tập nhận bài: 5/12/2023; Ngày phản biện xong: 17/1/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2024

**Tóm tắt:** Bản đồ địa hình đáy biển, hải đồ và mô hình số 3D địa hình đáy biển là những loại thông tin (hoặc công cụ) hết sức cần thiết đối với các hoạt động trên biển. Với ưu điểm cung cấp thông tin một cách trực quan nhất, mô hình số 3D địa hình đáy biển đang được ưu tiên nghiên cứu xây dựng trên thế giới trong thời gian gần đây. Tại Việt Nam, do đặc thù về khả năng tiếp cận dữ liệu mà các nghiên cứu về xây dựng mô hình số 3D địa hình đáy biển còn hết sức hạn chế. Một trong những nội dung trong quy trình xây dựng mô hình số 3D địa hình đáy biển đó là nội suy các điểm độ sâu và xây dựng bề mặt mô hình số 3D. Chất lượng của mô hình số 3D được xây dựng phụ thuộc vào nhiều yếu tố trong đó phương pháp nội suy điểm độ sâu cũng như xây dựng bề mặt của mô hình số 3D. Nghiên cứu này đề xuất sử dụng thuật toán Cubic Spline để nội suy điểm độ sâu cũng như xác định bề mặt của mô hình số 3D địa hình đáy biển. Trên cơ sở thuật toán và quy trình đã đề xuất, tiến hành thực nghiệm xây dựng mô hình số 3D địa hình đáy biển cho khu vực biển Nha Trang - Khánh Hòa. Kết quả đánh giá độ chính xác cho thấy, mô hình đã xây dựng có độ chính xác xác định độ sâu với sai số trung phương  $m = \pm 0,465m$ . Độ chính xác mô hình đã xây dựng hoàn toàn đáp ứng yêu cầu xây dựng mô hình số 3D địa hình đáy biển.

**Từ khóa:** 3D; Địa hình đáy biển; Phương pháp nội suy; Spline.

## 1. Giới thiệu

Bản đồ địa hình đáy biển là công cụ hết sức cần thiết trong dẫn đường trên biển, nghiên cứu biển cũng như xây dựng các công trình trên biển,... Để thành lập bản đồ địa hình đáy biển, sử dụng nhiều công nghệ thu thập dữ liệu khác nhau như đo sâu hồi âm đơn tia, đo sâu hồi âm đa tia, thủy âm quét sườn ... [1]. Bản đồ địa hình đáy biển có thể được thành lập ở dạng bản đồ 2 chiều (2D) hoặc bản đồ 3 chiều (3D). Một trong những ưu điểm của bản đồ địa hình đáy biển 3D đó là cho phép hiển thị một cách trực quan địa hình đáy biển. Mô hình số 3D địa hình đáy biển biểu diễn toàn cảnh và chi tiết hóa về cấu trúc và hình dạng của đáy biển dưới dạng mô hình toàn cảnh 3D. Mô hình nêu trên cho phép người sử dụng theo dõi trực quan không chỉ địa hình đáy biển mà còn cả các đối tượng như trầm tích, sinh vật ... dưới đáy biển. Vì lý do nêu trên, xây dựng mô hình 3D địa hình đáy biển là một hướng nghiên cứu rất được coi trọng.

Các tác giả [2] đã giới thiệu về dự án thành lập bản đồ đáy đại dương trên phạm vi toàn thế giới. Trong dự án này, các tiêu chuẩn tối thiểu về độ chính xác của dữ liệu, điều hướng pixel và độ phân giải đã được khuyến nghị. Nghiên cứu [3] đã tổng quan về khoa học quan

sát địa hình đáy biển trong đó nhấn mạnh tầm quan trọng của mạng lưới quan trắc đáy biển đa mục tiêu. Dữ liệu đo sâu hồi âm đơn tia là loại dữ liệu đo sâu hồi âm xuất hiện sớm nhất. Dữ liệu thu nhận được bởi phương pháp này ở dạng các đường rời rạc do đó không phản ánh hết hình dạng địa hình đáy biển trên thực tế. Tuy nhiên, loại dữ liệu này cũng đã có vai trò lớn trong xây dựng bản đồ địa hình đáy biển. Các tác giả [4] đã đánh giá độ chính xác của các thuật toán nội suy để xây dựng mô hình 3D địa hình đáy biển từ dữ liệu đo sâu hồi âm đơn tia. Trong nghiên cứu này, đã sử dụng các thuật toán nội suy như: thuật toán nghịch đảo khoảng cách, hàm radian xuyên tâm (*RBF - Radian Basic Function*), hàm nội suy đa thức tổng quát, hàm nội suy đa thức cục bộ và Kriging. Quá trình thực nghiệm được tính toán bằng cách sử dụng các công cụ có sẵn trong bộ phần mềm ArcGIS 10.3. Kết quả thực nghiệm cho thấy, hàm radian xuyên tâm và Kriging cho độ chính xác tốt nhất với tập dữ liệu thực nghiệm. Nghiên cứu [5] đã sử dụng hàm nội suy Spline kết hợp với hàm Green di động (*MGF - Moving Green Function*) để nội suy dữ liệu đo sâu phục vụ xây dựng mô hình số 3D địa hình đáy biển. Nghiên cứu đã thực nghiệm với hai phương án: (1) Sử dụng hàm nguyên thủy và (2) đề xuất hàm cải tiến. Kết quả thực nghiệm cho thấy hàm nội suy Spline kết hợp với kỹ thuật Green di động cải tiến cho độ chính xác tốt hơn, thời gian thực thi ngắn hơn so với hàm nguyên thủy. Nghiên cứu [6] đã sử dụng hàm Kriging để mô hình hóa 3D địa hình đáy biển. Trong nghiên cứu này, thuật toán Kriging thông thường và Kriging phổ quát đã được sử dụng. Để đánh giá hiệu suất của quá trình mô hình hóa, các tác giả đã đề xuất chỉ số biến đổi hình thái (*MVI - Morphological Variation Index*) được sử dụng để đo lường mức độ biến đổi của hình dạng đáy biển. Kết quả thực nghiệm trong nghiên cứu này đã cho thấy mức độ hiệu quả của hàm Kriging trong mô hình hóa địa hình đáy biển. Bên cạnh đó, MVI là chỉ số hữu ích để đại diện cho sự biến đổi của đáy biển dưới dạng một giá trị duy nhất.

Từ dữ liệu đo sâu, hình dáng địa hình đáy biển thường được mô hình hóa ở dạng mô hình số độ cao (DEM). Độ chính xác của mô hình DEM được xây dựng phụ thuộc nhiều yếu tố như độ chính xác dữ liệu đo sâu, thuật toán nội suy, mật độ dữ liệu,... Tác giả [7] đã đánh giá độ chính xác nội suy độ sâu để mô hình hóa địa hình đáy biển. Các thuật toán được sử dụng bao gồm nghịch đảo khoảng cách, Spline và nội suy theo tam giác. Kết quả cho thấy độ chính xác của ba kỹ thuật nội suy được đánh giá giảm: (i) ở mật độ lấy mẫu ô nhỏ hơn, (ii) khi khoảng cách đến điểm đo gần nhất tăng lên và (iii) ở những khu vực có độ dốc và độ cong cao. Spline được cho là kỹ thuật chính xác nhất, mặc dù tất cả các kỹ thuật đều có độ chính xác xấp xỉ tương đương ở mật độ lấy mẫu dữ liệu lớn và khoảng cách nội suy ngắn hơn [7].

Generic Mapping Tools (GMT) là một bộ công cụ phần mềm mã nguồn mở được sử dụng rộng rãi trong địa lý, địa chất, và nghiên cứu đại dương để tạo và hiển thị các bản đồ và biểu đồ khoa học. GMT cung cấp một loạt các lệnh và dòng lệnh cho việc xử lý dữ liệu không gian, vẽ đồ thị, và tạo bản đồ. Tác giả [8] đã sử dụng GMT để xây dựng đồ họa đáy biển tại một số khu vực của Đại Tây Dương. Công trình này góp phần mở rộng kiến thức về sự phát triển địa chất và kiến tạo đáy biển Đại Tây Dương nhằm hoàn thiện quan điểm về địa mạo đáy biển tại khu vực nghiên cứu. Polina LEMENKOVA [9] cũng đã sử dụng GMT để xây dựng mô hình địa vật lý của rãnh đại dương khu vực Trung Mỹ. Địa hình của rãnh Aleutian về phía đông nam ngoài khơi Bowers Ridge, biển Bering cũng được tác giả Polina [10] sử dụng GMT để phân tích. Công trình này góp phần hiểu biết chi tiết hơn về độ sâu đáy biển Thái Bình Dương, cụ thể hơn là đoạn được chọn của Rãnh Aleutian gần khu vực Bowers Ridge.

Một trong những công nghệ thu nhận tín hiệu để thành lập bản đồ địa hình đáy biển đó là hệ thống máy đo hồi âm đa tia (MBE) [12]. Mỗi hệ thống MBE bao gồm nhiều hệ thống đo lường như đầu sonar, hệ thống định vị, cảm biến chuyển động hoạt động đồng bộ. Bên cạnh đó, công nghệ đo sâu SONAR cũng đã được phát triển để có thể lập mô hình 3D địa hình đáy biển một cách trực quan với độ chính xác cao [13]. Diện tích biển và đại dương của thế giới rất rộng lớn, nếu thu thập dữ liệu địa hình đáy biển theo các phương pháp truyền

thống sẽ cần rất nhiều thời gian để thực hiện. Các thiết bị thu nhận dữ liệu địa hình đáy biển tự động (AUV) đã được chế tạo để phần nào khắc phục được các nhược điểm nêu trên [14]. Các tác giả [14] đã đề xuất phương pháp ghép ảnh, khôi phục màu dữ liệu thu nhận bởi AUV để xây dựng mô hình 3D địa hình đáy biển.

Mô hình 3D địa hình khu vực đới bờ (phần tiếp giáp giữa biển và đất liền) có ý nghĩa hết sức quan trọng trong nghiên cứu tai biến thiên tai. Các tác giả [15] đã đề xuất phương pháp LIDAR để thu nhận dữ liệu phục vụ cho xây dựng mô hình 3D như đã nêu trên.

Sau khi xây dựng mô hình, một vấn đề hết sức cần thiết đó là hiển thị mô hình 3D. Tác giả [16] đã đề xuất phương pháp hiển thị 3D khu vực đới bờ trên cơ sở sử dụng ngôn ngữ lập trình C++ và OpenGL để xây dựng hệ thống hiển thị 3D giúp hiện thực hóa trực quan hóa địa hình 3D thực tế của vùng ven biển bằng cách tạo đường bờ tức thời. Trên cơ sở dữ liệu đo SONAR, đo sâu đa tia và sử dụng công cụ phân tích hệ thống thông tin địa lý đã xác định được thông tin về địa hình đáy biển [17].

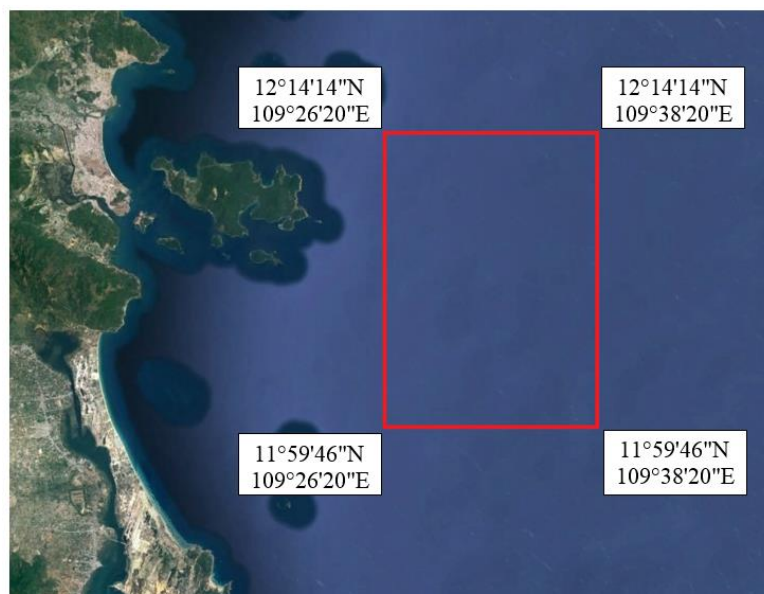
Cho đến nay đã có một số công trình nghiên cứu về thành lập bản đồ địa hình đáy biển tại Việt Nam, [18] đã chứng minh về tính hiệu quả của máy đo sâu hồi âm đa tia trong công tác khảo sát địa hình đáy biển phục vụ khảo sát công trình. Tại các khu vực ven bờ, dữ liệu ảnh viễn thám đã được ứng dụng trong xác định độ sâu địa hình đáy biển [19]. Trong nghiên cứu này, dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2A đã được sử dụng để xác định độ sâu cho những khu vực có độ sâu tới -10m với độ chính xác đáp ứng tiêu chuẩn thành lập bản đồ 1/10.000. Các tác giả [20] đã sử dụng giá trị trọng lực xác định địa hình và độ dày lớp vỏ trái đất bên dưới biển Đông. Phương pháp đánh giá độ chính xác dữ liệu đo sâu đơn tia phục vụ thành lập bản đồ địa hình đáy biển cũng đã được công bố [21]. Để thực hiện được công việc này, các tác giả đã đề xuất thuật toán và xây dựng chương trình máy tính. Kết quả thực nghiệm cho thấy, công cụ máy tính đã được xây dựng hoàn toàn đáp ứng yêu cầu của công tác đánh giá dữ liệu đo sâu đơn tia. Đặc điểm địa hình, đặc điểm của biển đôi địa hình khu vực đảo Trường Sa đã được các tác giả [22] phân tích trên cơ sở sử dụng mô hình MIKE. Kết quả của nghiên cứu này làm cơ sở khoa học để phân tích địa hình đáy biển phục vụ cho các hoạt động tác chiến của quân đội.

Có thể thấy rằng, các nghiên cứu về xây dựng mô hình 3D địa hình đáy biển tại Việt Nam vẫn còn hết sức hạn chế. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu xây dựng mô hình số 3D địa hình đáy biển từ dữ liệu đo sâu đa tia sử dụng đường cong tham số xác định được trên cơ sở ứng dụng thuật toán Cubic Spline.

## 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực và dữ liệu nghiên cứu

Khu vực được lựa chọn để nghiên cứu là khu vực biển Nha Trang - Khánh Hòa có vị trí được thể hiện như hình 1. Khu vực này có độ sâu trung bình từ -20m đến -80m. Dữ liệu được thu nhận sử dụng hệ thống đo sâu đa tia nước nông SeaBeam 1180 tần số hoạt động 180kHz, hệ thống đa tia nước sâu 3030 tần số 30kHz và thiết bị quét sườn Side Scan Sonar Klein 3000 tần số hoạt động 100kHz và 500kHz



Hình 1. Khu vực biển Nha Trang.

cùng với thiết bị thu thập tọa độ Trimble SPS 361. Hệ thống đo độ sâu nước nông đa tia SeaBeam 1180 là sản phẩm của công ty Wartsila Elac-Đức. Nó hoạt động ở tần số 180 kHz, phát sóng dưới dạng hình chữ T, có thể quét với góc lên đến 1400 và dải quét 200m ở độ sâu trung bình 50m. Hệ thống này được điều khiển thông qua phần mềm SeaBat UI Control để thu thập dữ liệu một cách nhanh chóng và chính xác. Với khả năng khảo sát chi tiết địa hình nước nông, độ phân giải cao, cùng khả năng thu thập dữ liệu tán xạ với độ chi tiết cao, hệ thống này được sử dụng để thu thập dữ liệu ở lòng hồ và khu vực ven đảo với độ sâu từ 0÷500m. Độ chính xác tọa độ, độ sâu đạt các hạn sai từ hạng đặc biệt tới hạng 2 theo tiêu chuẩn S-44 v5 (IHO).

### 2.2. Thuật toán Cubic Spline

Cubic Spline là một phương pháp nội suy được sử dụng để xây dựng đường cong mượt mà và liên tục thông qua một tập hợp các điểm dữ liệu đã biết. Được sử dụng rộng rãi trong đồ họa máy tính, xử lý ảnh và các ứng dụng khác, thuật toán Cubic Spline cung cấp một cách hiệu quả để biểu diễn và xử lý dữ liệu hình ảnh hoặc số liệu như số liệu địa hình [23]. Theo tài liệu [24] có thể diễn giải ngắn gọn cách tạo đường cong cubic spline từ tập điểm chi tiết như sau:

Bước 1: Chuẩn bị dữ liệu

Dữ liệu đầu vào ở đây là dữ liệu dạng 3 chiều của các điểm đo sâu với yêu cầu các thành phần tọa độ được sắp xếp theo trình tự giảm dần về độ lớn theo một hoặc nhiều trục.

Bước 2: Tính khoảng cách giữa các điểm liền kề nhau

Chia khoảng giữa mỗi cặp điểm thành các đoạn đường và xây dựng một đa thức Cubic Spline cho mỗi chiều (x, y, z). Mỗi chiều có một đa thức Cubic Spline tương ứng.

Đối với mỗi chiều, đa thức Cubic Spline có dạng:

$$S_i(t) = a_i + b_i(t - t_i) + c_i(t - t_i)^2 + d_i(t - t_i)^3 \tag{1}$$

Trong đó  $S_i(t)$  là đa thức cubic spline cho đoạn đường thứ i, và  $a_i, b_i, c_i, d_i$  là các hệ số cần được xác định.

Bước 3: Xác định điều kiện liên tục và liên tục bậc 2

Để đảm bảo tính liên tục và liên tục bậc hai, áp dụng các điều kiện sau tại mỗi điểm nội suy:

$$S_i(t_i) = P_i \text{ (với } P_i \text{ là tọa độ tương ứng theo chiều x, y hoặc z)}$$

$$S_{i-1}(t_i) = S_i(t_i) \text{ (tính liên tục)}$$

$$S''_{i-1}(t_i) = S''_i(t_i) \text{ (tính liên tục bậc hai)}$$

Bước 4: Giải hệ phương trình

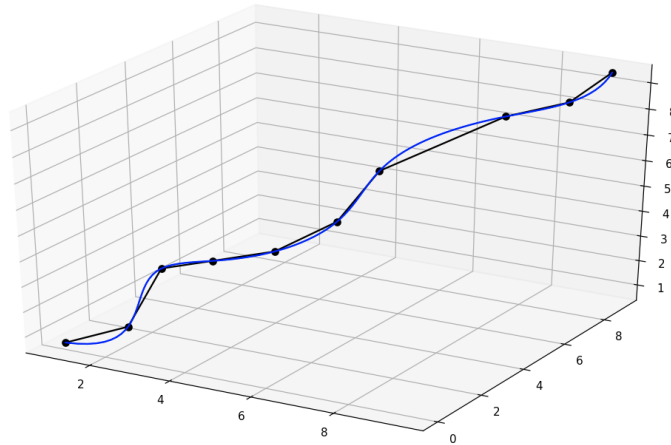
Giải hệ phương trình tuyến tính cho mỗi chiều để xác định các hệ số  $a_i, b_i, c_i, d_i$ . Giả sử rằng các điểm được cho theo thứ tự  $a = t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n = b$  và đặt  $h_i = t_{i+1} - t_i$ .

$Ax = b$  khi

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ h_0 & 2(h_0+h_1) & h_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & h_1 & 2(h_1+h_2) & h_2 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(h_2+h_3) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}; b = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{3}{h_1}(a_2 - a_1) - \frac{3}{h_0}(a_1 - a_0) \\ \dots \\ \frac{3}{h_{n-1}}(a_n - a_{n-1}) - \frac{3}{h_{n-2}}(a_{n-1} - a_{n-2}) \\ 0 \end{bmatrix}$$

Bước 5: Áp dụng đa thức Spline

Sau khi có được các hệ số  $a_i, b_i, c_i, d_i$ , đa thức Spline được xây dựng cho mỗi đoạn đường và sử dụng để nội suy giá trị tại các điểm không biết. Quá trình này tạo ra một đường cong mượt mà và liên tục qua các điểm chi tiết như hình 2.



**Hình 2.** Đường cong Cubic Spline.

**2.2. Phương pháp xây dựng mô hình số 3D địa hình đáy biển dựa trên phương pháp đường cong tham số**

Các bước thực hiện trong trường hợp này như sau:

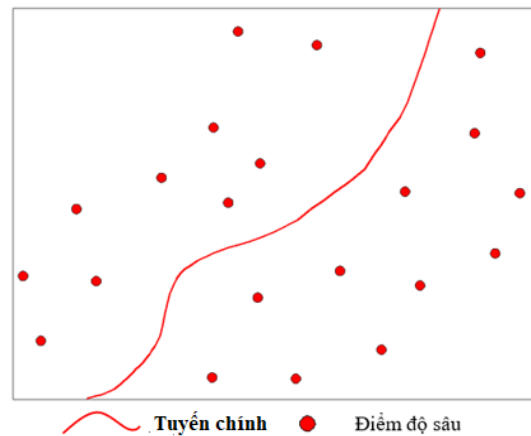
Bước 1: Xác định tuyến chính trên nền các điểm độ sâu (Hình 3)

Bước 2: Xác định các tuyến liên kề với tuyến chính (Hình 4)

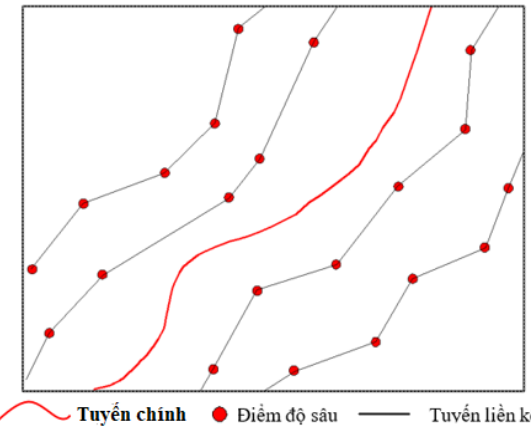
Các tuyến chính và tuyến liên kề được xác định dựa vào khoảng cách tối thiểu giữa các điểm đo sâu chi tiết, căn cứ vào các thông số này sẽ xác định được tuyến đầu tiên.

Bước 3: Xây dựng đường cong Cubic Spline đi qua các điểm của tuyến liên kề (Hình 5)

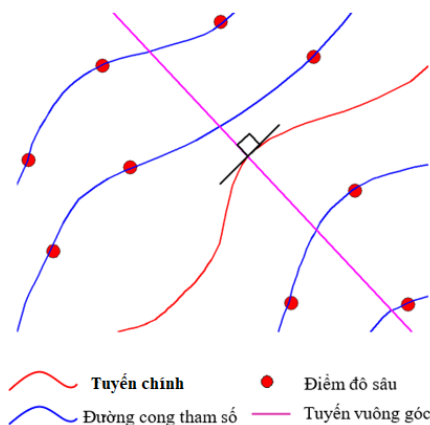
Bước 4: Xác định các mặt vuông góc với tuyến chính, cắt các đường cong tham số tại các vị trí mới (Hình 6).



**Hình 3.** Xác định tuyến chính trên nền các điểm độ sâu.

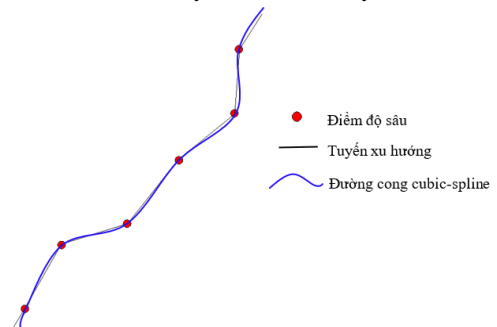


**Hình 4.** Xác định tuyến liên kề với tuyến chính.

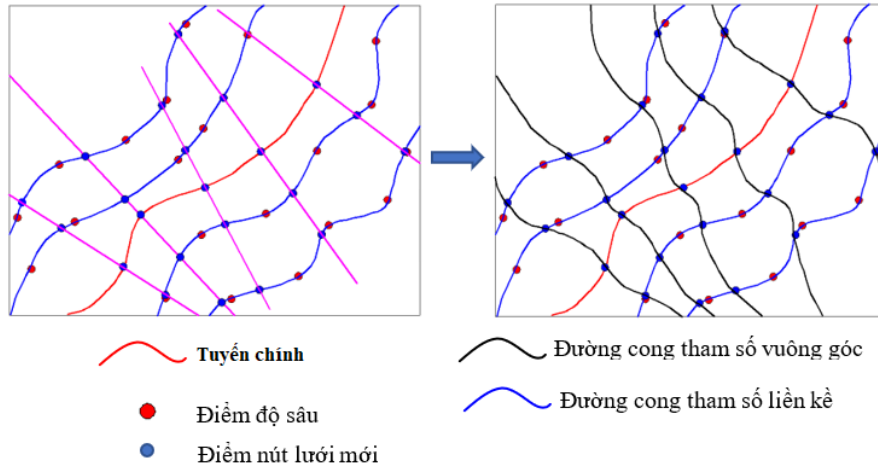


**Hình 6.** Xác định đường vuông góc với tuyến chính.

Mỗi mặt vuông góc sẽ cắt đường cong tham số liên kề tại 1 số điểm, lựa chọn các điểm này để tiếp tục xây dựng đường cong Cubic Spline theo hướng vuông góc. Như vậy sẽ được lưới tứ giác cong như hình 7.

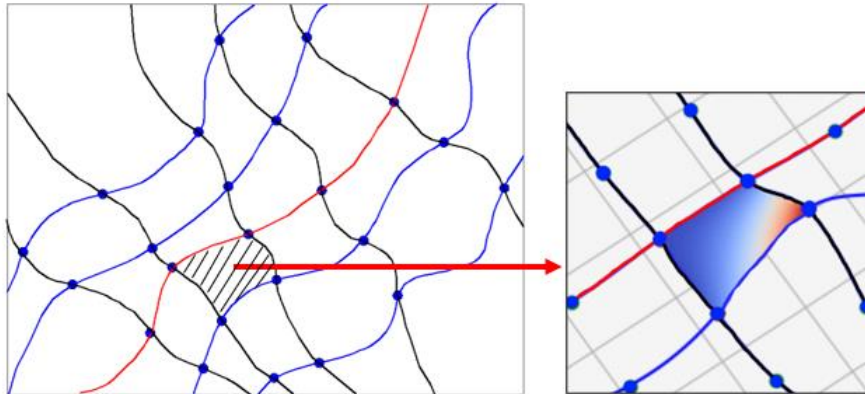


**Hình 5.** Đường cong Cubic Spline đã xác định được.



**Hình 7.** Lưới tứ giác cong xác định được theo thuật toán Cubic Spline.

Bước 5: Xây dựng mặt tứ giác cong không gian



**Hình 8.** Mặt tứ giác cong không gian.

Độ chính xác của mô hình được thành lập theo phương pháp như trên được đánh giá thông qua hai tiêu chí:

- Sai số trung phương RMSE:

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{di} - Z_{ri})^2} \quad (2)$$

Trong đó  $RMSE_Z$  là giá trị sai số trung phương;  $Z_{di}$  là giá trị độ cao thứ  $i$  trên bề mặt DEM kết quả của phương pháp tái chia mẫu;  $Z_{ri}$  là giá trị độ cao thứ  $i$  trên bề mặt mô hình tham khảo;  $n$  là số lượng điểm độ cao kiểm tra.

- Sai số trung bình:

$$ME_Z = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{di} - Z_{ri}) \right] \quad (3)$$

Trong đó  $ME_Z$  là sai số trung bình;  $n$ ,  $Z_{di}$ , và  $Z_{ri}$  tương ứng giống như trong công thức (1).

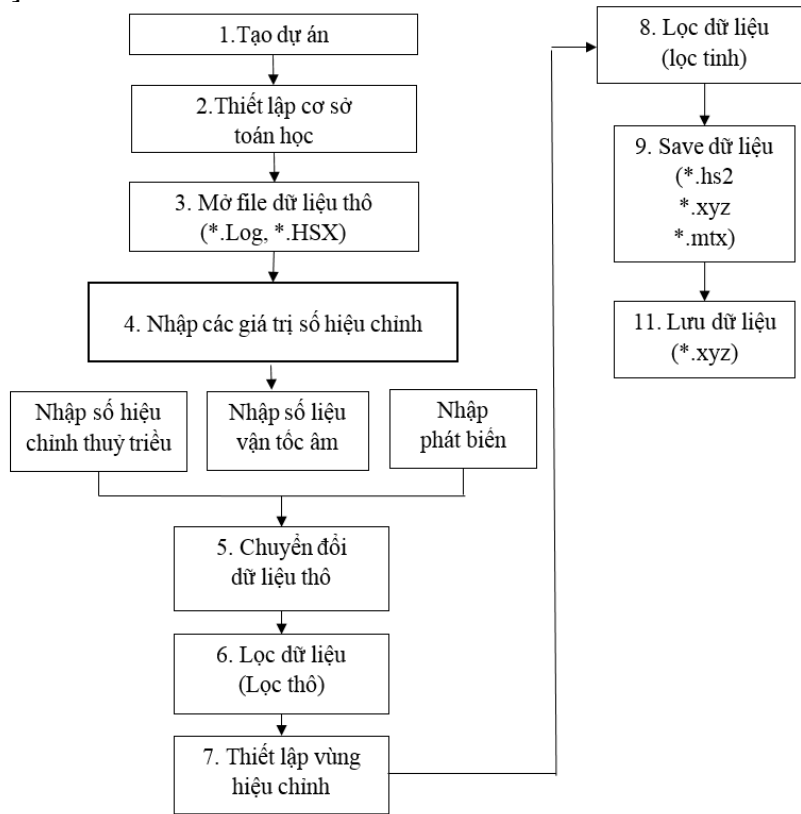
### 3. Kết quả và thảo luận

Dựa vào dữ liệu thu được ngoài thực địa đã được trình bày ở trên, nhóm tác giả đã xây dựng được bộ dữ liệu thành phần tọa độ 3 chiều của các điểm đo sâu bao gồm 6429 điểm. Quy trình đo đạc thực nghiệm được thực hiện theo các bước cơ bản như sau:

- Bước 1: Chuẩn bị thiết bị đo đạc, kiểm nghiệm đánh giá thiết bị trước khi đo;
- Bước 2: Đo đạc thu thập số liệu thực nghiệm;
- Bước 3: Xử lý số liệu sau khi đo đạc.



Số liệu sau khi đo đạc được xử lý theo quy trình biểu diễn như trong hình 9 bằng phần mềm Hypack [25].

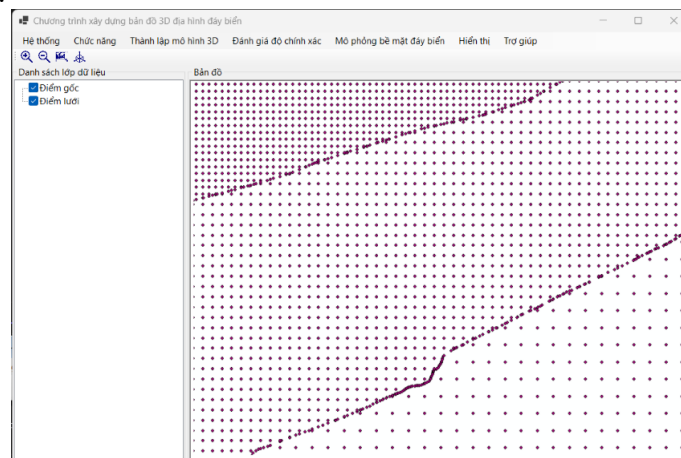


**Hình 9.** Xác định các thành phần tọa độ 3 chiều điểm đo sâu sử dụng phần mềm Hypack.

Dựa vào thuật toán đường cong không gian, nhóm tác giả đã xây dựng 01 phần mềm xây dựng mô hình số 3D địa hình đáy biển. Chức năng chính của phần mềm bao gồm:

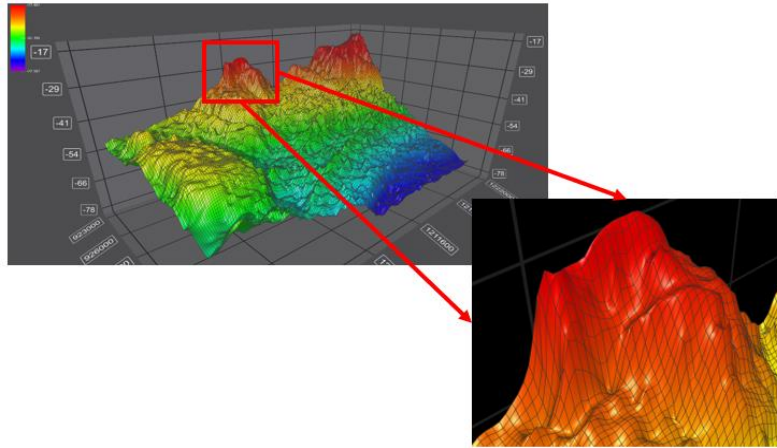
- Đọc dữ liệu gốc từ kết quả đo sâu hồi âm đa tia;
- Tạo lưới độ sâu đa độ phân giải và nội suy giá trị độ sâu theo các thuật toán IDW, theo hàm xu thế Cubic Spline;
- Thành lập mô hình số 3D địa hình đáy biển và đánh giá độ chính xác;
- Mô phỏng bề mặt đáy biển.

Giao diện của phần mềm được thiết kế đơn giản và thân thiện với người dùng được thể hiện trong hình 10.



**Hình 10.** Mô hình số 3D bề mặt với các tứ giác cong không gian.

Mô hình số bề mặt với các tứ giác là đường cong không gian được xây dựng bằng phần mềm thể hiện như hình 11.



Hình 11. Mô hình số 3D bề mặt với các tứ giác cong không gian.

Dựa vào phương pháp đánh giá độ chính xác mô hình đã trình bày ở trên, các tác giả đã tính toán các sai số trung phương cho các mô hình được thành lập sử dụng 714 điểm để kiểm tra và so sánh Kết quả tính toán  $RMSE = \pm 0,465m$ ,  $ME = 0,064m$  được thể hiện cụ thể như bảng 1.

Bảng 1. Đánh giá độ chính xác mô hình số vừa thành lập.

STT	X	Y	Z <sub>thực</sub>	Z <sub>Mh</sub>	Hiệu di	di	di <sup>2</sup>
1	924749,50	1220085,75	18,09	18,03	-0,06	0,06	0,00
2	924722,94	1220111,38	18,09	18,03	-0,06	0,06	0,00
3	924704,38	1220084,00	18,04	18,13	0,09	0,09	0,01
4	924407,56	1220033,75	18,25	18,25	0,00	0,00	0,00
5	924395,75	1220014,63	18,29	18,25	-0,04	0,04	0,00
6	924660,69	1220040,63	18,30	18,28	-0,02	0,02	0,00
7	924655,88	1220043,13	18,30	18,28	-0,02	0,02	0,00
8	924445,38	1220051,63	18,30	18,30	0,00	0,00	0,00
9	924489,38	1220014,75	18,37	18,30	-0,07	0,07	0,01
...	...	...	...	...	...	...	...
708	930963,63	1219627,88	49,79	50,02	0,23	0,23	0,05
709	931037,31	1219693,00	49,75	50,06	0,31	0,31	0,10
710	931023,06	1219726,88	50,21	50,06	-0,16	0,16	0,03
711	930984,25	1219805,88	50,07	50,06	-0,01	0,01	0,00
712	931010,50	1219821,50	50,08	50,06	-0,02	0,02	0,00
713	930975,06	1219832,75	50,23	50,06	-0,17	0,17	0,03
714	930803,69	1219288,50	50,07	50,06	-0,01	0,01	0,00
<b>Sai số trung bình ME (m)</b>							<b>0,064m</b>
<b>Sai số trung phương RMSE (m)</b>							<b>±0,465m</b>

#### 4. Kết luận

Dựa trên kết quả nghiên cứu cơ sở toán học, nhóm nghiên cứu đã đề xuất ứng dụng thuật toán Cubic Spline để xây dựng mô hình số 3D bề mặt địa hình đáy biển. Kèm theo đó, phương pháp và quy trình xây dựng mô hình số 3D bề mặt sử dụng thuật toán Cubic Spline đã được xác lập bao gồm 5 bước như đã trình bày trong mục 2.

Kết quả của nghiên cứu này đó là đã xây dựng được mô hình số 3D bề mặt cho khu vực biển Nha Trang - Khánh Hòa với độ chính xác xây dựng mô hình là  $\pm 0,465m$ . Độ chính xác xây dựng mô hình nêu trên hoàn toàn đáp ứng yêu cầu về độ chính xác trong xây dựng mô hình / bản đồ 3D địa hình đáy biển phục vụ ứng dụng đa mục tiêu.

Một nhược điểm của nghiên cứu này đó là chưa trích xuất được dữ liệu mô hình 3D bề mặt sang các định dạng mà các phần mềm GIS hiện đang sử dụng. Trong thời gian tới, cần

tiếp tục nghiên cứu phát triển công cụ để có thể tích hợp kết quả của nghiên cứu này với các phần mềm GIS.

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

**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. Makowski, C.; Finkl, C.W. Seafloor mapping along continental shelves: Research and Techniques for Visualizing Benthic Environments. (Eds.) Coastal Research Library, **2016**, 13, pp. 293. Doi: 10.1007/978-3-319-25121-9\_1.
2. Carron, M.J.; Vogt, P.R.; Jung, W.Y. A proposed international long-term project to systematically map the world's ocean floors from beach to trench: GOMaP (Global Ocean Mapping Program). *Int. Hydrographic Rev.* **2001**, 2(3), 49–55.
3. Favali, P.; Beranzoli, L. Seafloor observatory science: A review. *Annals of Geophysics*, **2006**, 49(2/3), 515–567.
4. Parente, C.; Vallario, A. Interpolation of single beam echo sounder data for 3D bathymetric model, (IJACSA). *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.* **2019**, 10(10), 6–13.
5. Hao, Y.; Ren, H.; Guo, Z. 3D seabed terrain establishment based on improved moving green function spline interpolation. *Int. Conf. Inf. Sci.* **2013**, 275–279.
6. Alcaras, E.; Amoroso, P.P.; Parente, C. The influence of interpolated point location and density on 3D bathymetric models generated by Kriging methods: An Application on the Giglio Island Seabed (Italy). *Geosci.* **2022**, 12, 62. <https://doi.org/10.3390/geosciences12020062>.
7. Amante, C.J.; Eakins, B.W. Accuracy of interpolated bathymetry in digital elevation models. *J. Coastal Res.* **2016**, 76, 123–133.
8. Lemenkova, P. Seafloor mapping of the Atlantic ocean by GMT: Visualizing mid-Atlantic ridge spreading, sediment distribution and tectonic development. *Acta Geobalcanica* **2020**, 6(3), 145–157.
9. Lemenkova, P. Geophysical modelling of the middle America trend using GMT. *Geogr. Sci.* **2019**, 19(2), 73–94.
10. Lemenkova, P. Topography of the Aleutian trench south-east off Bowers Ridge, Bering Sea, in the context of the geological development of North Pacific Ocean. *Baltica* **2021**, 34(1), 27–46.
11. Lemenkova, P. Using GMT for 2D and 3D modeling of the Ryukyu trench topography, Pacific Ocean. *Miscellanea Geographica* **2021**, 25(4), 213–225.
12. Zirek, E.; Sunar, F. Change detection of seafloor topography by modelling multitemporal multibeam echosounder measurements. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* **2014**, XL-7, 221–227. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-221-2014>.
13. Naik, M.; Ranade, G.; Lohani, R.B. Evolution of sonar survey systems for sea floor studies. *Eng. Technol. J.* **2017**, 2(6), 185–195.
14. Bryson, M.; Roberson, M.J.; Pizarro.; Williams, S.B. True color correction of autonomous underwater vehicle imagery. *J. Field Rob.* **2016**, 33(6), 853–874. Doi: 10.1002/rob.21638.
15. Quadros, N.D.; Collier, P.A.; Fraser, C.S. Integration of bathymetric and topographic lidar: A preliminary investigation. Proceeding of the International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **2008**, XXXVII. Part B8, 1299–1304.

16. Ai, B.; Tang, X.; Ji, M.; Li, Z. 3D terrain visualization system of coastal zone. Proceeding of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Computer Science and Information Technology, Chengdu, China, 2010, pp. 254–257. Doi: 10.1109/ICCSIT.2010.5563523.
17. Tomasz, N.; Åge, H.; Mark, A.S.; Thomas, D.L.; Imants, G.P. A multi-scale investigation into seafloor topography of the northern Mid-Atlantic Ridge based on geographic information system analysis. *Deep-Sea Research II* **2013**, 98, 231–243.
18. Quang, P.V.; Trang, D.C. Nghiên cứu máy đo sâu hồi âm đa tia và khả năng ứng dụng trong công tác khảo sát công trình tại Việt Nam. *Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng* **2014**, 3, 47–52.
19. Hải, P.M.; Yên, P.Q. Nghiên cứu ứng dụng thuật toán Stumpf và phương pháp học máy (machine learning) trong xác định độ sâu đáy biển khu vực đảo xa bờ bằng ảnh viễn thám. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* **2019**, 41, 22–29.
20. Trung, N.N.; Huong, N.T.T. Topography of the Moho and Earth Crust Structure Beneath the East Vietnam Sea from 3D Inversion of Gravity Field Data. *Acta Geophys.* **2013**, 61(2), 357–384.
21. Cương, N.V.; Trọng, N.G.; Hiệp, N.T.; Hoàn Đ.V.; Liên P.T.P. Ứng dụng công nghệ thông tin trong công tác đánh giá độ chính xác số liệu đo sâu đơn tia phục vụ thành lập bản đồ địa hình đáy biển. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* **2021**, 48, 29–34.
22. Long, K.V.; Tuấn, L.V.; Thành, H.V.; Hải, N.Đ.; Mong, Đ.V. Đặc điểm và biến đổi địa hình đáy biển khu vực đảo Trường Sa. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* **2022**, 53, 9–17.
23. William, H.P.; Saul, A.T.; William, T.V.; Brian, P. F. Numerical recipes: The art of scientific computing (3rd Edition). *Acta Appl. Mat.* **2007**, pp. 1256.
24. Kato, T.; Goda, H. Formation and maintenance processes of a stationary band-shaped heavy rainfall observed in Niigata on 4 August 1998. *J. Meteor. Soc. Japan* **2001**, 79, 899–294.
25. Trục tuyến: <https://support.hypack.com/hypack/2023/>.
26. Hải, N.Đ.; Trọng, N.G.; Trường, C.H.; Quang, P.N. Phương pháp trực quan hóa mô hình 3D địa hình đáy biển từ dữ liệu đo sâu hồi âm đa tia và dữ liệu thủy âm quét sườn. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2023**, 753, 50–59.

## **Building a 3D underwater terrain model based on the parametric curve method**

**Nguyen Dinh Hai<sup>1</sup>, Pham Ngoc Quang<sup>2,3\*</sup>**

<sup>1</sup> Viet Nam's People Naval Hydrographic and Oceanographic Department;  
hthhaithem@gmail.com

<sup>2</sup> Faculty of Geomatics and Land administration, Hanoi University of Mining and Geology; phamngocquang@humg.edu.vn

<sup>3</sup> Geodesy and Environment Research Group, Hanoi University of Mining and Geology

**Abstract:** Seabed topography maps, nautical charts, and 3D numerical models of seabed terrain are indispensable sources of information (or tools) for marine activities. Given their advantage of providing information in a highly visual manner, 3D numerical models of seabed terrain have been prioritized for research and development globally in recent times. In Vietnam, due to limitations in accessing data, research on constructing 3D numerical models of seabed terrain remains significantly constrained. One crucial aspect in the process of building a 3D numerical model of seabed terrain is the interpolation of depth points and the creation of the 3D model surface. The quality of the 3D model constructed depends on various factors, including the method of interpolating depth points and building the surface

of the 3D model. This study proposes the use of the Cubic Spline algorithm for interpolating depth points and determining the surface of the 3D numerical model of seabed terrain. Based on the proposed algorithm and procedure, experiments were conducted to build a 3D numerical model of seabed terrain for the Nha Trang - Khanh Hoa marine area. The accuracy evaluation results indicate that the constructed model accurately determines the depth with a root mean square error of  $\pm 0.465$  meters. The accuracy of the constructed model fully meets the requirements for building a 3D numerical model of seabed terrain.

**Keywords:** 3D; Seabed terrain; Interpolation method; Spline.

Bài báo khoa học

# Ứng dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS) hỗ trợ công tác quản lý và đánh giá hiện trạng sử dụng nước dưới đất tại huyện Cầu Ngang, tỉnh Trà Vinh

Dương Thị Ngọc Tuyền<sup>1</sup>, Hồng Minh Hoàng<sup>2</sup>, Mạch Phương Thảo<sup>3</sup>, Hứa Ngọc Huỳnh Trang<sup>3</sup>, Huỳnh Văn Quốc<sup>4</sup>, Lê Tấn Lợi<sup>4</sup>, Đỗ Thị Phương Thảo<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup> Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Cà Mau; tuyensotnmtcm@gmail.com

<sup>2</sup> Viện Nghiên cứu Biến đổi Khí Hậu - Trường Đại học Cần Thơ; hmhoang69@gmail.com

<sup>3</sup> Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên - Trường Đại học Cần Thơ; thaob1404348@student.ctu.edu.vn; trangb1404354@student.ctu.edu.vn

<sup>4</sup> Trường Đại học Nam Cần Thơ; hvquoc@nctu.edu.vn; ltloi@nctu.edu.vn

<sup>5</sup> Trường Đại học Mở - Địa chất; phuongthao.mdc@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: phuongthao.mdc@gmail.com; Tel.: +84-982688385

Ban Biên tập nhận bài: 8/12/2023; Ngày phản biện xong: 22/1/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2024

**Tóm tắt:** Nước dưới đất (NDD) là một trong những nguồn tài nguyên thiên nhiên quan trọng đối với vùng ven biển Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), nhưng công tác quản lý nguồn tài nguyên NDD hiện nay còn nhiều hạn chế do chưa có các chính sách cụ thể và chưa xác định ranh giới cũng như trữ lượng khai thác cho từng khu vực. Nghiên cứu sử dụng phần mềm QGIS kết hợp với điều tra khảo sát thực địa để xây dựng bộ cơ sở dữ liệu giếng khoan trên địa bàn 3 xã (Mỹ Long Bắc, Mỹ Long Nam, Long Sơn) huyện Cầu Ngang tỉnh Trà Vinh năm 2017. Kết quả đã góp phần hỗ trợ công tác quản lý và đánh giá hiện trạng sử dụng nước dưới đất ở hiện tại và trong tương lai. Cơ sở dữ liệu có thể được trích lọc, cập nhật và chia sẻ dễ dàng. Qua phân tích cho thấy, số lượng giếng khai thác cũng như lượng nước khai thác trên địa bàn 3 xã của huyện là rất lớn, tập trung nhiều ở khu vực trồng màu. Độ sâu giếng khoan khai thác nước dưới đất trung bình từ 80-120 m và lưu lượng nước dưới đất khai thác ngày càng sụt giảm theo nhận định của người dân, đặc biệt là trong mùa khô. Kết quả nghiên cứu góp phần hỗ trợ cho công tác quản lý khai thác, sử dụng NDD và phục vụ cho việc lưu trữ, truy vấn thông tin một cách tiện lợi, nhanh chóng cũng như chia sẻ dữ liệu giữa các đơn vị ban ngành có liên quan đến nguồn tài nguyên NDD.

**Từ khóa:** Nước dưới đất; QGIS; Vùng ven biển.

## 1. Giới thiệu

Hệ thống thông tin địa lý (*Geographic Information System - GIS*) bắt đầu hình thành vào những năm 1960 và phát triển mạnh mẽ ở nhiều nước trên thế giới. GIS có khả năng ứng dụng trên hầu hết các lĩnh vực: môi trường, khí tượng thủy văn, nông nghiệp, dịch vụ tài chính, y tế, giao thông, và quản lý nhà nước,... trong đó lĩnh vực môi trường được áp dụng phổ biến. Thực tế, đã có nhiều nghiên cứu ứng dụng GIS trong lĩnh vực quản lý tài nguyên nước và môi trường được thực hiện trên thế giới [1-3] cũng như ở Việt Nam [4-5].

Trên thế giới, kết hợp GIS với viễn thám hay các mô hình thủy văn để quản lý tài nguyên nước (TNN), tìm kiếm vùng nước ngầm tiềm năng như các nghiên cứu của Chorus 2007 và Julla Kabeto 2022 [2-6]. GIS cũng được sử dụng độc lập để thu thập, lưu trữ, khám phá, quản lý và cuối cùng hiển thị các thông tin về TNN [7]. Ở Việt Nam, Nguyễn Thanh Ngân

và cs., (2019) sử dụng GIS trong quản lý nước cho khu vực thành phố Cần Thơ thông qua xây dựng CSDL hiện trạng mạng lưới cấp nước và bản đồ mạng lưới đường ống cấp thoát nước [8]. Nghiên cứu [9] sử dụng GIS để theo dõi và đánh giá thay đổi mực nước dưới đất của tỉnh Đắk Nông. Kết quả thể hiện được mực NĐĐ của khu vực đang suy giảm về số lượng. Các nghiên cứu kể trên đều cho thấy vai trò của GIS trong quản lý TNN.

Đối với vùng ven biển Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) hàng năm, gần 2,1 triệu ha (khoảng 50% tổng diện tích) bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn. Tình trạng nguồn nước mặt bị nhiễm mặn làm ảnh hưởng đến việc sử dụng nước trong sản xuất và sinh hoạt của con người dẫn đến xu hướng sử dụng ngày càng nhiều nguồn NĐĐ [10]. Bên cạnh đó, việc sử dụng NĐĐ tưới cho canh tác nông nghiệp ở vùng ven biển ĐBSCL nói chung và tỉnh Trà Vinh nói riêng còn chưa hợp lý, gây lãng phí nước đáng kể trong quá trình tưới tiêu; điều này đã dẫn đến việc suy giảm nghiêm trọng nguồn tài nguyên NĐĐ tại các tỉnh vùng ven biển [11].

Trà Vinh có nguồn nước mặt cung cấp trực tiếp từ 2 sông lớn là: sông Tiền và sông Hậu, có nguồn nước mưa hàng năm khá cao, trung bình hơn 1.400 mm/năm. Tuy nhiên, Trà Vinh vẫn thiếu nước ngọt cho sinh hoạt và nông nghiệp đặc biệt vào mùa khô, gây ảnh hưởng lớn đến cuộc sống của người dân và quá trình sản xuất nông vụ [12]. Theo Sở TN&MT tỉnh Trà Vinh năm 2013, trên địa bàn tỉnh ước tính có khoảng 100.000 giếng khai thác NĐĐ, lưu lượng khai thác khoảng 200.000 m<sup>3</sup>/ngày đêm và việc quản lý giếng cũng còn nhiều bất cập [13–14]. Hầu hết các giếng khoan đều không có giấy phép của cơ quan chuyên môn, phương thức khoan giếng của cơ sở tư nhân còn thô sơ và chưa theo các quy trình kỹ thuật quy định nên dễ làm ô nhiễm nguồn nước dưới đất trong quá trình khai thác, sử dụng [14]. Bên cạnh đó, rất nhiều giếng khoan bị bỏ hoang khi không còn sử dụng hoặc khai thác không hiệu quả mà lại không có biện pháp xử lý hoặc trám lấp đã làm tăng nguy cơ thẩm thấu hóa chất qua các lớp đất, gây ra hiện tượng ô nhiễm thông tầng mạch [15]. Vấn đề đặt ra cần phải có một công cụ xử lý, quản lý các thông tin trên một cách khoa học, hiệu quả và hợp lý từ cấp độ địa phương như trên để có thể thay thế cho quản lý bằng văn bản trước đây.

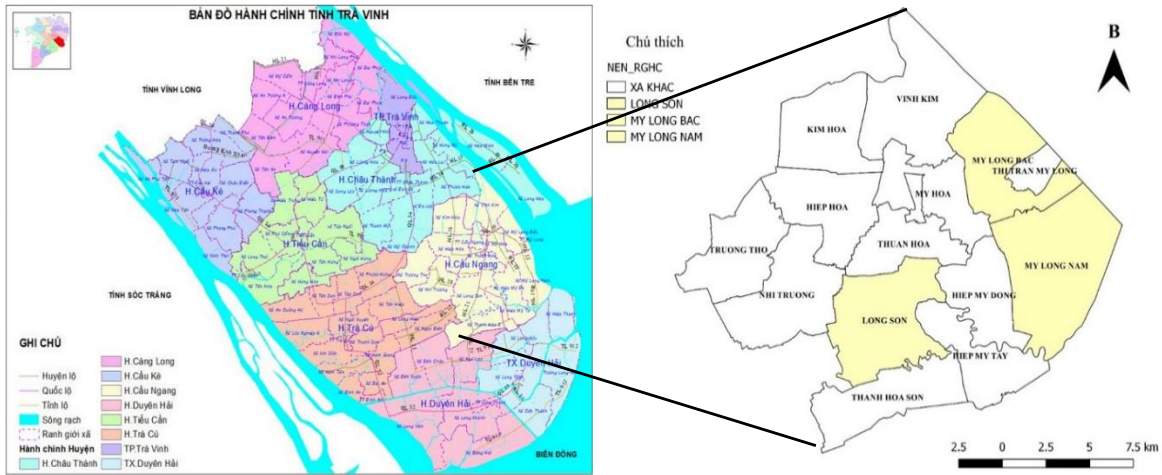
Nghiên cứu này với mục đích xây dựng CSDL GIS về hiện trạng khai thác và sử dụng NĐĐ phục vụ công tác quản lý giếng khoan sử dụng trong nông nghiệp tại các xã thuộc huyện Cầu Ngang, tỉnh Trà Vinh. Bên cạnh đó, việc quản lý các giếng khoan bằng thông tin địa lý GIS mang lại cái nhìn tổng quát hơn về tình trạng sử dụng NĐĐ cho các cơ quan quản lý quy hoạch khai thác sử dụng NĐĐ được hiệu quả và bền vững hơn trong tương lai ở vùng nghiên cứu.

## **2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu**

### *2.1. Địa điểm nghiên cứu*

Huyện Cầu Ngang ở phía Đông Nam của tỉnh Trà Vinh, bên bờ sông Cổ Chiên và giáp cửa Cung Hầu (Hình 1), là một trong những vùng canh tác màu và nuôi thủy sản trọng điểm của tỉnh Trà Vinh và là huyện có mật độ khai thác giếng khoan phục vụ trong nông nghiệp chiếm tỉ lệ cao. Huyện Cầu Ngang, tỉnh Trà Vinh với chính sách khuyến khích thâm canh nông nghiệp, đặc biệt là thế mạnh thúc đẩy cây lương thực phục vụ cho chiến lược an ninh, an toàn lương thực đã tạo áp lực lớn đến việc sử dụng nước tưới tiêu và nguồn nước dưới đất tại đây [12].

Vào mùa khô, nhu cầu sử dụng nước tưới tiêu cho sản xuất nông nghiệp và xâm nhập mặn tăng cao nên dẫn đến tình trạng thiếu hụt nguồn nước tưới trầm trọng do vậy tình trạng khai thác và sử dụng NĐĐ diễn ra ngày càng tràn lan và lãng phí [16]. Theo Phòng TN&MT huyện Cầu Ngang (2017) số lượng giếng khoan sử dụng NĐĐ cũng như biện pháp quản lý việc khai thác nhằm bảo vệ và sử dụng hợp lý nguồn nước dưới đất vẫn chưa được thống kê đầy đủ [17]. Tại huyện Cầu Ngang, xã Mỹ Long Bắc, Mỹ Long Nam và Long Sơn là các xã có diện tích trồng màu và mật độ khai thác NĐĐ bằng giếng khoan lớn tại địa bàn huyện và được chọn đại diện để khảo sát hiện trạng các giếng khoan khai thác nước dưới đất phục vụ cho nông nghiệp.



**Hình 1.** Khu vực nghiên cứu.

## 2.2. Số liệu nghiên cứu

### 2.2.1. Số liệu thứ cấp

Nghiên cứu thu thập số liệu thứ cấp về các văn bản pháp lý liên quan đến việc khai thác sử dụng nước dưới đất và hoạt động canh tác nông nghiệp tại huyện Cầu Ngang tỉnh Trà Vinh. Các số liệu phục vụ cho nghiên cứu được tổng hợp như Bảng 1.

**Bảng 1.** Thống kê các số liệu thứ cấp.

STT	Loại số liệu	Thời gian	Nguồn cấp
1	Bản đồ sử dụng đất	2016	Phòng NN&PTNT Huyện Cầu Ngang
	Báo cáo sử dụng đất	2016	
2	Thống kê vị trí giếng khoan, thực trạng sử dụng và khai thác	2013-2017	Phòng TN&MT tỉnh Trà Vinh
	Báo cáo môi trường hàng năm	2012-2016	
	Báo cáo hiện trạng khai thác và sử dụng NĐĐ		

### 2.2.2. Số liệu sơ cấp

Sử dụng phương pháp phỏng vấn điều tra để đánh giá và khảo sát thực trạng giếng khoan ở địa điểm nghiên cứu. Nội dung phiếu khảo sát tập trung vào các số liệu về hiện trạng khai thác, sử dụng, vị trí tọa độ các giếng khoan và nhận định của người dân cũng như cán bộ địa phương về hiện trạng sử dụng nguồn tài nguyên nước dưới đất. Hoạt động thu thập số liệu được thực hiện trên 2 nhóm đối tượng được thể hiện ở Bảng 2, gồm:

Phỏng vấn chuyên gia: đối tượng khảo sát là các cán bộ hiện công tác tại phòng TN&MT, phòng NN&PTNT huyện Cầu Ngang và cán bộ nông nghiệp ở các xã thuộc khu vực nghiên cứu của huyện Cầu Ngang. Thông tin thu thập bao gồm: nhận định tổng quát về hiện trạng khoan giếng khai thác, sử dụng NĐĐ thực tế tại khu vực nghiên cứu. Số lượng cán bộ được phỏng vấn là 08.

Phỏng vấn nông hộ: đối tượng là các hộ nông dân có kinh nghiệm thực tế, đã và đang tham gia trồng màu trên địa bàn các xã huyện Cầu Ngang. Nghiên cứu phỏng vấn trực tiếp 70 hộ dân thuộc 3 xã là Mỹ Long Bắc, Mỹ Long Nam và Long Sơn thông qua bảng câu hỏi được soạn sẵn về các vấn đề: sự sụt giảm nguồn nước giếng khoan trong quá trình sử dụng, biến động về lượng nước giếng khoan theo mùa, mục đích sử dụng nguồn nước giếng khoan,... Các số liệu sau khi thu thập được sẽ được tổng hợp, xử lý và phân tích thống kê để làm thông tin xây dựng cơ sở dữ liệu về giếng khoan phục vụ cho công tác quản lý tại khu vực nghiên cứu.



**Bảng 2.** Thống kê số phiếu phỏng vấn.

STT	Phương pháp	Đối tượng	Địa điểm	Số mẫu thu thập
1	Phỏng vấn chuyên gia	Chuyên gia, cán bộ đang công tác tại Phòng TN&MT, Phòng NN&PTNT, UBND huyện Cầu Ngang và cán bộ nông nghiệp xã	Phòng TN&MT, Phòng NN&PTNT Huyện Cầu Ngang xã Mỹ Long Bắc, Mỹ	08
2	Phỏng vấn nông hộ	Nông hộ đang tham gia sản xuất màu trên địa bàn	Long Nam và Long Sơn của huyện Cầu Ngang	70
3		<b>Tổng</b>		<b>78</b>

2.3. Phân tích số liệu

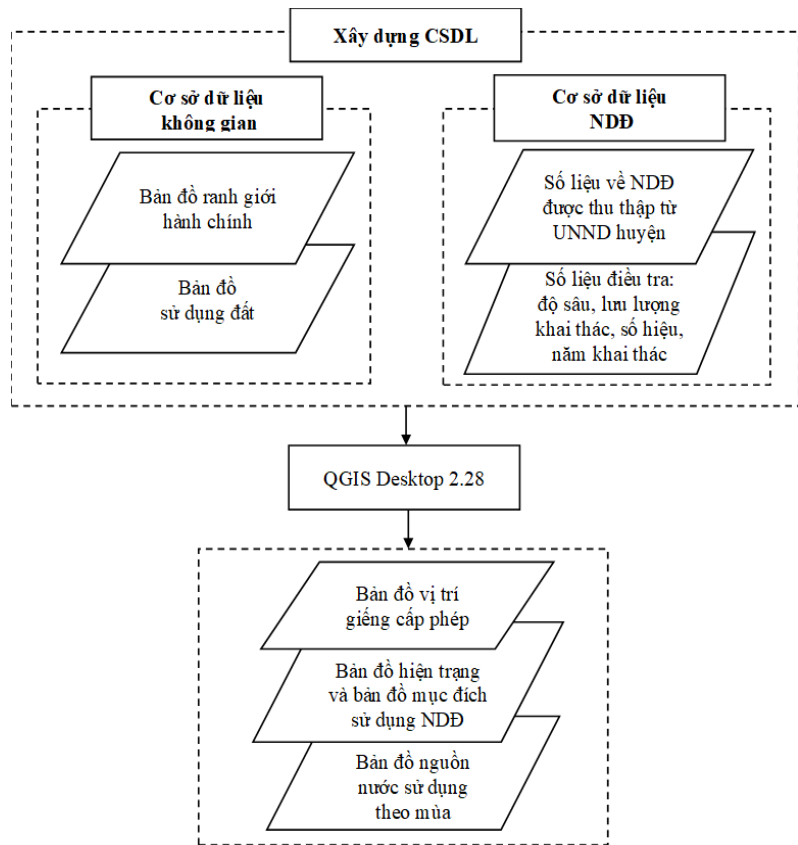
2.3.1. Phương pháp thống kê mô tả

Các số liệu thứ cấp được thu thập, tổng hợp, sắp xếp và xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel với các hàm Average, Max, Min để tính toán và thể hiện bằng kết quả dưới dạng các biểu đồ, biểu bảng đồ thị,... thể hiện xu hướng của các yếu tố.

Số liệu sơ cấp được xử lý bằng các hàm Average, Count, Countif, Max, Min để tính toán các giá trị trung bình của các yếu tố được lựa chọn nhiều nhất hay ít nhất và thể hiện tỉ lệ phần trăm của các thông tin thu thập được nhằm hỗ trợ đánh giá hiện trạng khai thác, sử dụng NĐĐ tại huyện Cầu Ngang.

2.3.2. Xây dựng cơ sở dữ liệu không gian và thuộc tính về hiện trạng khai thác và sử dụng NĐĐ

Công cụ được sử dụng để xây dựng cơ sở dữ liệu là phần mềm mở nguồn mở QGIS phiên bản 3.28. Dữ liệu không gian được thành lập bằng cách chồng ghép các lớp bản đồ hiện trạng sử dụng đất, ranh giới hành chính, tọa độ giếng khoan, mục đích sử dụng NĐĐ,... Dữ liệu thuộc tính được liên kết chặt chẽ với dữ liệu không gian. Mỗi lớp bản đồ chứa 1 thông tin riêng biệt (không gian và thuộc tính) thể hiện các đặc tính của những đối tượng. Các lớp dữ liệu không gian gồm dạng đường, vùng, điểm và các dữ liệu thuộc tính gồm thông tin: chủ hộ, tọa độ giếng khoan, năm khoan, đường kính ống, độ sâu, mục đích sử dụng, hiện trạng sử dụng, lưu lượng khai thác được thu thập từ việc phỏng vấn nông hộ và từ số liệu của các phòng TN&MT, phòng NN&PTNT. Quy trình thành lập CSDL GIS về hiện trạng khai thác và sử dụng NĐĐ được thực hiện theo sơ đồ Hình 2.

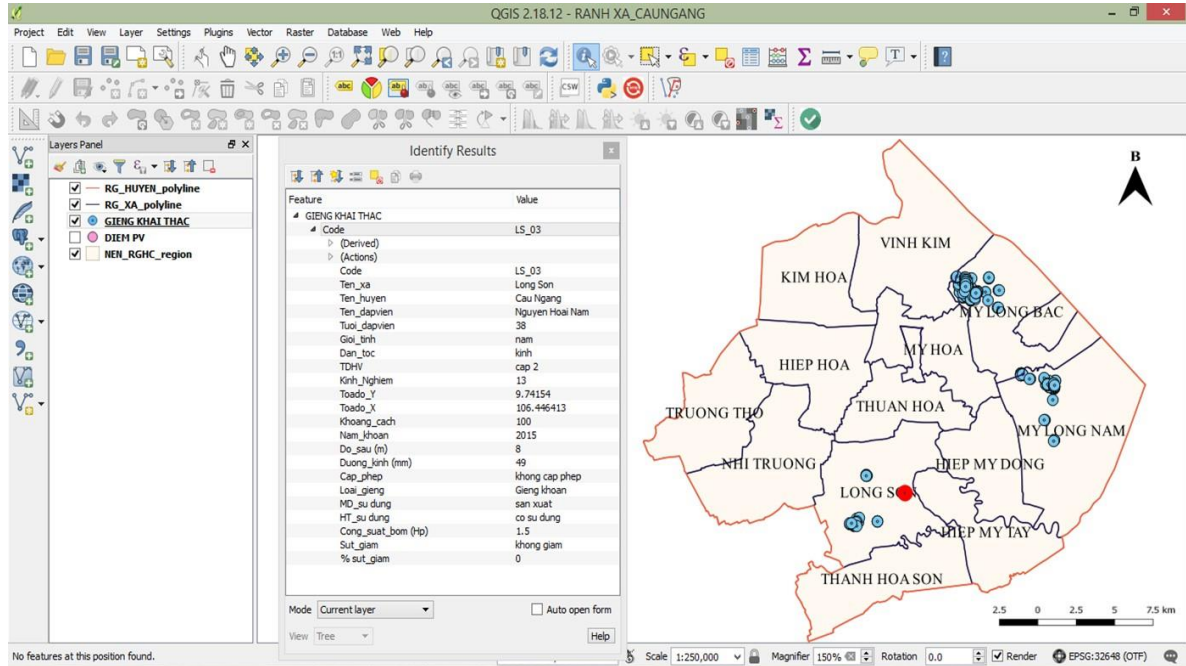


**Hình 1.** Sơ đồ quy trình lập các bản đồ không gian.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Cơ sở dữ liệu giếng khoan

Nghiên cứu đã xây dựng được hệ thống cơ sở dữ liệu không gian và thuộc tính của giếng khoan tại địa điểm khảo sát thể hiện ở Hình 3. Thông qua cơ sở dữ liệu thuộc tính người quản lý có thể thực hiện việc truy vấn các thông tin dữ liệu không gian bằng phần mềm QGIS. Cơ sở dữ liệu này sẽ hỗ trợ cho các đơn vị nhà nước trong việc quản lý hệ thống giếng khoan tại huyện Cầu Ngang, tỉnh Trà Vinh.



Hình 3. Cơ sở dữ liệu giếng khoan tại địa điểm khảo sát.

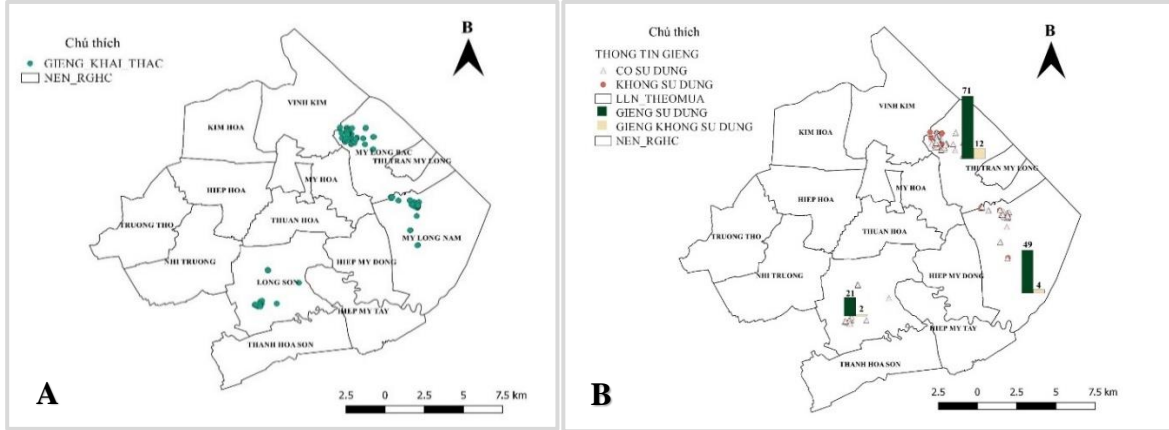
#### 3.2. Hiện trạng khai thác nước dưới đất tại địa điểm nghiên cứu

Hình 4 thể hiện vị trí giếng khai thác được cấp phép và đặc điểm về hiện trạng sử dụng giếng khoan tại 3 xã Mỹ Long Bắc, Mỹ Long Nam, và Long Sơn từ các số liệu thu thập được qua khảo sát thực tế và quá trình xây dựng cơ sở dữ liệu bằng phần mềm QGIS. Nghiên cứu đã số hoá và thể hiện chính xác vị trí các giếng khai thác NĐĐ tại địa điểm nghiên cứu. Kết quả cho thấy, giếng khai thác chủ yếu phục vụ cho sản xuất nông nghiệp. Cụ thể, giếng khoan khai thác tập trung nhiều nhất ở Mỹ Long Bắc kế tiếp là Mỹ Long Nam và cuối cùng là Long Sơn. Các giếng khai thác tập trung nhiều ở khu vực trồng màu, đa số giếng ở độ sâu 80-120 m (tầng  $qp_1^{2-3}$ ) chiếm 72%, đối với giếng có độ sâu từ 5-8 m chiếm 20%, có khoảng 8% các giếng khai thác có độ sâu từ 20-80 m và lớn hơn 120 m, đây là 3 vùng có diện tích trồng màu lớn tại Cầu Ngang [13]. Cây trồng chủ lực là ớt, lạc, bí, dưa hấu, cà tím nên nhu cầu nước tưới là rất lớn vào mùa khô. Vì thế, đây cũng là một trong những nguyên nhân dẫn đến sự gia tăng khai thác nước dưới đất bằng giếng khoan [13].

Mặt khác, theo kết quả phỏng vấn cho thấy 24% hộ dân có xu hướng khoan thêm giếng với lý do không đủ nước tưới, suy giảm chất lượng nước trong những năm gần đây đặc biệt là gia tăng phèn vào mùa khô gây khó khăn trong canh tác màu, có đến 76% hộ dân không có nhu cầu khoan thêm giếng nhưng đã gắn thêm các thiết bị hỗ trợ lấy nước (hệ thống bơm thủy lực với áp suất cao) và khoan giếng sâu hơn. Với việc sửa chữa (nối ống sâu hơn) không đảm bảo đúng quy trình kỹ thuật, khoan giếng tự phát, có thể gây ra các rủi ro ảnh hưởng xấu đến nguồn NĐĐ trong thời gian sắp tới về cả chất lượng và số lượng.

Trước thực trạng này, trên cơ sở vị trí các giếng khai thác được thể hiện thông qua bản đồ, nhà quản lý có thể biết được vị trí các giếng đang khai thác sử dụng hay không còn khai

thác sử dụng, giếng có được cấp phép hay không cấp phép, mục đích sử dụng của giếng là sinh hoạt hay sản xuất. Từ đó, hỗ trợ nhà quản lý đưa ra các biện pháp kỹ thuật quản lý hiệu quả, tránh các quyết định sai lầm mang đến các rủi ro không mong đợi cần nhiều thời gian để cải thiện, dễ dàng khoanh vùng quản lý và tiết kiệm được thời gian, chi phí cho công tác quản lý cũng như đề xuất các giải pháp quy hoạch vùng cho phù hợp với điều kiện nguồn nước tự nhiên tại địa phương.



**Hình 4.** Bản đồ thể hiện vị trí giếng khoan (A) và kết quả thống kê về tỷ lệ sử dụng giếng khoan (B) tại khu vực nghiên cứu.

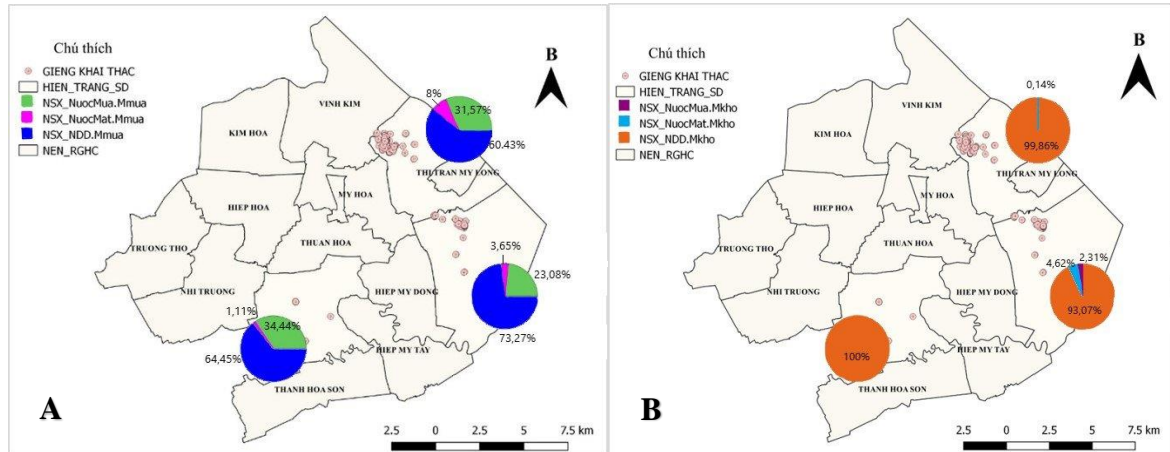
### 3.3. Hiện trạng sử dụng nước dưới đất tại khu vực nghiên cứu

Mùa mưa: Theo nhận định của người dân tại khu vực và số liệu thu thập được từ Sở TN&MT huyện Cầu Ngang năm 2017, lượng mưa trong những năm gần đây có xu hướng tăng dần. Tuy nhiên, theo kết quả được thể hiện ở Hình 5A cho thấy, nguồn nước được sử dụng để tưới cho cây màu và sử dụng sinh hoạt trong mùa mưa chủ yếu là nguồn nước dưới đất chiếm tỷ lệ cao nhất lần lượt với 66% và 71%, nguồn nước mưa chỉ chiếm 29% nguồn nước tưới cho cây màu. Thêm vào đó, mặc dù lượng mưa được người dân nhận định có xu hướng tăng nhưng việc sử dụng nguồn nước dưới đất vẫn gia tăng là do ảnh hưởng từ phát thải của nhà máy nhiệt điện Duyên Hải Trà Vinh. Hoạt động của nhà máy đã gây ra tình trạng ô nhiễm không khí, hay ô nhiễm nguồn nước mặt do xỉ than được thải ra trong quá trình hoạt động nhà máy dẫn đến người dân không sử dụng nguồn nước mưa từ khi nhà máy đi vào hoạt động. Qua đó có thể thấy, mặc dù vào mùa mưa lượng nước mưa dồi dào, nhưng nguồn nước dưới đất vẫn đang được sử dụng nhiều hơn so với nước mưa. Vì vậy, có thể nhận định rằng nước dưới đất là nguồn nước đang được khai thác sử dụng chủ yếu ở địa điểm nghiên cứu.

Tại các vùng canh tác màu phần lớn là đất giồng cát nên khả năng giữ nước kém, việc bốc thoát hơi cũng như thấm là rất nhanh cũng chính vì vậy việc người dân sử dụng nước dưới đất để tưới cho cây màu vào mùa khô là rất lớn. Đồng thời, tại khu vực nghiên cứu cây màu được trồng chủ yếu là cây cần nhiều nước như: dưa hấu, bí, đậu phộng, ớt,... người dân sử dụng NĐĐ tưới cho cây màu chủ yếu bằng cảm quan, tưới tràn trên mặt đất một cách lãng phí, nguồn nước được sử dụng chưa hợp lý, không mang lại hiệu quả. Do đó, có thể thấy nước dưới đất là nguồn nước đang được khai thác quá mức và là nguồn nước chủ yếu được sử dụng nhiều trong canh tác màu tại khu vực nghiên cứu.

Mùa khô: nguồn nước được sử dụng cho sinh hoạt và canh tác màu chủ yếu là nguồn NĐĐ chiếm tỷ lệ lần lượt là 77% và 97% (Hình 5B) tại khu vực nghiên cứu. Nguyên nhân là do khu vực nghiên cứu là vùng ven biển nên bị ảnh hưởng mặn và mùa khô hàng năm. Vào mùa khô, để tránh xâm nhập mặn lần sâu vào nội đồng các cống ngăn mặn được đóng lại để giữ ngọt cho khu vực hoạt động canh tác nông nghiệp. Bên cạnh đó, các nguồn nước thải từ nhiều nguồn đổ vào vẫn được giữ lại phía bên trong nội đồng nên tình trạng ô nhiễm nguồn nước mặt ngày càng nghiêm trọng hơn. Do nguồn nước mặt bị thiếu hụt và ô nhiễm vào mùa khô nên nguồn nước mặt chỉ phục vụ cho hoạt động tưới tiêu của người dân có vị trí ven

sông, rạch. Trong khi đó, những hộ có vị trí nội đồng thiếu nước tưới tiêu nên người dân lựa chọn khai thác nguồn nước dưới đất để phục vụ canh tác nông nghiệp trong mùa khô.



**Hình 5.** Bản đồ thể hiện tỷ lệ nguồn nước sử dụng cho sinh hoạt và sản xuất vào mùa mưa (A) và mùa khô (B) tại khu vực nghiên cứu.

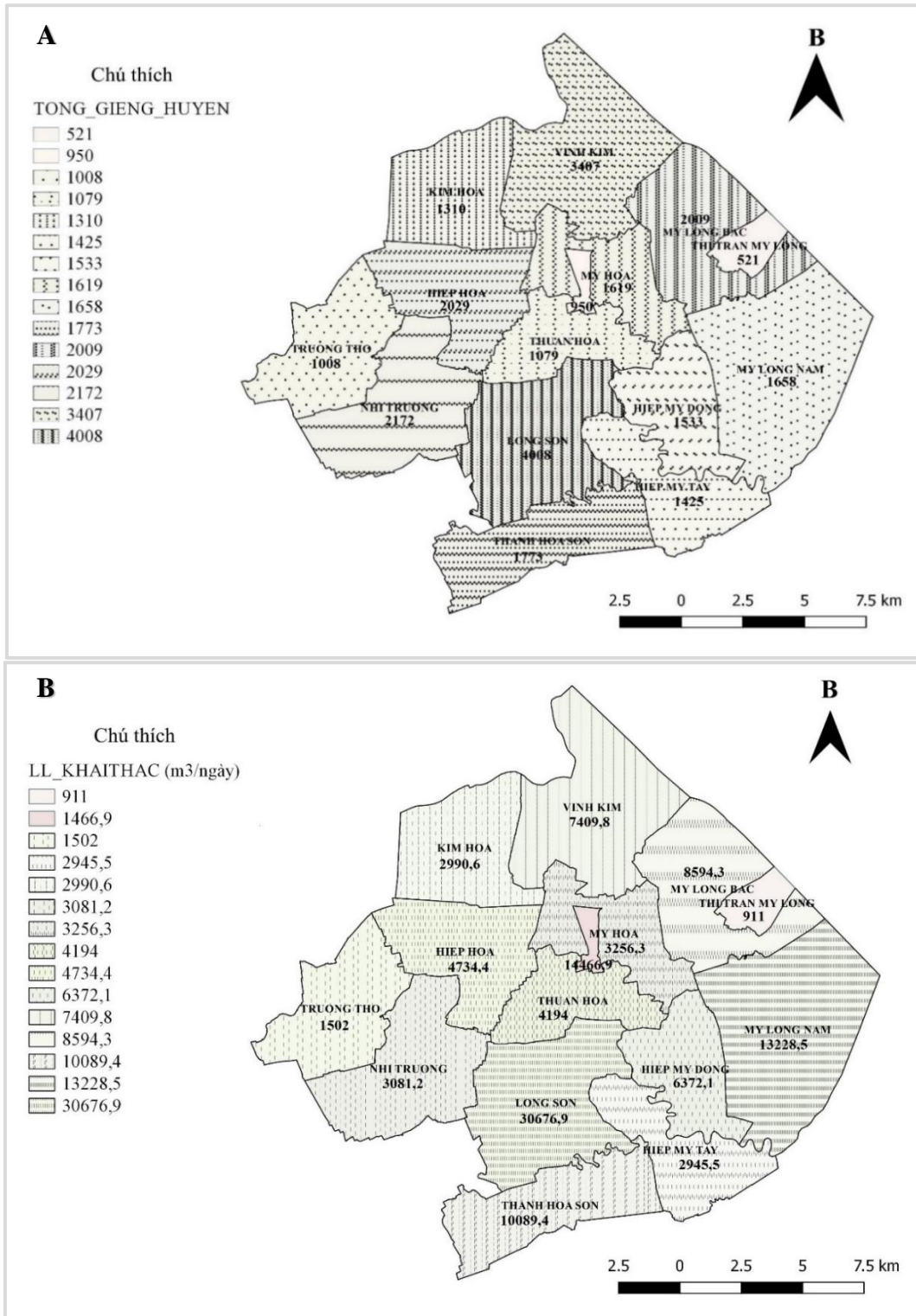
### 3.4. Hiện trạng về số lượng giếng khoan và lưu lượng khai thác nước dưới đất ở huyện Cầu Ngang

Theo số liệu “Điều tra, đánh giá hiện trạng khai thác, sử dụng tài nguyên NĐĐ trên địa bàn huyện Cầu Ngang. Đề xuất biện pháp quản lý, sử dụng hiệu quả nguồn tài nguyên NĐĐ trên địa bàn huyện năm 2017” của phòng Tài nguyên Môi trường huyện Cầu Ngang được đưa vào phần mềm hệ thống, nghiên cứu đã xây dựng bản đồ phân bố không gian để có thể thống kê hiện trạng số lượng giếng khoan (Hình 6A) và lưu lượng khai thác nước dưới đất (Hình 6B) của các xã tại huyện Cầu Ngang năm 2017.

Kết quả cho thấy, Long Sơn là xã có số lượng giếng nhiều nhất huyện (4.008 giếng) phần lớn các giếng khai thác sử dụng chủ yếu cho mục đích ăn uống, một phần nhỏ phục vụ cho trồng trọt nông nghiệp. Cũng theo báo cáo, năm 2017 số lượng giếng của toàn huyện tăng gần 2,2 lần (khoảng 26.481 giếng). Tuy nhiên, hầu hết các giếng đều không được cấp phép của cơ quan chuyên môn và đa số được các đơn vị, cơ sở tư nhân tiến hành khoan không theo các quy trình kỹ thuật nên có thể làm ô nhiễm nguồn nước trong quá trình khai thác, sử dụng. Nguồn NĐĐ trên địa bàn huyện Cầu Ngang khai thác vẫn tràn lan mất kiểm soát, đang có nguy cơ sụt giảm mạnh, dấu hiệu phục hồi chậm và kém.

Lưu lượng khai thác toàn huyện khá cao từ 911-30.676,9 m<sup>3</sup>/ngày. Trong đó, Long Sơn là xã có lưu lượng khai thác NĐĐ trong ngày lớn nhất 30.676,9 m<sup>3</sup>/ngày so với những xã còn lại. Bên cạnh đó, các xã có lưu lượng khai thác NĐĐ lớn trong ngày như xã Mỹ Long Bắc (8.994,3 m<sup>3</sup>/ngày), xã Mỹ Long Nam (13.228,5 m<sup>3</sup>/ngày).

Nhìn chung, hoạt động khai thác và sử dụng nước dưới đất ở huyện Cầu Ngang phân bố không đồng đều, chủ yếu tập chung ở vùng canh tác rau màu và nuôi thủy sản. Kết quả thể hiện về mức độ khai nước dưới đất này sẽ góp phần hỗ trợ cho các nhà quản lý một hình ảnh tổng quan về hiện trạng khai thác nước dưới đất trên địa bàn quản lý để có thể lập kế hoạch kiểm soát hoạt động khai thác, cảnh báo mức độ khai thác cũng như định hướng quy hoạch khai thác nước dưới đất phù hợp với định hướng phát triển sản xuất nông nghiệp của địa phương trong tương lai.



**Hình 6.** Hiện trạng số lượng giếng khoan (A) và lưu lượng khai thác trung bình (B) tại huyện Cầu Ngang năm 2017.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng được cơ sở dữ liệu không gian và thuộc tính về hiện trạng khai thác và sử dụng NĐD bằng phần mềm hệ thống thông tin địa lý QGIS. Tại 3 xã điều tra khảo sát (Mỹ Long Bắc, Mỹ Long Nam, Long Sơn) số lượng giếng khai thác được cấp phép ít hơn nhiều so với số lượng giếng không phép. Các giếng khai thác nước cho sinh hoạt chiếm đa phần trong tổng số giếng của huyện Cầu Ngang, tuy nhiên, lượng nước sử dụng cho mục đích sản xuất nông nghiệp chiếm cao nhất. Độ sâu giếng khoan khai thác nước dưới đất trung bình

là từ 80-120 m (tầng  $qp_1^{2-3}$ ) và lưu lượng nước dưới đất khai thác đang bị sụt giảm, đặc biệt là trong mùa khô.

Kết quả nghiên cứu góp phần hỗ trợ cho công tác quản lý khai thác, sử dụng NDD và phục vụ cho việc lưu trữ, truy vấn thông tin một cách tiện lợi, nhanh chóng. Đây được xem là cơ sở hỗ trợ cho công tác quản lý, chia sẻ dữ liệu giữa các đơn vị ban ngành có liên quan đến nguồn tài nguyên NDD.

Kết quả nghiên cứu là cơ sở nền cho việc cập nhật và bổ sung các thông tin về giếng khoan tại khu vực nghiên cứu nói chung và huyện Cầu Ngang nói riêng cho cơ quan quản lý địa phương trong tương lai.

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

**Lời cảm ơn:** Các tác giả xin chân thành cảm ơn sự hợp tác của nhóm “Nghiên cứu phát triển công nghệ quản lý và phân tích dữ liệu không gian địa lý - GMA” đã giúp đỡ 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. Batelaan, O.; De Smedt, F. WetSpas: a flexible, GIS based, distributed recharge methodology for regional groundwater modeling. Department of Hydrology and Hydraulic Engineering. *Free University Brussels* **2001**, 269, 11–17.
2. Jha, M.K.; Chowdhury, A.; Chowdary, V.M. et al. Groundwater management and development by integrated remote sensing and geographic information systems: prospects and constraints. *Water Resour. Manage.* **2007**, 21, 427–467.
3. Bruekuer, M.; Tetiwat, O. Use of geographic information system Thailand. Eleader Bangkok, 2008.
4. Minh, H.V.T.; Ty, T.V.; Thịnh, L.V.; Đăng, T.T.T.; Duyên, N.T.T.; Nhi, L.T.Y. Hiện trạng khai thác, sử dụng nước dưới đất ở Vĩnh Châu, Sóc Trăng. *Tạp Chí Khoa Học Trường Đại Học Cần Thơ* **2014**, 30, 48–58.
5. Vi, N.T.; Trung, L.V. Giải pháp GIS và Viễn thám trong lập bản đồ phân vùng hạn chế khai thác nước dưới đất tại Tp. Hồ Chí Minh. Ứng dụng GIS toàn quốc, Cần Thơ, 2014.
6. Kabeto, J.; Adeba, D.; Regasa, M.S.; Leta, M.K. Groundwater Potential Assessment Using GIS and Remote Sensing Techniques: Case Study of West Arsi Zone, Ethiopia. *Water* **2022**, 14(12), 1838. <https://doi.org/10.3390/w14121838>.
7. Khatami, S.; Khazaei, B. Benefits of GIS application in hydrological modeling: A brief summary. *J. Water Manag. Res.* **2014**, 70(1), 41–49.
8. Ngân, N.T.; Vũ, P.T.; Tuấn, Đ.D.A.; Trung, N.H. Ứng dụng GIS xây dựng cơ sở dữ liệu không gian hỗ trợ công tác quản lý cấp nước tại các quận nội thành Cần Thơ. *Tạp chí Khoa học Đại học cần Thơ* **2019**, 55, 77–84. <https://doi.org/10.22144/ctu.jsi.2019.134>.
9. Nga, D.T.T.; Đạt, H.T.; Trí, T.T. Ứng dụng công nghệ GIS để theo dõi, đánh giá sự thay đổi mực nước dưới đất tại khu vực tỉnh Đắc Nông. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, EME4, 325–331.
10. Quỳnh, T.T.T.; Bé, N.V.; Hằng, T.T.L.; Thịnh, N.X.; Trí, V.P.Đ. Hiện Trạng Khai Thác Sử Dụng Và Quản Lý Tài Nguyên Nước Dưới Đất Tại Thị Xã Vĩnh Châu, Tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Khoa học Trường Đại Học Cần Thơ* **2016**, 43(a), 42–51.
11. Cảnh, Đ.V.; cs. Tài nguyên nước dưới đất đồng bằng Nam Bộ: những thách thức và giải pháp. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy Lợi* **2013**, 14, 1–15.

12. Sánh, N.V.; Sơn, N.N.; Tuấn, V.V.; Khôi, L.Đ. Nghiên cứu tài nguyên nước trà Vinh: Hiện trạng khai thác, sử dụng và các giải pháp quản lý sử dụng bền vững. *Tap chí Khoa học Trường Đại Học Cần Thơ* **2010**, 15b, 167–177.
13. Sở TN&MT tỉnh Trà Vinh. Báo cáo kết quả giám sát công tác quản lý và bảo vệ môi trường trên địa bàn tỉnh Trà Vinh. *Tap chí Khoa học và Phát triển* **2013**, 11(5), 654–662.
14. Sở TN&MT tỉnh Trà Vinh. Báo cáo hiện trạng môi trường tỉnh Trà Vinh 05 năm (2011 - 2015). Ủy ban Nhân dân tỉnh Trà Vinh, 2015, 219.
15. Trung tâm Kỹ thuật môi trường (CEE). Giải pháp bảo vệ tài nguyên môi trường nước dưới đất. 2010, 1–10.
16. Bé, N.V.; Tuyền, T.T. Hiện trạng khai thác, quản lý và chất lượng nước ngầm giồng cát ở tỉnh Trà Vinh. *Tap chí Khoa học Trường Đại Học Cần Thơ* **2007**, 8(95), 95–104.
17. Phòng TN&MT huyện Cầu Ngang. Báo cáo tổng hợp dự án nước Cầu Ngang. Trung tâm Kỹ thuật tài nguyên và môi trường Trà Vinh. 2017, 1–87.

## **Application of Geographic Information System (GIS) in supporting the management and current status assessment of groundwater use in Cau Ngang district, Tra Vinh province**

**Duong Thi Ngoc Tuyen<sup>1</sup>, Hong Minh Hoang<sup>2</sup>, Mach Phuong Thao<sup>3</sup>, Hua Ngoc Huynh Trang<sup>3</sup>, Huynh Van Quoc<sup>4</sup>, Le Tan Loi<sup>4</sup>, Do Thi Phuong Thao<sup>5\*</sup>**

<sup>1</sup> Ca Mau Department of Natural Resources and Environment; tuyensotnmtcm@gmail.com

<sup>2</sup> Climate Change Research Institute - Can Tho University; hmhoang69@gmail.com

<sup>3</sup> Faculty of Environment and Natural Resources - Can Tho University; thaob1404348@student.ctu.edu.vn; trangb1404354@student.ctu.edu.vn

<sup>4</sup> Southern Can Tho University; hvquoc@nctu.edu.vn; ltloi@nctu.edu.vn

<sup>5</sup> Hanoi University of Mining and Geology; phuongthao.mdc@gmail.com

**Abstract:** Groundwater is one of the important resources, especially for the coastal region of the Vietnamese Mekong Delta (VMD), but the current management of groundwater resources is still limited due to the lacks of policies, boundaries and exploitation reserves for each area have not yet been determined. Research on using QGIS software tool combined with field investigation to build a well database in Cau Ngang district, Tra Vinh province, contributing to supporting current management and assessment use of groundwater in future. Research results have built a database of well information in the area research by geographic information system software (QGIS). The database can be filtered, updated and shared easily. The results show that the number of wells exploited as well as the amount of water exploited in the three communes of the district is very large, concentrated in cash crop areas. The average depth of underground water exploitation wells is from 80 – 120 m and the flow of underground water exploitation is decreasing according to people's assessment, especially during the dry season. This results contribute to supporting the management of exploitation use of groundwater such as serving the convenient and quick storage, retrieval of information as well as sharing data between departments, agencies related to groundwater resources.

**Keywords:** Groundwater; QGIS; Coastal area.

Bài báo khoa học

## Đánh giá nguy cơ và rủi ro ngập tại Thành phố Thủ Đức theo cách tiếp cận xác suất của tổ hợp

Lê Song Giang<sup>1</sup>, Nguyễn Hoàng Thanh Bình<sup>1</sup>, Nguyễn Ngọc Minh Phú<sup>2</sup>, Nguyễn Thị Thanh Hoa<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Bách Khoa HCM; lsgiang@hcmut.edu.vn

<sup>2</sup> Sở Xây dựng Tp. Hồ Chí Minh; nmmphu.sxd@tphcm.gov.vn

<sup>3</sup> Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM; ntthoa@hcmunre.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: ntthoa@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-907242510

Ban Biên tập nhận bài: 10/12/2023; Ngày phản biện xong: 30/1/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2024

**Tóm tắt:** Các đô thị nằm ở vùng đất thấp chịu ảnh hưởng thủy triều, ngập lụt xảy ra do sự kết hợp của nhiều yếu tố, bao gồm lượng mưa, mực nước triều và đôi khi là dòng chảy tràn vào từ sông. Bài báo trình bày một phương pháp mới trong đánh giá nguy cơ và rủi ro ngập lụt tại Tp. Thủ Đức, đó là sử dụng xác suất của tổ hợp lượng mưa - mực nước (R-H) để làm điều kiện biên cho mô hình hệ thống thoát nước. Tất cả các yếu tố gây ngập thuộc nhóm khí tượng - thủy văn trong tính toán sẽ được đại diện chỉ bởi 2 thông số: lượng mưa trên khu vực (R) và mực nước tại cửa tiêu thoát của hệ thống thoát nước (H). Dựa trên dữ liệu quan trắc, xác suất xảy ra tổ hợp (R-H) sẽ được xây dựng. Để đảm bảo độ tin cậy, mô hình thủy lực là loại tích hợp 1D sông/kênh - 1D cống/đường - 2D tràn. Kết hợp mô hình thủy lực với xác suất tổ hợp (R-H) tạo ra phương pháp đánh giá linh hoạt và toàn diện, giúp cung cấp một cái nhìn chi tiết về tình trạng ngập lụt trong các đô thị vùng đất thấp. Sử dụng phương pháp này nguy cơ và rủi ro ngập lụt cho Thành phố Thủ Đức đã được đánh giá một cách rõ ràng và đáng tin cậy.

**Từ khóa:** Nguy cơ ngập; Xác suất tổ hợp; Mô hình thủy lực tích hợp; Thành phố Thủ Đức.

### 1. Mở đầu

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu, ngập lụt đô thị đang trở thành một thách thức ngày càng nghiêm trọng, đặt ra nhu cầu cấp bách về việc đánh giá và quản lý nguy cơ cũng như rủi ro ngập lụt [1, 2]. Thành phố Thủ Đức, một trong những đô thị phát triển nhanh chóng tại Việt Nam, không phải là ngoại lệ khi phải đối mặt với những thách thức ngập lụt ngày càng phức tạp. Địa hình Thành phố tương đối phức tạp. Phía Bắc là gò đồi với độ cao trung bình từ 5m đến 25m. Tuy nhiên xuôi về phía Nam và phía Tây, địa hình thấp dần [3] và khu vực này thường xuyên bị ngập mỗi khi mưa hoặc triều cường. Theo Trung tâm quản lý hạ tầng kỹ thuật [4], trong năm 2023, các tuyến đường ngập thường xuyên gồm Quốc Hương, Tô Ngọc Vân, Đặng Thị Rành, Hồ Văn Tư, Kha Vạn Cân, Dương Văn Cam, Võ Văn Ngân, Lê Văn Việt, Hiệp Bình, Quốc Lộ 13, Tỉnh Lộ 43, Nguyễn Duy Trinh, Đỗ Xuân Hợp, Lã Xuân Oai với độ ngập trung bình từ 10-25 cm. Thông tin từ các phương tiện truyền thông cho thấy tình hình ngập còn nghiêm trọng hơn. Chỉ cần trận mưa với lượng mưa khoảng 30-50 mm là đã khiến các tuyến đường này ngập từ 10-40 cm và kéo dài từ 1-3 giờ [5, 6]. Cá biệt có nơi ngập tới 60 cm. Tp. Thủ Đức cần có những nghiên cứu sâu sắc, đa chiều để xây dựng các phương pháp hiệu quả trong việc quản lý và giảm thiểu các hậu quả tiêu cực của ngập lụt. Một trong số các hướng nghiên cứu phục vụ mục tiêu đó là đánh giá nguy cơ và rủi ro ngập lụt của Tp. Thủ Đức.



Nguy cơ ngập lụt được định nghĩa là khả năng xảy ra thảm họa ở mức độ nghiêm trọng [7] và có thể được biểu thị dưới dạng hàm số của cả mức độ nghiêm trọng và xác suất ngập lụt. Mô hình toán thủy lực là công cụ phổ biến nhất trong việc xây dựng bản đồ nguy cơ ngập [8] trong đó các điều kiện biên được áp đặt sao cho ngập lụt xảy ra tương ứng với các tần suất xác định. Đối với vấn đề rủi ro, theo nghiên cứu [9] là khả năng xảy ra tổn thất và điều này phụ thuộc vào ba yếu tố: nguy cơ, tính dễ bị tổn thương và mức độ phơi bày. Nếu bất kỳ yếu tố nào trong ba yếu tố rủi ro này gia tăng thì rủi ro cũng tăng [10].

Đã có nhiều nghiên cứu về nguy cơ cũng như rủi ro ngập lụt đô thị của các tác giả nước ngoài cũng như trong nước. Mặc dù ngập đô thị là hậu quả của sự ảnh hưởng đồng thời của nhiều yếu tố (như mưa, triều, lũ, nước dâng do bão...) nhưng trong đa phần các nghiên cứu xác suất ngập được tính theo xác suất của chỉ một yếu tố được chọn ra. Chẳng hạn [11] chỉ xét xác suất của mưa. Ở khía cạnh khác, các nghiên cứu như [10–13] tập trung vào đánh giá xác suất xảy ra lũ. Cũng đã có những nỗ lực để xây dựng bản đồ nguy cơ và rủi ro ngập dưới tác động tổng hợp của hai yếu tố [14–16] nhưng lại tập trung vào lưu lượng thượng lưu và mực nước triều ngoài biển. Mưa - yếu tố quan trọng trong ngập lụt đô thị - không được xét tới. Mục đích của bài báo này là giới thiệu một cách tiếp cận mới trong thiết lập bản đồ nguy cơ và rủi ro ngập là sử dụng xác suất tổ hợp (R-H). Tất cả các yếu tố gây ngập lụt được quy thành hai yếu tố là mưa trên khu vực (R) và mực nước tại cửa tiêu thoát của hệ thống thoát nước (H). Từ dữ liệu quan trắc, xác suất xảy ra tổ hợp (R-H) được xây dựng và được sử dụng làm điều kiện biên cho mô hình thủy lực. Xác suất xảy ra tổ hợp (R-H) được xây dựng theo phương pháp đường đẳng tần suất thực nghiệm của tổ hợp lượng mưa - mực nước [17]. Mô hình thủy lực là loại tích hợp 1D sông/kênh - 1D cống/đường - 2D dòng tràn trên mặt được xây dựng bằng phần mềm F28 [18]. Áp dụng cho Thành phố Thủ Đức, nguy cơ và rủi ro ngập lụt tại đây đã được đánh giá một cách rõ ràng và tin cậy.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Phương pháp mô hình toán

Mô hình toán là một công cụ hữu ích trong nghiên cứu ngập lụt. Nó cho phép thực hiện các tính toán mô phỏng các kịch bản để từ đó có thể rút ra các số liệu phục vụ cho các phân tích. Do tính đa dạng của dòng chảy, mô hình toán hệ thống thoát nước sẽ là loại mô hình tích hợp. Phần mềm F28 [18] được sử dụng để xây dựng mô hình toán. Các mô hình con tham gia trong mô hình tích hợp gồm mô hình con 1D cho dòng chảy trong sông/kênh; mô hình con 1D cho dòng chảy trong cống và trên mặt đường; và mô hình con 2D cho dòng tràn trên mặt đất.

Các mô hình con được tích hợp lại với nhau bằng các liên kết để tạo thành một mô hình thống nhất. Có hai loại liên kết được sử dụng là liên kết bằng siêu nút và liên kết bằng dòng tràn. Siêu nút là nút chung của một vài mô hình con. Thể tích của siêu nút được tạo thành từ thể tích của các nút tham gia. Mực nước của siêu nút được tính toán từ phương trình bảo toàn khối lượng. Trong khi đó liên kết bằng dòng tràn được áp dụng để kết nối mô hình con 1D và 2D ở bờ sông và giữa mô hình con 1D-đường và mô hình con 2D tại lề đường. Lưu lượng tràn từ mô hình 1D và 1D-đường sang mô hình 2D hoặc ngược lại được tính bằng công thức đập tràn. Truyền động lượng giữa các mô hình con cũng được tính toán để đảm bảo độ chính xác của mô hình tổng thể. Bản thân mô hình 1D- cống/đường cũng là một mô hình tích hợp gồm 2 mô hình con là mô hình dòng chảy một chiều trong ống cống (1Dc) và mô hình dòng chảy 1 chiều trên đường (1Dd).

Mô hình hệ thống thoát nước Tp. Thủ Đức được thiết lập cục bộ trên địa bàn Tp. Thủ Đức. Để giải quyết vấn đề điều kiện biên, mô hình Tp. Thủ Đức được tích hợp vào mô hình hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai (SGĐN) [11]. Mô hình SGĐN cũng là một mô hình tích hợp 1D-2D, trong đó, các sông rạch được mô phỏng bằng mô hình 1D, còn cửa sông và các vùng trũng ngập được làm mô hình 2D. Sau khi tích hợp, mô hình thu được có thể xem vẫn

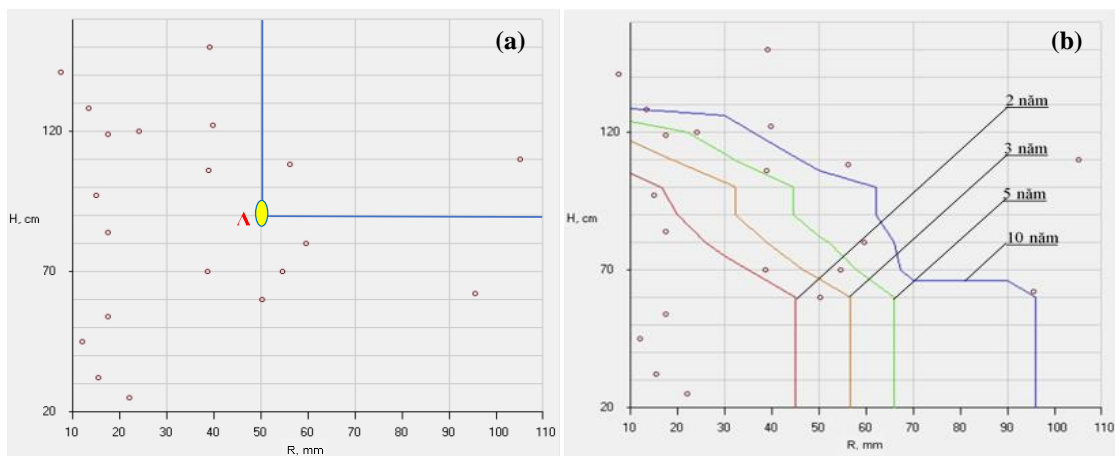
là mô hình SGĐN nhưng với khác biệt là khu vực Tp. Thủ Đức được làm mô hình chi tiết. Việc tích hợp mô hình Tp. Thủ Đức vào mô hình SGĐN được tiến hành giống như tích hợp các mô hình con với nhau. Việc kế thừa mô hình SGĐN không chỉ giảm bớt công sức nhập dữ liệu lưới tính của các mô hình con mà còn giảm bớt công đoạn hiệu chỉnh mô hình ở quy mô tổng thể.

Mô hình SGĐN sử dụng các biên lưu lượng áp đặt tại các nút thượng lưu của mô hình con 1D gồm Trị An, Phước Hòa, Dầu Tiếng và Vàm Cỏ Đông, Vàm Cỏ Tây theo số liệu quan trắc và biên mực nước áp đặt trên các nút biên biển từ Vũng Tàu tới Gò Công được tính theo quy luật tương quan với mực nước tại trạm Vũng Tàu.

### 2.2. Phương pháp xây dựng xác suất tổ hợp lượng mưa - mực nước (R-H)

Nếu chỉ xét các nguyên nhân tự nhiên, ngập là kết quả tác động trực tiếp của 2 yếu tố là lượng mưa trên khu vực và mực nước ở cửa tiêu thoát. Đối với Tp. Thủ Đức, lượng mưa sẽ được lấy theo trạm Phước Long và số liệu mực nước được lấy theo trạm Phú An. Như vậy tần suất xảy ra ngập sẽ chính là tần suất xuất hiện tổ hợp (R-H) với R là lượng mưa tại trạm Phước Long và H là mực nước tại trạm Phú An. Lượng mưa trận tại trạm Phước Long được quan trắc trong 15 năm, từ 2009-2023 bởi Cty TNHH MTV Thoát nước đô thị Tp. Hồ Chí Minh. Số liệu gồm lượng mưa và thời gian mưa. Trong khi đó mực nước tại trạm Phú An được quan trắc từng giờ. Từ thời gian xảy ra trận mưa, mực nước tại trạm Phú An trong thời gian xảy ra trận mưa sẽ được xác định.

Việc xây dựng các đường cong đồng mức xác suất tổ hợp (R-H) được tiến hành theo phương pháp trình bày trong tài liệu [17] và được xây dựng riêng rẽ cho các trận mưa có thời gian mưa là 60 phút, 90 phút và 120 phút. Đầu tiên các tổ hợp (R-H) quan trắc được đưa lên đồ thị như trên Hình 1a. Sau đó không gian (R-H) được chia lưới và số lượng các tổ hợp có giá trị vượt ngưỡng tại các mắt lưới được xác định. Từ đó xác suất xảy ra tổ hợp (R-H) vượt ngưỡng (R-H) tại các mắt lưới cũng được tính toán. Từ xác suất xảy ra tổ hợp (R-H) vượt ngưỡng tại các mắt lưới, bằng phép nội suy, ta có thể vẽ được các đường cong đẳng xác suất (hoặc đường cong đồng chu kỳ lặp lại) của tổ hợp (R-H) như trên Hình 1b. Tuy nhiên các đường cong đẳng xác suất vẽ trực tiếp từ số liệu quan trắc như trên sẽ không cho phép ngoại suy cho các tần suất hiếm với độ tin cậy cao. Vì vậy thực tế hàm xác suất lý luận của tổ hợp (R-H) sẽ được xác định và các đường cong đồng mức xác suất sẽ được vẽ theo hàm này.



**Hình 1.** (a) Các tổ hợp Lượng mưa trận trạm Phước Long - mực nước trạm Phú An trong 15 năm; (b) Đường đồng mức chu kỳ vượt ngưỡng của tổ hợp (R-H) trạm Phước Long-Phú An.

### 2.3. Quy trình xây dựng bản đồ nguy cơ ngập và tính toán rủi ro ngập.

Đánh giá nguy cơ và rủi ro ngập sẽ được thực hiện theo quy trình gồm 5 giai đoạn cùng với các bước như sau:

(1): Xây dựng các đường cong đẳng tần suất của tổ hợp lượng mưa và mực nước (R-H) của trạm mưa và mực nước đại diện;

(2): Xây dựng mô hình toán hệ thống thoát nước;

(3): Tính toán mô hình để nhận được kết quả tính mực nước tại trạm Phú An trong khoảng thời gian một vài ngày;

(4): Xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt. Công việc này được tiến hành theo các bước:

- Bước 1: Xét một chu kỳ lặp lại của tổ hợp (R-H) và xét trận mưa có thời gian mưa nào đó. Trên đường cong đẳng chu kỳ lặp lại của tổ hợp (R-H) tương ứng thời gian của trận mưa lấy 4 điểm (R-H) sao cho các điểm này đại diện cho đường cong;

- Bước 2: Với mỗi giá trị R đã được xác định từ bước 1, xây dựng mô hình trận mưa;

- Bước 3: Với mỗi giá trị H đã được xác định từ bước 1, xác định thời điểm (ngày và giờ) xảy ra mực nước này ở trạm Phú An.

- Bước 4: Nhập trận mưa tính toán vào mô hình. Đặt thời điểm xảy ra mưa trùng thời điểm xảy ra mực nước H đã được xác định ở bước 3, thực hiện tính toán mô phỏng ngập lụt.

- Bước 5: Từ kết quả mô phỏng xác định độ ngập sâu nhất tại các mặt cắt trên đường (mô hình 1Dc/1Dd) và tại các nút 2D.

- Bước 6: Thực hiện các bước 2 đến bước 5 cho 3 tổ hợp (R-H) còn lại. Từ kết quả tính ngập sâu nhất trong từng tổ hợp, xác định độ ngập lớn nhất trong 4 tổ hợp.

- Bước 7: Thực hiện các bước 2 đến bước 6 cho 2 thời gian của một trận mưa còn lại. Từ kết quả tính ngập sâu nhất của 3 thời gian mưa khác nhau xác định độ ngập lớn nhất. Vẽ phân bố độ ngập tính được này ta thu được bản đồ nguy cơ ngập đối với chu kỳ ngập đang xét.

- Bước 8: Thực hiện các bước 1 đến bước 7 cho các chu kỳ ngập khác. Kết quả là ta có được các bản đồ nguy cơ ngập đối với các chu kỳ ngập khác nhau.

(5): Xác định rủi ro do ngập lụt. Thiệt hại do ngập lụt được xác định dựa trên bản đồ nguy cơ ngập và bản đồ phân bố các đối tượng dễ bị tổn thương. Trong những năm qua đã có nhiều nghiên cứu về rủi ro theo nhiều hướng khác nhau, chẳng hạn như đánh giá thông qua phân tích thiệt hại kinh tế trực tiếp hoặc tiếp cận rủi ro về môi trường – xã hội. Bài báo này sử dụng phương pháp đánh giá rủi ro định lượng về kinh tế cùng với bộ đơn giá thiệt hại do ngập cho Tp. HCM do Haskoning thiết lập [20] để ước lượng chi phí bị thiệt hại trực tiếp hữu hình do ngập. Như vậy thiệt hại do ngập cho từng chu kỳ lặp lại sẽ được tính bằng cách nhân diện tích ngập với giá trị của hàm thiệt hại tương ứng với từng loại đối tượng ngập và độ sâu ngập. Thiệt hại trung bình hàng năm (EAD) được tính toán theo công thức [21].

$$EAD = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_{i+1}} \right) (D_i + D_{i+1}) \quad (1)$$

Trong đó  $D_i$  là tổn thất tương ứng với chu kỳ lặp lại  $T_i$  thứ  $i$ .

### 3. Kết quả và bàn luận

#### 3.1. Mô hình tích hợp hệ thống thoát nước Tp. Thủ Đức

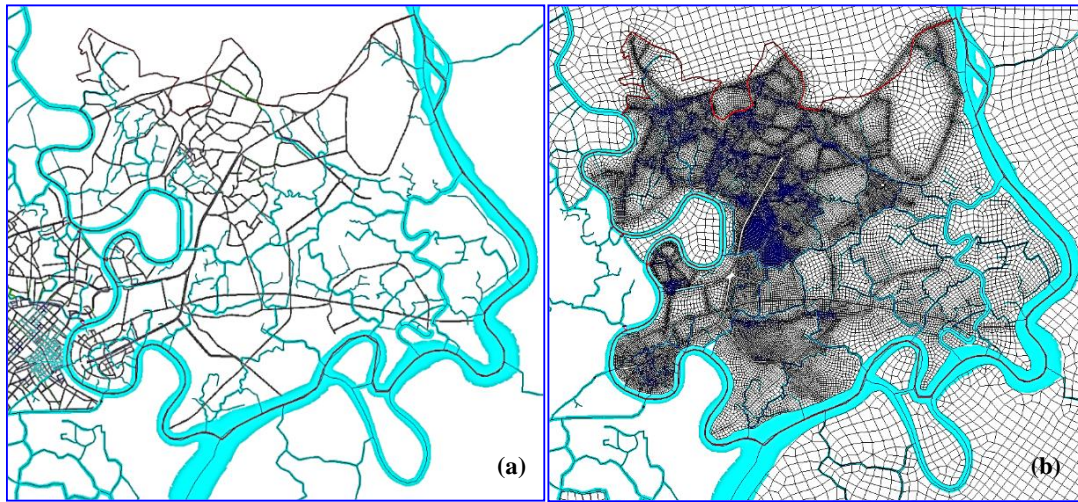
Theo phương pháp được trình bày trong mục 2.1, mô hình hệ thống thoát nước TP. Thủ Đức tích hợp trong mô hình sông SGĐN đã được xây dựng. Lưới tính của các mô hình con 1D-sông/kênh, 1Dc-cống/đường và 2D khu vực Tp. Thủ Đức được trình bày trên Hình 2.

Các mô hình con của mô hình tích hợp SGĐN có các thông số như sau:

- Mô hình con 1D: gồm 1114 nhánh với 968 nút, 9770 mặt cắt và 8656 đoạn tính. Chiều dài các đoạn tính khoảng từ 41 m đến 636 m trong đó chiều dài các đoạn ngắn nhất là ở khu vực Tp. Thủ Đức.

- Mô hình con 1Dc/1Dd: gồm 4499 nhánh cống/ đường 1D với 3625 nút, 39150 mặt cắt và 34651 đoạn. Chiều dài các đoạn tính khoảng 30-40 m.

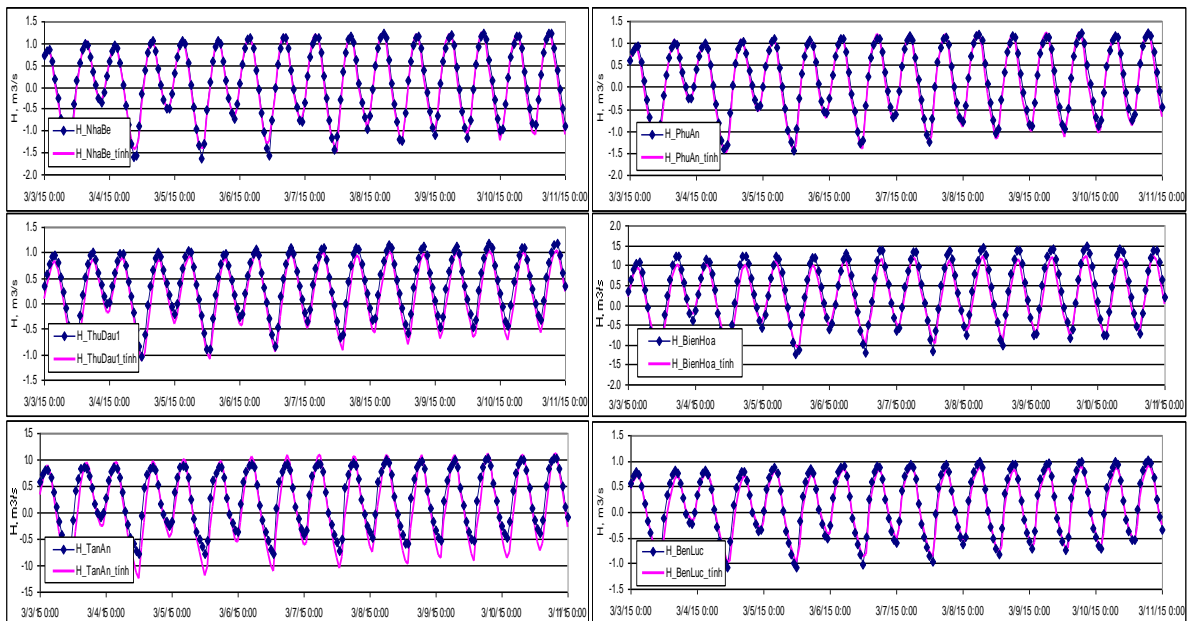
- Mô hình con 2D: Mô hình 2D chỉ phủ lưới tính tới mép bờ sông và mép đường. Mô hình con này có 134802 phần tử tứ giác với 151106 nút. Chiều dài các cạnh phần tử tứ giác tương đương với kích thước đoạn tính của mô hình 1D và mô hình 1Dc/1Dd.



**Hình 2.** (a) Lưới tính của các mô hình con 1D và 1Dc/1Dd; (b) và của mô hình con 2D.

Mô hình đã được hiệu chỉnh trước khi sử dụng để đảm bảo độ tin cậy của kết quả tính toán. Tiêu chí đánh giá kết quả hiệu chỉnh là sự phù hợp giữa kết quả tính toán lưu lượng và mực nước với số liệu đo đạc, đặc biệt là khi áp dụng mô hình 1D cho sông và kênh. Đối với mô hình 1Dc/1Dd công, đường hiệu chỉnh được định hình thông qua thông số từ các sự kiện mưa xảy ra trên khu vực.

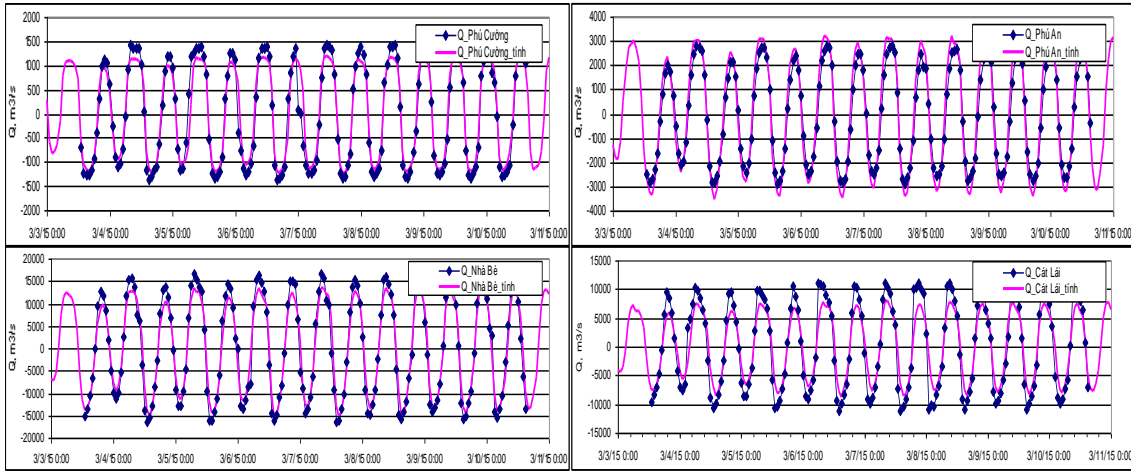
- Hiệu chỉnh mô hình 1D sông, kênh. Mô hình đã được thực hiện theo số liệu của 10 đợt quan trắc thực hiện bởi các đề tài, dự án khác nhau. Thông số hiệu chỉnh là hệ số nhám của mô hình 1D sông/kênh và hệ số nhám của mô hình 2D vùng cửa sông. Hình 3 và Hình 4 giới thiệu một trong số các so sánh kết quả tính toán. Đợt quan trắc này được thực hiện vào tháng 3/2015 trên sông SGĐN [19]. Bảng 1 trình bày kết quả đánh giá hiệu quả hiệu chỉnh mô hình thông qua hệ số Nash-Sutcliffe cũng của đợt quan trắc này.



**Hình 3.** Mực nước tính toán và thực đo vào tháng 3/2015.

**Bảng 1.** Hệ số Nash - Sutcliffe của kết quả tính lưu lượng và mực nước đợt tháng 3/2015.

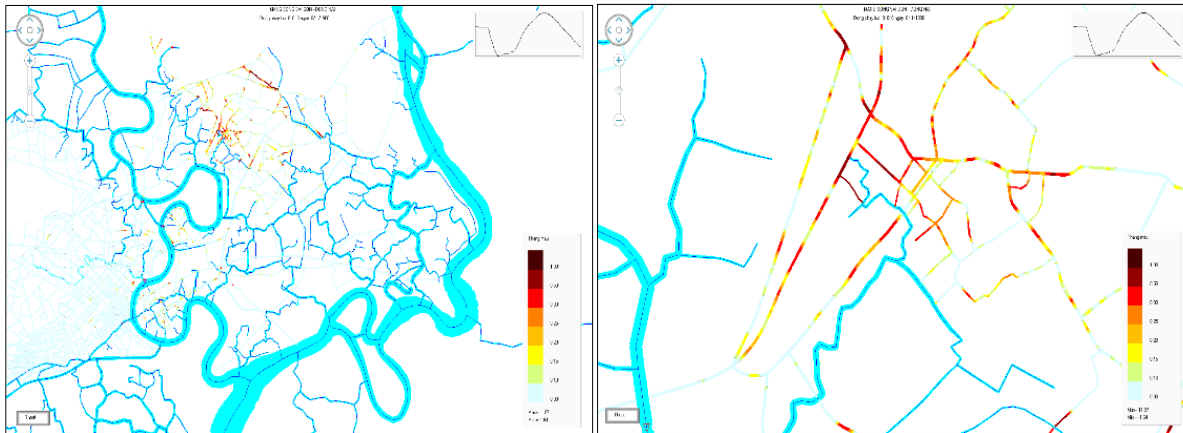
Hệ số Nash-Sutcliffe	Phú Cường	Nhà Bè	Phú An	Cát Lái	Biên Hòa
Trạm Q	0,94	0,93	0,93	0,84	0,71
Trạm H	0,98	0,94	0,78	0,87	0,72



**Hình 4.** Lưu lượng tính toán và thực đo [19] vào tháng 3/2015.

Hệ số Nash-Sutcliffe rất cao chứng tỏ mô hình đã được hiệu chỉnh rất tốt. Kết quả hiệu chỉnh đã xác định được hệ số nhám của các nhánh sông/kênh 1D ở trong khoảng từ  $n = 0,016$  tới  $n = 0,06$  tùy nhánh. Đối với mô hình 2D, hệ số nhám cũng được xác định trong khoảng từ  $n = 0,015$  tới  $0,018$  tùy vùng.

- Hiệu chỉnh mô hình 1Dc/1Dd cống, đường: Mô hình 1Dc/1Dd đã được hiệu chỉnh theo số liệu tham khảo từ Công ty Thoát nước đô thị TP. HCM quan trắc được trong 4 trận mưa xảy ra trong các ngày 02/06/2022; 22/06/2022; 15/8/2022; 06/09/2022. Thông số hiệu chỉnh là hệ số nhám của mô hình 1Dc, của mô hình 1Dd và hệ số nhám của mô hình 2D cho các vùng ngập do mưa, triều. Hình 5 thể hiện độ ngập trên các tuyến đường trong trận mưa vào chiều 22/6/2022.



**Hình 5.** Mức độ ngập tính toán trong trận mưa chiều ngày 22/06/2022 (đơn vị thang màu: mét).

So sánh độ ngập giữa kết quả quan trắc và tính toán tại các tuyến đường thuộc đại bản Tp. Thủ Đức được trình bày ở Bảng 2.

So sánh ngập tại Bảng 2 cho thấy kết quả tính toán bằng mô hình và quan trắc khá tương đồng. Tuy nhiên, các giá trị tính toán về độ ngập của một số tuyến đường như Tô Ngọc Vân, Dương Văn Cam có sự chênh lệch đáng kể so với dữ liệu quan trắc. Bên cạnh sai số của phương pháp toán thì một nguyên nhân không thể không nói tới là sai số xuất phát từ sự sai lệch về cao độ địa hình của các tuyến đường này giữa mô hình với thực tế. Ngoài ra, có một nguyên nhân khác nữa là giá trị quan trắc được lấy tại một điểm còn kết quả của mô hình 1Dd là giá trị đại diện tại mặt cắt. Sự không đồng nhất giữa hai giá trị có thể xuất phát từ yếu tố địa hình cục bộ tại điểm quan trắc.

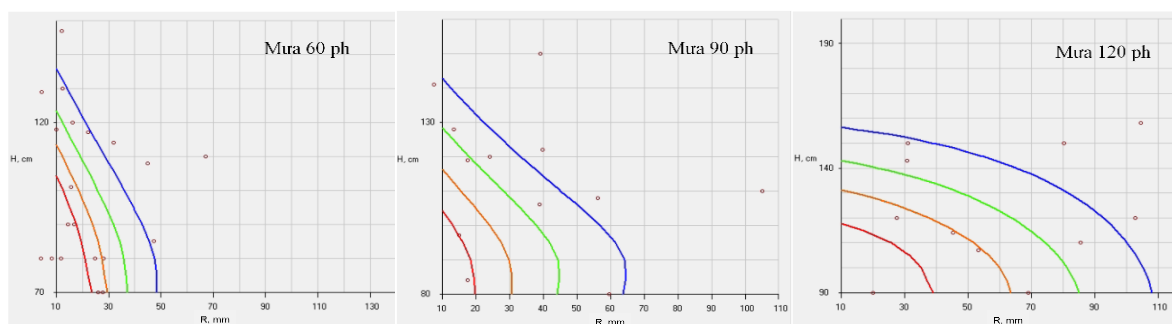
Hiệu chỉnh đã xác định được hệ số nhám của cống là  $n = 0,013$ , của đường là  $n = 0,022$  và của các vùng trũng ngập 2D là  $n = 0,2-0,5$  tùy khu vực.

**Bảng 2.** Kết quả so sánh ngập trong 1 trận mưa chiều ngày 22/06/2022 tại các tuyến đường.

TT	Tên đường thuộc địa bàn Tp. Thủ Đức	Phạm vi ngập		Độ sâu ngập (m)		
		Từ	Đến	Quan trắc	Tính toán	Sai số
1	Quốc Hương	Lê Văn Miến	Đường 65	0,20	0,27	0,07
2	Nguyễn Văn Hường	Trước Hoàng Anh Gia Lai		0,20	0,21	0,01
3	Tô Ngọc Vân	Đường ray xe lửa	Phạm Văn Đồng	0,30	0,64	0,34
4	Đặng Thị Rành	Dương Văn Cam	Tô Ngọc Vân	0,20	0,34	0,14
5	Hồ Văn Tư	Kha Vạn Cân	Hèm 45	0,20	0,28	0,08
6	Kha Vạn Cân	Dương Văn Cam	Buru điện Thủ Đức	0,20	0,25	0,05
7	Võ Văn Ngân	Đặng Văn Bi	Chợ Thủ Đức	0,20	0,37	0,17
8	Dương Văn Cam	Hèm 17	Số nhà 49	0,20	0,63	0,43
9	Quốc lộ 13	Giày Gia Định	Ngã 3 Hiệp Bình	0,10	0,00	-0,1
10	Hiệp Bình	Đường số 1	Trường THCS Hiệp Bình	0,10	0,16	0,06
11	Đỗ Xuân Hợp	Trước UBND P, Phước Bình		0,15	0,25	0,1

### 3.2. Xác suất tổ hợp (R-H) của trạm Phước Long

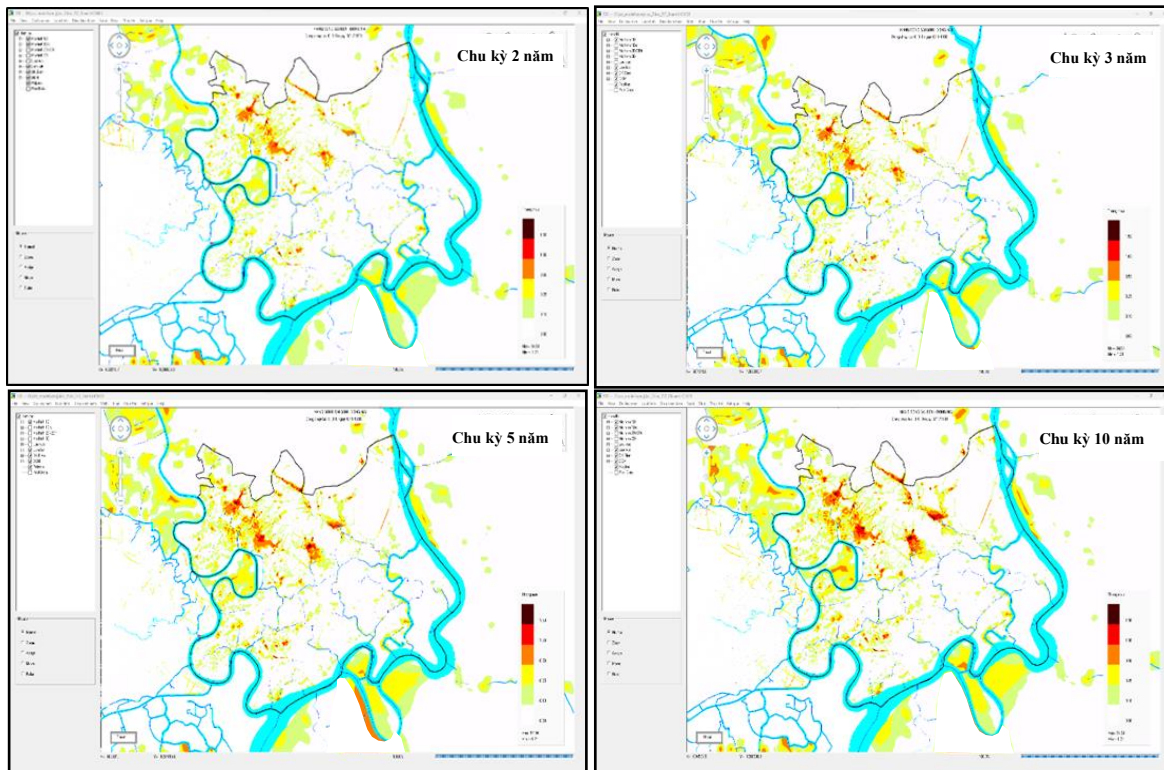
Từ số liệu quan trắc mưa tại trạm Phước Long trong 15 năm (2009-2023) và số liệu quan trắc mực nước tại trạm Phú An tương ứng với thời gian xảy ra mưa, tần suất các tổ hợp lượng mưa - mực nước (R-H) cho 3 thời đoạn mưa là 60 phút, 90 phút, 120 phút đã được phân tích. Hình 6 giới thiệu các đường cong đồng tần suất tương ứng các chu kỳ lặp lại là 2 năm, 3 năm, 5 năm và 10 năm cho các tổ hợp này.



**Hình 6.** Các đường tần suất tổ hợp (R-H) của trạm Phước Long cho trận mưa có thời gian kéo dài khác nhau.

### 3.3. Nguy cơ và rủi ro ngập của Tp. Thủ Đức

Với mỗi một chu kỳ ngập sẽ có ba đường cong tương ứng với 3 thời gian kéo dài trận mưa khác nhau. Trên mỗi đường cong sẽ lấy ra 4 điểm tổ hợp (R-H) để làm điều kiện tính toán mô phỏng ngập. Như vậy cho mỗi chu kỳ ngập sau khi thực hiện tính toán mô phỏng ta sẽ có 12 kịch bản ngập. Mức độ ngập tương ứng với chu kỳ ngập tại từng điểm là giá trị lớn nhất lấy ra từ kết quả tính mô phỏng của 12 phương án. Mức độ ngập sau đó được đưa lên bản đồ để cho thấy nguy cơ ngập ở chu kỳ lặp lại tương ứng. Hình 7 giới thiệu nguy cơ ngập ở Tp. Thủ Đức với các chu kỳ lặp lại 2 năm, 3 năm, 5 năm và 10 năm. Kết quả mô phỏng của mô hình toán số cho thấy diễn biến ngập phân bố phù hợp đặc điểm địa hình, địa mạo khu vực. Dựa trên kết quả mô phỏng ngập lụt qua 4 chu kỳ, thấy rằng các vị trí ngập trên bản đồ duy trì đồng nhất qua mỗi chu kỳ với sự biến động chỉ xảy ra đối với giá trị độ sâu ngập và diện tích ngập. Tp. Thủ Đức chiếm khoảng gần 50% diện tích của thành phố, là khu vực có rủi ro ngập lụt cao nhất. Trong khu vực này, các đoạn trung tâm thường gặp giá trị độ sâu ngập từ 0,5 m đến hơn 1,5 m. Đặc điểm này đặt ra nhu cầu quan tâm đặc biệt đối với việc quản lý ngập lụt trong khu vực đô thị nằm ở vùng đất thấp. Diện tích ngập (Bảng 3) trong các khu vực bị ngập gia tăng theo chu kỳ từ T = 2 năm đến T = 10 năm. Các khu vực bị ngập đặc trưng bởi địa hình thấp, trũng, đất trồng cây hoặc ao hồ nuôi thủy sản. Trong thời gian mưa nước tập trung tại những khu vực này gây ra tình trạng ngập ở các khu vực đô thị lân cận. Đồng thời, sự trào nước ngược lên mặt đường do một số tuyến cống cũng tạo ra các “lòng chảo” trữ nước.



Hình 7. Phân bố nguy cơ ngập của Tp. Thủ Đức ở các chu kỳ.

Bảng 3. Diện tích ngập (ha) theo từng chu kỳ lặp lại của Tp. Thủ Đức.

Độ sâu ngập (m)	Diện tích ngập (ha)			
	T = 2 năm	T = 3 năm	T = 5 năm	T = 10 năm
≥ 1,50	6,44	9,07	18,15	26,60
≥ 1,00	56,63	78,27	118,70	180,98
≥ 0,50	431,66	503,47	640,55	791,14
≥ 0,25	1288,66	1467,79	1719,37	1995,51
≥ 0,10	2641,81	2897,13	3241,86	3614,38
≥ 0,00	17730,90	17730,90	17730,90	17730,90

Khu vực phía Đông Bắc của Tp. Thủ Đức xảy ra ngập lụt từ đoạn đường Nguyễn Tri Phương qua đoạn Suối Cái, đến đường Trường Đại học Kinh tế Luật (phường Linh Xuân, Tp. Thủ Đức) và Suối Cái đoạn đường Vạn Hành (phường Linh Trung, Tp. Thủ Đức). Độ sâu của nước ngập tăng theo chu kỳ lặp lại. Mặc dù đây là khu vực có địa hình cao và ít chịu tác động của triều cường, vẫn tồn tại nguy cơ ngập đô thị do địa hình dốc, mật độ đô thị hóa cao, rác thải tại đoạn Suối Cái, gây trở ngại cho quá trình thoát nước từ đó gây ngập. Tính toán theo công thức (1) đã xác định được hiện tại trung bình mỗi năm Tp. Thủ Đức bị thiệt hại 21.622 tỷ VNĐ do ngập.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã trình bày một phương pháp đánh giá nguy cơ và rủi ro ngập lụt cho Thành phố Thủ Đức, sử dụng phương pháp tổ hợp xác suất lượng mưa - mực nước (R-H) để đặt điều kiện biên cho mô hình hệ thống thoát nước. Phương pháp này thích hợp đối với các đô thị có địa hình thấp và chịu ảnh hưởng của thủy triều. Nơi đó, ngập lụt xuất phát từ sự kết hợp của mưa lớn, triều cường và đôi khi do dòng chảy tràn từ sông. Kết quả tính toán chỉ ra các vị trí có nguy cơ và mức độ ngập lụt cao tại Thành phố Thủ Đức, đặc biệt là khu vực chợ Thủ Đức, phường Tam Bình và khu vực Tăng Nhơn Phú A. Những kết quả này cung cấp thông tin quan trọng để hiểu rõ tình trạng ngập lụt tại Thủ Đức, hỗ trợ quản lý đô thị trong việc thực hiện các biện pháp xử lý ngập lụt một cách hợp lý.

Mặc dù so với các nghiên cứu khác cùng loại, nghiên cứu này đã áp dụng một mô hình toán số khá chi tiết cùng với cách tiếp cận xác suất tổ hợp đa biến, kết quả nghiên cứu vẫn tồn tại những sai số do sự phức tạp của bài toán. Trong phạm vi của nghiên cứu này, một số yếu tố ảnh hưởng chưa có điều kiện để xem xét đầy đủ như các địa vật chắn ngang dòng chảy 2D, hoặc hạn chế số lượng các trạm đo mưa để có thể cung cấp một cách chi tiết phân bố mưa trên một khu vực rộng lớn như Tp. Thủ Đức. Điều này đặt ra một thách thức, và nhóm nghiên cứu đang tập trung hoàn thiện trong các giai đoạn nghiên cứu tiếp theo.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng và phương pháp: L.S.G.; Nhập số liệu xây dựng mô hình: N.H.T.B., N.T.T.H.; Hiệu chỉnh, kiểm định mô hình: N.T.T.H.; Chạy mô hình tính toán các phương án và xử lý kết quả tính: N.H.T.B.; Viết bản thảo bài báo: N.N.M.P.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.T.H.

**Lời cảm ơn:** Bài báo được hoàn thành với sự hỗ trợ kinh phí của Đề tài Nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước, mã số Đề tài KC-4.0-09/19-25. Nhóm giả cũng chân thành cảm ơn Công ty trách nhiệm hữu hạn một thành viên Thoát nước đô thị TP. Hồ Chí Minh đã cho phép sử dụng số liệu quan trắc.

**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. Sun, X.; Li, R.; Shan, X.; Xu, H.; Wang, J. Assessment of climate change impacts and urban flood management schemes in central Shanghai. *Int. J. Disaster Risk Reduct* **2021**, 65, 102563. doi: 10.1016/j.ijdr.2021.102563.
2. Li, C.; et al. Review on urban flood risk assessment. *Sustainability* **2023**, 15(1), 765. doi: 10.3390/su15010765.
3. Cổng Thông tin Điện tử Tp.HCM. “Địa hình”, Điều kiện tự nhiên, 2013. Trực tuyến: <https://tphcm.chinhphu.vn/ia-hinh-1014580.htm> (accessed Jan. 11, 2024).
4. Trung tâm quản lý hạ tầng kỹ Thuật. Báo cáo tình hình ngập nước trên địa bàn thành phố tháng 12 và năm 2023. 2024.
5. Báo Tuổi Trẻ Online. TP.HCM mưa trắng trời, nhiều tuyến đường lênh láng - Tuổi Trẻ Online. 2022. Trực tuyến: <https://tuoitre.vn/tp-hcm-mua-trang-troi-nhieu-tuyen-duong-lenh-lang-20220602162805361.htm>
6. Báo Tuổi Trẻ Online. Mưa lớn, nhiều tuyến đường ở thành phố Thủ Đức ngập nặng. 2022. Trực tuyến: <https://baotintuc.vn/anh/tp-ho-chi-minh-hang-loat-tuyen-duong-o-thanh-pho-thu-duc-ngap-nang-sau-con-mua-to-keo-dai-20220513203051234.htm>
7. Di Baldassarre, G.; Castellarin, A.; Montanari, A.; Brath, A. Probability-weighted hazard maps for comparing different flood risk management strategies: A case study. *Nat. Hazards* **2009**, 479–496. doi: 10.1007/s11069-009-9355-6.
8. Karmakar, S.; Sherly, M.A.; Mohanty, M. Urban flood risk mapping: A state-of-the-art review on quantification. *Current Practices Future Challenges* **2022**, 125–156. doi: 10.1007/978-981-19-0412-7\_5.
9. Crichton, D. The risk triangle. *Nat. Disaster Manage.* **1999**, pp. 102–103.
10. Barredo, J.I.; Engelen, G. Land use scenario modeling for flood risk mitigation. *Sustainability* **2010**, 2(5), 1327–1344. doi: 10.3390/su2051327.
11. Giang, L.S. Nghiên cứu đề xuất lựa chọn chiến lược quản lý ngập lụt thích hợp trên cơ sở các dự án đã, đang và dự kiến triển khai tại TP. Hồ Chí Minh. Hồ Chí Minh, 2017.
12. Apel, H.; Aronica, G.T.; Kreibich, H.; Thielen, A.H. Flood risk analyses - How detailed do we need to be?. *Nat. Hazard* **2009**, 49(1), 79–98. doi: 10.1007/s11069-008-9277-8.



13. Karmakar, S.; Simonovic, S.P.; Peck, A.; Black, J. An Information System for Risk-Vulnerability Assessment to Flood. *J. Geogr. Inf. Syst.* **2010**, *02(03)*, 129–146. doi: 10.4236/JGIS.2010.23020.
14. Moftakhari, H.; Schubert, J.E.; AghaKouchak, A.; Matthew, R.A.; Sanders, B.F. Linking statistical and hydrodynamic modeling for compound flood hazard assessment in tidal channels and estuaries. *Adv. Water Resour.* **2019**, *128*, 28–38. doi: 10.1016/j.advwatres.2019.04.009.
15. Combined Coastal and Riverine Floodplain. Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping Combined Coastal and Riverine. 2015.
16. Thu, T.T.V. Xây dựng bản đồ rủi ro ngập lụt cho TP. Hồ Chí Minh theo phương pháp tích hợp. Trung tâm Quản lý nước và Biến đổi Khí hậu, 2015.
17. Giang, L.S.; Bình, N.H.T.; Hoa, N.T.T.; Thịnh, D.N. Xây dựng đường cong tổ hợp lượng mưa - mực nước (I-H) phục vụ thiết kế hệ thống thoát nước mặt ở thành phố Hồ Chí Minh. *Can Tho Univ. J. Sci.* **2023**, *59*, 213–220. doi: 10.22144/ctu.jvn.2023.123.
18. Giang, L.S. Xây dựng mô hình toán tổng hợp cho tính toán thoát nước đô thị Tp. HCM. Báo cáo đề tài Nghiên cứu khoa học mã số B2007-20-13TĐ, 2011.
19. Nghi, V.V. Đánh giá mức độ khan hiếm tài nguyên nước ngọt cho TP.HCM bằng chỉ số áp lực về nước WSI theo các kịch bản quy hoạch phát triển đến năm 2030 trong điều kiện biến đổi khí hậu khi nước biển dâng và đề xuất các giải pháp tổng thể giảm thiểu. HCM, 2016.
20. Netherland, H. Dự án chống ngập khu vực Thành phố Hồ Chí Minh - Báo cáo cuối cùng. Tập 2: Tích hợp chiến lược quản lý rủi ro ngập lụt. 2013.
21. Olsen, A.S.; Zhou, Q.; Linde, J.J.; Arnbjerg-Nielsen, K. Comparing methods of calculating expected annual damage in urban pluvial flood risk assessments. *Water* **2015**, *7(1)*, 255–270. doi: 10.3390/w7010255.

## Assessment of flood hazard and risks in Thu Duc city using probability approach of combination

Giang Song Le<sup>1</sup>, Binh Thanh Hoang Nguyen<sup>1</sup>, Nguyen Ngoc Minh Phu<sup>2</sup>, Hoa Thanh Thi Nguyen<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup> Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT); lsgiang@hcmut.edu.vn

<sup>2</sup> HCMC Construction Department; nnmphu.sxd@tphcm.gov.vn

<sup>3</sup> Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment; ntthoa@hcmunre.edu.vn

**Abstract:** For urban areas situated in low-lying regions affected by tidal influences, flooding occurs due to the combination of various factors, including rainfall, tidal water levels, and sometimes the overflow from rivers. This article presents a new approach to assessment of flood risk in Thủ Đức City. That is to use the probability of the combination of rainfall - water level (R-H) as boundary conditions for the drainage system model. All flood-causing factors belonging to the meteorological and hydrological group in the calculation will be represented by only two parameters: rainfall in the area (R) and water level at the outlet of the drainage system (H). Based on monitoring data, the probability of the combination (R-H) will be built. To ensure reliability, the hydraulic model is an integrated type of 1D river/canal - 1D sewer/road - 2D overflow. The combination of hydraulic modeling with a combinatorial probabilistic (R-H) approach has created a flexible and comprehensive assessment method, capable of providing a complete view of flooding in lowland urban areas. Using this method, flood hazard and risk for Thu Duc City have been clearly and reliably assessed.

**Keywords:** Flood risk; Combination probability; Integrated hydraulic model; Thu Duc City.

Bài báo khoa học

# Nghiên cứu đánh giá chất lượng nước các sông chính tỉnh Bình Thuận và đề xuất các giải pháp tiền đề bảo vệ nguồn nước

Huỳnh Phú<sup>1</sup>, Trần Thị Minh Hà<sup>2,3\*</sup>, Nguyễn Thị Huệ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Viện khoa học ứng dụng Hutech; Trường Đại học Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh;  
h.phu@hutech.edu.vn

<sup>2</sup> Trường Đại học Tây Nguyên; ttmha@ttn.edu.vn

<sup>3</sup> Viện Công nghệ môi trường, Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học Công nghệ Việt Nam; ttmha@ttn.edu.vn; nthue@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: ttmha@ttn.edu.vn; Tel.: +84-946959247

Ban Biên tập nhận bài: 12/12/2023; Ngày phản biện xong: 30/1/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2024

**Tóm tắt:** Quá trình phát triển kinh tế - xã hội của tỉnh Bình Thuận đã khai thác nguồn nước mặt cung cấp cho sinh hoạt, sản xuất công nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản, du lịch. Lưu lượng nước thải từ các khu dân cư, khu công nghiệp, trang trại chăn nuôi, xí nghiệp chế biến thủy sản... chưa qua xử lý, hoặc có xử lý nhưng chưa đạt tiêu chuẩn xả thải vào các lưu vực sông chính tỉnh Bình Thuận, là nguyên nhân làm cho nước sông bị ô nhiễm. Kết quả phân tích chất lượng nước của 7 lưu vực sông chính: (i) sông Lòng Sông, (ii) sông Luỹ, (iii) sông Cái Phan Thiết, (iv) sông Cà Ty, (v) sông Phan, (vi) sông Dinh và (vii) sông La Ngà cho thấy hầu hết các vị trí lấy mẫu phân tích đều bị ô nhiễm các chỉ tiêu  $\text{NH}_4^+$ , Fe, DO, BOD<sub>5</sub>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, CN<sup>-</sup>, As,...mức độ khác nhau, vượt quá giới hạn quy định theo QCVN 08:2023/BTNMT. Đồng thời, nghiên cứu đề xuất các giải pháp tiền đề cho mục tiêu phát triển bền vững nguồn nước, hoàn thiện các công trình thủy lợi, bảo vệ các ao hồ tự nhiên... Lựa chọn đề xuất công nghệ phù hợp, điển hình cho xử lý nước thải từ các hoạt động kinh tế khác nhau. Nước sau xử lý đạt QCVN 08:2023/BTNMT cho từng loại hình nước thải, góp phần bảo vệ và phát triển nguồn nước các sông chính tỉnh Bình Thuận.

**Từ khóa:** Công nghệ phù hợp xử lý nước thải; Khai thác sử dụng nước mặt; Lưu vực sông chính Bình Thuận; Phát triển nguồn nước; Ô nhiễm nước mặt.

## 1. Mở đầu

Tỉnh Bình Thuận có 88 lưu vực sông [1, 2], trong đó, có 7 lưu vực sông chính gồm: sông Lòng Sông, sông Luỹ, sông Cái Phan Thiết, sông Cà Ty, sông Phan, sông Dinh và sông La Ngà, với tổng diện tích lưu vực khoảng trên 5000 km<sup>2</sup> (Hình 1). Các sông có đặc điểm chung là ngắn, dốc, mật độ mạng lưới thưa thớt. Tài nguyên nước mặt, theo “Quy hoạch phát triển thủy lợi tỉnh Bình Thuận giai đoạn 2011-2020 tầm nhìn 2030”, tổng lượng nước tại chỗ trên các lưu vực sông chính trong tỉnh hiện vào khoảng 4.439,9 triệu m<sup>3</sup>/năm, phân bố theo các lưu vực: sông Lòng Sông (72,85 triệu m<sup>3</sup>/năm), sông Lũy (232,8 triệu m<sup>3</sup>/năm), sông Cái Phan Thiết (433,84 triệu m<sup>3</sup>/năm), sông Cà Ty (348,78 triệu m<sup>3</sup>/năm), sông Phan (157,14 triệu m<sup>3</sup>/năm), sông Dinh (245,8 triệu m<sup>3</sup>/năm) và sông La Ngà (1948,7 triệu m<sup>3</sup>/năm) [3, 4]. Ngoài ra, tỉnh Bình Thuận đã và đang triển khai một số dự án chuyển nước giữa các lưu vực sông, nhằm đáp ứng nguồn nước cho mục tiêu phát triển kinh tế - xã hội của tỉnh. Hiện nay, việc bảo vệ tài nguyên nước trên địa bàn tỉnh Bình Thuận đang từng bước được chú trọng, tuy nhiên, việc thực hiện các công tác bảo vệ tài nguyên nước còn hạn chế và chưa đáp ứng đúng với tình hình thực tế, tình trạng ô nhiễm, suy thoái, cạn kiệt nguồn nước vẫn chưa được kiểm soát chặt chẽ. Theo Luật Tài nguyên nước 2023: Phát triển nguồn nước là biện

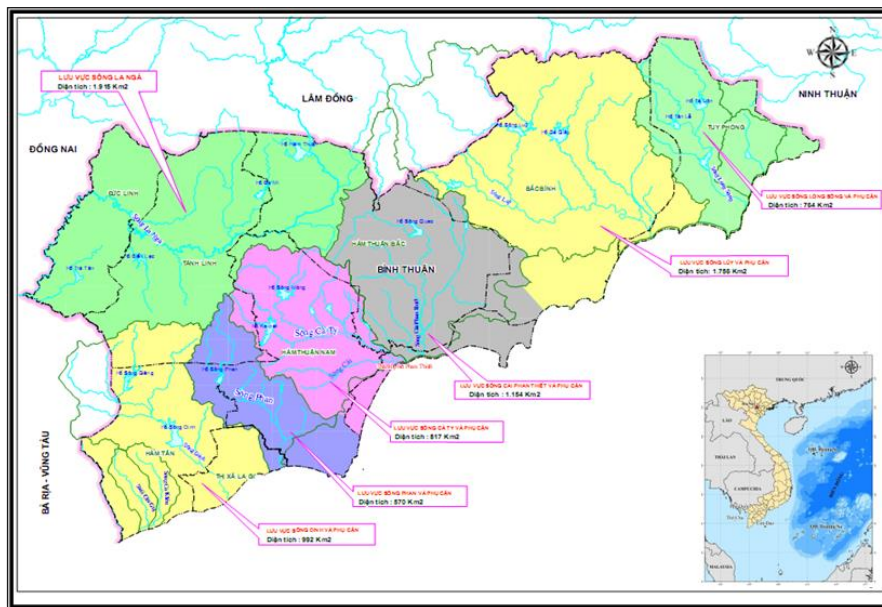
pháp nhằm nâng cao khả năng giữ nước, tích trữ nước, dẫn nước, chuyển nước, khai thác, sử dụng bền vững và nâng cao giá trị tài nguyên nước [5, 6].

Xử lý nước thải đạt tiêu chuẩn trước khi xả vào nguồn tiếp nhận là cần thiết và bắt buộc. Theo đó, công nghệ xử lý nước thải phù hợp, tối ưu có tác dụng thúc đẩy việc cải thiện chất lượng nước, giúp giảm thiểu tối đa hàm lượng các chất độc hại thải ra môi trường nước mặt để có thể tái sử dụng và không gây ô nhiễm. Các công đoạn của các hệ thống xử lý nước thải phổ biến nhất hiện nay bao gồm: Điều lưu và trung hòa; Keo tụ, tạo bông cặn và kết tủa; Tuyển nổi; Xử lý sinh học hiếu khí; Lắng, Xử lý bậc cao (Hấp phụ, trao đổi ion, lọc màng...). [7, 8]. Sự phát triển của khu vực luôn diễn ra đi kèm với hoạt động tăng trưởng kinh tế, gia tăng dân số và sự đô thị hóa, mà hậu quả tương ứng là: Sự gia tăng nhu cầu về năng lượng, khai thác tài nguyên, nhân lực, cơ sở hạ tầng; Sự gia tăng không đồng đều về kinh tế, thu nhập, trình độ văn hóa, khoa học. Song song với quá trình phát triển kinh tế xã hội, các lưu vực sông chính đã và đang chịu sức ép về nhiều mặt. Do vậy, để phát triển nguồn nước bền vững đòi hỏi phải nghiên cứu toàn bộ các lưu vực sông chính tỉnh Bình Thuận [9,10].

Nghiên cứu này sẽ cung cấp các thông tin dữ liệu cần thiết là cơ sở khoa học góp phần quy hoạch các nguồn thải đổ vào các lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Bình Thuận một cách hợp lý, đề ra những biện pháp can thiệp, xử lý để tránh sự quá tải của các dòng sông - nguyên nhân cơ bản dẫn đến ô nhiễm môi trường nước các lưu vực sông tỉnh Bình Thuận. Bên cạnh đó, cần thiết phải có hệ thống xử lý nước thải các nguồn phát sinh từ khu dân cư, khu vực sản xuất trên toàn lưu vực và đề xuất những công nghệ xử lý phù hợp cho từng mục đích sử dụng, đặc biệt là phải tuần hoàn tái sử dụng phục vụ cho mục đích phát triển kinh tế xã hội. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để đưa ra các giải pháp công nghệ xử lý nước thải nhằm bảo vệ, phát triển nguồn nước trong khu vực theo hướng phát triển bền vững.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Vị trí các lưu vực sông chính thuộc tỉnh Bình Thuận



Hình 1. Bản đồ lưu vực sông chính tỉnh Bình Thuận [1].

### 2.2. Khảo sát, điều tra, thu thập thông tin dữ liệu về khai thác sử dụng nước, hoạt động kinh tế - xã hội, chất thải từ đất liền

Tiến hành điều tra, thu thập thông tin dữ liệu về tình hình khai thác sử dụng nước các lưu vực sông, hoạt động kinh tế xã hội, nước thải từ đất liền thông qua các tài liệu liên quan đến vùng nghiên cứu tại tỉnh Bình Thuận; Các tài liệu, tư liệu, kết quả điều tra của nghiên

cứ được phân tích và tổng hợp các thông tin cần thiết liên quan đến hoạt động sản xuất, kinh doanh, dịch vụ có phát sinh nước thải, để có cơ sở đánh giá mức độ ô nhiễm, khả năng tiếp nhận nước thải từ các hoạt động xả thải.

### 2.3. Phương pháp lấy mẫu và bảo quản mẫu

Mẫu nước mặt được lấy theo TCVN 6663-6:2018 “Hướng dẫn lấy mẫu nước sông và suối”. Sử dụng các bình polyetylen, polypropylene hoặc polycacbonat 1000 ml để lấy mẫu, khi lấy mẫu để phân tích vi sinh vật sử dụng các bình thủy tinh có màu tối đã khử trùng, mỗi bình lấy khoảng 250 ml. Mẫu nước sau khi lấy, bảo quản và lưu giữ theo TCVN 6663-6:2018 [11].

### 2.4. Phương pháp phân tích các chỉ tiêu chất lượng nước

Nghiên cứu tiến hành phân tích các chỉ tiêu: pH, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, sắt tổng, DO, TSS, BOD<sub>5</sub>, As, CN<sup>-</sup>, P-PO<sub>4</sub>. Phương pháp phân tích các chỉ tiêu được thực hiện dựa theo hướng dẫn quy định tại Thông tư 10/2021/TT-BTNMT [12–13]; so sánh kết quả phân tích chất lượng nước với QCVN 08:2023/BTNMT [14], QCVN 40:2021/BTNMT [15], QCVN 28:2010/BTNMT [16], QCVN 14:2015/BTNMT [17], QCVN 11:2015/BTNMT [18], QCVN 62:2021/BTNMT [19]. Các mẫu nước được phân tích tại Phòng phân tích thí nghiệm Nation Lab (VLAT 1-1.0517; ISO/IEC 17025.2017).

### 2.5. Phương pháp phân tích thống kê

Thu thập, kế thừa có chọn lọc các tài liệu, tư liệu và kết quả của các công trình nghiên cứu trong nước và quốc tế liên quan đến các nội dung nghiên cứu.

## 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

### 3.1. Khai thác sử dụng nguồn nước các lưu vực sông chính tỉnh Bình Thuận

Kết quả khảo sát, điều tra, thống kê hiện trạng khai thác, sử dụng nước và xả nước thải vào nguồn nước trên địa bàn tỉnh Bình Thuận đến năm 2023 cho thấy có 121.903 công trình khai thác sử dụng nước gồm: 9.757 công trình khai thác sử dụng nước mặt với lưu lượng nước mặt là 6.146.589 m<sup>3</sup>/ngày (chiếm 8%); 112.146 công trình khai thác sử dụng nước dưới đất (chiếm 92%). Tổng lưu lượng nước khai thác trên toàn tỉnh khoảng 6,274 triệu m<sup>3</sup>/ngày, trong đó: lưu lượng nước dưới đất 118 nghìn m<sup>3</sup>/ngày (chiếm 2%); lưu lượng nước mưa, nước mặt khoảng 6,154 triệu m<sup>3</sup>/ngày (chiếm 98%) [20]. Các mục đích chính sử dụng nước bao gồm: nước cho sinh hoạt, phục vụ sản xuất nông nghiệp, sản xuất công nghiệp, nuôi trồng thủy sản với số lượng công trình và lưu lượng khai thác như Bảng 1.

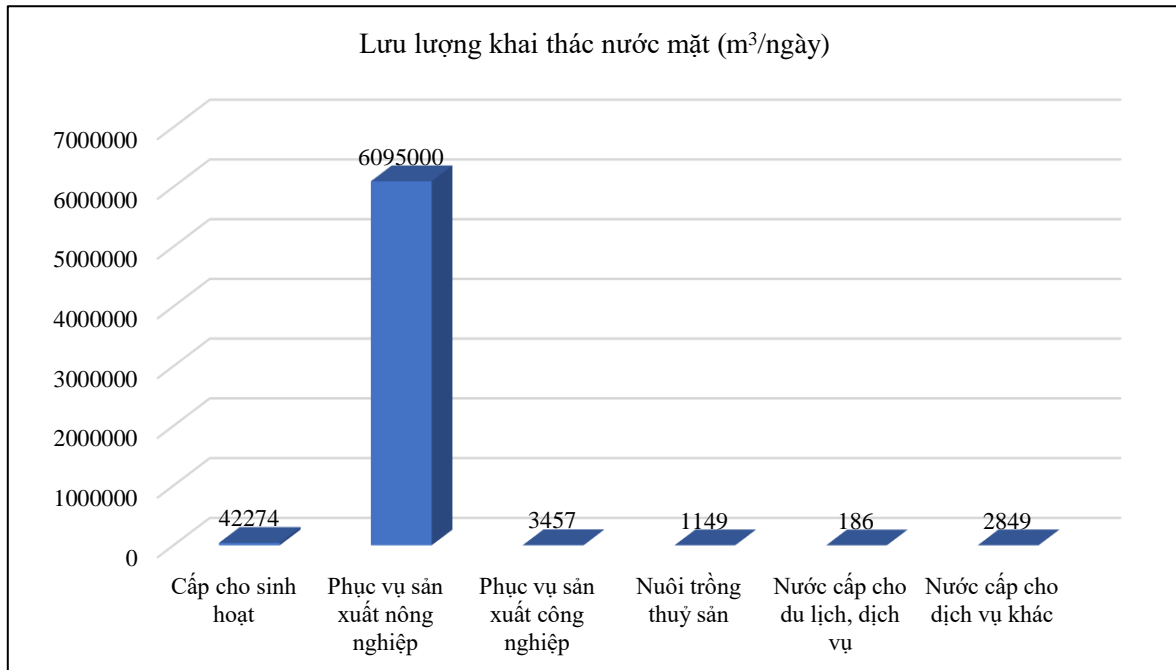
**Bảng 1.** Số công trình và lưu lượng khai thác sử dụng nước trên địa bàn tỉnh Bình Thuận.

STT	Mục đích sử dụng nước	Số công trình khai thác	Tổng lưu lượng khai thác (m <sup>3</sup> /ngày)	Nguồn nước mặt	
				Số công trình khai thác	Lưu lượng khai thác (m <sup>3</sup> /ngày)
1	Cấp cho sinh hoạt	106.892	106.869	7.735	42.274
2	Phục vụ sản xuất nông nghiệp	7.455	6.120.000	264	6.095.000
3	Phục vụ sản xuất công nghiệp	1.397	21.606	224	3.457
4	Nuôi trồng thủy sản	295	6.400	53	1.149
5	Nước cấp cho du lịch, dịch vụ	497	8.897	161	1.860
6	Nước cấp cho dịch vụ khác	5.367	10.469	1.320	2.849
<b>Tổng</b>		<b>121.903</b>	<b>6.274.241</b>	<b>9.757</b>	<b>6.146.589</b>

Tổng lưu lượng khai thác khoảng 106.869 m<sup>3</sup>/ngày, trong đó sử dụng nước cho sinh hoạt đô thị chủ yếu từ nguồn nước mặt (khoảng 70%). Có 32,7 nghìn công trình khai thác nước cho sinh hoạt đô thị, tổng lưu lượng khai thác khoảng 61 nghìn m<sup>3</sup>/ngày. Khai thác nước phục vụ sản xuất nông nghiệp, toàn tỉnh có khoảng 7.455 công trình khai thác, trong đó nước mặt có 264 công trình, với lưu lượng khai thác 6,095 triệu m<sup>3</sup>/ngày, chiếm 99,6% tổng lượng nước khai thác cho nông nghiệp. Nhìn chung, nước tưới cho nông nghiệp chủ yếu được khai thác từ nguồn nước mặt thông qua các hệ thống thủy lợi. Nước dưới đất chỉ chiếm một phần rất nhỏ, chủ yếu dùng để cung cấp nước tưới một vài loại cây như Thanh Long, táo và rau màu khu vực phân tán.

Toàn tỉnh có khoảng 1.397 công trình khai thác nước cho sản xuất công nghiệp (224 công trình khai thác nước mặt (16%) và 1.173 công trình khai thác nước dưới đất (84%) tổng số công trình). Số cơ sở công nghiệp tập trung chủ yếu vào công nghiệp chế biến, chiếm tới 93,6% số cơ sở (trong đó ngành chế biến nông - lâm - hải sản chiếm 51%). Khai thác nước phục vụ sản xuất công nghiệp trên địa bàn tỉnh chủ yếu được lấy từ nguồn nước dưới đất. Lượng nước khai thác, sử dụng tổng cộng khoảng 21.606 m<sup>3</sup>/ngày, tương đương với khoảng 7,7 triệu m<sup>3</sup>/năm (trong đó: tại các cơ sở sản xuất phân tán khoảng 7,1 triệu m<sup>3</sup>/năm (96,6%); tại các khu công nghiệp khoảng 0,2 triệu m<sup>3</sup>/năm (3,3%); các làng nghề khoảng 396 m<sup>3</sup>/năm (0,1%). Đối với hoạt động khai thác nước cho nuôi trồng thủy sản: có 53 công trình khai thác nước mặt và 242 công trình khai thác nước dưới đất. Tổng lượng nước khai thác đạt khoảng 6,4 nghìn m<sup>3</sup>/ngày.

Nước sử dụng trong du lịch, dịch vụ với tổng lưu lượng khai thác khoảng 8.897m<sup>3</sup>/ngày. Trong đó, có 161 công trình sử dụng nguồn nước mặt với lưu lượng khoảng 1.860 m<sup>3</sup>/ngày, còn lại đối với dịch vụ khác, toàn tỉnh có khoảng 5.367 công trình khai thác nguồn nước với tổng lưu lượng khai thác khoảng 10.469 m<sup>3</sup>/ngày, trong đó có 1320 công trình sử dụng nguồn nước mặt với lưu lượng khoảng 2.849 m<sup>3</sup>/ngày. Lưu lượng khai thác lớn nhất ở huyện Bắc Bình, Đức Linh và Tuy Phong [21].



**Hình 2.** Lưu lượng khai thác nước mặt ứng với các mục đích sử dụng.

### 3.2. Nguồn phát sinh nước thải tác động đến chất lượng nước các sông chính tỉnh Bình Thuận

Các nguồn phát sinh nước thải trên các lưu vực sông từ các KCN/CCN tập trung, các cơ sở công nghiệp nằm phân tán như chăn nuôi tập trung; nuôi trồng sản; sản xuất tiểu thủ công nghiệp và một số loại hình sản xuất công nghiệp khác; khu du lịch, và bệnh viện (Bảng 2).

**Bảng 2.** Nguồn phát sinh nước thải đổ vào các lưu vực sông.

Lưu vực	Nguồn phát sinh nước thải
Sông Lòng Sông	Nguồn nước thải từ Công ty du lịch; Công ty may mặc, và bệnh viện tập trung tại Thị trấn Liên Hương, xã Phú Lạc, xã Bình Thạnh.
Sông Lũy	Từ cơ sở sản xuất bún); Các hoạt động sản xuất công nghiệp: sản xuất chế biến hạt dưa, sản xuất tinh bột mì, vật liệu xây dựng (gạch men Ceramic), sản xuất bao bì giấy, chế biến thủy sản và bệnh viện.
Sông Cái Phan Thiết	Hoạt động chủ yếu là các trang trại chăn nuôi heo; Các cơ sở sản xuất tiểu thủ công nghiệp: chế biến cá cơm, sản xuất bún, bánh phở; Các cơ sở chế biến thủy sản; Hoạt động của KCN Phan Thiết, CCN Phú Hải; Dịch vụ du lịch TP. Phan Thiết và các bệnh viện lớn.
Sông Cà Ty	Hoạt động là các trang trại chăn nuôi heo; Sản xuất công nghiệp: Cấp thoát nước, xử lý nước thải, giặt ủi; Khu công nghiệp: Hàm Kiệm, cảng cá Phan Thiết; Dịch vụ du lịch, khách sạn và bệnh viện.
Sông Phan	Các cơ sở sản xuất tiểu thủ công nghiệp, chế biến cá cơm và sản xuất bún; Hoạt động nuôi trồng thủy sản: Các cơ sở công nghiệp nằm phân tán với hoạt động chế biến nông sản (chế biến tinh bột sắn); Hoạt động dịch vụ du lịch; bệnh viện.
Sông Dinh	Lưu vực sông Cô Kiều (sông Dinh), Nước thải sinh hoạt trên lưu vực đều chưa được thu gom và xử lý tập trung, nước thải chứa trong bể tự hoại cho thấm đất, thải trực tiếp ra sông hoặc để chảy tràn theo địa hình tự nhiên xuống các khu vực trũng thấp xung quanh.
Sông La Ngà	Lưu vực suối Cầu Giá (sông La Ngà), Trên lưu vực chưa có hệ thống thu gom và nhà máy XLNT sinh hoạt tập trung. Nước thải sinh hoạt ở khu vực này chủ yếu xử lý thông qua bể tự hoại, tự thấm, xả tràn ra đất hoặc xả trực tiếp ra suối.

### 3.3. Hiện trạng chất lượng nước tại các lưu vực sông tỉnh Bình Thuận

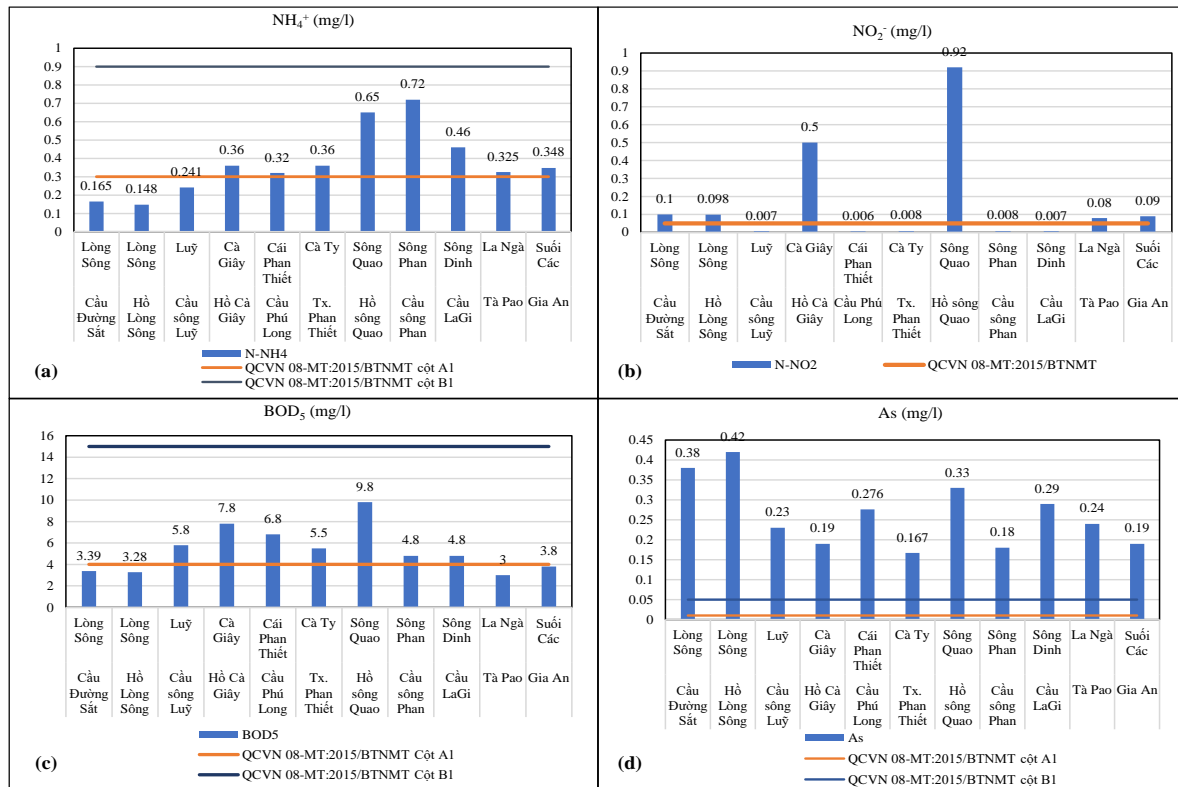
Chất lượng nước mặt tại các lưu vực sông chính tỉnh Bình Thuận có diễn biến gia tăng ô nhiễm ở nhiều khu vực trên các hệ thống sông, đặc biệt là trong mùa khô ở những đoạn sông chảy qua các khu đô thị, khu công nghiệp, khu vực tập trung dân cư [22].

**Bảng 3.** Chất lượng nước mặt ở một số lưu vực sông thuộc tỉnh Bình Thuận [1].

STT	Vị trí lấy mẫu	Sông	Thông số hóa lý										
			pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Sắt tổng	DO	BOD <sub>5</sub>	Al	As	CN <sup>-</sup>
1	Cầu Đường Sắt	Lòng Sông	7,2	0,2	0,10	0,165	0,89	1,0	6	3,39	0,06	0,38	0,006
2	Hồ Lòng Sông	Lòng Sông	7,3	0,2	0,098	0,148	0,52	1,42	6,6	3,28	0,06	0,42	0,009
3	Cầu sông Lũy	Lũy	7,6	0,75	0,007	0,241	0,63	0,71	5,2	5,8	0,05	0,23	0,009
4	Hồ Cà Giây	Cà Giây	8,0	0,42	0,5	0,36	0,22	0,34	4,2	7,8	0,05	0,19	0,009
5	Cầu Phú Long	Cái Phan Thiết	7,7	0,45	0,006	0,32	0,46	0,62	4,5	6,8	0,04	0,276	0,007
6	Tx. Phan Thiết	Cà Ty	7,6	0,56	0,008	0,36	0,57	0,52	4,9	5,5	0,05	0,167	0,008
7	Hồ sông Quao	Sông Quao	7,5	1,04	0,92	0,65	0,22	0,23	3,6	9,8	0,04	0,33	0,009
8	Cầu sông Phan	Sông Phan	7,9	0,68	0,008	0,72	0,63	0,52	5,6	4,8	0,05	0,18	0,008
9	Cầu LaGi	Sông Dinh	7,5	0,65	0,007	0,46	0,58	0,52	5,6	4,8	0,04	0,29	0,007
10	Tà Pao	La Ngà	7,1	1,28	0,08	0,325	0,533	1,77	6,1	3	0,04	0,24	0,005
11	<b>Gia An</b>	<b>Suối Các</b>	<b>6,7</b>	<b>1,4</b>	<b>0,09</b>	<b>0,348</b>	<b>0,74</b>	<b>0,75</b>	<b>5,7</b>	<b>3,8</b>	<b>0,05</b>	<b>0,19</b>	0,008

Kết quả được so sánh với QCVN 08:2023/BTNMT

Kết quả ở bảng 3 cho thấy hầu hết các vị trí lấy mẫu phân tích đều bị ô nhiễm các chỉ tiêu điển hình như NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, BOD<sub>5</sub>, As ở các mức độ khác nhau, đặc biệt hàm lượng Asen trong nước của tất cả các sông đều vượt quá tiêu chuẩn cho phép nhiều lần.



**Hình 3.** Kết quả phân tích các chỉ tiêu chất lượng nước ở các vị trí lấy mẫu phân tích (a) chỉ tiêu NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (b) chỉ tiêu NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, (c) chỉ tiêu BOD<sub>5</sub>, (d) chỉ tiêu As.

### 3.4. Đề xuất giải pháp tiền đề cho mục tiêu phát triển bền vững nguồn nước các lưu vực sông chính tỉnh Bình Thuận

Phát triển nguồn nước bền vững hướng tới phát triển bền vững tài nguyên nước, nâng cao khả năng khai thác và giá trị của tài nguyên nước. Nghiên cứu khai thác các ao hồ, bảo vệ hành lang nguồn nước và đề xuất công nghệ trình xử lý nước thải, với các công nghệ đề xuất xử lý tuần hoàn nước cho nước thải sinh hoạt, nước thải công nghiệp, nước thải chế biến thủy sản, nước thải trong các nhà hàng khách sạn hoạt động du lịch,...và đem lại hiệu quả cao.

#### 3.4.1. Giải pháp tiền đề khai thác nguồn nước từ các công trình thủy lợi, hồ chứa

Hồ chứa thủy lợi và các hồ chứa nước khác gồm hồ tự nhiên, nhân tạo ở các đô thị, khu dân cư tập trung; Các hồ, ao lớn có chức năng điều hòa ở các khu vực khác; sông, kênh, rạch là nguồn cấp nước, trực tiêu nước hoặc có tầm quan trọng đối với các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội và bảo vệ môi trường.

Hiện đại hóa hệ thống công trình thủy lợi hiện có, lắp đặt hệ thống quan trắc dự báo nguồn nước tại hồ chứa, hệ thống vận hành, giám sát tự động SCADA, hệ thống quan trắc mực nước, lưu lượng, chất lượng nước trên kênh. Đầu tư hồ chứa La Ngà 3 với dung tích 476 triệu m<sup>3</sup>, năng lực tưới 77.000 ha, trong đó Bình Thuận 60.000 ha cùng với hệ thống kênh chuyên nước kết nối nguồn nước giữa các hồ chứa (Kênh chuyên nước phía Nam tỉnh, kênh chuyển nước Hàm Tân - La Gi, Kênh tiếp nước Ka Pét - Sông Móng) để đảm bảo phát huy hết nguồn nước thủy điện cấp nước khu vực phía Nam, chủ động ứng phó với biến đổi khí hậu. - Đầu tư các hồ chứa Tân Lê (Tuy Phong); hồ Cà Tót (Bắc Bình); hồ Sông Tom và hồ Sông Giêng (Hàm Tân) và các trạm bơm Hồng Liêm, trạm bơm khu tưới Bắc Sông Quao (Hàm Thuận Bắc), trạm bơm vượt cấp xã Mê Pu (Đức Linh), trạm bơm vượt cấp trên kênh chính Bắc, hệ thống thủy lợi Tà Pao (Tánh Linh). Hoàn chỉnh hệ thống kênh các khu tưới như: (i) hệ thống kênh nhánh hồ Sông Dinh 3, hệ thống kênh hồ Sông Lũy; (ii) các kênh chuyển nước nối mạng tiếp nước Cà Giấy - Cây Cà, kênh tiếp nước Sông Móng - Đu Đủ -

Tân Lập - Tà Mon, kênh tiếp nước Biển Lạc (Hàm Tân), kênh chuyển nước hồ Sông Dinh 3 - hồ Núi Đất... - Đầu tư mới các hệ thống kênh nối mạng chuyên nước kênh Đu Đủ - Tân Thành (Hàm Thuận Nam), kênh Ku Kê - Hàm Hiệp (Hàm Thuận Bắc) bằng giải pháp đường ống để hạn chế thất thoát nước và đảm bảo chất lượng nước phục vụ sinh hoạt.

Xác định phạm vi hành lang bảo vệ của từng nguồn nước và xây dựng bản đồ khoanh vùng hành lang bảo vệ nguồn nước; Xây dựng và công bố danh mục các nguồn nước phải lập hành lang bảo vệ trên địa bàn. Lập danh mục các nguồn nước bị ô nhiễm, suy thoái, cạn kiệt và đề xuất giải pháp xử lý, khôi phục.

### 3.4.2. Giải pháp xử lý nước thải sinh hoạt, nhà hàng khách sạn trên các lưu vực sông

Theo Báo cáo hiện trạng môi trường Quốc gia năm 2016-2020 của Bộ TN&MT, tính đến năm 2020, tổng số 787 đô thị trên cả nước chỉ có 42 đô thị có công trình xử lý nước thải đạt tiêu chuẩn quy định, chiếm tỷ lệ 5,3% [11]. Nghiên cứu đánh giá về tình trạng xử lý nước thải sinh hoạt tại các đô thị Việt Nam của World Bank cũng cho thấy: mặc dù 60% hộ gia đình Việt Nam đầu nối xả nước thải vào hệ thống thoát nước công cộng nhưng hầu hết nước thải được xả thẳng ra hệ thống tiêu thoát nước bề mặt và chỉ khoảng 10% nước thải đô thị ở Việt Nam được xử lý trong các nhà máy tập trung [11–13].

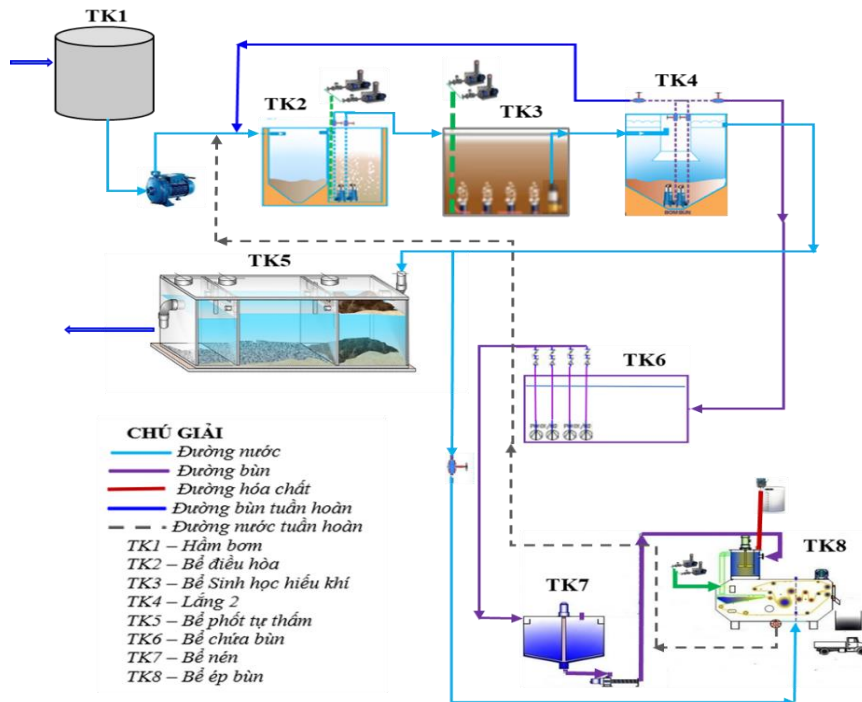
Nghiên cứu đã đưa ra các số liệu minh chứng nguồn gây ô nhiễm nước mặt trên các lưu vực sông chính tỉnh Bình Thuận do nước thải từ các hoạt động kinh tế xã hội gây ra. Lưu vực sông Lòng Sông, nước thải sinh hoạt phát sinh chủ yếu ở khu vực xã Phú Lạc, xã Phong Phú và nhiều nhất là thị trấn Liên Hương huyện Tuy Phong. Nước thải được đưa vào bể tự hoại hoặc theo hệ thống cống chung của thị trấn thải ra sông. Lưu vực sông Lũy, nước thải sinh hoạt phát sinh từ thị trấn Lương Sơn, thị trấn Chợ Lầu, thị trấn Phan Rí Thành và thị trấn Phan Rí Cửa. Phần lớn nước thải không được xử lý theo các tuyến cống chính thải trực tiếp ra các sông, suối hoặc cho thấm đất. Kết quả phân tích so với QCVN 14:2015/BTNMT, các thông số TSS có giá trị vượt quy chuẩn gấp 1,56 lần, BOD<sub>5</sub> vượt 3,5 lần, Amoni vượt 1,45 lần và coliform vượt 420 lần.

Lưu vực sông Cà Ty Công tác đầu tư xây dựng, cải tạo hệ thống thu gom, xử lý nước thải sinh hoạt đã được chính quyền địa phương quan tâm, tuy nhiên sự đầu tư cải tạo thiếu đồng bộ trên toàn lưu vực, các phường Đức Long, Đức Thắng, Đức Nghĩa, Lạc Đạo, Bình Hưng, Hưng Long, Phú Trinh, Phú Thủy, Phú Tài trên địa bàn TP. Phan Thiết. Lấy mẫu nước thải sinh hoạt tại vị trí cống xả nước gần Khách sạn Cà Ty (X=1209370; Y=183165); Nước thải trước khi đổ ra sông Cà Ty có các chỉ tiêu TSS, BOD<sub>5</sub>, Anomi và Coliform vượt QCVN 14:2015/BTNMT, cột B. TSS vượt 2,05 lần, BOD<sub>5</sub> vượt 3,12 lần; Amoni vượt 1,36 và Coliform vượt 1.900 lần. Lưu vực sông Phan chưa có hệ thống thu gom và nhà máy xử lý nước thải sinh hoạt tập trung.

Lưu vực sông Phan, các cơ sở nhà hàng, khách sạn trên lưu vực tập trung chủ yếu ở xã Tân Thuận, xã Tân Lập, thị trấn Thuận Nam thuộc huyện Hàm Thuận Nam. Qua điều tra 04 cơ sở chỉ có 02 cơ sở có hệ thống xử lý nước thải sử dụng công nghệ MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*) trong đó, sử dụng các vật làm giá thể cho vi sinh dính bám vào để sinh trưởng và phát triển, là sự kết hợp giữa Aerotank truyền thống và lọc sinh học hiếu khí. Hiện hệ thống xử lý của 02 cơ sở đang vận hành tốt. Hai cơ sở không có hệ thống xử lý, nước thải phát sinh trong quá trình sản xuất được đưa vào bể tự hoại sau đó cho thấm đất trong khuôn viên của các cơ sở hoặc trữ nước trong hồ chứa để tưới cây.

Lưu vực sông Cái Phan Thiết, ở khu vực ngoại thành TP. Phan Thiết và huyện Hàm Thuận Bắc nước thải chưa có hệ thống thu gom. Các phường thuộc nội thành TP. Phan Thiết gồm Bình Hưng, Hưng Long, Phú Trinh, Phú Thủy, Phú Tài, Thanh Hải, Xuân An đã có hệ thống thoát nước và thu gom nước thải sinh hoạt về hệ thống xử lý tập trung. Nước thải sinh hoạt TP. Phan Thiết được xử lý với công suất 5.000 m<sup>3</sup>/ngày. đêm. Nghiên cứu đề xuất công nghệ theo hình 4, nước thải sau xử lý tại trạm xử lý nước thải TP. Phan Thiết (X=1238277; Y=238204). Cho kết quả đạt QCVN 14:2015/BTNMT.



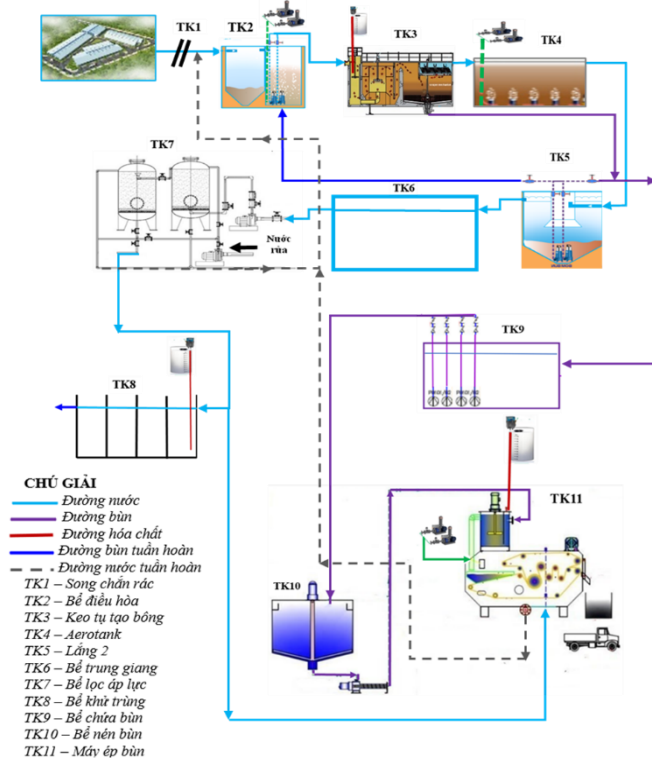


**Hình 4.** Sơ đồ công nghệ xử lý nước thải sinh hoạt và nước thải nhà hàng khách sạn.

### 3.4.3. Giải pháp xử lý nước thải công nghiệp

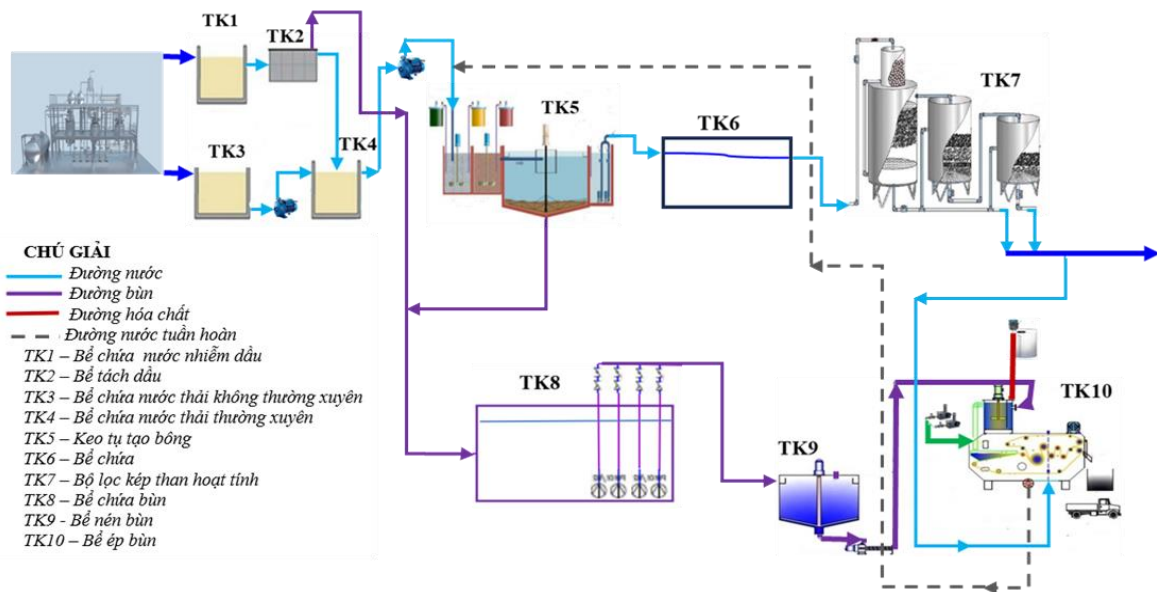
Nước thải công nghiệp và nước thải làng nghề thủ công mỗi ngày có hàng ngàn mét khối không qua xử lý, xả thẳng ra các lưu vực sông. Các khu công nghiệp, cụm công nghiệp, tình trạng ô nhiễm cũng có thể thấy rõ rệt như ở các thành phố lớn Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh. Ô nhiễm nguồn nước chính là mặt trái của quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa, cơ sở hạ tầng chưa đồng bộ, lạc hậu, nhận thức của doanh nghiệp và người dân về môi trường chưa cao. Đặc biệt, các nhà máy, xí nghiệp vẫn chưa có biện pháp ứng dụng công nghệ xử lý nước thải phù hợp để giảm thiểu tình trạng đáng báo động này.

Lưu vực các sông chính tỉnh Bình Thuận không ngoại lệ; sông Cái Phan Thiết nước thải phát sinh từ các cơ sở, nhà máy tại khu công nghiệp Phan Thiết đều có hợp đồng dịch vụ xử lý nước thải với công ty cổ phần vật liệu xây dựng và khoáng sản Bình Thuận về việc đầu nối nước thải về trạm xử lý nước thải tập trung của khu công nghiệp. Nước thải từ nhà vệ sinh được dẫn về hầm tự hoại ba ngăn để xử lý sơ bộ sau đó xả về hố nước tại mỗi cơ sở để đầu nối với mương thoát nước thải chung của khu công nghiệp (Hình 5). Áp dụng công nghệ tại XLNT KCN Phan Thiết I; tọa độ (X=1212387; Y=182944), đạt QCVN 40:2021/BTNMT.



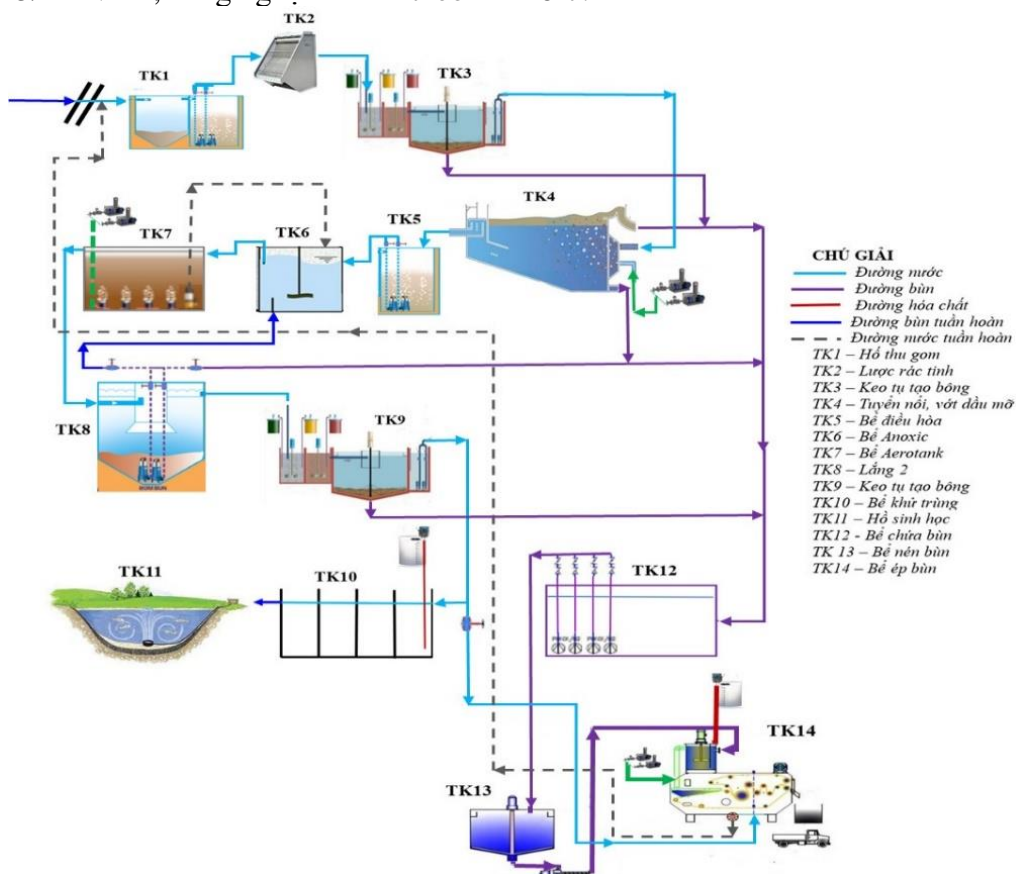
**Hình 5.** Sơ đồ công nghệ xử lý nước thải khu công nghiệp.

3.4.4. Giải pháp xử lý nước thải các cơ sở sản xuất chế biến thủy sản



Hình 6. Sơ đồ công nghệ xử lý nước thải cá com.

Lưu vực sông Phan, các cơ sở chế biến cá com trên lưu vực tập trung ở xã Tân Tiến, xã Tân Hải thuộc thị xã La Gi. Hầu hết các cơ sở không xử lý nước thải, do độ mặn trong nước thải khá cao làm cho việc xử lý gặp rất nhiều khó khăn và kinh phí đầu tư cao nên các cơ sở sản xuất chưa mạnh dạn đầu tư, nước thải chỉ được thu gom xử lý sơ bộ bằng hố ga chảy ra sông hoặc cho tự thấm. Xây dựng công nghệ điển hình phù hợp tại khu xử lý nước thải tập trung cụm công nghiệp Phú Hải (X=1211371; Y=187085), kết quả đạt QCVN 11:2015/BTNMT, công nghệ đề xuất theo hình 6-7.



Hình 7. Sơ đồ công nghệ xử lý nước thải chế biến thủy sản.

### 3.4.5. Giải pháp xử lý nước thải y tế

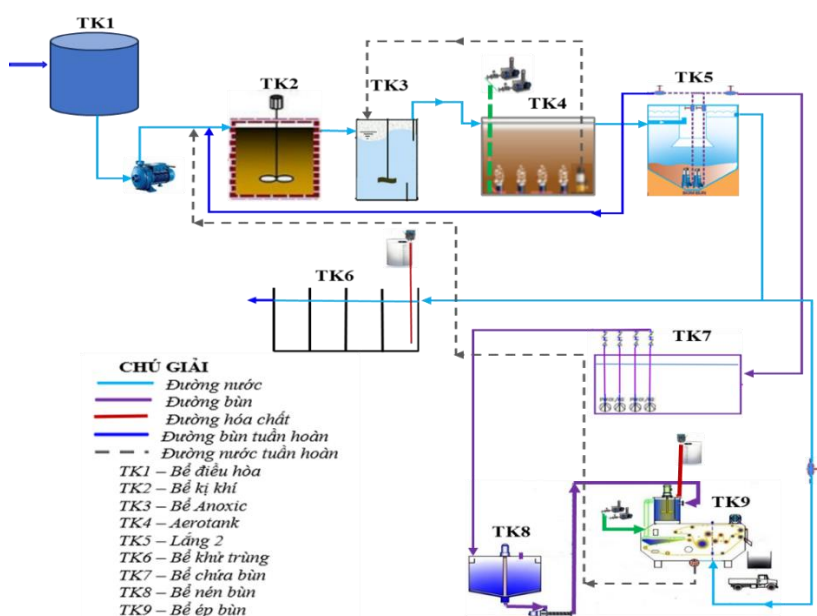
Công nghệ AAO xử lý nước thải y tế; AAO được hoàn thiện về kỹ thuật, quy trình công nghệ và trở thành một trong các biện pháp xử lý nước thải phổ biến cho ngành y tế. Sơ đồ công nghệ xử lý nước thải AAO ứng dụng cho các loại nước thải có tỷ lệ BOD/COD > 0,5 và có hàm lượng hợp chất hữu cơ dễ phân hủy sinh học cao. Công nghệ này xử lý triệt để các chất dinh dưỡng. Ưu điểm, vận hành ổn định, dễ thực hiện, phù hợp với điều kiện tự nhiên Việt Nam hiện nay.

Lưu vực sông Lòng Sông, bệnh viện huyện Tuy Phong, đã đầu tư xây dựng hoàn chỉnh hệ thống xử lý nước thải, được sở Y tế quan tâm đầu tư nên hệ thống thu gom và xử lý nước thải y tế của bệnh viện hoạt động tốt, nước thải phát sinh trong quá trình khám chữa bệnh, sinh hoạt của người bệnh được thu gom dẫn về hệ thống xử lý nước thải tập trung, hệ thống hiện được vận hành thường xuyên, ổn định.

Lưu vực sông Lũy, bệnh viện đa khoa Bắc Bình Thuận, theo Báo cáo tình hình quản lý chất thải y tế, công trình xử lý nước thải chưa hoàn chỉnh nên chưa đi vào hoạt động, nước thải y tế của bệnh viện được thu gom vào hầm chứa cho thấm đất.

Lưu vực sông Phan, bệnh viện Hàm Thuận Nam, nước thải từ các hoạt động khám và điều trị bệnh, nước thải sau xử lý từ bể tự hoại 3 ngăn, dẫn về hệ thống tập trung để xử lý.

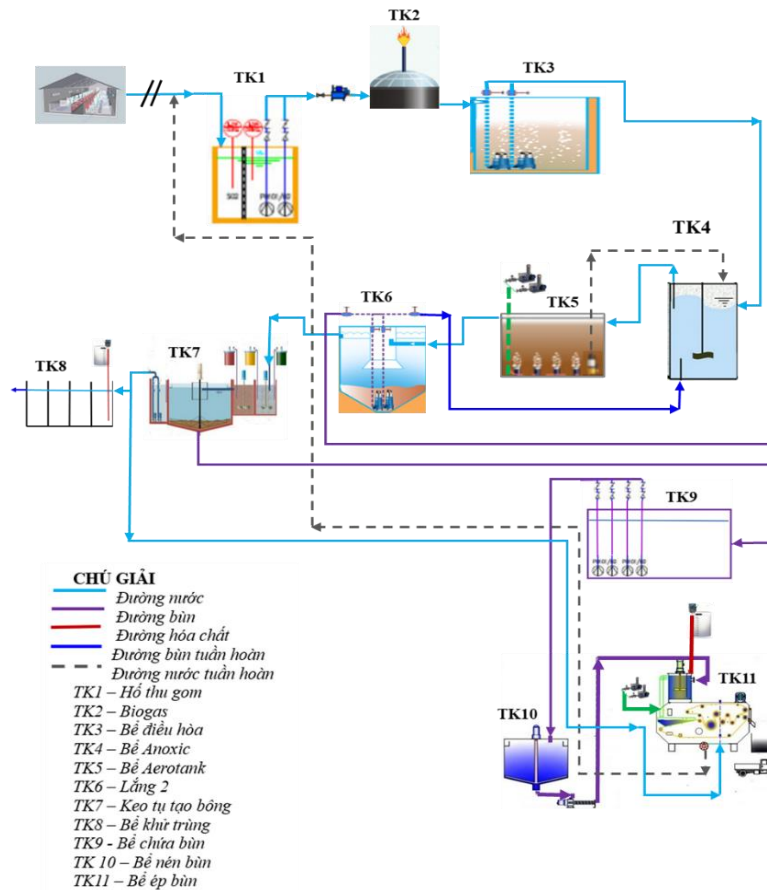
Lưu vực sông Cái Phan Thiết, các bệnh viện tuyến huyện, trung tâm y tế lớn đã đầu tư xây dựng hệ thống xử lý nước thải, hiện trên lưu vực có 04 bệnh viện trong đó bệnh viện đa khoa huyện Hàm Thuận Bắc, bệnh viện Lao và Bệnh Phổi, và bệnh viện đa khoa tỉnh Bình Thuận đã xây dựng hệ thống xử lý nước thải. Bệnh viện TP. Phan Thiết xây dựng hoàn chỉnh hệ thống XLNT, nước thải được thu gom và xử lý sơ bộ bằng hầm tự hoại đổ trực tiếp vào mương thoát nước của khu dân cư dẫn ra hệ thống công chung trên đường Hải Thượng Lãn Ông. Đối với bệnh viện Tâm Phúc hiện sử dụng công nghệ hóa sinh để xử lý nước thải, bệnh viện đa khoa An Phước xử lý đầy đủ các công đoạn yếm khí, hiếu khí, oxy hóa, khử trùng, khử mùi. Đạt QCVN 28:2010/BTNMT. Sơ đồ hệ thống xử lý nước thải của bệnh viện (Hình 8).



**Hình 8.** Xử lý nước thải y tế tại TP Phan Thiết.

### 3.4.6. Giải pháp xử lý nước thải chăn nuôi

Chăn nuôi heo mô hình tập trung, số lượng lớn, dễ kiểm soát, nhưng dễ gây dịch bệnh và gia tăng ô nhiễm môi trường. Giải pháp xử lý công nghệ cao của Viện Môi trường và kinh tế tuần hoàn Miền Nam (ICERES) cho nước thải chăn nuôi heo có khả năng xử lý phân chuồng, nước thải, mùi hôi, đạt QCVN 62:2021/BTNMT (Hình 9).



**Hình 9.** Sơ đồ công nghệ xử lý nước thải chăn nuôi.

**3.5. Kết quả nghiên cứu các giải pháp xử lý nước thải**

Đề xuất công nghệ điển hình áp dụng vào các công trình hiện hữu đang xử lý nước thải sinh hoạt, nước thải công nghiệp, nước thải chế biến thủy sản... là những dạng nước thải xả thải vào lưu vực sông chính tỉnh Bình Thuận. Kết quả trong bảng 4.

**Bảng 4.** Kết quả nghiên cứu các hệ thống xử lý nước thải điển hình.

Loại công trình/ Hiệu quả xử lý	Thông số ô nhiễm										
	pH	DO mg/l	BOD <sub>5</sub> mg/l	COD mg/l	TSS mg/l	Amoni mg/l, (N)	NO <sub>3</sub> , mg/l	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/l	Dầu mỡ mg/l	Chất HB BM	Coliform MNP/100 ml
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
<b>I NƯỚC THẢI SINH HOẠT</b>											
TXL	6,1	4,6	273	397	256	16,5	52	6,8	4,8	5,2	21x103
SXL	7,2	5,6	29,2	35,7	47	4,8	25,2	6	4,1	3,8	500
Hiệu quả %	-	-	89,3	91,1	81,6	74,1	51,5	85	68,5	37	-
Kết quả được so sánh với QCVN 14: 2015/BTNMT											
<b>II NƯỚC THẢI CÔNG NGHIỆP</b>											
TXL	5,2	3,2	5200	7324	186	15	38	7	23	-	9100
SXL	8,3	5,6	29	65	43	5	23	6	9,6	-	490
Hiệu quả %	-	-	99,4	99,1	76,9	66,7	39,1	-	58,2	-	-
Kết quả được so sánh với QCVN 40: 2021/BTNMT											
<b>III NƯỚC THẢI CHẾ BIẾN CÁ COM</b>											
TXL	3,9	4,1	8200	11532	199	23	46	24	-	-	8200
SXL	6,7	6,2	30	67	44	4,5	28	5	-	-	200
Hiệu quả %	-	-	99,6	99,4	77,8	80,4	39,1	79,1	-	-	-

Loại công trình/ Hiệu quả xử lý	Thông số ô nhiễm										
	pH	DO mg/l	BOD <sub>5</sub> mg/l	COD mg/l	TSS mg/l	Amoni mg/l, (N)	NO <sub>3</sub> , mg/l	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/l	Dầu mỡ mg/l	Chất HB BM	Coliform MNP/100 ml
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Kết quả được so sánh với QCVN 11: 2015/BTNMT											
IV NƯỚC THẢI CHẾ BIẾN THỦY SẢN											
TXL	6,9	-	3590	4358	256	59	67	10	-	-	9100
SXL	7,3	-	28	69	47	5	9	4,5	-	-	2000
Hiệu quả %	-	-	99,4	98,4	81,6	91,5	95	55	-	-	-
Kết quả được so sánh với QCVN 11: 2015/BTNMT											
V NƯỚC THẢI Y TẾ											
TXL	6,6-7	-	8900	12350	330	55	97	19	32	11	12000
SXL	8,1	-	30	47	49	4,8	27	5,9	9	4	3000
Hiệu quả %	-	-	99,6	99,6	86,3	91,2	72,1	68,9	-	-	-
Kết quả được so sánh với QCVN 28: 2010/BTNMT											
VI NƯỚC THẢI TRANG TRẠI CHĂN NUÔI											
TXL	6,1	4,5	8300	13.000	164	32	450	11	-	-	14000
SXL	8,2	6,1	35	98	36	8	47	5	-	-	1500
Hiệu quả %	-	-	99,5	99,2	78	75	89,5	-	-	-	-
Kết quả được so sánh với QCVN 62: 2021/BTNMT											

Chú thích: TXL: Trước xử lý; SXL: Sau xử lý; HQ: Hiệu quả xử lý.

#### 4. Kết luận

Trên các lưu vực sông chính tỉnh Bình Thuận có các nghiên cứu về tài nguyên nước phục vụ cho phát triển kinh tế xã hội của địa phương. Đã có các đề tài, dự án thực hiện cho từng lưu vực sông riêng lẻ, hầu hết tập trung đánh giá từng đoạn sông để định hướng quản lý nguồn nước. Quản lý tài nguyên nước lưu vực sông hiện vẫn theo phương thức truyền thống chủ yếu là quản lý theo từng ngành dùng nước. Trên lưu vực sông chưa xây dựng được cơ chế và chính sách cho sử dụng nước tổng hợp. Nghiên cứu này đề cập đến vấn đề suy thoái cạn kiệt và chất lượng nguồn nước cũng như những giải pháp công nghệ xử lý kiểm soát nguồn thải. Cùng một thời gian nghiên cứu thực hiện trong không gian toàn bộ các lưu vực sông chính, nghiên cứu tình trạng xả thải nước thải vào các lưu vực sông là những nguyên nhân gây ô nhiễm nguồn nước mặt cho các lưu vực sông, nghiên cứu giải pháp tiền đề công nghệ xử lý cho các dạng nước thải khác nhau.

Phát triển nguồn nước, hướng đến phát triển bền vững tài nguyên nước tỉnh Bình Thuận, công tác bảo vệ và phát triển bền vững nguồn nước mặt cần thiết nghiên cứu tác động của các nguồn thải, tính toán tải lượng ô nhiễm, xây dựng bản đồ chất lượng nước các lưu vực sông, ứng dụng mô hình toán mô phỏng đánh giá dự báo chất lượng nước là nhiệm vụ tổng hợp. Bài báo đã đưa ra các giải pháp tiền đề cho mục tiêu phát triển bền vững nguồn nước các lưu vực sông. Trong đó, xây dựng công nghệ xử lý các loại hình nước thải khác nhau phù hợp, nước thải sau xử lý đạt QCVN cho từng loại nước thải, khi xả thải vào các sông không còn gây ô nhiễm nước mặt, góp phần bảo vệ nguồn nước hiện tại và tương lai.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: H.P., T.T.M.H., N.T.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: H.P., T.T.M.H., N.T.H.; Phân tích mẫu: H.P., T.T.M.H.; Lấy mẫu: H.T.N.H., H.P.; Viết bản thảo bài báo: H.P.; T.T.M.H.; Chính sửa bài báo: H.P., H.T.N.H., N.T.H.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu thực hiện dưới sự tài trợ của dự án “Lập danh mục nguồn nước và thiết lập hành lang bảo vệ nguồn nước trên địa bàn tỉnh Bình Thuận nhằm quản lý, khai thác sử dụng, bảo vệ tài nguyên nước (Viện Phát triển Công nghệ Môi trường và Tài nguyên nước Phú Mỹ).

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

### **Tài liệu tham khảo**

1. Phú, H. Dự án “Lập danh mục nguồn nước và thiết lập hành lang bảo vệ nguồn nước trên địa bàn tỉnh Bình Thuận nhằm quản lý, khai thác sử dụng, bảo vệ tài nguyên nước. Viện Phát triển Công nghệ Môi trường và Tài nguyên nước Phú Mỹ. 2021-2022.
2. Quyết định số: 2072 /QĐ-UBND Bình Thuận, ngày 04 tháng 10 năm 2022. Về việc phê duyệt danh mục nguồn nước phải lập hành lang bảo vệ nguồn nước trên địa bàn tỉnh Bình Thuận. 2022.
3. Huynh, P.; Tran, T.M.H.; Huynh, T.N.H. Environmental pollution along the coast of Binh Thuan province, caused by the discharge of wastewater into the main river basins from the mainland. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2023**, 1278, 012032.
4. Báo cáo Quy hoạch phát triển thủy lợi tỉnh Bình Thuận giai đoạn 2011 - 2020 tầm nhìn 2030.
5. Luật số: 28/2023/QH15. Luật tài nguyên nước, ngày 27 tháng 11 năm 2023.
6. Luật số: 72/2020/QH14. Luật bảo vệ môi trường, ngày 17 tháng 11 năm 2020.
7. Phú, H. Bài giảng Cao học “Các quá trình cơ bản trong kỹ thuật môi trường”. HUTECH, 2018.
8. Hạ, T.Đ. Xử lý nước thải đô thị. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội. 2016.
9. Phú, H và cs. Dự án: Nghiên cứu xác lập cơ sở khoa học đánh giá tính dễ bị tổn thương du lịch biển và đề xuất giải pháp thích ứng biến đổi khí hậu tại thành phố Phan Thiết, tỉnh Bình Thuận. Viện Phát triển Công nghệ môi trường và Tài nguyên nước. 2021.
10. Phu, H.; Do, N.T.; Han, H.T.N.; Ha, T.T.M. Assessing surface water quality of main rivers in Binh Thuan province by WQI index and proposing solutions to protect water resources. *VN J. Hydro-Meteorol.* **2022**, 13, 118–133. doi:10.36335/VNJHM.2022.13. 118-133.
11. TCVN 6663-6:2018. “Hướng dẫn lấy mẫu nước sông và suối”.
12. Thông tư số 10/2021/TT-BTNMT của Bộ Tài nguyên và Môi trường. Quy định kỹ thuật quan trắc môi trường và quản lý thông tin, dữ liệu quan trắc chất lượng môi trường. 2021.
13. Thái, N.T.K.; Thảo, L.T.H.; Hạ, T.Đ.; Sơn, T.M.; Bách, L.T.; Tường, L.N.; Hà, V.V. Quy trình Quan trắc và phân tích chất lượng môi trường. Nhà xuất bản xây dựng, 2014.
14. QCVN 08:2023/BTNMT. “Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt”.
15. QCVN 40:2011/BTNMT. “Quy chuẩn về nước thải công nghiệp”.
16. QCVN 28:2010/BTNMT. “Quy chuẩn về nước thải y tế”.
17. QCVN 14:2015/BTNMT. “Quy chuẩn về nước thải sinh hoạt”.
18. QCVN 11:2015/BTNMT. “Quy chuẩn về nước thải chế biến thủy sản”.
19. QCVN 62:2021/BTNMT. “Quy chuẩn về nước thải chăn nuôi”.
20. Hou, W.; Sun, S.; Wang, M.; Li, X.; Zhang, N.; Xin, X.; Sun, L.; Li, W.; Jia, R. Assessing water quality of five typical reservoirs in lower reaches of Yellow River, China, using a water quality index method. *Ecol. Indic.* **2016**, 61, 309–316.
21. Al-Badaii, F.; Shuhaimi-Othman, M.; Gasim, M.B. Water quality assessment of the Semenyih River, Selangor, Malaysia. *J. Chem.* **2012**, 2013, 871056.
22. Thái, T.H. Nghiên cứu xây dựng phương pháp đánh giá ngưỡng chịu tải nước sông, bước đầu tính toán ngưỡng chịu tải nước sông Nhuệ - sông Đáy. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2011**, 604, 34–42.

23. Thắng, L.V. Hiện trạng, diễn biến chất lượng nước sông Giêng, sông Dinh và các giải pháp bảo vệ môi trường nước tại lưu vực. *Tap chí phát triển khoa học và công nghệ* **2016**, 19, 55–66.
24. Phú, H.; cs. Báo cáo tổng kết Đề tài: Đánh giá hiệu quả xử lý nước thải từ hoạt động chăn nuôi heo tại huyện Hàm Tân, tỉnh Bình Thuận và đề xuất các biện pháp cải tiến. Viện Phát triển Công nghệ môi trường và Tài nguyên nước. 2022.
25. ADB. Các vấn đề vệ sinh đô thị ở Việt Nam. 2015. Trục tuyến: <https://www.adb.org/publications/urban-sanitation-viet-nam>.
26. Australian Aid và Ngân hàng thế giới. Đánh giá hoạt động quản lý nước thải đô thị tại Việt Nam, 2013.
27. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo hiện trạng Môi trường Quốc Gia 2016-2020, chuyên đề Môi trường Đô thị. Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2016.
28. Zhang, F.; Ju, Y.; Dong, P. Multi-period evaluation and selection of rural wastewater treatment technologies: a case study. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2020**, 20, 45897–45910.

## **Research and evaluate water quality of main rivers in Binh Thuan province and propose prerequisite solutions to protect water sources**

**Huynh Phu<sup>1</sup>, Tran Thi Minh Ha<sup>2,3\*</sup>, Nguyen Thi Hue<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> HUTECH University, Hutech Institute of Applied Sciences, Ho Chi Minh City, Viet Nam; [h.phu@hutech.edu.vn](mailto:h.phu@hutech.edu.vn)

<sup>2</sup> Tay Nguyen University, Dak Lak Province, Viet Nam; [ttmha@ttn.edu.vn](mailto:ttmha@ttn.edu.vn)

<sup>3</sup> Institute of Environmental Technology, Vietnam Academy of Science and Technology; [nthue@gmail.com](mailto:nthue@gmail.com)

**Abstract:** The socio-economic development process of Binh Thuan province has exploited surface water sources to provide daily life, agricultural and industrial production, aquaculture, and tourism. Wastewater flow from residential areas, industrial parks, livestock farms, seafood processing factories... has not been treated, or has been treated but does not meet discharge standards into the main river basins of Binh province. Thuan, is the cause of river water pollution. Results of water quality analysis of 7 main river basins: (i) Long Song River, (ii) Luy River, (iii) Phan Thiet Cai River, (iv) Ca Ty River, (v) Phan River, (vi) ) Dinh River and (vii) La Nga River show that most of the sampling locations for analysis are polluted with different levels of  $\text{NH}_4^+$ , Fe, DO,  $\text{BOD}_5$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{CN}^-$ , As, etc. , exceeding the limit prescribed according to QCVN 08:2023/BTNMT. At the same time, research and propose prerequisite solutions for the goal of sustainable development of water resources, completion of irrigation works, protection of natural ponds and lakes... Selecting appropriate and typical technology proposals for wastewater treatment from various economic activities. Treated water meets QCVN 08:2023/BTNMT for each type of wastewater, contributing to protecting and developing water resources of main rivers in Binh Thuan province.

**Keywords:** Appropriate technology for wastewater treatment; Exploitation and use of surface water; Binh Thuan main river basin; Water resource development; Surface water pollution.

Bài báo khoa học

## Đánh giá nhiệt độ bề mặt nước biển khu vực biển Việt Nam giai đoạn 2000-2022 theo dữ liệu của mô hình HYCOM

Nguyễn Quốc Trinh<sup>1,2\*</sup>, Nguyễn Minh Huân<sup>3</sup>, Phạm Quang Nam<sup>4</sup>, Nguyễn Quang Vinh<sup>5</sup>, Đỗ Thị Thu Hà<sup>6</sup>, Nguyễn Quang Thành<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Viện Địa lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam;

maitrinhvinh@gmail.com; nqtrinh@ig.vast.vn; nqthanh1965@gmail.com

<sup>2</sup> Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam;

maitrinhvinh@gmail.com; nqtrinh@ig.vast.vn

<sup>3</sup> Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; nmhuan61@gmail.com

<sup>4</sup> Trung tâm Hải văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; phamquangnam93@gmail.com

<sup>5</sup> Trung tâm Mạng lưới khí tượng thủy quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn;

vinhk46da@yahoo.com

<sup>6</sup> Viện Cơ học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; dtthuha15@gmail.com

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

Ban Biên tập nhận bài: 15/12/2023; Ngày phản biện xong: 31/1/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2024

**Tóm tắt:** Trong bài báo này đã được tiến hành nghiên cứu đặc trưng thống kê và phân tích đánh giá so sánh số liệu thực đo, trung bình (ngày, tháng và năm) tại một số trạm giữa sản phẩm mô hình HYCOM và đo đạc quan trắc. Yếu tố nhiệt độ bề mặt nước biển được lựa chọn so sánh đánh giá, là yếu tố chính trong lĩnh vực hải dương học. Phương pháp áp dụng đặc trưng thống kê, hàm tương quan (R) và chỉ số hiệu quả NASH (NSE) xác định sự phù hợp giữa quan trắc và mô phỏng. Các kết quả thống kê thể hiện nhiệt độ bề mặt trung bình mùa đảm bảo quy luật phân bố không gian và thay đổi theo thời gian. Đánh giá so sánh được thực hiện và thu được kết quả chuỗi số liệu trung bình tháng tốt nhất với hệ số tương quan (R) lớn hơn 89% và chỉ số NSE phổ biến lớn hơn 0,79, ngoại trừ trạm Phú Quốc chỉ đạt 0,51. Kết quả này khai thác dữ liệu về trung bình tháng của mô hình HYCOM khá tốt đối với vùng biển bắc và trung Việt Nam, vùng biển nam cần xem xét kỹ trước sử dụng. Do vẫn còn hạn chế nên cần có nhiều nghiên cứu nữa và số lượng trạm so sánh cũng cần tăng lên để đảm bảo nguồn dữ liệu này có ý nghĩa sát thực hơn.

**Từ khóa:** Nhiệt độ bề mặt nước biển (SST); Mô hình HYCOM; Biển Việt Nam; Hàm tương quan; Chỉ số NSE.

### 1. Mở đầu

Ngày nay, công nghiệp 4.0 bùng nổ với những bài toán dữ liệu lớn. Lĩnh vực Hải dương học cũng được hưởng ứng theo xu thế vùng này với những bài toán dữ liệu lớn tính toán mô phỏng toàn cầu. Nhu cầu thực tiễn ngày càng đòi hỏi và yêu cầu có độ phân giải càng rõ nét và chi tiết. Các mô hình đại dương cũng tăng cường các nguồn số liệu không lồ trong không gian ba chiều quy mô toàn cầu biến đổi theo thời gian. Một trong các mô hình đại dương đã được xây dựng, phát triển và đánh giá kết hợp đồng hóa dữ liệu dựa trên hệ tọa độ sigma áp suất (*Isopycnal-sigma-pressure*) được gọi là mô hình HYCOM (*Hybrid Coordinate Ocean Model*) [1]. Yếu tố nhiệt độ của nước biển thành phần quan trọng như tương tác biển - khí quyển, môi trường biển, khối nước biển, sóng âm, .... Yếu tố nhiệt độ được đề cập nhiều trên



thế giới thông qua các nghiên cứu về xu thế ấm lên toàn cầu trong biến đổi khí hậu, hoặc là các chỉ thị thể hiện về hiện tượng El Niño - La Niña trên toàn cầu [2], là các công trình nghiên cứu ứng dụng công nghệ viễn thám [3, 4], chỉ số năng lượng trong hoạt động bão ở bắc Ấn Độ dương [5], vai trò bình lưu trong tương tác biển - khí quyển ở phía bắc vịnh Bengal [6], đánh giá tương quan của nhiệt độ giữa quan trắc thực đo và vệ tinh (viễn thám) [7-8], phân tích hiện tượng nước trời ở Bồ Đào Nha [9], đánh giá xu thế biến đổi nhiệt độ bề mặt nước biển ở một số vùng biển trên thế giới [10-12].

Ở vùng biển Việt Nam, các hiện tượng tự nhiên được nghiên cứu thể hiện qua nhiệt độ nước biển như hiện tượng nước trời - nước chìm [13-15], liên quan gia tăng nhiệt độ, đặc trưng một số vùng [16-20], front nhiệt và xác định ngư trường tiềm năng [21-22].

Do đó, nghiên cứu tìm hiểu, khai thác và sử dụng nguồn dữ liệu nhiệt độ nước biển bổ sung vào cơ sở dữ liệu hải dương học khu vực biển Việt Nam nói riêng và Biển Đông nói chung ngày càng hoàn thiện hơn. Nguồn dữ liệu này cũng cần quan tâm thiết thực để thực hiện bổ sung và lấp đầy thêm với không gian rộng lớn theo thời gian. Cho nên, chúng tôi đã nghiên cứu và đánh giá nguồn số liệu từ mô hình HYCOM so sánh với số liệu đo đạc tại một số trạm quan trắc vùng biển Việt Nam giai đoạn 2000-2022 nhằm so sánh đánh giá thông qua tương quan và chỉ số NASH của yếu tố nhiệt độ bề mặt nước biển.

## 2. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Dữ liệu sử dụng

Dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu này từ nguồn số liệu đo đạc và nguồn số liệu mô hình tính toán. Mô hình HYCOM được xây dựng có sự hợp tác của nhiều tổ chức và chương trình nghiên cứu của Mỹ như Chương trình Đối tác Đại dương Quốc gia (NOPP được viết tắt từ National Ocean Partnership Program), thực nghiệm Đồng hóa Dữ liệu Đại dương toàn cầu (GODAE - Global Ocean Data Assimilation Experiment) [1]. Sản phẩm của mô hình này thể hiện trên không gian ba chiều với phân giải  $1/12^\circ$  và thời gian, có thể được làm điều kiện đầu vào cho các mô hình với phân giải cao hơn, tăng cường điều kiện biên cho những mô phỏng đại dương - khí quyển toàn cầu, tăng cường sự hợp tác từ cộng đồng hải dương học. Nguồn số liệu mô hình tính toán là loại số liệu tái phân tích đối với yếu tố nhiệt độ bề mặt nước biển (SST) của sản phẩm mô hình HYCOM [1]. Nguồn số liệu này được khai thác có kích thước không gian được giới hạn từ  $8-22^\circ\text{N}$  và  $103-112^\circ\text{E}$  (Hình 1) với độ phân giải khoảng  $1/12^\circ$  ( $\sim 0.08^\circ$ ) và khoảng thời gian liên tục từ ngày 01/01/1993 đến ngày 31/12/2022 với bước thời gian 3 giờ.



**Hình 1.** Giới hạn khu vực nghiên cứu từ  $8^\circ-22^\circ\text{N}$  và  $103^\circ-112^\circ\text{E}$ .

Nguồn số liệu đo đạc là số liệu quan trắc được thu thập từ hệ thống các trạm hải văn quan trắc trong vùng biển Việt Nam từ bắc xuống nam. Các trạm hải văn được lựa chọn sử dụng bao gồm trạm Hòn Dấu, trạm Sơn Trà, trạm Phú Quý, trạm Trường Sa, trạm Côn Đảo và trạm Phú Quốc. Khoảng thời gian thực hiện thu thập và phân tích số liệu là khoảng thời gian trùng với sản phẩm mô hình HYCOM từ ngày 01/01/2000 đến ngày 31/12/2022 với bước thời gian quan trắc đo đạc theo quy định chuẩn của WMO là 04 lần/ngày (6 giờ).

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp thống kê được thể hiện phân tích đánh giá khác nhau như tương quan, hồi quy tuyến tính, chuẩn sai, sai số tuyệt đối và tương đối, hệ số hiệu quả (NASH), chỉ số thiên lệch (PBIAS), ... [23]. Phân tích hồi quy tuyến tính xác định tương quan giữa thực đo và tính toán thể hiện giá trị của một yếu tố. Phân tích này thực hiện việc đơn giản hóa từ nguồn dữ liệu lớn và các quy luật phức tạp thành quy luật đơn giản. Như vậy, phương pháp hồi quy tuyến tính sẽ được giải quyết về mối tương quan, hiệu ứng, so sánh, ... Thước đo của hàm hồi quy tuyến tính được dùng hợp lý hóa là xác định hệ số  $R^2$  ( $R$  được gọi là hệ số tương quan). Ý nghĩa của  $R$  phản ánh sự trùng khớp theo quy luật so sánh của đo đạc và tính toán. Nếu dữ liệu càng tập trung sát hoặc trùng đường hồi quy thì giá trị  $R^2$  sẽ cao, ngược lại, nếu dữ liệu phân bố rải rác cách xa đường hồi quy thì giá trị  $R^2$  sẽ thấp. Hệ số tương quan được xác định dưới đây:

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

với  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  và  $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$  và  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Trong đó  $R$  là hệ số tương quan;  $x_i$  là thực đo (quan trắc);  $\bar{x}$  là trung bình thực đo (quan trắc);  $y_i$  là tính toán (mô phỏng);  $\bar{y}$  là trung bình tính toán (mô phỏng);  $i$  là số thực tự của số liệu;  $n$  là tổng số số liệu.

Việc phân tích và đánh giá so sánh độ chính xác của sản phẩm mô hình HYCOM so với đo đạc quan trắc theo chỉ số hiệu quả của Nash-Sutcliffe [24], được gọi tắt là chỉ số NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*). Chỉ số NSE là được xác định tương đối giữa thực đo và tính toán với tương đối của thực đo, cụ thể:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

ở đây  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  và  $i = 1, 2, \dots, n$

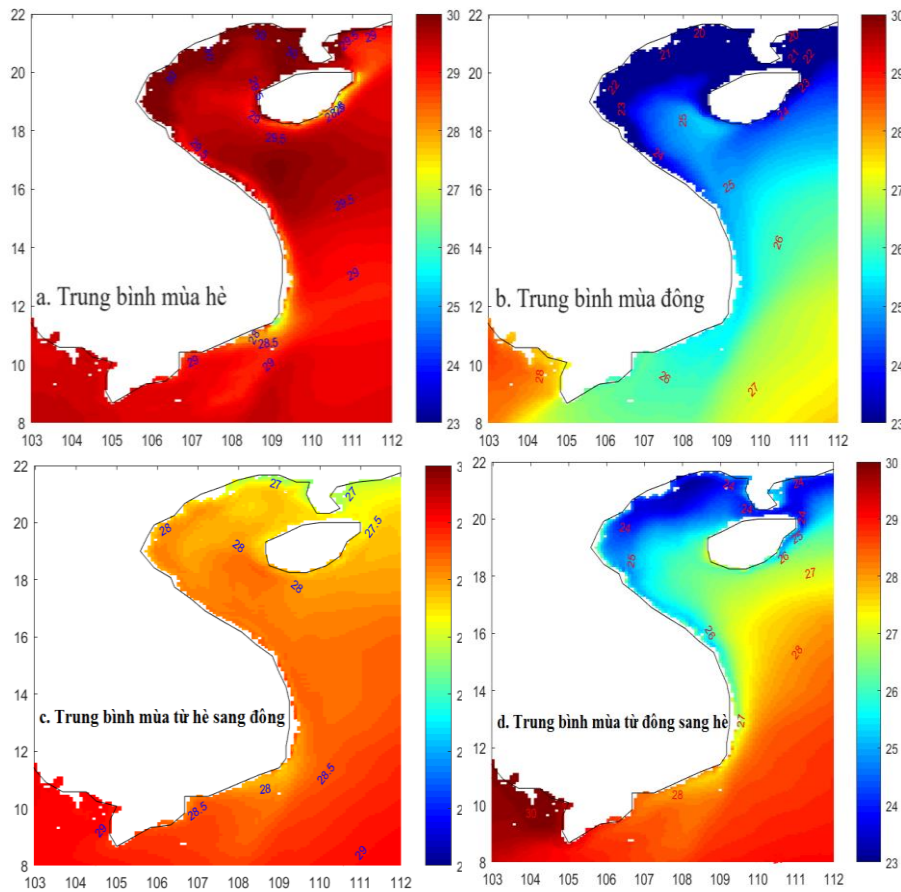
Trong đó NSE là chỉ số hiệu quả Nash-Sutcliffe;  $x_i$  là thực đo (quan trắc);  $\bar{x}$  là trung bình thực đo (quan trắc);  $y_i$  là tính toán (mô phỏng);  $i$  là số thực tự của số liệu;  $n$  là tổng số số liệu.

Phân tích thống kê các giá trị đặc trưng dữ liệu như trung bình ngày, trung bình tháng, trung bình năm của yếu tố nhiệt độ bề mặt nước biển được sử dụng trong nghiên cứu này.

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Đánh giá kết quả thống kê nhiệt độ bề mặt nước biển của mô hình HYCOM

Số liệu được khai thác số liệu tái phân tích từ hệ thống cơ sở dữ liệu toàn cầu của mô hình HYCOM [1]. Nguồn số liệu này được thể hiện trong không gian giới hạn từ  $8^{\circ}$ - $22^{\circ}$ N và  $103^{\circ}$ - $112^{\circ}$ E (Hình 2). Giá trị nhiệt độ bề mặt nước biển vùng biển Việt Nam và Biển Đông thay đổi giữa các mùa phân hóa rõ nét theo đặc tính vị trí địa lý mà chúng chịu chi phối bởi hệ thống hoạt động gió mùa, nóng ẩm và hoàn lưu đại dương (Hình 2). Hình 2 được thể hiện rõ nét sự chênh lệch giá trị trung bình theo các mùa khác nhau, giữa các vùng khác nhau (từ bờ ra khơi, từ bắc xuống nam). Sự phân bố nhiệt độ bề mặt nước bất đồng nhất theo không gian địa lý từ bắc xuống nam và từ ven bờ đến ngoài khơi xa đã thể hiện không rõ đặc thù đặc tính từng vị trí khu vực cụ thể.



**Hình 2.** Nền nhiệt độ (°C) bề mặt nước biển trung bình mùa trong giai đoạn 1993-2022: (a) Trung bình mùa hè; (b) Trung bình mùa đông; (c) Trung bình mùa từ hè sang đông; (d) Trung bình mùa từ đông sang hè).

Trong mùa hè, nhiệt độ bề mặt có sự khác biệt ở khoảng 11-13° vĩ bắc và 108-110° kinh đông với nền nhiệt thấp hơn khu vực xung quanh mà thuộc vùng biển Ninh Thuận - Bình Thuận (Hình 2a) mà được gọi là hiện tượng nước trời [13]. Hiện tượng này thường xảy ra với gió mùa Tây Nam với hướng gió phổ biến là Nam - Tây Nam. Vào mùa đông, trường nhiệt chịu phối bởi tác động khối khí và khối nước từ phía bắc nên nhiệt độ bề mặt nước biển vùng biển vịnh Bắc Bộ và ven biển phía nam Trung Quốc đều thấp hơn so với khu vực khác (Hình 2b). Thời kỳ này là gió mùa Đông Bắc chi phối tác động mạnh, hệ thống dòng ven từ phía bắc đưa xuống với khối nước lạnh phía bắc. Nhưng vào thời kỳ chuyển tiếp từ hè sang đông, nhiệt độ thể hiện được sự mát mẻ cho hầu hết các vùng biển liền kề với sự chênh lệch nhỏ và dao động khoảng 27-29°C (Hình 2c). Vào thời kỳ chuyển mùa đông sang hè (xem Hình 2d), nhiệt độ vẫn còn thể hiện sự ảnh hưởng của khối khí lạnh phía bắc ở vịnh Bắc Bộ và ven biển phía nam Trung Quốc khoảng 23,5°C. Nhưng phía nam, khu vực biển Tây ở vịnh Thái Lan đã cho thấy sự ảnh hưởng của mùa hè với nền nhiệt cao khoảng 30°C. Do đó, nhiệt độ bề mặt nước biển khu vực nghiên cứu đã cho thấy tiềm năng hình thành và phát triển hoạt động xoáy thuận nhiệt đới vào mùa hè ở toàn bộ khu vực. Các mùa còn lại, quá trình này dịch chuyển về phía nam. Các trường hợp đặc biệt dị thường vẫn có khả năng xảy quá trình này ngoài quy luật trong bối cảnh biến đổi khí hậu cực đoan.

### 3.2. Đánh giá nhiệt độ bề mặt nước biển so sánh giữa quan trắc và mô hình HYCOM

Sử dụng thuật toán nội suy để xác định vị trí địa lý theo kinh độ và vĩ độ tương ứng với vị trí của các trạm hải văn bao gồm các trạm Hòn Dấu, trạm Sơn Trà, trạm Phú Quý, trạm Trường Sa, trạm Côn Đảo và trạm Phú Quốc trong hệ thống các trạm quan trắc Hải văn quốc gia. Các trạm lựa chọn này được phân bố trong biển Việt Nam từ bắc xuống nam. Từ đó,

chúng tôi đã xác định chuỗi giá trị nhiệt độ bề mặt nước biển của đo đạc quan trắc và mô hình HYCOM tính toán tương ứng nhau biến thiên theo chuỗi thời gian giai đoạn từ ngày 01/01/2000 đến ngày 31/12/2022.

Các giá trị nhiệt độ này được xác định xử lý phân tích chuẩn hóa đưa về theo giờ địa phương. Đồng thời, các giá trị trung bình (ngày, tháng và năm) của chuỗi đo đạc và tính toán cũng được xác định theo tính toán thông kê. So sánh các đặc trưng của các chuỗi trung bình theo cực trị và trung bình của quan trắc (Obs), mô hình HYCOM (HYCOM) và hiệu số sai lệch quan trắc và mô hình (Obs-HYCOM) theo tính chất trung bình của ngày, tháng và năm tại các trạm được lựa chọn đánh giá so sánh (Bảng 1).

**Bảng 1.** Thống kê đặc trưng của các chuỗi trung bình (ngày, tháng và năm) theo cực đại, trung bình và cực tiểu của nhiệt độ bề mặt nước biển (°C) về quan trắc (Obs) mô hình (HYCOM) và chênh lệch (Obs-HYCOM) tại một số trạm hải văn giai đoạn 2000-2022.

TT	Tên trạm	Loại số liệu	Trung bình ngày				Trung bình tháng				Trung bình năm			
			Cực đại	Trun g bình	Cực tiểu	Biên độ	Cực đại	Trun g bình	Cực tiểu	Biên độ	Cực đại	Trun g bình	Cực tiểu	Biên độ
1	Hòn Dấu	Obs	33,10	25,51	13,20	19,90	31,23	25,48	16,01	15,22	26,18	25,56	24,67	1,51
		HYCOM	32,47	25,40	14,79	17,68	31,51	25,37	15,61	15,9	25,93	25,47	24,38	1,55
		Obs-HYCOM	3,27	0,11	-3,55	6,82	1,79	0,11	-1,40	3,19	0,29	0,09	-0,19	0,48
2	Sơn Trà	Obs	33,30	26,57	14,90	18,40	31,28	26,53	17,09	14,19	27,17	26,66	25,58	1,59
		HYCOM	31,47	26,60	18,93	12,54	30,96	26,58	20,19	10,77	27,16	26,62	25,56	1,60
		Obs-HYCOM	4,03	-0,03	-7,71	11,74	2,16	-0,05	-6,18	8,34	0,61	0,04	-0,44	1,05
3	Phú Quý	Obs	31,33	27,62	22,05	9,28	30,49	27,61	23,64	6,85	28,50	27,65	27,10	1,40
		HYCOM	31,40	27,42	22,85	8,55	30,57	27,41	23,55	7,02	28,34	27,44	26,75	1,59
		Obs-HYCOM	2,83	0,20	-2,92	5,75	1,17	0,20	-0,72	1,89	0,61	0,21	-0,11	0,72
4	Trường Sa	Obs	31,43	28,73	25,18	6,25	30,67	28,73	26,01	4,66	29,17	28,72	28,10	1,07
		HYCOM	32,03	28,58	25,12	6,91	30,95	28,57	25,87	5,08	29,22	28,60	28,10	1,12
		Obs-HYCOM	3,29	0,15	-3,24	6,53	2,26	0,15	-0,90	3,16	0,59	0,12	-0,31	0,90
5	Côn Đảo	Obs	32,15	28,33	22,18	9,97	31,22	28,36	24,84	6,38	28,88	28,34	27,73	1,15
		HYCOM	31,43	28,09	23,56	7,87	30,94	28,14	24,02	6,92	28,78	28,09	27,44	1,34
		Obs-HYCOM	6,90	0,25	-3,48	10,38	1,44	0,22	-1,12	2,56	0,53	0,25	-0,11	0,64
6	Phú Quốc	Obs	32,48	29,48	25,15	7,33	31,79	29,48	27,29	4,5	30,02	29,47	29,16	0,86
		HYCOM	32,94	29,19	25,23	7,71	32,16	29,18	26,11	6,05	29,79	29,20	28,81	0,98
		Obs-HYCOM	3,04	0,29	-2,90	5,94	1,57	0,30	-1,59	3,16	0,65	0,28	-0,01	0,66

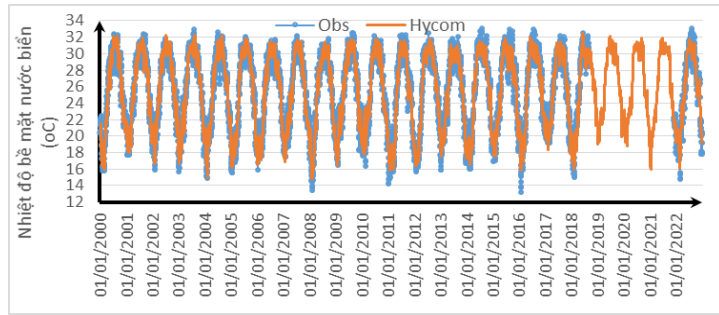
Bảng 1 thể hiện được các đặc trưng thống kê của quan trắc và mô hình tính toán. Sai lệch tuyệt đối trung bình trong các chuỗi số liệu dao động khoảng từ -0,05°C (trạm Sơn Trà) đến 0,30°C (trạm Phú Quốc). Chênh lệch giữa giá trị cực đại giữa các trạm không lớn khoảng xấp xỉ gần 2°C. Nhưng giá trị cực tiểu chênh lệch khác lớn khoảng 12°C ở trung bình ngày và giảm dần khoảng 5°C ở trung bình năm. Biên độ dao động giảm dần từ trung bình ngày đến trung bình năm, từ bắc xuống nam hay từ vĩ độ cao xuống vĩ độ thấp. Các kết quả này cũng cho thấy độ chính xác hay dao động sai lệch của các trung bình (ngày, tháng và năm) khác nhau. Đây cũng là bảng thông tin phản ánh về sai số tuyệt đối giữa quan trắc và tính toán. Hơn nữa, so sánh các giá trị nhiệt độ giữa quan trắc và mô phỏng được thể hiện dưới dạng đồ thị biến thiên theo thời gian (Hình 3 đến Hình 11).

Hình 3 đến Hình 5 thể hiện sự biến thiên giá trị nhiệt độ trung bình (ngày, tháng và năm) giữa quan trắc và mô hình HYCOM khá đồng nhất về quy luật và độ chính xác được tăng lên và thể hiện càng rõ nét tại trạm Hòn Dấu (xem Bảng 1). Trạm này nằm vĩ độ cao hơn các trạm khác nên biên độ dao động trong năm khá lớn khoảng 20°C (trung bình ngày), 15°C (trung bình tháng) và 1,5°C (trung bình năm). Đường biến trình trung bình tháng có độ trùng khớp là tốt nhất. Trong chuỗi số liệu trung bình năm của quan trắc cũng cho thấy xu thế tăng

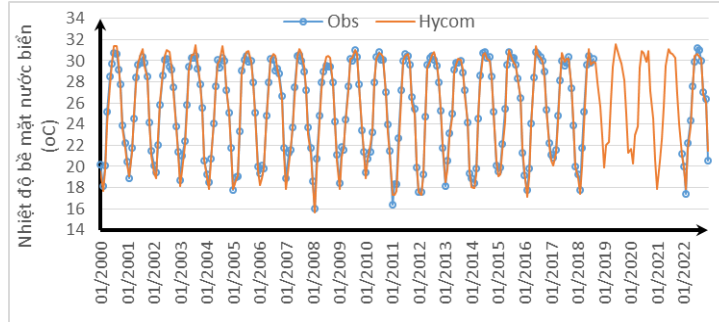
lên của nhiệt độ bề mặt nước theo xu thế ấm lên toàn cầu khoảng  $0,0118^{\circ}\text{C}/\text{năm}$  trong chuỗi số liệu 23 năm (2000-2022).

Trạm Sơn Trà được thể hiện từ Hình 6 đến Hình 8, là trạm nằm ở khoảng giữa của Việt Nam, sự biến thiên dao động giá trị trung bình (ngày, tháng và năm) của quan trắc và mô hình HYCOM về nhiệt độ bề mặt nước biển khá đồng nhất quy luật và độ chính xác tăng lên và thể hiện càng rõ nét (Bảng 1). Biên độ dao động của trạm này so với trạm Hòn Dấu đã có sự suy giảm đáng kể. Trạm này có biên độ dao động của trung bình ngày khoảng  $14^{\circ}\text{C}$ , của trung bình tháng khoảng  $11^{\circ}\text{C}$  và của trung bình năm khoảng  $1,6^{\circ}\text{C}$ . Đường biến trình của giá trị trung bình tháng có độ trùng khớp giữ quan trắc và mô hình là tốt nhất. Trong chuỗi số liệu trung bình năm của quan trắc cũng cho thấy xu thế tăng lên khoảng  $0,0126^{\circ}\text{C}/\text{năm}$  trong chuỗi số liệu 23 năm (2000-2022), có cao hơn trạm Hòn Dấu.

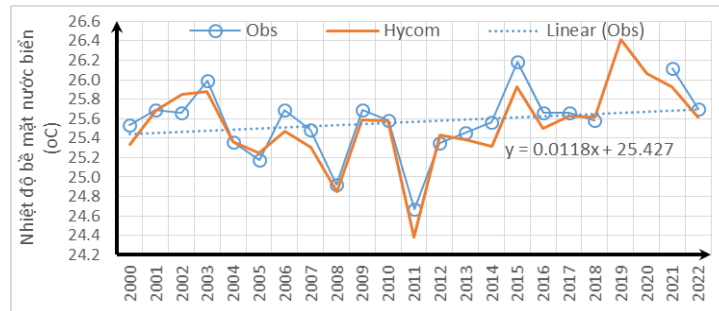
Tương tự như hai trạm trên, trạm Phú Quý cũng được đánh giá nhiệt độ bề mặt nước biển giữa quan trắc và mô hình HYCOM mà nó cũng khá đồng nhất về quy luật. Biên độ dao động của các giá trị sai lệch về độ chính xác được tăng lên và thể hiện càng rõ nét từ  $5,75^{\circ}\text{C}$  (trung bình ngày) đến  $1,89^{\circ}\text{C}$  (trùng bình tháng) đến  $0,72^{\circ}\text{C}$  (trung bình năm) (xem Bảng 1). Bên cạnh đó, nó cũng thể hiện sự dao động không mạnh mẽ giữa các thời kỳ mùa trong năm. Giá trị trung bình năm của quan trắc là  $27,65^{\circ}\text{C}$ , mô phỏng HYCOM là  $27,44^{\circ}\text{C}$ , sai lệch giữa quan trắc và mô phỏng HYCOM là  $0,21^{\circ}\text{C}$ . Giá trị trung bình năm của nhiệt độ bề mặt nước biển theo quan trắc tại trạm Phú Quý biến đổi tuyến tính giai đoạn 2000-2022 cũng khoảng  $0,0171^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ . Đây là trạm có xu thế biến đổi tuyến tính nhanh nhất trong các trạm được xem xét. Trạm Trường Sa là trạm quan trắc nằm ở đảo Trường Sa lớn thuộc quần đảo Trường Sa, vị trí ngoài khơi phía nam Biển Đông.



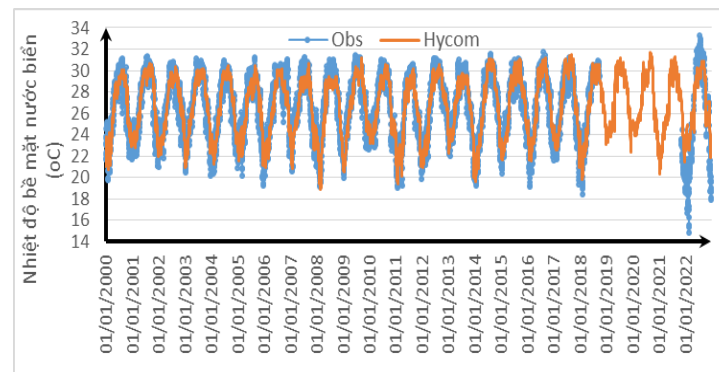
**Hình 3.** Số liệu trung bình ngày của trạm Hòn Dấu giai đoạn 2000-2022.



**Hình 4.** Số liệu trung bình tháng của trạm Hòn Dấu giai đoạn 2000-2022.



**Hình 6.** Số liệu trung bình năm của trạm Hòn Dấu giai đoạn 2000-2022.

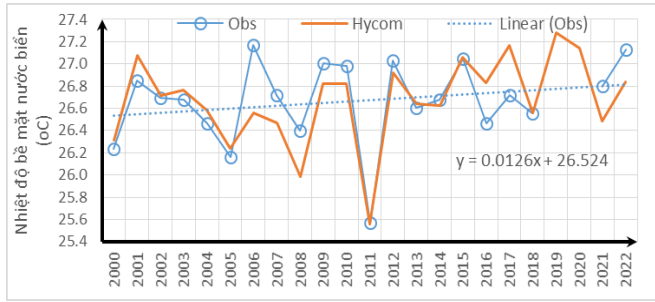


**Hình 5.** Số liệu trung bình ngày của trạm Sơn Trà giai đoạn 2000-2022.

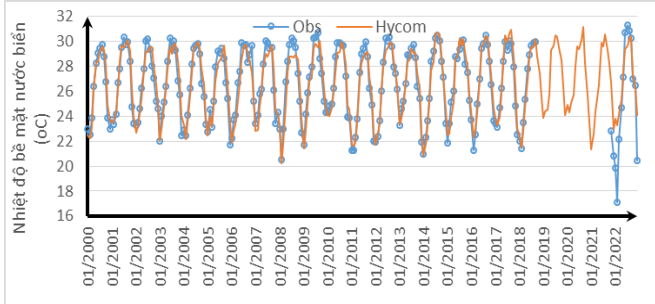
Nhìn chung, sự biến đổi của các giá trị trung bình (ngày, tháng và năm) có biên độ nhỏ hơn hẳn các trạm khác như trạm Phú Quý và trạm Côn Đảo. Bảng 1 cho thấy giá trị biến động trung bình ngày của quan trắc là 6,25°C, của mô hình HYCOM là 8,55°C và sai lệch giữa quan trắc - mô hình HYCOM là 6,53°C; biến động trung bình tháng của quan trắc là 4,66°C, của mô hình HYCOM là 5,08°C và sai lệch giữa quan trắc - mô hình HYCOM là 3,16°C; biến động trung bình năm của quan trắc là 1,07°C, của mô hình HYCOM là 1,12°C và sai lệch giữa quan trắc - mô hình HYCOM là 0,9°C. Bên cạnh đó, giá trị trung bình năm của quan trắc là 28,72°C, mô hình HYCOM là 28,60°C, sai lệch giữa quan trắc và mô hình HYCOM là 0,12°C. Giá trị nhiệt độ bề mặt nước biển trung bình năm của quan trắc tại trạm Trường Sa biến đổi tuyến tính giai đoạn 2000-2022 cũng khoảng 0,0069°C/năm. Đây là trạm có tốc độ biến đổi nhỏ nhất.

Trạm Côn Đảo cũng được xem xét tương tự về giá trị trung bình (ngày, tháng và năm) của quan trắc và mô hình HYCOM. Mà kết quả cũng đã cho thấy sự đồng nhất về quy luật, độ chính xác tương tự (Bảng 1). Giá trị biên độ trung bình năm theo quan trắc là 1,15°C, mô hình HYCOM là 1,34°C, sai lệch giữa quan trắc và mô hình HYCOM là 0,64°C. Giá trị trung bình năm của quan trắc khoảng 28,34°C, mô hình HYCOM khoảng 28,09°C, sai lệch giữa quan trắc và mô hình HYCOM khoảng 0,25°C. Giá trị trung bình năm của quan trắc biến đổi tuyến tính giai đoạn 2000-2022 cũng khoảng 0,0138°C/năm.

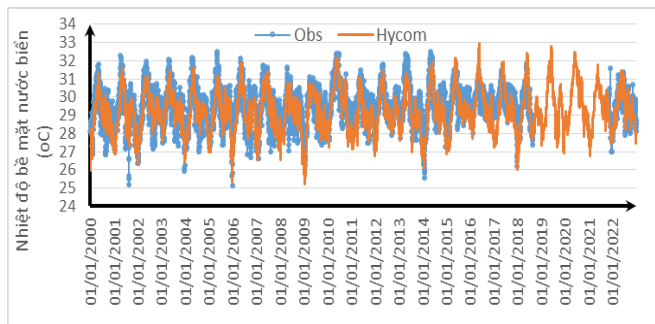
Trạm Phú Quốc là trạm nằm ở vịnh Thái Lan, cũng là trạm gần xích đạo nhất. Nên sự thay đổi nhiệt độ trong năm cũng dao động không nhiều so với các trạm ven bờ khác. Các kết quả tính toán trung trình (ngày, tháng và năm) cũng được thể hiện (Hình 9 đến Hình 11). Sự biến thiên của các giá trị trung bình của quan trắc và mô hình HYCOM cũng được trình bày trong Bảng 1.



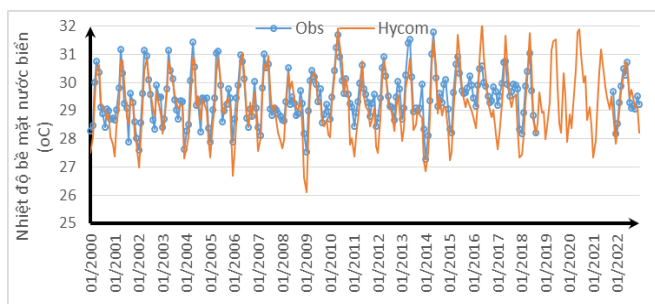
**Hình 9.** Số liệu trung bình ngày của trạm Sơn Trà giai đoạn 2000-2022.



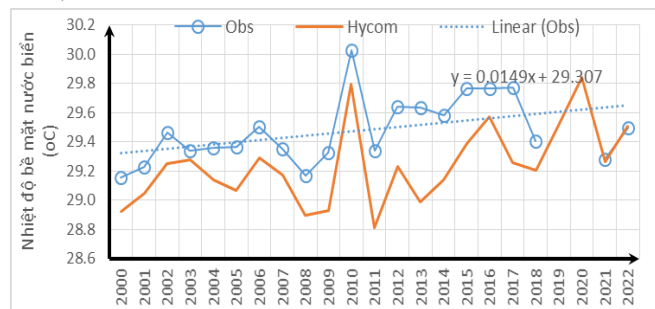
**Hình 8.** Số liệu trung bình tháng của trạm Sơn Trà giai đoạn 2000-2022.



**Hình 7.** Số liệu trung bình ngày của trạm Phú Quốc giai đoạn 2000-2022.



**Hình 10.** Số liệu trung bình tháng của trạm Phú Quốc giai đoạn 2000-2022.

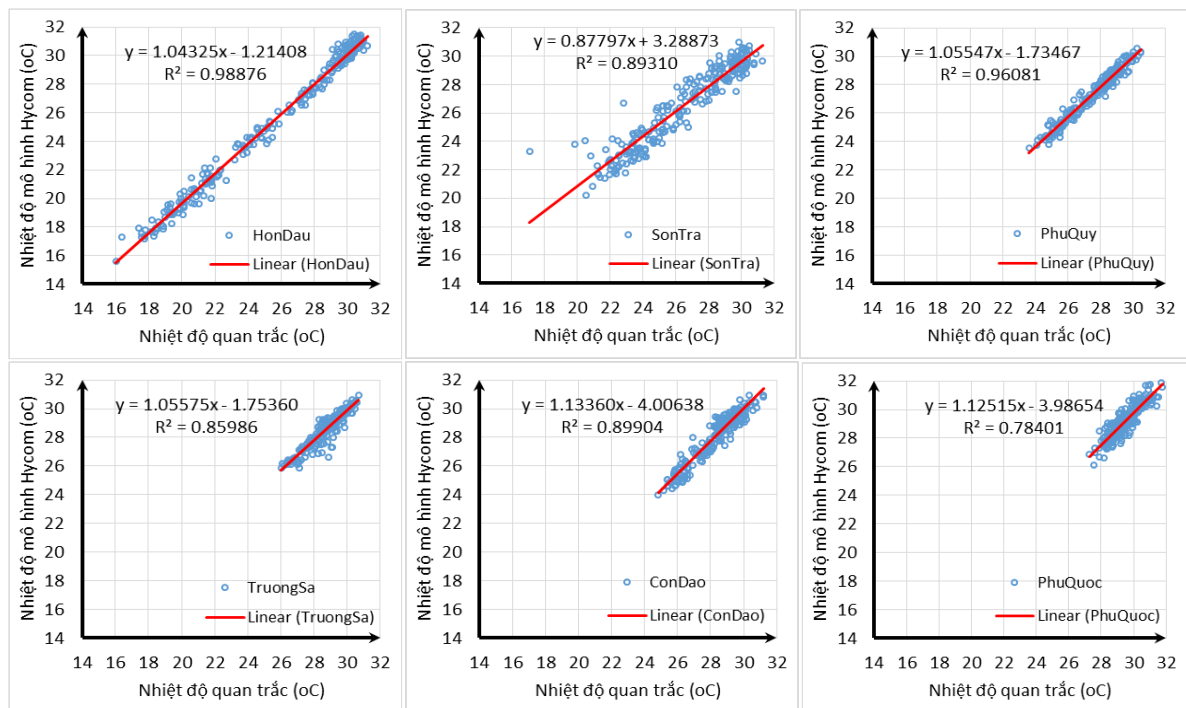


**Hình 11.** Số liệu trung bình ngày của trạm Phú Quốc giai đoạn 2000-2022.

Nhưng sự thay đổi này không được mạnh mẽ và rõ như các trạm có vĩ độ cao hơn. Nền nhiệt độ trung bình cao hơn và đạt khoảng 29,47°C (quan trắc), 29,20°C (mô hình HYCOM) và khoảng 0,28°C (sai lệch giữa quan trắc - mô hình HYCOM). Giá trị trung bình năm của quan trắc cũng được xem xét xu thế biến đổi tuyến tính trong giai đoạn 2000-2022 và đạt khoảng 0,0149°C/năm. Bên cạnh việc đánh giá trực tiếp, công việc đánh giá độ tin cậy thông qua các chỉ số hàm tương quan và chỉ số hiệu quả NASH cũng được thực hiện và trình bày trong Bảng 2 và Hình 12.

**Bảng 2.** Hệ số tương quan (R) của nhiệt độ bề mặt biển (°C) giữa quan trắc (Obs) và mô hình (HYCOM) tại một số trạm hải văn giai đoạn 2000-2022.

Tên trạm	Vị trí		Trung bình năm		Trung bình tháng		Trung bình ngày		Thực đo	
	Kinh độ	Vĩ độ	R	NSE	R	NSE	R	NSE	R	NSE
Hòn Dấu	106°48'	20°40'	0,950	0,796	0,995	0,985	0,983	0,964	0,978	0,953
Sơn Trà	108°13'	16°06'	0,854	0,547	0,946	0,893	0,931	0,866	0,926	0,857
Phú Quý	108°56'	10°31'	0,935	0,269	0,981	0,935	0,935	0,851	0,852	0,709
Trường Sa	111°55'	8°39'	0,805	0,442	0,930	0,792	0,884	0,700	0,843	0,645
Côn Đảo	106°36'	8°41'	0,862	-0,172	0,950	0,813	0,839	0,612	0,748	0,499
Phú Quốc	103°58'	10°13'	0,815	-1,123	0,892	0,515	0,820	0,491	0,700	0,405



**Hình 12.** Tương quan nhiệt độ bề mặt nước biển theo trung bình tháng giữa quan trắc và mô hình HYCOM tại một số trạm hải văn giai đoạn 2000-2022.

Trong Bảng 2, hệ số tương quan của nhiệt độ bề mặt nước biển giữa quan trắc và mô hình HYCOM đạt giá trị cao phổ biến hơn 80% đối với các chuỗi số liệu trung bình (ngày, tháng và năm); đối với chuỗi số liệu thực đo, hệ số tương quan đạt mục cao trên 80% ở các trạm phía bắc, miền trung và ngoài khơi. Còn các trạm phía nam, hệ số tương quan nhỏ hơn 75% (trạm Côn Đảo và trạm Phú Quốc). Đây cũng là các trạm cần được nghiên cứu nhiều hơn mặc dù biên độ dao động của các trạm là nhỏ hơn ở các vùng biển khác. Hơn nữa, chỉ số NSE cũng thể hiện tương đồng với hệ số tương quan theo các chuỗi số liệu khác nhau. Trong bảng này cũng cho thấy giá trị hệ số tương quan tốt nhất là chuỗi số liệu trung bình tháng (Hình 12).

Đối với chuỗi số liệu trung bình tháng, trạm Hòn Dấu cho thấy các giá trị đánh giá tốt nhất với hệ số tương quan (R) là 99,5% và chỉ số hiệu quả (NSE) là 0,985. Còn trạm Phú Quốc cũng được đánh giá kém nhất với hệ số tương quan (R) là 89,2% và chỉ số hiệu quả (NSE) là 0,515. Các trạm còn lại phổ biến xấp xỉ hoặc lớn hơn với hệ số tương quan (R) là 90% và chỉ số hiệu quả (NSE) là 0,8.

Hình 12 thể hiện khá rõ nét về biến đổi theo vĩ độ và từ bờ ra ngoài khơi của nhiệt độ bề mặt nước biển với sự dao động lớn ở phía bắc (trạm Hòn Dấu) và suy giảm dần về phía nam (trạm Phú Quốc) là nhỏ nhất. Nhưng giá trị lớn nhất hầu như ít thay đổi vẫn duy trì khoảng 31°C. Còn giá trị nhỏ nhất tăng dần từ vĩ độ cao đến vĩ độ thấp và phổ biến lớn hơn 20°C ở khu vực Miền Trung.

Kết quả đánh giá cho thấy có thể nghiên cứu khai thác số liệu nhiệt độ bề mặt nước biển để phục vụ nghiên cứu liên quan trong khi số liệu đo đạc quan trắc thực tế chưa có hoặc khó khăn trong việc triển khai đo đạc thực địa.

#### 4. Kết luận

Dựa vào phương pháp thống kê đã được sử dụng trong nghiên cứu này để đánh giá nhiệt độ bề mặt nước biển cho thấy:

Phân bố nhiệt độ bề mặt nước biển của mô hình HYCOM trong không gian không đồng nhất và thay đổi theo mùa. Biên độ dao động mùa ở phía bắc lớn nhất khoảng 12°C (20-31°C) và giảm dần về phía nam khoảng 4°C (28-31°C). Nền nhiệt này luôn duy trì ở mức trên 27°C đảm bảo cho hình thành và phát triển của xoáy thuận nhiệt đới trên hầu khắp các vùng biển. Ngoại trừ vào mùa đông và từ đông sang hè (khoảng từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau) ở khu vực phía bắc.

So sánh đánh giá trực tiếp giữa đo đạc quan trắc và sản phẩm mô hình HYCOM đối với 06 trạm hải văn trong vùng biển Việt Nam từ Bắc xuống Nam điển hình như trạm Hòn Dấu, trạm Sơn Trà, trạm Phú Quý, trạm Trường Sa, trạm Côn Đảo và trạm Phú Quốc. Nhiệt độ bề mặt nước biển đã được đánh giá theo các chuỗi số liệu trung bình (ngày, tháng và năm) đạt kết quả trung bình dao động từ -0,05°C đến 0,30°C theo xu thế tăng dần từ vĩ độ cao xuống vĩ độ thấp. Ngược lại, biên độ dao động có xu hướng giảm dần từ vĩ độ cao xuống vĩ độ thấp. Hơn nữa, các kết quả đánh giá theo hệ số tương quan (R) và chỉ số hiệu quả (NSE) theo chuỗi số liệu thực đo và trung bình (ngày, tháng và năm) đạt được mức độ phù hợp tốt. Giá trị hệ số tương quan (R) phổ biến trên 70%, chuỗi trung bình tháng tốt nhất lớn hơn 89%. Chỉ số hiệu quả (NSE) của chuỗi trung bình tháng cũng cho giá trị tốt nhất phổ biến lớn hơn 0,79, ngoại trừ trạm Phú Quốc chỉ đạt khoảng 0,51.

Nhìn chung, số liệu nhiệt độ bề mặt nước biển của mô hình HUYCOM có thể khai thác bổ sung thêm vào cơ sở dữ liệu để phục vụ các nghiên cứu khác trong lĩnh vực khoa học biển có liên quan. Nhưng nguồn số liệu này cũng cần có nhiều nghiên cứu nữa và số lượng trạm so sánh cũng cần tăng lên để đảm bảo nguồn dữ liệu này có ý nghĩa sát thực hơn.

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

**Lời cảm ơn:** Tác giả xin chân thành cảm ơn đề tài “Nghiên cứu vai trò của các quá trình vật lý mây và tương tác khí quyển - đại dương đối với quỹ đạo, cường độ bão Biển Đông và dự báo vùng gió mạnh, mưa lớn trong bão khu vực miền Trung” Mã số: ĐTDL.CN-90/21 do TS. Nguyễn Văn Hiệp làm chủ nhiệm, Viện Vật lý Địa cầu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam là cơ quan chủ trì đã hỗ trợ để thực hiện bài báo này.

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



### Tài liệu tham khảo

1. Wallcraft, A.J.; Metzger, E.J.; Carroll, S.N. Software design description for the Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM). Version 2.2. Naval Research Laboratory. Stennis Space Center, MS 39529-5004. NRL/MR/7320--09-9166. 2009. Online available: <https://www.HYCOM.org/>.
2. Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; Miller, H.L (eds.). Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007, pp. 996. Online available: [https://archive.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch3s3-6-2.html](https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch3s3-6-2.html).
3. Minnett, P.J.; Chin, T.M.; Corlett, G.K.; Gentemann, C.L.; Karagali, I.; Li, X.; Marsouin, A.; Marullo, S.; Maturi, E.; Santoleri, R.; Picart, S.S.; Steele, M.; Vazquezcuervo, J. Half a century of satellite remote sensing of sea-surface temperature. *Remote Sens. Environ.* **2019**, *233*, 49.
4. Robles-tamayo, C.M.; Valdez-holgu, E.; Garc, R.; Figueroa-preciado, G.; Herrercervantes, H.; Juana, L.; Fernando, L. Sea surface temperature (SST) variability of the eastern coastal zone of the Gulf of California. *Remote Sens.* **2018**, *10*(1434), 1–23.
5. Sebastian, M.; Behera, M.R. Impact of SST on tropical cyclones in North Indian Ocean. *Procedia Eng.* **2015**, *116*, 1072–1077.
6. Buckley, J.M.; Mingels, B.; Tandon, A. The impact of lateral advection on SST and SSS in the northern Bay of Bengal during 2015. *Deep-Sea Research Part II.* 2020, *172*, 104653. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2019.104653>.
7. Stramska, M.; Białogrodzka, J. Spatial and temporal variability of sea surface temperature in the Baltic Sea based on 32-years (1982–2013) of satellite data. *Oceanologia* **2015**, *57*, 223–235. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceano.2015.04.004>.
8. Tadjuddah, M. Observations of sea surface temperature on spatial and temporal using Aqua MODIS Satellite in West Banda Sea. *Procedia Environ. Sci.* **2016**, *33*, 568–573.
9. Goela, P.C. et al. Time series analysis of data for sea surface temperature and upwelling components from the southwest coast of Portugal. *J. Mar. Syst.* **2016**, *163*, 12–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.06.002>.
10. Wijffels, S.E. et al. A fine spatial-scale sea surface temperature atlas of the Australian regional seas (SSTAARS): Seasonal variability and trends around Australasia and New Zealand revisited. *J. Mar. Syst.* **2018**, *187*, 156–196. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.07.005>.
11. Alosairi, Y.; Alsulaiman, N.; Rashed, A.; Al-Houtiet, D. et al. World record extreme sea surface temperatures in the northwestern Arabian/Persian Gulf verified by in situ measurements. *Mar. Pollut. Bull.* **2020**, *161*, 111766. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111766>.
12. Kessler, A.; Goris, N.; Lauvset, S.K. Observation-based Sea surface temperature trends in Atlantic large marine ecosystems. *Prog. Oceanogr.* **2022**, *208*, 102902. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102902>.
13. Long, B.H. Hiện tượng nước trời trong vùng biển Việt Nam. Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội. 2009.
14. Da, N.D.; Herrmann, M.; Morrow, R.; Niño, F.; Huan, N.M.; Trinh, N.Q. Contributions of wind, ocean intrinsic variability, and ENSO to the interannual variability of the South Vietnam upwelling: A modeling study. *J. Geophys. Res. Ocean.* **2019**, *124*(9), 6545–6574.

15. Thái, T.D.; Ngọc, T.B.; Long, B.H. Vai trò của hoàn lưu nước và dòng chảy xoáy lên biến động nước trời Nam Trung Bộ Việt Nam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 758, 11–22. doi:10.36335/VNJHM.2024(758).11-22.
16. Huy, L.Q.; Thục, T.; Ưu, Đ.V.; Hiền, N.X. Ảnh hưởng của dao động nội mùa quy mô nửa tuần đến trường gió và trường nhiệt độ nước biển bề mặt khu vực biển ven bờ Việt Nam trong mùa hè. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 679, 19–26.
17. Hiền, N.X.; Thục, T.; Quyết, V.K.; Hải, K.V.; Thanh, N.T. Xu thế thay đổi của nhiệt độ mặt nước biển khu vực biển Việt Nam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 639, 5–9.
18. Đăng, V.H.; Huân, N.M.; Thủy, N.B.; Thục, Đ.N. Nghiên cứu các đặc trưng biến động của trường nhiệt độ bề mặt vùng biển Nam Trung Bộ giai đoạn 2002-2018. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, EME2, 139–145.
19. Vinh, V.D.; Ouillon, S.; Hai, N.M. Sea surface temperature trend analysis by Mann-Kendall test and sen's slope estimator: a study of the Hai Phong coastal area (Vietnam) for the period 1995-2020. *VN J. Earth Sci.* **2022**, 44(1), 73–91. doi:10.15625/2615-9783/16874.
20. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản Biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam. Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2020.
21. Hường, N.V.; Minh, N.H.; Hùng, B.T.; Vụ, T.V.; Văn, C.T. Nghiên cứu phân bố front nhiệt độ nước biển tầng mặt ở biển Việt Nam phục vụ dự báo ngư trường khai thác hải sản. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 719, 66–75. doi:10.36335/VNJHM.2020(719).66-75.
22. Hùng, B.T.; Tuấn, N.N. cs. Nghiên cứu phân bố và biến động các khu vực nước trời và ảnh hưởng của chúng tới nguồn lợi cá nổi nhỏ vùng biển ven bờ Việt Nam. *Tap chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn - Chuyên đề nghiên cứu nghề cá biển* **2019**, 19, 232–238.
23. Huân, P.V. Giáo trình Dự báo hải văn biển. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia, Hà Nội. 2006.
24. Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V. River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. *J. Hydrol.* **1970**, 10 (3), 282–290. doi:10.1016/0022-1694(70)90255-6.

## **Assessment of sea surface temperature in the Vietnam sea for the period 2000-2022 according to data from the HYCOM model**

**Nguyen Quoc Trinh<sup>1,2\*</sup>, Nguyen Minh Huan<sup>3</sup>, Pham Quang Nam<sup>4</sup>, Nguyen Quang Vinh<sup>5</sup>, Do Thi Thu Ha<sup>6</sup>, Nguyen Quang Thanh<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Geography, Vietnam Academy of Science and Technology (VAST); maitrinhvinh@gmail.com; nqtrinh@ig.vast.vn; nqthanh1965@gmail.com

<sup>2</sup> Graduate University of Science and Technology, VAST; nqtrinh@ig.vast.vn

<sup>3</sup> Hanoi University of Sciences, Vietnam National University (VNU); nmhuan61@gmail.com

<sup>4</sup> Marine Hydrometeorological Center, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration (VNMHA), MONRE; phamquangnam93@gmail.com

<sup>5</sup> National Centre for Hydro-Meteorological Network, VNMHA, MONRE; vinhk46da@yahoo.com

<sup>6</sup> Institute of Mechanics, VAST; dtthuha15@gmail.com

**Abstract:** In this article, research has been conducted on statistical characteristics and analysis, evaluation and comparison of measurements and average data (daily, monthly and yearly) at some stations between HYCOM model products and observational. The sea

surface temperature (SST) was selected for comparison and evaluation is a main element in the oceanography. The method applies statistical characteristics, correlation function (R) and NASH efficiency index (NSE) to determine the agreement between observation and simulation. The statistical results show that the average seasonal SST ensures spatial distribution and changes over time. Comparative evaluation was performed and the best monthly average data series results were obtained with correlation coefficient (R) greater than 89% and common NSE index greater than 0.79, except for Phu Quoc station only reached 0.51. This result exploits data on monthly averages of the HYCOM model quite well for the northern and central seas of Vietnam. The southern sea region needs to be carefully considered before use. Because there are still limitations, more research is needed and the number of comparison stations also needs to increase to ensure this data source has more realistic meaning.

**Keywords:** Sea Surface Temperature (SST); HYCOM model; East Vietnam Sea; Correlation coefficient; NSE index.

Bài báo khoa học

# Ứng dụng TRIGRS và kết hợp TRIGRS với Scoops3D trong dự báo trượt lở đất do mưa

Đỗ Văn Vững<sup>1</sup>, Nguyễn Đức Hà<sup>2</sup>, Nguyễn Huy Dương<sup>3</sup>, Trần Thế Việt<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi; Dovanvung.tl@gmail.com

<sup>2</sup> Cục Địa chất Việt Nam; nh14vn@gmail.com

<sup>3</sup> Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản; nguyenhuyduong112358@gmail.com

<sup>4</sup> Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi; trantheviet@tlu.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: trantheviet@tlu.edu.vn; Tel.: +84-986492582

Ban Biên tập nhận bài: 8/1/2024; Ngày phản biện xong: 5/2/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2024

**Tóm tắt:** Nghiên cứu này giới thiệu phần mềm TRIGRS và Scoops3D trong dự báo trượt lở đất do mưa. Theo đó, TRIGRS ngoài dùng để dự báo trượt lở còn được dùng để tính phân bố mực nước ngầm trong tầng phủ theo thời gian. Scoops3D sau đó dùng phân bố mực nước ngầm tính được để đánh giá ổn định mái dốc theo không gian ba chiều. Phương pháp đề xuất được áp dụng để phân tích điểm trượt xảy ra vào khoảng 12:00 sáng ngày 07/08/2023 ở thung lũng Mường Hoa - thị trấn Sapa. Kết quả tính cho thấy tại thời điểm xảy ra trượt, cả TRIGRS và Scoops3D dù đã chỉ ra được vị trí thực tế xảy ra trượt nhưng đều dự báo quá so với vết trượt thực tế. TRIGRS dự báo quá về diện tích vùng bị trượt, trong khi Scoops3D dự báo quá về vùng an toàn. Sự trùng khớp giữa vết trượt thực tế với vùng nguy hiểm dự báo bởi Scoops3D tốt hơn với tỷ lệ trùng khớp là 42% so với tỷ lệ của TRIGRS là khoảng 34%. Sự sai lệch trong kết quả tính toán có thể liên quan tới các giả thiết về số liệu đầu vào và điều kiện ban đầu trước khi có mưa. Do đó, với những vùng có đủ dữ liệu tính, phương pháp đề xuất sẽ là một công cụ mạnh trong dự báo trượt lở đất do mưa.

**Từ khóa:** Trượt lở đất; TRIGRS; Scoops3D; Mực nước ngầm; Ổn định mái dốc.

## 1. Mở đầu

Trượt lở đất là một trong những hiểm họa tự nhiên gây ra những mối đe dọa đáng kể đến tính mạng con người, cơ sở hạ tầng và môi trường [1, 2]. Loại hình tai biến địa chất này là nguyên nhân của nhiều thương vong, thiệt hại tài sản và sự gián đoạn các hoạt động kinh tế-xã hội trong các khu vực bị ảnh hưởng. Việc dự báo chính xác và kịp thời sự xuất hiện của trượt lở đất đóng vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu thiệt hại, giúp triển khai các biện pháp phòng ngừa hiệu quả, bảo đảm sự an toàn cho cuộc sống của người dân [3-5].

Trong những năm gần đây, đã có một sự gia tăng đáng kể việc áp dụng các công nghệ tiên tiến và phương pháp mới nhằm nâng cao khả năng dự báo trượt lở đất [1, 6-8]. Một trong số những cách tiếp cận này là kết hợp mô hình lưới vật lý với công nghệ ảnh vệ tinh [8-11]. Sự kết hợp này đã tạo ra một công cụ mạnh mẽ để cải thiện độ chính xác và tính hiệu quả của công tác dự báo trượt lở đất, đặc biệt là trong các bài toán mô phỏng trượt lở đất do mưa. Các mô hình lưới vật lý dựa trên việc chia khu vực nghiên cứu thành một lưới các ô vuông đặc trưng bởi độ phân giải của bản đồ, trong đó một số đặc tính cụ thể như đặc trưng về đất, điều kiện địa hình, thảm phủ, dữ liệu nước ngầm và mưa được gán cho từng ô lưới [8, 11, 12]. Qua việc phân tích tương tác giữa các biến số vừa nêu, mô hình có khả năng mô phỏng và đánh giá khả năng xảy ra trượt lở. Phương pháp này giúp đánh giá toàn diện hơn về phân bố không gian và biến động thời gian của nguy cơ trượt lở đất, từ đó nâng cao độ chính xác trong công tác dự báo trượt lở.

Công nghệ ảnh vệ tinh và viễn thám hiện nay đang đóng vai trò then chốt trong việc thu thập dữ liệu độ phân giải cao về hiện trạng bề mặt đất, chỉ số thảm thực vật và điều kiện mưa [10]. Qua các kỹ thuật này, nhiều thông tin có giá trị về đặc điểm địa hình và các yếu tố môi trường ảnh hưởng đến khả năng trượt lở có thể được thu thập. Bằng cách kết hợp dữ liệu ảnh vệ tinh với mô hình lưới vật lý, các nhà nghiên cứu có thể nâng cao độ chính xác trong dự báo và ghi nhận sự tương tác phức tạp giữa các yếu tố khác nhau có ảnh hưởng tới sự xuất hiện của trượt lở đất.

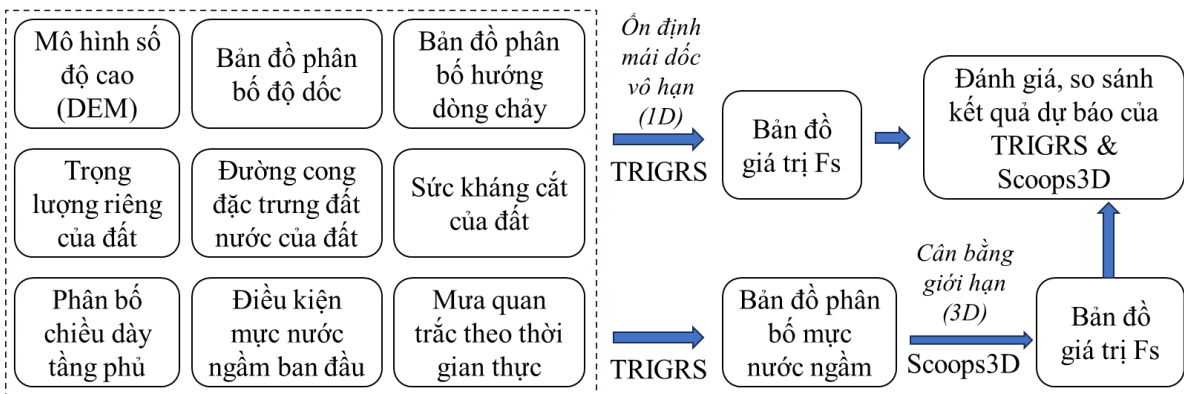
TRIGRS là phần mềm kết hợp mô hình thủy văn và địa kỹ thuật trong tính toán trượt lở mái dốc do mưa. Phần mềm này kết hợp tính dòng chảy ngầm do nước mưa với việc định tuyến dòng chảy tràn trên bề mặt và mô hình ổn định mái dốc vô hạn. Từ khi được công bố vào năm 2002, TRIGRS đã được dùng rộng rãi ở rất nhiều nước trên thế giới để giúp dự báo trượt lở đất do mưa theo thời gian thực như ở Mỹ, Trung Quốc, Italia, Hàn Quốc [2–4, 12]. Ở Việt Nam, nghiên cứu [2] đã áp dụng TRIGRS để mô phỏng trượt lở khu vực Lào Cai. Tuy nhiên, do thiếu phần kiểm chứng kết quả và diện tích vùng nghiên cứu quá rộng nên vẫn chưa thể đánh giá được khả năng hay sự phù hợp của TRIGRS khi dự báo trượt lở đất do mưa cho các khu vực miền núi phía Bắc ở Việt Nam nơi chịu ảnh hưởng sâu sắc của điều kiện khí hậu nhiệt đới.

Scoops3D được phát triển bởi Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ, phần mềm dùng phương pháp cân bằng giới hạn (LEM) 3D và “phương pháp phân cột” để xác định mặt trượt tiềm năng [13]. Trong trường hợp này là giao tuyến giữa các mặt cầu với các cột đất được định nghĩa thông qua độ phân giải của mô hình số độ cao (DEM). Với mỗi mặt trượt tiềm năng, Scoops3D sẽ tính toán hệ số an toàn chống trượt theo mặt trượt tương ứng. Điểm tiến bộ của phần mềm là khả năng chỉ ra tất cả các khối trượt tiềm năng cho toàn bộ bề mặt địa hình đang xét. Ở Việt Nam, nghiên cứu [14] đã dùng Scoops3D để mô phỏng điểm trượt ở thung lũng Mường Hoa năm 2019. Tuy nhiên, tác giả đã dùng quá nhiều các giả thiết về điều kiện ban đầu và điều kiện biên để đơn giản hóa bài toán.

Nghiên cứu này ứng dụng và đánh giá khả năng áp dụng (có kiểm chứng) mô hình lưới vật lý trong việc tính toán dự báo trượt lở đất do mưa. Theo đó, phần mềm TRIGRS ngoài dùng để tính toán trượt lở đất còn được dùng để tính toán sự biến đổi của áp lực nước lỗ rỗng trong tầng phủ theo thời gian do mưa. Phần mềm Scoops3D sau đó sử dụng phân bố áp lực nước lỗ rỗng vừa tính được để đánh giá ổn định mái dốc theo không gian ba chiều dưới dạng bản đồ phân bố hệ số an toàn. Chất lượng của bản đồ phân bố hệ số an toàn trượt lở được đánh giá thông qua việc chồng khớp bản đồ dự báo lên bản đồ hiện trạng trượt lở ở khu vực nghiên cứu sử dụng chỉ số MSR (*Modified Success Rate*).

## 2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu tính toán

Như đã đề cập, ngoài việc dùng TRIGRS để mô phỏng trượt lở đất, nghiên cứu còn kết hợp TRIGRS và Scoops3D để mô phỏng bài toán trượt lở đất do mưa trong không gian ba chiều dùng mô hình số độ cao trích xuất từ dữ liệu bay UAV. Hình 1 thể hiện sơ đồ cấu trúc



**Hình 1.** Cấu trúc nghiên cứu áp dụng TRIGRS và kết hợp TRIGRS với Scoops3D trong dự báo trượt lở đất.

nghiên cứu khi áp dụng mô hình TRIGRS và kết hợp TRIGRS với Scoops3D trong dự báo trượt lở đất.

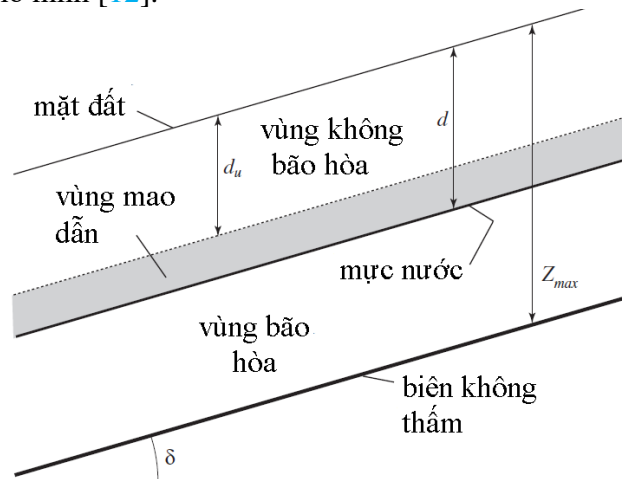
a) Cơ sở lý thuyết bài toán tính toán biến đổi áp lực nước lỗ rỗng trong mái dốc dùng TRIGRS

TRIGRS [8, 12] là mô hình mã nguồn mở, một chiều (1D) đã được áp dụng rộng rãi để dự đoán trượt nông do mưa gây ra [2, 4, 8, 12, 15]. TRIGRS kết hợp mô hình thủy văn với mô hình tính ổn định mái dốc vô hạn để phân tích bài toán trượt lở đất do mưa [12]. Phần mềm lần đầu được giới thiệu vào năm 2002 dựa vào phương pháp khuyến nghị bởi Iverson [16] với việc cho phép xét tới số liệu mưa theo thời gian thực. Trong phiên bản mới hơn (TRIGRS 2.0), nghiên cứu [12] đã cải tiến công thức 1D của Richard để tính toán sự ngấm nước vào mái dốc do mưa dùng hệ trục tọa độ chuyển đổi [16]. Lời giải giải tích của công thức [17] khuyến nghị để xác định lượng ngấm nước vào trong tầng phủ không bão hòa phía trên mực nước ngầm.

TRIGRS cho phép mô phỏng dòng thấm trong điều kiện bão hòa hoặc không bão hòa vào mái dốc với tầng đá không thấm ở độ sâu vô hạn hoặc hữu hạn. Căn cứ vào đặc điểm của khu vực nghiên cứu, mô hình tính thấm vào môi trường đất không bão hòa ở thời điểm ban đầu với tầng không thấm ở chiều sâu hữu hạn được chọn. Lựa chọn này coi mặt cắt ngang địa chất gồm 3 lớp với lớp dưới cùng là lớp đất bão hòa nằm dưới mực nước ngầm, tiếp đến là lớp đất bão hòa do mao dẫn, và trên cùng là lớp đất không bão hòa giới hạn bởi mặt đất tự nhiên (Hình 2). TRIGRS dùng mô hình thấm nước có xét ảnh hưởng của sự biến đổi cột nước áp  $\psi$  là hàm số của độ sâu  $Z$  và thời gian  $t$  theo mô hình thủy văn [16]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\psi) \left( \frac{1}{\cos^2 \delta} \frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

Trong đó  $\theta$  là độ ẩm thể tích của đất;  $t$  là thời gian (s),  $z$  là độ sâu điểm tính (m),  $K(\Psi)$  là hàm thấm (m/s) theo phương đứng,  $\delta$  là góc dốc, và  $\psi$  là áp lực nước lỗ rỗng (kPa). Lời giải của công thức trên và các diễn giải chi tiết hơn về mô hình TRIGRS được trình bày trong tài liệu diễn giải về mô hình [12].



**Hình 2.** Các điều kiện biên giả thiết trong bài toán tính thấm nước do mưa dùng TRIGRS.

Trong công thức (1), sự phụ thuộc của hệ số thấm  $K(\psi)$  và độ ẩm thể tích  $\theta$  vào cột nước áp trong công thức của Richard được mô tả bởi các mối liên hệ sau:

$$K(\psi) = K_s \exp(\alpha \psi^*) \quad (2)$$

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \exp(\alpha \psi^*) \quad (3)$$

Trong công thức (2) và (3),  $\psi^* = \psi - \psi_0$ , với  $\psi_0$  là hệ số như định nghĩa dưới đây,  $K_s$  là hệ số thấm bão hòa theo phương Z,  $\theta_r$  là độ ẩm thể tích dư, và  $\theta_s$  là độ ẩm thể tích bão hòa. Tham số  $\alpha$  đặc trưng cho phân bố kích thước lỗ rỗng trong đất hay có thể hiểu đây là độ giảm hệ số thấm hoặc độ ẩm của đất khi  $\psi < 0$ .  $\alpha$  được ước lượng bằng cách khớp công thức (3) vào đường cong đặc trưng đất nước.  $\psi_0 = -1/\alpha$ , thể hiện chiều cao của cột nước mao dẫn phía trên mực nước ngầm. Để hiểu chi tiết về công thức (1) cũng như cách diễn giải cho công thức này, có thể tham khảo thêm trong hướng dẫn sử dụng bởi [12].

TRIGRS áp dụng phương pháp D8 để định tuyến dòng chảy từ ô lưới này sang các ô xung quanh. Mô hình tính lượng ngấm I vào mỗi ô lưới là tổng của lượng mưa P và lượng chảy bề mặt từ tất cả các ô xung quanh,  $R_u$  với giả thiết rằng lượng ngấm nước I vào một ô lưới không vượt quá hệ số thấm bão hòa  $K_s$  của ô đó. Dòng chảy mặt sẽ xuất hiện khi điều kiện này không đảm bảo. Trong cả hai trường hợp, lượng thấm nước được xác định theo:

$$I = P + R_u \text{ nếu } P + R_u \leq K_s \quad (4)$$

$$I = K_s, \text{ nếu } P + R_u > K_s \quad (5)$$

Ở mỗi ô lưới khi  $P + R_u > K_s$ , lượng nước vượt này sẽ được coi là dòng chảy mặt,  $R_d$ , và lập tức được chuyển sang các ô lưới liền kề xung quanh theo hướng dốc

$$R_d = P + R_u - K_s, \text{ nếu } P + R_u - K_s \geq 0 \quad (6)$$

$$R_d = 0, \text{ nếu } P + R_u - K_s < 0 \quad (7)$$

#### b) Đánh giá ổn định mái dốc dùng TRIGRS

Vùng nghiên cứu đặc trưng bởi mô hình số độ cao được chia thành các ô lưới. Mỗi ô đặc trưng cho một cột đất với kích thước là độ phân giải của bản đồ sử dụng và chiều dày là chiều dày của tầng phủ phía trên nền không thấm. Bỏ qua lực tương tác giữa các cột đất kề nhau, sự an toàn ổn định của một cột đất bất kỳ ở thời điểm xác định tại độ sâu Z được đặc trưng bởi hệ số an toàn  $F_s$  là tỷ số giữa sức kháng ma sát Coulomb và các thành phần ứng suất gây trượt do trọng lực [18]:

$$F_s(Z, t) = \frac{\tan \Phi'}{\tan \delta} + \frac{(c' + \Delta C) - \psi(z, t) \gamma_w \tan \Phi'}{\gamma_z Z \sin \delta \cos \delta} \quad (8)$$

Trong đó  $c'$  là lực dính hiệu quả của đất;  $\Delta C$  là lực dính thực do sự hiện diện của rễ cây trong đất,  $\Phi'$  là góc ma sát trong hiệu quả,  $\psi$  là cột nước áp là hàm số của độ sâu Z và thời gian t;  $\delta$  là góc dốc;  $\gamma_w$  là trọng lượng riêng của nước,  $\gamma_s$  là trọng lượng riêng của đất.

#### c) Đánh giá ổn định mái dốc dùng Scoops3D

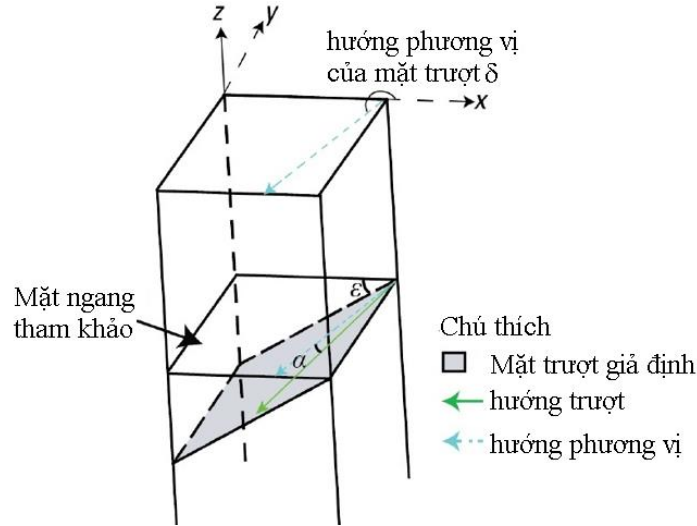
Scoops3D được phát triển bởi Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ, phần mềm dùng phương pháp cân bằng giới hạn (LEM) 3D và “phương pháp phân cột” để xác định mặt trượt tiềm năng. Trong trường hợp này là các giao tuyến giữa các mặt cầu với các cột đất được định nghĩa thông qua độ phân giải của mô hình số độ cao (DEM). Với mỗi mặt trượt tiềm năng, Scoops3D sẽ tính toán hệ số an toàn chống trượt tương ứng. Điểm tiến bộ của phần mềm là có thể xét ảnh hưởng của bề mặt địa hình thông qua mô hình số độ cao và chỉ ra tất cả các khối trượt tiềm năng cho toàn bộ bề mặt địa hình đang xét.

Scoops3D giả thiết sự cân bằng lực và mô men xảy ra ở tất cả các cột đất cũng như với toàn bộ khối trượt. Phần mềm phân tích mặt phá hoại dạng chỏm cầu bằng cách mở rộng lý thuyết Bishop đơn giản vào không gian ba chiều. Theo đó, hệ số an toàn ổn định được xác định theo:

$$FS = \frac{\sum R_{i,j} \left[ c_{i,j} A_{h_{i,j}} + (w_{i,j} - u_{i,j} A_{h_{i,j}}) \tan \Phi_{i,j} \right] / m_{\alpha_{i,j}}}{\sum w_{i,j} (R_{i,j} \sin \alpha_{i,j} + k_{eq} e_{i,j})} \quad (8)$$

Trong đó  $A_{h_{i,j}}$  là diện tích ngang của mặt trượt giả định ở đáy của cột đất (i, j);  $R_{(i,j)}$  là cánh tay đòn của lực kháng trượt hoặc là bán kính mặt trượt;  $W_{i,j}$  đặc trưng cho trọng lượng

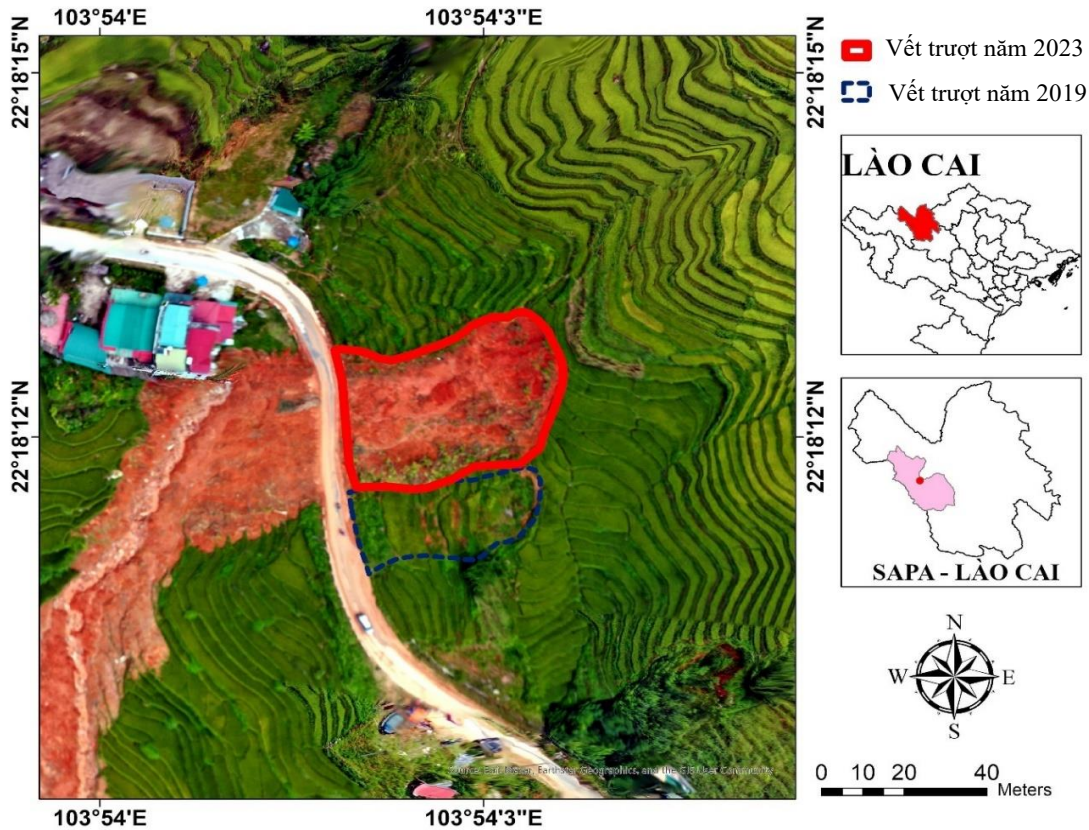
của cột đất (i, j) phía trên mặt trượt;  $\alpha_{i,j}$  đặc trưng cho hướng dốc thực của đáy cột đất theo hướng trượt;  $k_{eq}$  là hệ số gia tốc động đất theo phương ngang,  $e_{i,j}$  là cánh tay đòn của lực mô men lực ngang (bằng khoảng cách theo phương ngang từ tâm của cột đất đến cao độ của trục quay), và  $m_{\alpha_{i,j}} = \cos \epsilon_{i,j} + (\sin \alpha_{i,j} \tan \phi_{i,j}) / F_{s3D}$ ; với  $\epsilon_{i,j}$  = góc dốc thực của mặt trượt tính toán và mặt ngang như mô tả trong Hình 3. Cần chú ý rằng, các giá trị có thêm ký hiệu (i, j) có thể thay đổi từ cột này sang cột khác.



Hình 3. Sơ đồ tính ổn định mái dốc dùng Scoops3D [14].

d) Khu vực nghiên cứu

Vào khoảng 12:00 sáng ngày mùng 7 tháng 8 năm 2023, trên tỉnh lộ 152, tại Km9+180 xảy ra một vụ trượt lở đất nghiêm trọng làm khoảng 4700 m<sup>3</sup> đất từ taluy dương trượt xuống đường gây tắc nghẽn giao thông trong nhiều giờ. Sạt vị trí này, ngày 05/08/2019 cũng từng



Hình 4. Vị trí điểm nghiên cứu và vết trượt xác định được từ khảo sát thực địa vẽ trên ảnh UAV.

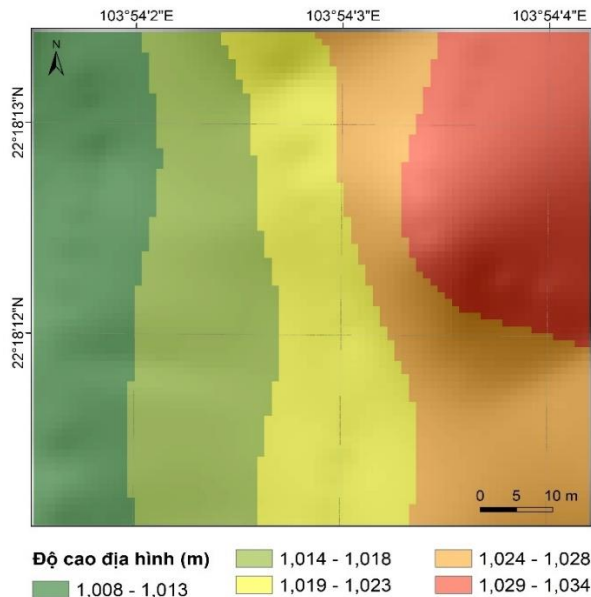


xảy ra trượt lở làm 01 người chết. Vụ trượt đất xảy ra là kết quả của đợt mưa lớn kéo dài trong nhiều ngày khiến vật liệu phía ta luy dương trên đồi bão hòa nước. Hình 4 thể hiện vị trí điểm trượt và quy mô khối trượt.

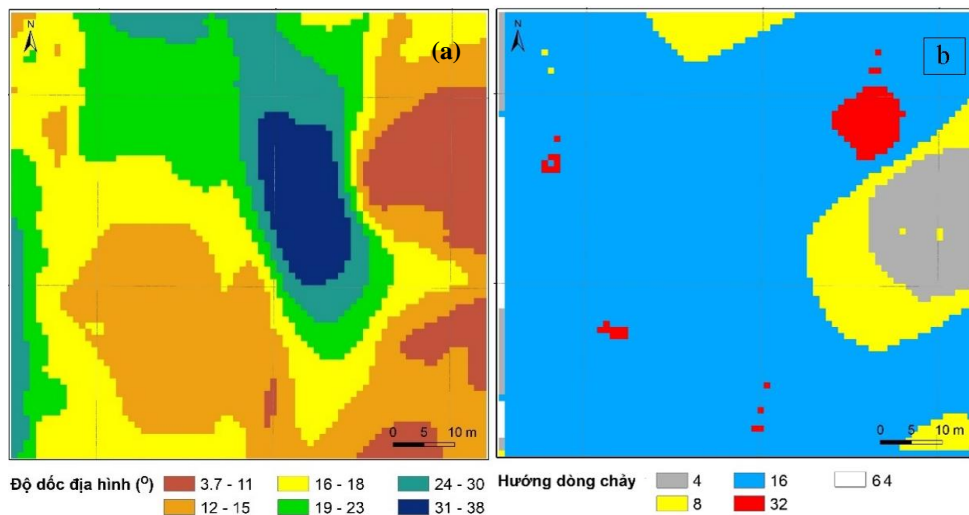
e) Các tài liệu cần thiết dùng cho tính toán

Như phần lớn các mô hình toán khác, việc cung cấp đủ và đảm bảo độ tin cậy của các thông số đầu vào chính là rào cản lớn nhất để có kết quả chính xác khi dùng TRIGRS hay Scoops3D để mô phỏng bài toán trượt lở đất. Các thông số đầu vào chính của TRIGRS và Scoops3D gồm: 1) Các đặc trưng về địa hình thể hiện qua mô hình số độ cao, bản đồ độ dốc, hướng dốc, hướng dòng chảy; 2) Phân bố chiều dày tầng phủ; 3) Phân bố áp lực nước lỗ rỗng theo không gian tại thời điểm tính toán; 4) Phân bố theo không gian một số đặc trưng cơ học của đất gồm sức kháng cắt, trọng lượng riêng, hệ số thấm của đất. Phần này sẽ trình bày chi tiết các tài liệu cần thiết phục vụ tính toán trượt lở đất khi dùng TRIGRS và khi kết hợp TRIGRS và Scoops3D.

Hiện nay, do sự phát triển của công nghệ ảnh không gian và hàng không, các bản đồ mô hình số độ cao (DEM) đang ngày càng chính xác và có độ phân giải tốt hơn. Nghiên cứu này dùng DEM với độ phân giải 1,0 m xuất từ ảnh bay UAV. Hình 5 thể hiện phân cấp cao độ khu vực nghiên cứu. Từ mô hình số độ cao, dùng phần mềm ArcGIS có thể tính được bản đồ độ dốc và hướng dòng chảy mặt. Kết quả tính được thể hiện trong Hình 6.

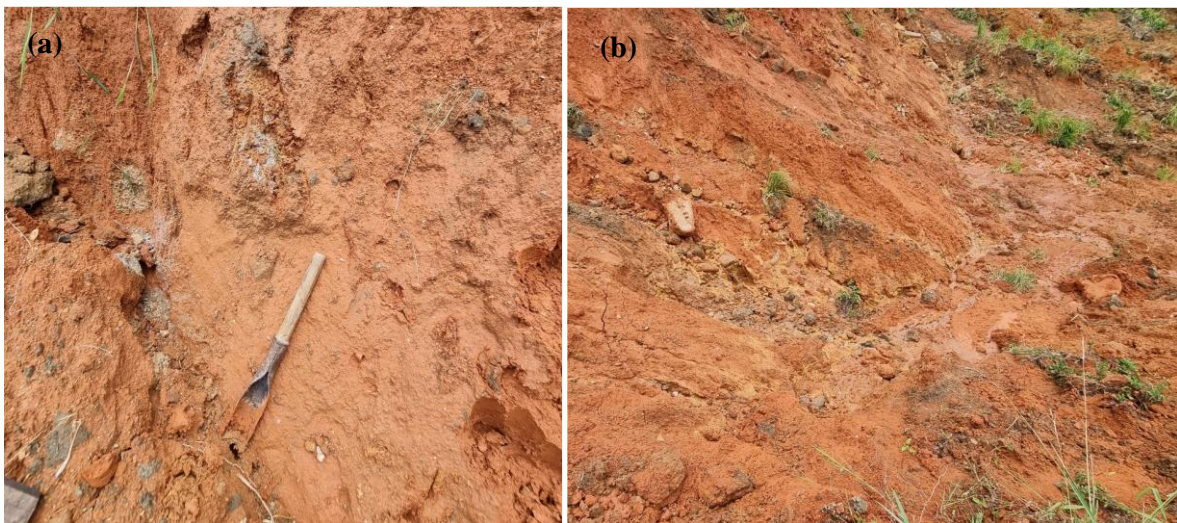


Hình 5. Mô hình số độ cao của khu vực nghiên cứu.

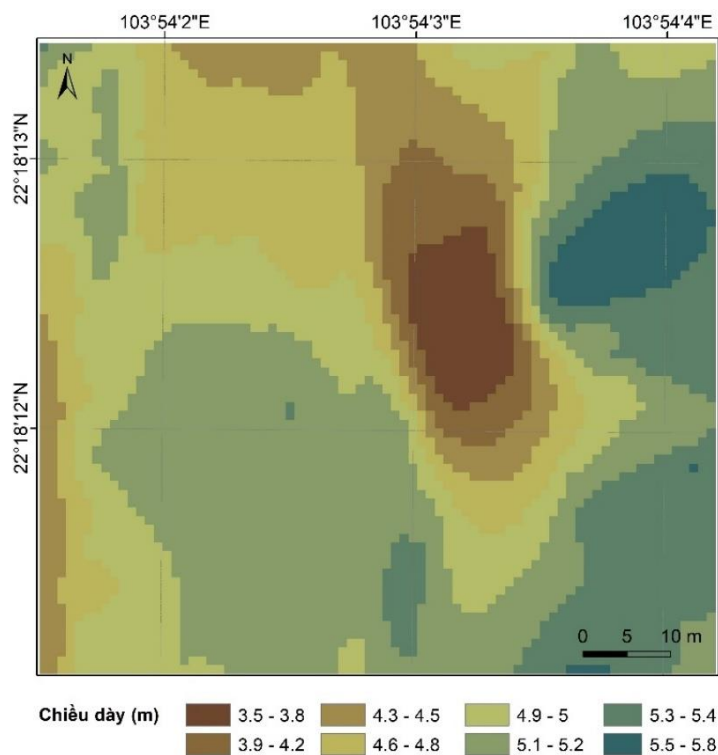


Hình 6. a) Phân bố độ dốc và b) hướng dòng chảy theo không gian.

Định nghĩa chính xác chiều dày tầng phủ làm thông số đầu vào cho TRIGRS và Scoops3D có vai trò quan trọng ảnh hưởng chất lượng của kết quả bản đồ phân bố hệ số an toàn. Tuy nhiên, việc xác định phân bố chiều dày tầng phủ trong không gian là một hàm số phụ thuộc vào rất nhiều các yếu tố như điều kiện thạch học bên dưới, độ dốc mái, loại thảm phủ phía trên,... Do vậy, việc ước lượng phân bố chiều dày tầng phủ đến thời điểm hiện tại vẫn là một thách thức [3, 15, 19]. Kết quả khảo sát hiện trường cho thấy mặt cắt địa chất ở khu vực nghiên cứu được đặc trưng bởi 2 lớp: lớp phủ tàn tích phía trên và lớp đá ít thấm bên dưới (Hình 7a). Các điểm trượt từng xảy ra ở khu vực nghiên cứu và vùng lân cận cho thấy tầng phủ tàn tích có chiều dày tối đa khoảng 6,0 m. Do đó, theo khuyến nghị của một số nghiên cứu [1, 3, 20], trong nghiên cứu này giả thiết chiều dày tầng phủ phân bố tuyến tính theo độ dốc. Theo đó, áp đặt điểm có độ dốc tối đa sẽ ứng với bề dày tầng phủ tối thiểu (0.1 m), và điểm có độ dốc tối thiểu sẽ có bề dày tầng phủ tối đa (6.0 m). Kết quả tính phân bố chiều dày tầng phủ tương ứng được thể hiện trong Hình 8.



**Hình 7.** Mặt phá hoại có sự hiện diện của a) lớp đá ít thấm và b) nước từ tầng phủ rỉ ra.



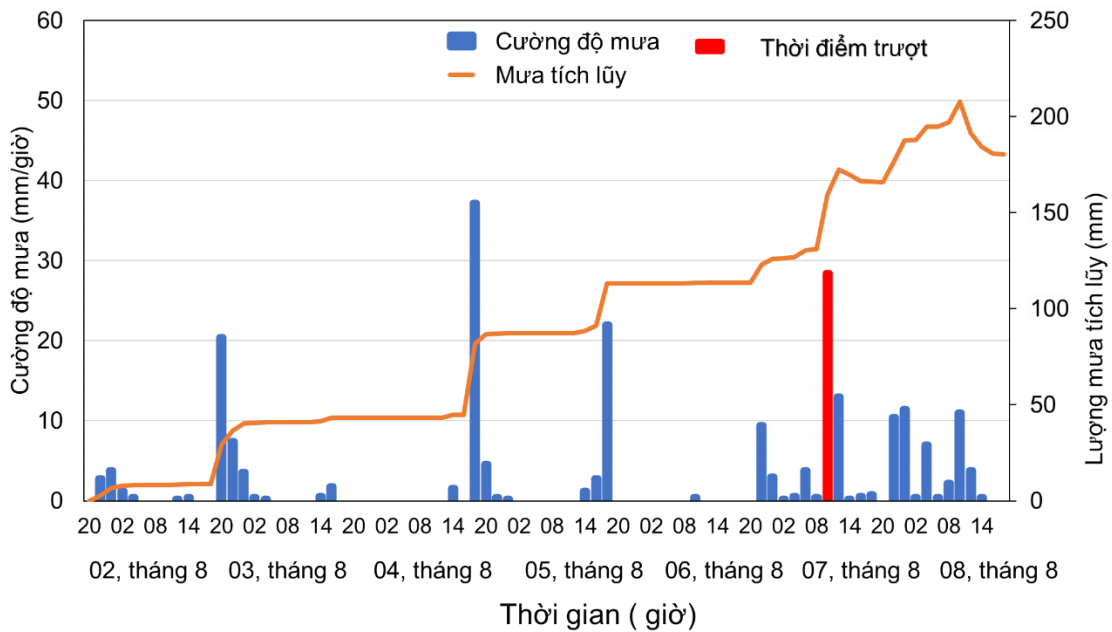
**Hình 8.** Phân bố chiều dày tầng phủ ở khu vực nghiên cứu.

Chỉ tiêu cơ lý của đất dùng trong phân tích ổn định mái dốc áp dụng TRIGRS và Scoops3D gồm sức kháng cắt của đất đặc trưng bởi lực dính ( $c$ ), góc ma sát trong ( $\phi$ ), trọng lượng đơn vị của đất ( $\gamma$ ), và các đặc trưng về thấm của đất. Để xác định các thông số này, các mẫu đất được lấy tại các vị trí lân cận mặt trượt để tiến hành thí nghiệm trong phòng. Kết quả thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 1.

Trong khu vực nghiên cứu cũng như nhiều nơi khác trên thế giới, mưa được xem là nguyên nhân phổ biến nhất gây ra hiện tượng trượt lở đất [4, 14]. Khi mưa thấm vào vùng không bão hòa của đất trong mái dốc, mực nước ngầm trong mái dốc cũng có xu hướng dâng lên. Sự thấm nước này dẫn đến sự tăng mực nước ngầm trong mái dốc, làm gia tăng áp lực nước trong lỗ rỗng. Điều này giảm đi sức kháng cắt của đất và có thể kích hoạt trượt lở đất [21]. TRIGRS cho phép nhập dữ liệu mưa là các bản đồ phân bố mưa trong không gian và theo thời gian thực. Tuy nhiên, do đối tượng nghiên cứu chỉ là một điểm trượt, chúng tôi giả định mưa phân bố đều trong không gian với cường độ và tổng lượng mưa là dữ liệu thực đo. Hình 9 thể hiện dữ liệu mưa tại trạm đo Tả Van, cách điểm nghiên cứu khoảng 1,2 km ở thời điểm trước, trong và sau khi xảy ra sự kiện trượt lở đất.

**Bảng 1.** Bảng các chỉ tiêu cơ lý của đất dùng trong tính toán.

Thông số	Đơn vị	Giá trị trung bình
Trọng lượng riêng $\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	18,1
Góc ma sát trong $\phi$	(°)	14,3
Lực dính $c$	kN/m <sup>2</sup>	16,9
Hệ số thấm bão hòa	m/s	$3,77 \times 10^{-6}$
Độ ẩm thể tích bão hòa $\theta_s$		0,45
Độ ẩm thể tích dư $\theta_r$		0,15



**Hình 9.** Số liệu mưa quan trắc trạm đo mưa Tả Van ở thời điểm trước, trong và sau sự kiện trượt lở (Trượt lở xảy ra vào khoảng 12:00 sáng ngày mùng 7 tháng 8 năm 2023).

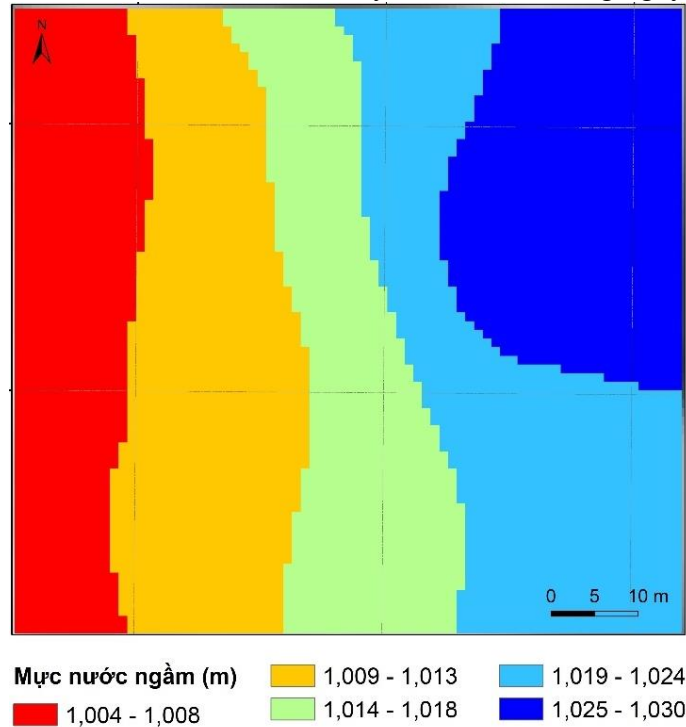
### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Xác định phân bố mực nước ngầm trong mái dốc do mưa dùng TRIGRS

Theo kết quả khảo sát hiện trường sau khi xảy ra sạt lở đất, trên mặt trượt quan sát được nhiều vị trí bị sũng nước (Hình 7b), Do đó, có thể giả thiết rằng mực nước ngầm tại thời điểm

khi mưa bắt đầu trùng với ranh giới giữa lớp phủ và bề mặt lớp đá không thấm (Hình 7a). Dưới tác dụng của mưa, mực nước ngầm trong mái dốc sẽ có xu hướng dâng lên. Kết quả tính mặt đo áp đại diện cho phân bố mực nước ngầm trong điều kiện thủy tĩnh dưới bề mặt địa hình tại thời điểm quan trắc được trượt lở sẽ được dùng làm dữ liệu đầu vào của Scoops3D trong dự báo trượt lở đất.

Từ điều kiện ban đầu đã thiết lập, kết hợp với số liệu quan trắc mưa theo thời gian thực (Hình 9), TRIGRS sẽ tính lại sự phân bố mực nước ngầm. Hình 10 thể hiện kết quả tính phân bố mực nước ngầm tại thời điểm khi trượt lở xảy ra lúc 12:00 sáng ngày 07/08/2023.



**Hình 10.** Phân bố mực nước ngầm ở điểm nghiên cứu tại thời điểm khi sạt trượt xảy ra lúc 12 :00 sáng ngày 07/08/2023.

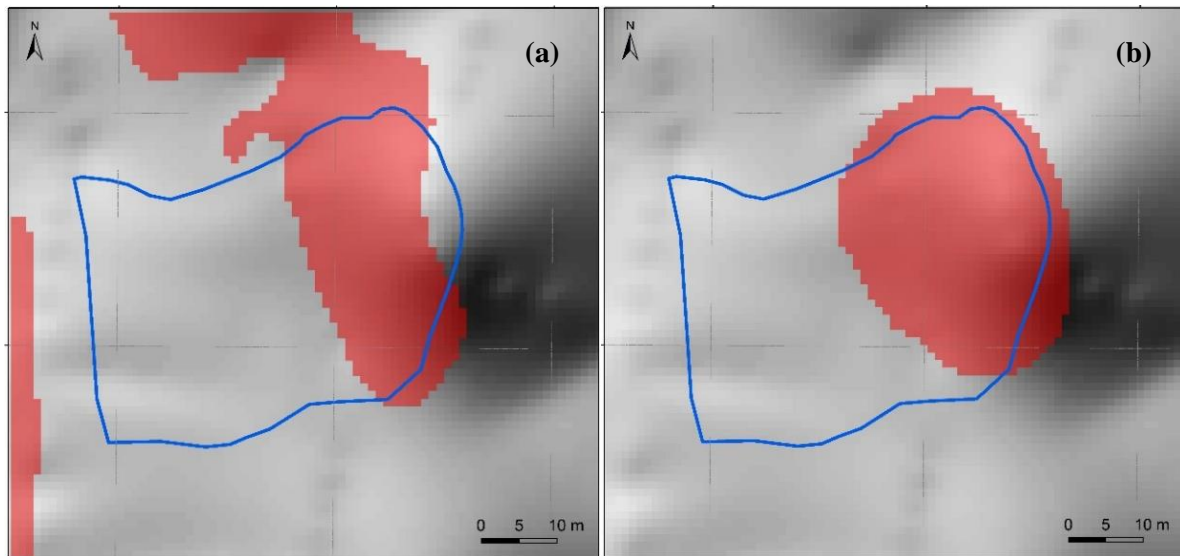
Có thể thấy rằng trong suốt quá trình mưa, mực nước ngầm trong mái dốc có xu hướng dâng cao dần. Tại thời điểm khi sạt lở đất xảy ra, đường mực nước ngầm trong mái dốc dâng cao gần như trùng với cao trình mặt đất tự nhiên. Điều này lý giải nguyên nhân gây ra sự kiện trượt lở đất trong thực tế. Phần tiếp theo, TRIGRS và TRIGRS kết hợp với Scoops3D sẽ được dùng để tính toán phân bố hệ số an toàn ổn định mái dốc theo không gian.

### 3.2. Xác định phân bố hệ số an toàn theo không gian

Kết quả quan trọng nhất của cả TRIGRS và Scoops3D là bản đồ thể hiện hệ số an toàn ổn định trượt FS. Hình 11 thể hiện sơ đồ phân bố hệ số an toàn ổn định mái dốc cho điểm nghiên cứu khi a) tính theo TRIGRS (mô hình mái dốc vô hạn 1D), và b) tính theo Scoops3D (mô hình cân bằng giới hạn 3D). Các khoảng phân loại giá trị FS được chia theo TCVN 13346:2021 [22]. Theo đó, với các mái dốc tiêu chuẩn đường giao thông nông thôn, hệ số an toàn ổn định FS = 1,15 là giá trị ngưỡng phân biệt giữa vùng an toàn (FS > 1,15) và vùng không an toàn (FS ≤ 1,15). Hình 12 thể hiện hình ảnh trực quan vết trượt thực tế, vùng có nguy cơ trượt dự báo bởi TRIGRS và Scoops3D.

Kết quả tính trên Hình 11 cho thấy, cũng như các nghiên cứu từng áp dụng TRIGRS [2, 13, 18-19, 23] hay Scoops3D [3, 14, 17, 24, 25] để dự báo trượt lở đất, mặc dù vùng không an toàn tính toán tại thời điểm trượt và vết trượt thực tế chưa hoàn toàn khớp nhau nhưng về cơ bản, cả TRIGRS và Scoops3D đều đã dự báo khá sát vị trí điểm trượt ở tại thời điểm quan sát thấy trượt lở. Về mặt tổng quan, TRIGRS có vẻ dự báo quá vùng bị trượt khi diện tích

vùng được xếp vào nhóm không an toàn rộng hơn nhiều so với Scoops3D. Điều này sát với logic về các giả thiết được sử dụng khi phân tích ổn định mái dốc theo mô hình 1D (TRIGRS) và 3D (Scoops3D). Chi tiết về chất lượng của kết quả dự báo trượt lở đất của cả 2 mô hình sẽ được thảo luận kỹ hơn trong phần dưới đây.



Hệ số an toàn (FS) ■ <1.15  Vết trượt thực tế  Vết trượt thực tế  
 >1.15  >1.15

**Hình 11.** Bản đồ thể hiện phân bố hệ số an toàn tính theo a) TRIGRS và b) Scoops3D theo không gian tính tại thời điểm mái dốc bị sạt trong thực tế.

### 3.3. Đánh giá kết quả tính toán

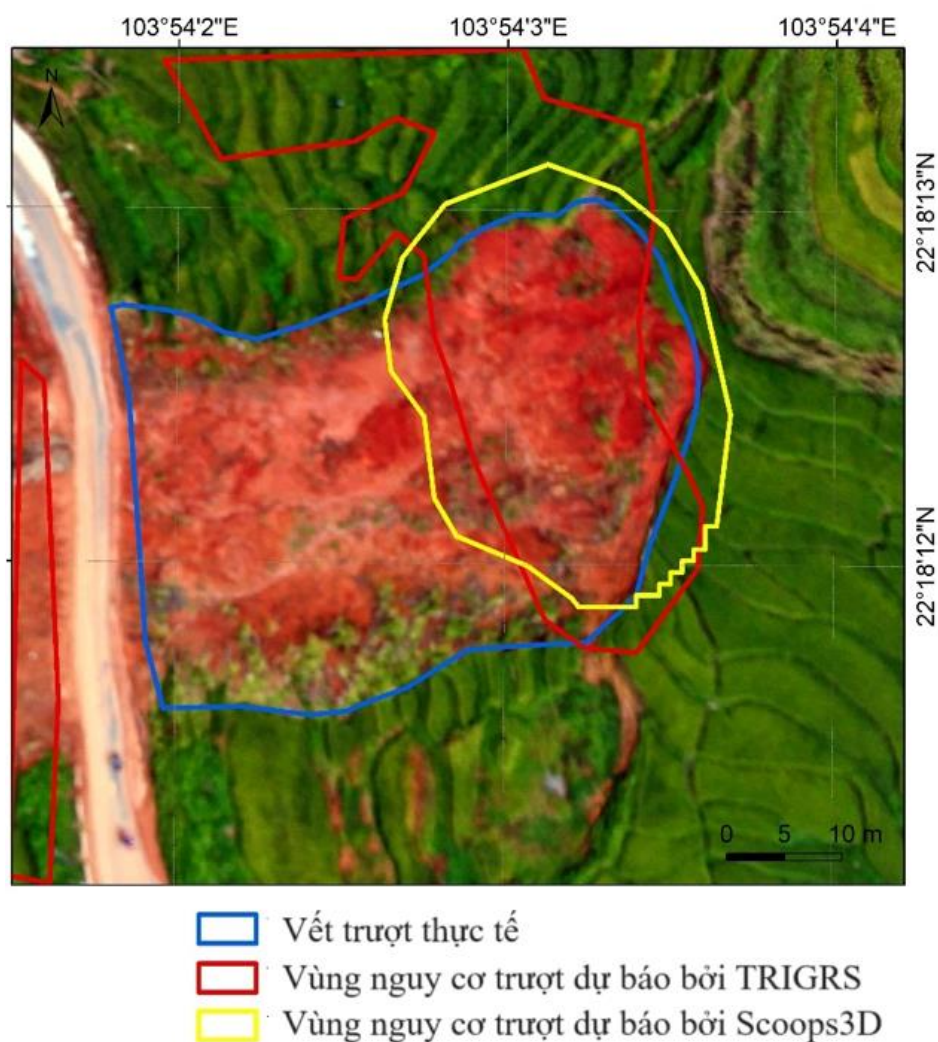
Để đánh giá chất lượng của bản đồ phân bố FS vừa dự toán, kết quả tính sẽ được so sánh với vết trượt thực tế thông qua chỉ số MSR (*Modified Success Rate*) được phát triển bởi [26]. Theo đó, kết quả trên Hình 11 là bản đồ dạng raster thể hiện phân bố hệ số an toàn theo không gian. So sánh giữa kết quả tính toán theo lý thuyết và thực tế vết trượt, có thể phân nhóm các ô lưới trong bản đồ phân bố hệ số an toàn (Hình 11) ra làm 4 vùng: 1) số ô bị trượt thực tế được dự đoán là trượt (AUU); 2) số ô trượt thực tế xảy ra trượt (TAU); 3) số ô thực tế an toàn được dự báo là an toàn (ASS); 4) số ô an toàn thực tế (TAS). Theo đó, nghiên cứu [26] định nghĩa chỉ số MSR như sau:

$$MSR = 0,5 \frac{AUU}{TAU} + 0,5 \frac{ASS}{TAS} \quad (9)$$

Trong công thức (9), có thể thấy giá trị MSR thay đổi từ 0,0 đến 1,0. Theo nghiên cứu [26], bản đồ dự đoán FS sẽ có độ chính xác cao nhất khi  $0,8 \leq MSR \leq 0,9$ . Khi  $MSR < 0,8$ , kết quả bị “dự đoán quá” (*overprediction*), ngược lại khi  $MSR > 0,9$ , kết quả dự đoán là thiếu (*underprediction*). Bảng 2 thể hiện kết quả tính chỉ số MSR cho Hình 11a, 11b.

**Bảng 2.** Kết quả tính toán chỉ số MSR (thêm 1 dòng thể hiện Success Rate (SR = AUU/TAU)).

Thông số	Đơn vị (Scoop3D)	Đơn vị (TRIGRS)
AUU	677	545
TAU	1621	1621
ASS	3656	3825
TAS	3825	4361
SR	0,42	0,34
MSR	0,69	0,59



**Hình 12.** Bản đồ vùng dự báo nguy cơ bị trượt đất sử dụng TRIGRS và Scoops3D trên ảnh chụp từ thiết bị bay UAV.

Từ kết quả trên Bảng 2 có thể thấy cả TRIGRS và Scoops3D đều dự báo quá so với vết trượt thực tế. Trường hợp của TRIGRS là dự báo quá về diện tích vùng bị trượt, còn trường hợp của Scoops3D là dự báo quá về vùng an toàn. Tuy nhiên, Scoops3D cho kết quả dự đoán về phạm vi khối trượt tốt hơn khi khoảng 42% số ô lưới trong khối trượt được dự đoán chính xác so với của TRIGRS là khoảng 34%.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu dùng TRIGRS và kết hợp TRIGRS và Scoops3D để phân tích ổn định mái dốc cho khu vực nghiên cứu do mưa. Trong đó, TRIGRS ngoài việc dùng để phân tích trượt lở đất còn được dùng để tính sự biến đổi phân bố mực nước ngầm trong tầng phủ ứng với số liệu mưa thực đo theo thời gian. Trạng thái mực nước ngầm tại thời điểm trượt lở sẽ được trích xuất và dùng làm một trong những thông số đầu vào của Scoops3D để đánh giá ổn định mái dốc. Để kiểm chứng chất lượng của mô hình tính, bản đồ hệ số an toàn dự đoán theo cả TRIGRS và Scoops3D được so sánh với vết trượt thực tế xảy ra vào ngày mùng 7 tháng 8 năm 2023 dùng chỉ số MSR.

Ở thời điểm xảy ra trượt lở, cả TRIGRS và Scoops3D đều dự đoán khá tốt vị trí xảy ra trượt dù kết quả dự báo là “quá” so với vết trượt thực tế. Trường hợp của TRIGRS là dự báo quá về diện tích vùng bị trượt, còn trường hợp của Scoops3D là dự báo quá về vùng an toàn. Tuy nhiên, sự sai khác trong kết quả tính toán có thể do việc sử dụng các giả thiết về số liệu

đầu vào như phân bố chiều dày tầng phủ, phân bố mực nước ngầm ở thời điểm ban đầu, cũng như phân bố chỉ tiêu cơ lý của tầng phủ theo không gian chưa hợp lý. Ngoài ra, việc bỏ qua diễn tiến của khối trượt sau khi sự mất ổn định xảy ra ở một vùng cụ thể cũng có thể là nguyên nhân làm cho Scoops3D dự báo quá về vùng an toàn hoặc TRIGRS dự báo quá về vùng bị trượt.

Kết quả của mô hình tính áp dụng TRIGRS hay kết hợp giữa TRIGRS và Scoops3D đều rất nhạy với điều kiện tham số ban đầu cũng như độ tin cậy của số liệu đầu vào. Do đó, yếu tố quan trọng nhất để giảm sai số của mô hình tính là độ tin cậy của số liệu đầu vào và việc thiết lập điều kiện ban đầu. Điều này đòi hỏi khối lượng lớn các điều tra hiện trường. Đây cũng là một trong những nhược điểm của việc ứng dụng các mô hình lưới vật lý trong dự báo trượt lở đất do mưa. Ngoài ra, có thể xảy ra tình huống khi một vị trí bị sạt có thể lôi kéo các vị trí khác bị sạt theo. Do đó, trong tương lai, vẫn cần có các nghiên cứu sâu hơn để đánh giá diễn tiến khối trượt theo thời gian để mô tả được chính xác bản chất và quy mô thực tế của khối trượt.

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

**Lời cảm ơn:** Bài báo được thực hiện có sự hỗ trợ về mặt dữ liệu của Phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật- Trường Đại học Thủy lợi.

**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. Nguyen, H.D.; Nguyen, T.H.; Pham, V.S.; Tran, T.V.; Nguyen, D.H. Proposed procedure of survey and model application for forecasting flow landslide susceptibility and hazards - A case study in Tam Chung commune, Thanh Hoa province. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, *16*, 23–37.
2. Nhật, N.V.; Trí, Đ.Q.; Tuyết, Q.T.T.; Hiền, T.D. Nghiên cứu ứng dụng mô hình TRIGRS mô phỏng trượt lở khu vực Lào Cai, Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *742*, 65–74.
3. Tran, T.V.; Alvioli, M.; Lee, G.H.; An, H. Three-dimensional, time-dependent modeling of rainfall-induced landslides over a digital landscape: A case study. *Landslides* **2018**, *15*, 1071–1084.
4. Tran, T.V.; Hoang, V.H.; Pham, H.D.; Go, S.T. và Vu, H.H. Non-linear, time-variant approach to simulate the rainfall-induced slope failure of an unsaturated soil slope: A case study in Sapa, Vietnam. *J. Disaster Res.* **2021**, *16*(4), 512–520.
5. Kiên, N.T.; Viet, T.T.; Lien, V.T.H.; Linh, P.L.H.; Thanh, N.Q. Landslide susceptibility mapping based on the combination of bivariate statistics and modified analytic hierarchy process methods: A case study of Tinh Tuc Town, Nguyen Binh District, Cao Bang Province, Vietnam. *J. Disaster Res.* **2021**, *16*(4), 521–528.
6. Lineback Gritzner, M.; Marcus, W.A.; Aspinall, R.; Custer, S.G. Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modeling and topographic attributes, Payette River, Idaho. *Geomorphology* **2001**, *37*, 149–165.
7. Lu, N.; Godt, J.W. Hillslope hydrology and stability. Cambridge University: Cambridge University Press. Cambridge, 2012.
8. Alvioli, M.; Baum, R.L. Parallelization of the TRIGRS model for rainfall-induced landslides using the message passing interface. *Environ. Modell. Software* **2016**, *81*, 122–135.

9. An, H.; Viet, T.T.; Lee, G.H.; Kim, Y.; Kim, M.; Noh, S.; Noh, J. Development of time-variant landslide-prediction software considering three-dimensional subsurface unsaturated flow. *Environ. Modell. Software* **2016**, *85*, 172–183.
10. Casagli, N.; Intrieri, E.; Tofani, V.; Gigli, G.; Raspini, F. Landslide detection, monitoring and prediction with remote-sensing techniques. *Nat. Rev. Earth Environ.* **2023**, *4*, 51–64.
11. Dietrich, W.; Montgomery, D. A digital terrain model for mapping shallow landslide potential. University of California Berkeley, 1998, pp. 26.
12. Baum, R.L.; Savage, W.Z.; Godt, J.W. TRIGRS - A Fortran program for transient rainfall infiltration and grid - based regional slope stability analysis, Version 2.0. U.S. Department of the Interior: Virginia, 2008, pp. 75.
13. Mark, E.R.; Sarah, B.C.; Dianne, L.B.; Scott, T.H. Scoops3D—software to analyze three-dimensional slope stability throughout a digital landscape. United States Department of Interior. Virginia, USA, 2015, pp. 218.
14. Tran, T.V.; Hoang, V.H.; Pham, H.D.; Go, S.T. Use of Scoops3D and GIS for the assessment of slope stability in three-dimensional: A case study in Sapa, Vietnam. Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining, Bui, D.T. Editor, Springer Nature Switzerland: Ha Noi, 2020, pp. 210–229.
15. Tran, T.V.; Lee, G.H.; Trinh, M. Shallow Landslide Assessment Considering the Influence of Vegetation Cover. *J. Korean Geo-Envir. Soc.* **2016**, *17(4)*, 17–31.
16. Iverson, R.M. Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resour. Res.* **2000**, *36(7)*, 1897–1910.
17. Srivastava, R. và Yeh, T.C.J. Analytical solutions for one-dimensional, transient infiltration toward the water table in homogenous and layered soils. *Water Resour. Res.* **1991**, *27*, 753–762.
18. Taylor, D.W. Fundamentals of soil mechanics. John Wiley and Sons, Inc. New York **1948**, pp. 712.
19. Tran, T.V.; Lee, G.H.; Thu, T.M.; An, H.U. Effect of digital elevation model resolution on shallow landslide modeling using TRIGRS. *Nat. Hazard Rev.* **2016**, *18(2)*, 1–12.
20. Salciarini, D.; Godt, J.; Savage, W.; Conversini, P.; Baum, R.; Michael, J. Modeling regional initiation of rainfall-induced shallow landslides in the eastern Umbria Region of central Italy. *Landslides* **2006**, *3(3)*, 181–194.
21. Tran, T.V.; Thu, T.M.; Lee, G.H.; Oh, S.; Van, N.T.H. Effect of extreme rainfall on cut slope stability: Case study in Yen Bai City, Viet Nam. *J. Korean Geo-Envir. Soc.* **2015**, *16(4)*, 23–32.
22. Tổng Cục Đường Bộ Việt Nam. TCVN 13346:2021: Công trình phòng chống đất sụt trên đường ô tô - Yêu cầu khảo sát và thiết kế. Bộ Khoa học và Công nghệ: Bộ Giao thông vận tải, 2021, tr. 34.
23. Tran, T.V.; Lee, G.H.; An, H.; Kim, M.S. Comparing the performance of TRIGRS and TiVaSS in spatial and temporal prediction of rainfall-induced shallow landslides. *Environ. Earth Sci.* **2017**, *76(8)*, 1–16.
24. Nhu, V.H.; Duong, B.V.; Vu, H.D. 3D slopes stability modeling for landslide early warning design at Halong city area. *Journal of Mining and Earth Sciences* **2019**, *60(6)*, 31–41.
25. Marín, R.J.; Jaramillo, G.R. Landslide susceptibility assessment using the Scoops3d model in a tropical mountainous terrain. *Ingeniería Y Ciencia* **2021**, *17(33)*, 71–96.
26. Huang, J.C.; Kao, S.J. Optimal estimator for assessing landslide model performance. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2006**, *10(6)*, 957–965.



## **Application of TRIGRS and integration of TRIGRS with Scoops3D in rain-induced landslide prediction**

**Do Van Vung<sup>1</sup>, Nguyen Duc Ha<sup>2</sup>, Nguyen Huy Duong<sup>3</sup>, Tran The Viet<sup>4\*</sup>**

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, Thuyloi University; dovanvung.tl@gmail.com

<sup>2</sup> Viet Nam Geological Department (VGD); nh14vn@gmail.com

<sup>3</sup> Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources;  
nguyenhuyduong112358@gmail.com

<sup>4</sup> Department of Civil Engineering, Thuyloi University; trantheviet@tlu.edu.vn

**Abstract:** This study introduces the TRIGRS and Scoops3D software in the prediction of rainfall-induced landslides. In this regard, TRIGRS was not only employed for landslide prediction but also used to simulate the distribution of the groundwater level within the soil cover layer over time. Subsequently, Scoops3D utilized the calculated distribution of groundwater table to assess the three-dimensional stability of the slope in the research area. The proposed method was applied to analyze a landslide occurrence around noon on August 7, 2023, in the Mường Hoa Valley - Sapa town. The results indicated that both TRIGRS and Scoops3D accurately identified the location of the landslide at the observed time of landslide occurrence. However, they overestimate it. TRIGRS overestimated the sliding area, while Scoops3D overestimated the safe zone. The alignment between the actual landslide scar and the hazard zone predicted by Scoops3D was better, with a matching rate of 42%, compared to TRIGRS, which had a matching rate of approximately 34%. Discrepancies in the computational results may be related to assumptions regarding input data and initial conditions before rainfall. Therefore, for regions with sufficient computational data, the proposed method will be a powerful tool in predicting rainfall-induced landslides.

**Keywords:** Landslide; TRIGRS; Scoops3D; Groundwater table; Slope stability.

# Table of content

- 1 Son, N.H.; Cham, D.D.; Vu, P.K.; Hang, P.A. Assessing agricultural production's vulnerability to climate change in Huong Hoa district, Quang Tri province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *761*, 1–12.
- 13 Hieu, N.P.; Van, D.D.H.; Khoi, D.N. Developing model for simulation of air quality index in Ho Chi Minh City using machine learning algorithms. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *761*, 13–24.
- 25 Hai, N.D.; Quang, P.N. Building a 3D underwater terrain model based on the parametric curve method. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *761*, 25–35.
- 36 Tuyen, D.T.N.; Hoang, H.M.; Thao, M.P.; Trang, H.N.H.; Quoc, H.V.; Loi, L.T.; Thao, D.T.P. Application of Geographic Information System (GIS) in supporting the management and current status assessment of groundwater use in Cau Ngang district, Tra Vinh province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *761*, 36–45.
- 46 Giang, L.S.; Binh, N.H.T.; Phu, N.N.M.; Hoa, N.T.T. Assessment of flood hazard and risks in Thu Duc city using probability approach of combination. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *761*, 46–55.
- 56 Phu, H.; Ha, T.T.M.; Hue, N.T. Research and evaluate water quality of main rivers in Binh Thuan province and propose prerequisite solutions to protect water sources. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *761*, 56–69.
- 70 Trinh, N.Q.; Huan, N.M.; Nam, P.Q.; Vinh, N.Q.; Ha, D.T.T.; Thanh, N.Q. Assessment of sea surface temperature in the Vietnam sea for the period 2000-2022 according to data from the HYCOM model. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *761*, 70–81.
- 82 Vung, D.V.; Ha, N.D.; Duong, N.H.; Viet, T.T. Application of TRIGRS and integration of TRIGRS with Scoops3D in rain-induced landslide prediction. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *761*, 82–95.