

**TẠP CHÍ**

# **KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN**

**Vietnam Journal of Hydro - Meteorology**

**ISSN 2525 - 2208**



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

**Số 727**

**07-2021**



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

**Trị sự và Phát hành**  
**Đặng Quốc Khánh**

- |                              |                             |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. GS. TS. Trần Hồng Thái    | 14. TS. Đoàn Quang Trí      |
| 2. GS. TS. Trần Thục         | 15. PGS. TS. Mai Văn Khiêm  |
| 3. GS. TS. Mai Trọng Nhuận   | 16. PGS. TS. Nguyễn Bá Thủy |
| 4. GS. TS. Phan Văn Tân      | 17. TS. Tống Ngọc Thanh     |
| 5. GS. TS. Nguyễn Kỳ Phùng   | 18. TS. Đinh Thái Hưng      |
| 6. GS. TS. Phan Đình Tuấn    | 19. TS. Võ Văn Hòa          |
| 7. GS. TS. Nguyễn Kim Lợi    | 20. TS. Nguyễn Đắc Đồng     |
| 8. PGS. TS. Nguyễn Thanh Sơn | 21. GS. TS. Kazuo Saito     |
| 9. PGS. TS. Nguyễn Văn Thắng | 22. GS. TS. Jun Matsumoto   |
| 10. PGS. TS. Dương Văn Khâm  | 23. GS. TS. Jaecheol Nam    |
| 11. PGS. TS. Dương Hồng Sơn  | 24. TS. Keunyong Song       |
| 12. TS. Hoàng Đức Cường      | 25. TS. Lars Robert Hole    |
| 13. TS. Bạch Quang Dũng      | 26. TS. Sooyoul Kim         |

**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: 25.000 đồng

**TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN**  
**SỐ 727 - 07/2021**

**MỤC LỤC**

**Bài báo khoa học**

- 1 Ngô Đại Dương, Hải Hồng Phan, Phạm Lê Phương:** Nghiên cứu ứng dụng thuật toán nhận dạng cấu trúc bảng dựa trên phát hiện đối tượng
- 13 Phạm Khánh Ngọc, Nguyễn Bá Thủy:** Một số kết quả ban đầu về ứng dụng số liệu vệ tinh đánh giá độ cao sóng dự báo
- 24 Giáp Văn Vinh, Nguyễn Nam Đức, Nguyễn Hồng Hải:** Giải pháp tăng cường công tác giám sát, kiểm soát và khai thác số liệu quan trắc từ các mạng lưới trạm khí tượng thủy văn tự động ở khu vực Nam Bộ
- 33 Hồ Công Toàn, Đặng Trường An:** Xây dựng đường cong cường độ–thời đoạn–tần suất mưa hướng đến thiết lập bản đồ ngập lụt cho khu vực bán đảo Cà Mau
- 44 Nguyễn Văn Hồng, Nguyễn Thị Cẩm Mi:** Xu thế biến đổi của các yếu tố khí hậu và kịch bản biến đổi khí hậu tỉnh Ninh Thuận
- 56 Lê Ngọc Tuấn, Đoàn Thanh Huy:** Diễn biến chất lượng nước mặt vùng bờ thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 2016–2019
- 68 Lê Ngọc Tuấn, Trần Tuấn Hoàng:** Dự báo chất lượng nước mặt vùng bờ thành phố Hồ Chí Minh đến năm 2030 phục vụ đánh giá khả năng tiếp nhận nước thải
- 82 Đặng Trường An:** Xây dựng mô hình số mô phỏng biến đổi hình thái sông có địa hình đáy dốc

# Nghiên cứu ứng dụng thuật toán nhận dạng cấu trúc bảng dựa trên phát hiện đối tượng

Ngô Đại Dương<sup>1</sup>, Hải Hồng Phan<sup>1\*</sup>, Phạm Lê Phương<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Học Viện Kỹ thuật Quân Sự; hongpth@lqdtu.edu.vn; daiduong28789@hotmail.com

<sup>2</sup> Trung tâm Thông tin và Dữ liệu KTTV; phuongpl80@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: hongpth@lqdtu.edu.vn; Tel: +84-372576968

Ban Biên tập nhận bài: 05/3/2021; Ngày phản biện xong: 10/5/2021; Ngày đăng bài: 25/7/2021

**Tóm tắt:** Nhận dạng cấu trúc bảng là vấn đề quan trọng trong số hóa tài liệu. Với sự phát triển của các kỹ thuật học sâu hiện nay việc phát hiện bảng đã có nhiều bước tiến lớn, trong khi đó nhận dạng cấu trúc bảng vẫn gặp rất nhiều khó khăn do cấu trúc bảng phức tạp, đặc biệt với dữ liệu thực tế. Bài báo này đề xuất một phương pháp ứng dụng mô hình Cascade mask R-CNN x101FPN deconv để nhận dạng hàng và cột. Bài báo cũng đề xuất sử dụng mô hình Faster R-CNN để nhận dạng các ô trong bảng, từ đó đưa ra cấu trúc bảng. Thuật toán đề xuất được đánh giá trên tập dữ liệu phổ biến như TabStructDB và các tài liệu thu thập được từ các trạm Khí tượng thủy văn. Kết quả thực nghiệm đạt 90% độ chính xác trên các tập dữ liệu này. Thuật toán có khả năng áp dụng hiệu quả vào việc nhận dạng cấu trúc bảng của các tài liệu thông thường; đặc biệt thuật toán có khả năng xử lý với các tài liệu lịch sử và các chữ viết tay, phù hợp với đặc điểm tài liệu của ngành Khí tượng thủy văn. Từ đó góp phần vào việc số hóa tài liệu, lưu trữ và truy xuất thông tin dữ liệu của ngành Khí tượng thủy văn.

**Từ khóa:** Nhận dạng cấu trúc bảng; Nhận dạng ô; Khí tượng thủy văn.

## 1. Mở đầu

Hiện nay, chuyển đổi số là một trong những mục tiêu phát triển của quốc gia vì lợi ích mà nó mang lại cho sự phát triển kinh tế, xã hội. Một trong các nhiệm vụ quan trọng của chuyển đổi số là số hóa tài liệu. Các tài liệu số sách được scan hoặc chụp ảnh rồi lưu vào máy tính dưới dạng định dạng ảnh. Tuy nhiên, để khai thác dữ liệu hiệu quả hơn cần số hóa các file này thành các dạng văn bản. Tài liệu được chia thành nhiều vùng như: vùng đoạn văn bản, vùng tiêu đề, vùng ảnh, vùng bảng... Trong đó, vùng bảng thường chứa nhiều thông tin, nhất là với các tài liệu số sách, kỹ thuật. Do đó, trích rút thông tin bảng trong tài liệu là một khâu quan trọng, quyết định trong số hóa tài liệu.

Cấu trúc bảng trong tài liệu rất đa dạng với nhiều kích thước khác nhau và nhiều loại khác nhau (như bảng có viền, bảng ít viền, bảng không viền). Ngoài ra bảng có thể từ các tài liệu mới, cũ khác nhau và có nhiều loại cấu trúc rất phức tạp. Nhận dạng cấu trúc bảng là xác định các ô (cell), hàng, cột và mối quan hệ phân cấp giữa các ô. Đây là một bài toán rất phức tạp và hiện nay vẫn chưa có một giải pháp tổng thể nào giải quyết được toàn bộ các dữ liệu bảng trong thực tế và kết quả nhận dạng chưa cao.

Một số nghiên cứu tiêu biểu về lĩnh vực này có thể kể tới như: Năm 1997, nghiên cứu [1] lần đầu đề xuất một phương pháp trích rút bảng dựa trên cấu trúc dữ liệu được gọi là đồ thị căn chỉnh ký tự (CAG-Character Alignment Graph), một đồ thị căn chỉnh ký tự được hình thành bằng cách kiểm tra sự liên kết khoảng trắng trong các khối văn bản liền kề. Một số

tham số khác như lỗ (số khoảng trống giữa các cột) và khoảng trống (số khoảng trống liền kề như vậy trên mỗi dòng) được sử dụng để kiểm tra cấu trúc khoảng trống trong một khối dữ liệu. Cùng với sự phát triển của các kỹ thuật học sâu, năm 2017, nghiên cứu [2] đã đề xuất một hệ thống từ đầu đến cuối để hiểu bảng trong tài liệu được gọi là DeepDeSRT. Đầu tiên, nghiên cứu sử dụng mô hình mạng Faster-RCNN [3] cho nhiệm vụ phát hiện bảng, tiếp theo sử dụng mô hình phân đoạn ngữ nghĩa FCN [4] thực hiện nhiệm vụ nhận dạng hàng và cột ở trong bảng. Nghiên cứu thực hiện huấn luyện trên tập dữ liệu Marmot [5], và đánh giá trên tập dữ liệu ICDAR 2013 [6]. Kết quả đạt được  $F_1$  là 96,67% cho nhiệm vụ phát hiện bảng và 91,44% cho nhiệm vụ nhận dạng cấu trúc bảng. Năm 2019, nghiên cứu [7] đã đề xuất một mô hình học sâu tại hội nghị quốc tế về phân tích và nhận dạng tài liệu (ICDAR) dựa vào các phép tích chập biến dạng để nhận dạng hàng và cột của bảng, từ đó có thể xác định các ô và cấu trúc trong bảng.

Nghiên cứu [8] đã đề xuất một mô hình học sâu CascadeTabNet sử dụng để phát hiện và nhận dạng cấu trúc bảng từ đầu đến cuối. Các thử nghiệm của nghiên cứu được thực hiện trên các tập dữ liệu ICDAR 2013, ICDAR 2019 [9], Tablebank [10].

Các phương pháp kể trên phần lớn giải quyết trên ảnh tài liệu xây dựng cho các cuộc thi, chưa xử lý và chứng minh tính hiệu quả với dữ liệu thực tế. Hai là, các dữ liệu thường có một loại lịch sử hoặc hiện đại. Trong khi dữ liệu cần số hóa thực tế có thể gồm cả hai. Dữ liệu của các trạm Khí tượng thủy văn là một trong các dữ liệu như vậy, nó bao gồm cả các tài liệu mới và cũ. Bài báo này đề xuất một phương pháp dựa trên các kỹ thuật phát hiện đối tượng theo hướng học sâu để giải quyết bài toán thực tế. Phương pháp đề xuất được đánh giá trên tập dữ liệu phổ biến TabStructDB mở rộng [1] cho nhiệm vụ nhận dạng hàng và cột, đánh giá nhận dạng các ô trong cột trên tập dữ liệu DetectCell tự xây dựng và tập dữ liệu Khí tượng thủy văn.

Mục đích của nghiên cứu nhằm: (1) đề xuất thuật toán nhận dạng cấu trúc bảng dựa trên mô hình Cascade mask R-CNN x101FPN deconv cho nhiệm vụ nhận dạng hàng và cột và Faster R-CNN cho nhiệm vụ nhận dạng các ô từ các cột ở trong bảng; (2) phương pháp đề xuất được chứng minh hiệu quả trên các tập dữ liệu, đặc biệt dữ liệu thực tế là các tài liệu Khí tượng thủy văn.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Dữ liệu nghiên cứu

#### 2.1.1. Tập dữ liệu TabStructDB mở rộng và DetectCell

Với nhiệm vụ nhận dạng cấu trúc bảng, bài báo sử dụng dữ liệu TabStructDB mở rộng để tăng cường dữ liệu. Dữ liệu này được gán nhãn cho từng hàng và từng cột của bảng. Tổng cộng bao gồm có 2079 ảnh (ban đầu có 1081 ảnh) trong đó có tăng cường thêm 868 ảnh từ tập dữ liệu Tablebank [10] và 130 ảnh của tập dữ liệu quan trắc KTTV. Dữ liệu này được sử dụng để nhận dạng hàng và cột cho bảng. Với nhiệm vụ nhận dạng ô (cell), bài báo đề xuất tập dữ liệu DetectCell với 1.172 ảnh. Mỗi ảnh gán nhãn cho từng ô, dữ liệu gồm cả tập dữ liệu mở rộng và tập dữ liệu quan trắc KTTV.

#### 2.1.2. Tập dữ liệu quan trắc KTTV

Tập dữ liệu Khí tượng thủy văn thu thập bao gồm các sổ sách, bảng biểu từ nhiều năm trước, nó bao gồm cả dữ liệu hiện đại và lịch sử. Có 13 loại sổ sách kỹ thuật khác nhau: sổ quan trắc khí tượng cơ bản, sổ quan trắc mực nước, sổ dùng khi đo độ sâu, tổng bức xạ giờ, sổ quan trắc bốc hơi GGI-3000..., mỗi loại sổ sách thường có các bảng thông thường và các bảng đặc trưng cho từng loại sổ.

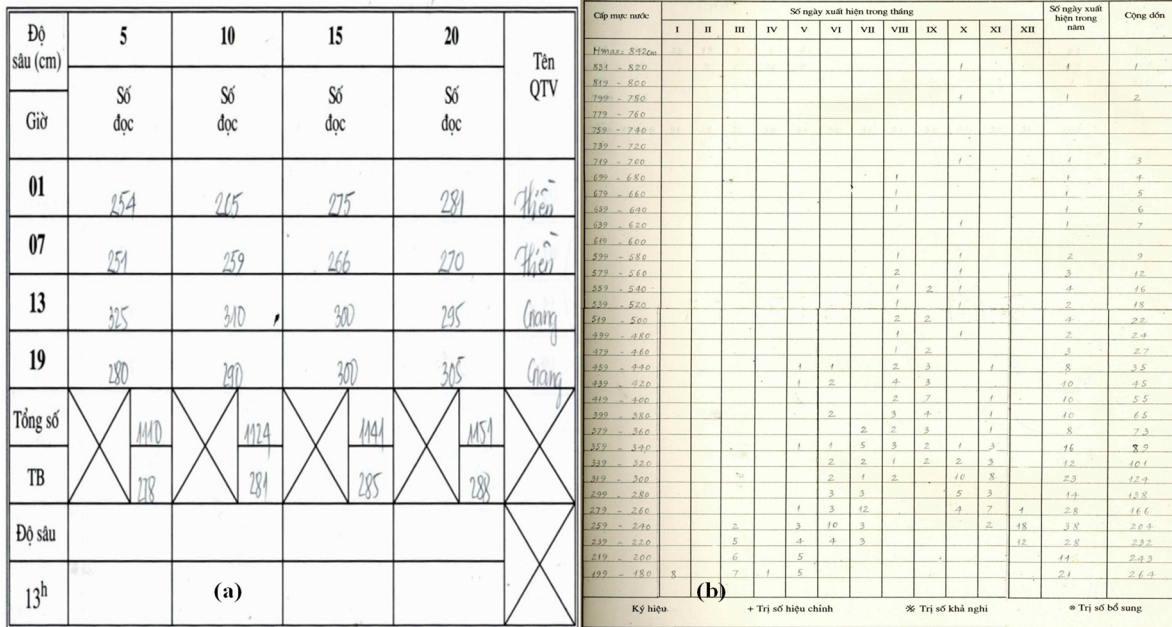
n	Meson	L	S	J	J <sup>PC</sup>	our calculated $\sqrt{\langle r^2 \rangle}$	Theor. $\sqrt{\langle r^2 \rangle}$ with potential model [?]	$ R(0) ^2$	Người đo
						fm	fm	GeV <sup>3</sup>	
2 D	$\eta_{c2}(2^3D_2)$	2	0	2	2 <sup>+-</sup>	1.2595	—	≈ 0	Thủy Phước
	$\psi(2^3D_1)$	2	1	1	1 <sup>--</sup>	1.2112	—	≈ 0	
	$\psi_2(2^3D_2)$	2	1	2	2 <sup>--</sup>	1.2556	—	≈ 0	
	$\psi_3(2^3D_3)$	2	1	3	3 <sup>--</sup>	1.2793	—	≈ 0	
3 D	$\eta_{c2}(3^4D_2)$	2	0	2	2 <sup>+-</sup>	1.57397	—	≈ 0	Nguyễn
	$\psi(3^3D_1)$	2	1	1	1 <sup>--</sup>	1.52397	—	≈ 0	
	$\psi_2(3^3D_2)$	2	1	2	2 <sup>--</sup>	1.5706	—	≈ 0	
	$\psi_3(3^3D_3)$	2	1	3	3 <sup>--</sup>	1.59398	—	≈ 0	
4 D	$\eta_{c2}(4^4D_2)$	2	0	2	2 <sup>+-</sup>	1.8596	—	≈ 0	Thủy Sương Phước
	$\psi(4^3D_1)$	2	1	1	1 <sup>--</sup>	1.80785	—	≈ 0	
	$\psi_2(4^3D_2)$	2	1	2	2 <sup>--</sup>	1.8565	—	≈ 0	
	$\psi_3(4^3D_3)$	2	1	3	3 <sup>--</sup>	1.8798	—	≈ 0	
5 D	$\eta_{c2}(5^4D_2)$	2	0	2	2 <sup>+-</sup>	2.1248	—	≈ 0	Sương Phước
	$\psi(5^3D_1)$	2	1	1	1 <sup>--</sup>	2.0714	—	≈ 0	
	$\psi_2(5^3D_2)$	2	1	2	2 <sup>--</sup>	2.1218	—	≈ 0	
	$\psi_3(5^3D_3)$	2	1	3	3 <sup>--</sup>	2.1452	—	≈ 0	
1 F	$h_{c3}(1^3F_3)$	3	0	3	3 <sup>+-</sup>	1.0878	—	≈ 0	Hoàn Phước
	$\chi_2(1^3F_2)$	3	1	2	2 <sup>++</sup>	1.06896	—	≈ 0	
	$\chi_3(1^3F_3)$	3	1	3	3 <sup>++</sup>	1.08628	—	≈ 0	
	$\chi_4(1^3F_4)$	3	1	4	4 <sup>++</sup>	1.09818	—	≈ 0	
2 F	$h_{c3}(2^3F_3)$	3	0	3	3 <sup>+-</sup>	1.4253	—	≈ 0	—
	$\chi_2(2^3F_2)$	3	1	2	2 <sup>++</sup>	1.4062	—	≈ 0	
	$\chi_3(2^3F_3)$	3	1	3	3 <sup>++</sup>	1.42387	—	≈ 0	
	$\chi_4(2^3F_4)$	3	1	4	4 <sup>++</sup>	1.43578	—	≈ 0	
3 F	$h_{c3}(3^3F_3)$	3	0	3	3 <sup>+-</sup>	1.725	—	≈ 0	—
	$\chi_2(3^3F_2)$	3	1	2	2 <sup>++</sup>	1.7056	—	≈ 0	
	$\chi_3(3^3F_3)$	3	1	3	3 <sup>++</sup>	1.72369	—	≈ 0	
	$\chi_4(3^3F_4)$	3	1	4	4 <sup>++</sup>	1.73579	—	≈ 0	
4 F	$h_{c3}(4^3F_3)$	3	0	3	3 <sup>+-</sup>	2.0	—	≈ 0	—
	$\chi_2(4^3F_2)$	3	1	2	2 <sup>++</sup>	1.9802	—	≈ 0	
	$\chi_3(4^3F_3)$	3	1	3	3 <sup>++</sup>	1.9988	—	≈ 0	
	$\chi_4(4^3F_4)$	3	1	4	4 <sup>++</sup>	2.0111	—	≈ 0	
1 G	$\eta_{c1}(1^3G_4)$	4	0	4	4 <sup>+-</sup>	1.2589	—	≈ 0	Hoàn
	$\psi_3(1^3G_3)$	4	1	3	3 <sup>--</sup>	1.25026	—	≈ 0	
	$\psi_4(1^3G_4)$	4	1	4	4 <sup>--</sup>	1.25878	(a)	≈ 0	
	$\psi_5(1^3G_5)$	4	1	5	5 <sup>--</sup>	1.26409	—	≈ 0	

**Hình 1.** Ảnh của tập dữ liệu TabStrucDB và tập dữ liệu DetectCell (a) bảng có cấu trúc các hàng sát nhau của tập dữ liệu TabStrucDB (b) Một cột của bảng đo lưu lượng bằng máy ADCP tập dữ liệu DetectCell.

**Bảng 1.** Danh sách các số của dữ liệu KTTV.

STT	Tên số	Đặc điểm	Số mẫu
1	SKT-1	Số quan trắc khí tượng cơ bản	642
2	SKT-2	Số quan trắc khí tượng	7
3	SKT-3	Số quan trắc nhiệt độ đất	7
4	SKT-13a	Số quan trắc bốc hơi GGI-3000	7
5	BKT11	Tổng lượng bức xạ giờ	8
6	BKT11a	Cường độ bức xạ giờ	8
7	ADCP	Số ghi chép máy ADCP	6
8	Tài liệu chỉnh biên	Tài liệu chỉnh biên	41
9		Số dùng khi đo độ sâu	16
10		Số ghi quan trắc mực nước	19
11		Số ghi đo lưu lượng nước số 1	11
12		Biểu XL mẫu nước chất lơ lửng	7
13		Biểu ghi tốc độ và tính chất lưu lượng triều	5
<b>Tổng</b>			<b>784</b>

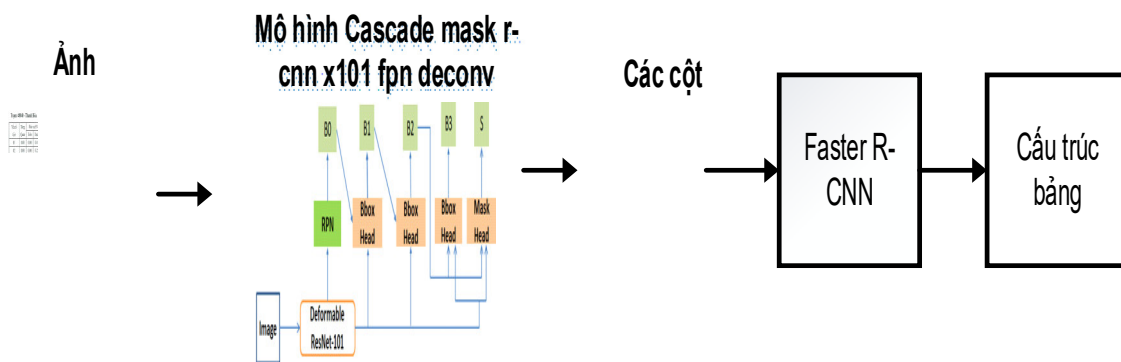
Với dữ liệu ban đầu, có thể phân tập dữ liệu KTTV là những bảng cũ của sổ quan trắc khí tượng có từ năm 1969 đến năm 1985, cũng có những bảng của sổ quan trắc khí tượng cơ bản từ năm 2000 trở về đây. Hình 2 mô tả hai loại bảng trong nhiều loại bảng của tập dữ liệu KTTV. Nghiên cứu cho thấy dữ liệu trong bảng, ngoài là các mực in, còn có các chữ viết tay, dành cho hai loại bảng là lịch sử và hiện đại. Ngoài ra, còn một số bảng kẻ tay cũng được xử lý trong bài báo này. Bước đầu nghiên cứu này sử dụng 130 ảnh đưa vào tập TabStructDB để tiến hành đánh giá thuật toán.



**Hình 2.** Một số loại bảng thuộc tập dữ liệu Khí tượng thủy văn (a) bảng hiện đại, có các số viết tay (b) bảng lịch sử, có các số viết tay.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng mô hình Cascade mask r-cnn\_x101\_fpn\_dconv c3-c5 để nhận dạng hàng và cột. Do kết quả thực nghiệm ban đầu cho thấy kết quả nhận dạng hàng khá tệ, trong khi kết quả nhận dạng cột tốt. Điều này có thể là do các hàng chứa nhiều phân nền, ít đặc trưng cần thiết để nhận dạng và các hàng có khoảng cách gần nhau. Nghiên cứu này đề xuất phương pháp tiếp tục sử dụng một mạng Faster R-CNN để nhận dạng các cell được tách ra từ các cột vừa được nhận dạng. Ý tưởng này xuất phát từ việc nhận thấy rằng các cell trong một hàng có khả năng dễ dàng được nhận dạng hơn là trong toàn bảng, và các cell nhận dạng trong cột tương đương với một hàng trong bảng. Việc lựa chọn Faster R-CNN mục đích muốn lựa chọn một mô hình nhẹ và có hiệu quả cao.



**Hình 3.** Mô hình nhận dạng cấu trúc bảng.

Sau đây, sẽ mô tả về một số kỹ thuật được sử dụng trong nhận dạng cấu trúc bảng cụ thể là mô hình Cascade R-CNN kết hợp với tích chập biến dạng (*Cascade mask r-cnn\_r101\_fpn\_dconv\_c3-c5*). Mô hình này xuất phát từ một số nghiên cứu trước đây như về R-CNN [11], Fast R-CNN [12], Faster R-CNN [4], Mask R-CNN [13], Cascade R-CNN [14], tích chập biến dạng [15], ResNet [16], FPN [17]. Mô hình sẽ được huấn luyện trước với tập dữ liệu COCO [18] trước khi được tinh chỉnh lại với dữ liệu của nghiên cứu này. Điểm khác biệt của mô hình này so với các mô hình khác [3, 8] là sử dụng tích chập biến đổi. Ta có, phép toán tích chập thông thường như sau:

$$(F * I)(i, j) = \sum_{m=-K}^K \sum_{n=-K}^K F(m, n) \times I(i - m, j - n) \quad \forall i = 1, \dots, H, \forall j = 1, \dots, H \quad (1)$$

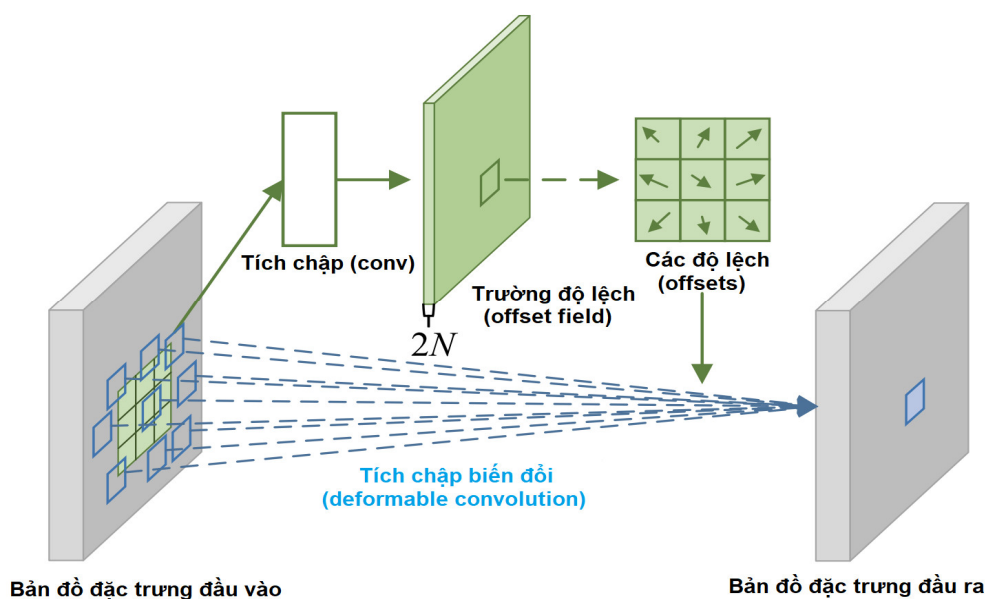
Dấu \* thể hiện phép toán tích chập, F là bộ lọc mà được học, I là ảnh, K là giá trị được tính như sau:  $\lfloor |F|/2 \rfloor$  trong đó  $|F|$  là kích thước của bộ lọc. H là chiều cao của ảnh, W là chiều rộng của ảnh, i, j đại diện cho vị trí đang thực hiện phép tích chập đã đề xuất sử dụng phép toán tích chập có thể biến dạng vào trong nhận dạng hàng và cột trong bảng. Phép tích chập biến dạng sử dụng các hệ số mở rộng thay vì sử dụng lưới cố định cho phép lớp tự điều chỉnh. Các hệ số này được tính toán dựa trên tập hợp các tầng tích chập khác, do đó chúng có thể học được. Công thức của phép tích chập biến dạng 2-D có thể được mô tả bằng công thức như sau:

$$(F \circ I)(i, j) = \sum_{m=-K}^K \sum_{n=-K}^K F(i, j) \times I(i - m + \delta_{i,j,m,n}^{vertical}, j - n + \delta_{i,j,m,n}^{horizontal}) \quad \forall i = 1 \dots H, \forall j = 1 \dots W \quad (2)$$

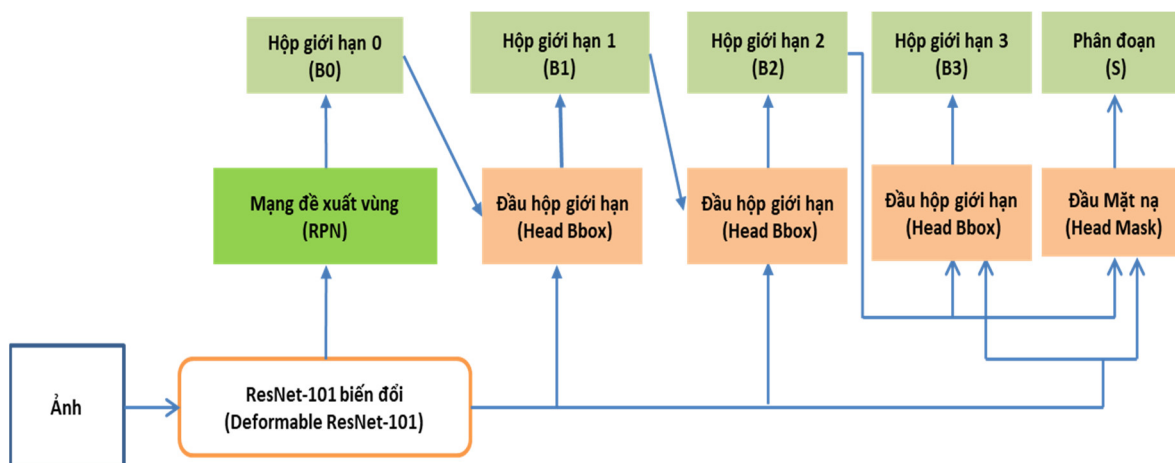
Kí hiệu  $\circ$  thể hiện cho phép tích chập biến dạng, các tham số khác hoàn toàn giống với công thức tích chập thông thường ở trên.  $\delta_{i,j,m,n}^{vertical}$ ,  $\delta_{i,j,m,n}^{horizontal}$  kí hiệu cho các tham số mở rộng. Hình 4 thể hiện phép tích chập biến đổi.

Hình 5 các độ lệch (offset) có thể đạt được bằng cách áp dụng một lớp tích chập trên bản đồ đặc trưng đầu vào. Hạt nhân của tích chập sử dụng độ phân giải, độ giãn nở không gian như của lớp tích chập hiện tại. Trường độ lệch (offset) đầu ra có cùng độ phân giải như bản đồ đặc trưng đầu vào và có 2N kênh trong đó 2N tương ứng với N hiệu số 2D.

Kết hợp tích chập biến đổi với mạng ResNet-101 [16] và với Cascade Mask R-CNN [14], và FPN [17] ta có mô hình mạng như trong Hình 5. Trong đó “I” là ảnh đầu vào, “conv” các tích chập khung xương, “pool” trích rút đặc trưng từng vùng, “H” đầu mạng, “B” hộp giới hạn và “C” là bộ phân loại. “B<sub>0</sub>” là các đề xuất trong toàn bộ kiến trúc.



Hình 4. Biểu diễn trực quan của phép tích chập biến đổi.



Hình 5. Mô hình mạng Cascade mask r-cnn\_r101 dconv.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Tập dữ liệu đánh giá và độ đo

Nghiên cứu đánh giá trên hai tập dữ liệu TabStructDB mở rộng với 130 bảng thuộc tập dữ liệu KTTV, DetectCell và hiển thị một số kết quả nhận dạng cấu trúc bảng trong tập dữ liệu KTTV. Nghiên cứu này chia các tập dữ liệu theo tỷ lệ 60% cho tập huấn luyện, 10% cho tập kiểm định, 30 % cho tập kiểm tra. Kết quả thực nghiệm được thực hiện trên tập kiểm tra.

Độ đo được sử dụng dựa trên tham số IoU (*Intersection over Union*) [19] trên các phép đo Precision, Recall, F1. IoU bằng diện tích vùng chồng lấn giữa hộp dự đoán và hộp đúng (ground truth) chia cho diện tích của vùng được tạo bởi hợp của hộp dự đoán và hộp đúng.

$$IoU = \frac{IA}{(DA + GA - IA)} \tag{3}$$



Hình 6. Mô tả về IoU.

Công thức về độ đo P, R, F1 trung bình:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (IA_i / DA_i) \tag{4}$$

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (IA_i / GA_i) \tag{5}$$

$$F_1 = 2 * ((P * R) / (P + R)) \tag{6}$$

Trong đó IA là diện tích vùng giao nhau giữa hộp dự đoán và hộp đúng, DA là diện tích hộp dự đoán, GA là diện tích hộp đúng, N là số ảnh trong tập kiểm tra.

#### 3.2. Kết quả đánh giá

Nghiên cứu này sử dụng ngôn ngữ lập trình Python, thư viện PyTorch, MMDetection [20] xây dựng chương trình và các mô hình thử nghiệm. Các thực nghiệm của nghiên cứu này được thực hiện trên nền tảng Google Colaboratory Pro với Tesla V100-SXM2 có bộ nhớ GPU 16GB, Intel(R) Xeon(R) CPU @2.30GHz và 24 GB Ram.





SkM*	$\beta_2$	$\gamma$	$r_n$	$r_p$	$\Delta_n$	$\Delta_p$	$-\lambda_n$	$-\lambda_p$
<sup>100</sup> Sn	0.00	—	4.33	4.42	0.00	0.00	17.00	3.15
<sup>102</sup> Sn	0.00	—	4.38	4.43	1.35	0.00	11.86	3.86
<sup>104</sup> Sn	0.00	—	4.42	4.45	1.70	0.00	11.24	4.59
<sup>106</sup> Sn	0.00	—	4.46	4.46	1.80	0.00	10.65	5.33
<sup>108</sup> Sn	0.00	—	4.50	4.48	1.84	0.00	10.13	6.07
<sup>110</sup> Sn	0.00	—	4.54	4.49	1.97	0.00	9.75	6.84
<sup>112</sup> Sn	0.00	—	4.58	4.51	2.05	0.00	9.43	7.60
<sup>114</sup> Sn	0.00	—	4.62	4.53	2.10	0.00	9.13	8.35
<sup>116</sup> Sn	0.00	—	4.66	4.55	2.06	0.00	8.86	9.09
<sup>118</sup> Sn	0.00	—	4.69	4.56	2.00	0.00	8.60	9.82
<sup>120</sup> Sn	0.00	—	4.72	4.58	1.94	0.00	8.36	10.54
<sup>122</sup> Sn	0.00	—	4.75	4.59	1.85	0.00	8.12	11.25
<sup>124</sup> Sn	0.00	—	4.78	4.61	1.75	0.00	7.87	11.95
<sup>126</sup> Sn	0.00	—	4.81	4.62	1.62	0.00	7.62	12.63
<sup>128</sup> Sn	0.00	—	4.84	4.63	1.42	0.00	7.34	13.31
<sup>130</sup> Sn	0.00	—	4.87	4.64	1.10	0.00	7.01	13.98
<sup>132</sup> Sn	0.00	—	4.89	4.66	0.00	0.00	8.48	14.64
<sup>134</sup> Sn	0.00	—	4.93	4.67	0.68	0.00	3.62	15.07
<sup>136</sup> Sn	0.00	—	4.97	4.68	0.78	0.00	3.36	15.51
<sup>138</sup> Sn	0.00	—	5.02	4.69	1.04	0.00	3.11	15.90
<sup>140</sup> Sn	0.00	—	5.07	4.71	1.74	0.00	3.06	16.43

Hình 8. Bảng nhận thiếu hàng.

SkI3	$\beta_2$	$\gamma$	$r_n$	$r_p$	$\Delta_n$	$\Delta_p$	$-\lambda_n$	$-\lambda_p$
<sup>100</sup> Sn	0.00	—	4.33	4.40	0.00	0.00	17.18	3.50
<sup>102</sup> Sn	0.00	—	4.38	4.42	1.54	0.00	11.00	4.33
<sup>104</sup> Sn	0.00	—	4.43	4.43	1.65	0.00	10.40	5.16
<sup>106</sup> Sn	0.00	—	4.48	4.45	2.20	0.00	10.34	6.00
<sup>108</sup> Sn	0.00	—	4.52	4.47	1.83	0.00	9.93	6.81
<sup>110</sup> Sn	0.00	—	4.56	4.49	2.37	0.00	9.76	7.61
<sup>112</sup> Sn	0.00	—	4.60	4.50	2.43	0.00	9.41	8.38
<sup>114</sup> Sn	0.00	—	4.64	4.52	2.31	0.00	9.09	9.13
<sup>116</sup> Sn	0.00	—	4.67	4.53	2.02	0.00	8.69	9.85
<sup>118</sup> Sn	0.00	—	4.71	4.55	2.04	0.00	8.28	10.55
<sup>120</sup> Sn	0.00	—	4.75	4.56	0.00	0.00	8.50	10.94
<sup>122</sup> Sn	0.00	—	4.78	4.57	1.70	0.00	7.61	11.94
<sup>124</sup> Sn	0.00	—	4.81	4.59	1.68	0.00	7.34	12.67
<sup>126</sup> Sn	0.00	—	4.84	4.60	1.61	0.00	7.10	13.40
<sup>128</sup> Sn	0.00	—	4.87	4.61	1.46	0.00	6.85	14.13
<sup>130</sup> Sn	0.00	—	4.90	4.62	1.19	0.00	6.54	14.86
<sup>132</sup> Sn	0.00	—	4.93	4.64	0.00	0.00	8.00	15.56
<sup>134</sup> Sn	0.00	—	4.99	4.65	0.78	0.00	2.00	15.93
<sup>136</sup> Sn	0.00	—	5.04	4.67	1.30	0.00	2.10	16.39
<sup>138</sup> Sn	0.00	—	5.10	4.69	1.61	0.00	2.09	16.63
<sup>140</sup> Sn	0.00	—	5.14	4.71	1.66	0.00	1.94	17.22

Hình 9. Bảng nhận đủ hàng sau khi thực hiện phép kéo dẫn.

3.2.2. Kết quả nhận dạng ô trong bảng

Sau đó, nghiên cứu này tiến hành thực nghiệm việc nhận dạng ô với từng cột và kết hợp chúng lại với nhau. Bảng 4, thể hiện kết quả nhận dạng ô với tập dữ liệu là các cột.

Bảng 4. Kết quả nhận dạng cell.

Mô hình	IoU				WAvg.
	0,6	0,7	0,8	0,9	
Faster R-CNN	88,52	88,60	88,60	<b>88,82</b>	88,63

Dưới đây là một số kết quả thực nghiệm nhận dạng cấu trúc bảng từ đầu đến cuối. Qua trình xử lý gồm: phát hiện hàng, cột và phát hiện cell trong bảng. Qua kết quả thực nghiệm, thuật toán có khả năng nhận dạng cấu trúc bảng tương đối tốt. Theo bảng 10, các ô được nhận dạng chính xác bằng hiện đại, đặc biệt với cả các chữ viết tay. Bảng 11, bảng hiện đại với các chữ được đánh máy, kết quả nhận dạng các ô chính xác. Bảng 12, bảng vẽ tay có tính chất lịch sử, chữ viết tay, các ô được nhận dạng chính xác. Bảng 13, bảng lịch sử, giấy có vết gập, và chữ là cả viết tay và đánh máy, thuật toán cho phép ta xác định được chính xác các ô.

TT	Ngày	Giờ	Phút	H	Q	Qbc	F	Vmc	Vdb	Tên File số liệu thô	Tên File Config	Người đo	Hướng chày	Hướng đo	Ghi Chú
1	27	17	00	35	282,1	282	1880	0,18	0,17	TR1002.R.000	TR1RA.CFG	Thuyết	-	T-P	Ngược
2	27	17	10							TR1002.R.000	TR1RA.CFG	-	-	P-T	
3	27	17	15	102	362,4	362	1600	0,23	0,25	TR1002.R.000	TR1RA.CFG	-	-	T-P	
4	27	18	00	120	514,6	515	1490	0,34	0,32	TR1003A.R.000	TR1RA.CFG	-	-	T-P	
5	27	19	00	140	597,9	598	1690	0,32	0,32	TR1004B.R.000	TR1RA.CFG	Thuyết	-	T-P	
6	27	20	00	155	424,9	424	1730	0,25	0,27	TR1005B.R.000	TR1RA.CFG	Thuyết	-	T-P	
7	27	20	15	159	426,5	426	1740	0,24	0,26	TR1006B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	P-T	(12)
8	27	20	45	166	323,5	324	1760	0,18	0,16	TR1007B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	T-P	
9	27	21	00	169	333,6	334	1770	0,19	0,19	TR1008B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	P-T	
10	27	21	59	173	7,6	7,6	1780	0,00	0,00	TR1009B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	P-T	Yakov
11	27	22	55	166	452,7	453	1750	0,26	0,22	TR1010B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	P-T	
12	27	23	53	152	420,4	420	1720	0,53	0,60	TR1011B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	P-T	
13	28	0	53	134	1059	1060	1680	0,63	0,73	TR1012B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	P-T	
14	28	1	52	119	1159	1160	1690	0,70	0,81	TR1013B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	P-T	
15	28	2	59	102	1200	1200	1680	0,75	0,87	TR1014B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	P-T	
16	28	3	59	87	1216	1220	1650	0,78	0,89	TR1015B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	P-T	
17	28	7	55	74	1172,5	1180	1530	0,77	0,80	TR1016B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	P-T	
18	28	5	38	63	1109,9	1110	1580	0,74	0,82	TR1017B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	P-T	
19	28	6	36		1132,1	1130				TR1019B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	P-T	
20	28	7	00	53	1133,5	1130	1480	0,76	0,83	TR1020B.R.000	TR1RA.CFG	Thuyết	-	T-P	(4)
21	28	7	59	47	1087,9	1090	1460	0,75	0,85	TR1021B.R.000	TR1RA.CFG	Thuyết	-	P-T	
22	28	9	00	43	1094,0	1090	1440	0,75	0,80	TR1022B.R.000	TR1RA.CFG	Nguyen	-	T-P	
23	28	9			1063,5	1070				TR1023B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	P-T	(3)
24	28	10	00	39	1052,0	1060	1440	0,74	0,81	TR1024B.R.000	TR1RA.CFG	-	-	T-P	

**Bảng 10.** Kết quả nhận dạng cấu trúc bảng kết quả đo lưu lượng bằng máy ADCP.

Yếu tố	Tổng	Bức xạ SN		Bức xạ SD		Tán xạ	Trục xạ	Trục xạ ngang	Tổng xạ	Nhiệt độ	Bức xạ thực		Cân cân		Thời gian	Ghi chú
		Trên	Dưới	Trên	Dưới						bức xạ	Arbedo	bức xạ	Arbedo		
01	0.00	0.00	0.15	148.49	148.68	0.00	0.00	0.00	148.49	18.90	-0.15	-0.19	-0.33	0.00		
02	0.00	0.00	0.13	148.70	148.86	0.00	0.00	0.00	148.70	19.00	-0.13	-0.16	-0.29	0.00		
03	0.00	0.00	0.05	148.55	148.68	0.00	0.00	0.00	148.55	18.93	-0.05	-0.13	-0.18	0.00		
04	0.00	0.00	0.01	148.50	148.65	0.00	0.00	0.00	148.50	18.90	-0.01	-0.15	-0.16	0.00		
05	0.00	0.00	0.00	148.33	148.44	0.00	0.00	0.00	148.33	18.82	0.00	-0.11	-0.11	0.00		
06	0.00	0.00	0.00	148.32	148.45	0.00	0.00	0.00	148.32	18.81	0.00	-0.13	-0.14	0.00		
07	0.21	0.31	0.23	148.10	148.43	0.26	0.00	0.00	148.42	18.71	0.08	-0.33	-0.25	0.75		
08	7.93	8.55	1.48	148.27	149.15	5.55	7.64	2.38	156.82	18.79	7.07	-0.87	6.20	0.17		
09	42.48	44.09	7.22	150.72	152.48	28.64	28.12	13.83	194.81	19.99	36.87	-1.76	35.11	0.16		
10	53.15	54.65	7.91	154.66	155.20	36.08	27.07	17.07	209.31	21.89	46.74	-0.54	46.20	0.14		
11	58.30	60.16	8.86	154.82	155.72	39.75	25.83	18.54	214.98	21.96	51.30	-0.90	50.40	0.15		
12	50.47	52.08	7.26	156.00	156.33	34.61	21.21	15.86	208.08	22.52	44.82	-0.33	44.49	0.14		
13	34.76	36.08	4.93	154.19	154.62	23.64	15.49	11.12	190.27	21.66	31.15	-0.43	30.72	0.14		
14	41.86	42.93	6.53	154.09	155.00	28.53	21.14	13.33	197.02	21.61	36.40	-0.91	35.49	0.15		
15	28.43	29.65	4.36	153.50	154.15	19.28	18.59	9.15	183.15	21.33	25.29	-0.65	24.65	0.15		
16	29.94	31.03	4.84	153.45	154.12	20.49	30.39	9.45	184.48	21.31	26.18	-0.67	25.51	0.16		
17	19.06	19.99	2.89	153.05	153.36	13.03	59.98	6.03	173.04	21.11	17.10	-0.31	16.79	0.14		
18	1.63	1.94	0.19	151.75	151.80	1.26	-2.96	0.37	153.70	20.49	1.76	-0.04	1.71	0.10		
19	0.00	0.00	0.07	150.67	150.99	0.00	0.00	0.00	150.67	19.96	-0.07	-0.32	-0.40	0.00		
20	0.00	0.00	0.14	150.35	150.72	0.00	0.00	0.00	150.35	19.81	-0.14	-0.37	-0.50	0.00		
21	0.00	0.00	0.13	150.06	150.44	0.00	0.00	0.00	150.06	19.67	-0.13	-0.38	-0.51	0.00		
22	0.00	0.00	0.09	149.74	150.22	0.00	0.00	0.00	149.74	19.51	-0.09	-0.48	-0.57	0.00		
23	0.00	0.00	0.12	149.39	149.87	0.00	0.00	0.00	149.39	19.34	-0.12	-0.48	-0.60	0.00		
24	0.00	0.00	0.14	149.26	149.76	0.00	0.00	0.00	149.26	19.28	-0.14	-0.50	-0.63	0.00		

**Bảng 11.** Kết quả nhận dạng cấu trúc bảng đo bức xạ giờ.

$sg^+$ T-1	H	$Q_c$	$F_{Tca}$	$V_{Tca}$	$Q = V \times F$	$\Delta Q = Q - Q_c$	$\frac{\Delta Q}{Q_c}$
	cm	$m^3/s$	$m^2$	$m/s$	$m^3/s$		
	260	525	615	0,85	523	-2	0,38
	280	602	684	0,88	602	0	0
	300	687	752	0,91	684	-3	0,44
	320	777	820	0,95	779	2	0,26
	340	875	889	0,98	871	-4	0,46
	360	975	956	1,02	975	0	0
	380	1085	1025	1,06	1086	1	0,09
	400	1200	1095	1,10	1204	4	0,33
	420	1317	1162	1,13	1313	-4	0,30
	440	1455	1230	1,18	1451	-4	0,27
	260	505	615	0,82	504	-1	0,20
	280	555	684	0,81	554	-1	0,20
	300	615	752	0,82	617	2	0,32
	320	685	820	0,84	689	4	0,58
	340	760	889	0,85	756	-4	0,53
	360	847	956	0,88	841	-6	0,71
	380	940	1025	0,92	943	3	0,32
	400	1040	1095	0,95	1040	0	0
	420	1150	1162	0,99	1150	0	0
	440	1275	1230	1,04	1279	4	0,31

Bảng 12. Kết quả nhận dạng bảng kiểm tra Q lịch sử viết tay.

Số hiệu thủy trực	Khoảng cách từ mốc khởi điểm (m)	ĐỘ SÂU (m)			Góc chệch của dây cáp (độ)	Trị số hiệu chỉnh	Độ sâu đã hiệu chỉnh (m)	Hiệu chỉnh để quy về mực nước dùng để tính	Độ sâu đã quy về mực nước dùng để tính	Độ cao đáy sông (m)	Đất ở đáy	GHI CHÚ
		I	II	Trung bình								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
17	160	9,0	9,0	9,0			9,0			8,4		
20	140	9,2	9,2	9,2			9,2			8,6		
21	130	9,1	9,1	9,1			9,1			8,5		
22	120	6,5	6,8	6,6			6,8			6,7		
23	110	3,22	3,22	3,22			3,22			3,69		
1107	100,6			0,0			0,0			0,57		
C1	99,6									1,78		
C2	97,8									1,75		
C3	96,0									1,51		
C4	94,3									1,04		
C5	92,5									2,14		
C6	83,0									23,9		
KP	00									25,0		

Bảng 13. Kết quả nhận dạng bảng trắc đồ ngang.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã đề xuất thuật toán nhận dạng cấu trúc bảng dựa trên mô hình Cascade mask R-CNN x101FPN deconv để nhận dạng hàng và cột, sau đó sử dụng mô hình Faster R-CNN để nhận dạng các ô trong bảng từ đó đưa ra cấu trúc của bảng. Thuật toán cho thấy hiệu quả cao trong nhận dạng cấu trúc bảng với gần 90% độ chính xác. Trong thời gian tới, bài báo sẽ tiếp tục nghiên cứu phát triển thuật toán trên thông tin hàng để nâng cao kết quả nhận dạng. Đồng thời tiếp tục thử nghiệm các dữ liệu khác của KTTV để ứng dụng tốt hơn trong thực tế.

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

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

#### Tài liệu tham khảo

1. Pyreddy, P.; Croft, W.B. Tinti: A system for retrieval in text tables title2. *Technical report, USA, 1997*.
2. Schreiber, S.; Agne, S.; Wolf, I.; Dengel, A.; Ahmed, S. DeepDeSRT: deep learning for detection and structure recognition of tables in document images. *Proceeding of the 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), 2017*.
3. Ren, S.; He, K.; Girshick, R.; Sun, J. Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 2015, 39, 1137–1149*.
4. Dai, J.; Li, Y.; He, K.; Sun, J. R-FCN: Object detection via region-based fully convolutional networks. *Proceeding of the 30th Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2016), Barcelona, Spain, 2016, 379–387*.
5. Marmot Dataset. Institute of Computer Science and Technology of Peking University and Institute of Digital Publishing of Founder R&D Center, China, [http://www.icst.pku.edu.cn/cpdp/data/marmot\\_data.htm](http://www.icst.pku.edu.cn/cpdp/data/marmot_data.htm), 2010.
6. Göbel, M.; Hassan, T.; Oro, E.; Orsi, G. ICDAR 2013 Table Competition. *Proceeding of the 12th International Conference on Document Analysis and Recognition, 2013, 1449–1453*.
7. Siddiqui, S.A.; Fateh, I.A.; Rizvi, S.T.R.; Dengel, A.; Ahmed, S. DeepTabStR: Deep Learning based Table Structure Recognition. *International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), 2019, 1403–1409*.
8. Prasad, D.; Gadpal, A.; Kapadni, K.; Visave, M.; Sultanpure, K. CascadeTabNet: An approach for end to end table detection and structure recognition from image-based documents. *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2020*.
9. Gao, G.; Huang, Y.; Dejean, H.; Meunier, J.; Yan, Q.; Fang, Y.; Kleber, F.; Lang, E. Icdar 2019 competition on table detection and recognition (ctdar). *International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), 2019, 1510–1515*.
10. Li, M.; Cui, L.; Huang, S.; Wei, F.; Zhou, M.; Li, Z. Tablebank: Table benchmark for image-based table detection and recognition. *Proceedings of the 12th Conference on Language Resources and Evaluation, 2020, 1918–1925*.
11. Girshick, R.; Donahue, J.; Darrell, T.; Malik, J. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2014. ISBN:978-1-4799-5118-5*.

12. Girshick, R. Fast R-CNN. Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, 2015.
13. He, K.; Gkioxari, G.; Dollar, P.; Girshick, R. Mask r-cnn. *ICCV. IEEE* **2017**, 2980–2988.
14. Cai, Z.; Vasconcelos, N. Cascade R-CNN: high quality object detection and instance segmentation. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* **2019**, *43*, 1483–1498.
15. Dai, J.; Qi, H.; Xiong, Y.; Li, Y.; Zhang, G.; Hu, H.; Wei, Y. Deformable convolutional networks. IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) 2017, 1, pp. 1-3.
16. He, K.; Zhang, X.; Ren, S.; Sun, J. Deep residual learning for image recognition. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, **2016**, 770–778.
17. Lin, T.; Dollár, P.; Girshick, R.; He, K.; Hariharan, B.; Belongie, S. Feature Pyramid Networks for Object Detection. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017, 936–944, doi: 10.1109/CVPR.2017.106.
18. Lin, T.Y.; Maire, M.; Belongie, S.; Hays, J.; Perona, P.; Ramanan, D.; Dollár, P.; Zitnick, C.L. Microsoft coco: Common objects in context. In: Fleet D., Pajdla T., Schiele B., Tuytelaars T. (eds) Computer Vision – ECCV 2014. ECCV 2014. Lecture Notes in Computer Science, vol 8693. Springer, Cham. 2014, pp. 740–755. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48).
19. Rezatofghi, H.; Tsoi, N.; Gwak, J.Y.; Sadeghian, A.; Reid, I.; Savarese, S. Generalized intersection over union: A metric and a loss for bounding box regression. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2019, pp. 658–666.
20. Chen, K.; Wang, J.; Pang, J.; Cao, Y.; Xiong, Y.; Li, X.; Sun, S.; Feng, W.; Liu, Z.; Xu, J.; Zhang, Z.; Cheng, D.; Zhu, C.; Cheng, T.; Zhao, Q.; Li, B.; Lu, X.; Zhu, R.; Wu, Y.; Dai, J.; Wang, J.; Shi, J.; Ouyang, W.; Loy, C.C.; Lin, D. Mmdetection: Open MMLab detection toolbox and benchmark. *CoRR*, *abs/1906.07155*, 2019.

## Research and apply table structure recognition algorithm based on object detection

Ngo Dai Duong<sup>1</sup>, Hai-Hong Phan<sup>1\*</sup>, Pham Le Phuong<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Military Technical Academy, Viet Nam; hongpth@lqdtu.edu.vn;  
daiduong28789@hotmail.com

<sup>2</sup> Hydro-Meteorological Information and Data Center; phuongpl80@gmail.com

**Abstract:** Table structure identification is an important issue in document digitization. With the development of current deep learning techniques, the detection of tables has made great strides, while table structure identification still faces many difficulties due to complex table structure, especially with real data practice. This article proposes a method to apply the Cascade mask model R-CNN x101FPN deconv to identify rows and columns. The paper also proposes to use the Faster R-CNN model to identify the cells in the table, thereby giving out the table structure. The proposed algorithm is evaluated on popular datasets such as TabStructDB and documents collected from Hydrometeorology stations. The experimental results reached 90% accuracy on these datasets. The algorithm is capable of effectively applying to the identification of the table structure of common documents; especially, the algorithm is capable of dealing with historical documents and handwriting, in accordance with the document characteristics of the hydrometeorology industry. Since then, it contributes to the digitization of documents, storage and data retrieval of hydrometeorology industry.

**Keywords:** Structure table recognition; Cell recognition; Meteorological and hydrological.

Bài báo khoa học

## Một số kết quả ban đầu về ứng dụng số liệu vệ tinh đánh giá độ cao sóng dự báo

Phạm Khánh Ngọc<sup>1\*</sup>, Nguyễn Bá Thủy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trung tâm Dự báo Khí tượng thủy văn quốc gia; ngocpkchibo@gmail.com;  
thuybanguyen@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: ngocpkchibo@gmail.com; Tel.: +84-375203967

Ban Biên tập nhận bài: 23/3/2020; Ngày phản biện xong: 16/05/2020; Ngày đăng bài: 25/07/2020

**Tóm tắt:** Nâng cao chất lượng dự báo các yếu tố khí tượng thủy văn nói chung và dự báo hải văn nói riêng có vai trò quan trọng trong dự báo, cảnh báo khí tượng thủy văn phục vụ phòng, chống và giảm nhẹ thiên tai và phát triển kinh tế biển. Ở Việt Nam, do hạn chế về số liệu quan trắc khí tượng thủy văn biển nên dự báo sóng biển chủ yếu dựa trên các kết quả của mô hình số trị. Cũng chính vì thiếu số liệu quan trắc nên đánh giá kết quả dự báo của mô hình còn nhiều hạn chế, nhất là tại khu vực biển xa bờ dẫn tới sản phẩm dự báo chưa thực sự đủ độ tin cậy. Trong nghiên cứu này giới thiệu kết quả thu thập, phân tích và xử lý số liệu quan trắc sóng bằng vệ tinh và một số kết quả đánh giá dự báo sóng của mô hình SWAN trên khu vực Biên Đông. Đánh giá kết quả dự báo sóng tháng 10 năm 2020 cho thấy giữa số liệu dự báo từ mô hình và quan trắc độ cao sóng từ vệ tinh có hệ số tương quan khá lớn với sai số nhỏ ở cả thời hạn dự báo 24 và 48 giờ, ngoại trừ những ngày có bão.

**Từ khóa:** Dự báo sóng biển; Vệ tinh; Đánh giá dự báo.

### 1. Mở đầu

Sóng biển là yếu tố hải văn được quan tâm bậc nhất đối các hoạt động kinh tế xã hội khu vực ven biển và giao thông hàng hải. Chính vì vậy mà các bản tin cảnh báo, dự báo sóng luôn được quan tâm không chỉ trong những thời điểm có thời tiết nguy hiểm (bão, áp thấp nhiệt đới, gió mùa mạnh...) mà hàng ngày để lập kế hoạch cho các hoạt động trên biển. Ở Việt Nam do hạn chế về số liệu quan trắc nên dự báo sóng chủ yếu dựa trên kết quả của mô hình số trị. Các kết quả dự báo của mô hình SWAN được thiết lập tại Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn (KTTV) quốc gia là nguồn tham khảo chính để đưa ra các bản tin dự báo sóng hàng ngày tại Việt Nam. Mặc dù mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm định trong một vài đề tài, dự án, tuy nhiên với thời gian ngắn và không gian kiểm định còn giới hạn nên chất lượng dự báo chung chưa thực sự đủ độ tin cậy. Việt Nam có đường bờ biển trải dài trên 3200 km, tuy nhiên, hiện tại mạng lưới trạm quan trắc khí tượng, hải văn chỉ có 26 trạm nằm rải rác ở ven bờ, một số đảo và nhà giàn, quan trắc sóng hoàn toàn được thực hiện theo ước lượng bằng mắt thường nên hạn chế cả về tần suất quan trắc và chất lượng số liệu. Chính vì vậy rất khó khăn cho công tác dự báo và đánh giá chất lượng dự báo sóng biển.

Trong lĩnh vực KTTV ở Việt Nam nghiên cứu sử dụng số liệu vệ tinh vào dự báo chủ yếu thực hiện trong dự báo khí tượng và thủy văn và yếu tố được quan tâm nhất là dữ liệu mưa ước lượng từ vệ tinh [1-4]. Trong khi đó, đối với dự báo sóng biển một số nghiên cứu chủ yếu tập trung vào phát triển và hoàn thiện công nghệ dự báo [5-6]. Tại nước ngoài, nghiên cứu sử dụng số liệu quan trắc độ cao sóng từ vệ tinh vào dự báo sóng biển đã thực hiện từ lâu nhưng

chủ yếu tại các nước phát triển. Trong đó, số liệu quan trắc sóng từ vệ tinh được sử dụng vào 2 mục đích, đó là kiểm nghiệm các mô hình dự báo sóng và đồng hóa dữ liệu cho mô hình dự báo sóng. Hướng nghiên cứu sử dụng số liệu vệ tinh để đánh giá chất lượng mô hình dự báo ngày càng phát triển với nhiều thuật toán phân tích và xử lý số liệu được cập nhật, như trong các nghiên cứu điển hình [7–9]. Sử dụng số liệu quan trắc sóng từ vệ tinh để đồng hóa dữ liệu đã cải thiện đáng kể chất lượng dự báo sóng, nhất là làm giảm xu thế thiên cao và thiên thấp về độ cao sóng dự báo [10–13]. Những năm gần đây, nhiều cơ quan dự báo của nước ngoài đã đưa sản phẩm quan trắc độ cao sóng từ vệ tinh cũng như kết quả đánh giá dự báo lên web site như là những báo cáo hàng tháng [14–16].

Trong khuôn khổ dự án hợp tác về chia sẻ kinh nghiệm dự báo giữa Trung tâm KTTV quốc gia và Viện Khí tượng Thủy văn, phía Thủy văn đã cung cấp cho Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia nguồn dữ liệu quan trắc độ cao sóng bằng vệ tinh được cung cấp bởi chương trình “Dịch vụ Giám sát Môi trường Biển Copernicus – CMEMS” của Ủy ban Châu Âu [4]. Nhiều cơ quan dự báo của Châu Âu hiện nay như là Viện Khí tượng Thủy văn (Met Norway) đã sử dụng nguồn số liệu này để đánh giá mô hình dự báo sóng và cập nhật kết quả đánh giá trên website của họ [17]. Hiện tại dữ liệu quan trắc sóng được thực hiện bởi 7 vệ tinh đo cao bao gồm Jason–3, Sentinel–3A, Sentinel–3B, Cryosat–2, SARAL/AltiKa, CFOSAT và Hai Yang–2B với các nhiệm vụ khác nhau. Các dữ liệu này sau đó được xử lý bởi hệ thống phân tích dữ liệu đo độ cao đa nhiệm vụ WAVE–TAC dựa trên các thuật toán với các tiêu chí nghiêm ngặt khác nhau. Các số liệu vệ tinh được cung cấp gần với thời gian thực, được cập nhật liên tục với độ phân giải không gian là 7km x 7km [17]. Như vậy, ngoài các số liệu quan trắc theo phương pháp truyền thống thì dữ liệu vệ tinh được xem như là một nguồn dữ liệu đáng tin cậy và có thể bổ sung vào chuỗi số liệu quan trắc còn thiếu sót.

Trong bài báo này, một vài kết quả bước đầu trong việc thu thập, xử lý số liệu vệ tinh và sử dụng số liệu vệ tinh để đánh giá kết quả dự báo sóng từ mô hình SWAN cho vùng biển Việt Nam được phân tích đánh giá. Thành công của nghiên cứu sẽ giúp các dự báo viên có thêm một nguồn số và công cụ phục vụ dự báo và đánh giá chất lượng dự báo sóng biển.

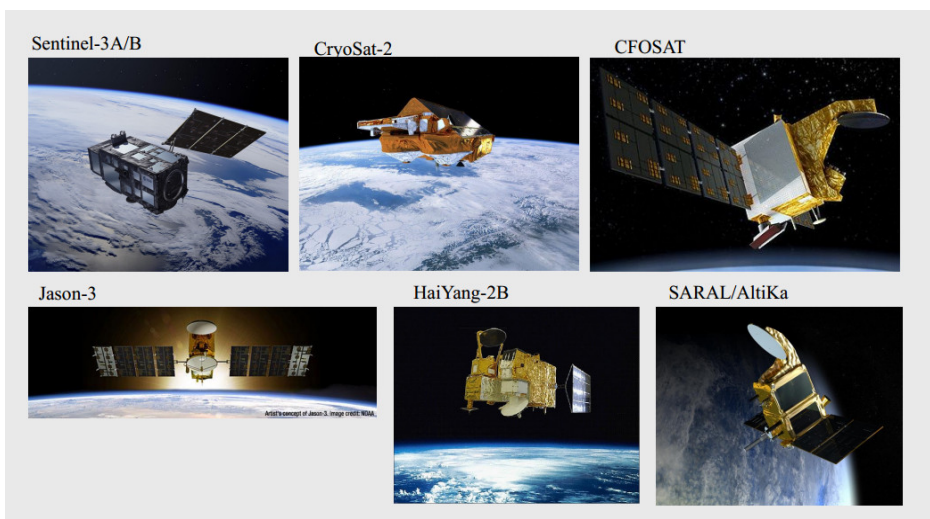
## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Phương pháp quan trắc sóng bằng vệ tinh

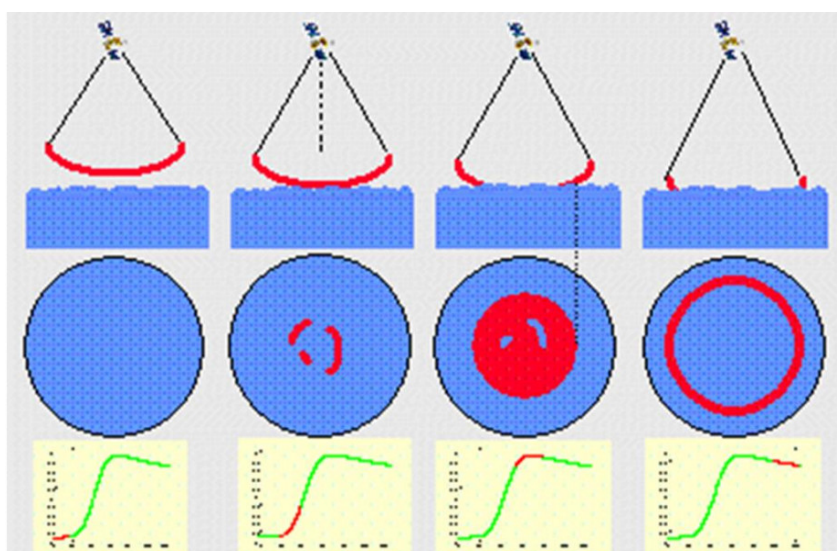
Nguồn số liệu quan trắc sóng bằng vệ tinh mà CMEMS cung cấp được thực hiện bởi 07 vệ tinh đo cao bao gồm Jason–3 (J3), Sentinel–3A (S3A), Sentinel–3B (S3B), Cryosat–2 (C2), SARAL / AltiKa (Al), CFOSAT (CFO) và Hai Yang–2B (H2B) với các nhiệm vụ khác nhau xung quanh trái đất trong đó có vùng biển Việt Nam [17]. Hình ảnh của 07 vệ tinh trên không gian được thể hiện như trên Hình 1. Trong quá trình di chuyển xung quanh trái đất theo quỹ đạo của mình, các vệ tinh đo cao gửi đi một tín hiệu radar hình cầu theo hướng thiên đê (*the nadir*). Các tín hiệu này bị phản xạ bởi bề mặt biển và quay trở lại vệ tinh. Việc phân tích tín hiệu trả về cho phép tính toán thời gian cần thiết để tín hiệu đi và trở lại, tức là khoảng cách giữa vệ tinh và bề mặt biển. Sự phân bố độ cao trạng thái bề mặt biển ảnh hưởng đến tốc độ mà tín hiệu được trả lại đầy đủ cho vệ tinh. Do vậy, độ cao sóng có nghĩa trên mặt biển được xác định từ độ dốc của mặt trước front sóng. Độ cao sóng càng cao thì tín hiệu nhận được càng trải dài theo thời gian. Độ trễ giữa lần quay lại đầu tiên và lần trả lại tín hiệu đầy đủ sẽ dẫn đến một vùng tối chứa hình dạng của sóng, chính vùng tối này sẽ chỉ ra trạng thái của độ cao mặt biển (Hình 2 và Hình 3).

Hệ số khuếch tán ngược ( $\sigma_0$  trong Hình 2) có thể chịu tác động bởi tốc độ gió. Các thuật toán khác nhau đã được phát triển để giải quyết mối quan hệ giữa tốc độ gió, hệ số khuếch tán ngược trên bề mặt biển và cuối cùng là độ cao sóng có nghĩa. Tốc độ gió thường được đánh giá ở độ cao 10 mét so với mặt biển [17].

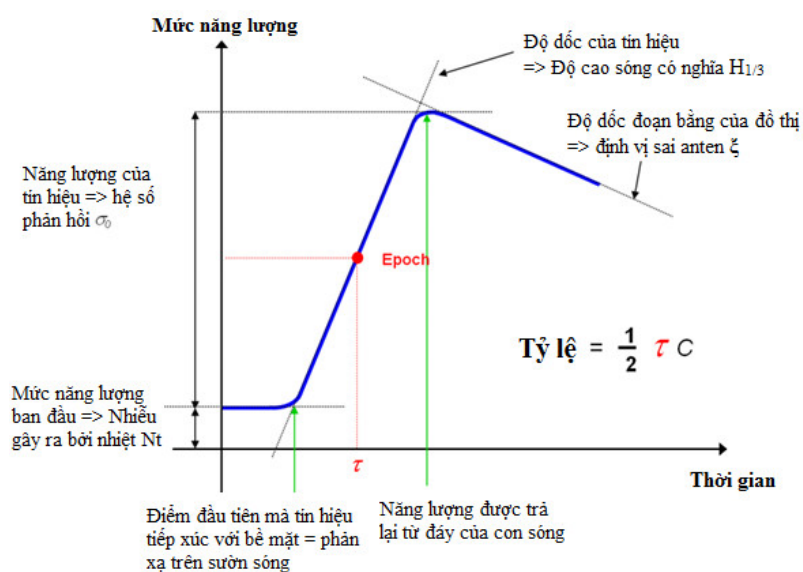




**Hình 1.** Hình ảnh 07 vệ tinh thực hiện quan trắc sóng trên Biển Đông của Dịch vụ Giám sát Môi trường Biển Copernicus–CMEMS [17].



**Hình 2.** Dạng hình ảnh phân xạ của độ cao sóng trên bề mặt biển với phép đo cao thông thường.

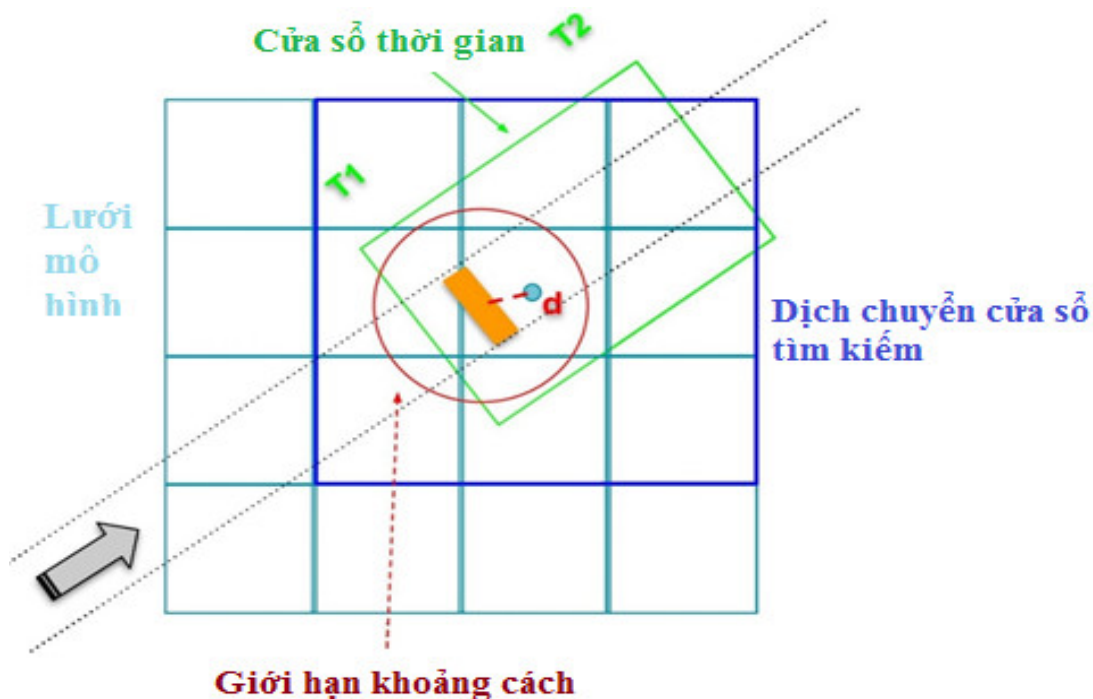


**Hình 3.** Cao kế của dạng sóng.

## 2.2. Nguồn số liệu

Số liệu quan trắc độ cao sóng từ vệ tinh CFOSAT (CFO) trong tháng 10 năm 2021 được sử dụng để đánh giá kết quả dự báo độ cao sóng từ mô hình SWAN. Trong đó, số liệu vệ tinh CFOSAT (CFO) thu thập từ máy chủ Copernicus với tên sản phẩm là WAVE\_GLO\_WAV\_L3\_SWH\_NRT\_OBSERVATIONS\_014\_001. Số liệu quan trắc sóng của vệ tinh CFO là sản phẩm của vệ tinh đo cao đã được xử lý ở cấp độ 3 (level 3), độ phân giải không gian 7km x 7km. Mô tả chi tiết về sản phẩm được cung cấp trên trang web của Copernicus[16–17]. SWAN là mô hình dự báo sóng thế hệ ba, dựa trên tính phổ sóng hai chiều bằng cách giải phương trình cân bằng tác động sóng (trong trường hợp không có dòng chảy có thể dùng phương trình cân bằng năng lượng sóng) có tính tới sự lan truyền sóng từ vùng nước sâu vào vùng nước nông ven bờ, đồng thời trao đổi năng lượng với gió thông qua hàm nguồn cùng với sự tiêu tán năng lượng sóng. Cơ sở lý thuyết của mô hình SWAN được trình bày rất chi tiết trong các nghiên cứu [5–6,18]. Mô hình SWAN được thiết lập chạy nghiệp vụ tại Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia với vùng dự báo là khu vực Biển Đông (0–25°N, 95–125°E), độ phân giải ngang của mô hình là 4km x 4km, ngày chạy hai lượt với số liệu đầu vào tại các thời điểm 00 và 12 giờ UTC. Mô hình SWAN chạy với trường gió đầu vào từ mô hình IFS được cung cấp bởi Trung tâm Hạn vừa Châu Âu (*European Centre for Medium–Range Weather Forecasts (ECMWF)*) có độ phân giải ngang 0.2km x 0.2km.

Để có được chuỗi số liệu theo thời gian từ mô hình dự báo sóng phù hợp với các quan sát vệ tinh, một thuật toán được xây dựng để sắp xếp các điểm ảnh CFO với các ô lưới của mô hình (Hình 4). Ràng buộc về không gian và thời gian quyết định xem liệu một ô lưới mô hình có thể so sánh với một điểm ảnh của vệ tinh được hay không [17]. Giới hạn thời gian tập trung vào bước thời gian của mô hình và cho phép các giá trị quan trắc từ vệ tinh CFO được chọn nếu chúng được ghi lại trong vòng  $\pm 30$  phút. Theo không gian, chỉ cho phép sắp xếp vị trí các ô lưới mô hình được liên kết trực tiếp với vệ tinh với khoảng cách tối đa là 6 km đến điểm ảnh. Cách tiếp cận này dẫn đến hai chuỗi thời gian của các giá trị độ cao sóng, một cho mô hình sóng và một cho các quan sát vệ tinh [17].



**Hình 4.** Phác thảo của phương pháp sắp xếp được sử dụng (điểm ảnh của vệ tinh được minh họa bằng một hình chữ nhật màu cam).

### 2.3. Phương pháp đánh giá

Để đánh giá mức độ phù hợp giữa các giá trị độ cao sóng từ mô hình với các quan sát từ vệ tinh, một số chỉ tiêu sau được đánh giá:

– Hệ số tương quan tuyến tính (*Linear correlation coefficient*) của n cặp giá trị (x,y) trong một tập hợp là số r được tính như sau:

$$r = \frac{SS_{xy}}{\sqrt{SS_{xx} \cdot SS_{yy}}} \quad (1)$$

Trong đó:

$$SS_{xx} = \sum x^2 - \frac{1}{n}(\sum x)^2 \quad (2)$$

$$SS_{xy} = \sum xy - \frac{1}{n}(\sum x)(\sum y) \quad (3)$$

$$SS_{yy} = \sum y^2 - \frac{1}{n}(\sum y)^2 \quad (4)$$

Hệ số tương quan tuyến tính chỉ ra mức độ thay đổi của mô hình theo các giá trị quan trắc.

– Sai số trung bình (*Mean Error–BIAS*)

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i) \quad (5)$$

Trong đó  $F_i$  là giá trị dự báo;  $O_i$  là giá trị quan trắc.

Chỉ số ME chỉ ra sai số trung bình so với giá trị quan trắc, nhưng không phản ánh biên độ của sai số. Giá trị dương của ME tức là trung bình giá trị dự báo lớn hơn giá trị quan trắc, giá trị âm của ME tương ứng với việc dự báo thấp hơn giá trị quan trắc. Chỉ số ME có giá trị từ  $-\infty$  đến  $+\infty$ , với 0 là giá trị “hoàn hảo”. Tuy nhiên, đôi khi một dự báo sai lại nhận được giá trị ME = 0 khi trong đó có những sai số triệt tiêu nhau. Do vậy, nếu chỉ sử dụng một chỉ số ME để đánh giá chất lượng dự báo sẽ không phản ánh được độ tin cậy của kết quả dự báo.

– Sai số quân phương (*Root Mean Square Error–RMSE*) là căn bậc hai của MSE và là thước đo của biên độ sai số.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2} \quad (6)$$

Chỉ số RMSE cho biết biên độ trung bình của sai số dự báo, nhưng không cho biết hướng của độ lệch. Các chỉ số MSE và RMSE có thể được tính toán trên bất kỳ hay tất cả các hướng theo không gian hoặc theo thời gian.

– Sai số trung bình tuyệt đối (*Mean Absolute Error–MAE*):

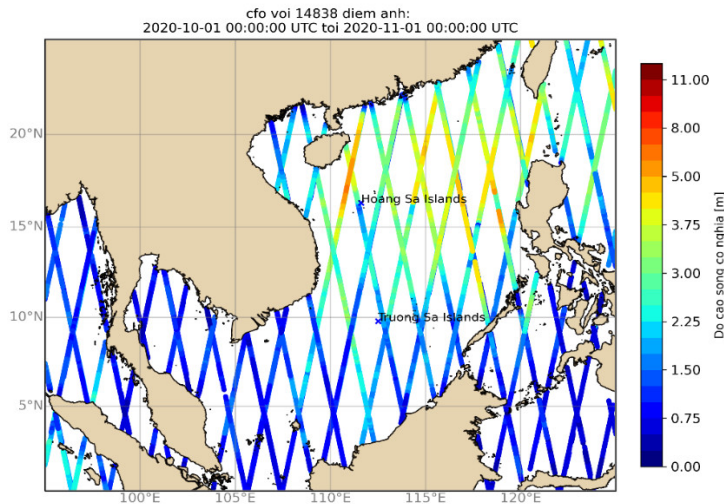
$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i| \quad (7)$$

Chỉ số sai số tuyệt đối trung bình cho biết biên độ trung bình của sai số dự báo, nhưng không cho biết hướng của độ lệch. Giá trị 0 cho biết dự báo là “hoàn hảo”. Thông thường, chỉ số MAE được sử dụng cùng với chỉ số BIAS để đưa ra ước lượng về độ tin cậy hiệu chỉnh kết quả mô phỏng của mô hình dự báo.

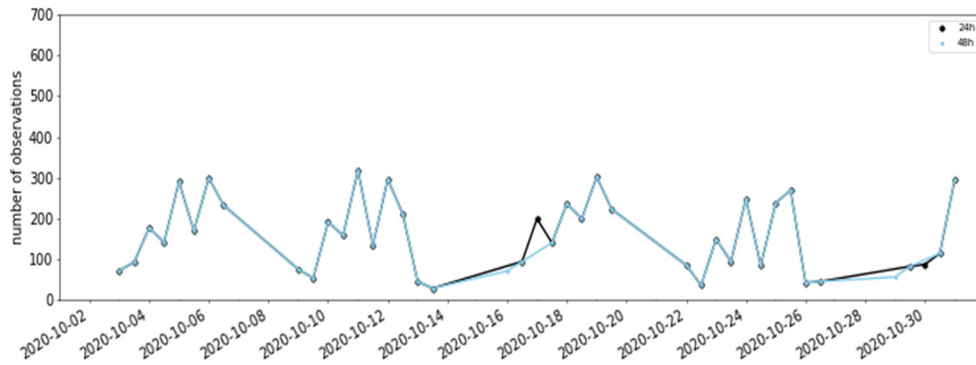
### 3. Kết quả đánh giá dự báo độ cao sóng sử dụng số liệu quan trắc từ vệ tinh

Trong nghiên cứu này, các kết quả dự báo từ mô hình SWAN với các thời hạn dự báo 24 và 48 giờ trong tháng 10 năm 2020 được đánh giá với số liệu quan trắc sóng bằng vệ tinh. Hình 5 là các vết ảnh quan trắc số liệu sóng từ vệ tinh CFO trong tháng 10 năm 2020. Dựa vào số lượng điểm ảnh trong tháng 10 năm 2020 được thể hiện như trên hình 6 có thể thấy giá trị quan trắc sóng mà vệ tinh CFO thu thập được theo thời gian là không giống nhau, số lượng điểm ảnh phụ thuộc vào vị trí mà vệ tinh đi qua trên khu vực quan trắc. So sánh giữa các giá trị dự báo từ mô hình SWAN với số liệu quan trắc vệ tinh tại các thời điểm dự báo 24 và 48

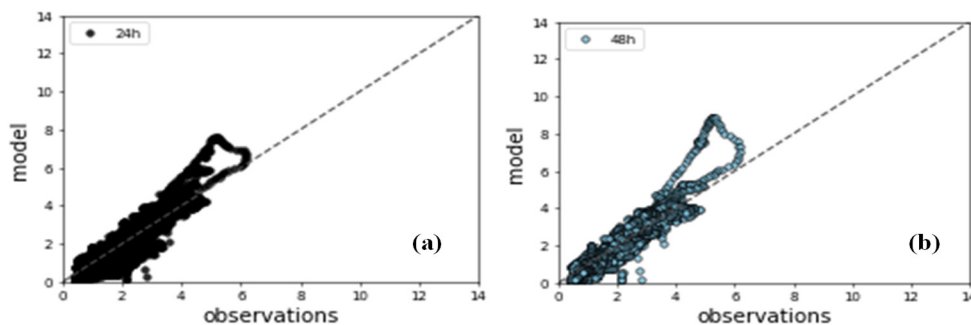
giờ trong tháng 10 năm 2020 được thể hiện trên các hình 7, 8 và 9 cho kết quả tương đối tốt, ngoại trừ các ngày có bão (vùng khoanh tròn màu đỏ). Tháng 10 năm 2020 là tháng có khá nhiều cơn bão xảy ra liên tiếp nhau, cụ thể là các cơn Linfa (10–11/10/2020), cơn Nangka (12–15/10/2020), cơn Saudel (21–25/10/2020) và cơn Molave (26–28/10/2020), trong đó cơn Molave là cơn bão rất mạnh với cường độ bão đạt cấp 13, giật cấp 16 khi đổ bộ vào vùng biển ngoài khơi các tỉnh từ Đà Nẵng đến Bình Định [19]. Các kết quả so sánh trong tháng 10 năm 2020 cho thấy giá trị dự báo 24, 48 giờ của mô hình thường thiên thấp so với quan trắc, nhưng vào thời điểm xảy ra bão mạnh giá trị dự báo lại hướng thiên cao và thường có sai số lớn.



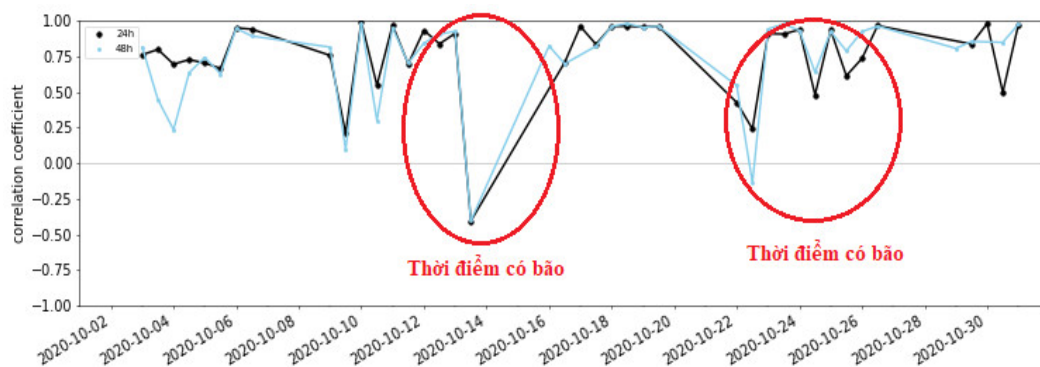
Hình 5. Quan trắc của vệ tinh CFO trên khu vực Biển Đông tháng 10 năm 2020.



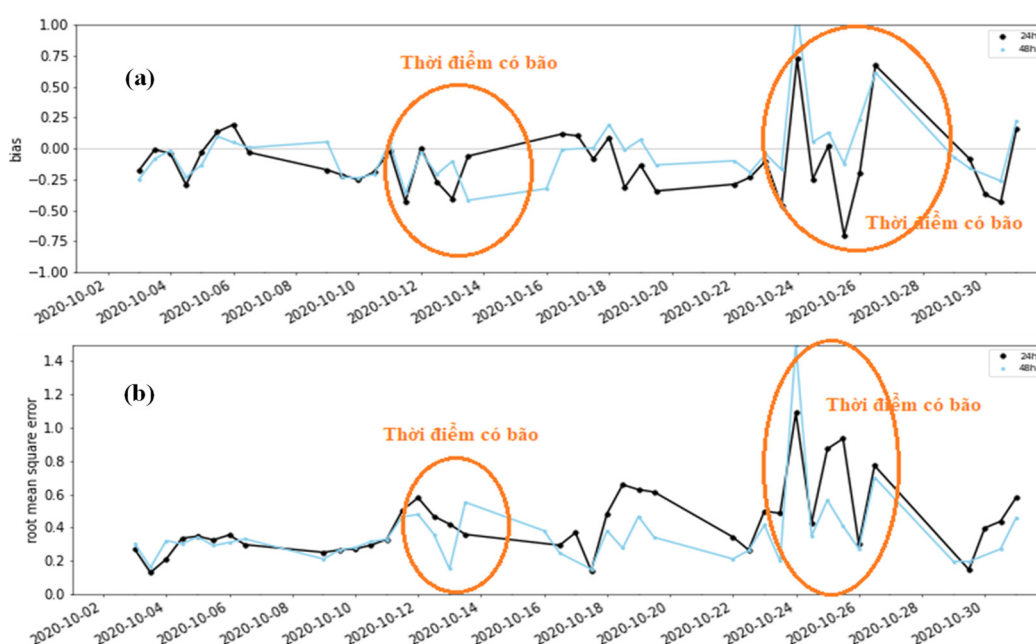
Hình 6. Số lượng điểm ảnh từ vệ tinh CFO thu thập được tại các bước thời gian dự báo 24 và 49 giờ trong tháng 10 năm 2020 phù hợp để so sánh với kết quả dự báo từ mô hình SWAN.



Hình 7. Biểu đồ scatter đánh giá mức độ tương quan giữa dự báo và quan trắc sóng từ vệ tinh CFO trên Biển Đông trong tháng 10 năm 2020 với thời hạn dự báo (a) 24 giờ và (b) 48 giờ.



**Hình 8.** Hệ số tương quan giữa mô hình và quan trắc tại các thời điểm dự báo 24 và 48 giờ trong tháng 10 năm 2020.

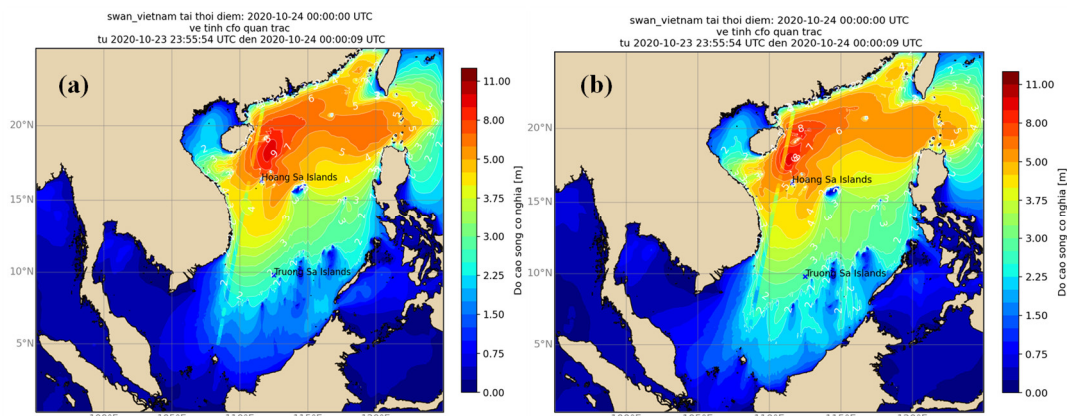


**Hình 9.** Sai số trung bình (BIAS) và Căn bậc hai của sai số bình phương trung bình (RMSE) giữa kết quả dự báo từ mô hình SWAN và số liệu quan trắc từ vệ tinh tại các thời điểm dự báo 24 và 48 giờ.

Để đánh giá cụ thể hơn, 02 trường hợp được tập trung phân tích:

- Trường hợp thứ nhất: Khoảng thời gian 00Z ngày 24/10/2020 (bão Saudel ảnh hưởng) với các thời hạn dự báo 24h và 48h.
- Trường hợp thứ hai: Thời điểm lúc 00Z ngày 10/10/2020 (thời tiết bình thường = không có bão và áp thấp nhiệt đới) với các thời hạn dự báo 24 và 48h.

Với trường hợp thứ nhất, tại thời điểm dự báo lúc 00Z ngày 24/10/2020 của mô hình SWAN thì vệ tinh CFO cũng cho một vết ảnh của các giá trị quan trắc khá gần bờ và gần tâm của cơn bão trên khu vực Biển Đông. Theo hình ảnh so sánh như trên hình 10 có thể thấy giá trị quan trắc sóng nơi vệ tinh đi qua gần tâm bão nhỏ hơn so với dự báo của mô hình. Các sai số đánh giá trên Bảng 1 cũng cho thấy với 248 giá trị được đánh giá, sai số giữa mô hình và quan trắc khá lớn với sai số quân phương (RMSE), Sai số trung bình tuyệt đối (MAE) và sai số trung bình (BIAS) lần lượt là 1,09, 0,85 và 0,73 với thời hạn dự báo 24 giờ. Tại thời hạn dự báo 48 giờ các sai số này còn lớn hơn với các giá 1,50, 1,12 và 1,12 lần lượt tương ứng với RMSE, MAE và BIAS. Giá trị dương của BIAS cũng cho thấy mô hình có thiên cao hơn so với quan trắc. Mặc dù vậy, tương quan tuyến tính lại khá cao, điều này có nghĩa giá trị quan trắc và mô hình cùng có xu hướng tăng.



**Hình 10.** So sánh giữa kết quả dự báo từ mô hình SWAN với quan trắc từ vệ tinh CFO và trong con bão Saudel tại thời điểm 00Z ngày 24/10/2020 với thời hạn dự báo 24 (a) và 48 giờ (b).

**Bảng 1.** Sai số giữa kết quả dự báo từ mô hình SWAN với quan trắc từ vệ tinh CFO tại thời điểm 00Z ngày 24/10/2020 với thời hạn dự báo 24 và 48 giờ.

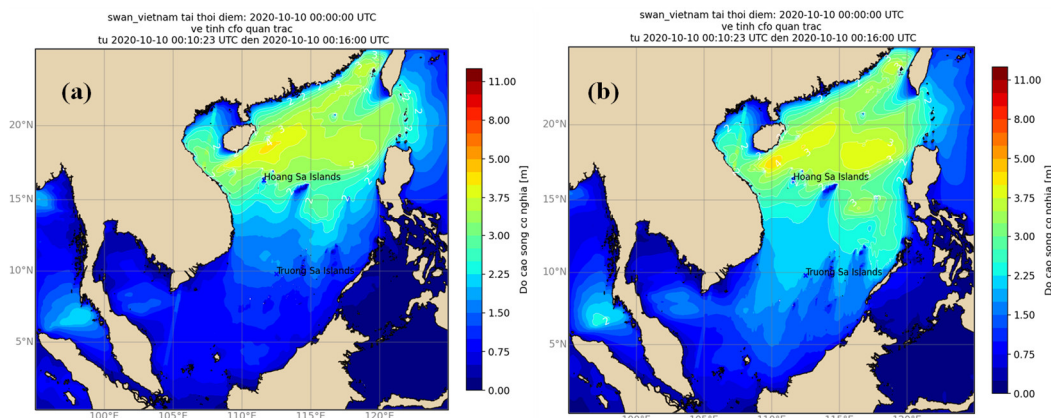
Hệ số	Kết quả	
	24 giờ	48 giờ
Tương quan tuyến tính	0,94	0,93
Căn bậc hai của sai số bình phương trung bình (RMSE)	1,09	1,50
Sai số trung bình tuyệt đối (MAE)	0,85	1,12
Sai số trung bình (BIAS)	0,73	1,12
Giá trị trung bình của mô hình	4,21	4,60
Giá trị trung bình của quan trắc	3,48	3,48
Số giá trị được đánh giá	248	248

Còn với trường hợp thứ hai trong điều kiện thời tiết không có bão và áp thấp nhiệt đới tại thời điểm dự báo lúc 00Z ngày 10/10/2020 của mô hình SWAN, vệ tinh CFO cũng đã đi qua khu vực Biển Đông và một phần vệt ảnh mà vệ tinh quan trắc được đã đi qua khu vực Vịnh Bắc Bộ. Tại thời điểm này, giữa mô hình và quan trắc đã ghi nhận được 191 giá trị độ cao sóng để so sánh. Các kết quả so sánh và đánh giá trên hình 11 và bảng 2 cho thấy mô hình dự báo khá tốt tại thời điểm này với cả hạn dự báo 24 và 48 giờ. Cụ thể, các giá trị sai số tương đối thấp như hệ số RMSE, MAE và BIAS lần lượt là 0,27, 0,25 và -0,25 với hạn dự báo 24 giờ và 0,28, 0,24, -0,24 với hạn dự báo 48 giờ. Các sai số giữa hạn dự báo 24 và 48 giờ có sự chênh lệch không đáng kể cho thấy dự báo xa của mô hình tại thời điểm này cũng tương đối chính xác. Hệ số BIAS mang giá trị âm cho thấy mô hình có thiên thấp hơn với quan trắc. Tương quan của cả 02 hạn dự báo gần như là tuyệt đối tại thời điểm này.

**Bảng 2.** Sai số kết quả dự báo từ mô hình SWAN với quan trắc từ vệ tinh CFO thời điểm 00Z ngày 10/10/2020 với thời hạn dự báo 24 và 48 giờ.

Hệ số	Kết quả	
	24 giờ	48 giờ
Tương quan tuyến tính	0,99	0,99
Căn bậc hai của sai số bình phương trung bình (RMSE)	0,27	0,28
Sai số trung bình tuyệt đối (MAE)	0,25	0,24
Sai số trung bình (BIAS)	-0,25	-0,24
Giá trị trung bình của mô hình	1,39	1,40

Hệ số	Kết quả	
	24 giờ	48 giờ
Giá trị trung bình của quan trắc	1,64	1,64
Số giá trị được đánh giá	191	191



Hình 11. So sánh giữa kết quả dự báo từ mô hình SWAN với quan trắc từ vệ tinh CFO tại thời điểm 00Z ngày 10/10/2020 với thời hạn dự báo 24 (a) và 48 giờ (b).

#### 4. Kết luận

Trong nghiên cứu này số liệu quan trắc độ cao sóng từ vệ tinh được cung cấp bởi chương trình “Dịch vụ Giám sát Môi trường Biển Copernicus–CMEMS” được khai thác và sử dụng để đánh giá chất lượng dự báo từ mô hình SWAN hiện đang được thiết lập tại Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia trong tháng 10 năm 2020. Kết quả được phân tích chi tiết tại hai thời điểm trong cơn bão Saudel lúc 00Z ngày 24/10/2020 và tại một thời điểm không có bão và áp thấp nhiệt đới lúc 00Z ngày 10/10/2020 với các hạn dự báo là 24 và 48 giờ. Một số kết quả đạt được tóm tắt như sau:

- Đã thu thập, phân tích và xử lý số liệu quan trắc sóng vệ tinh để phục vụ đánh giá chất lượng của mô hình dự báo sóng.

- Trong các trường hợp thử nghiệm, hệ số tương quan giữa số liệu dự báo và quan trắc từ vệ tinh độ cao sóng khá lớn đã cho thấy cùng xu thế của kết quả dự báo và quan trắc.

- So sánh giữa các giá trị dự báo từ mô hình SWAN với số liệu quan trắc vệ tinh độ cao sóng tại thời hạn dự báo 24 và 48 giờ trong tháng 10 năm 2020 cho kết quả tương đối tốt, ngoại trừ các ngày có bão. Các giá trị dự báo từ mô hình thường thiên thấp so với quan trắc, nhưng vào thời điểm có bão giá trị dự báo có thiên cao.

Những đánh giá ban đầu ở trên mới chỉ dựa vào các kết quả phân tích từ vệ tinh CFO trong tháng 10 năm 2020 với các quan trắc chưa bao phủ được toàn bộ miền tính và số điểm ảnh ghi nhận được tại từng thời điểm so sánh còn hạn chế. Chính vì vậy, cần thiết phải tiến hành thêm những đánh giá kết quả dự báo từ mô hình SWAN với số liệu quan trắc từ nhiều vệ tinh khác trong thời gian dài mới có thể đưa ra kết luận đầy đủ về khả năng của mô hình SWAN trong dự báo sóng biển hiện nay tại Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia, đây cũng là những nhiệm vụ sẽ được triển khai thực hiện trong các nghiên cứu tiếp theo.

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

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường, mã số TNMT. 2018.05.28. Bên cạnh đó, tập thể tác giả trân trọng cảm ơn tiến sỹ Patrik Bohlinger và tiến sỹ Lark Robert Hole thuộc Viện Khí tượng Naury đã phát triển và hỗ trợ thu thập, phân tích và xử lý dữ liệu quan trắc sóng từ vệ tinh.

**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. Tĩnh, Đ.N. Nghiên cứu ứng dụng số liệu vệ tinh mưa dự báo số trị kết hợp số liệu bề mặt trong dự báo lũ hệ thống sông Hồng – Thái Bình. Hà Nội: Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, 2013.
2. Hải, B.T.; Sơn, L.V. Nghiên cứu ứng dụng mô hình IFAS và dữ liệu viễn thám trong mô phỏng dòng chảy lũ xuyên biên giới lưu vực sông Thao. *Tạp chí Khí tượng Thủy Văn* **2020**, 713, 24–36.
3. Kiên, N.T. Nghiên cứu ứng dụng số liệu mưa vệ tinh mô phỏng lũ khu vực trung lưu sông Mã. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 709, 51–62.
4. Sơn, L.V.; Chung, L.N.; Hải, B.T.; Anh, S.H.; Quang, N.D. Assessing Satellite-Based Precipitation Products to Create Flood Forecasting in the Da River Basin, Vietnam. *J. Geosci. Environ. Prot.* **2019**, 7(11), 113–123.
5. Tiến, T.Q.; Ngọc, P.K. Kết nối mô hình SWAN với WAM thành hệ thống dự báo sóng biển cho vùng Vịnh Bắc Bộ. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2014**, 646, 48–54.
6. Hà, B.M, Thủy, N.B., Chiến, Đ.Đ. Kết quả bước đầu dự báo sóng tổ hợp tại Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 721, 2–10.
7. Jump, K., G.J.; Cavaleri, L.; Donelan, M.; Hasselmann, K.; Hasselmann, S.; Janssen, P.A.E.M. Dynamics and modelling of ocean waves. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996.
8. Stopa, J.E.; Ardhuin, F.; Girard-Ardhuin, F. Wave climate in the Arctic 1992–2014: seasonality and trends. *Cryosphere* **2016**, 10(4), 1605–1629.
9. Bohlinger, P.; Breivik, Ø.; Economou, T.; Müller, M. A novel approach to computing super observations for probabilistic wave model validation, *Ocean Modelling*, **2019**, 139, 101404.
10. Jump up, Lionello, P.; Günther, H.; Janssen, P.A.E.M. Assimilation of Altimeter Data in a Global Third-Generation Wave Model. *J. Geophys. Res.* **1992**, 97(C9), 14453–14474.
11. Wang, J.; Aouf, L.; Jia, Y.; Zhang, Y. Validation and Calibration of Significant Wave Height and Wind Speed Retrievals from HY2B Altimeter Based on Deep Learning. *Remote Sens.* **2020**, 12, 2858.
12. Aouf, L.; Hauser, D.; Chapron, B.; Toffoli, A.; Tourain, C.; Peureux, C. New Directional Wave Satellite Observations: Towards Improved Wave Forecasts and Climate Description in Southern Ocean. *Geophys. Res. Lett.* **2021**, 48, e2020GL091187.
13. Smit, B.; Houghton, I.A.; Jordanova, K.; Portwood, T.; Shapiro, E.; Clark, D.; Sosa, T.T.; Janssen, M. Assimilation of significant wave height from distributed ocean wave sensors. *Ocean Modell.* **2021**, 159, 101738.
14. <https://cmems.met.no/ARC-MFC/Wave3kmValidation/2020-08/index.html>
15. [https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com\\_csw&task=results&pk\\_vid=fcfdbf116d624c1f162014079104990a](https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&task=results&pk_vid=fcfdbf116d624c1f162014079104990a)
16. <https://catalogue.marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-WAV-QUID-014-001.pdf>
17. <https://github.com/bohlinger/wavy>
18. SWAN team. Swan user manual, Delft University of Technology, 2016.
19. Đặc điểm khí tượng thủy văn năm 2020. Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, xuất bản tháng 3/2021.



## **Some initial results on the application of satellite data to validate wave heights forecasting**

**Pham Khanh Ngoc<sup>1\*</sup>, Nguyen Ba Thuy<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> National Center for Hydro–Meteorological Forecasting; ngocpkchibo@gmail.com; thuybanguyen@gmail.com

**Abstract:** Improving the quality of forecasts in general and marine forecasts in particular always play an important role in hydro–meteorological warning and forecasting to best serve the prevention, response and reduction of disaster mitigation. In Vietnam, because of the limitation of marine meteorological observation data, the waves forecasting is mainly based on the results of numerical modeling. In additionally, the evaluations of the forecasting results of the model still have many limitations due to the lack of data both in terms of space and time; thus, the results of these forecast products are not really reliable enough. This study will present the use of satellite wave observation data as a reference source for forecasting as well as validating the wave forecasting in the Bien Dong sea. Validation of wave forecasting results in October 2020 shows that the forecasting and observation data have quite large correlation coefficient with the small errors at 24 and 48 hour predicting periods , except for stormy days.

**Keywords:** Satellite; Wave forecasting; Wave model validation.

Bài báo khoa học

## Giải pháp tăng cường công tác giám sát, kiểm soát và khai thác số liệu quan trắc từ các mạng lưới trạm khí tượng thủy văn tự động ở khu vực Nam Bộ

Giáp Văn Vinh<sup>1\*</sup>, Nguyễn Nam Đức<sup>2</sup>, Nguyễn Hồng Hải<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Liên đoàn Khảo sát Khí tượng Thủy văn; giapvanvinh@yahoo.com

<sup>2</sup> Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ; ngnamduc@gmail.com, haikstv@yahoo.com

\*Tác giả liên hệ: giapvanvinh@yahoo.com; Tel.: +84-913998640

Ban Biên tập nhận bài: 8/4/2021; Ngày phản biện xong: 17/5/2021; Ngày đăng bài: 25/7/2021

**Tóm tắt:** Mạng lưới trạm khí tượng thủy văn (KTTV) ở khu vực Nam Bộ được đầu tư, nâng cấp với nhiều thiết bị tự động, hiện đại, góp phần nâng cao chất lượng công tác dự báo, phòng chống thiên tai. Tuy nhiên, do được đầu tư từ nhiều dự án nên có sự khác nhau về thiết bị đo, phương thức truyền số liệu, chu kỳ quan trắc, chu kỳ truyền số liệu, định dạng file số liệu. Ngoài ra, số liệu gốc còn chưa được giải mã, sao lưu tập trung và đánh giá chất lượng thường xuyên. Mặt khác, các ứng dụng chuyển giao từ các dự án còn thiếu, một số chạy trên nền công cụ hỗ trợ bản đồ ArcGis nên cần có phí bản quyền trong khi các phần mềm chuyên môn hiện có chưa đáp ứng yêu cầu. Để khắc phục các khó khăn, tồn tại nêu trên, giải pháp xây dựng bộ công cụ tổng hợp số liệu KTTV ở khu vực Nam Bộ đã được nghiên cứu. Phần mềm ứng dụng này được lập trình dựa trên kết quả đánh giá về hiện trạng công tác quan trắc, dự báo và thông tin, dữ liệu KTTV ở Nam Bộ nhằm tăng cường năng lực thông tin trong công tác giám sát, kiểm soát và khai thác số liệu quan trắc từ các mạng lưới trạm KTTV hiện có ở Nam Bộ. Kết quả thử nghiệm cho thấy bộ công cụ đã góp phần nâng cao chất lượng công tác quan trắc và khai thác số liệu KTTV, đồng thời cũng thể hiện được tính thực tiễn và hiệu quả của giải pháp đối với các mạng lưới trạm KTTV ở khu vực Nam Bộ.

**Từ khóa:** Khí tượng thủy văn; Mạng lưới trạm.

### 1. Mở đầu

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu, công tác quan trắc các yếu tố khí tượng thủy văn (KTTV) ngày càng được quan tâm nhằm thu thập số liệu nhanh chóng, chính xác để phục vụ cho công tác dự báo KTTV, phòng tránh thiên tai và phát triển kinh tế, xã hội. Bên cạnh việc đầu tư xây dựng mạng lưới trạm KTTV theo hướng tự động, hiện đại, các nước trên thế giới đã phát triển các giải pháp về phần mềm ứng dụng để tăng cường năng lực thông tin trong công tác quản lý mạng lưới trạm KTTV và khai thác số liệu, điển hình như: (1) HYMOS [1] để lưu trữ, phân tích số liệu KTTV; (2) Map & View [2] để quản lý, trích xuất số liệu từ các trạm KTTV tự động được lắp đặt thiết bị của hãng CAE; (3) ManuSys [3] để chia sẻ số liệu thủy văn hàng ngày giữa các nước hạ lưu sông Mê Công [4] phục vụ công tác dự báo thủy văn; (4) TeleSys [5] để tổng hợp số liệu từ các mạng lưới trạm thủy văn tự động thuộc Ủy hội sông Mê Công. Các phần mềm này có tính chuyên môn hóa cao nhưng chỉ áp dụng cho số liệu KTTV đã được xử lý hoặc cho từng mạng lưới trạm riêng biệt.

Ở Việt Nam, mạng lưới trạm KTTV đã và đang được nâng cấp, mở rộng, lắp đặt thiết bị tự động, hiện đại [6], góp phần nâng cao hiệu quả công tác dự báo KTTV [7]. Mạng lưới trạm KTTV tự động Đài KTTV khu vực Nam Bộ đã phát triển nhanh chóng về số lượng, được nâng cao về chất lượng với 322 trạm đo [8–9]. Tuy nhiên, do được đầu tư từ nhiều dự án khác nhau nên các mạng lưới các trạm KTTV tự động có sự khác nhau về thiết bị đo, phương thức truyền số liệu, chu kỳ quan trắc, chu kỳ truyền số liệu, định dạng file số liệu. Số liệu từ trạm được truyền về và lưu trữ trên máy chủ nhưng chưa được giải mã, sao lưu tập trung với cơ sở dữ liệu thống nhất và đánh giá chất lượng thường xuyên. Các ứng dụng chuyên giao từ các dự án còn thiếu, một số chạy trên nền công cụ hỗ trợ bản đồ ArcGis nên cần có phí bản quyền [10]; một số dự án chỉ có phần mềm hỗ trợ thiết bị mà không có phần mềm khai thác số liệu. Hệ thống phần mềm phục vụ tích hợp dữ liệu và hỗ trợ dự báo thời tiết [11] đang được Tổng cục KTTV triển khai nhằm tăng cường công tác khai thác số liệu; hệ thống này cần có số liệu đầu vào đã được giải mã, đánh giá chất lượng, sao lưu tập trung. Trong khi đó, ở Nam Bộ, có nhiều phần mềm chuyên môn đang được ứng dụng, điển hình như: (1) phần mềm tích hợp thông tin trợ giúp nghiệp vụ dự báo khí tượng và hải văn cho các Đài KTTV khu vực phía Nam [12]; (2) hệ thống tích hợp thông tin thủy văn và lưu vực sông, trợ giúp nghiệp vụ dự báo thủy văn và quản lý các lưu vực sông của Đài KTTV khu vực Nam Bộ [13]; (3) ManOnline [14] để tổng hợp số liệu đo mặn hàng ngày ở Nam Bộ; (4) bộ công cụ dự báo, cảnh báo sớm mưa, lũ, dông khu vực đồng bằng sông Cửu Long [15]; các giải pháp về phần mềm này sử dụng số liệu quan trắc truyền thống và còn nhiều hạn chế với số liệu quan trắc tự động. Hiện trạng khó khăn, tồn tại nêu trên đã được nghiên cứu, đánh giá [16]; từ đó, đề xuất được giải pháp tổng thể để tăng cường năng lực thông tin trong công tác giám sát, kiểm soát và khai thác số liệu quan trắc từ các mạng lưới trạm KTTV tự động hiện có, cụ thể là xây dựng phần mềm ứng dụng có tên là bộ công cụ tổng hợp số liệu KTTV ở khu vực Nam Bộ [17].

Kết quả nghiên cứu và thử nghiệm cho thấy giải pháp có tính thực tế cao và bộ công cụ đã phát huy sử dụng hiệu quả, góp phần nâng cao chất lượng số liệu thu thập, phục vụ kịp thời cho nghiệp vụ dự báo KTTV.

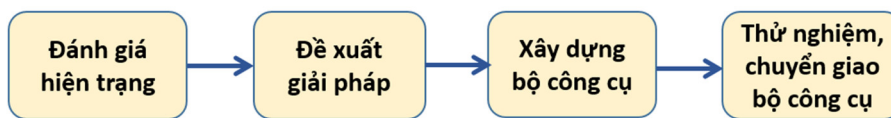
## 2. Phạm vi và phương pháp nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là 19 tỉnh thành ở Nam Bộ (Hình 1) và cũng là phạm vi quản lý của Đài KTTV khu vực Nam Bộ.



Hình 1. Sơ đồ khu vực nghiên cứu.

Cách tiếp cận trong nghiên cứu giải pháp tăng cường năng lực thông tin trong công tác giám sát, kiểm soát và khai thác số liệu KTTV được thực hiện theo sơ đồ Hình 2.



Hình 2. Cách tiếp cận nghiên cứu.

Theo đó, nghiên cứu được thực hiện theo 4 giai đoạn: (1) đánh giá về hiện trạng công tác quan trắc, dự báo, thông tin và hoạt động của mạng lưới trạm, tập trung xác định các khó khăn, tồn tại; (2) đề xuất các giải pháp trên cơ sở khoa học và thực tiễn, chú ý các giải pháp có thể giải quyết được bằng công nghệ tin học; (3) xây dựng phần mềm ứng dụng (có tên là bộ công cụ tổng hợp số liệu KTTV ở khu vực Nam Bộ) dựa trên các giải pháp đã đề xuất; và (4) thử nghiệm, chuyển giao bộ công cụ cho các đơn vị sử dụng. Bài báo này trình bày phần nghiên cứu về các giải pháp về công tác giám sát, kiểm soát, khai thác số liệu và xây dựng bộ công cụ.

### 2.1. Phương pháp giám sát tình hình hoạt động của trạm KTTV tự động

Số liệu gốc từ trạm KTTV tự động được truyền gửi về máy chủ ở Đài KTTV khu vực Nam Bộ theo chu kỳ và được giải mã, sao lưu tập trung vào cơ sở dữ liệu trên máy chủ. Từ đó, số liệu này được thống kê để tính toán tỉ lệ phần trăm giữa số số liệu thu nhận và số số liệu cần có (tính theo chu kỳ) trong giai đoạn cần đánh giá để phân loại tình hình số liệu thu nhận được của riêng từng trạm theo 5 mức (tốt, khá, trung bình, kém và hỏng) với các tỉ lệ tương ứng (>90% đến 100%, >60% đến 90%, >30% đến 60%, >0% đến 30% và 0%). Kết quả phân loại thể hiện được tình hình hình hoạt động của trạm.

Mỗi trạm thường đo nhiều yếu tố quan trắc khác nhau nên cần chọn yếu tố đại diện, có độ ổn định cao nhất để xác định tình hình hoạt động của trạm.

Kết quả phân loại tình hình hoạt động của từng trạm được tổng hợp để đánh giá cho từng mạng lưới và hệ thống mạng lưới trạm KTTV tự động theo các giai đoạn tuần, tháng, năm.

### 2.2. Phương pháp kiểm soát số liệu quan trắc tự động

Số liệu được kiểm soát theo 2 phương thức là tự động và thủ công.

#### 2.2.1. Kiểm soát số liệu theo phương thức tự động

Các điểm số liệu bất hợp lý được tự động xác định căn cứ theo các thông số giá trị lớn nhất, nhỏ nhất, cường suất và biên độ.

- Xác định theo giá trị lớn nhất và nhỏ nhất

Mỗi yếu tố quan trắc KTTV thường thay đổi trong khoảng nhất định, từ giá trị nhỏ nhất đến lớn nhất; các giá trị này phụ thuộc vào đặc tính của trạm đo và thời đoạn trong năm. Phương thức tự động xác định điểm bất hợp lý khi có giá trị nhỏ hơn giá trị nhỏ nhất hoặc lớn hơn giá trị lớn nhất.

- Xác định theo cường suất

Có nhiều yếu tố quan trắc KTTV có cường suất (chênh lệch giữa 2 điểm số liệu liền kề) thay đổi trong một khoảng xác định; cường suất lớn nhất phụ thuộc vào đặc tính trạm đo, thời đoạn trong năm và chu kỳ số liệu. Phương thức tự động xác định điểm bất hợp lý khi chênh lệch giữa 2 điểm số liệu liền kề lớn hơn chênh lệch theo cường suất lớn nhất đã định trước. Phương thức này được áp dụng cho các yếu tố quan trắc có tính liên tục như mực nước, nhiệt độ, áp suất ...; riêng các yếu tố quan trắc có tính không liên tục như lượng mưa, tốc độ gió, thời gian nắng ... thì không áp dụng được.

- Xác định theo biên độ

Cách xác định điểm số liệu bất hợp lý theo biên độ thực hiện khi có cường suất rất nhỏ và có kèm theo điều kiện về số điểm liên tiếp nằm trong biên độ định trước. Các xác định này hữu hiệu khi có nhiều điểm bất hợp lý liên tiếp có giá trị không đổi hoặc thay đổi rất nhỏ. Tương tự như đối với cường suất, cách xác định theo biên độ chỉ thực hiện cho các yếu tố quan trắc có tính thay đổi liên tục.

### 2.2.2. Kiểm soát số liệu theo phương thức thủ công

Các điểm số liệu bất hợp lý được xác định thủ công (với các công cụ hỗ trợ chọn nhóm điểm) theo kết quả phân tích chuyên môn truyền thống trên biểu đồ với các cách thức là:

- Phân tích tính liên tục và xu thế thay đổi của số liệu

Vẽ biểu đồ số liệu của riêng từng yếu tố của trạm cần kiểm soát để phân tích tính hợp lý của số liệu, đồng thời xác định các điểm bất hợp lý.

- So sánh với số liệu kiểm tra

Vẽ biểu đồ số liệu của riêng từng yếu tố của trạm cần kiểm soát và số liệu đo kiểm tra; sau đó, tính chênh lệch giữa số liệu cần kiểm soát và số liệu kiểm tra tại cùng thời điểm. Nếu chênh lệch lớn hơn giá trị chênh lệch cho phép thì chuỗi số liệu lân cận với điểm có số liệu kiểm tra có thể xem là bất hợp lý.

Số liệu kiểm tra được xem là số liệu chuẩn, là kết quả đo theo phương pháp thủ công được quan trắc được trong các lần đến trạm theo định kỳ, đột xuất .... Giá trị chênh lệch cho phép phụ thuộc vào yếu tố quan trắc.

- So sánh theo thời gian

Vẽ biểu đồ số liệu nhiều năm của một yếu tố của cùng một trạm cần kiểm soát để phân tích sự thay đổi của số liệu qua các năm khác nhau, từ đó xác định được các chuỗi số liệu bất hợp lý nếu có.

- So sánh theo không gian

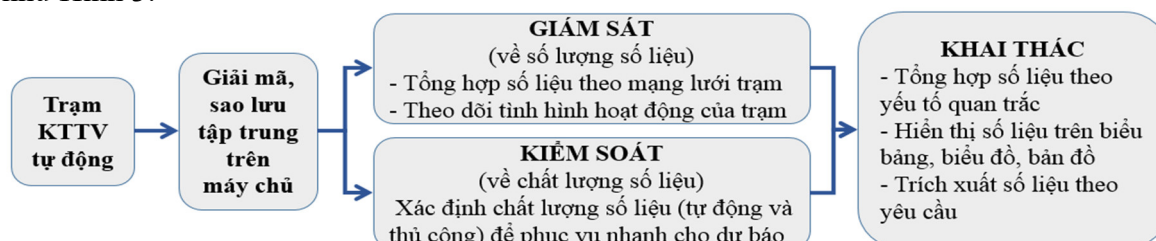
Vẽ biểu đồ số liệu của cùng một yếu tố của trạm cần kiểm soát và của các trạm lân cận có cùng điều kiện tự nhiên để phân tích xu thế tương tự giữa các trạm khác nhau, từ đó xác định được các chuỗi số liệu bất hợp lý nếu có.

### 2.3. Phương pháp khai thác số liệu quan trắc tự động

Các mạng lưới trạm KTTV tự động quan trắc nhiều yếu tố khác nhau, nên phương pháp khai thác số liệu là: tổng hợp số liệu quan trắc của tất cả các mạng lưới trạm (bao gồm kết quả kiểm soát số liệu); phân loại theo 5 nhóm yếu tố quan trắc: mực nước, lượng mưa, các yếu tố về khí tượng, các yếu tố về gió và các yếu tố về hải văn; hiển thị số liệu trên bảng thống kê, bản đồ, trích xuất số liệu.

## 3. Kết quả và thảo luận

Bộ công cụ tổng hợp số liệu KTTV ở khu vực Nam Bộ được lập trình trên cơ sở các giải pháp tăng cường năng lực thông tin trong công tác giám sát, kiểm soát và khai thác số liệu; trong đó, các chức năng liên quan đến bản đồ được xây dựng theo giải pháp dựa trên hình ảnh bản đồ nền [10] nhằm để tránh chi phí bản quyền của các công cụ hỗ trợ bản đồ chuyên dùng và để phát triển các tính năng nâng cao theo yêu cầu trên bản đồ với sơ đồ hoạt động như Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ hoạt động của bộ công cụ.

Các mạng lưới trạm KTTV tự động ở Nam Bộ được đầu tư nâng cấp từ nhiều dự án. Căn cứ theo loại thiết bị sử dụng và yếu tố quan trắc, có thể chia thành 9 mạng lưới trạm là: khí tượng WB4, khí tượng WB5, thủy văn WB4, thủy văn WB5 nội đồng, thủy văn WB5 cơ bản, thủy văn Mekong, đo mưa Hàn Quốc, đo gió Young và hải văn.

Số liệu gốc từ các mạng lưới trạm KTTV tự động này được truyền về và sao lưu trên máy chủ ở Đài KTTV khu vực Nam Bộ với các kiểu định dạng (văn bản hoặc nhị phân), phương thức truyền và chu kỳ khác nhau. Tại đây, các file số liệu gốc được tự động giải mã và cập nhật vào cơ sở dữ liệu theo chu kỳ truyền gửi số liệu của riêng từng mạng lưới trạm. Ngoài ra, trên máy chủ còn sao lưu tập trung các báo cáo giám sát số liệu định kỳ, các file kết quả kiểm soát số liệu, các thông tin hỗ trợ của bộ công cụ.

### 3.1. Giải pháp giám sát tình hình hoạt động của trạm KTTV tự động

Tình hình hoạt động của trạm KTTV tự động được giám sát, theo dõi dựa theo tỉ lệ của số liệu thu nhận được trên máy chủ của một yếu tố quan trắc đại diện tùy theo mạng lưới (yếu tố đại diện là nhiệt độ không khí đối với trạm khí tượng, là mực nước đối với trạm thủy văn và hải văn, là điện thế nguồn nếu là trạm đo mưa, là tốc độ gió đối với trạm đo gió).

Các báo cáo tình hình hoạt động của trạm, mạng lưới trạm theo thời đoạn (tuần, tháng, năm) được tính toán, phân loại theo tỉ lệ phần trăm số liệu thu nhận của riêng từng trạm và được tổng hợp theo mẫu Excel định sẵn như Hình 4.

STT	Tên trạm	Mã trạm	Số số liệu nhận được	Số số liệu còn thiếu	Tỉ lệ số liệu nhận được (%)	Phân loại trạm theo tỉ lệ số liệu nhận được				
						Hỏng	Kém	Trung bình	Khá	Tốt
						0%	0.1% đến 30.0%	30.1% đến 60.0%	60.1% đến 90.0%	90.1% đến 100%
			15430	1706	90.0	1	0	0	3	13
						5.9%	0.0%	0.0%	17.6%	76.5%

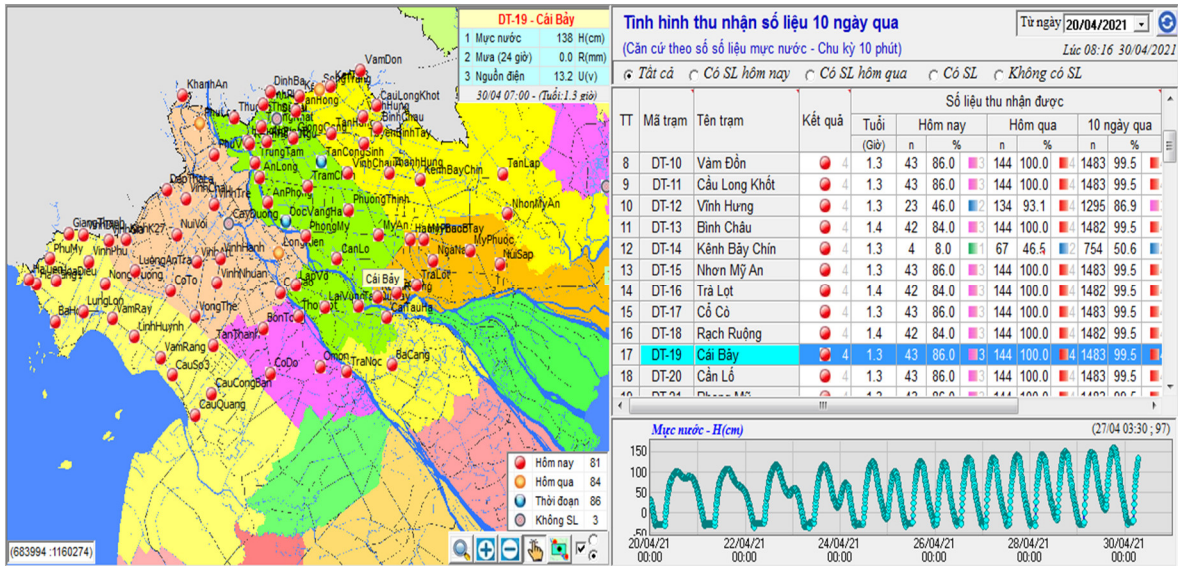
  

ĐÀI KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN KHU VỰC NAM BỘ										
BÁO CÁO TÌNH HÌNH THU NHẬN SỐ LIỆU TỪ HỆ THỐNG CÁC MẠNG LƯỚI TRẠM KTTV TỰ ĐỘNG										
Tuần 16 (19/04/2021 - 25/04/2021)										
Ngày báo cáo: 26/04/2021										
Mạng lưới trạm	Số lượng trạm	Số số liệu nhận được	Số số liệu còn thiếu	Tỉ lệ số liệu nhận được (%)	Phân loại trạm theo tỉ lệ số liệu nhận được					
					Hỏng	Kém	Trung bình	Khá	Tốt	
0%	0.1% đến 30.0%	30.1% đến 60.0%	60.1% đến 90.0%	90.1% đến 100%						
1. Trạm khí tượng WB4	17	15430	1706	90.0	1	0	0	3	13	
2. Trạm khí tượng WB5	2	2013	3	99.85	0	0	0	0	2	
3. Trạm thủy văn WB4	89	82918	6794	92.4	3	2	3	1	80	
4. Trạm thủy văn WB5 (Nội đồng)	43	24892	18452	57.4	10	7	4	1	21	
5. Trạm thủy văn WB5 (Cơ bản)	11	6900	4188	62.2	4	0	0	1	6	
6. Trạm thủy văn Mekong	11	4032	3360	54.5	5	0	0	0	6	
7. Trạm đo mưa (Hàn Quốc)	49	6451	1781	78.3	4	1	4	11	29	
gió (Young)	13	1045	1139	47.8	6	0	0	3	4	
văn	5	2118	2922	42.0	2	1	0	0	2	

Hình 4. Tình hình số liệu thu nhận được từ các mạng lưới trạm KTTV tự động.

Hình 4 thể hiện tình hình thu nhận số liệu trong tuần thứ 16 năm 2021 (từ 19/4 đến 25/4). Trong đó, Hình 4a thể hiện số liệu thu nhận từ mạng lưới trạm khí tượng tự động WB4, gồm có số số liệu thu nhận được, số số liệu còn thiếu, tỉ lệ số liệu thu được và kết quả phân loại cho từng trạm; trong 17 trạm, có 13 trạm xếp loại tốt, 3 trạm xếp loại khá và 1 trạm bị hỏng. Hình 4b thể hiện kết quả tổng hợp cho các mạng lưới trạm KTTV tự động. Báo cáo cho biết được tình hình hoạt động của riêng từng trạm; từ đó, có kế hoạch bảo dưỡng phù hợp. Ngoài các báo cáo được lập trên file Excel, tình hình hoạt động của từng mạng lưới trạm còn được hiển thị trên bản đồ, bảng thống kê và biểu đồ như Hình 5.

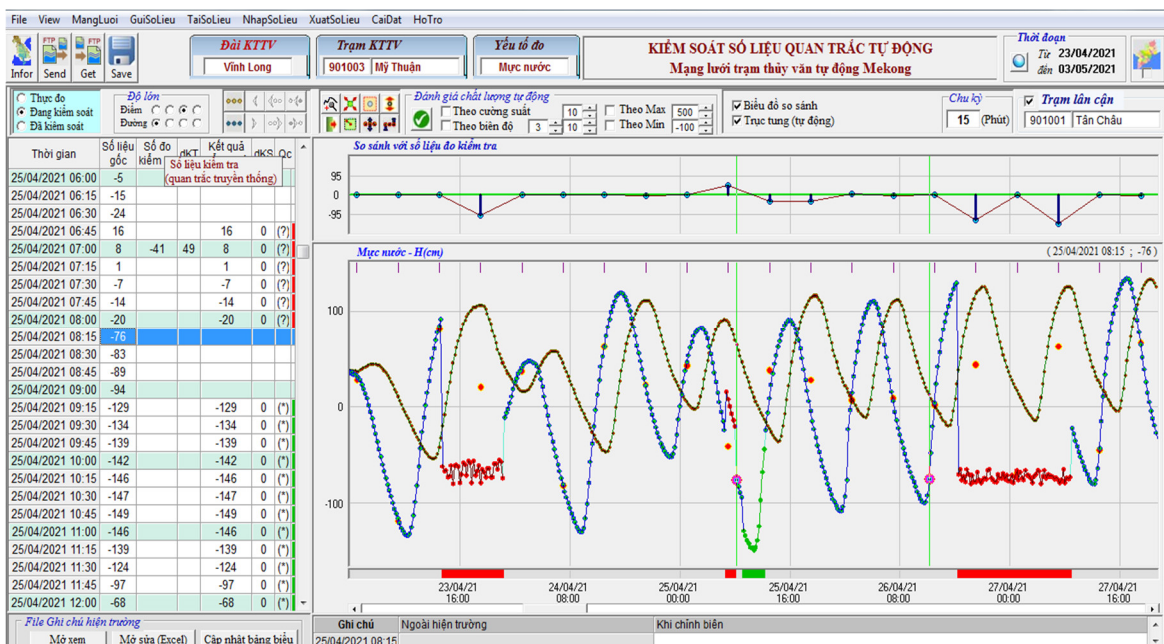
Hình 5 mô tả tình hình hoạt động của mạng lưới trạm thủy văn WB4 được tổng hợp lúc 8 giờ ngày 30/4/2021. Theo đó, các biểu tượng hình tròn với các màu khác nhau hiển thị trên bản đồ kèm với tên trạm, mô tả tình hình số liệu thu nhận được trong 3 thời đoạn (hôm nay, hôm qua, 10 ngày qua) và trạm không có số liệu với các màu tương ứng là đỏ, cam, xanh và xám. Ngoài ra, kết quả được thể hiện trên bảng thống kê gồm số giờ (khoảng thời gian giữa thời gian của số liệu mới nhất và thời điểm thống kê), số số liệu và tỉ lệ số liệu thu nhận được trong các thời đoạn. Số liệu của trạm được chọn còn được thể hiện trên biểu đồ số liệu trong 10 ngày qua theo yếu tố quan trắc đại diện của trạm được chọn.



Hình 5. Tình hình số liệu thu nhận được từ các mạng lưới trạm thủy văn WB4.

### 3.2. Giải pháp kiểm soát số liệu quan trắc tự động

Số liệu quan trắc tự động thỉnh thoảng có điểm số liệu bất hợp lý được gây ra bởi lỗi của thiết bị, công trình đo, đường truyền (điện thoại, tín hiệu 3G, 4G) ... hoặc lỗi do người cài đặt. Vì vậy, số liệu này cần được kiểm soát, đánh giá chất lượng theo bộ mã chất lượng với 6 mức là: chưa kiểm soát, chính xác, bổ sung, cải chính, khả nghi và cần cải chính. Để có thể phục vụ nhanh cho nghiệp vụ dự báo, công tác kiểm soát số liệu chỉ xác định điểm khả nghi và cần cải chính; riêng các mức chất lượng còn lại được sử dụng khi chỉnh biên tài liệu điều tra cơ bản. Do vậy, giải pháp kiểm soát số liệu quan trắc từ trạm KTTV tự động để phục vụ dự báo KTTV là xác định các điểm số liệu bất hợp lý rồi gán cho mức chất lượng là khả nghi hoặc cần cải chính theo hai phương thức tự động và thủ công (Hình 6). Công việc kiểm soát được thực hiện thường xuyên trên máy tính cá nhân tùy thuộc vào đặc tính ổn định của số liệu của từng yếu tố, của từng mạng lưới trạm. Kết quả kiểm soát số liệu được truyền gửi, sao lưu trên máy chủ; sau đó được trích xuất ra file để chỉ dẫn các đơn vị chức năng tránh sử dụng các số liệu được đánh dấu bất hợp lý này.



Hình 6. Giao diện kiểm soát số liệu quan trắc tự động.





theo dõi thường xuyên (từ số liệu thu nhận được); số liệu được kiểm soát, đánh giá nhanh về chất lượng (theo 2 phương thức tự động và thủ công); số liệu được khai thác, tổng hợp theo yêu tố quan trắc và trích xuất ra file hoặc bản đồ theo yêu cầu. Bộ công cụ này đã chứng tỏ khả năng ứng dụng cao trong thực tiễn, góp phần nâng cao hiệu quả đầu tư mạng lưới trạm KTTV và sử dụng số liệu, phục vụ dự báo, phòng chống thiên tai ở khu vực Nam Bộ.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: G.V.V., N.N.Đ.; Viết bản thảo bài báo: G.V.V.; Chỉnh sửa bài báo: N.N.Đ., N.H.H.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này một phần kết quả của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường: “Nghiên cứu, xây dựng hệ thống tăng cường năng lực thông tin khí tượng thủy văn phục vụ công tác dự báo, phòng chống thiên tai ở khu vực Nam Bộ”, mã số TNMT.2018.05.15.

**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. Delft Hydraulics. HYMOS Manual version 4.02, June 2001.
2. CAE S.P.A. Hướng dẫn sử dụng phần mềm Map & View, 2012.
3. Vinh, G.V. ManuSys software User Guide, 2006.
4. Vinh, G.V. Phần mềm quản lý, trao đổi, chia sẻ số liệu khí tượng thủy văn phục vụ dự báo lũ ở hạ lưu sông Mê Công. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 2010, 593, 12–16.
5. Vinh, G.V. TeleSys software User Guide, 2008.
6. Trung tâm Quan trắc KTTV. Báo cáo tổng kết công tác năm 2020 và phương hướng nhiệm vụ công tác năm 2021, 2020
7. Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia. Báo cáo tổng kết công tác năm 2020 và phương hướng nhiệm vụ công tác năm 2021, 2020
8. Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ. Báo cáo tổng kết công tác năm 2020 và nhiệm vụ kế hoạch năm 2021, 2021
9. Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ. Báo cáo tình hình hoạt động mạng lưới trạm KTTV tháng 03 năm 2021, 2021
10. Vinh, G.V. Giải pháp mới về bản đồ để hiển thị thông tin KTTV. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 2021, 725, 72–79.
11. Phát triển hệ thống phần mềm phục vụ tích hợp dữ liệu và hỗ trợ dự báo thời tiết. <http://www.kttvqg.gov.vn/public/index.php/tin-tuc-khcn-120/phat-trien-he-thong-phan-mem-phuc-vu-tich-hop-du-lieu-va-ho-tro-du-bao-thoi-tiet-5406.html>, truy cập ngày 14/5/2021
12. Công, T.T. Phần mềm tích hợp thông tin trợ giúp nghiệp vụ dự báo khí tượng và hải văn cho các Đài KTTV khu vực phía Nam, 2012.
13. Giám, N.M. Hệ thống tích hợp thông tin thủy văn và lưu vực sông, trợ giúp nghiệp vụ dự báo thủy văn và quản lý các lưu vực sông của Đài KTTV khu vực Nam Bộ, 2014.
14. Vinh, G.V. Hướng dẫn sử dụng phần mềm ứng dụng HydMet–ManOnline, 2016.
15. Quyền, L.N. và cs. Bộ công cụ dự báo, cảnh báo sớm mưa, lũ, đồng khu vực đồng bằng sông Cửu Long. Đề tài cấp bộ, mã số TNMT.2017.05.03, 2017–2020.
16. Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ. Thuyết minh đề tài cấp Bộ “Nghiên cứu, xây dựng hệ thống tăng cường năng lực thông tin khí tượng thủy văn phục vụ công tác dự báo, phòng chống thiên tai ở khu vực Nam Bộ”, 2018.
17. Vinh, G.V. và cs. Bộ công cụ tổng hợp số liệu KTTV ở khu vực Nam Bộ, 2021.

## **A solution for monitoring, checking and exploiting data obtained from automatic hydro–meteorological network in the Southern region**

**Giap Van Vinh<sup>1\*</sup>, Nguyen Nam Duc<sup>2</sup>, Nguyen Hong Hai<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Hydro–Meteorological Detachment; giapvanvinh@yahoo.com

<sup>2</sup> Southern Regional Hydro–Meteorological Center; ngnamduc@gmail.com; haikstv@yahoo.com

**Abstract:** The hydro–meteorological (HM) networks in Southern region have been improved with automatic and modern equipment, contributing to improve the quality of HM forecasting and disaster prevention. Due to investment from many projects, there are differences in term of equipment, data transmission method and interval, measuring interval, data file format, etc. In addition, original data file has not been decoded, backed up centrally and regularly assessed for quality. On the other hand, the transferred applications from projects are lacking, some run on the ArcGis map support tool with high license fee while the existing specialized softwares are still not yet satisfied. To overcome such difficulties, solution to develop an application to synthesize HM data in the Southern region have been studied. This application is programmed based on the results of the assessment of the current status of monitoring, forecasting, information and data HM with the aim of enhancing capacity in monitoring, checking and exploiting data from the existing HM networks in the Southern region. The result shows that the application has contributed to improve the quality of data monitoring and exploitation. The study also proves the practicality and effectiveness of the proposed solution for the HM networks in the Southern region.

**Keywords:** Hydro–meteorological; Network.

Bài báo khoa học

## Xây dựng đường cong cường độ–thời đoạn–tần suất mưa hướng đến thiết lập bản đồ ngập lụt cho khu vực bán đảo Cà Mau

Hồ Công Toàn<sup>1</sup>, Đặng Trường An<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG–HCM; hocongtoanhhdh@gmail.com; dtan@hcmus.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: dtan@hcmus.edu.vn.com; Tel.: +84–909719878

Ban Biên tập nhận bài: 08/4/2021; Ngày phản biện xong: 18/5/2021; Ngày đăng bài: 25/7/2021

**Tóm tắt:** Trong những năm gần đây, các hiện tượng mưa với cường độ lớn xuất hiện ngày càng thường xuyên tại khu vực bán đảo Cà Mau (BĐCM) gây ngập cục bộ và làm ảnh hưởng đến đời sống của người dân trong khu vực. Theo báo cáo của Bộ Tài Nguyên và Môi Trường, mưa tại khu vực BĐCM có xu hướng gia tăng về cường độ và chu kỳ lặp lại trong tương lai như hệ quả của biến đổi khí hậu (BĐKH). Mưa với cường độ lớn có xu hướng tăng sẽ góp phần làm tình trạng ngập lụt cục bộ tại các khu vực có địa hình thấp và hệ thống tiêu thoát nước kém trầm trọng hơn. Việc chủ động phòng tránh các ảnh hưởng bất lợi từ các sự kiện mưa gây ngập đối với đời sống người dân, phân tích chu kỳ lặp lại của một cơn mưa gây ngập lụt là rất cần thiết. Chính vì vậy, mục tiêu của nghiên cứu là: a) xác định chu kỳ lặp lại của một sự kiện mưa cực đoan cho khu vực BĐCM bằng phần mềm CumFreq và b) hướng đến xây dựng bản đồ ngập lụt dựa trên dữ liệu được tính toán từ đường cong cường độ–thời đoạn–tần suất (IDF) mưa góp phần hỗ trợ chủ động phòng tránh nguy cơ gây ngập lụt do mưa cũng như góp phần thích ứng với BĐKH cho khu vực BĐCM.

**Từ khóa:** Ngập lụt; Vùng trũng; Mưa cực đoan; Nước biển dâng; Bán đảo Cà Mau.

### 1. Mở đầu

Theo báo cáo của IPCC–Ủy Ban Liên Chính Phủ về BĐKH [1], BĐKH toàn cầu sẽ dẫn đến mực nước biển tại nhiều quốc gia trên thế giới có xu hướng tăng. IPCC cũng đánh giá rằng, mưa tại nhiều khu vực trên thế giới đang có xu hướng tăng, thời đoạn và chu kỳ lặp lại của các sự kiện mưa cực đại cũng được nhận định đang gia tăng dưới tác động của BĐKH và điều này sẽ ảnh hưởng đáng kể đến đời sống kinh tế–xã hội toàn cầu [2–3]. So với các yếu tố khí hậu khác, mưa được đánh giá là yếu tố quan trọng có ảnh hưởng trực tiếp đến nhiều mặt của đời sống nhân loại [2, 4–5]. Dưới ảnh hưởng của BĐKH, chu kỳ lặp lại và cường độ của các sự kiện mưa lớn, mưa cực đoan hay mưa trong bão xảy ra ở Việt Nam được nhận định có xu hướng gia tăng và tiềm ẩn các rủi ro cho đời sống nhân dân, gây nhiều tổn thất về cơ sở hạ tầng và tính mạng con người, tác động xấu đến môi trường [2, 6–7].

Nhận thức được tầm quan trọng từ hậu quả do các sự kiện mưa lớn gây ra đối với nhiều mặt của đời sống nhân loại dưới ảnh hưởng của BĐKH trong những năm gần đây. Nhiều nghiên cứu về mưa to, mưa cực đoan gây ngập lụt cục bộ các khu đô thị, các thành phố lớn trên thế giới đang nhận được sự quan tâm từ các nhà khoa học. Ở Nigeria [8] đã tiến hành xây dựng đường cong IDF mưa cho khu vực Makurdi. Trong nghiên cứu này, nhóm thực hiện phân tích dữ liệu lượng mưa khu vực Makurdi Metropolis, Bang Benue, Nigeria từ 01/1982 đến 12/1991 bằng ba hàm phân phối xác suất là Gumbel, Weibull và Gringorton. Kết quả

phân tích cho thấy hàm phân phối xác suất Gumbel là lựa chọn phù hợp để xây dựng bộ thông số cho xây dựng đường cong IDF mưa cho khu vực nghiên cứu. Ở Pháp, năm 2016 [9] đã tiến hành nghiên cứu diễn biến theo thời gian của mức độ dễ bị tổn thương do lũ lụt của hai thành phố Besançon và Moissac. Cả hai sự kiện lũ đã xảy ra năm 1910 và 1930 được đánh giá là những sự kiện nghiêm trọng nhất được ghi nhận ở Pháp trong thế kỷ 20. Các tác giả báo cáo rằng cường độ và mức độ nghiêm trọng của hai sự kiện mưa gây ngập lụt và những thiệt hại do chúng gây ra là vô cùng lớn. Các tác giả đã khẳng định việc phân tích các dữ liệu mưa lịch sử cho phép thành lập bản đồ cảnh báo các rủi ro tiềm ẩn cho các khu vực dễ bị ảnh hưởng bởi lũ lụt. Năm 2014, [10] đã tiến hành nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của BĐKH đối với lượng mưa cực đoan cho khu vực Địa Trung Hải. Nhóm nghiên cứu đã sử dụng 114 chuỗi số liệu lượng mưa quy mô ngày giai đoạn 1951–1999 đại diện cho khí hậu giai đoạn hiện tại và 2000–2099 đại diện các kịch bản tương lai A1B, A2 và B2. Kết quả chỉ ra rằng, các yếu tố BĐKH trung bình được tính toán từ lượng mưa hàng ngày tăng với tất cả các chu kỳ lặp lại trong giai đoạn khí hậu hiện tại và cả các kịch bản khí hậu tương lai. Nghiên cứu cũng báo cáo rằng, những năm cuối thế kỷ 21 dưới kịch bản A1B, A2 và B2, cường độ mưa thu được với khoảng thời gian phản hồi từ 10 đến 500 năm sẽ vượt đường cong IDF tại khu vực Barcelona từ 3% đến 14%.

Trong những năm gần đây, quá trình công nghiệp hóa hiện đại hóa ngày càng phát triển nhanh ở một số đô thị lớn của Việt Nam, chính điều này cũng gây áp lực lên cơ sở hạ tầng (hệ thống thoát nước, tiêu thoát nước thủy lợi, đường giao thông, ...). Hệ quả là nhiều đô thị lớn thường bị ngập do mưa. Để giải quyết tình trạng trên, nhiều nghiên cứu về xây dựng đường cong IDF mưa, một phương pháp thường được áp dụng trong các nghiên cứu về quy hoạch đô thị và thiết kế các công trình dân dụng đã được thực hiện. Cụ thể, [11–12] đã tiến hành nghiên cứu biến đổi không gian của mưa cực trị và xây dựng đường cong IDF mưa cảnh báo ngập lụt cho khu vực TP. HCM. Trong công trình nghiên cứu, [11] đã sử dụng chuỗi dữ liệu mưa cực trị của các trạm thuộc khu vực TP. HCM trong giai đoạn 1980–2014. Nghiên cứu tiến hành xây dựng đường cong IDF mưa dựa trên hàm phân bố xác suất (GEV). Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, mưa lớn là nguyên nhân chính gây ngập lụt cho khu vực TP. HCM. Trong khi, [12] đã xây dựng đường cong IDF mưa dựa trên hàm phân phối Log–Pearson giai đoạn hiện tại 1986–2005 và các kịch bản BĐKH tương lai. Kết quả nghiên cứu cho thấy, cường độ các trận mưa lớn cùng với các thời đoạn và các thời kỳ khác nhau đều ghi nhận xu hướng tăng từ 11–69%. Một nghiên cứu đánh giá sự biến động lượng mưa theo thời gian cho vùng Đông Bắc Việt Nam được tiến hành bởi [13] thông qua xây dựng đường cong IDF mưa hỗ trợ xây dựng tần suất lũ thiết kế cho hệ thống giao thông. Nhóm nghiên cứu đã báo cáo rằng phương pháp tính toán tần suất lũ thiết kế dựa trên đường cong IDF mưa là phù hợp và triển vọng áp dụng cho những khu vực khác của Việt Nam. Gần đây, năm 2018 [14] đã tiến hành một nghiên cứu xây dựng đường cong IDF mưa cho khu vực sông Vu Gia–Thu Bồn trong bối cảnh BĐKH, dựa trên chuỗi dữ liệu mưa ngày. Để tiến hành nghiên cứu này, nhóm tác giả đã sử dụng dữ liệu mưa lịch sử từ mô hình RegCM4 theo kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 với độ phân giải lưới 10km x 10km. Các kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, mưa có xu hướng tăng đáng kể từ 10–30% đối với kịch bản RCP4.5 và RCP8.5. Cụ thể, mưa 1, 2 và 3 ngày cực đại đã ghi nhận được sự gia tăng từ 30–300 mm/ngày theo nghiên cứu này.

Trong những năm gần đây, khu vực BĐCM đã ghi nhận xuất hiện nhiều hiện tượng thời tiết cực đoan như mưa lớn gây ngập lụt [7, 15]. Cụ thể, ngày 3 tháng 9 năm 2018 một cơn mưa lớn kéo dài 3 hơn giờ đã khiến các tuyến đường nội đô TP. Cà Mau như Hùng Vương, Nguyễn Trãi, Nguyễn Tất Thành, Phan Ngọc Hiền, Nguyễn Công Trứ, Nguyễn Đình Chiểu và Ngô Quyền bị ngập với độ sâu ngập lên đến 50cm [7–15]. Một sự kiện mưa nặng khác xuất hiện vào ngày 09/09/2019 được giới chuyên môn nhận định do ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam hoạt động mạnh đã gây ngập cho nhiều khu vực trên địa bàn tỉnh Cà Mau [15]. Cơn mưa này có thời gian kéo dài và cường độ lớn kèm giông lốc đã gây ngập cục bộ nhiều nơi trong khu vực BĐCM gây ảnh hưởng đến hoạt động sản xuất, giao thông và công trình thủy

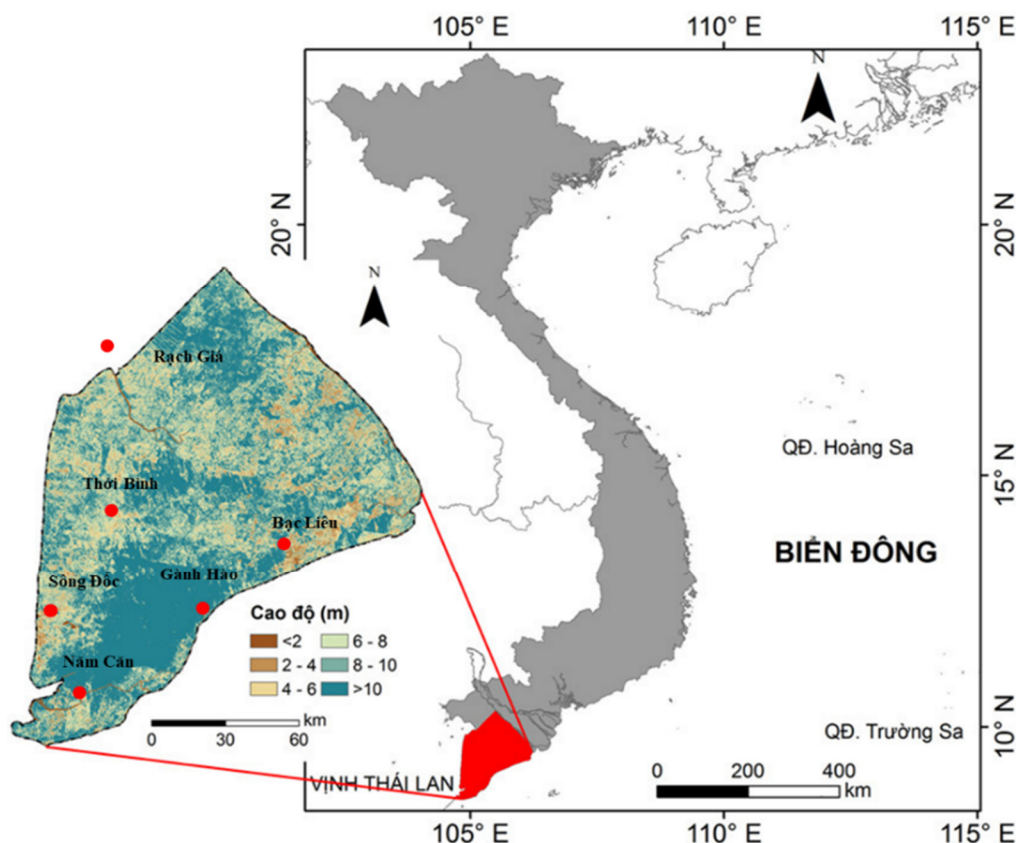
lợi cũng bị ảnh hưởng nghiêm trọng [7–15]. Năm 2010 vừa qua, ngày 10 tháng 3 trên địa bàn tỉnh Cà Mau đã xuất hiện một cơn mưa kéo dài khoảng 2 giờ với lượng mưa đo được tại trạm Cà Mau lên đến 75,9mm. Cơn mưa này đã gây ngập nhiều tuyến đường tại một số huyện thị như huyện Cái Nước và trung tâm TP. Cà Mau [15]. Gần đây nhất, ngày 20 tháng 10 năm 2020 một cơn mưa lớn xuất hiện đã gây ngập nặng nhiều khu vực sản xuất nông nghiệp thuộc BĐCM như huyện Vĩnh Lợi, Hòa Bình, Phước Long, TP. Bạc Liêu, TP. Sóc Trăng, huyện Cù Lao Dung [15].

Từ những sự kiện mưa gây ngập xuất hiện ngày một thường xuyên hơn tạo khu vực BĐCM gây ảnh hưởng đến các hoạt động của người dân, nghiên cứu này vì vậy được tiến hành để xây dựng đường cong IDF mưa nhằm xác định chu kỳ lặp lại của một sự kiện mưa cực đoan cho khu vực BĐCM dựa trên phạm mềm CumFreq và mục tiêu xa hơn mà nghiên cứu hướng đến là xây dựng bản đồ số cảnh báo ngập lụt cho khu vực, góp phần hỗ trợ phòng tránh các rủi ro tiềm ẩn do các sự kiện mưa cực đoan gây ra.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Bán đảo Cà Mau được biết đến là một vùng đất trũng thấp nằm ở cực nam của Việt Nam, được giới hạn bởi vĩ tuyến từ 8°33'36" Bắc đến 10°19'12" Bắc và kinh tuyến từ 104°42'36" Đông đến 106°14'24" Đông (Hình 1). BĐCM có địa hình thấp dần từ Bắc xuống Nam và từ Đông sang Tây với độ cao trung bình dao động từ 0,5m đến 1,5m [3, 16]. Do vị trí địa lý nằm hạ lưu sông Mekong nên chế độ thủy động lực của BĐCM chịu sự tác động của dòng chảy từ thượng nguồn sông Mekong và chế độ bán nhật triều Biển Đông, nhật triều từ Biển Tây [3, 17–18]. Nằm trong khu vực nhiệt đới gió mùa, BĐCM chịu sự chi phối của hai mùa gió Đông Bắc và Tây Nam, mưa trung bình hàng năm của khu vực cao hơn so với các khu vực khác của Việt Nam và 90% lượng mưa năm tập trung vào mùa mưa [19].



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu với các trạm quan trắc mưa.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.2.1. Thẩm định chất lượng chuỗi dữ liệu

Thẩm định chất lượng chuỗi dữ liệu là một bước quan trọng trước khi tiến hành sử dụng chuỗi dữ liệu đó cho một nghiên cứu cụ thể [20]. Chất lượng một chuỗi dữ liệu chịu ảnh hưởng từ điều kiện địa hình, yếu tố khí tượng, thủy văn và môi trường. Bên cạnh đó, việc thay đổi thiết bị quan trắc, hay thiết bị quan trắc bị hỏng cũng là một trong những nguyên nhân làm ảnh hưởng đến chất lượng của chuỗi dữ liệu [21–23]. Trong nghiên cứu này, hai phương pháp thẩm định chất lượng chuỗi dữ liệu là Pettitt và SNHT–Standard Normal Homogeneity Test được xem xét áp dụng đánh giá chất lượng chuỗi dữ liệu mưa hàng ngày tại 07 trạm thuộc khu vực nghiên cứu.

Pettitt là một phương pháp thống kê được xây dựng cho mục đích thẩm định tính đồng nhất của chuỗi dữ liệu khí tượng, thủy văn và môi trường [23]. Cụ thể, phương pháp Pettitt giúp xác định sự gián đoạn tại một vị trí bên trong chuỗi dữ liệu thông qua biểu thức toán học. Biểu thức toán học xác định sự gián đoạn của phương pháp Pettitt được cho bởi biểu thức sau:

$$X_y = \max |X_k| \quad (\text{với } 1 \leq y < n) \quad (1)$$

Trong đó: giá trị cực đại  $X_k$  là dữ liệu gián đoạn tại năm  $y$ .

Với  $X_k$  trong biểu thức (1) được xác định theo biểu thức (2)

$$X_k = 2 * \sum_{i=1}^k r_i - k(n + 1); \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Trong đó  $r_i$  là đại diện cho bậc tăng dần của chuỗi dữ liệu theo thời gian,  $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ .

SNHT là một phương pháp thống kê được Alexanderson xây dựng cho mục đích so sánh giá trị trung bình giữa  $v$  năm đầu tiên với  $(n-v)$  năm cuối của chuỗi dữ liệu quan trắc. Nói cách khác, phương pháp này giúp kiểm tra đồng nhất ở phần đầu và cuối của chuỗi dữ liệu quan trắc được xét [23].

Biểu thức kiểm tra tính đồng nhất SNHT được xác định như sau:

$$T_v = v\bar{z}_1^2 + (n - v)\bar{z}_2^2, \quad v = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v (q_i - \bar{q})/s \quad (4)$$

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{n-v} \sum_{i=v+1}^n (q_i - \bar{q})/s \quad (5)$$

Trong đó  $q$  là chuỗi dữ liệu (với  $1, 2, \dots, n$  dữ liệu);  $q_i$  giá trị của mỗi phân tử trong chuỗi dữ liệu;  $\bar{q}$  là giá trị trung bình của chuỗi dữ liệu,  $T_v$  là chỉ số thống kê theo năm  $v$ .

Trong trường hợp số liệu  $v$  năm được xác định không đồng nhất khi đạt giá trị cực đại  $T_v$  [23]:

$$T_o = \max_{1 \leq v \leq n} \{T_v\} \quad (6)$$

Trong trường hợp nghiên cứu này, chuỗi dữ liệu mưa hàng ngày được thẩm định chất lượng dựa vào phương pháp Pettitt và SNHT, với mức ý nghĩa  $\alpha \leq 0,05$ . Điều đó có nghĩa là chuỗi dữ liệu mưa tại một trạm bất kỳ thuộc khu vực nghiên cứu được xem là đồng nhất nếu giá trị thẩm định chất lượng (giá trị  $p$ ) thu được lớn hơn giá trị của  $\alpha = 0,05$  ngược lại chuỗi dữ liệu mưa quan trắc sẽ bị nghi ngờ về tính đồng nhất hay được xem là gián đoạn [23].

### 2.2.2. Chuyển đổi thời đoạn mưa

Để tiến hành xây dựng đường cong IDF mưa, hầu hết các nghiên cứu đều sử dụng dữ liệu mưa đầu vào có thời đoạn ngắn quy mô dưới ngày [24]. Đối với các nghiên cứu có liên quan đến chuyển đổi thời đoạn mưa [12, 25], biểu thức (7) thường được lựa chọn để chuyển đổi thời đoạn mưa ngày sang quy mô mưa dưới ngày. Do đó, biểu thức (7) được sử dụng trong nghiên cứu này để chuyển đổi dữ liệu mưa quy mô ngày sang các thời đoạn quy mô dưới ngày. Vì hầu hết các chuỗi dữ liệu mưa thu thập được đều có quy mô ngày.

$$I_d = I_D \sqrt[n]{\frac{d}{D}} \tag{7}$$

Trong đó  $I_d$  (mm) là lượng mưa ứng với thời đoạn mưa cần chuyển đổi,  $I_D$  (mm) là lượng mưa thời đoạn 24 giờ,  $\eta$  là hàm mũ bằng 1/3,  $d$  (giờ) là thời đoạn mưa cần chuyển đổi,  $D$  là thời đoạn mưa 24 giờ,  $d/D$  là tỷ số giữa 2 thời đoạn mưa khác nhau, dấu “=” đại diện cho sự bằng nhau về phân bố xác suất của 2 vế [12, 25].

### 2.2.3. Xây dựng đường cong IDF mưa

Đường cong IDF mưa được xây dựng trong nghiên cứu này dựa trên phần mềm CumFreq [26]. Phần mềm CumFreq được phát triển bởi Viện Cải Thiện và Cải Tạo Đất Quốc Tế, là một chương trình hoàn toàn miễn phí dùng tính toán tần suất tích lũy cũng như chu kỳ lặp lại của yếu tố khí tượng, thủy văn và môi trường [27]. Trong nghiên cứu này, phần mềm CumFreq được áp dụng tính toán tần suất tích lũy, chu kỳ lặp lại và thời đoạn của chuỗi dữ liệu mưa tại các trạm quan trắc mưa khu vực BĐCM.

Trong phần mềm CumFreq, ba hàm phân bố Gumbel, GEV và Log–Pearson III thường được sử dụng để xác định đường cong IDF mưa [23, 26]. Trong nghiên cứu này, hàm GEV được lựa chọn xây dựng đường cong IDF mưa cho khu vực BĐCM thông qua các đánh giá sơ bộ về khả năng áp dụng của nó so với hàm phân bố khác và dựa vào các kết quả nghiên cứu từ các công trình đã công bố [7, 11–12, 24] cho các khu vực thuộc Việt Nam.

Hàm phân bố tần suất tích lũy GEV được xây dựng như sau:

$$F(x) = \exp \left[ -\left(1 + k \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right)^{-\frac{1}{k}} \right] \tag{8}$$

Trong đó  $F(x)$  biểu thị hàm phân phối GEV,  $\sigma$  là tham số tỷ lệ với  $\sigma > 0$  xác định độ lệch hai phía so với tham số vị trí,  $k$  là tham số hình dạng chi phối hình dáng của phân phối xác suất,  $\mu$  là tham số vị trí, phụ thuộc vào thời gian và được xác định thông qua mối liên hệ trong biểu thức (9) [7, 28].

$$\mu(t) = \mu_1(t) + \mu_0 \tag{9}$$

Trong đó  $t$  là thời gian,  $\mu_1$  và  $\mu_0$  là tham số chặn và dốc [7, 28].

Hàm phân phối GEV được đánh giá là một hàm phân phối linh hoạt, nó chứa bên trong các tham số vị trí ( $\mu$ ), quy mô ( $\sigma$ ) và hình dạng ( $k$ ). Chính vì vậy, hàm phân phối này được lựa chọn áp dụng rộng rãi trong các nghiên cứu có liên quan bởi [7, 29].

Quy trình các bước tiến hành xây dựng đường cong IDF mưa cho khu vực BĐCM được minh họa ở Hình 2.

Cụ thể các bước tiến hành nghiên cứu này được thực hiện như sau:

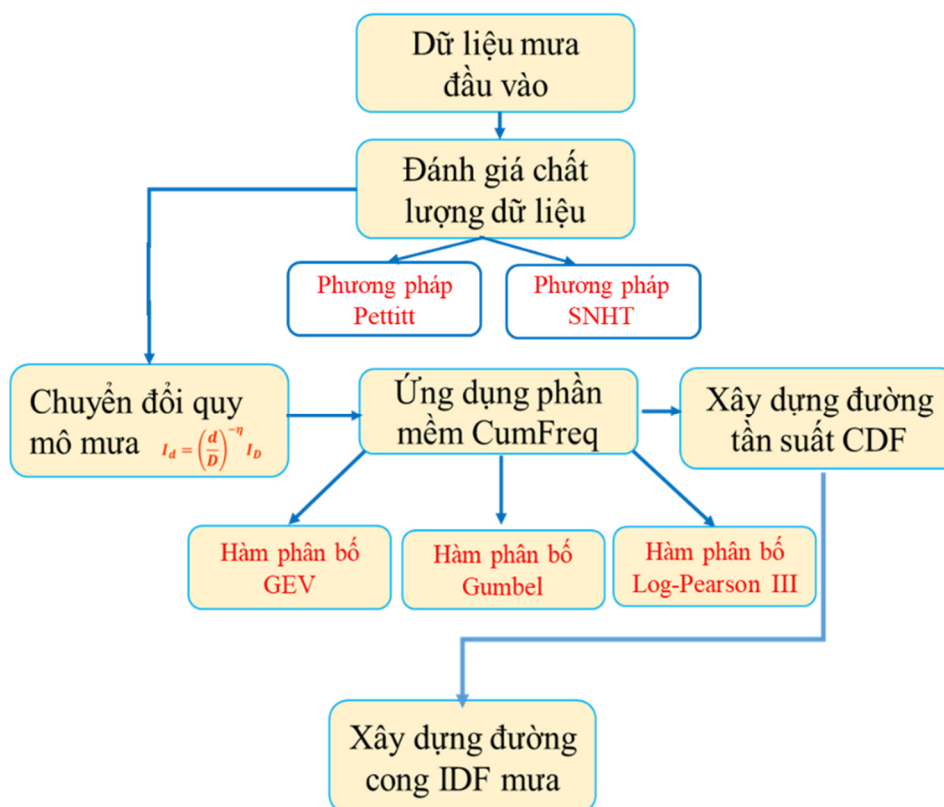
- Phân tích sơ bộ chuỗi dữ liệu mưa quan trắc đầu vào;
- Đánh giá chất lượng dữ liệu mưa lịch sử thông qua phương pháp Pettitt và SNHT;
- Chuyển đổi dữ liệu mưa quy mô ngày về quy mô dưới ngày bởi dụng biểu thức (7);
- Phân tích, đánh giá khả năng sử dụng các hàm phân bố GEV, Gumbel và Log–Pearson thiết lập hàm phân phối tần suất tích lũy (CDF) mưa;

Xây dựng đường cong IDF mưa dựa trên hàm phân phối tần suất tích lũy CDF.

Trong nghiên cứu này, các đường cong IDF mưa được xây dựng tương ứng với các khoảng thời gian 0,25, 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 6, 8 và 12 giờ.

### 2.2.4. Dữ liệu đầu vào phục vụ nghiên cứu

Chuỗi số liệu mưa hàng ngày tại các trạm quan trắc Gành Hào, Năm Căn, Sông Đốc, Thới Bình, Rạch Giá và Bạc Liêu được thu thập từ Tổng Cục Khí tượng Thủy văn và Phân Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu (SIHYMECC) trong giai đoạn 1984–2017. Qua phân tích sơ bộ cho thấy, lượng mưa trung bình năm tại các trạm thuộc khu vực BĐCM đạt từ 1885,4mm đến 2356,0mm và lượng mưa một ngày lớn nhất dao động trong khoảng từ 0 đến 224,6 mm (Bảng 1).



Hình 2. Quy trình tiến hành xây dựng đường IDF mưa cho khu vực BĐCM.

Bảng 1. Các thông tin và đặc trưng thống kê của 07 trạm đo mưa khu vực nghiên cứu.

Trạm	Tọa độ		Mưa năm trung bình (mm)	Mưa ngày trung bình (mm)	Mưa ngày lớn nhất (mm)	Giai đoạn		Khoảng thời gian (năm)
	Vĩ độ	Kinh độ				Từ	Đến	
Bạc Liêu	105,71	9,28	1949,7	39,1	203,7	1984	2017	34
Gành Hào	105,42	9,03	1885,4	41,1	224,6	1984	2017	34
Năm Căn	105,07	8,75	2339,3	48,2	246,4	1987	2017	31
Thới Bình	105,09	9,35	2337,0	46,7	184,0	1984	2017	34
Sông Đốc	104,83	9,04	2261,6	47,5	239,6	1984	2017	34
Rạch Giá	105,07	10,00	2168,1	44,4	220,3	1984	2017	34

### 3. Kết quả và thảo luận

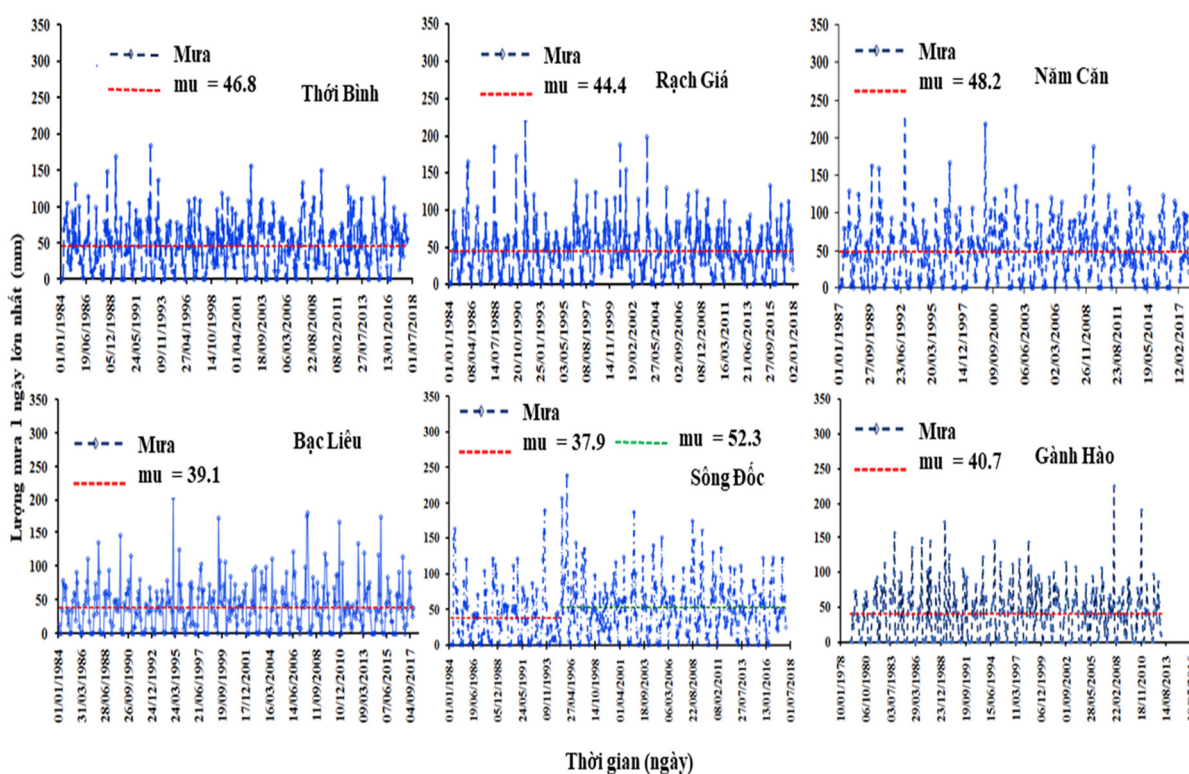
#### 3.1. Đánh giá chất lượng chuỗi dữ liệu mưa

Kết quả thẩm định chất lượng chuỗi dữ liệu mưa tại 06 trạm quan trắc thuộc khu vực nghiên cứu được trình bày ở Bảng 2. Qua kết quả thẩm định dựa trên phương pháp Pettitt và SNHT cho thấy, giá trị p thu được đối với các trạm Gành Hào, Thới Bình, Năm Căn, Bạc Liêu và Rạch Giá dao động trong khoảng 0,418–0,943 (Bảng 2). Trong khi, tại trạm Sông Đốc giá trị p tính được là 0,004 (đối với phương pháp Pettitt) và 0,049 (đối với phương pháp SNHT). Với mức ý nghĩa  $\alpha \leq 0,05$ , chuỗi dữ liệu mưa trạm Sông Đốc không đồng nhất (Hình 3), trong khi các trạm còn lại có tính đồng nhất bởi giá trị p lớn hơn mức ý nghĩa. Do đó, chuỗi dữ liệu mưa trạm Sông Đốc không được xem xét cho xây dựng đường cong IDF mưa tại trạm này.



**Bảng 2.** Kết quả thẩm định chất lượng chuỗi dữ liệu mưa tại các trạm quan trắc mưa khu vực BĐCM.

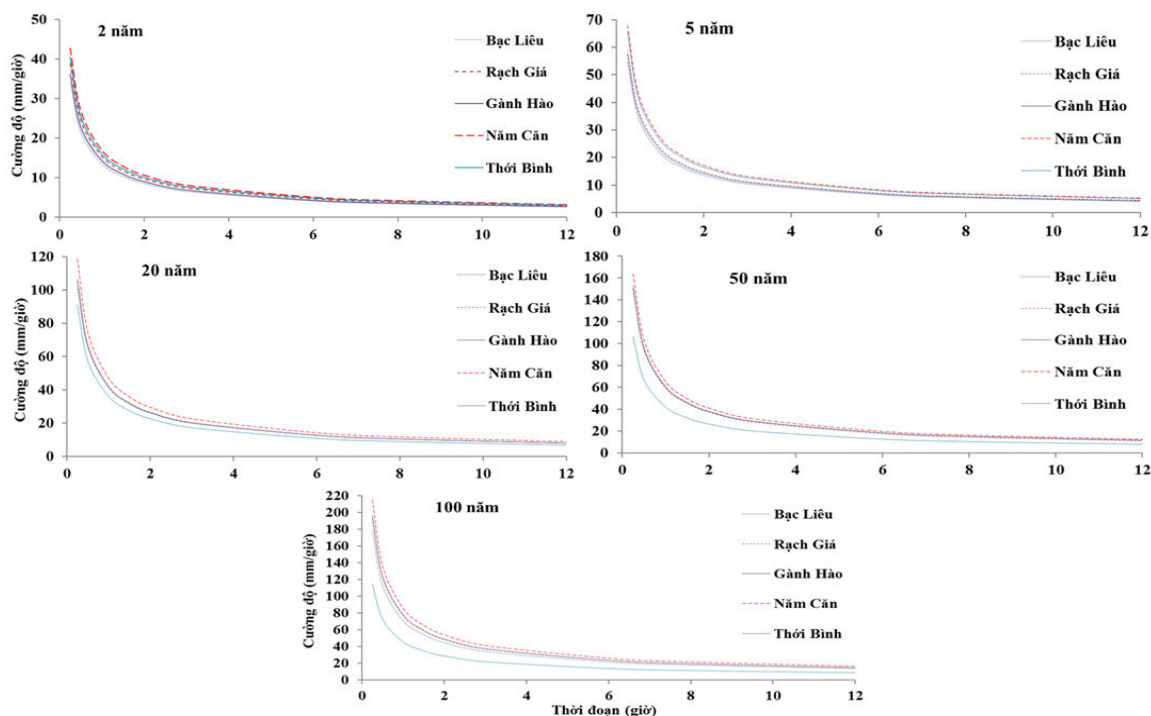
STT	Trạm	Giá trị p		Kết quả thẩm định	
		Pettitt	SNHT	Đạt	Không đạt
1	Gành Hào	0,699	0,630	X	
2	Năm Căn	0,418	0,447	X	
3	Thới Bình	0,943	0,732	X	
4	Bạc Liêu	0,745	0,855	X	
5	Rạch Giá	0,734	0,556	X	
6	Sông Đốc	0,004	0,049		X



**Hình 3.** Thẩm định chất lượng chuỗi dữ liệu mưa tại các trạm thuộc khu vực BĐCM.

### 3.2. Xây dựng đường cong IDF mưa

Đường cong IDF mưa xây dựng cho 05 trạm đo mưa thuộc khu vực BĐCM được trình bày ở Hình 4. Kết quả tính toán cho thấy, với thời đoạn ngắn 0,25 giờ, cường độ mưa có thể dao động trong khoảng từ 33,9 mm/giờ đến 42,8mm/giờ đối với chu kỳ lặp lại 2 năm trong khi với chu kỳ lặp lại 100 năm, cường độ mưa tại các trạm thuộc khu vực nghiên cứu dao động trong khoảng từ 114,8 mm/giờ đến 215,2mm/giờ (Bảng 3). Tương tự với các thời đoạn mưa từ 0,5 đến 8 giờ, cường độ mưa tại các trạm dao động trong khoảng từ 21,4 mm/giờ đến 135,7 mm/giờ và 3,4mm/giờ đến 21,4 mm/giờ. Nhìn chung, trên toàn khu vực nghiên cứu, cường độ mưa lớn nhất xảy ra ở chu kỳ lặp lại 100 năm tức là tần suất lặp lại 1% tại tất cả thời đoạn mưa khác nhau, dao động từ 8,7 mm/giờ (thời đoạn 12h, đối với trạm Thới Bình) đến 215,2 mm/giờ (thời đoạn 15 phút, đối với trạm Năm Căn); với trạm Bạc Liêu, Rạch Giá và Gành Hào cường độ mưa 15 phút lần lượt ghi nhận được 178,2 mm/giờ, 192,4 mm/giờ và 196,3 mm/giờ (Bảng 3).



**Hình 4.** Các đường cong thời đoạn–cường độ–tần suất mưa xây dựng cho các trạm thuộc khu vực BĐCM với chu kỳ lặp lại từ 2 đến 100 năm và thời đoạn từ 0,25 giờ đến 12 giờ.

**Bảng 3.** Kết quả phân tích cường độ mưa theo các thời đoạn và chu kỳ lặp tại các trạm.

Trạm	Các thời đoạn mưa (giờ)								
	0,25	0,5	1	1,5	2	3	6	8	12
<i>Chu kỳ lặp: 2 năm</i>									
Bạc Liêu	33,9	21,4	13,5	10,3	8,5	6,5	4,1	3,4	2,6
Rạch Giá	38,8	24,4	15,4	11,7	9,7	7,4	4,7	3,9	2,9
Gành Hào	36,2	22,8	14,4	11,0	9,1	6,9	4,4	3,6	2,7
Năm Căn	42,8	27,0	17,0	13,0	10,7	8,2	5,2	4,3	3,2
Thới Bình	40,5	25,5	16,1	12,3	10,1	7,7	4,9	4,0	3,1
<i>Chu kỳ lặp: 5 năm</i>									
Bạc Liêu	54,6	34,4	21,7	16,5	13,7	10,4	6,6	5,4	4,1
Rạch Giá	59,0	37,1	23,4	17,9	14,7	11,2	7,1	5,9	4,5
Gành Hào	57,5	36,2	22,8	17,4	14,4	11,0	6,9	5,7	4,4
Năm Căn	68,1	42,9	27,0	20,6	17,1	13,0	8,2	6,8	5,2
Thới Bình	65,8	41,5	26,1	19,9	16,5	12,6	7,9	6,5	5,0
<i>Chu kỳ lặp: 20 năm</i>									
Bạc Liêu	101,8	65,6	41,3	31,5	26,0	19,9	12,5	10,3	7,9
Rạch Giá	105,0	66,1	41,6	31,8	26,2	20,0	12,6	10,4	7,9
Gành Hào	106,6	67,1	42,3	32,3	26,6	20,3	12,8	10,6	8,1
Năm Căn	118,6	74,7	47,1	35,9	29,7	22,6	14,3	11,8	9,0
Thới Bình	91,1	57,4	36,2	27,6	22,8	17,4	11,0	9,0	6,9
<i>Chu kỳ lặp: 50 năm</i>									
Bạc Liêu	153,1	96,3	60,8	46,4	38,2	29,2	18,4	15,2	11,6
Rạch Giá	149,8	94,3	59,5	45,4	37,5	28,6	18,0	14,9	11,4
Gành Hào	151,4	95,3	60,0	45,8	37,8	28,9	18,2	15,0	11,5
Năm Căn	163,9	103,1	65,0	49,6	41,0	31,2	19,7	16,3	12,4
Thới Bình	106,3	67,0	42,2	32,2	26,6	20,3	12,8	10,6	8,1
<i>Chu kỳ lặp: 100 năm</i>									
Bạc Liêu	178,2	112,0	70,6	54,0	44,5	33,9	21,4	17,6	13,5
Rạch Giá	192,4	121,2	76,5	58,3	48,2	36,7	23,2	19,1	14,6
Gành Hào	196,3	123,5	77,8	59,4	49,0	37,4	23,6	19,5	14,9
Năm Căn	215,2	135,7	85,5	65,2	53,9	41,1	25,9	21,4	16,3
Thới Bình	114,8	72,3	45,6	34,8	28,7	21,9	13,8	11,4	8,7

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã tiến hành xây dựng đường cong cường độ–thời đoạn–tần suất mưa theo các thời đoạn từ 0,25 đến 12 giờ ứng với các chu kỳ lặp lại từ 2 đến 100 năm cho khu vực bán đảo Cà Mau. Các kết quả tính toán thu được cho thấy cơn mưa có lượng mưa từ 60,0mm trở lên xảy ra trong thời đoạn dưới 3 giờ sẽ gây ngập cục bộ một số khu vực từ 0,7–1,0 m. Trong khi đó, với sự các sự kiện mưa cực đoạn có cường độ lên đến 215,2 mm/giờ ứng với chu kỳ lặp lại 100 năm, độ sâu và phạm vi ngập chắc chắn sẽ nghiêm trọng hơn đối với công trình dân dụng như đường giao thông, công trình thủy lợi, các khu dân cư nằm trong vùng trũng.

Các kết quả xây dựng đường cong cường độ–thời đoạn–tần suất tương ứng với các thời đoạn và chu kỳ lặp lại rất cần thiết để hỗ trợ thông tin trong công tác xây dựng, nâng cấp hệ thống thoát nước, quy hoạch thủy lợi góp phần hạn chế các rủi ro từ các sự kiện mưa cực đoạn có xu hướng xuất hiện ngày một gia tăng đối với khu vực bán đảo Cà Mau.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: H.C.T., D.T.A.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: H.C.T., D.T.A.; Viết bản thảo bài báo: H.C.T., D.T.A.; Chỉnh sửa bài báo: H.C.T., D.T.A.

**Lời cảm ơn:** Các tác giả xin chân thành cảm ơn các phản biện đã đóng góp ý kiến hữu ích, giúp các tác giả hoàn thiện bản thảo 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. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.K.; Tignor, M.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013, pp. 1535. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>.
2. 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, 2016.
3. Thuy, N.N; Anh, H.H. Vulnerability of rice production in Mekong River Delta under impacts from floods, salinity and climate change. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Tech.* **2015**, 5(4), 272–279.
4. Vu, D.T.; Yamada, T.; Ishidaira, H. Assessing the impact of sea level rise due to climate change on seawater intrusion in Mekong delta, Vietnam. *Water Sci. Tech.* **2018**, 77(6), 1632–1639. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.038>.
5. Walanus, A.; Cebulska, M.; Twardosz, R. Long-term variability pattern of monthly and annual atmospheric precipitation in the Polish Carpathian mountains and their foreland (1881–2018). *Pure Appl. Geophys.* **2021**, 178, 633–650. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02663-9>.
6. Lee, S.K.; Dang, T.A. Extreme rainfall trends over the Mekong Delta under the impacts of climate change. *Int. J. Clim. Change Strategies Manage.* **2020**, 12(5), 639–652. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-04-2020-0032>.
7. Dang, T.A. Simulating rainfall IDF curve for flood warnings in the Ca Mau coastal area under the impacts of climate change. *Int. J. Clim. Change Strategies Manage.* **2020**, 12(5), 705–715. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-06-2020-0067>.
8. Akpen, G.D.; Aho, M.I.; Ojo, O.G. Rainfall Intensity – Duration – Frequency (IDF) models for Makurdi, Nigeria. *Int. J. Sci. Eng. Res.* **2016**, 7(5), 838–849. ISSN 2229–5518.

9. Boudou, M.; Danière, B.; Lang, M. Assessing changes in urban flood vulnerability through mapping land use from historical information. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2016**, *20*, 161–173. <https://doi.org/10.5194/hess-20-161-2016>.
10. Rodríguez, R.; Navarro, X.; Casas, C.; Ribalaygua, J.; Russo, B.; Pouget, L.; Redano, A. Influence of climate change on IDF curves for the metropolitan area of Barcelona (Spain). *Int. J. Climatol.* **2014**, *34*(3), 643–654. <https://doi.org/10.1002/joc.3712>.
11. Binh, L.T.H.; Aglian, V.; Umamahesh, N.V.; Rathnam, E.V. Modelling spatial variation of extreme precipitation over Ho Chi Minh City under nonstationary condition. *Acta Geophys.* **2019**, *67*, 849–861. <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00295-1>
12. Khiem. V.M.; Minh. T.H.; Linh. N.L. Impact of climate change on Intensity – Duration – Frequency curves in Ho Chi Minh City. *J. Clim. Change Sci.* **2017**, *3*, 40–48.
13. Nội, D.T.; Long, N.L.; Tùng, H.T. Nghiên cứu đề xuất phương pháp tính lũ thiết kế công trình giao thông vùng Đông Bắc Việt Nam. *Tap chí khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2016**, *53*, 80–86.
14. Thanh, N.T.; Remo, L.D.A. Projected changes of precipitation IDF curves for short duration under climate change in Central Vietnam. *Hydrol.* **2018**, *5*(3), 33. <https://doi.org/10.3390/hydrology5030033>.
15. Ban chỉ huy Phòng chống thiên tai và Tìm kiếm cứu nạn tỉnh Cà Mau. Kế hoạch Phòng, chống thiên tai giai đoạn 2016–2020 trên địa bàn tỉnh Cà Mau, Công văn số 10/KH-PCTT, 2016.
16. Liu, J.P.; DeMaster, D.J.; Nguyen, T.T.; Saito, Y.; Nguyen, V.L.; Ta, T.K.O.; Li, X. Stratigraphic formation of the Mekong River Delta and its recent shoreline changes. *Oceanogr.* **2017**, *30*(3), 72–83.
17. Nhung, T.T.; Phu, L.V.; Nghi, V.V.; Bang, H.Q. Salt intrusion adaptation measures for sustainable agricultural development under climate change effects: A case of Ca Mau Peninsula, Vietnam. *Clim. Risk Manage.* **2019**, *23*, 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.12.002>.
18. Son, N.T.; Chen, C.F.; Chang, N.B.; Chen, C.R.; Chang, L.Y.; Bui, X.T. Mangrove mapping and change detection in Ca Mau Peninsula, Vietnam, using landsat data and object-based image analysis. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* **2015**, *8*(2), 503–510. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2360691>
19. Nguyen, V.L.; Ta, T.K.O.; Tateishi, M. Late Holocene depositional environments and coastal evolution of the Mekong River Delta, southern Vietnam. *J. Asian Earth Sci.* **2020**, *18*(4), 427–439. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(99\)00076-0](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(99)00076-0).
20. Valík, A.; Brazdil, R.; Zahradnicek, P.; Tolasz, R.; Fiala, R. Precipitation measurements by manual and automatic rain gauges and their influence on homogeneity of long-term precipitation series. *Int. J. Clim.* **2020**, *41*(S1), E2357–E2552. <https://doi.org/10.1002/joc.6862>.
21. San, M.; Akcay, F.; Linh, N.T.T.; Kankal, M.; Pham, Q.B. Innovative and polygonal trend analyses applications for rainfall data in Vietnam. *Theor. Appl. Climatol.* **2021**. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03574-4>.
22. Shah, N.V.; Patel, Y.S.; Dbhangaokar, P. Assessing impact of climate change on rainfall patterns of Vadodara District, Gujarat, India. *J. Phys.: Conf. Ser.* **2021**, *1714*, 012046. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1714/1/012046>.
23. Jing, L.N.; Tiang, S.K.; Huang, Y.F.; Noh, N.I.F.M.; Al-Mansob, R.A. Analysis of annual maximum and partial duration rainfall series. *IOP Conf. Series: Earth Env. Sci.* **2021**, *646*, 012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/646/1/012039>.

24. Quân, N.T.; Nhi, P.T.T.; Khôi, Đ.N. Xây dựng đường cong IDF mưa cực đoạn cho trạm Tân Sơn Hòa giai đoạn 1980–2015. *Tap chí phát triển khoa học và công nghệ* **2017**, 20(M2–2017), 73–81.
25. Nhat, L.M.; Tachikawa, Y.; Takara, K. Establishment of Intensity–Duration Frequency curves for precipitation in the monsoon area of Vietnam. *Annuals Disas. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ.* **2006**, 49B, 93–103.
26. Introduce to CumFreq software. <http://www.waterlog.info/cumfreq.htm>.
27. Al–Baldawi, T.H.K.; Alzuabidi, Z.Z.A. Extreme value analysis of maximum rainfall data in Baghdad city. *Math. Stat. J.* **2016**, 2(3), 1–8.
28. Chen, J.; Wang, Z.; Wu, X.; Lai, C.; Chen, X. Evaluation of TMPA 3B42–V7 product on extreme precipitation estimates. *Remote Sens.* **2021**, 13, 209. <https://doi.org/10.3390/rs13020209>.
29. Cheng, L.; Aghakouchak, A. Non–stationary extreme value analysis in a changing climate. *Clim. Change* **2014**, 127, 353–369. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1254-5>.

## **Simulating rainfall intensity–duration–frequency curve towards establishing inundation maps in Camau peninsula**

**Ho Cong Toan<sup>1</sup>, Truong An Dang<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> University of Science, Vietnam National University–Ho Chi Minh City; [hocongtoanhhdh@gmail.com](mailto:hocongtoanhhdh@gmail.com); [dtan@hcmus.edu.vn](mailto:dtan@hcmus.edu.vn)

**Abstract:** In recent years, heavy rainfall events have appeared frequently in the Ca Mau peninsula area, causing local flooding and affecting many aspects of life in the area. According to a report of the Ministry of Natural Resources and Environment, rainfall is an increase tend in intensity and frequency in the Ca Mau Peninsula as a part of climate variability. Heavy rainfall tends increase, which will cause the local flooding events in which has low terrain and less severe drainage systems. It is, thus, necessary to proactively prevent adverse effects from flooding events on people’s lives. Therefore, the goal of the study is a) to simulate rainfall intensity–duration–frequency (IDF) curve of the extreme rainfall events using the CumFreq software for the Ca Mau Peninsula and b) toward to establish inundation maps based on the simulated data from rainfall IDF curve, contributing to proactively minimize the potential risks of flooding as well as proactively adapt the impacts of climate variability.

**Keywords:** Flooding; Low–lying area; Unusual rainfall; Sea level rise; Ca Mau peninsula.

Bài báo khoa học

## Xu thế biến đổi của các yếu tố khí hậu và kịch bản biến đổi khí hậu tỉnh Ninh Thuận

Nguyễn Văn Hồng<sup>1\*</sup>, Nguyễn Thị Cẩm Mi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Phân Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu;  
nguyenvanhong79@gmail.com; nguyenthicammi2007@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: nguyenvanhong79@gmail.com; Tel.: +84-913613206

Ban Biên tập nhận bài: 8/4/2021; Ngày phản biện xong: 21/5/2021; Ngày đăng bài: 25/7/2021

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày xu thế biến đổi các yếu tố khí hậu (nhiệt độ, lượng mưa) tại tỉnh Ninh Thuận. Phương pháp thống kê và hàm hồi quy tuyến tính được sử dụng để phân tích chuỗi số liệu quan trắc tại trạm Phan Rang giai đoạn 1993–2019. Kết quả cho thấy các yếu tố khí hậu đều có xu thế tăng: nhiệt độ trung bình nhiều năm có xu thế tăng 0,012°C/năm, nhiệt độ tối cao tăng 0,017°C/năm, nhiệt độ tối thấp tăng 0,01°C/năm, lượng mưa tăng 4,44 mm/năm. Theo kịch bản RCP4.5 và RCP8.5, nhiệt độ trung bình tại Ninh Thuận có xu thế tăng qua các năm 2025, 2030, 2050 và 2100. Về lượng mưa trung bình theo kịch bản RCP4.5 có xu thế tăng. Đối với kịch bản RCP8.5 lượng mưa tăng vào năm 2025, 2030 và giảm vào năm 2050, 2100.

**Từ khóa:** Khí hậu; Xu thế; Kịch bản biến đổi khí hậu RCP4.5, RCP8.5.

### 1. Mở đầu

Ninh Thuận là tỉnh thuộc khu vực Nam Trung Bộ, do đặc thù về địa lý và địa hình, Ninh Thuận thường xuyên chịu ảnh hưởng của thiên tai và biến đổi khí hậu (BĐKH). Trong những thập kỷ gần đây, Ninh Thuận chịu tác động lớn của các hiện tượng thời tiết cực đoan như hạn hán, hoang mạc hóa, khô nóng, bão, mưa lớn gây lũ, ngập lụt. Để có những nhận định phù hợp với tình hình BĐKH hiện nay, việc đánh giá xu thế biến đổi các yếu tố khí hậu đến thời điểm hiện tại giúp có cái nhìn khách quan về những diễn biến khí hậu đang diễn ra trong quá khứ. Tuy nhiên, các kết quả đánh giá xu thế và kịch bản BĐKH chi tiết cho tỉnh Ninh Thuận còn hạn chế, các nghiên cứu được thực hiện chủ yếu ở quy mô quốc gia và khu vực dựa trên các kịch bản phát thải khí nhà kính hoặc đường phân bố nồng độ khí nhà kính đại diện, tỉnh Ninh Thuận chỉ là một phần rất nhỏ [1–5].

Như vậy, có thể thấy việc nghiên cứu xu thế các yếu tố khí tượng và kịch bản BĐKH trong quá khứ và dự tính BĐKH trong thế kỷ 21 cho tỉnh Ninh Thuận có ý nghĩa khoa học, thực tiễn, đây là một phần kết quả nghiên cứu của 02 nhiệm vụ: “Xây dựng, cập nhật kế hoạch hành động ứng phó với BĐKH giai đoạn 2021–2030, tầm nhìn đến 2050 và Đánh giá khí hậu của tỉnh Ninh Thuận”. Bài báo trình bày kết quả đánh giá xu thế các yếu tố khí hậu và kịch bản BĐKH tại Ninh Thuận nhằm cung cấp các thông tin khí hậu hiện tại, dự báo, cảnh báo kịp thời và hiệu quả những diễn biến khí hậu trong tương lai là biện pháp giảm thiểu những tác động do biến đổi khí hậu gây ra đồng thời phục vụ quy hoạch sản xuất, phát triển kinh tế-xã hội và phòng chống thiên tai trên địa bàn tỉnh.

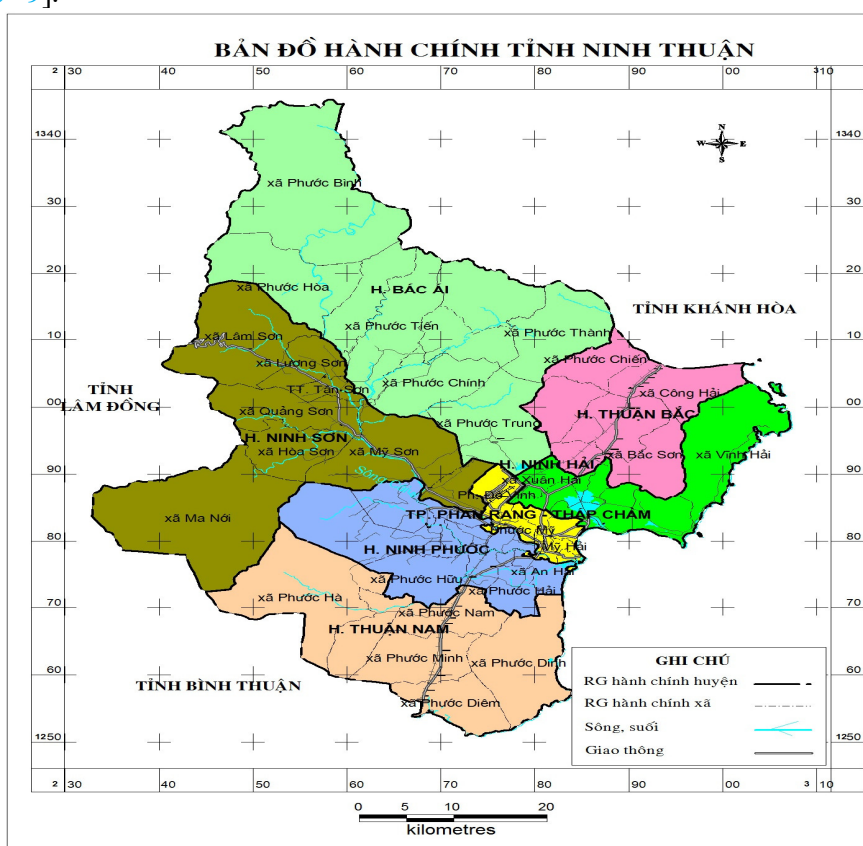
### 2. Phương pháp nghiên cứu

#### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Ninh Thuận là một tỉnh ven biển thuộc khu vực Nam Trung Bộ, địa hình của Ninh Thuận rất đa dạng và phức tạp, thấp dần từ Tây sang Đông, từ Bắc vào Nam, vừa có địa hình miền núi vừa có địa hình trung du và đồng bằng ven biển. Phía Bắc giáp tỉnh Khánh Hòa, phía Nam giáp tỉnh Bình Thuận, phía Tây giáp tỉnh Lâm Đồng, phía Đông giáp Biển Đông (Hình 1).

Ninh Thuận có đường bờ biển dài 105 km, diện tích vùng lãnh hải trên 18.000 km<sup>2</sup>. Trung tâm tỉnh là thành phố Phan Rang-Tháp Chàm. Ninh Thuận hiện có 7 đơn vị hành chính bao gồm huyện Bắc Ái, huyện Ninh Sơn, huyện Ninh Phước, huyện Thuận Nam, huyện Thuận Bắc, Huyện Ninh Hải và Thành phố Phan Rang-Tháp Chàm. Ninh Thuận có cả đường sắt Bắc Nam và quốc lộ 1A đi qua. Đồng thời có Quốc lộ 27 nối liền với các tỉnh Tây Nguyên.

Khí hậu tỉnh Ninh Thuận là khí hậu nhiệt đới gió mùa với 2 mùa rõ rệt là mùa khô và mùa mưa, tương ứng với hai thời kỳ gió mùa Tây Nam và gió mùa Đông Bắc. Mùa khô bắt đầu từ tháng 1 và kết thúc vào tháng 8, mùa mưa bắt đầu từ tháng 9 và kết thúc vào tháng 12. Thủy văn Ninh Thuận cũng có 2 mùa là mùa kiệt và mùa lũ, tương ứng với mùa khô và mùa mưa của khí hậu [6-9].



Hình 1. Bản đồ hành chính tỉnh Ninh Thuận.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.2.1. Phương pháp đánh giá xu thế

Tính toán giá trị trung bình của chuỗi số liệu

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_i \quad (1)$$

Phương pháp hồi quy xu thế được đề cập là phân tích hàm hồi quy giữa biến phụ thuộc x và biến thời gian t,  $x = f(t)$ . Nếu  $f(t)$  là một hàm tuyến tính thì được gọi là có xu thế biến đổi tuyến tính. Để nghiên cứu xu thế biến đổi tuyến tính ta thành lập phương trình hồi quy [10-11].

$$x(t) = at + b \quad (2)$$

Trong đó  $x$  là giá trị của hàm,  $t$ : biến thời gian,  $a, b$ : hệ số hồi quy, hệ số  $a$  cho biết hướng dốc của đường hồi quy (xu thế biến đổi tăng hay giảm theo thời gian).

Xu thế tăng giảm của  $x$  theo  $t$  được đánh giá trên cơ sở xét dấu và độ lớn của hệ số góc  $a$ . Dấu của hệ số  $a$  xác định xu thế tăng (khi  $a > 0$ ) hoặc giảm (khi  $a < 0$ ), còn trị tuyệt đối của  $a$  cho biết mức độ tăng giảm của dữ liệu theo biến đổi của thời gian  $t$ .

Các hệ số  $a, b$  được xác định theo công thức:

$$a = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})(t - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 (t - \bar{t})^2}} ; b = \bar{x} - a\bar{t} ; \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t ; \bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n t \quad (3)$$

Trong đó  $\bar{x}, \bar{t}$  là trung bình số học của  $x$  và  $t$ .

### 2.2.2. Phương pháp xây dựng kịch bản

Mô hình khí hậu toàn cầu và khu vực là những công cụ chính được sử dụng để đánh giá xu thế biến đổi và diễn biến khí hậu tương lai. Kịch bản biến đổi khí hậu ở khu vực tỉnh Ninh Thuận được xây dựng dựa trên bốn mô hình khí hậu khu vực (PRECIS, CCAM, RegCM, cIWRF) với tổng cộng 12 phương án tính toán được thực hiện, sử dụng kết quả đầu vào từ các mô hình toàn cầu khác.

Dựa trên các kết quả đánh giá của 4 mô hình khí hậu, kịch bản biến đổi khí hậu tỉnh Ninh Thuận đối với nhiệt độ được xây dựng theo kết quả tính toán từ 8 phương án của 3 mô hình (3 phương án CCAM, 3 phương án PRECIS và 1 phương án cIWRF), kịch bản biến đổi với lượng mưa được xây dựng dựa trên kết quả tính toán từ 3 phương án của mô hình PRECIS [12–17].

### 2.2.3 Thu thập dữ liệu đầu vào

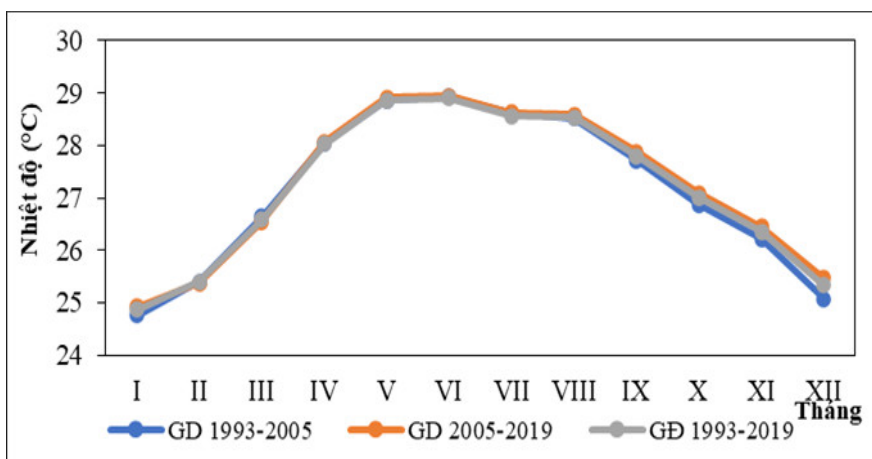
Việc đánh giá sự biến đổi của các yếu tố khí hậu được sử dụng số liệu tại trạm Phan Rang (tỉnh Ninh Thuận) trong giai đoạn từ năm 1993–2019.

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Xu thế biến đổi của các yếu tố khí hậu

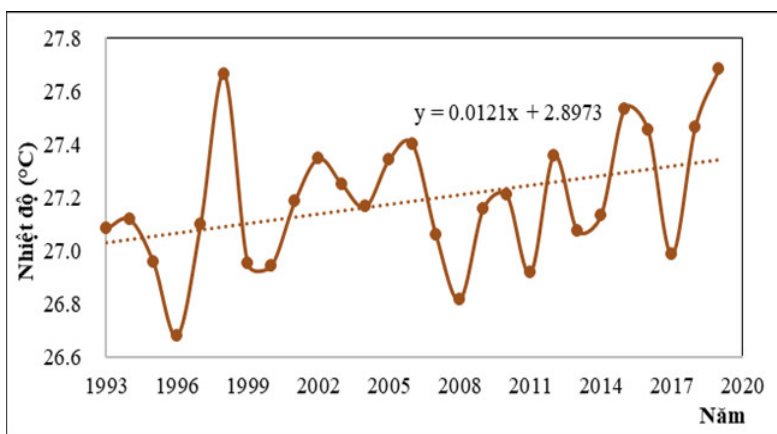
#### 3.1.1. Nhiệt độ

Từ chuỗi số liệu quan trắc nhiệt độ tại trạm Phan Rang giai đoạn 1993–2019, nhiệt độ trung bình hằng năm vào là 27,2°C. Nhiệt độ dao động từ 24,9–28,9°C, trong đó tháng I có nhiệt độ trung bình thấp nhất với giá trị là 24,9°C. Tháng V và VI có nhiệt độ trung bình cao nhất với giá trị là 28,9°C (Hình 2). Về xu thế nhiệt độ trung bình giai đoạn 1993–2019 tại trạm Phan Rang có xu thế tăng khoảng 0,012°C/năm (Hình 3).



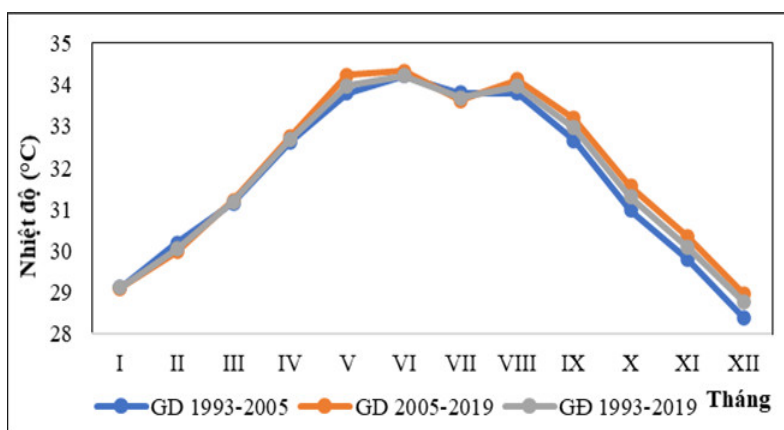
Hình 2. Biến thiên nhiệt độ trung bình theo tháng giai đoạn 1993–2019 tại trạm Phan Rang.



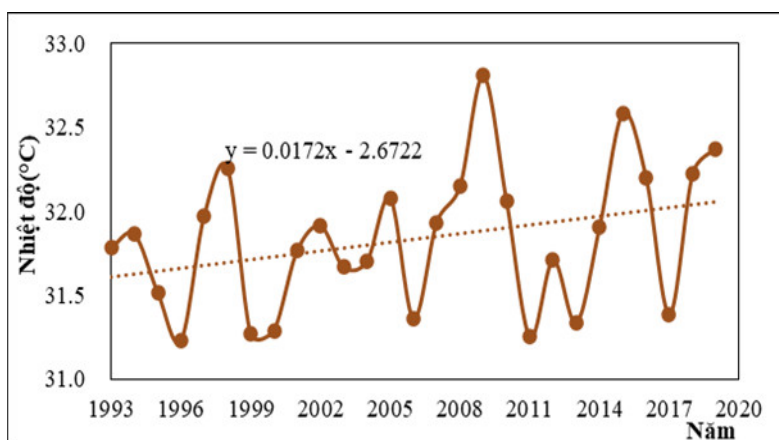


**Hình 3.** Xu thế biến đổi nhiệt độ trung bình năm giai đoạn 1993–2019 tại trạm Phan Rang.

Trong giai đoạn 1993–2019, nhiệt độ tối cao trung bình tại trạm Phan Rang là 31,8°C. Trong đó, tháng XII có nhiệt độ tối cao trung bình thấp nhất với giá trị là 28,8°C. Tháng VI có nhiệt độ tối cao trung bình cao nhất với giá trị là 34,2°C (Hình 4). Về xu thế nhiệt độ tối cao trung bình tại trạm Phan Rang giai đoạn 1993–2019 có xu thế tăng khoảng 0,017°C/năm (Hình 5).



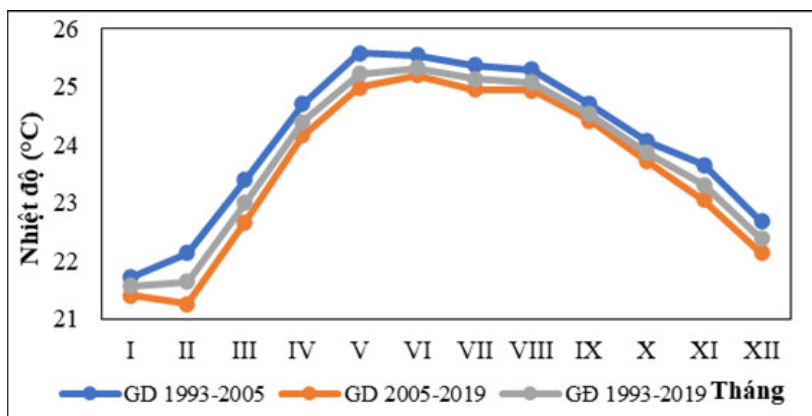
**Hình 4.** Biến thiên nhiệt độ tối cao trung bình theo tháng giai đoạn 1993–2019 tại trạm Phan Rang.



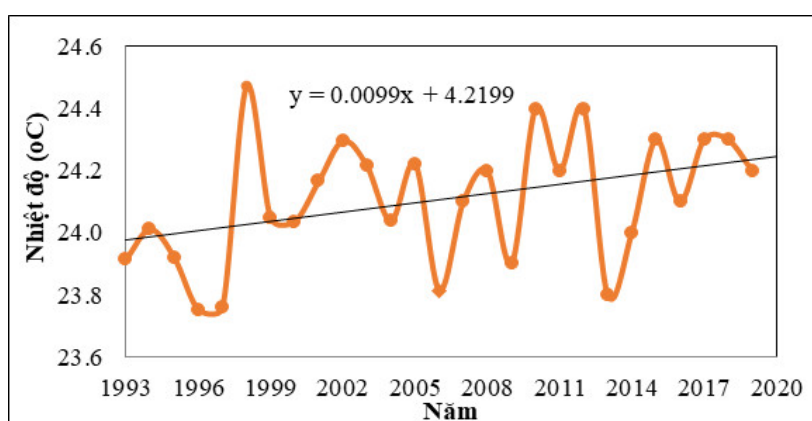
**Hình 5.** Xu thế biến đổi nhiệt độ tối cao trung bình năm giai đoạn 1993–2019 tại trạm Phan Rang.

Nhiệt độ tối thấp trung bình tại trạm Phan Rang giai đoạn 1993–2019 là 23,8°C. Trong đó, tháng I, II có nhiệt độ tối thấp trung bình thấp nhất với giá trị là 21,6°C. Tháng VI có nhiệt

độ tối thấp trung bình cao nhất với giá trị là 25,3°C (Hình 6). Về xu thế biến đổi nhiệt độ tối thấp trung bình giai đoạn 1993–2019 có xu thế tăng khoảng 0,01°C/năm (Hình 7).



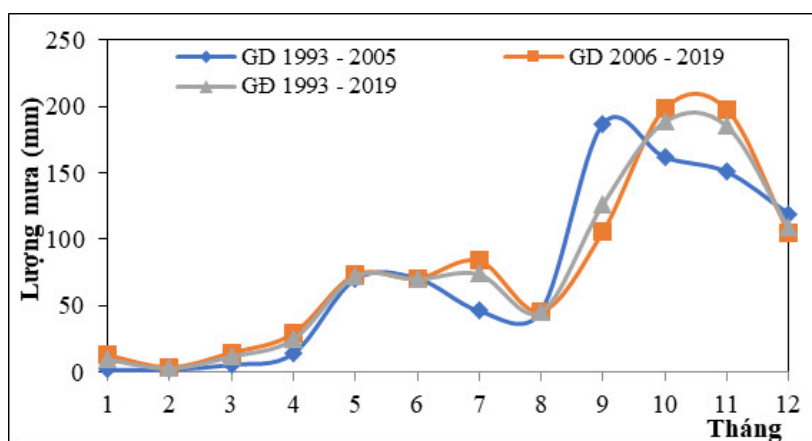
Hình 6. Biến thiên nhiệt độ tối thấp trung bình theo tháng giai đoạn 1993–2019 tại trạm Phan Rang.



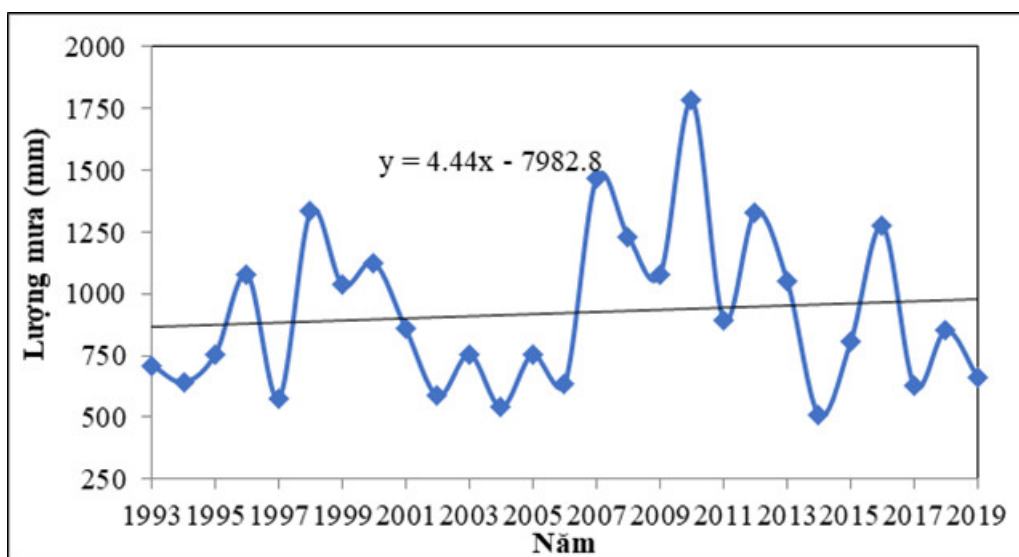
Hình 7. Xu thế biến đổi nhiệt độ tối thấp trung bình năm giai đoạn 1993–2019 tại trạm Phan Rang.

### 3.1.2. Lượng mưa

Từ chuỗi số liệu quan trắc lượng mưa giai đoạn 1993–2019, lượng mưa trung bình nhiều năm tại trạm Phan Rang là 923,8 mm. Lượng mưa đạt cao nhất vào tháng X với giá trị là 189,0 mm và thấp nhất vào tháng II với giá trị là 3,2 mm (Hình 8). Về xu thế biến đổi lượng mưa năm tại trạm Phan Rang giai đoạn 1993–2019 có xu thế tăng khoảng 4,44 mm/năm (Hình 9).



Hình 8. Biến thiên lượng mưa theo tháng các giai đoạn 1993 – 2019 tại trạm Phan Rang.



Hình 9. Xu thế biến đổi tổng lượng mưa năm giai đoạn 1993–2019 tại trạm Phan Rang.

### 3.2. Kịch bản Biến đổi của các yếu tố khí hậu

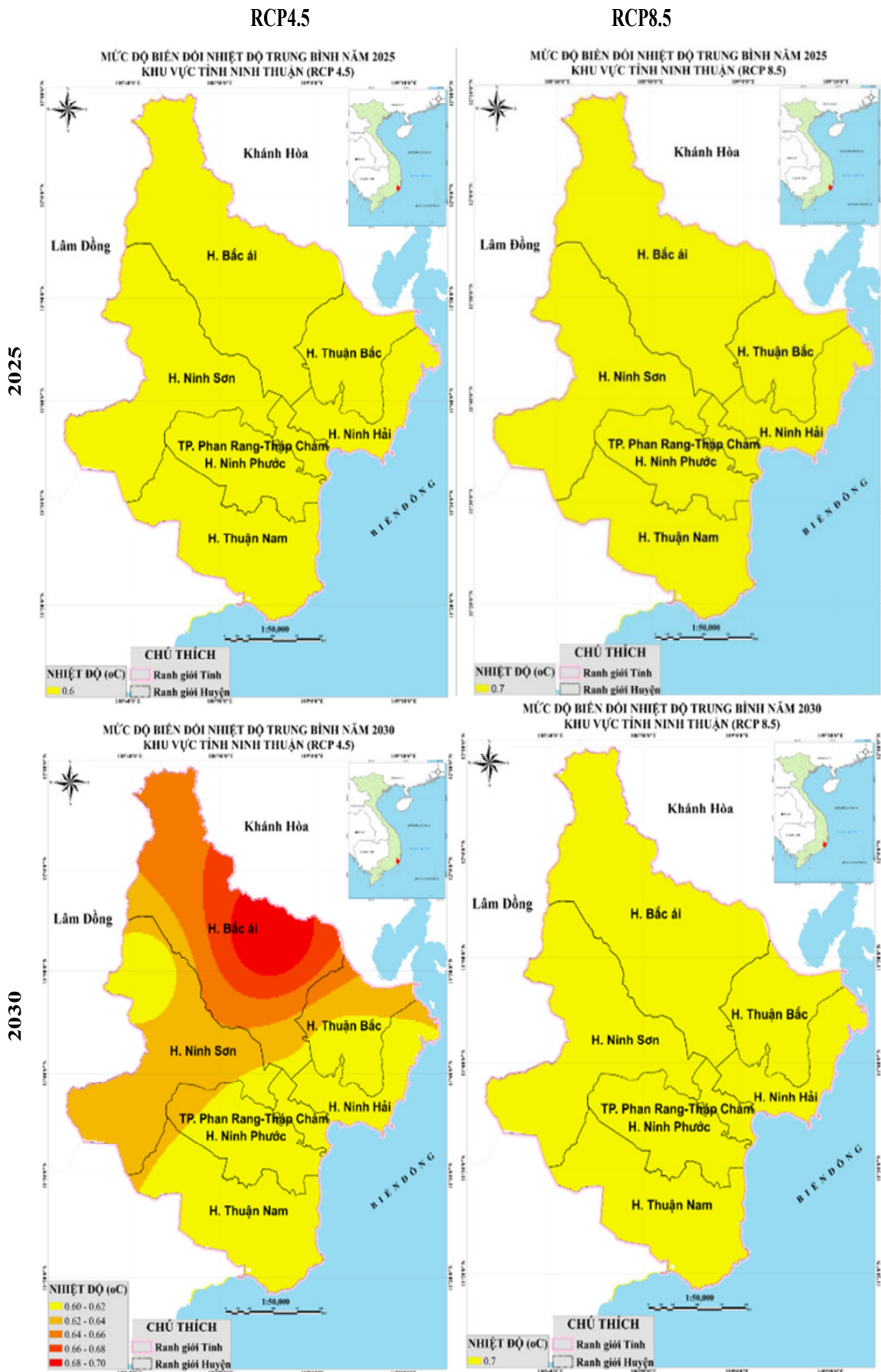
#### 3.2.1. Kịch bản nhiệt độ

Theo kịch bản RCP4.5, nhiệt độ trung bình năm 2025 tăng khoảng đồng nhất, khoảng 0,6°C giữa các huyện và thành phố trên địa bàn tỉnh Ninh Thuận. Năm 2030, nhiệt độ tăng từ 0,6–0,7°C, nơi có nhiệt độ cao nhất ở huyện Bắc Ái. Vào năm 2050, nhiệt độ trung bình tăng đều trong phạm vi toàn tỉnh khoảng 1,4°C. Đến năm 2100, sự phân bố nhiệt độ tăng khoảng 1,8–1,9°C, nhiệt độ tăng cao ở khu vực huyện Bắc Ái và Ninh Sơn. Theo kịch bản RCP8.5, năm 2025 và 2050 nhiệt độ trung bình trên địa bàn tỉnh Ninh Thuận tăng khoảng đồng đều khoảng 0,7°C. Năm 2050, nhiệt độ tăng trung bình toàn tỉnh tăng 1,9°C và đến năm 2100 nhiệt độ tăng từ 3,3–3,5°C, nhiệt độ tăng cao ở khu vực huyện Bắc Ái và Ninh Sơn (Hình 10).

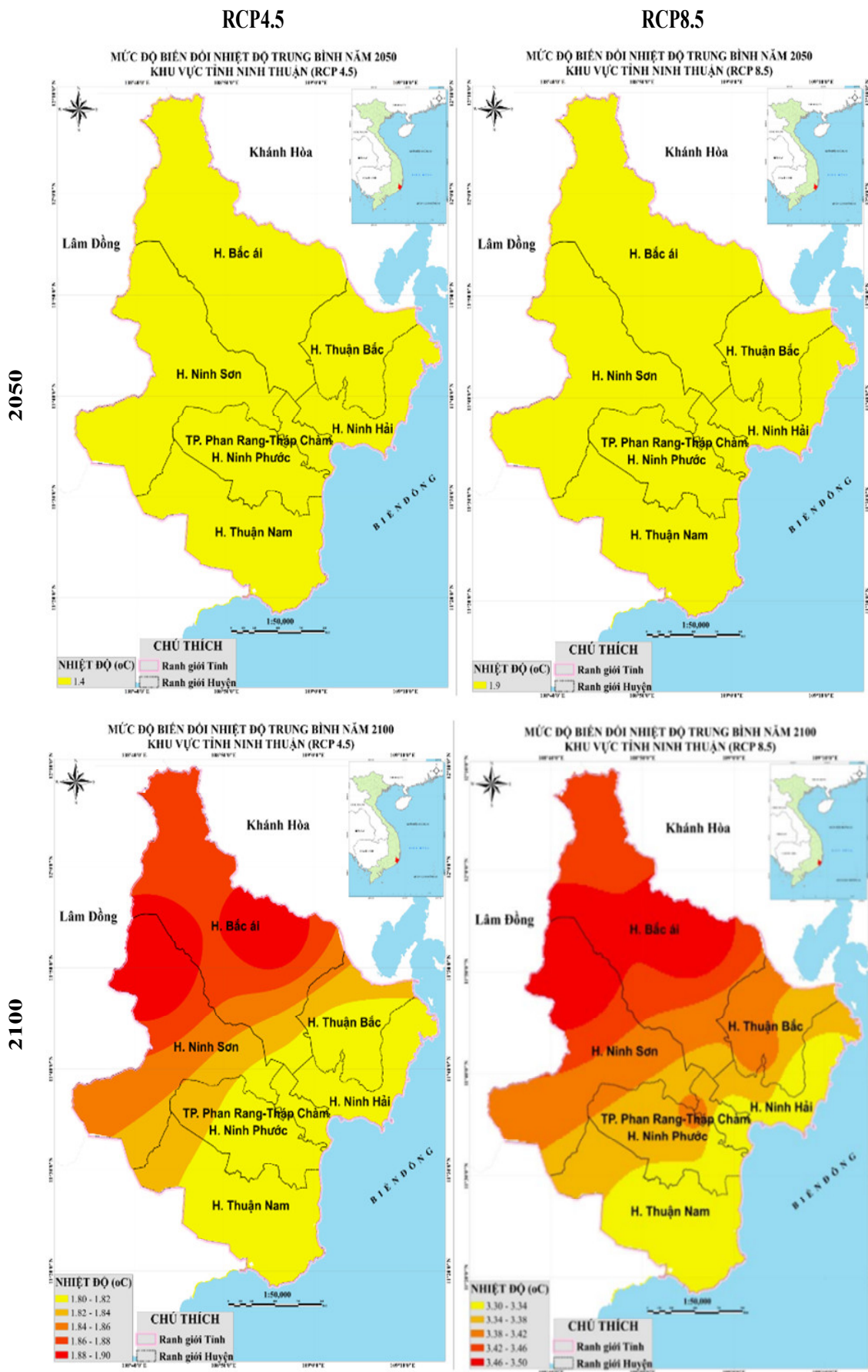
#### 3.2.2. Kịch bản lượng mưa

Theo kịch bản RCP4.5, năm 2025 lượng mưa trung bình tăng từ 0,2–3,1% tăng cao nhất ở khu vực huyện Ninh Hải và thấp nhất ở huyện Ninh Phước. Năm 2030, lượng mưa tăng từ 0,2–3,3% tăng cao ở khu vực huyện Thuận Bắc. Vào năm 2050, lượng mưa phân bố không đều giữa các khu vực, huyện Ninh Sơn, Ninh Phước và thành phố Phan Rang–Tháp Chàm lượng mưa giảm khoảng 0,2%, các huyện còn lại lượng mưa có xu hướng tăng từ 0,7–5,2%. Lượng mưa trung bình cả năm 2100 biến động không đều từ giảm 2,8% đến tăng 2%. Huyện Ninh Phước là nơi có mức biến đổi lượng mưa giảm nhiều nhất với khoảng 2,8%. Huyện Ninh Hải là nơi có mức biến đổi lượng mưa tăng cao nhất với khoảng 2,0% (Hình 11a).

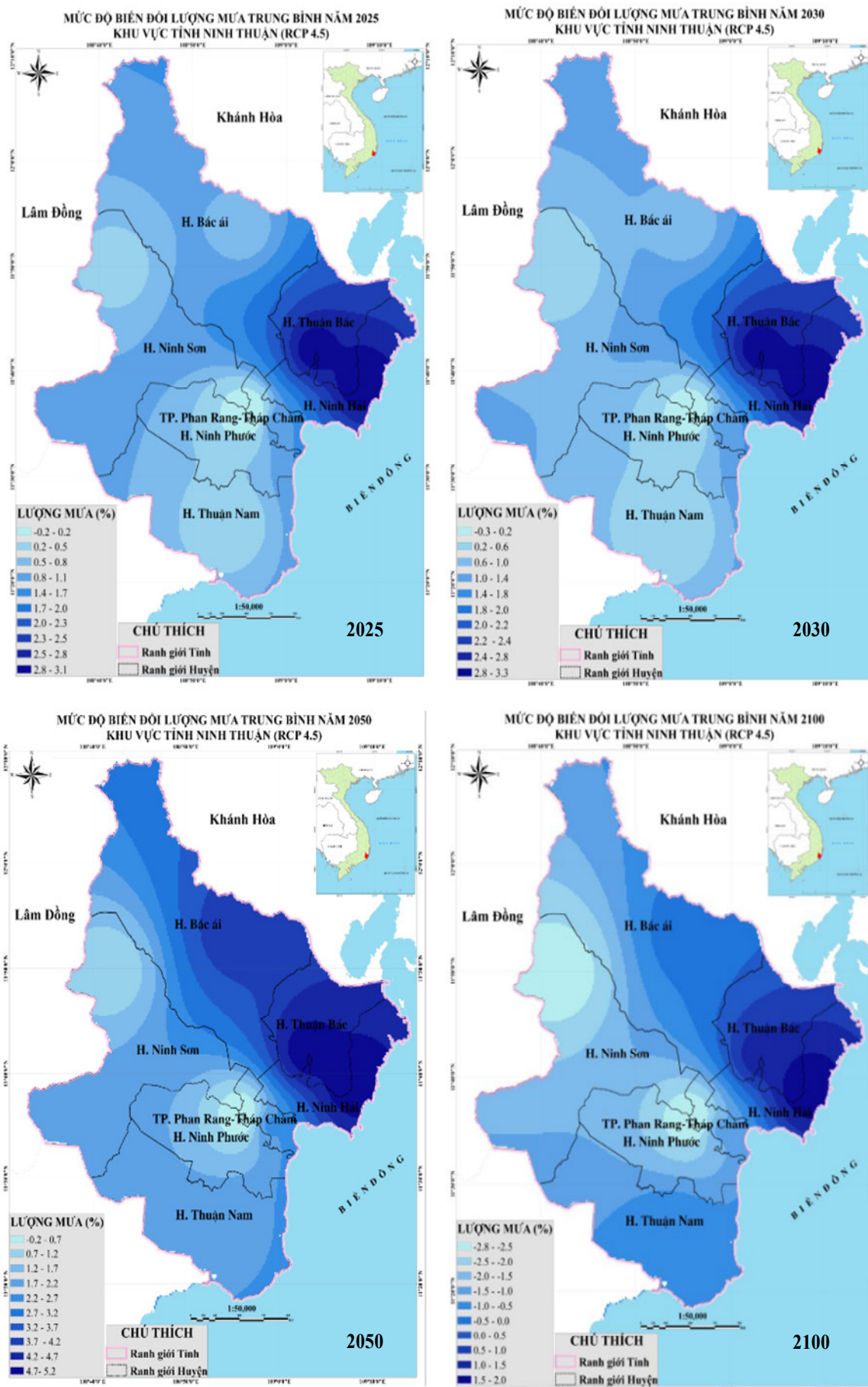
Theo kịch bản RCP8.5, năm 2025 lượng mưa trung bình tại Ninh Thuận có tăng từ 3,8–9,1% và tăng cao ở khu vực huyện Ninh Hải, Thuận Bắc và một phần thành phố Phan Rang–Tháp Chàm. Năm 2030, lượng mưa tăng từ 3,7–9,1% sự phân bố lượng mưa phân bố tương tự như năm 2025. Năm 2050, lượng mưa có sự phân bố tăng giảm không đồng đều, huyện Ninh Phước có lượng mưa giảm 2,1%, tuy nhiên khu vực huyện Bắc Ái và Thuận Bắc có lượng mưa tăng khoảng 2,5%. Đến năm 2100 có sự phân bố lượng mưa có xu hướng giảm từ 1,3% đến 8,9%, huyện Ninh Hải là nơi có lượng mưa giảm ít nhất với khoảng 1,3%, nơi có lượng mưa giảm nhiều nhất là huyện Ninh Phước với khoảng 8,9% (Hình 11b).



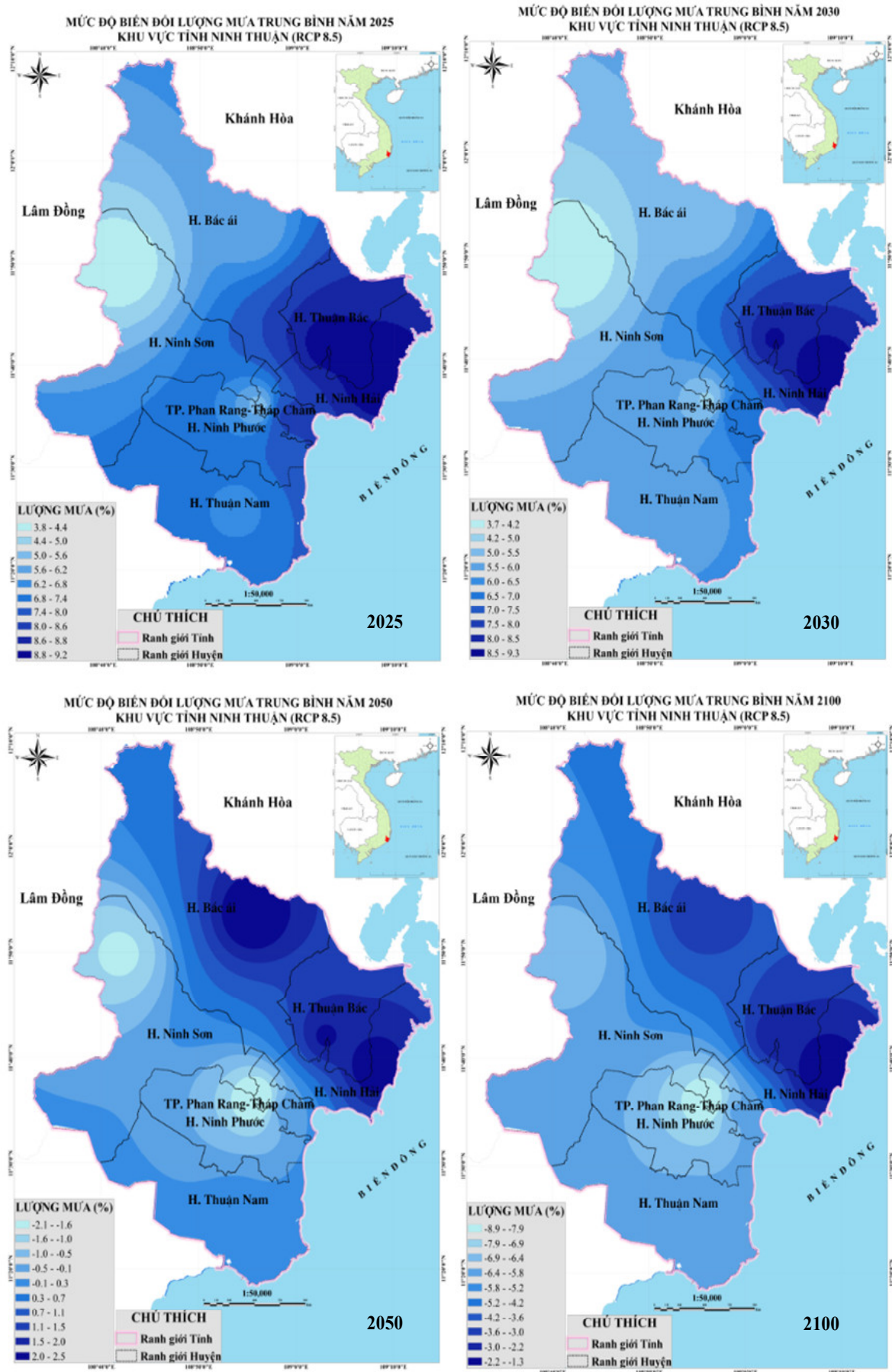
**Hình 10.** Mức độ biến đổi nhiệt độ trung bình (°C) tỉnh Ninh Thuận theo kịch bản RCP4.5 (trái) và RCP8.5 (phải).



Hình 10. Mức độ biến đổi nhiệt độ trung bình (°C) tỉnh Ninh Thuận theo kịch bản RCP4.5 (trái) và RCP8.5 (phải) (tiếp tục).



Hình 11a. Mức độ biến đổi lượng mưa năm (mm) tỉnh Ninh Thuận theo kịch bản RCP4.5.



Hình 11b. Mức độ biến đổi lượng mưa năm (mm) tỉnh Ninh Thuận theo kịch bản RCP8.5.

#### 4. Kết luận

Trong giai đoạn 1993–2019, nhiệt độ trung bình ở Ninh Thuận có xu thế tăng xấp xỉ 0,012°C/năm, lượng mưa có xu thế tăng 4,4mm/năm, số giờ nắng có xu thế tăng 0,6 ngày/năm. Nhiệt độ trung bình hằng năm tại trạm Phan Rang là 27,2°C. Trong đó, tháng I có nhiệt độ trung bình thấp nhất với giá trị là 24,9°C. Tháng V và VI có nhiệt độ trung bình cao nhất với giá trị là 28,9°C. Nhiệt độ trung bình hằng năm tại trạm Phan Rang dao động quanh giá trị trung bình với biên độ 1,0°C. Tháng có biên độ dao động cao nhất là tháng VI với mức dao động 4,0°C quanh giá trị trung bình. Tháng có biên độ dao động thấp nhất là tháng 10 với mức dao động 1,4°C. Lượng mưa trung bình nhiều năm tại Phan Rang là 923,8 mm. Tháng có biên độ dao động cao nhất là tháng XII với mức dao động 618,0 mm quanh giá trị trung bình. Tháng có biên độ dao động thấp nhất là tháng II với mức dao động 30,0 mm.

Theo các kịch bản biến đổi khí hậu, nhiệt độ trung bình theo kịch bản RCP4.5 nhiệt độ trung bình tăng từ 0,6°C (2025) tăng đến 1,4°C (2050) và tăng 1,9°C (2100). Theo kịch bản RCP8.5 nhiệt độ trung bình tăng từ 0,7°C (2025) tăng đến 1,9°C (2050) và tăng 3,5°C (2100). Lượng mưa trung bình (R): Theo kịch bản RCP4.5, lượng mưa tăng từ 3,1% (2025) tăng 3,5% (2050) và giảm đi 2,8% (2100). Theo kịch bản RCP8.5, lượng mưa tăng 9,1% (2025), giảm 9,3% (2050) và giảm 8,9% (2100).

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

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

#### Tài liệu tham khảo

1. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản Biến đổi Khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam. Nhà xuất bản Tài nguyên – Môi trường và Bản đồ Việt Nam, Hà Nội, 2009.
2. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản Biến đổi Khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam. Nhà xuất bản Tài nguyên – Môi trường và Bản đồ Việt Nam, Hà Nội, 2012.
3. 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, 2016.
4. Phân viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu. Xây dựng, cập nhật kế hoạch hành động ứng phó với Biến đổi khí hậu giai đoạn 2021–2030, tầm nhìn 2050 và đánh giá khí hậu tỉnh Ninh Thuận. Sở TNMT Ninh Thuận, 2020.
5. Ngừ, N.Đ. Biến đổi khí hậu. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2008.
6. Ban Quản lý dự án Capas Ninh Thuận. Báo cáo tài nguyên nước tỉnh Ninh Thuận. Tháng 7/2012.
7. Tuấn, B.Đ. Đặc điểm Khí tượng Thủy văn tỉnh Ninh Thuận. Phân viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường phía Nam, 2004.
8. Sở TNMT tỉnh Ninh Thuận. Báo cáo Hiện trạng Môi trường tỉnh Ninh Thuận 05 năm giai đoạn 2011–2015. Ninh Thuận, 2015.
9. UBND tỉnh Ninh Thuận. Báo cáo kinh tế-xã hội tỉnh Ninh Thuận, năm 2019.
10. Hà, H.T.M.; Tân, P.V. Xu thế và mức độ biến đổi của nhiệt độ cực trị ở Việt Nam trong giai đoạn 1961–2007. *Tạp chí Khoa học, Đại học Quốc gia Hà Nội* 2009, 25(3S), 412–422.
11. Hằng, V.T.; Hường, C.T.T.; Tân, P.V. Xu thế biến đổi của lượng mưa ngày cực đại ở Việt Nam giai đoạn 1961–2007. *Tạp chí Khoa học, Đại học Quốc gia Hà Nội* 2009, 25(3S), 423–430.



12. Van den Hurk, B.; Siegmund, P.; Tank, A.K. Climate Change scenarios for the 21<sup>st</sup> Century – A Netherlands perspective. Scientific Report WR2014–01, KNMI, De Bilt, The Netherlands, 2014.
13. IPCC. Climate Change: The Scientific Basis. 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.
14. IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2013 – The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2013, 1535 pp.
15. IPCC. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
16. IPCC. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.
17. Sâm, L. Nghiên cứu đánh giá tình hình hạn, thiếu nước trong mùa khô, xây dựng phương án cảnh báo và bản đồ phân vùng hạn hán tỉnh Ninh Thuận. Viện khoa học thủy lợi miền Nam, 2008.
18. Thoại, N.S.; Bình, Đ.T. Tình hình hạn hán tại Ninh Thuận. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* 2013, 640, 46–49.
19. Vượng, N.Đ. Nghiên cứu tương quan cân bằng nước và đề xuất giải pháp cấp nước cho vùng đất cát ven biển Ninh Thuận. Viện khoa học thủy lợi miền Nam, 2013.
20. Kiệt, V.A. Nghiên cứu xây dựng hệ thống cảnh báo, dự báo chi tiết theo các cấp độ rủi ro thiên tai do bão, mưa lớn, lũ lụt, nắng nóng, hạn hán đến cấp xã (vùng), huyện thuộc tỉnh Ninh Thuận. Đề tài khoa học công nghệ cấp Tỉnh, 2018.

## Climate Trends and Climate Change Scenarios in Ninh Thuan Province, Vietnam

Nguyen Van Hong<sup>1\*</sup>, Nguyen Thi Cam Mi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sub-Institute HydroMeteorology and Climate Change; nguyenvanhong79@gmail.com; nguyenthicammi2007@gmail.com

**Abstract:** The study was presented the trend of climate (temperature, precipitation) in Ninh Thuan Province. The linear regression method is used to determine the trend and variation of past temperature and precipitation from 1993 to 2019 at Phan Rang meteorological stations. The results showed that the climate factors tend to increase: the annual average temperature for many years tends to increase by 0.012°C/year, the annual highest temperature increases by 0.017°C/ year, the annual lowest minimum temperature increases by 0.01°C/year, the precipitation increases by 4.44 mm/year. According to RCP4.5 and RCP8.5 climate change scenarios, the annual average temperature in Ninh Thuan tends to increase through 2025, 2030, 2050 and 2100. In terms of annual average precipitation for the RCP4.5 climate change scenario tends to increase. For the RCP8.5 climate change scenario, the precipitation increases in 2025, 2030 and decreases and in 2050, 2100.

**Keywords:** Climate; Trend; Climate change Scenarios RCP4.5, RCP8.5.

Bài báo khoa học

## Diễn biến chất lượng nước mặt vùng bờ thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 2016–2019

Lê Ngọc Tuấn<sup>1\*</sup>, Đoàn Thanh Huy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh;  
lntuan@hcmus.edu.vn

<sup>2</sup> Viện Khí tượng Thủy văn Hải văn và Môi trường; dthanh Huy132@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: lntuan@hcmus.edu.vn; dthanh Huy132@gmail.com

Ban Biên tập nhận bài: 12/4/2020; Ngày phản biện xong: 24/5/2021; Ngày đăng bài: 25/7/2021

**Tóm tắt:** Trong bối cảnh gia tăng dân số và phát triển kinh tế mạnh mẽ tại lưu vực sông Sài Gòn–Đồng Nai, chỉ số WQI (Việt Nam) và CCME (Canada) được sử dụng nhằm đánh giá diễn biến chất lượng nước (CLN) vùng bờ thành phố Hồ Chí Minh (TpHCM) giai đoạn 2016–2019 (theo mực nước triều, tháng, mùa và năm) trên cơ sở dữ liệu quan trắc định kỳ (14 trạm) và đo đạc bổ sung (22 trạm). Nhìn chung, CLN tốt dần về phía biển, đáp ứng các mục tiêu CLN (ngoại trừ Pb ở hạ lưu sông Vàm Cỏ, sông Lòng Tàu và TSS ở vùng cửa sông, ven biển). CLN ở thời điểm triều rút thường kém hơn khi triều cường (rõ nét tại các sông nội đồng); mùa mưa (mức trung bình–khá) thường kém hơn mùa khô (mức khá–tốt). Gần đây ghi nhận dấu hiệu cải thiện CLN tại một số vị trí cửa sông và vùng ven biển, tuy vậy, cần thiết tăng cường và duy trì liên tục công tác quản lý CLN vùng bờ (pH, DO, N–NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Coliform, E.Coli, Pb, Mn), nhất là thượng nguồn sông Lòng Tàu, hạ nguồn sông Soài Rạp, cửa sông Đồng Tranh... Bên cạnh đó, khuyến nghị sử dụng chỉ số CCME trong đánh giá CLN vùng bờ nhằm xem xét đồng thời CLN khu vực lục địa và vùng biển ven bờ. Để tăng cường hiệu quả quản lý, cần tiếp tục nghiên cứu tình hình phát thải, dự báo xu thế CLN và khả năng chịu tải của khu vực.

**Từ khóa:** Chỉ số chất lượng nước, Ô nhiễm môi trường, Nước mặt, Vùng bờ.

### 1. Đặt vấn đề

Chất lượng nước (CLN) thể hiện sự thích hợp của nguồn nước để duy trì các chu trình lý-hóa-sinh trong nước và phục vụ các mục đích sử dụng khác nhau [1]. Đánh giá CLN thường dựa trên dữ liệu quan trắc nồng độ và tải lượng chất ô nhiễm [2]. Tuy nhiên, việc dựa trên các thông số riêng lẻ tạo nên những rào cản trong nhận định tổng quát CLN theo không gian và thời gian. Do vậy, chỉ số CLN (*Water Quality Index–WQI*) được xây dựng và ứng dụng lần đầu tiên tại Mỹ (1965–1970), sau đó được nghiên cứu và phát triển ở nhiều quốc gia trên thế giới [3–5] nhằm cung cấp thông tin chung về CLN cho các nhà cung cấp và cộng đồng [6]; nghiên cứu ảnh hưởng của các chính sách và chương trình liên quan đến chất lượng môi trường [7]; so sánh CLN giữa các nguồn và các vị trí khác nhau [8]; hỗ trợ các nhà hoạch định chính sách và cộng đồng giảm thiểu các đánh giá chủ quan và thiên vị [9].

Phân tích tổng quan 30 loại WQI hiện có theo trình tự bốn bước xây dựng chỉ số WQI (lựa chọn thông số, chuyển đổi chỉ số phụ, thiết lập trọng số, tính toán chỉ số tổng hợp) [10] cho thấy: không có phương pháp chung nhất để tính toán WQI; có thể tiếp cận cả 4 bước hoặc ít hơn khi thiết lập; không có phương pháp đảm bảo tuyệt đối khách quan và độ tin cậy.

Đáng lưu ý khi chỉ có chỉ số WQI của Canada–CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*) thực hiện phân tích độ nhạy cho cả 4 bước nhằm giảm thiểu tính không chắc chắn của kết quả đầu ra, trong khi các phương pháp khác thực hiện kiểm nghiệm ít hơn, hoặc sử dụng các phương pháp khác nhau trong quá trình thiết lập, chẳng hạn lựa chọn thông số và phương pháp tổng hợp khác nhau, số lượng thông số và phương pháp xác định trọng số khác nhau. Các nghiên cứu cũng chỉ ra rằng mỗi lưu vực sông nên được đánh giá bởi một bộ thông số riêng biệt cũng như không thể so sánh WQI giữa các lưu vực sông khác nhau khi khác nhau các thông số cấu thành.

Vùng bờ TpHCM bao gồm toàn bộ diện tích đất liền của huyện Cần Giờ và vùng biển ven bờ có ranh giới ngoài cách mép bờ 06 hải lý (khoảng 11 km) từ vịnh Gành Rái đến cửa Soài Rạp, có vai trò đặc biệt quan trọng đối với sự phát triển của thành phố. Tuy vậy, sự tăng trưởng kinh tế và gia tăng dân số nhanh chóng dọc theo lưu vực sông Sài Gòn–Đông Nai ngày càng tạo sức ép đối với nguồn nước mặt nơi đây. Do đó, nghiên cứu nhằm mục tiêu đánh giá diễn biến và hiện trạng chất lượng nước mặt vùng bờ TpHCM giai đoạn 2016–2019, đóng góp quan trọng cho việc nhận định, dự báo xu thế biến đổi CLN trong tương lai, phục vụ hoạch định các giải pháp quản lý tương thích.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Phương pháp lấy mẫu và phân tích mẫu

a) Vị trí lấy mẫu: Phạm vi đánh giá diễn biến chất lượng nước mặt là vùng bờ Tp.HCM (Hình 1), bao gồm toàn bộ diện tích đất liền của huyện Cần Giờ và vùng biển ven bờ có ranh giới ngoài cách mép bờ 6 hải lý (khoảng 11 km) từ vịnh Gành Rái đến cửa Soài Rạp.

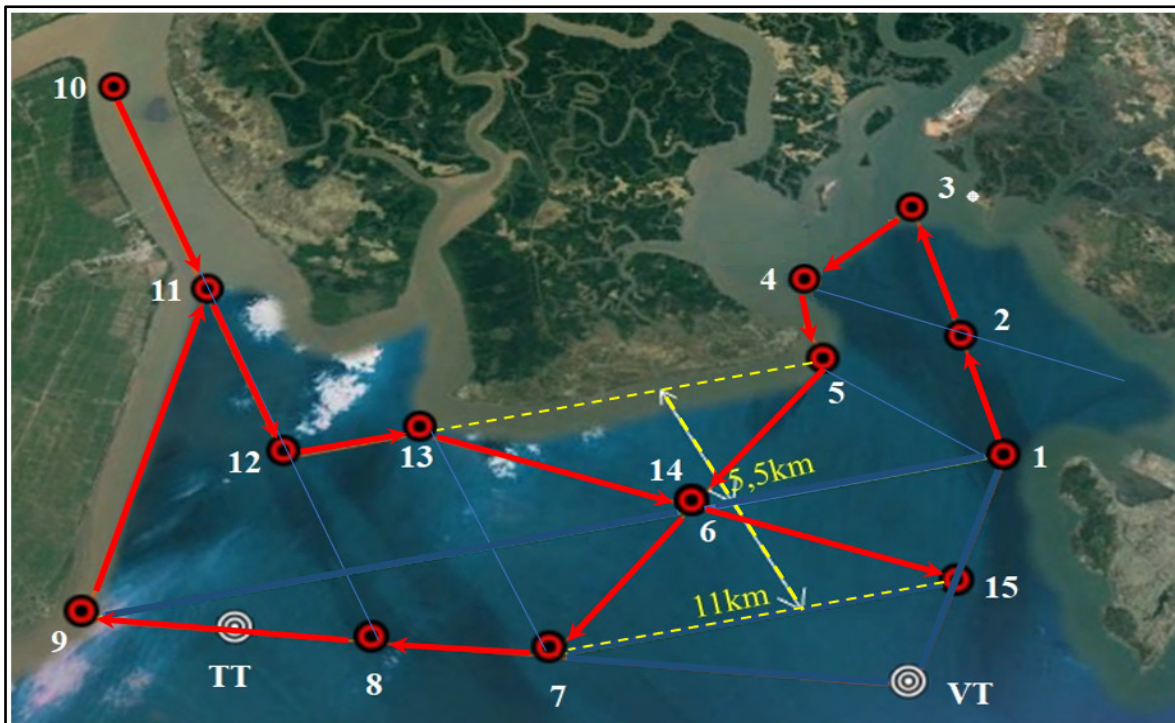


Trạm	X	Y
NB	10.6803	106.7697
VC	10.48829	106.7285
SR	10.41306	106.7963
ĐT	10.43567	106.8607
N7	10.47176	106.9404
CM	10.49704	106.9969
TT	10.28385	106.8311
VT	10.30641	107.0344

Hình 1. Phạm vi nghiên cứu và vị trí quan trắc CLN liên tục (mỗi giờ).

Đới bờ ở Cần Giờ (gồm phần đất liền và vùng biển ven bờ) là khu vực đồng thời chịu ảnh hưởng của chế độ thủy văn sông Đông Nai và chế độ hải văn Biển Đông với chế độ bán nhật triều–hàng ngày có 2 lần nước lên và 2 lần nước xuống, tốc độ dòng triều khá lớn làm cho môi trường vùng đất ngập nước Cần Giờ luôn bị xáo trộn, dẫn đến sự đồng nhất tương đối của môi trường nước mặt và nước biển ven bờ. Vì vậy, chất lượng nước biển ven bờ (NBVB) về cơ bản rất ít thay đổi theo phương song song với mép bờ (Long Hoà–Cần Thạnh), không cần quá nhiều điểm quan trắc ở khu vực này. Ngược lại, do quá trình tương tác sông biển, chất lượng môi trường nước biển ven bờ Cần Giờ thay đổi đáng kể theo hướng Tây

Bắc–Đông Nam: từ các sông nội đồng, đến các cửa sông, mở rộng ra khu vực nước biển ven bờ (cách mép bờ 3 hải lý, khoảng 5.5 km) và xa dần về phía biển Đông (cách mép bờ 6 hải lý) được xem là ranh giới kết thúc những dòng phù sa của hệ thống sông Đồng Nai. Theo đó, vị trí lấy mẫu đánh giá CLN được mô tả ở Hình 2 và Bảng 1.



	X	Y		X	Y		X	Y
<b>1</b>	10.38690	107.0448	<b>6</b>	10.34754	106.9552	<b>11</b>	10.40624	106.7973
<b>2</b>	10.41715	107.0350	<b>7</b>	10.30180	106.9288	<b>12</b>	10.34588	106.8359
<b>3</b>	10.46784	107.0047	<b>8</b>	10.28946	106.8714	<b>13</b>	10.36026	106.8762
<b>4</b>	10.45004	106.9580	<b>9</b>	10.28346	106.7987	<b>14</b>	10.34754	106.9552
<b>5</b>	10.40211	106.9922	<b>10</b>	10.47377	106.7510	<b>15</b>	10.33610	107.0360

Hình 2. Vị trí lấy mẫu nước biển ven bờ.

Bảng 1. Mô tả các vị trí lấy mẫu chất lượng nước mặt.

Phạm vi	Vị trí	Khu vực	Mô tả
Nước mặt lục địa	NB	Sông Nhà Bè	Đánh giá CLN hạ lưu sông Nhà Bè trước khi đổ vào huyện Cần Giờ
	VC	Sông Vàm Cỏ	Đánh giá CLN sông Vàm Cỏ trước khi đổ vào huyện Cần Giờ tại hợp lưu với sông Soài Rạp
	10, 11	Sông Soài Rạp	Đánh giá CLN các sông chính nội vi huyện Cần Giờ trước khi đổ vào vịnh Đồng Tranh
	ĐT	Sông Đồng Tranh	
	N7	Sông Lòng Tàu	Đánh giá CLN các sông chính nội vi huyện Cần Giờ trước khi đổ vào vịnh Gành Rái
Nước biển ven bờ	CM	Sông Thị Vải	
	1-5	Vịnh Gành Rái	Đánh giá CLN vịnh Gành Rái
	9, 11-13	Vịnh Đồng Tranh	Đánh giá CLN vịnh Đồng Tranh
	5-8, 13-15	Vùng biển ven bờ	Đánh giá chất lượng NBVB TpHCM

- b) Thời gian lấy mẫu: 20–22/4/2019 (mùa khô)
- c) Phân tích mẫu: 09 thông số bao gồm pH, DO, BOD, COD (KMnO<sub>4</sub>), N–NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N–NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, P–PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Coliform, TSS.
- d) Phương pháp lấy mẫu nước: Áp dụng TCVN 5998:1995 (ISO 5667–9:1992) đối với mẫu nước biển và TCVN 6663–6:2008 (ISO 5667–6:2005) đối với mẫu nước sông.
- e) Phương pháp bảo quản mẫu: áp dụng TCVN 5993:1995 (ISO 5667–3).
- f) Các quy chuẩn tham chiếu: QCVN 08:2015/BTNMT về chất lượng nước mặt lục địa (NMLĐ) (áp dụng cột B1–nước dùng cho mục đích tưới tiêu, thủy lợi) và QCVN 10:2015/BTNMT về chất lượng nước biển (áp dụng cho vùng nuôi trồng thủy sản, bảo tồn thủy sinh ven bờ).

2.2. Phương pháp tính toán chỉ số chất lượng nước

CLN vùng bờ TpHCM được đánh giá tổng hợp bằng chỉ số WQI (Bảng 3–4). Diễn biến CLN giai đoạn 2016–2019 được đánh giá trên cơ sở dữ liệu quan trắc định kì của Trung tâm Quan trắc và Phân tích Môi trường (Sở Tài nguyên và Môi trường TpHCM). Toạ độ các trạm quan trắc được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Toạ độ các trạm quan trắc nước mặt trong phạm vi nghiên cứu.

Khu vực	Trạm	Ký hiệu	X	Y
Nước mặt lục địa (1-7)	1. Nhà Bè	NB	1181376,54	610844,32
	2. Tam Thôn Hiệp	TTH	1173326,10	621959,92
	3. Vàm Sát	VS	1165407,99	608467,14
	4. Vàm Cỏ	VC	1157697,90	604458,64
	5. Đồng Tranh	ĐT	1154643,08	621048,55
	6. Ngã Bảy	N7	1161689,90	631305,55
	7. Cái Mép	CM	1164456,83	638719,84
Nước biển ven bờ (8-14)	8. Cửa Đồng Tranh	C.ĐT	1151767,77	621381,62
	9. Cửa Lòng Tàu	C.LT	1158220,81	629844,33
	10. Cửa Cái Mép	C.CM	1160081,41	635807,34
	11. Công viên Cần Thạnh	CT	1151811,73	633856,50
	12. Khu du lịch 30 Tháng 4	30/4	1150590,31	632151,56
	13. Bãi Đồng Hòa	ĐH	1146718,97	624794,52
	14. KDL Hòn Ngọc Phương Nam	HNP	1147769,78	624769,50

Chỉ số WQI–VN tính toán theo Quyết định 1460/QĐ–TCMT của Tổng cục Môi trường ngày 12/11/2019, chỉ áp dụng đối với NMLĐ (hiện chưa có hướng dẫn đối với NBVB). Để đánh giá đồng bộ trên toàn phạm vi nghiên cứu (gồm cả NMLĐ và NBVB), áp dụng chỉ số CCME – đề xuất bởi Hội đồng Bộ trưởng Môi trường Canada (Canadian Council of Ministers of Environment).

$$CCME = 100 - \left( \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

$$F3 = \frac{NSE}{0,01NSE + 0,01}$$

$$F1 = \frac{\text{Số thông số không đạt}}{\text{Tổng số thông số}} \times 100$$

$$NSE = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Độ lệch}_i}{\text{Tổng số giá trị}} - 1$$

$$F2 = \frac{\text{Số giá trị không đạt}}{\text{Tổng số giá trị}} \times 100$$

$$\text{Độ lệch}_i = \frac{\text{Giá trị vượt chuẩn}_i}{\text{Giá trị giới hạn}_i} - 1$$

Trong đó F1 (phạm vi) là tỉ lệ giữa số thông số CLN không đạt chuẩn với tổng số các thông số được quan trắc; F2 (tần số) là số lần không đạt chuẩn với tổng số các kết quả quan trắc của tất cả các thông số; F3 (biên độ) là độ lớn của thông số không đạt chuẩn so với giá trị quy chuẩn của thông số đó; NSE là độ lệch tổng cộng chuẩn hóa; Độ lệch<sub>i</sub> được tính toán khi nồng độ của thông số không đạt quy chuẩn tương ứng; 1,732 là độ dài cực đại của vector tổ hợp giữa F1, F2 và F3.

**Bảng 3.** Tổ hợp các thông số tính toán chỉ số WQI: (a) Các chỉ số CLN và mục đích sử dụng.

STT	Mục đích	Phạm vi	Mô tả dữ liệu	Thời gian	Cơ sở	Thông số CLN	Ký hiệu
1	Đánh giá hiện trạng CLN vùng bờ TpHCM theo CCME	Từ s.Nhà Bè ra vùng biển cách bờ 6 hải lý	22 vị trí lấy mẫu (cả NMLĐ và NBVB)	4/2019	CCME	9 thông số CLN đã đề cập thuộc nghiên cứu này	WQI.1
2	Đánh giá diễn biến CLN vùng bờ TpHCM theo CCME	Từ s.Nhà Bè ra vùng biển ven bờ	14 trạm của Sở TNMT-HCM, gồm 07 trạm NMLĐ và 07 trạm NBVB	2016 – 2019	CCME	8 thông số CLN quan trắc đồng thời cho cả NMLĐ và NBVB	WQI.5
3	So sánh CLN theo các chỉ số CLN						
<i>3.1 Theo QĐ1460 bằng 02 tổ hợp dữ liệu</i>							
	WQI.2 vs. WQI.7	Từ sông Nhà Bè ra vùng cửa sông huyện Cần Giờ	7 trạm quan trắc NMLĐ của Sở TNMT	12/2017–5/2018	1460	7 thông số như WQI.1 ngoại trừ NO <sub>3</sub> -N (do Sở TNMT không phân tích), TSS (theo QĐ1460)	WQI.7
						12 thông số – khai thác tối đa dữ liệu theo QĐ1460	WQI.2
<i>3.2 Theo QĐ1460 và CCME</i>							
	Trường hợp tối đa dữ liệu WQI.2 vs. WQI.3	Từ sông Nhà Bè ra vùng cửa sông huyện Cần Giờ	7 trạm quan trắc NMLĐ của Sở TNMT	12/2017–5/2018	CCME	12 thông số – khai thác tối đa dữ liệu theo QĐ1460	WQI.3
<i>3.3 Theo CCME bằng 02 tổ hợp dữ liệu</i>							
	WQI.5 vs. WQI.4	Từ sông Nhà Bè ra vùng cửa sông huyện Cần Giờ	7 trạm quan trắc NMLĐ của Sở TNMT	12/2017–5/2018	CCME	15 thông số – khai thác tối đa và thích hợp dữ liệu quan trắc	WQI.4
	WQI.5 vs. WQI.6	Vùng biển ven bờ TpHCM	7 trạm quan trắc NBVB của Sở TNMT	12/2017–5/2018	CCME	10 thông số – khai thác tối đa và thích hợp dữ liệu quan trắc	WQI.6

**Bảng 3.** Tổ hợp các thông số tính toán chỉ số WQI: (b) Mô tả thành phần của các chỉ số WQI.

Thông số	WQI.1	WQI.2	WQI.3	WQI.4	WQI.5	WQI.6	WQI.7	WQI.8
	CCME	1460	CCME	CCME	CCME	CCME	1460	1460
pH	x	x	x	x	x	x	x	x
DO	x	x	x	x	x	x	x	x
BOD	x	x	x	x			x	x
COD	x	x	x	x			x	x
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	x	x	x	x	x	x	x	x
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	x							x
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	x	x	x	x			x	x
TSS	x							
Coliform	x	x	x	x	x	x	x	x
E.Coli		x	x	x				
Pb		x	x	x	x	x		
Cd		x	x	x	x	x		
Cu		x	x	x	x	x		
Fe				x				
Zn		x	x	x				
Mn				x				
As						x		
Hg					x	x		
Dầu				x		x		
<b>Tổng cộng</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>8</b>

**Bảng 4.** Quy ước về giá trị (chỉ số), màu sắc và mức CLN.

WQI	CLN	Khuyến nghị	CCME	CLN	Khuyến nghị
91-100	Rất tốt	Sử dụng tốt cho mục đích cấp nước sinh hoạt	95-100	Rất tốt	Không có mối đe dọa hoặc suy yếu về nguồn nước
76-90	Tốt	Cấp nước sinh hoạt nhưng cần biện pháp xử lý phù hợp	80-94	Tốt	Nguồn nước được bảo vệ tương đối tốt
51-75	Trung bình	Tưới tiêu và các mục đích tương đương khác	65-79	Khá	Nguồn nước đôi khi bị đe dọa hoặc suy yếu
26-50	Kém	Giao thông thủy và các mục đích tương đương khác	45-64	Trung bình	Nguồn nước thường xuyên bị đe dọa hoặc suy yếu
10-25	Ô nhiễm nặng	Ô nhiễm nặng, cần các biện pháp xử lý trong tương lai	0-44	Xấu	Nguồn nước đang bị bị đe dọa hoặc suy yếu
< 10	Ô nhiễm rất nặng	Nước nhiễm độc, cần có biện pháp khắc phục, xử lý			

### 3. Kết quả và thảo luận

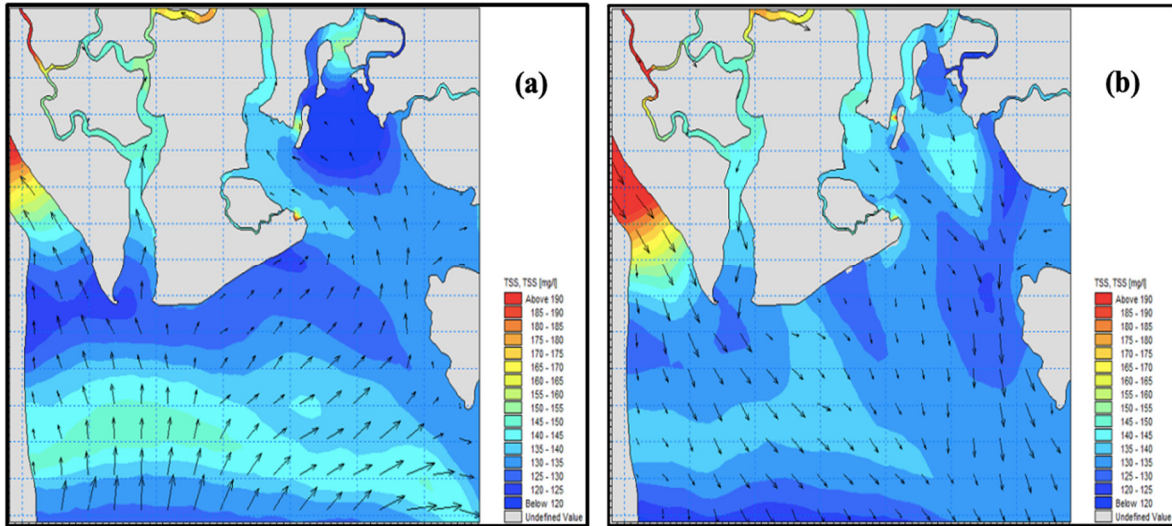
#### 3.1. Hiện trạng CLN vùng bờ TpHCM vào mùa khô 2019

Thông số CLN đáng quan tâm: kết quả phân tích cho thấy hầu hết các thông số CLN tại vùng bờ TpHCM đáp ứng quy chuẩn cho phép (QCVN:08-2015 và QCVN:10-2015). Tuy vậy, dấu hiệu ô nhiễm được ghi nhận ở một số vị trí như: chì (Pb), vượt chuẩn từ 1,2-1,4 lần tại hạ lưu sông Vàm Cỏ và sông Lòng Tàu; chất rắn lơ lửng (TSS), hiện diện ở mức cao (vượt chuẩn từ 3-7 lần ở hạ lưu các sông và 3-4 lần ở khu vực ven bờ).

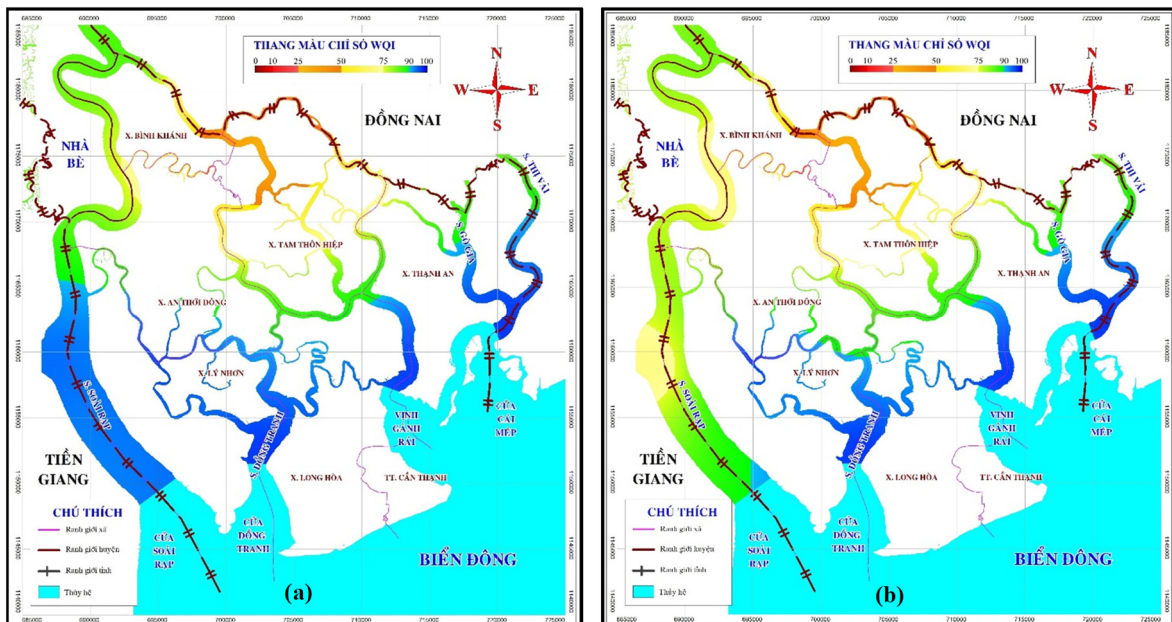
Xu hướng lan truyền ô nhiễm: hàm lượng chất ô nhiễm giảm dần ra biển-có thể được giải thích bởi phân bố các hoạt động dân sinh cũng như việc mở rộng không gian trao đổi nước, lan truyền, pha loãng ra vùng cửa sông, ven biển (Hình 3). Khu vực đáng quan tâm-có CLN thấp nhất trong phạm vi nghiên cứu ghi nhận tại hợp lưu của sông Vàm Cỏ và sông

Soài Rạp đến cửa sông Soài Rạp; hạ lưu sông Đồng Tranh. CLN tại vịnh Đồng Tranh, vịnh Gành Rái và khu vực ven biển (cách bờ 3–6 hải lý) hiện ở mức tốt.

Ảnh hưởng của thủy triều: kết quả phân tích CLN thuộc nghiên cứu này, kết hợp với dữ liệu quan trắc trong 2 điều kiện triều khác nhau của mỗi tháng–khai thác từ Trung tâm Quan trắc và phân tích môi trường–Sở TN&MT TpHCM chỉ ra nồng độ các chất trong thời điểm triều rút cao hơn lúc triều lên, dễ nhận thấy tại khu vực nội đồng (Hình 4, Bảng 5). Điều này có thể được giải thích bởi khi nước lên, phân nào pha loãng nồng độ chất ô nhiễm trong sông, ngược lại, khi nước rút, chất ô nhiễm từ các sông rạch nội đồng sẽ bị lôi cuốn, thoát ra dòng chính và làm giảm CLN tại đây.



Hình 3. Hàm lượng TSS tại vùng bờ TpHCM vào tháng 4/2019: (a) Triều lên; (b) Triều rút.



Hình 4. Chỉ số chất lượng NMLD vùng bờ–Tháng 4/2019 (WQI:8): (a) Triều lên; (b) Triều rút.



**Bảng 5.** Chất lượng nước mặt vùng bờ TpHCM– Mùa khô 2019: (a) Nước biển ven bờ.

Khu vực	Trạm	Triều	pH	DO	BOD	COD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Coliform MNP/ 100mL	TSS		WQI.1
											mg/L	mg/L	
QCVN10:2015 –NTTS			6,5– 8,5	≥5	–	–	0,1	–	0,2	1000	50	VC	
Vịnh Gành Rái	01	NL	8,06	5,2	2,6	6,4	0,03	0,08	0,02	90	79	158	90
	02	NR	7,47	5,6	2,6	6,0	0,03	0,09	0,03	40	122	244	88
	03	NR	7,48	5,7	2,7	7,0	0,05	0,10	0,03	60	204	408	83
	04	NR	7,69	5,5	2,8	6,9	0,06	0,26	0,05	130	180	360	84
	05	NR	7,70	5,6	2,7	6,4	0,04	0,16	0,06	120	180	360	84
Vịnh Đông Tranh	09	NL	7,67	5,1	2,9	6,8	0,04	0,23	0,03	260	126	252	88
	11	NL	7,89	5,1	2,8	7,5	0,09	0,19	0,06	220	170	340	84
	12	NL	7,84	5,3	2,7	6,7	0,06	0,20	0,04	30	118	236	88
	13	NL	7,63	5,4	2,7	6,5	0,09	0,26	0,05	190	143	286	87
Vùng Biển Ven Bờ	06	NR	7,66	5,6	2,4	6,2	0,04	0,10	0,02	40	167	334	85
	14	NL	8,21	5,2	2,5	6,3	0,04	0,24	0,04	90	158	316	87
	15	NL	8,04	5,4	2,3	5,8	0,05	0,19	0,02	130	83	166	90
	07	NL	7,69	5,4	2,5	6,0	0,05	0,12	0,02	160	119	238	88
	08	NL	7,81	5,3	2,6	6,2	0,04	0,24	0,02	110	99	198	89
	TT	NR	7,98	4,9	2,8	6,5	0,04	0,14	0,02	170	112	224	80
	TT	NL	7,96	4,9	2,4	6,1	0,05	0,25	0,02	110	132	264	80
	VT	NR	8,18	5,2	2,6	7,2	0,04	0,28	0,02	140	118	236	88
VT	NL	8,20	5,1	2,4	6,9	0,03	0,29	0,02	120	155	310	86	

**Bảng 5.** Chất lượng nước mặt vùng bờ TpHCM– Mùa khô 2019: (b) Nước mặt lục địa.

Khu vực	Trạm	Triều	pH	Pb	Cd	Cu	Zn	DO	BOD	COD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Coliform MNP/ 100mL	TSS		WQI.1	WQI.8
															mg/L	mg/L		
QCVN 08:2015 – B1			5,5– 9,0	0,05	0,01	0,5	1,5	≥4	15	30	0,9	10	0,3	7500	50	VC		
Sông	NB	NL	7,91	-	-	-	-	4,6	3,3	9,1	0,08	0,58	0,06	4600	57	114	91	96
Nhà Bè	NB	NR	7,92	0,02	KPH	0,03	0,05	4,2	2,8	8,6	0,04	0,71	0,08	4600	132	264	87	98
Sông	VC	NL	7,56	-	-	-	-	4,2	4,6	9,3	0,07	0,71	0,06	1700	101	202	89	97
Vàm Cỏ	VC	NR	7,43	0,06	KPH	0,06	0,07	3,9	4,7	9,6	0,04	0,80	0,11	6400	384	768	69	74
Sông	10	NL	7,79	-	-	-	-	5,7	3,1	7,8	0,08	0,20	0,06	240	204	408	83	86
Soài Rạp	11	NL	7,89	-	-	-	-	5,1	2,8	7,5	0,09	0,19	0,06	220	170	340	84	97
S. Đông Tranh	ĐT	NL	8,29	-	-	-	-	5,5	2,5	7,9	0,06	0,58	0,04	210	157	314	82	85
	ĐT	NR	8,28	KPH	KPH	0,05	0,04	5,2	2,2	7,4	0,03	0,71	0,02	240	192	384	83	97
Sông	N7	NL	7,91	0,07	KPH	0,07	0,07	5,1	2,8	6,8	0,05	0,59	0,02	290	138	276	87	98
Lòng Tàu	N7	NR	7,90	0,07	KPH	0,07	0,07	5,1	3,2	6,3	0,06	0,74	0,02	240	138	276	87	97
Sông	CM	NL	8,24	-	-	-	-	5,4	2,3	5,6	0,06	0,34	0,02	210	169	338	85	98
Thị Vải	CM	NR	8,26	0,01	KPH	0,06	0,07	5,2	2,2	5,5	0,04	0,55	0,02	210	158	316	86	97

Trong đó VC là tỷ lệ phần trăm so với quy chuẩn cho phép; KPH là không phát hiện; NL là nước lớn (triều lên); NR là nước ròng (triều rút); NB là Nhà Bè; VC là Vàm Cỏ; ĐT là Đông Tranh; N7 là Ngã Bảy; CM là Cái Mép; TT là Tân Thành; VT là Vũng Tàu.

### 3.2. Diễn biến CLN vùng bờ TpHCM giai đoạn 2016–2019

Dữ liệu quan trắc tại thời điểm triều kém được sử dụng để đánh giá diễn biến CLN vùng bờ TpHCM giai đoạn 2016–2019 thông qua chỉ số WQI.5 (Bảng 6–7).

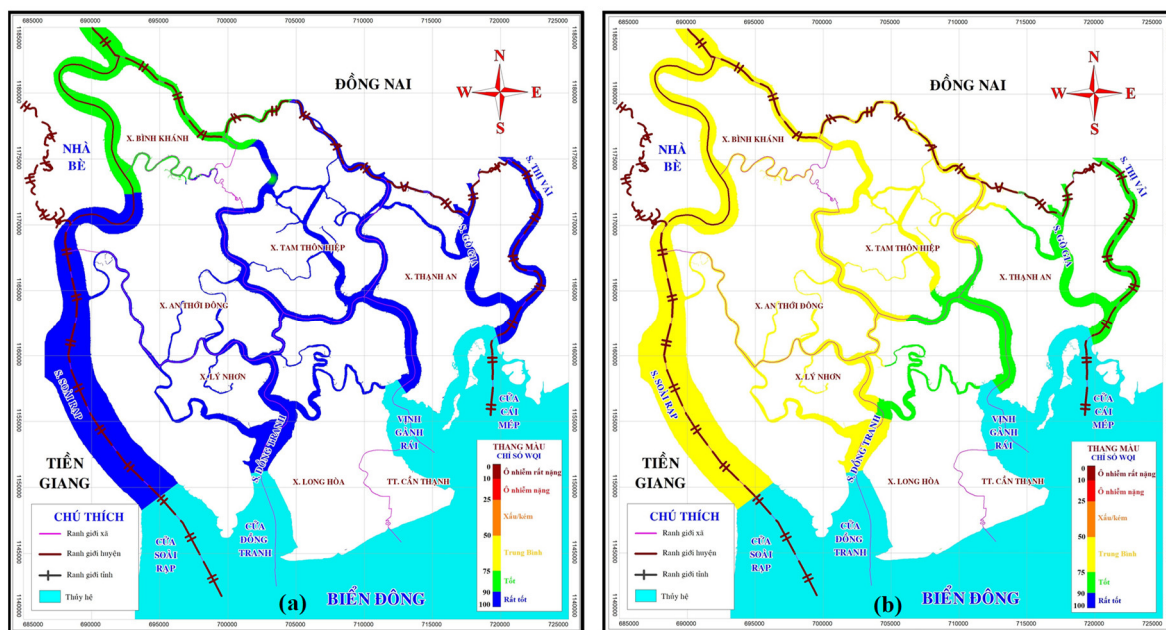
Diễn biến theo năm: Nhìn chung xu hướng tăng/ giảm CLN chưa thực sự rõ ràng, đặc biệt khi so sánh giữa các năm bởi sự khiếm khuyết dữ liệu vào 2016 và 2018. Dữ liệu quan trắc liên tục từ 5/2016–5/2018 cho thấy dấu hiệu cải thiện CLN trên các sông lớn và vùng cửa sông, nhất là cuối 2016 sang nửa đầu 2017. Tuy nhiên, do trao đổi nước kém, CLN nội đồng (trạm TTH) có xu thế suy giảm–từ mùa mưa 2017 đến đầu mùa khô 2018 và 2019.

Diễn biến CLN giữa 2 mùa trong năm: Bảng 6 và Hình 5 cho thấy CLN vào mùa mưa thường kém hơn mùa khô, do chất ô nhiễm dễ dàng bị nước mưa rửa trôi và lôi cuốn theo

dòng chảy đổ vào nguồn tiếp nhận. Phân bố CLN tại vùng bờ TpHCM vào mùa mưa như sau: khu vực thượng nguồn và các sông rạch nội đồng có CLN trung bình (chủ yếu do pH, DO, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Coliform không đáp ứng quy chuẩn); hạ lưu sông Soài Rạp có CLN khá (do pH, DO, Coliform); khu vực cửa sông (Đông Tranh, Ngã Bảy, Cái Mép) đổ ra vùng ven biển có CLN ở mức tốt. Trong mùa khô, CLN chủ yếu ở mức tốt; riêng thượng nguồn sông Lòng Tàu, hạ nguồn sông Đông Tranh và Soài Rạp có CLN ở mức khá (do pH, DO, Coliform).

**Bảng 6.** Diễn biến CLN vùng bờ TpHCM tại thời điểm triều rút (WQI.5).

Trạm	2016		2017		2018	2019
	Mùa mưa	Mùa khô	Mùa mưa	Năm	Mùa khô	Mùa khô
NB	45	69	72	69	82	91
TTH	51	75	83	76	74	53
VC	67	72	72	73	74	74
VS	74	82	74	75	74	91
ĐT	92	89	—	—	—	92
N7	93	84	78	78	89	91
CM	92	91	100	92	89	83
30/4	—	82	84	77	92	89
C.CM	—	88	77	70	85	83
CT	—	93	77	78	93	89
ĐH	—	80	69	69	92	91
C.ĐT	—	84	69	70	93	91
HNPN	—	84	77	70	92	89
C.LT	—	86	69	71	91	83



**Hình 5.** Chỉ số chất lượng NMLĐ vùng bờ năm 2017 (WQI.2): (a) Mùa Khô; (b) Mùa mưa.

Diễn biến CLN theo các tháng trong năm: Bảng 7 cho thấy diễn biến CLN theo tháng tại khu vực lục địa rõ nét hơn vùng biển ven bờ. Chất lượng nước mặt lục địa thường suy giảm vào các tháng cuối mùa khô chuyển sang mùa mưa (T5–T7) do tiếp nhận nhiều chất ô nhiễm bị lôi cuốn theo dòng chảy mặt. CLN vào T6–T7 thường thấp nhất năm (dao động từ trung bình–khá), dần cải thiện vào cuối mùa mưa (T9–T11, CLN khá–tốt), sau đó suy giảm ở nửa đầu mùa khô (T12–T2, CLN trung bình–khá), nhất là khu vực nội đồng (tiếp nhận đáng kể tải lượng chất ô nhiễm do nhu cầu sử dụng nước gia tăng trong mùa lễ tết) và chuyển biến

tích cực ở các tháng sau đó (T3–T5, CLN khá–tốt). Trong những tháng mùa khô, CLN tại một số thời điểm bị ảnh hưởng tiêu cực do suy giảm dòng chảy môi trường, giảm khả năng trao đổi nước hoặc tiếp nhận chất ô nhiễm bị lồi cuốn sau một vài trận mưa nghịch mùa.

**Bảng 7.** Diễn biến CLN vùng bờ Tp.HCM theo các tháng trong năm tại thời điểm triều rút (WQI.5).

Trạm	2016							2017							2018				2019												
	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4		
NBe	62	74	50	37	32	66	42	91	49	51	67	65	88	49	60	81	69	81	85	61	81	79	74	91	82	90	89	80	100		
TTH	100	87	100	34	51	49	45	65	73	86	90	100	79	79	90	86	80	75	79	90	62	90	79	90	92	48	66	85	71		
VC	91	87	77	52	59	51	61	60	69	71	73	80	65	65	67	65	69	66	79	69	73	100	91	84	69	90	90	79	67		
VS	86	80	100	67	74	63	86	78	67	74	79	79	77	60	69	72	67	100	85	67	100	89	90	84	91	83	77	90	100		
ĐT	100	100	100	100	86	89	100	86	-	-	-	-	-	-	86	86	87	88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	81	86	100	100
N7	100	100	89	100	100	100	100	100	100	79	89	90	87	100	100	90	90	79	100	100	90	100	91	76	90	87	100	100	90		
CM	100	85	89	100	100	74	100	88	90	84	90	100	100	90	90	100	80	91	90	86	89	100	82	68	90	89	100	100	90		
30/4	-	-	-	-	-	-	-	-	64	100	100	100	100	100	80	-	100	79	79	100	100	100	89	100	-	-	-	88	90		
C.CM	-	-	-	-	-	-	-	-	80	100	100	79	100	100	100	-	89	89	77	100	89	89	90	90	-	-	-	83	89		
CT	-	-	-	-	-	-	-	-	89	100	100	100	100	87	100	-	100	89	90	100	100	100	100	88	-	-	-	89	90		
ĐH	-	-	-	-	-	-	-	-	64	100	87	86	100	89	100	-	89	100	72	100	100	89	100	89	-	-	-	89	92		
C.ĐT	-	-	-	-	-	-	-	-	90	89	89	86	100	100	86	-	89	89	73	100	90	89	90	100	-	-	-	91	89		
HNP	-	-	-	-	-	-	-	-	90	100	87	100	90	100	87	-	90	90	90	90	100	89	90	100	-	-	-	83	89		
C.LT	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	89	79	100	90	74	-	89	89	78	100	89	100	89	89	-	-	-	89	89		

3.3. So sánh các kết quả tính toán chỉ số CLN

Bảng 8 trình bày kết quả tính toán chỉ số CLN tại vùng bờ TpHCM vào mùa khô 2018 (12/2017–05/2018) theo các cách tiếp cận khác nhau.

**Bảng 8.** So sánh các chỉ số CLN tại vùng bờ TpHCM vào mùa khô năm 2018.

Trạm	CCME				QĐ1460			QĐ1460 vs. CCME		
	WQI.5	WQI.4	WQI.6	%	WQI.2	WQI.7	%	WQI.2	WQI.3	%
NB	82	66	-	-19	63	85	-35	63	64	+2
TTH	74	61	-	-17	62	81	-31	62	60	+3
VC	74	57	-	-22	64	86	-34	64	57	-10
VS	74	64	-	-13	60	78	-30	60	63	+5
N7	89	67	-	-24	63	83	-32	63	67	+6
CM	89	60	-	-32	53	61	-15	53	56	+5
30/4	92	-	92	0	-	-	-	-	-	-
C.CM	85	-	79	-7	-	-	-	-	-	-
CT	93	-	86	-7	-	-	-	-	-	-
ĐH	92	-	86	-6	-	-	-	-	-	-
C.ĐT	93	-	86	-7	-	-	-	-	-	-
HNP	92	-	93	+1	-	-	-	-	-	-
C.LT	91	-	86	-5	-	-	-	-	-	-

Một số nhận định được rút ra như sau:

- WQI.2 và WQI.3 lần lượt được tính toán theo Quyết định 1460/QĐ–TCMT và mô hình WQI\_CCME với cùng bộ thông số và dữ liệu quan trắc, theo đó, các kết quả tính toán chênh lệch không đáng kể (dao động từ 2–10%).

- Các giá trị WQI.5, WQI.4 và WQI.6 cho thấy, mặc dù đều tính toán bằng WQI\_CCME, các tổ hợp thông số khác nhau sẽ cho các kết quả khác nhau về chỉ số CLN. Đối với WQI.5 vs. WQI.6, ít khác biệt về các thông số giữa hai tổ hợp (As và dầu mỡ), với nồng độ ít ảnh hưởng đến kết quả tính toán (đạt quy chuẩn), theo đó, các chỉ số CLN tương đối giống nhau (sai khác từ 0–7%).

- Tuy nhiên, khi hai tổ hợp thông số khác nhau đáng kể về số lượng (WQI.5 vs. WQI.4, 07 thông số khác biệt), chênh lệch giữa các chỉ số CLN theo đó rất đáng quan tâm, dao động từ 13–32% (chủ yếu chi phối bởi Mn và E.Coli), có khả năng thay đổi mức CLN. Nhận định tương tự được chỉ ra khi so sánh WQI.2 và WQI.7 (tính toán theo Quyết định 1460/QĐ–TCMT với 05 thông số khác biệt), sai khác giữa các chỉ số CLN dao động từ 15–35% (chủ yếu do E.Coli).

- Một cách tổng quát, các cách tiếp cận (công thức) và/hoặc các tổ hợp thông số khác nhau (số lượng) có thể dẫn đến những sai khác trong nhận định về mức CLN. Các phép so sánh chỉ ra rằng tổ hợp các thông số tính toán chỉ số CLN nên tối ưu về số lượng, đại diện đầy đủ các tính chất lý, hoá, sinh của nguồn nước, phản ánh đặc điểm nguồn tiếp nhận. Trong điều kiện đó, Quyết định 1460/QĐ–TCMT và mô hình WQI-CCME cho kết quả tính toán chỉ số CLN khá tương đồng. Nhìn chung, để đánh giá và phản ánh đồng bộ CLN tại vùng bờ TpHCM, khuyến nghị sử dụng chỉ số WQI-CCME trong điều kiện xem xét tối đa và nhất quán các thông số quan trắc chất lượng nước mặt lục địa và nước biển ven bờ.

#### 4. Kết luận

Mùa khô 2019, CLN lục địa đáp ứng mục đích tưới tiêu và thủy lợi ngoại trừ dấu hiệu ô nhiễm Pb tại hạ lưu sông Vàm Cỏ và sông Lòng Tàu, TSS tại vùng cửa sông ven biển. Càng về phía biển, CLN càng được cải thiện, đảm bảo cho nuôi trồng thủy sản và bảo tồn thủy sinh ven bờ. CLN ở thời điểm triều rút thường kém hơn khi triều cường, đặc biệt tại các sông rạch nội đồng. CLN vùng bờ TpHCM đáng quan tâm tại hạ lưu sông Soài Rạp (sau hợp lưu với sông Vàm Cỏ) và cửa sông Đồng Tranh... Giai đoạn 2016–2019, CLN trên các sông lớn và khu vực cửa sông dần được cải thiện (từ cuối 2016 sang nửa đầu 2017), trái ngược với khu vực nội đồng (từ mùa mưa 2017 đến đầu mùa khô 2018 và 2019). CLN vào mùa mưa (đặc biệt vào T5–T7) thường kém hơn mùa khô (khá–tốt); đạt mức trung bình tại khu vực thượng nguồn, mức khá tại hạ lưu sông Soài Rạp, mức tốt ở vùng cửa sông, ven biển và các vịnh. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy trong điều kiện xem xét tối đa và nhất quán các thông số quan trắc, chỉ số WQI-CCME linh hoạt hơn khi ứng dụng đánh giá CLN trong phạm vi gồm nhiều loại đối tượng tiếp nhận (như nước mặt lục địa, nước biển ven bờ) hay khi cơ sở dữ liệu quan trắc đồ sộ, thống kê trong nhiều năm.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu, Viết bản thảo bài báo, Chỉnh sửa bài báo: L.N.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu, Xử lý số liệu: Đ.T.H.; Lấy mẫu, Phân tích mẫu: Viện Khí Tượng Thủy văn Hải văn và Môi trường.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Sở Khoa học và Công nghệ thành phố Hồ Chí Minh trong khuôn khổ Nhiệm vụ nghiên cứu KH&CN “Đánh giá khả năng chịu tải của vịnh Đồng Tranh, vịnh Gành Rái và cửa sông Soài Rạp trước sức ép của sự gia tăng dân số và tăng trưởng kinh tế của vùng hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai”.

**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. Meybeck, M.; Kuusisto, E.; Mäkelä, A.; Mälkki, E. Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. UNEP/WHO, 1996.
2. Cooke, S.E.; Ahmed, S.M.; MacAlpine, N.D. Introductory guide to surface water quality monitoring in agriculture. Conservation and development branch, Alberta Agriculture, Food and Rural Development. Edmonton, Alberta, Australia, 2000.

3. Trình, L. Nghiên cứu phân vùng chất lượng nước theo các chỉ số chất lượng nước (WQI) và đánh giá khả năng sử dụng các nguồn nước sông, kênh, rạch ở thành phố Hồ Chí Minh, 2006.
4. Curtis G.C. Oregon Water Quality Index: a Tool for Evaluating Water Quality Manegment Effectiveness. Journal of the American water resources association, 2001.
5. Tania, M.; Radu, M.; Dan, V.; Rodica, V.; Mihnea, M. Water quality assessment of the Nadas River in terms of NFS Water quality. *Analele Universităţii din Oradea, Fascicula Protecţia Mediului* **2013**, 21, 649–654.
6. Sharmaa, P.; Meher, P.K.; Kumar, A.; Gautam, Y.P.; Mishra, K.P. Changes in water quality index of Ganges River at different locations in Allahabad. *Sustainability Water Qual. Ecol.* **2014**, 3–4, 67–76.
7. Swamee, P.; Tyagi, A. Improved method for aggregation of water quality subindices. *J. Environ. Eng.* **2007**, 133, 220–225.
8. Sarkar, C.; Abbasi, S.A. Qualidex - A new software for generating water quality indices. *Environ. Monit. Assess.* **2006**, 119, 201–231.
9. Štambuk–Giljanović, N. Comparison of Dalmatian water evaluation indices. *Water Environ. Res.* **2003**, 75, 388–405.
10. Sutadian, A.D., Muttill, N.; Yilma, A.; Perer, C. Development of River Water Quality Indices – A Review. *Environ. Monit. Assess.* **2016**, 188, 158.

## Evolution of water quality in the coastal area in Ho Chi Minh City during the period of 2016–2019

Le Ngoc Tuan<sup>1</sup>, Doan Thanh Huy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Science (VNU–HCMC); Intuan@hcmus.edu.vn

<sup>2</sup> Institute of Meteorology Hydrology Oceanography and Environment; dthanhhuy132@gmail.com

**Abstract:** In the context of fast population growth and economic development in the Saigon–Dong Nai River basin, the WQI (Vietnam) and CCME (Canada) indices were used to assess the evolution of coastal water quality in Ho Chi Minh City for the period of 2016–2019 based on periodical monitoring data (14 stations) and additional measurements (22 stations). In general, water quality gradually increased towards the sea and met the water use objectives (except for Pb in the downstream of Vam Co river, Long Tau river; TSS in the estuary and coastal areas). The water quality at low tide was usually worse than that at high tide (clearly recognized in inland rivers). The same trend was found in the rainy season (average–fair level) as compared to the dry (fair–good level). Recently, there have been signs of improved water quality in some estuaries and coastal areas, however, it is necessary to continuously strengthen and maintain the management of coastal water quality (pH, DO, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Coliform, E.Coli, Pb, Mn), especially in the upstream of Long Tau river, Soai Rap river, Dong Tranh estuary... In addition, it is recommended to use the CCME index in assessing coastal water quality to simultaneously consider the water quality in the continental and coastal areas. In order to improve management efficiency, it is necessary to study and evaluate the wastewater emission, surface water quality, and the load-carrying capacity of the area in the following years.

**Keywords:** Water quality index; Environmental pollution; Surface water; Coastal area.

Bài báo khoa học

## Dự báo chất lượng nước mặt vùng bờ thành phố Hồ Chí Minh đến năm 2030 phục vụ đánh giá khả năng tiếp nhận nước thải

Lê Ngọc Tuấn<sup>1\*</sup>, Trần Tuấn Hoàng<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Khoa học Tự nhiên–ĐHQG–TPHCM; lntuan@hcmus.edu.vn

<sup>2</sup> Phân viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi Khí hậu; hoangkttv@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: lntuan@hcmus.edu.vn; Tel.: +84–008371379

Ban Biên tập nhận bài: 12/4/2020; Ngày phản biện xong: 26/5/2021; Ngày đăng bài: 25/7/2021

**Tóm tắt:** Nghiên cứu nhằm đánh giá chất lượng nước (CLN) vùng bờ thành phố Hồ Chí Minh (TpHCM) đến năm 2030 (thông qua BOD, DO,  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P, TSS và Coliform) trong bối cảnh nước biển dâng (RCP4.5 và RCP8.5) theo các kịch bản xử lý nước thải (XLNT) khác nhau. Giai đoạn 2019–2030, nếu không cải thiện tình hình XLNT, các khu vực (và thông số ô nhiễm) đáng quan tâm gồm sông Soài Rạp, Lòng Tàu, Vàm Sát (TSS, BOD,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P vượt chuẩn nhiều lần), vùng ven bờ Long Hoà–Cần Thạnh (TSS,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P); khác với các vịnh và phạm vi cách bờ 3–6 hải lý có CLN tương đối tốt (ngoại trừ TSS, 2,5–3,5 lần quy chuẩn). Trong trường hợp đáp ứng hoặc đáp ứng tối đa các quy định về XLNT, CLN vùng bờ chuyên biến tích cực (BOD và  $\text{PO}_4^{3-}$ -P) trong giai đoạn 2020–2025 nhưng giảm dần vào các năm sau đó do gia tăng xả thải từ các hoạt động dân sinh, kinh tế. Cần lưu ý rằng, ngay cả đáp ứng tối đa về XLNT, nước mặt lục địa (thượng nguồn) vẫn có nguy cơ ô nhiễm với BOD,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P, TSS có thể tương đương 2–5 lần quy chuẩn vào năm 2030. Kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra nguồn thải nội vi đóng góp đáng kể BOD và  $\text{PO}_4^{3-}$ -P vào CLN vùng bờ, đồng thời khuyến nghị giảm số kịch bản RCP khi mô phỏng CLN ở tương lai gần do khác biệt giữa các trường hợp tương đối nhỏ.

**Từ khóa:** Nước mặt; Chất lượng nước; Chỉ số chất lượng nước; Vùng bờ.

### 1. Đặt vấn đề

Tài nguyên nước đóng vai trò quan trọng trong mối quan hệ với sự sống và các hoạt động phát triển kinh tế–xã hội (KT–XH). Tuy nhiên, quá trình khai thác và sử dụng đã tạo nên nhiều thách thức, đặc biệt đối với khía cạnh chất lượng nước (CLN) [1]. Theo đó, ngoài kiểm soát hiệu quả nguồn thải, giám sát chất lượng nguồn tiếp nhận, việc đánh giá, dự báo diễn biến CLN đóng vai trò quan trọng, cung cấp cơ sở hoạch định và thực thi các giải pháp quản lý có liên quan. Có nhiều phương pháp được sử dụng để đánh giá CLN: phương pháp mô hình hóa, như WASP [2–3], AQUATOX [4], DELFT3D [5], HEC–RAS, QUAL2K hay MIKE [6–7]; phương pháp quan trắc môi trường; phương pháp đánh giá tổng hợp CLN theo chỉ số CLN (WQI) [8–10]. Nhìn chung, tùy vào mục tiêu và quy mô nghiên cứu, các phương pháp nghiên cứu được lựa chọn sử dụng đơn lẻ hoặc kết hợp, phổ biến là bộ phần mềm thương mại hóa MIKE.

Lưu vực Sài Gòn–Đồng Nai là lưu vực chính thuộc vùng hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai, đóng vai trò quan trọng trong phát triển KT–XH, bao gồm sông Sài Gòn nhập lưu sông Đồng Nai tạo thành sông Nhà Bè (huyện Nhà Bè), sau đó chia thành sông Lòng Tàu (tả ngạn) và sông Soài Rạp (hữu ngạn) nhận nước sông Vàm Cỏ rồi đổ vào vịnh Đồng Tranh cùng với sông Đồng Tranh (nối các sông rạch nhỏ phía tây huyện Cần Giuộc). Sông Lòng Tàu và các sông Gò Gia, Thị Vải, sông

Thêu, Cái Mép phía đông huyện Cần Giò đổ vào vịnh Gành Rái. Nhiều nghiên cứu về CLN đã thực hiện tại lưu vực này nhưng chủ yếu trên các sông chính [11–12], chưa chi tiết và toàn diện trong mối quan hệ với dân số, kinh tế, bối cảnh biến đổi khí hậu (BĐKH) và nước biển dâng (NBD) ở phạm vi vùng bờ.

Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của kinh tế và dân sinh là sức ép hữu hình đến môi trường và CLN các thủy vực nhạy cảm, đặc biệt là vùng bờ TpHCM bởi tiếp nhận gần như toàn bộ nước thải dọc theo lưu vực sông Sài Gòn. Do vậy, bên cạnh công tác quan trắc, đánh giá hiện trạng CLN, việc tính toán, dự báo CLN có xét đến BĐKH và các kịch bản XLNT đóng vai trò quan trọng, hỗ trợ tích cực cho việc đánh giá khả năng tiếp nhận nước thải, cung cấp dữ liệu môi trường cần thiết phục vụ quy hoạch phát triển vùng bờ TpHCM đến năm 2030.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

Phạm vi đánh giá chất lượng nguồn nước là vùng bờ TpHCM, bao gồm toàn bộ diện tích đất liền của huyện Cần Giò và vùng biển ven bờ có ranh giới ngoài cách mép bờ 6 hải lý (khoảng 11 km) từ vịnh Gành Rái đến cửa Soài Rạp. Phạm vi thời gian: xét mùa khô, đến 2025–2030.

### 2.1. Phương pháp khảo sát, đo đạc, lấy mẫu nước mặt

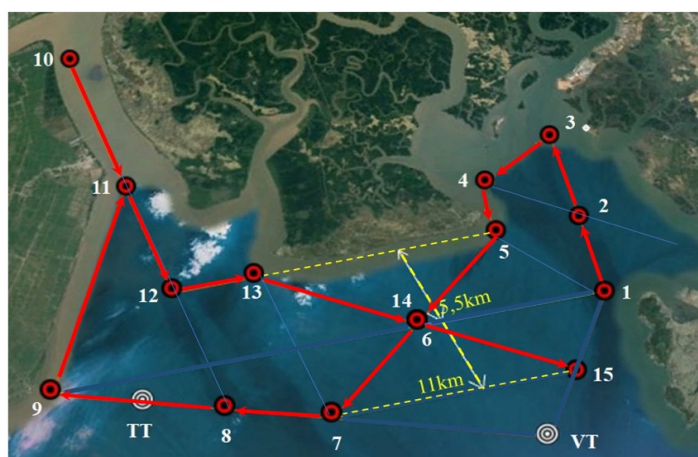
Các thông tin đo đạc, lấy mẫu nước phục vụ nghiên cứu được tổng hợp ở Bảng 1.

**Bảng 1.** Thông tin về hoạt động khảo sát, đo đạc, lấy mẫu nước.

Nội dung	Mục đích	Mô tả	Số mẫu	Thời gian	Thông số
Lấy mẫu nước mặt	Vị trí biên (Nhà Bè, Tân Thành, Vũng Tàu) (Hình 1)	3 vị trí * 1 mẫu/h * 24 h/ngđ * 2 ngđ	144	20–22 T4/2019	Nhiệt độ, pH, DO, BOD, SS, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P, Coliform
	Hiệu chỉnh–kiểm định (HC–KĐ) tại trạm Vàm Cỏ, Đồng Tranh, Ngã 7, Cái Mép	4 vị trí * 1 mẫu/h * 24 h/ngđ	96	20–21 T4/2019	
	CLN vùng vịnh và vùng biển ven bờ (Hình 2)	15 vị trí * 2 ngđ	30	14 và 21 T4/2019	
Đo thủy hải văn	Trạm cửa Soài Rạp	1 lần/h * 24 h/ngđ	49	20–21 T4/2019	H (cm), Q (m <sup>3</sup> /s)
	Trạm Vũng Tàu, Tân Thành	1 lần/h * 24 h/ngđ * 2 ngđ	98	20–21 T4/2019	Nhiệt độ, độ mặn, mực nước, sóng, vận tốc có hướng



**Hình 1.** Vị trí các biên, hiệu chỉnh–kiểm định chất lượng nước.



**Hình 2.** Vị trí lấy mẫu tại các vịnh và khu vực ven biển.

2.2. Phương pháp tính toán chỉ số CLN theo mô hình WQI-CCME

Để đánh giá tổng hợp xu thế biến đổi CLN (BOD, DO, TSS, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, Coliform) trên toàn phạm vi nghiên cứu đến 2030, áp dụng chỉ số WQI-CCME được đề xuất bởi Hội đồng Bộ trưởng Môi trường Canada (*Canadian Council of Ministers of Environment*). Bảng 2 trình bày thang điểm CCME phục vụ phân loại CLN nguồn tiếp nhận.

$$CCME = 100 - \left( \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right) \tag{1}$$

Trong đó F1 (phạm vi) là tỉ lệ giữa số thông số CLN không đạt chuẩn với tổng số các thông số được quan trắc; F2 (tần số) là số lần không đạt chuẩn với tổng số các kết quả quan trắc của tất cả các thông số; F3 (biên độ) là độ lớn của thông số không đạt chuẩn so với giá trị quy chuẩn của thông số đó; 1,732 là độ dài cực đại của vectơ tổ hợp giữa F1, F2 và F3.

**Bảng 2.** Thang điểm CCME phục vụ phân loại CLN nguồn tiếp nhận.

CCME	Chất lượng	Mô tả
95 – 100	Rất tốt	Không có mối đe dọa hoặc suy yếu về nguồn nước
80 – 94	Tốt	Nguồn nước được bảo vệ tương đối tốt
65 – 79	Trung bình	Nguồn nước đôi khi bị đe dọa hoặc suy yếu
45 – 64	Kém	Nguồn nước thường xuyên bị đe dọa hoặc suy yếu
0 – 44	Ô nhiễm nặng	Nguồn nước đang bị đe dọa hoặc suy yếu

2.3. Phương pháp mô hình hóa

2.3.1. Dữ liệu và quy trình tính toán

Quy trình tính toán, mô phỏng CLN được trình bày ở Hình 3.

(a) Tài liệu địa hình

Mặt cắt ngang lòng sông Sài Gòn và hệ thống kênh rạch chính trên địa bàn huyện Cần Giuộc do Tổng cục Khí tượng Thủy văn (cũ) – nay là Bộ TN&MT đo đạc năm 2003; đồng thời kế thừa từ các đề tài, dự án khác đề cập nhập, bổ sung vào mạng lưới tính toán.

Mạng lưới sông và các mặt cắt ngang sông được biên tập và minh họa ở Hình 5a.b. Để mô phỏng tương tác dòng chảy vùng cửa sông, mô hình MIKE 21FM được thiết lập giới hạn trong khu vực có kinh độ từ 652733 m – 775146 m và vĩ độ từ 1126543 m – 1187750 m. Dữ liệu địa hình sau khi nhập vào mô hình được xác định biên và chia lưới tính (lưới phi cấu trúc) với 7631 phần tử và 5342 nút lưới (Hình 5c). Biên cứng là đường bờ, biên lỏng là phần cửa vịnh tiếp giáp với vùng biển Vũng Tàu (Hình 5d, 5e).

(b) Tài liệu thủy văn đối với mô hình Mike Nam và mô hình thủy lực một chiều Mike 11

Bộ số liệu do Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ đo đạc năm 2019 được sử dụng làm các điều kiện biên. Biên thượng nguồn (Q~t) là lưu lượng xả tại hồ Dầu Tiếng và hồ Trị An (trung bình ngày). Biên hạ nguồn (H~t) là mực nước tại trạm Vũng Tàu và Tân An (mực nước giờ).

Bộ số liệu tính toán, HC-KĐ mô hình: sử dụng số liệu đo đạc mực nước và vận tốc tại các trạm Phú An, Tam Thôn Hiệp, Cửa Đồng Tranh và Cửa Ngã Bảy từ 29-31/03/2017 để hiệu chỉnh và từ 3-5/03/2018 để kiểm định mô hình.

(c) Tài liệu thủy văn đối với mô hình thủy lực hai chiều Mike 21

Sau khi HC-KĐ, tính toán mô hình MIKE 11HD trong điều kiện mùa khô, tiến hành xuất kết quả lưu lượng, mực nước làm biên đầu vào cho mô hình MIKE 21HD. Sử dụng dao

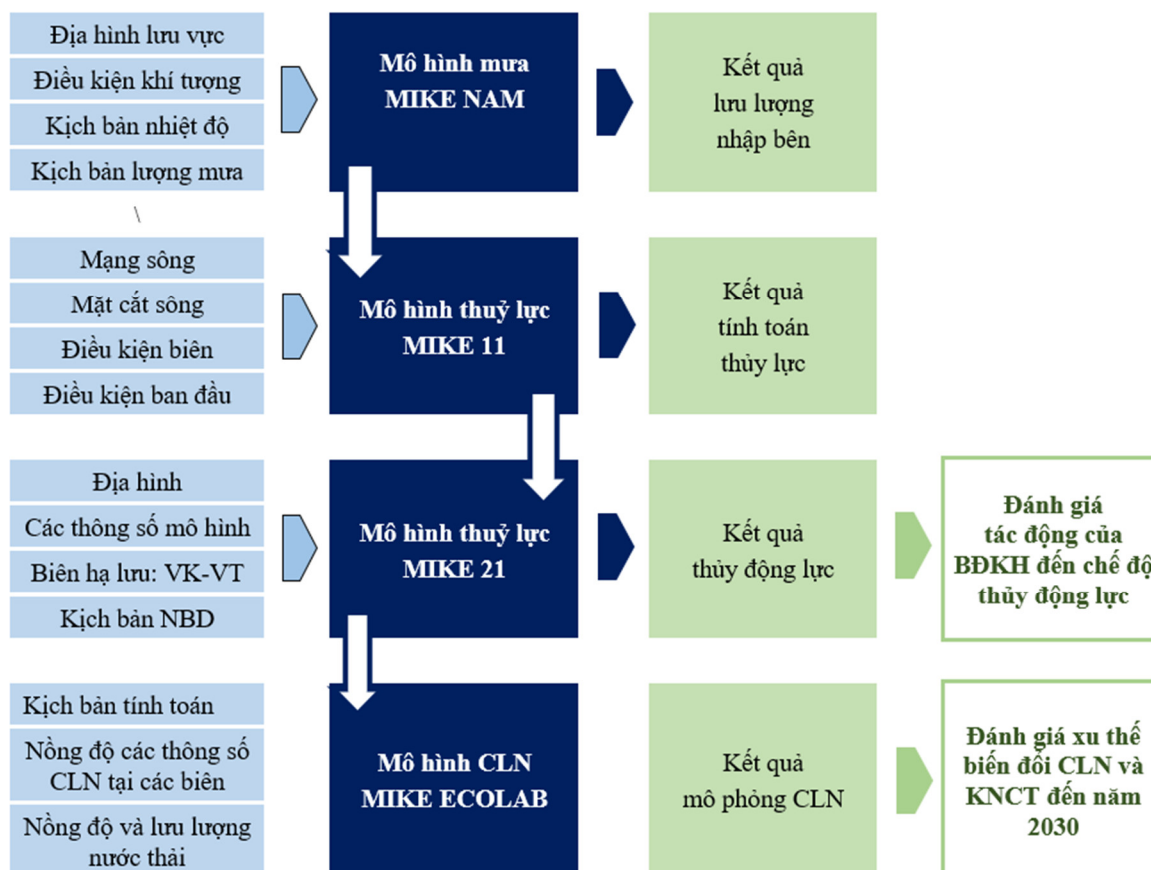


động mực nước tại biên lòng Nhà Bè và Vàm Cỏ; sử dụng lưu lượng tại biên lòng Thị Vải; sử dụng mực nước giờ Vàm Kênh–Vũng Tàu tại biên lòng Vũng Tàu.

Bộ số liệu tính toán, HC–KĐ mô hình: sử dụng số liệu đo đạc mực nước và vận tốc tại các trạm Nhà Bè, Ngã Bảy và Vàm Cỏ vào 29–31/03/2017 để hiệu chỉnh và 20–22/04/2019 để kiểm định mô hình.

(d) Tài liệu kịch bản BĐKH

Kế thừa kịch bản biến đổi nhiệt độ, lượng mưa, mực nước năm 2025 và 2030 (RCP4.5, RCP8.5) so với giai đoạn 1986–2005: mức tăng nhiệt độ giữa các kịch bản khá đồng đều, dao động 0,45–0,8°C [13]; mức tăng lượng mưa chênh lệch không đáng kể, khoảng 7,6–10,4% [14]; mực NBD đến năm 2030 khoảng 12 cm trong tất cả các kịch bản [15].



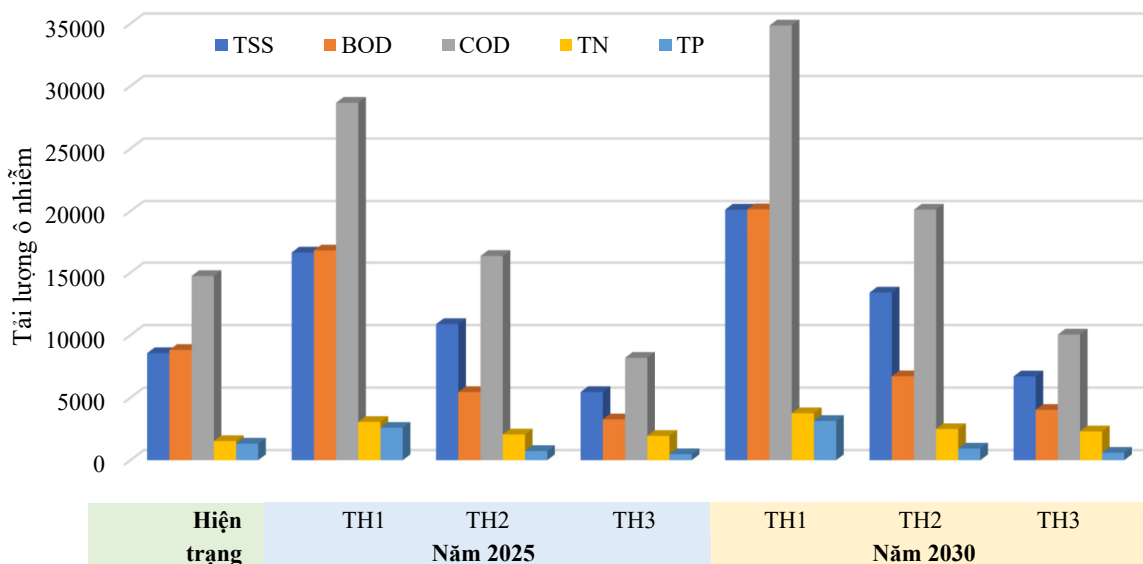
Hình 3. Quy trình tính toán chất lượng nước bằng phương pháp mô hình hóa.

(e) Tài liệu về chất lượng nước

Nguồn thải nội vi vùng bờ hiện phân thành 76 điểm thải chính, tập trung trên sông Nhà Bè, Soài Rạp, Lòng Tàu và Cái Mép. Để đánh giá CLN nguồn tiếp nhận trong mối quan hệ với XLNT và quản lý nguồn thải tại địa phương, các kịch bản phát thải được xây dựng bao gồm: Phát thải cao – TH1 (XLNT trong tương lai không thay đổi so với hiện trạng); Phát thải trung bình – TH2 (XLNT đáp ứng các quy chuẩn xả thải tương ứng và mục tiêu CLN của nguồn tiếp nhận, hướng đến mục tiêu phát triển bền vững); Phát thải thấp – TH3 (XLNT đáp ứng tối đa/ đạt mức cao nhất các quy chuẩn xả thải tương ứng nhằm tối ưu hoá chất lượng nguồn nước, tạo động lực quản lý môi trường tại địa phương). Tải lượng một số chất ô nhiễm trong nước thải tại vùng bờ TpHCM ước tính đến năm 2030 được thể hiện ở Hình 4 và Bảng 3. (Chi tiết dữ liệu không được đề cập trong bài báo này).

Các quy chuẩn tham chiếu: QCVN 08:2015/BTNMT về chất lượng nước mặt lục địa (áp dụng cột B1–mục đích tưới tiêu, thủy lợi); QCVN 10:2015/BTNMT về chất lượng nước biển

(áp dụng cho vùng nuôi trồng thủy sản, bảo tồn thủy sinh ven bờ); QCVN 11:2015/BTNMT về nước thải chế biến thủy sản; QCVN 14:2015/BTNMT về nước thải sinh hoạt; QCVN 40:2011/BTNMT về nước thải công nghiệp; QCVN 62:2016/BTNMT về nước thải chăn nuôi; QCVN 02–19:2014/BNNPTNT về cơ sở nuôi tôm nước lợ – điều kiện bảo đảm vệ sinh thú y, bảo vệ môi trường và an toàn thực phẩm; QCVN 01–79:2011/BNNPTNT về cơ sở chăn nuôi gia súc, gia cầm–quy trình kiểm tra, đánh giá điều kiện vệ sinh thú y.



Hình 4. Tài lượng ô nhiễm trong nước thải phát sinh tại vùng bờ TpHCM đến năm 2030.

Bảng 3. Tài lượng ô nhiễm phân theo loại nguồn thải (tấn).

Nguồn thải	Hiện trạng					Năm 2030 – TH1				
	TSS	BOD	COD	TN	TP	TSS	BOD	COD	TN	TP
Sinh hoạt	466,7	353,4	919,8	81,6	74,3	2.612,0	1.978,0	5.147,8	456,5	415,9
Du lịch	22,1	16,8	43,6	3,9	3,5	87,2	66,1	171,9	15,2	13,9
Công nghiệp	6,6	7,2	10,4	8,9	1,1	182,0	200,8	288,7	247,3	30,1
Chăn nuôi	210,2	336,4	504,6	56,1	21,0	219,0	350,4	525,6	58,4	21,9
Thủy sản	7.854,0	8.099,5	13.253,7	1.374,5	1.227,2	17.017,0	17.548,7	28.716,1	2.978,0	2.658,9
<b>Tổng cộng</b>	<b>8.559,7</b>	<b>8.813,3</b>	<b>14.732,1</b>	<b>1.524,9</b>	<b>1.327,1</b>	<b>20.117,2</b>	<b>20.144,0</b>	<b>34.850,2</b>	<b>3.755,4</b>	<b>3.140,7</b>

Ghi chú: TN và TP lần lượt là Tổng Nito và Tổng Photpho

Sau khi HC-KĐ, tính toán MIKE 21HD trong điều kiện mùa khô (tháng 4), tiến hành mô phỏng các thông số CLN bằng mô đun MIKE 21ECOLAB tương ứng với các 02 kịch bản ĐKKH (RCP4.5 và RCP8.5) và 03 kịch bản XLNT đã thiết lập.

Trên cơ sở số liệu thực đo, điều kiện ban đầu của BOD, DO, TSS, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, Coliform, nhiệt độ, độ muối và vận tốc gió lần lượt được gán là 4,5 mg/l, 0,6 mg/L, 160 mg/L, 0,63 mg/L, 0,04 mg/L, 0,02 mg/L, 1/100 mL, 27°C, 28 psu và 2 m/s.

(f) Đánh giá hiệu quả mô phỏng

Hiệu quả mô phỏng thủy lực: Các thông số mô hình được xác định bằng cách tính toán và thử sai. Hiệu chỉnh các thông số đối với khu vực sao cho kết quả tính toán phù hợp với số liệu thực đo. Hiệu quả mô phỏng được đánh giá thông qua hệ số Nash–Sutcliffe (NSE) và R<sup>2</sup>, đạt mức khá và tốt khi NSE và R<sup>2</sup> lần lượt trong khoảng 0,65–0,85 và trên 0,85.

Hiệu quả mô phỏng CLN: được đánh giá thông qua sai số giữa kết quả mô phỏng CLN và số liệu thực đo tại khu vực nghiên cứu.

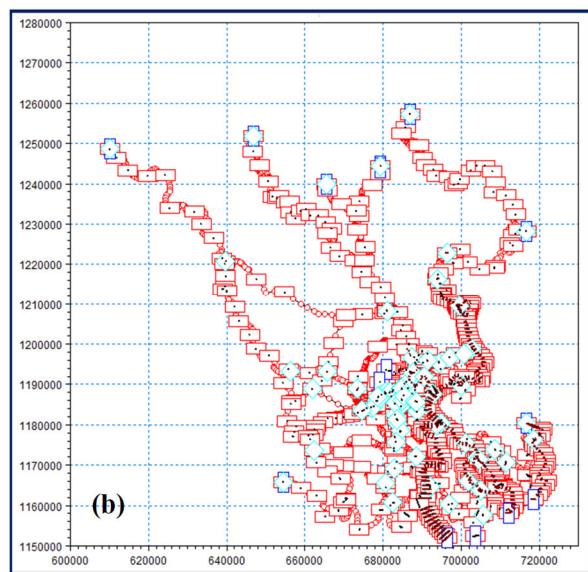
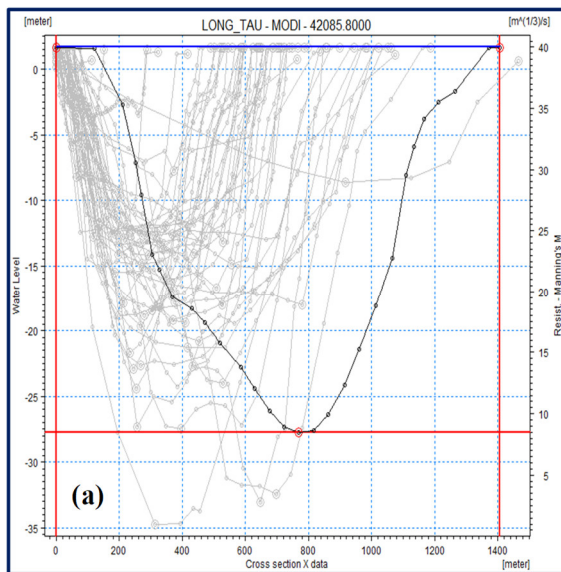
2.3.2. Các kịch bản tính toán

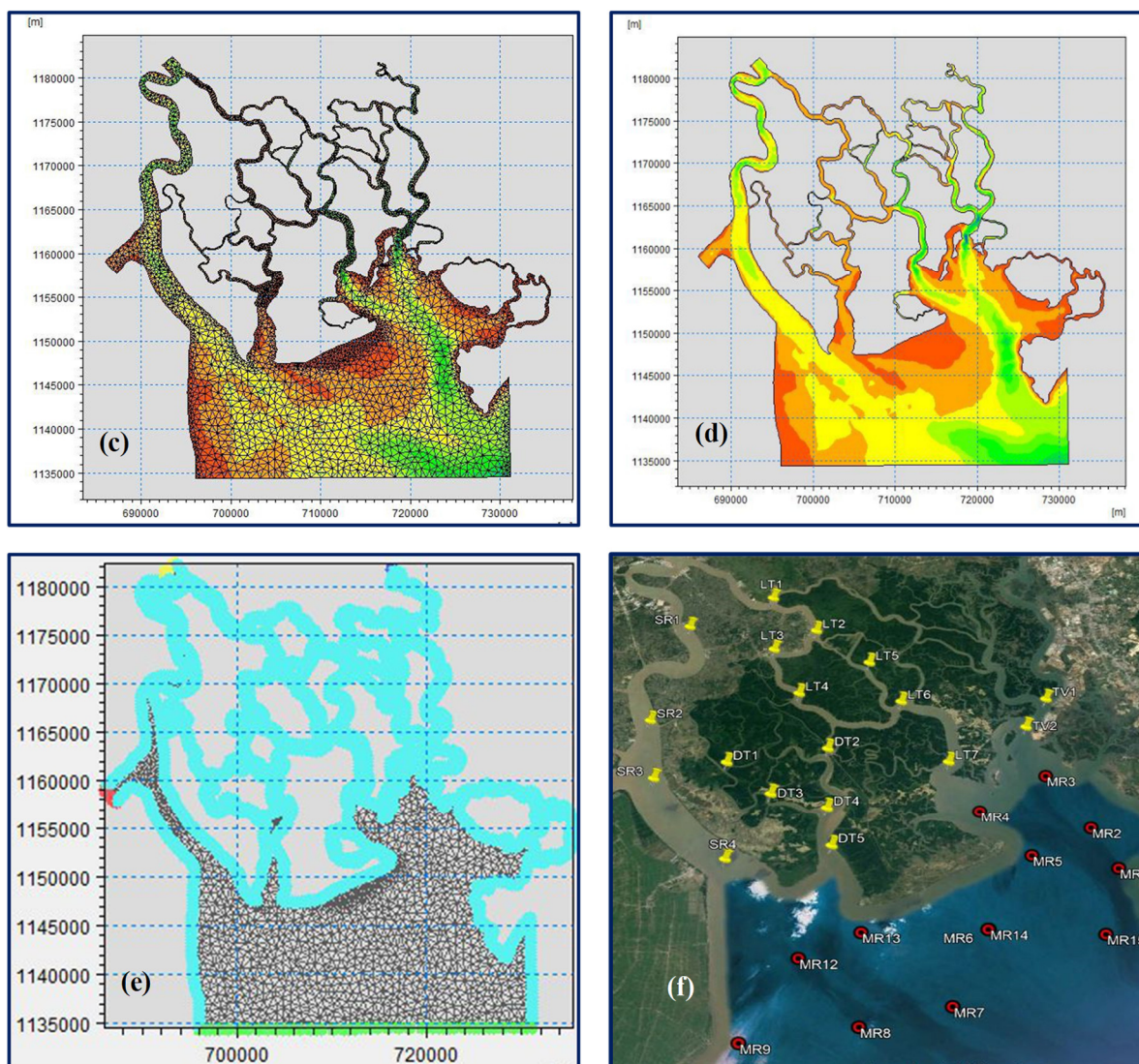
Các kịch bản mô phỏng CLN tại khu vực nghiên cứu được tóm tắt ở Bảng 4. Các tổ hợp so sánh, đánh giá như sau:

- Biến đổi CLN theo các kịch bản BĐKH: KB2 và KB3; KB4 và KB10
- Biến đổi CLN theo thời gian, XLNT như hiện tại: KB1–KB3–KB4; KB1– KB11
- Biến đổi CLN theo thời gian, XLNT đáp ứng các quy định: KB1–KB8–KB5
- Biến đổi CLN theo thời gian, XLNT đáp ứng tối đa các quy định: KB1–KB9–KB6
- Khả năng chi phối CLN vùng bờ của các nguồn thải nội vi: KB3 và KB7; KB4 và KB12.

**Bảng 4.** Các kịch bản mô phỏng CLN tại khu vực nghiên cứu.

Năm	Kịch bản XLNT nội vi vùng bờ	Điều kiện biên CLN Nhà Bè	KB BĐKH	Kí hiệu
2019	Hiện trạng	Hiện trạng	–	KB1
2025	Tương tự hiện trạng	Tăng 10% so với hiện trạng	RCP4.5	KB2
		Tăng 10% so với hiện trạng	RCP8.5	KB3
	Đáp ứng quy chuẩn xả thải	Tăng 10% so với hiện trạng	RCP8.5	KB8
	Đáp ứng tối đa quy chuẩn xả thải	Tăng 10% so với hiện trạng	RCP8.5	KB9
	Không xét nguồn thải nội vi	Tăng 10% so với hiện trạng	RCP8.5	KB7
2030	Tương tự hiện trạng	Tăng 20% so với hiện trạng	RCP4.5	KB10
		Tăng 20% so với hiện trạng	RCP8.5	KB4
		Tăng 30% so với hiện trạng	RCP8.5	KB11
		Tương tự hiện trạng	RCP8.5	KB12
	Đáp ứng quy chuẩn xả thải	Tăng 20% so với hiện trạng	RCP8.5	KB5
	Đáp ứng tối đa quy chuẩn xả thải	Tăng 20% so với hiện trạng	RCP8.5	KB6





**Hình 5.** (a) Minh họa mặt cắt trên sông Lòng Tàu; (b) Mạng sông thiết lập trong Mike 11; (c) Chia lưới tam giác trong Mike 21FM; (d) Địa hình đáy cho mô hình Mike 21; (e) Biên tính toán trong Mike 21 HD; (f) Các vị trí đại diện CLN vùng bờ TpHCM.

### 3. Kết quả nghiên cứu

#### 3.1. Kết quả hiệu chỉnh–kiểm định các mô hình tính toán

MIKE 11: Bộ hệ số nhám sau hiệu chỉnh (từ 20–60 tùy đoạn sông) phân bố giảm dần về phía hạ nguồn (do thượng nguồn có độ nhám bề mặt cao, nhiều lớp phủ thực vật và vật cản, sông có nhiều uốn khúc, quanh co...), được dùng để tính toán thủy lực phục vụ kiểm định mô hình. Bảng 5 cho thấy hệ số NASH và  $R^2$  khá cao (0,90–0,99 và 0,84–0,97 tương ứng với h và v), phản ánh kết quả tính toán và dữ liệu thực đo tương đối tương đồng, đủ tin cậy để mô phỏng thủy lực tại khu vực nghiên cứu đến năm 2030, có xem xét các kịch bản BĐKH, chủ đạo là kịch bản NBD.

MIKE 21: Bảng 5 cũng cho thấy kết quả tính toán phù hợp với dữ liệu thực đo, hệ số  $R^2$  ở các trạm tương đối cao (> 0,9), theo đó, mô hình MIKE 21 đủ tin cậy để mô phỏng chế độ thủy lực và lan truyền chất tương ứng với các kịch bản tính toán.

**Bảng 5.** Hiệu quả HC-KĐ mô hình MIKE 11 và MIKE 21 đối với mực nước (h) và vận tốc (v).

Mô hình	Trạm	Hiệu chỉnh				Kiểm định			
		NASH		R <sup>2</sup>		NASH		R <sup>2</sup>	
		h	v	h	v	h	v	h	v
MIKE 11	Phú An	0,96	0,96	0,99	0,97	0,90	0,96	0,97	0,96
	Tam Thôn Hiệp	0,97	0,91	0,99	0,91	0,97	0,89	0,98	0,93
	Đồng Tranh	0,98	0,87	0,99	0,87	0,96	0,88	0,97	0,89
	Ngã Bảy	0,98	0,87	0,99	0,90	0,95	0,84	0,97	0,87
MIKE 21	Nhà Bè	-	-	0,99	0,94	-	-	0,98	0,93
	Vàm Cỏ	-	-	0,98	0,93	-	-	0,98	0,91
	Ngã Bảy	-	-	0,96	0,93	-	-	0,96	0,95

Mô hình CLN: Hiệu quả mô phỏng CLN phụ thuộc nhiều yếu tố như phân bố tải lượng ô nhiễm, độ tin cậy của kết quả quan trắc hay các quá trình phức tạp trong Modul Ecolab... Kết quả hiệu chỉnh mô hình CLN từ 21:00, 20/04/2019 đến 21:00, 21/04/2019 (Bảng 6) cho thấy:

- BOD, DO, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, nhiệt, độ mặn: sai số nhỏ, kết quả mô phỏng tin cậy.
- NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N: sai số trung bình, kết quả mô phỏng tương đối chính xác.
- TSS, Coliform: sai số tương đối lớn, độ tin cậy chấp nhận được

**Bảng 6.** Sai số (%) giữa kết quả mô phỏng và giá trị thực đo các thông số CLN.

TRẠM	TSS	DO	BOD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Coliform	Nhiệt độ	Độ mặn
Đồng Tranh	21,1	1,13	0,22	0,002	0,18	0,18	4,2	2,3	0,63
Ngã 7	32,3	1,7	3,8	17,4	3,6	3,1	59,6	1,9	1,3
Cái Mép	9,6	0,82	0,28	0,01	0,09	0,09	6,67	1,6	1,5

### 3.2. Chất lượng nước mặt đến năm 2030 theo các kịch bản BĐKH và xử lý nước thải

Bảng 7-8 trình bày kết quả mô phỏng các thông số CLN (BOD, DO, TSS, Coliform, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N và PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P) và chỉ số tổng hợp WQI-CCME đến năm 2030 có xét đến NBD và các kịch bản XLNT khác nhau. Các vị trí đại diện phục vụ đánh giá CLN vùng bờ TpHCM được thể hiện ở Hình 5f.

#### 3.2.1. Biến đổi CLN theo thời gian giả định XLNT như hiện tại: KB1-KB3-KB4; KB1- KB11

Từ nay đến năm 2030, giả định tình hình XLNT không được cải thiện, CLN vùng bờ sẽ suy giảm dần bởi sự gia tăng tải lượng ô nhiễm từ nước thải của các hoạt động dân sinh, kinh tế. Bảng 8 cho thấy ở hiện trạng, CCME nước biển ven bờ là 78 (từ 47-83, chỉ 3/13 vị trí ở mức trung bình và kém) và nước mặt lục địa là 59 (từ 26-83 với 8/16 vị trí ở mức kém và ô nhiễm nặng). Năm 2030, tuy CCME vùng ven biển và lục địa thay đổi không đáng kể, lần lượt đạt 75 và 51 (KB4), nhưng phạm vi suy giảm CLN mở rộng hơn, tương ứng 7/13 và 11/16 vị trí ở mức trung bình trở xuống.

Các thông số CLN đáng quan tâm (KB4) như TSS (hàm lượng trong nước mặt lục địa và nước biển ven bờ tương đương 3-8 lần và 2,5-3,5 lần quy chuẩn), BOD (khoảng 8,5-13,5 lần, 3-13 lần và 2-10 lần quy chuẩn lần lượt trên sông Soài Rạp, Lòng Tàu và Vàm Sát), PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P (khoảng 2-3 lần quy chuẩn trong phạm vi lục địa và 2,5-3 lần quy chuẩn tại vùng cửa sông đổ vào các vịnh) và Coliform (tương đương 4,5-6 lần trên sông Soài Rạp và Lòng Tàu). Trong đó, BOD và PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P gia tăng đáng kể so với hiện trạng, tương ứng 123% (37-216%) và 52% (29-75%) trên sông Soài Rạp, 89% (12-145%) và 18% (11-25%) trên sông Lòng Tàu (Bảng 7). Trong trường hợp gia tăng tải lượng ô nhiễm ngoại vi (KB11), CLN vùng bờ càng suy giảm: chuyển biến khá rõ nét (so với KB4) trong phạm vi lục địa, nhất là thượng nguồn sông Soài Rạp và Lòng Tàu, nhưng không đáng kể tại các vịnh và vùng biển ven bờ do tương tác thủy lực sông-biển mạnh mẽ nơi đây.

Về phân bố không gian, càng hướng ra vùng cửa sông, ven biển, sự trao đổi nước càng được tăng cường, thúc đẩy quá trình pha loãng/ khuếch tán chất ô nhiễm, theo đó, CLN dần được cải thiện (Hình 6). Chỉ số CCME giúp nhận diện các khu vực có nguy cơ ô nhiễm như sông Soài Rạp, sông

Lòng Tàu, sông Vàm Sát (TSS, BOD,  $PO_4^{3-}-P$ , Coliform), khu vực ven bờ Long Hoà – Cần Thạnh (TSS,  $PO_4^{3-}-P$ ). CLN tại vịnh Đổng Tranh, vịnh Gành Rái cũng như khu vực cách bờ 3–6 hải lý tương đối tốt, thường chịu ảnh hưởng bởi phù sa từ các cửa sông (TSS).

### 3.2.2. Biến đổi CLN theo thời gian giả định XLNT đáp ứng các quy định: KB1–KB8–KB5

Trong trường hợp kiểm soát được nước thải nội vi vùng bờ theo các quy chuẩn kỹ thuật tương thích, tải lượng ô nhiễm xả thải vào các nguồn tiếp nhận giảm đi đáng kể. Theo đó, năm 2025 so với hiện trạng (KB8 vs. KB1), một số thông số CLN có dấu hiệu chuyển biến tích cực như BOD (giảm 36–39% trên sông Soài Rạp và Lòng Tàu, nhưng vẫn vượt chuẩn), Coliform (đáp ứng quy chuẩn) hoặc gia tăng không đáng kể như TSS (luôn vượt chuẩn). Giai đoạn 2025–2030, tăng trưởng dân số và phát triển kinh tế tại vùng bờ TpHCM tất yếu làm gia tăng nhu cầu sử dụng nước cũng như lượng nước thải phát sinh, tác động tiêu cực đến CLN nguồn tiếp nhận. So với năm 2025 (KB8), nồng độ BOD và TSS năm 2030 (KB5) tăng 57% (26–93%) và 10% (2–15%) trên sông Soài Rạp, 33% (28–46%) và 7% (2–16%) trên sông Lòng Tàu (Hình 7a, 7b).

Nhìn chung, CLN cũng phân bố tăng dần về phía biển. Năm 2030, nguồn nước vùng bờ (KB5) ít nguy cơ ô nhiễm hơn so với trường hợp không xem xét cải thiện hiệu quả XLNT (KB4) (cả về số lượng thông số, mức độ vượt chuẩn và phạm vi ô nhiễm): CCME vùng ven bờ và trong lục địa lần lượt là 81 và 61, chỉ 1/13 và 7/16 vị trí CLN từ mức kém trở xuống. Cụ thể, sông Soài Rạp có CCME đạt 33 (từ 28–49), ô nhiễm nặng (nồng độ BOD,  $PO_4^{3-}-P$  và TSS lần lượt tương đương 7–12,5 lần, 2–3 lần và 4–7,5 lần quy chuẩn), thông tin tương tự cho sông Lòng Tàu là 57 (từ 38–83), CLN kém đến trung bình (BOD,  $PO_4^{3-}-P$  và TSS khoảng 1,5–9,5 lần, 2–3 lần và 3–5,5 lần quy chuẩn), đối với các vịnh và vùng biển ven bờ là 81 (từ 60–84), CLN tốt (TSS khoảng 2,5–4 lần quy chuẩn).

Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, việc tăng cường kiểm soát nguồn thải và XLNT trong thời gian tới rất quan trọng và cấp thiết, đặc biệt trong giai đoạn 2020–2025, góp phần nâng cao tính khả thi và triển vọng quản lý hiệu quả chất lượng nước mặt vùng bờ TpHCM.

### 3.2.3. Biến đổi CLN theo thời gian giả định XLNT đáp ứng tối đa các quy định: KB1–KB9–KB6

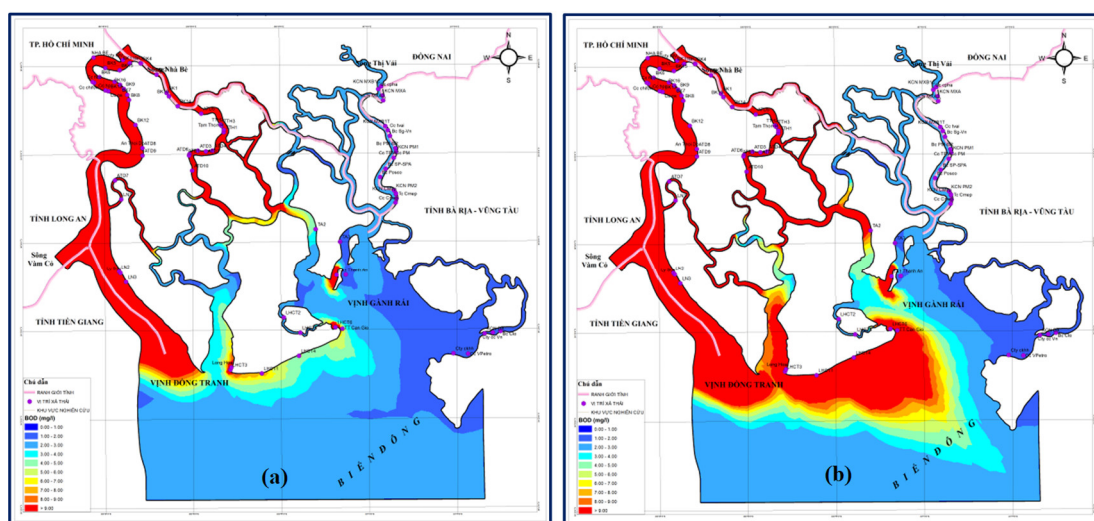
Kết quả mô phỏng cho thấy đây là trường hợp khả quan nhất về CLN nguồn tiếp nhận. Tương tự như trên, các thông số CLN đáng quan tâm gồm BOD,  $PO_4^{3-}-P$ , TSS nhưng cải thiện đáng kể về mức độ và phạm vi ô nhiễm (Hình 7c, 7d). Năm 2030, so với quy chuẩn, nồng độ các thông số nêu trên (KB6) lần lượt tương đương 3–5 lần, 2–3 lần, 3,5–5 lần tại thượng nguồn sông Soài Rạp (tính đến hợp lưu với sông Vàm Cỏ), 4 lần, 1,5–2 lần, 3–5 lần trên sông Vàm Sát (gần hợp lưu với sông Soài Rạp) và 2,5–3 lần, 1,5–3,5 lần, 3–5 lần tại thượng nguồn sông Lòng Tàu (LT1–LT3, trước khi chảy qua khu vực rừng ngập mặn). CLN tại các vịnh và vùng ven biển nhìn chung khá tốt, đáp ứng quy chuẩn.

### 3.2.4. Khả năng chi phối CLN vùng bờ của các nguồn thải nội vi: KB3 và KB7; KB4 và KB12

Nhằm đánh giá ảnh hưởng của nguồn thải nội vi, CLN vùng bờ năm 2025 được mô phỏng với giả định không có tải lượng ô nhiễm đóng góp từ những nguồn thải này (KB7). Kết quả cho thấy, ngoại trừ TSS (tương đương 2,5–5 lần quy chuẩn, Hình 7e, 7f), 06 thông số còn lại ở KB7 đều đáp ứng quy định đối với nguồn tiếp nhận. Theo đó, CCME đạt mức trung bình và tốt lần lượt đối với nước mặt lục địa và nước biển ven bờ. Xem xét đồng thời với KB3 nêu trên, có thể thấy nguồn thải nội vi chi phối đáng kể CLN vùng bờ, nhất là khu vực lục địa (chênh lệch khá lớn giữa KB3 vs. KB7), rõ nét với BOD (trung bình 32–33 lần (dao động 12–60 lần) trên sông Soài Rạp, Lòng Tàu và 2–3 lần trên sông Đổng Tranh) và  $PO_4^{3-}-P$  (số liệu tương tự là 31–35 lần và 15,5–17,5 lần). Nói cách khác, nguồn thải nội vi đóng góp đáng kể BOD và  $PO_4^{3-}-P$  vào CLN vùng bờ. Bên cạnh đó, kết quả nghiên cứu còn chỉ ra sự chuyển biến tiêu cực CLN trên toàn phạm vi vùng bờ khi gia tăng tình trạng ô nhiễm nguồn nước ngoại vi trước khi đến biên đầu vào tại trạm Nhà Bè (KB12 và KB4). (Dữ liệu KB7 và KB12 không được trình bày chi tiết trong bài báo này).

3.2.5. Biến đổi CLN theo các kịch bản BĐKH: KB2 và KB3; KB4 và KB10

Bảng 8 cho thấy không nhiều khác biệt về CLN giữa 02 kịch bản BĐKH (RCP4.5 và RCP8.5) tại cùng một mốc thời gian đánh giá, cũng như giữa 2 mốc thời gian liên kế (2025 và 2030) với cùng một kịch bản BĐKH. Điều này có thể giải thích thông qua sự thay đổi không đáng kể lưu lượng dòng chảy và độ cao mực nước theo sau sự ít biến đổi nhiệt độ, lượng mưa và mực nước biển trong thời đoạn nghiên cứu. Cụ thể, CLN được mô phỏng với bước nhảy 5 năm trong tổng thời gian khoảng 10 năm (tính đến 2030) là khoảng thời gian khá ngắn để những thay đổi khí hậu và NBD biểu hiện rõ nét, tức chênh lệch giữa các kịch bản RCP và giữa các mốc thời gian tương đối thấp (thường đáng kể ở nửa sau thế kỉ 21). Thêm vào đó, CLN được mô phỏng trong mùa khô tại vùng ven biển nên điều kiện thủy lực chịu chi phối chủ yếu bởi mực NBD trong bối cảnh BĐKH. Do đó, khuyến nghị chỉ xem xét 1 kịch bản BĐKH cho các mô phỏng đến năm 2030.



Hình 6. Biến đổi nồng độ BOD giai đoạn 2019–2030: XLNT như hiện trạng: (a) KB1 và (b) KB4.

Bảng 7. Kết quả mô phỏng CLN vùng bờ đến năm 2030 theo các kịch bản XLNT và BĐKH.

KHU VỰC	VỊ TRÍ	KB1 - HIỆN TRẠNG								KB8 - NĂM 2025					KB11 - NĂM 2030							
		BOD	DO	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	TSS	Coliform	BOD	DO	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	TSS	Coli	BOD	DO	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	TSS	Coliform
Sông Soài Rạp	SR1	196,3	1,0	0,03	0,42	0,99	312,5	42.000	153,3	1,1	0,02	0,26	0,99	326,7	3.900	198,9	1,0	0,0	0,2	1,0	399,0	43.000
	SR3	59,8	4,2	0,05	0,72	0,41	280,4	26.000	54,7	4,9	0,05	0,66	0,57	300,8	140	130,9	1,2	0,0	0,6	0,7	327,6	28.000
	SR4	22,3	6,7	0,04	0,51	0,35	171,4	1.900	11,1	6,7	0,04	0,57	0,29	179,0	260	70,8	1,4	0,0	0,6	0,4	254,1	2.400
Sông Vàm Sát	DT1	7,0	5,1	0,04	0,59	0,04	182,2	6.400	55,8	3,1	0,04	0,58	0,47	234,0	210	157,2	1,2	0,0	0,5	0,8	217,2	9.500
	DT3	2,9	6,9	0,04	0,59	0,05	155,4	280	4,9	5,9	0,04	0,58	0,05	166,1	210	35,0	1,8	0,0	0,6	0,2	216,0	500
	DT4	3,6	7,6	0,04	0,59	0,31	150,2	530	2,9	7,8	0,04	0,59	0,04	150,4	200	8,0	4,8	0,0	0,6	0,3	156,5	530
Sông Đồng Tranh	LT3	47,3	2,8	0,03	0,46	0,89	156,1	29.000	33,2	1,8	0,03	0,42	0,42	162,2	390	88,3	1,3	0,0	0,4	1,0	214,6	30.000
	LT4	24,8	4,9	0,04	0,57	0,75	145,7	3.000	22,9	4,7	0,04	0,55	0,27	153,3	260	55,2	1,4	0,0	0,5	1,0	197,2	4.000
	DT2	3,6	7,0	0,04	0,58	0,15	150,4	260	2,7	6,9	0,04	0,59	0,05	150,5	200	7,9	3,7	0,0	0,6	0,2	172,1	290
	DT5	4,5	7,7	0,04	0,58	0,39	150,1	900	3,5	7,9	0,04	0,58	0,05	150,1	210	10,7	5,4	0,0	0,6	0,4	155,2	930
Sông Lòng Tàu	LT1	194,2	2,3	0,03	0,36	0,98	230,2	44.000	108,7	1,3	0,03	0,32	0,98	243,9	4.000	196,9	1,1	0,0	0,3	1,0	297,4	46.000
	LT2	145,9	2,8	0,03	0,37	0,97	211,7	35.000	94,8	1,9	0,03	0,38	0,87	226,7	1.600	171,1	1,2	0,0	0,3	1,0	276,5	39.000
	LT6	19,8	4,6	0,04	0,43	0,58	143,0	1.900	17,4	4,6	0,04	0,43	0,22	152,1	239	49,6	1,6	0,0	0,4	0,7	182,9	2.100
S. Thị Vải	TV1	2,4	5,4	0,05	0,57	0,02	158,8	340	2,5	5,4	0,05	0,57	0,02	157,9	340	2,4	5,1	0,1	0,5	0,0	156,4	350
	TV2	2,2	5,4	0,05	0,46	0,02	154,6	260	2,2	5,4	0,05	0,46	0,02	154,7	260	2,2	5,1	0,0	0,5	0,0	153,7	280
Vịnh Đồng Tranh	MR9	2,4	7,1	0,0	0,5	0,0	180,4	260	2,4	6,9	0,0	0,5	0,0	180,4	230	2,4	5,4	0,0	0,5	0,0	196,9	280
	MR12	2,3	6,7	0,0	0,5	0,0	161,3	290	2,3	6,7	0,0	0,5	0,0	173,5	200	6,1	5,1	0,0	0,5	0,1	175,6	300
	MR13	3,4	6,9	0,0	0,3	0,3	141,4	530	2,0	7,2	0,0	0,3	0,0	143,1	210	9,6	5,0	0,0	0,3	0,3	154,0	530
Vùng biển Ven bờ	MR5	3,4	7,5	0,0	0,5	0,2	140,7	400	1,8	7,7	0,0	0,5	0,0	159,3	210	10,5	4,5	0,0	0,5	0,3	169,4	440
	MR14	2,3	7,6	0,0	0,3	0,2	129,9	280	1,9	7,9	0,0	0,3	0,0	160,3	200	11,3	5,3	0,0	0,3	0,3	179,7	290
	MR15	1,9	6,7	0,0	0,4	0,1	137,2	210	1,9	6,8	0,0	0,4	0,0	167,8	200	5,1	5,1	0,0	0,4	0,1	209,2	240
	MR7	2,3	5,8	0,0	0,5	0,0	153,6	240	2,3	5,8	0,0	0,5	0,0	173,5	220	2,3	5,3	0,0	0,5	0,0	195,9	260
Vịnh Gành Rái	MR1	1,7	6,3	0,0	0,4	0,0	138,8	230	1,6	6,3	0,0	0,4	0,0	147,7	200	2,9	5,3	0,0	0,4	0,1	158,5	240
	MR2	1,9	5,9	0,0	0,4	0,0	139,2	260	1,8	6,0	0,0	0,4	0,0	140,9	240	2,7	5,3	0,0	0,4	0,1	145,7	280
	MR3	2,0	5,6	0,0	0,4	0,0	143,0	230	2,0	5,5	0,0	0,4	0,0	144,8	220	2,0	5,2	0,0	0,4	0,0	151,9	240
	MR4	2,3	5,7	0,0	0,5	0,1	136,9	430	1,7	5,8	0,0	0,5	0,0	139,3	210	3,8	4,5	0,0	0,5	0,1	143,3	440

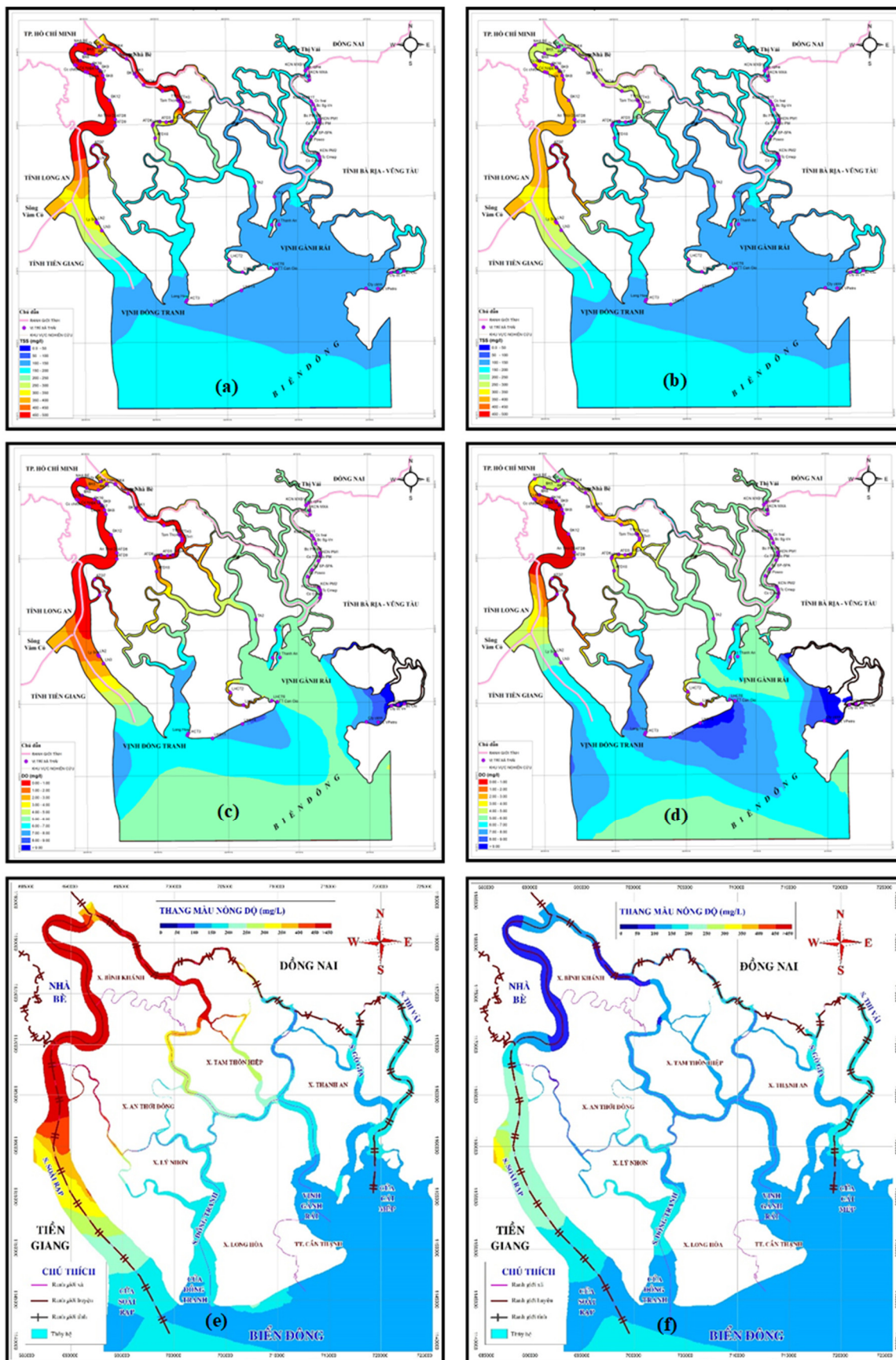
**Bảng 7.** Kết quả mô phỏng CLN vùng bờ đến 2030 theo các kịch bản XLNT và BDKH (tiếp theo).

KHU VỰC	VỊ TRÍ	KB4 - 2030						KB5 - NĂM 2030						KB6 - NĂM 2030								
		BOD	DO	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	TSS	Colif	BOD	DO	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	TSS	Coli	BOD	DO	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	TSS	Coliform
Sông Soài Rạp	SR1	198,7	1,0	0,01	0,15	0,99	397,0	43.000	192,5	1,1	0,01	0,15	0,99	376,4	3.600	76,7	1,2	0,01	0,15	0,99	245,0	1.100
	SR3	129,7	3,3	0,04	0,60	0,69	325,9	29.000	105,7	4,2	0,04	0,60	0,68	306,4	440	42,4	5,1	0,04	0,60	0,67	246,9	320
	SR4	70,8	6,1	0,04	0,59	0,41	252,2	3.000	19,2	6,6	0,04	0,57	0,38	191,0	300	8,1	6,7	0,04	0,57	0,33	182,9	240
Sông Vàm Sát	DT1	153,2	1,7	0,04	0,51	0,82	217,7	9.500	132,8	1,9	0,03	0,51	0,81	361,7	360	64,9	1,8	0,03	0,51	0,81	261,8	230
	DT3	33,1	6,2	0,04	0,59	0,20	212,8	260	23,8	6,6	0,04	0,59	0,19	189,0	210	9,9	6,8	0,04	0,59	0,19	151,4	200
	DT4	7,8	6,7	0,04	0,59	0,28	152,9	530	3,4	7,7	0,04	0,59	0,05	150,6	240	2,7	7,8	0,04	0,59	0,04	150,3	210
Sông Đồng Tranh	LT3	87,0	1,8	0,02	0,35	0,98	212,6	28.000	48,5	2,2	0,03	0,35	0,42	170,2	460	11,7	3,5	0,03	0,35	0,42	152,3	440
	LT4	54,8	3,1	0,04	0,52	0,98	195,3	4.000	29,6	4,0	0,04	0,52	0,29	156,5	360	5,6	5,6	0,04	0,52	0,29	146,6	240
	DT2	7,3	6,4	0,04	0,58	0,20	170,6	340	5,0	6,7	0,04	0,58	0,05	150,7	240	4,4	6,8	0,04	0,58	0,05	150,4	210
	DT5	9,7	6,8	0,04	0,59	0,38	152,2	900	2,8	7,8	0,04	0,59	0,06	150,4	260	2,3	7,9	0,04	0,59	0,05	150,0	200
Sông Lòng Tàu	LT1	196,7	1,4	0,02	0,25	0,99	295,0	46.000	143,9	1,8	0,02	0,25	0,98	283,4	3.600	47,0	2,7	0,02	0,25	0,98	243,2	3.000
	LT2	162,7	1,7	0,03	0,33	0,99	274,3	36.000	120,7	2,1	0,03	0,33	0,85	250,1	1.400	36,6	3,9	0,03	0,33	0,84	236,8	900
	LT6	48,6	3,6	0,04	0,42	0,65	181,0	2.100	22,3	4,1	0,04	0,42	0,20	155,7	300	4,1	5,3	0,04	0,42	0,20	140,7	290
	LT7	4,0	4,9	0,04	0,45	0,11	150,3	500	2,9	5,2	0,04	0,45	0,04	138,3	240	1,5	5,7	0,04	0,45	0,04	129,8	210
S. Thị Vải	TV1	2,5	5,4	0,05	0,57	0,02	158,9	350	2,5	5,4	0,05	0,57	0,02	159,4	350	2,5	5,4	0,05	0,57	0,02	144,9	340
	TV2	2,2	5,4	0,05	0,46	0,02	154,8	340	2,2	5,4	0,05	0,46	0,02	157,4	300	2,2	5,4	0,05	0,46	0,02	137,5	270
Vịnh Đồng Tranh	MR9	2,4	6,4	0,0	0,5	0,0	184,4	280	2,4	6,9	0,0	0,5	0,0	180,4	280	1,9	7,9	0,0	0,3	0,0	179,4	240
	MR12	5,8	5,8	0,0	0,5	0,1	171,5	300	2,3	6,6	0,0	0,5	0,0	161,7	240	1,6	6,3	0,0	0,4	0,0	153,8	210
	MR13	9,8	6,8	0,0	0,3	0,3	145,2	530	2,2	7,0	0,0	0,3	0,1	137,3	240	2,1	6,0	0,0	0,4	0,0	140,1	210
Vùng biển ven bờ	MR5	9,6	5,6	0,0	0,5	0,3	153,5	260	2,3	7,6	0,0	0,5	0,1	159,3	240	2,3	5,8	0,0	0,5	0,0	138,5	210
	MR14	8,1	7,1	0,0	0,3	0,3	180,4	300	2,1	7,7	0,0	0,3	0,1	173,5	240	1,9	6,8	0,0	0,4	0,0	160,3	210
	MR15	4,7	6,7	0,0	0,4	0,1	198,8	290	1,9	6,7	0,0	0,4	0,0	176,7	240	2,4	5,9	0,0	0,5	0,0	167,8	210
	MR7	2,3	6,3	0,0	0,5	0,0	183,5	260	2,3	5,8	0,0	0,5	0,0	180,3	280	2,3	6,7	0,0	0,5	0,0	173,5	200
Vịnh Gành Rái	MR1	2,8	5,8	0,0	0,4	0,1	145,6	240	1,6	6,3	0,0	0,4	0,0	147,7	240	2,0	5,5	0,0	0,4	0,0	133,8	210
	MR2	2,6	6,6	0,0	0,4	0,1	140,1	290	1,8	6,0	0,0	0,4	0,0	140,9	280	1,7	5,9	0,0	0,5	0,0	130,1	230
	MR3	2,0	7,0	0,0	0,4	0,0	143,9	300	2,0	5,5	0,0	0,4	0,0	144,8	290	1,8	7,8	0,0	0,5	0,1	132,9	230
	MR4	3,9	5,9	0,0	0,5	0,1	137,4	460	1,9	5,7	0,0	0,5	0,0	139,3	300	1,9	7,9	0,0	0,3	0,0	127,0	260

**Bảng 8.** Chỉ số CLN (CCME) vùng bờ TpHCM đến năm 2030 trên cơ sở 07 thông số mô phỏng.

Khu vực	Vị trí	2019		NĂM 2025					NĂM 2030				
		KB1	KB2	KB3	KB7	KB8	KB9	KB10	KB4	KB5	KB6	KB11	KB12
Sông Soài Rạp	SR1	26	26	26	74	30	42	25	25	28	40	25	25
	SR3	42	42	41	77	52	54	28	28	49	54	27	26
	SR4	47	45	45	79	70	81	41	41	60	70	36	33
Sông Vàm Sát	DT1	80	55	54	79	41	60	29	29	38	45	28	27
	DT3	82	81	81	83	82	83	67	67	70	82	56	50
	DT4	82	81	81	83	82	83	81	82	83	83	82	74
Sông Đồng Tranh	LT3	33	31	31	85	47	74	29	29	46	61	29	28
	LT4	59	59	59	83	72	83	43	43	70	82	42	40
	DT2	82	81	81	83	82	83	81	81	82	82	72	72
	DT5	72	72	72	83	82	83	72	72	83	83	72	70
Sông Lòng Tàu	LT1	27	27	27	87	39	43	26	26	38	43	25	21
	LT2	28	28	28	85	41	58	27	27	39	45	26	23
	LT6	60	60	60	83	73	84	45	45	71	83	44	42
	LT7	83	82	82	83	83	83	82	82	83	84	82	70
Sông Thị Vải	TV1	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
	TV2	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
Vịnh Đồng Tranh	MR9	80	80	80	84	81	81	79	79	81	84	79	79
	MR12	81	81	81	84	81	84	81	81	81	84	80	80
	MR13	72	70	70	84	83	83	72	72	83	83	72	70
Vùng biển ven bờ	MR5	78	76	76	84	84	84	71	71	84	84	70	67
	MR14	80	74	74	84	84	84	70	70	84	84	70	70
	MR15	81	80	80	84	83	84	79	79	84	84	78	74
	MR7	81	81	81	84	81	81	80	80	81	81	79	78
Vịnh Gành Rái	MR1	83	82	82	84	83	84	82	82	84	84	82	80
	MR2	83	82	82	84	83	84	83	83	83	84	83	80
	MR3	83	82	82	84	83	84	83	83	83	84	82	80
	MR4	83	82	82	84	84	84	72	73	84	84	73	70





**Hình 7.** Biến đổi nồng độ một số thông số CLN tại vùng bờ TpHCM giai đoạn 2019–2030: (a, b) Coliform: XLNT đáp ứng quy chuẩn (KB1 và KB5); (c, d) DO: XLNT đáp ứng tối đa quy chuẩn (KB1 và KB6); (e, f) TSS: có và không có nguồn thải nội vi (KB3 và KB7).

Có thể thấy rằng, ngay cả xử lý tối ưu nước thải nội vi vùng bờ TpHCM, các nguồn tiếp nhận chủ yếu trong lục địa (sông Soài Rạp, Lòng Tàu) vẫn tiềm tàng nguy cơ ô nhiễm, nhất là khu vực thượng lưu, xa cửa sông, không có lợi thế khuếch tán và pha loãng chất ô nhiễm. Theo đó, quy hoạch nguồn thải nội vi và tăng cường kiểm soát CLN ngoại vi là một trong những giải pháp quan trọng nhằm quản lý hiệu quả môi trường nước mặt vùng bờ TpHCM trong bối cảnh phát triển không ngừng kinh tế-xã hội dọc lưu vực sông Sài Gòn-Đồng Nai.

#### 4. Kết luận

CLN vùng bờ TpHCM được mô phỏng đến năm 2030 với 7 thông số (BOD, DO,  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P, TSS và Coliform), xem xét các kịch bản khác nhau về XLNT và NBD (RCP4.5 và RCP8.5). Giai đoạn 2019-2030, nếu không cải thiện tình hình XLNT, CLN vùng bờ nhất là khu vực lục địa sẽ suy giảm, dao động ở mức kém-khá, nồng độ TSS, BOD và  $\text{PO}_4$  tương đương 3-8, 3-13 và 2-3 lần quy chuẩn. Trong trường hợp đáp ứng hoặc đáp ứng tối đa các quy định về XLNT, CLN vùng bờ chuyển biến tích cực trong giai đoạn 2020-2025 (BOD và  $\text{PO}_4^{3-}$ -P), nhưng giảm dần đến năm 2030 do gia tăng xả thải từ các hoạt động KTXH. Cần lưu ý rằng, ngay cả đáp ứng tối đa về XLNT, nước mặt lục địa vẫn có nguy cơ ô nhiễm (thượng nguồn các sông Soài Rạp, Lòng Tàu, Vàm Sát). Nghiên cứu cũng chỉ ra nguồn thải nội vi đóng góp đáng kể BOD và  $\text{PO}_4^{3-}$ -P vào CLN vùng bờ. Bên cạnh đó, các RCP khác nhau ảnh hưởng khá tương đồng đến CLN tại cùng mốc thời gian tính toán, do vậy có thể chỉ nên xem xét 1 kịch bản RCP trong mô phỏng CLN ở tương lai gần (đến 2030).

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

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Sở Khoa học và Công nghệ thành phố Hồ Chí Minh trong khuôn khổ Nhiệm vụ nghiên cứu KH&CN “Đánh giá khả năng chịu tải của vịnh Đồng Tranh, vịnh Gành Rái và cửa sông Soài Rạp trước sức ép của sự gia tăng dân số và tăng trưởng kinh tế của vùng hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai”.

**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. Meybeck, M.; Kuusisto, E.; Mäkelä, A.; Mälkki, E. Water Quality Monitoring – A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes, UNEP/WHO, 1996.
2. Toro, D.; D.M.; Fitzpatrick, J.J.; Thomann, R.V. Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) and Model Verification Program (MVP), Hydroscience, Inc., Westwood, NY, for U.S. EPA, Duluth, MN, 1983.
3. Ambrose, R.B.; Connolly, J.P.; Schanz, R.W. WASP4, A Hydrodynamic and Water Quality Model-Model Theory, User's Manual, and Programmer's Guide. U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA. EPA/600/3-87-039, 1988.
4. Tình, T.T.; Hải, Đ.N.; Hà, B.N.L.; Thuận, N.T.T. Đánh giá mức độ ảnh hưởng của các nguồn nước chảy vào hồ Đan Kia và áp dụng mô hình AQUATOX quản lý chất lượng nước hồ. *Tap chí sinh học đại học Đà Lạt* **2015**, 38, 61-69.
5. Trang, C.T.T.; An, P.H.; Tú, T.A.; Cường, L.Đ.; Thanh, T.Đ.; Thành, T. Mô phỏng lan truyền chất ô nhiễm khu vực Phá Tam Giang – Cầu Hai, Thừa Thiên – Huế bằng mô hình DELFT-3D. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2014**, 3, 272-279.
6. Chính, P.V. Ứng dụng mô hình toán đánh giá chất lượng nước hạ lưu sông Đồng Nai đến năm 2020. *Tap chí nghiên cứu khoa học trường đại học Đông Á* **2011**, 4, 40-53.

7. Thăng, N.T.; Thái, T.H.; Hương, Đ.T.; Dũng, L.Đ. Dự báo diễn biến chất lượng nước sông Nhuệ – Đáy theo các kịch bản phát triển kinh tế-xã hội. *Tap chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội* **2013**, 2S, 166–276.
8. Bhargava, D.S. Use of water quality index for river classification and zoning of Ganga River. *Environ. Pollut. Ser. B. England* **1983**, 6, 51–67.
9. Sutadian, A.D.; Muttill, N.; Yilmaz, A.; Perera, C. Development of River Water Quality Indices – A Review. *Environ. Monit. Assess.* **2016**, 58, 1–33.
10. Tuấn, L.N.; Quân, T.M.; Thuý, T.T. Áp dụng chỉ số chất lượng nước đánh giá diễn biến chất lượng nước mặt tại khu vực phía Nam tỉnh Bình Dương. *Tap chí Phát triển Khoa học & Công nghệ* **2018**, 6, 118–127.
11. Quân, T.M. Điều tra, đánh giá khả năng chịu tải và đề xuất các giải pháp giảm thiểu ô nhiễm trên kênh, rạch cho vùng đô thị phía Nam tỉnh Bình Dương. Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Bình Dương, 2018.
12. Thái, N.Đ. Nghiên cứu biến động môi trường trầm tích trong Holocen muộn phục vụ quy hoạch phát triển bền vững khu vực cửa sông Đồng Nai. Trường Đại học Khoa học tự nhiên–Đại học Quốc gia Hà Nội, 2015.
13. Phùng, N.K.; Tín, N.V.; Tuấn, L.N. Xây dựng kịch bản biến đổi nhiệt độ trong bối cảnh biến đổi khí hậu cho khu vực thành phố Hồ Chí Minh. Hội thảo Khoa học Quốc tế “Toàn cầu hóa, biến đổi khí hậu và phát triển bền vững”, 09/05/2017, Trường Đại học Hà Tĩnh, Hà Tĩnh, 2017.
14. Tuấn, L.N.; Thịnh, N.N.; Phùng, N.K. Xây dựng kịch bản mực nước biển dâng trong bối cảnh biến đổi khí hậu cho khu vực thành phố Hồ Chí Minh. *Tap chí Phát triển Khoa học và Công nghệ* **2018**, 5, 184–191.
15. Phùng, N.K.; Tín, N.V.; Tuấn, L.N. Precipitation scenarios in Ho Chi Minh city in the context of climate change. *VJST* **2017**, 4C, 115–121.

## Forecasting surface water quality in the coastal area in Ho Chi Minh City to 2030 in the context of sea level rise

Le Ngoc Tuan<sup>1\*</sup>, Tran Tuan Hoang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vietnam National of Ho Chi Minh City–University of Science; lntuan@hcmus.edu.vn

<sup>2</sup> Sub-Institute Of Hydrometeorology and Climate Change; hoangkttv@gmail.com

**Abstract:** The study aimed to assess water quality in the coastal area of Ho Chi Minh City to 2030 (via parameters of BOD, DO, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, TSS, and Coliform) in the context of sea level rise (RCP4.5 and RCP8.5) under different wastewater treatment scenarios. In the period of 2019–2030, if the wastewater treatment situation is not improved, areas (and related parameters) of concern would be Soai Rap, Long Tau, Vam Sat rivers (TSS, BOD, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P), and the coastal area of Long Hoa–Can Thanh (TSS, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P). In case of meeting or maximal meeting the regulations on wastewater quality, the coastal water quality would positively change (BOD and PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P) in the period 2020–2025, but gradually decrease in the following years due to the increase in discharge from economic activities. It should be noted that, even maximal meeting the regulations on wastewater treatment, continental (upstream) surface water would be still polluted in 2030 by BOD, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, and TSS (about 2–5 times as many as the standard). Results showed wastewater generators in the research areas have significantly contributed BOD and PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P into the coastal water. It is also recommended to reduce the number of RCP scenarios when simulating water quality in the near future due to small differences among calculating results.

**Keywords:** Coastal area; Surface water; Water quality; Water quality index.

Bài báo khoa học

## Xây dựng mô hình số mô phỏng biến đổi hình thái sông có địa hình đáy dốc

Đặng Trường An<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Trường ĐH Khoa học Tự Nhiên–Đại học Quốc gia Tp. HCM, 227 Nguyễn Văn Cừ, Quận 5, Tp.HCM, dtan@hcmus.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: dtan@hcmus.edu.vn; Tel.: +84–909719878

Ban Biên tập nhận bài: 08/4/2021; Ngày phản biện xong: 08/6/2021; Ngày đăng bài: 25/7/2021

**Tóm tắt:** Các nghiên cứu về chuyển vận bùn cát trong sông có độ dốc đáy lớn gặp rất nhiều trở ngại so với sông vùng đồng bằng do địa hình đáy sông thay đổi đột ngột và chế độ dòng chảy thay đổi rất nhanh,... Vận chuyển bùn cát ở các sông có độ dốc đáy lớn là một vấn đề phức tạp vì vật liệu đáy sông thường không đồng nhất và chứa nhiều loại hạt có kích thước khác nhau như đất, sỏi, cuội và đá tảng,... Nghiên cứu này bước đầu phát triển một chương trình mô phỏng quá trình bồi xói địa hình đáy của các con kênh dốc dựa trên tiếp cận cấp phối thành phần hạt và xem xét chuyển động của hạt bùn cát theo phương ngang đến quá trình duy trì sự ổn định đáy kênh. Các phương trình thủy động lực hai chiều (2D) và vận chuyển bùn cát đáy được rời rạc bởi phương pháp sai phân hữu hạn (FDM) và viết trên nền tảng ngôn ngữ phần mềm Fortran 90. Chương trình phát triển được áp dụng mô phỏng diễn biến bồi xói đáy của một đoạn sông Teabeak, Hàn Quốc. Khả năng thực hiện của mô hình được đánh giá thông qua các chỉ số thống kê NASH và RMSE. Kết các quả với NASH = 0,79–0,83 và RMSE = 13%–19% thể hiện sự phù hợp của mô hình đã áp dụng, qua đó cho thấy triển vọng triển khai mô hình cho các nghiên cứu thực tế trong tương lai.

**Từ khóa:** Hình thái; Đáy kênh dốc; Sai phân hữu hạn; Mô hình số; Bùn cát đáy.

### 1. Mở đầu

Chuyển tải bùn cát đáy đóng vai trò quan trọng đối với việc duy trì sự cân bằng và ổn định lòng kênh đối với các con kênh có địa hình đáy dốc [1–3]. Việc hiểu rõ cơ chế chuyển tải bùn cát đáy trong các nghiên cứu có liên quan đến diễn biến hình thái kênh như xây dựng các công trình dân dụng [4–5] hay đánh giá các tai biến thiên nhiên làm thay đổi lòng dẫn do lũ lớn sau các cơn mưa với cường độ lớn, mưa do bão là rất cần thiết [6–8]. Chuyển tải bùn cát đáy là nhân tố chính giúp giữ ổn định hay làm thay đổi địa hình đáy kênh [2, 4, 9]. Các kiến thức về quá trình chuyển tải bùn cát trong các con kênh có địa hình đáy dốc vẫn còn hạn chế so với các nghiên cứu tương tự đối với sông có độ dốc đáy nhỏ, các con sông vùng đồng bằng [10–12]. Một trong những nguyên nhân chính của hạn chế này là các khảo sát đo đạc trực tiếp về chuyển tải bùn cát cũng như các đặc trưng thủy động lực trong điều kiện dòng chảy kênh dốc rất phức tạp và khó triển khai [3, 13–14]. Các quá trình thủy động lực diễn ra trong kênh dốc khá phức tạp do độ dốc đáy kênh lớn, địa hình đáy kênh phức tạp, độ sâu nước dọc theo trục động lực chính thay đổi đột ngột, và đáy sông chứa nhiều loại kích thước vật liệu đáy đan xen [3, 5, 7]. Theo [14], sự hiểu biết của con người về các đặc trưng thủy động lực cũng như biến đổi hình thái sông có độ dốc thấp không dễ dàng vận dụng cho các kênh có địa hình đáy dốc. Một trong những nguyên nhân chính là vì các yếu tố kiểm soát

việc vận chuyển bùn cát trong kênh dốc phức tạp hơn nhiều so với kênh có độ dốc nhỏ và kiến thức hiện tại của chúng ta về dòng chảy kênh dốc vẫn đang trong quá trình hoàn thiện [14–16]. Ngoài ra, địa hình đáy với các thành phần vật liệu có nhiều kích thước khác nhau từ cát, sỏi, đá cuội và thậm chí là đá tảng đã làm tăng tính phức tạp của yếu tố nhám, một trong những nhân tố chính làm cản trở sự di chuyển của dòng nước ở các kênh dốc và làm giảm năng lượng sẵn có của dòng chảy để cuốn bùn cát theo nó [2, 17–18]. Bởi vì bùn cát cũng là một nhân tố chuyển động dựa vào chuyển động của dòng nước [10, 19–20]. Địa hình đáy của các con kênh tự nhiên dốc thường ảnh hưởng đáng kể đến quá trình di chuyển của bùn cát đáy [7, 21]. Thêm vào đó, dòng chảy trong các con kênh dốc có vận tốc dòng lớn và vật liệu mang theo nó thường có phân bố kích thước đa dạng có thể chứa vật liệu từ bùn, cát, sỏi cho đến đá cuội [2, 22].

Trong những năm gần đây, các nghiên cứu liên quan đến quá trình thủy động lực, vận chuyển bùn cát và biến đổi lòng dẫn của các con kênh dốc thường dựa vào mô hình số [23–24]. Thật vậy, mô hình số đã trở thành công cụ hữu ích để hỗ trợ nghiên cứu các vấn đề vận chuyển bùn cát và biến đổi hình thái đối với các kênh dốc [23–25]. Năm 2004, [26] đã xây dựng mô hình số trị một chiều (1D) mô phỏng dòng chảy và chuyển vận bùn cát trong kênh có đáy dốc. Mô hình có tên gọi 3–ST1D– Steep Stream Sediment Transport 1D model được phát triển có thể áp dụng mô phỏng dòng chảy thay đổi theo thời gian. Trong mô hình này, mô–đun thủy động lực được phát triển dựa trên hệ phương trình Saint–Venant trong khi module biến đổi hình thái dựa trên tiếp cận bùn cát đáy đa cấp phối thành phần hạt. Mô hình đã được áp dụng thử nghiệm cho hai trường hợp kênh nhân tạo và một trường hợp kênh tự nhiên có độ dốc đáy lớn. Các kết quả đã thể hiện khả năng áp dụng tốt cho các trường hợp kênh có đáy dốc của mô hình. Năm 2005, [21] đã phát triển một mô hình toán học để nghiên cứu những thay đổi quy mô dài biến đổi lòng dẫn của một con kênh dốc có địa hình đáy kênh phức tạp và vận tốc dòng chảy có sự biến đổi lớn. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã sử dụng hệ phương trình liên tục và vận chuyển bùn cát dựa trên tiếp cận cấp phối thành phần hạt bùn cát đáy.

Gần đây, [27] đã phát triển một mô hình số 1D cho mục đích mô phỏng quá trình bồi xói lòng dẫn áp dụng cho con kênh Chashma, Pakistan dựa trên phương pháp sai phân hữu hạn MacCormack để giải các dòng chảy. Hệ phương trình Saint–Venant với giả định dòng chảy thay đổi theo thời gian và các phương trình chuyển vận bùn cát dựa trên định luật bảo toàn khối lượng đã được áp dụng. Với sơ đồ giải MacCormack có độ chính xác bậc 2, mô hình đã mô phỏng biến đổi hình thái kênh Chashma khá tốt thông qua so sánh các kết quả thu được giữa mô hình mô phỏng và dữ liệu đo đạc. Ngoài ra, các kết quả thu được về lưu lượng, độ sâu nước và thay đổi mực đáy kênh so sánh với kết quả đã công bố trước đó cho thấy rất đáng tin cậy. Gần đây nhất, [28] đã nghiên cứu mối liên hệ giữa các đặc trưng thủy động lực dòng chảy và vận chuyển bùn cát trong một dòng kênh dốc miền núi. Nghiên cứu của nhóm tác giả được xây dựng trên ý tưởng thiết lập chương trình tính toán xem xét cả trường hợp đáy kênh cố định và di động. Các tính toán được thiết lập dựa trên việc xác định các yếu tố kiểm soát quá trình vận chuyển bùn cát đáy trên nền đáy kênh di động. Các tác giả đã báo cáo rằng, thông qua tiến hành thực nghiệm đã giúp cải thiện đáng kể hiểu biết về các quá trình thủy động lực và chuyển vận bùn cát trong kênh tự nhiên.

Năm 2018, [29] đã mô phỏng chuyển vận bùn cát cho một kênh ở Trung Quốc dựa trên mô hình thủy động lực hai chiều (2D) và phương trình chuyển tải bùn cát đáy. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã cải tiến và áp dụng phương pháp thể tích hữu hạn với sơ đồ Godunov để giải các phương trình thủy động lực và vận chuyển bùn cát đáy. Mô hình cải tiến đã được áp dụng thử nghiệm cho trường hợp dữ liệu thực nghiệm từ mô hình vật lý và kết quả chỉ ra rằng mô hình số đã cải tiến là đáng tin cậy. Mô hình số sau đó được áp dụng mô phỏng biến đổi hình thái kênh thực tế và đã kết luận rằng vị trí xói lở và hình thái sông bị chi phối bởi mực nước hạ lưu. Hơn nữa, nghiên cứu cũng chỉ ra rằng hình thái và quá trình bồi lắng lòng sông bị chi phối bởi mực nước hạ lưu thay đổi, gây ra sự biến dạng đáy sông.

Trong nghiên cứu này, một mô hình số 2D được phát triển cho mục đích mô phỏng hình thái đáy kênh trong các kênh dốc, nơi vật liệu đáy có phân bố kích thước lớn và chuyển động theo phương ngang của đáy theo phương ngang đóng góp đáng kể đến quá trình duy trì sự ổn định đáy kênh. Chương trình được xây dựng bao gồm một mô-đun dòng chảy và mô-đun mô phỏng bồi xói đáy dựa trên tiếp cận theo cấp phối thành phần hạt bùn cát đáy. Mô-đun dòng chảy được xây dựng dựa trên hệ phương trình Saint-Venant 2D trong hệ tọa độ Descartes. Mô-đun vận chuyển bùn cát xây dựng dựa trên công thức lưu lượng bùn cát đáy cấp phối thành phần hạt. Chương trình được xây dựng trên nền phần mềm Fortran 90.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Các phương trình thủy động lực chủ đạo

Các phương trình nước nông theo hai chiều được miêu tả như sau:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \nabla \cdot F(U) = S(U) \tag{1}$$

Trong đó  $t$  là thời gian (s);  $U = U(x, t)$  là vector chuyển đổi giữa các biến và được xác định bởi phương trình (2).

$$U = [h, \quad hu \quad hv]^T \tag{2}$$

Trong đó  $t$  là thời gian (s);  $u, v$  là các thành phần vận tốc theo hướng  $x$  và  $y$ .

Các thành phần thông lượng  $F(U) = [E(U) \quad G(U)]$  trong phương trình (1) được xác định bởi phương trình (3)

$$\begin{cases} E(U) = \left[ hu & hu^2 + \frac{1}{2}gh^2 & huv \right]^T \\ G(U) = \left[ hv & huv & hv^2 + \frac{1}{2}gh^2 \right]^T \end{cases} \tag{3}$$

Trong đó  $h$  là độ sâu nước (m);  $u$  và  $v$  là các thành phần vận tốc theo hướng  $x$  và  $y$  và  $g$  là gia tốc trọng trường ( $m/s^2$ ).

Theo đó số hạng nguồn  $S(U)$  trong phương trình (1) là hàm chứa các biến vật lý như gió, ứng suất tiếp tuyến bề mặt giữa không khí và bề mặt nước, lực Coriolic, độ dốc đáy kênh và ứng suất bề mặt đáy. Với xem xét độ dốc đáy kênh và ứng suất bề mặt đáy là các nhân tố quan trọng chi phối quá trình xói lở và bồi tụ đáy kênh. Số hạng nguồn được xác định theo phương trình (4).

$$S(U) = S_b(U) + S_f(U) \tag{4}$$

Trong đó  $S_b(U)$  và  $S_f(U)$  trong phương trình (4) được miêu tả bởi phương trình (5)

$$\begin{cases} S_b(U) = \left[ 0 & -gh \frac{\partial z}{\partial x} & -gh \frac{\partial z}{\partial y} \right]^T \\ S_f(U) = \left[ 0 & -\frac{1}{\rho} \tau_{fx} & -\frac{1}{\rho} \tau_{fy} \right]^T \end{cases} \tag{5}$$

Trong đó,  $z$  là mực đáy kênh,  $\rho$  là tỷ trọng nước ( $kg/m^3$ ),  $\tau_{fx}, \tau_{fy}$  lần lượt là các thành phần ứng suất trượt đáy theo phương  $x$  và  $y$  và được tính dựa trên hệ số nhám đáy kênh Manning.

$$\begin{cases} \tau_{fx} = \frac{n^2 hu \sqrt{(hu)^2 + (hv)^2}}{h^{\frac{4}{3}}} \\ \tau_{fy} = \frac{n^2 hv \sqrt{(hu)^2 + (hv)^2}}{h^{\frac{4}{3}}} \end{cases} \tag{6}$$

$n$  trong phương trình (6) là hệ số nhám Manning. Hệ số nhám Manning phụ thuộc vào độ nhám đáy kênh và được xem là một trong những yếu tố chính chi phối sự di chuyển của dòng nước. Hệ số nhám Manning được xác định bởi phương trình (7).

$$n = h^{1/6} d \sqrt{\frac{f_{DW}}{8g}} \quad (7)$$

Trong đó  $g$  là gia tốc trọng trường ( $m/s^2$ );  $d$  là đường kính hạt bùn cát đáy (mm) và  $f_{DW}$  là tham số được xác định bởi phương trình (8).

$$f_{DW} = \frac{0.242}{\left[ \log\left(\frac{12h}{K_s}\right) \right]^2} \quad (8)$$

Trong phương trình (8),  $h$  là độ sâu nước (m) và  $K_s$  là hệ số độ nhám của hạt bùn cát đáy, đại diện cho giá trị trung bình đường kính vật liệu đáy.

## 2.2. Các phương trình bồi xói đáy kênh và chuyển vận bùn cát đáy

Tốc độ thay đổi địa hình đáy của một con kênh do bùn cát bị cuốn trôi hay bồi tụ là yếu tố then chốt để xác định diễn biến của lòng sông. Các phương trình mô phỏng diễn biến xói lở hay bồi tụ đáy sông cho các khu vực có địa hình đáy dốc thường dựa trên chuyển vận bùn cát đáy [30–31]. Phương trình liên tục bùn cát đáy được xây dựng có dạng phương trình (9).

$$(1 - p) \frac{\partial Z_b}{\partial t} + \nabla q_{sb} = 0 \quad (9)$$

Trong đó  $p$  là độ rỗng của vật liệu đáy (thường được chọn giá trị từ 0,35 đến 0,4),  $Z_b$  là mực đáy di động và  $q_{sb} = (q_{sbx}, q_{sby})$  lưu lượng bùn cát đáy theo phương  $x$  và phương  $y$ . Lưu lượng bùn cát đáy trong nghiên cứu này sử dụng công thức bán thực nghiệm Park (2012) [31] và được viết như sau:

$$q_{tbs} = \sum_{i=1}^N q_{sbi} \quad (10)$$

$$q_{sb} = \gamma \sqrt{g(\sigma_s - 1)} d_m^3 q_{sb}^* \quad (11)$$

$$q_{sb}^* = 0.00157 \tau_i^{*0.418} (\tau_i^* - \tau_{ci}^*)^{0.307} \quad (12)$$

$$\tau_{ci}^* = 0.0308 \left( \tau_b \frac{d_i}{d_m} \right)^{0.545} \quad (13)$$

$$\tau_i^* = \frac{\tau_b}{\gamma(\sigma_s - 1) d_i} \quad (14)$$

Trong đó  $q_{tbs}$  trong công thức (10) là tổng lưu lượng bùn cát đáy ( $kg/s$ );  $q_{sb}$  trong công thức trong công thức (11) là lưu lượng bùn cát ứng mỗi cấp kích thước hạt  $d_i$  và  $q_{sb}^*$  là lưu lượng bùn cát đáy không thứ nguyên ứng với cấp hạt  $i$ ;  $g$  là gia tốc trọng trường ( $m/s^2$ );  $d_m$  là kích thước hạt bùn cát trung bình chiếm 50% thành phần hạt mịn (mm);  $\tau_{ci}^*$  là ứng suất cắt Shields không thứ nguyên của chuyển động tới hạn;  $\tau_b$  là ứng suất cắt đáy không thứ nguyên;  $\sigma_b$  là tỷ số không thứ nguyên giữa 84% kích thước hạt bùn cát thô và 16% kích thước hạt bùn cát mịn và  $\sigma_s$  là tỷ số không thứ nguyên giữa trọng lượng riêng của bùn cát đáy và của nước.

$$\tau_b = \gamma HS ; \sigma_b = \left( \frac{d_{84}}{d_{16}} \right)^{\frac{1}{2}} ; \sigma_s = \frac{\gamma_s}{\gamma} \quad (15)$$

Trong đó  $H$  là độ sâu nước (m);  $d_m$  là kích thước hạt bùn cát đáy (mm);  $S$  là độ dốc mặt nước;  $\gamma_s$  và  $\gamma$  là trọng lượng riêng của hạt bùn cát đáy và của nước ( $kg/m^3$ ).

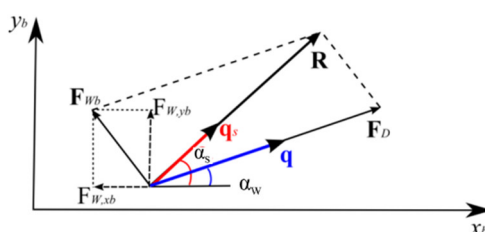
### 2.3. Xử lý ảnh hưởng của chuyển động theo phương ngang của hạt bùn cát

Các nghiên cứu đã công bố gần đây [5, 8, 14] chỉ ra rằng, đối với các con kênh dốc, chuyển động của hạt bùn cát theo phương ngang đóng góp đáng kể vào quá cân bằng hình thái đáy kênh. Theo các nghiên cứu được công bố [17, 25, 32], các mô phỏng bồi xói lòng dẫn chỉ áp dụng công thức xác định lưu lượng bùn cát đáy theo phương x (phương dòng chảy chính) mà bỏ qua các chuyển động của hạt bùn cát theo phương ngang (Hình 1). Trong nghiên cứu này, ngoài xem chuyển động bùn cát theo phương dòng chảy chính (phương x) thì chuyển động của hạt theo phương ngang (phương y) cũng được xem xét. Theo đó, chuyển động của hạt bùn cát theo phương x và y được xác định bởi hàm:

$$q_{sb} = (q_{bxi}, q_{byi}) \tag{16}$$

Trong đó  $q_{sbx}$  và  $q_{sby}$  được xác định bởi phương trình (17):

$$\begin{cases} q_{bxi} = q_{sbi} \cos \alpha \\ q_{byi} = q_{sbi} \sin \alpha \end{cases} \tag{17}$$



**Hình 1.** Minh họa hướng dòng chảy và lưu lượng bùn cát đáy theo phương x, y trên bề mặt đáy nghiên theo phương ngang.

Trên hình 1, hai lực được tính đến để xác định hướng vận chuyển của hạt bùn cát. Trong đó,  $F_D$  là lực cản thủy động lực học song song với dòng chảy và  $F_w$  là trọng lượng của hạt bùn cát khi chìm lắng theo phương thẳng đứng và chúng được xác định bởi phương trình (18).

$$\begin{cases} F_{D,x_b} = F_D \cos \alpha \\ F_{D,y_b} = F_D \sin \alpha \end{cases} \tag{18}$$

Chuyển động có định hướng (chuyển động theo phương ngang) trên mặt phẳng nghiêng của hạt bùn cát được xác định bởi phương trình (19).

$$\tan \alpha_s = \frac{\sin \alpha_w - \frac{1}{f_s(\tau^*)} \frac{\partial z_b}{\partial x}}{\cos \alpha_w - \frac{1}{f_s(\tau^*)} \frac{\partial z_b}{\partial y}} \tag{19}$$

Trong phương trình (19),  $f_s(\tau^*)$  là một hàm trọng số bán thực nghiệm, được xác định dựa trên đường kính hạt bùn cát đáy, độ sâu nước và  $\tau^*$  là ứng suất cắt Shields không thứ nguyên. Cụ thể, hàm  $f_s$  trong phương trình (19) được xác định bởi phương trình (20).

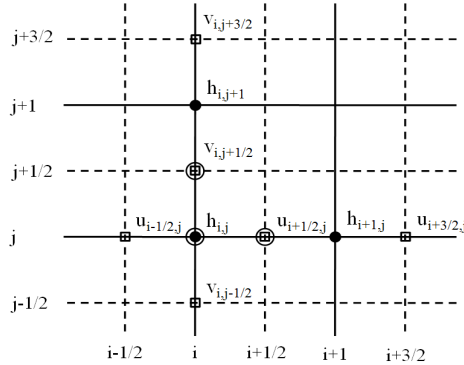
$$f_s = 9 \left( \frac{d_{50}}{h} \right)^{0.3} \sqrt{\tau^*} \tag{20}$$

### 2.4. Thủ tục giải các phương trình dòng chảy và vận chuyển bùn cát đáy

Các phương dòng chảy và vận chuyển bùn cát được giải bởi phương pháp FDM trên nền lưới cấu trúc so le (Hình 2) trong hệ tọa độ Descartes [32–33]. Trong đó, các xấp xỉ sai phân



tiến bậc 1 theo thời gian ( $\Delta t$ ) và xấp xỉ sai phân trung tâm bậc 2 theo không gian ( $\Delta x, \Delta y$ ) được sử dụng để rời rạc các phương trình. Cụ thể, đối với lưới so le đã áp dụng, độ sâu nước ( $h$ ) được tính tại ô nút chính ( $i, j$ ), ( $i+1, j$ ), ( $i, j-1$ ). v.v. (trong khi các thành phần vận tốc ( $u, v$ ) được tính tại các ô có chỉ số bước tính lẻ  $\pm \frac{1}{2} \Delta x$  và  $\pm \frac{1}{2} \Delta y$  tại các nút lưới ( $i+\frac{1}{2}, j$ ), ( $i-\frac{1}{2}, j$ ), ( $i, j+\frac{1}{2}$ ) và ( $i, j-\frac{1}{2}$ ) (Hình 2).



**Hình 2.** Minh họa lưới so le theo sơ đồ Marker và Cell sử dụng trong giải rời rạc hệ các phương trình dòng chảy [32].

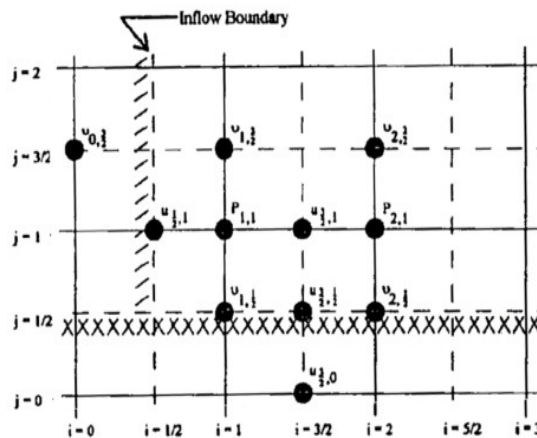
2.5. Các điều kiện đầu và điều kiện biên

Để thực hiện quá trình tính toán, các điều kiện ban đầu là cần thiết lập cho tất cả các mô phỏng. Các điều kiện ban đầu được xác định tại mọi điểm trong miền tính toán như một giá trị phỏng đoán ban đầu trong quy trình giải bằng phương pháp lặp lại. Các điều kiện này bao gồm độ sâu nước ( $h$ ), các thành phần vận tốc ( $u, v$ ) theo hướng  $x$  và  $y$  và lưới thủy lực hay còn gọi là lưới địa hình. Để giải các phương trình từ (1) đến (10), giá trị của độ sâu nước ( $h$ ) và các thành phần vận tốc ( $u, v$ ) tại thời điểm ban đầu cần được cung cấp. Cụ thể, tại biên vào, thành phần vận tốc theo phương  $x$  được cung cấp trực tiếp, trong khi phân vận tốc theo phương  $y$  tại nút lưới ( $i = 0, j = 3/2$ ) được tính theo phương trình (21).

$$v_{0,3/2} = 2v_{1,3/2} - v_{1,3/2} \tag{21}$$

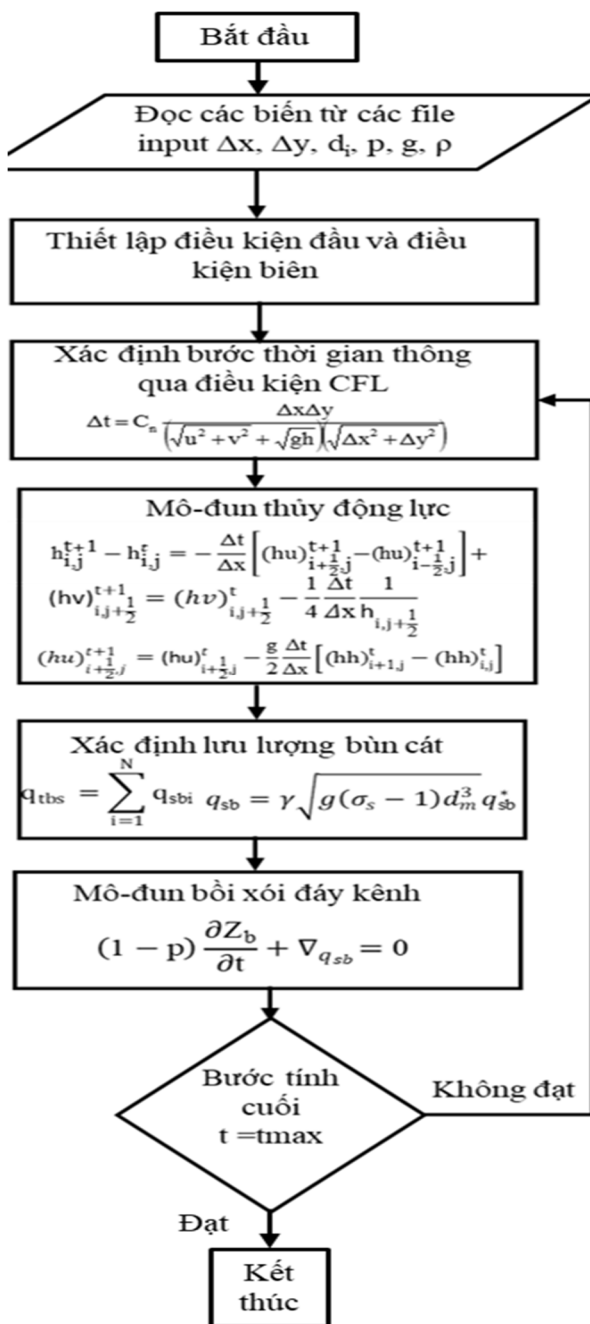
Trong đó các thành phần vận tốc theo phương  $y$  tại các nút lưới  $v_{1/2}, v_{3/2}$  được xác định bởi người chạy mô hình (Hình 3). Tại biên rắn, mặc dù trong thực tế không tồn tại thành phần vận tốc pháp tuyến với bờ kênh nhưng theo sơ đồ Marker và Cell, thành phần vận tốc theo phương  $y$  tại nút lưới ( $i = 1, j$ ) sẽ được thiết lập bởi đạo hàm bởi phương trình (22).

$$v_{1,j} = 2v_{2,j} - v_{3,j} \tag{22}$$



**Hình 3.** Xác định các thành phần vận tốc tại các biên rắn và lòng [34].

Quy trình các bước thực hiện quá trình mô phỏng biến đổi hình thái kênh được miêu tả trong hình 4.



Hình 4. Quy trình các bước thực hiện quá trình mô phỏng của mô hình.

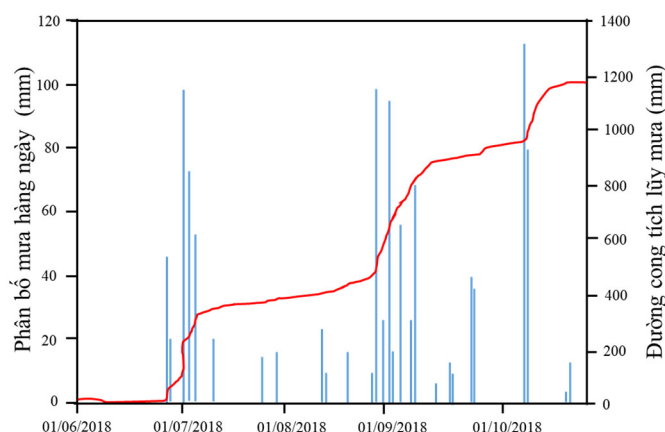
### 2.6. Áp dụng mô hình mô phỏng biến đổi lòng dẫn đoạn sông Teabeask

Khu vực nghiên cứu là một đoạn kênh có tên gọi Taebaek, thuộc sông Yangyang nằm ở phía đông nam tỉnh Gangwon, Hàn Quốc (Hình 5). Khu vực đoạn sông nghiên cứu đặc trưng bởi địa hình dốc với độ dốc trung bình lớn hơn 2,5% thuộc sông miền núi Taebaek có độ cao 1,549 mét bên trên mực nước biển trung bình [30–31]. Khu vực đoạn sông nghiên cứu có lưu lượng dòng chảy thấp trong điều kiện thời tiết bình thường, tuy nhiên lưu lượng dòng sẽ tăng nhanh và gây lũ đe dọa các công trình dân dụng cũng như các khu dân cư ven sông khi khu vực xuất hiện những cơn mưa to, hay mưa trong bão [30–31].



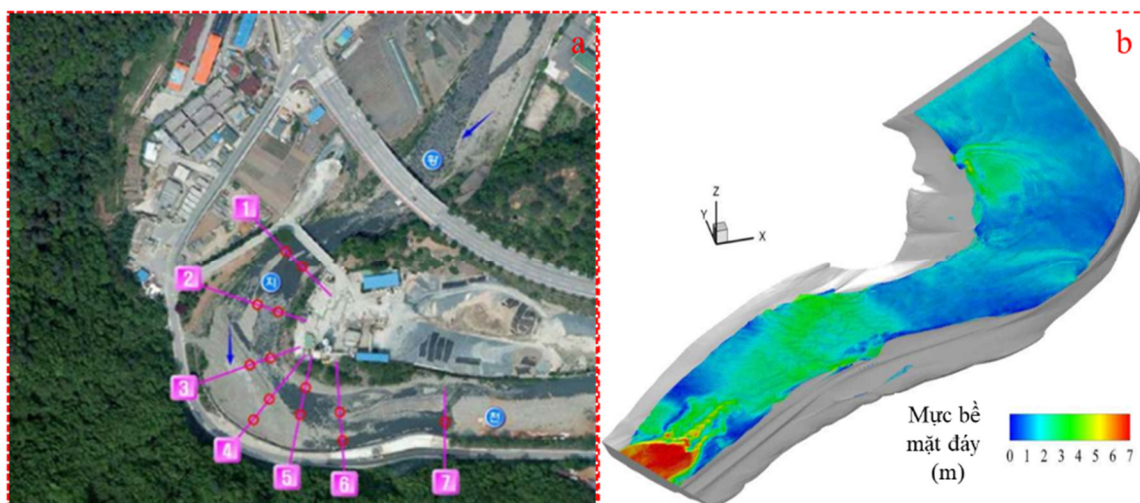
**Hình 5.** Minh họa khu vực nghiên cứu với các các bố trí khảo sát đặc trưng hình thái đáy kênh trước khi xảy ra sự kiện lũ (Nguồn: Google earth).

Mặc dù khu vực đoạn kênh nghiên cứu có mưa hàng năm trung bình trong khoảng hơn 1,300 mm, tuy nhiên khu vực có thể xuất hiện lũ gây ảnh hưởng nghiêm trọng khi xảy ra mưa to hay mưa trong bão (Hình 6). Nghiên cứu này tiến hành mô phỏng diễn biến địa hình đáy sau một cơn mưa to gây lũ tại khu vực nghiên cứu giai đoạn từ 01/07/2018 đến 01/11/2018 (Hình 6).

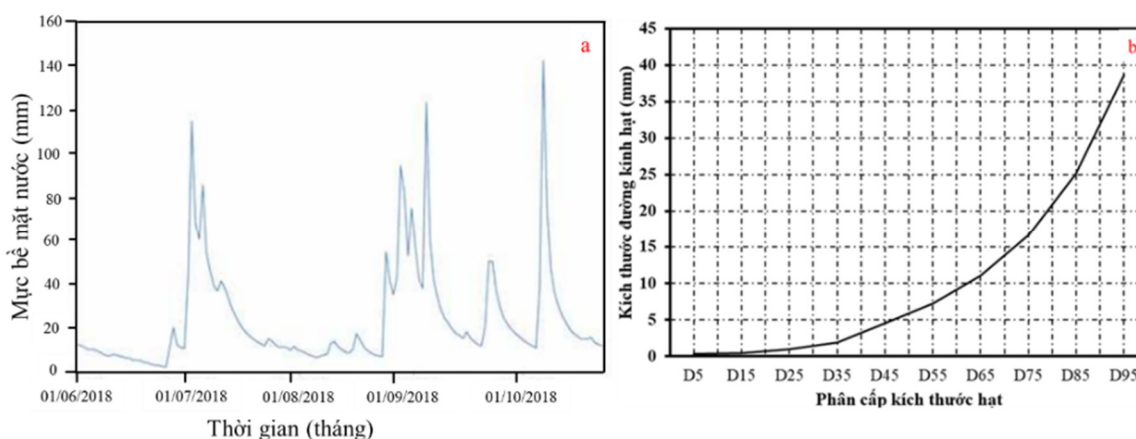


**Hình 6.** Phân bố mưa hàng ngày tại khu vực đoạn sông nghiên cứu và đường cong tích lũy mưa gây lũ cho khu vực từ 01/07/2018 đến 01/11/2018.

Khảo sát dữ liệu địa hình đáy kênh được tiến hành bằng thiết bị máy thủy bình Sokkia–C32 trước sự kiện lũ phục vụ xây dựng lưới thủy lực cho mô hình (Hình 7a) và bản đồ địa hình được xây dựng từ dữ liệu khảo sát được minh họa (hình 7b). Dữ liệu mực nước tại biên vào được thu thập bởi thiết bị cảm biến bị tự ghi (Hình 8a), trong khi dữ liệu phân bố đường kính hạt bùn cát đáy phục vụ chạy mô phỏng mô–đun biến đổi hình thái đáy sông được minh họa ở hình 8b.



**Hình 7.** Bố trí khảo sát a) các mặt cắt ngang thu thập dữ liệu hình thái và b) xây dựng lưới thủy lực cho khu vực đoạn sông nghiên cứu.



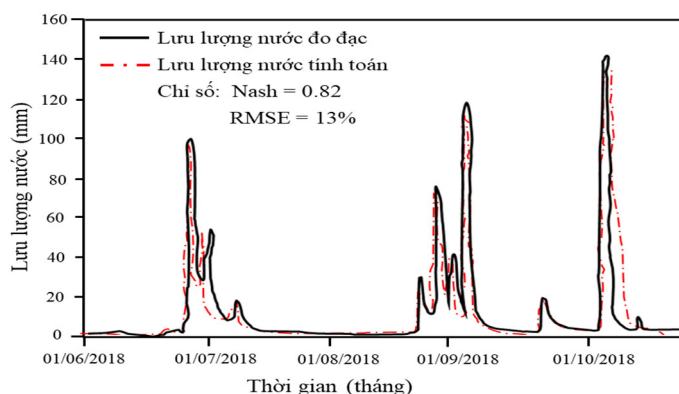
**Hình 8.** Thu thập dữ liệu đầu vào phục vụ mô phỏng mô hình a) mực nước tại biên vào và b) phân bố kích thước hạt bùn các đáy tại khu vực đoạn sông nghiên cứu.

### 3. Các kết quả và thảo luận

#### 3.1. Đánh giá khả năng áp dụng của mô hình

Các kết quả mô phỏng của mô hình đã được so sánh với dữ liệu đo đạc phân bố lưu lượng nước trong suốt thời gian mô phỏng sự kiện lũ (Hình 9). Cụ thể, các phân tích mức độ phù hợp giữa dữ liệu đo đạc lưu lượng nước và kết quả mô phỏng từ mô hình thông qua chỉ số NASH và sai số bình phương trung bình (RMSE) cho các giá trị tương ứng 0,82 và 13% (Hình 9). Nhìn chung, các kết quả mô phỏng lưu lượng dòng từ chương trình đã phát triển cho trị số thấp hơn so với dữ liệu thực đo, tuy nhiên mô hình đã mô phỏng xu thế lũ phù hợp với dữ liệu thực đo nhưng chậm pha hơn so với diễn biến thực tế của cơn lũ (Hình 9).

Như chúng ta đã biết, vật liệu đáy sông có liên quan mật thiết đến hệ số nhám và là yếu tố chính chi phối chuyển động của dòng nước. Một trong những nguyên nhân chính dẫn đến lưu lượng dòng chảy mô phỏng từ mô hình có sự trễ pha và trị số đỉnh lưu lượng dòng nhỏ hơn so với trị số thực đo có thể do phân bố phức tạp của vật liệu đáy sông mà mô hình chưa thể hiện được hết đặc tính phức tạp ấy trong quá trình tiến hành mô phỏng dẫn đến sức cản trở dòng chảy của bề mặt đáy phức tạp hơn so với thiết lập từ mô hình.



**Hình 9.** Đánh giá khả năng thực hiện của mô hình thông qua so sánh lưu lượng dòng đo đạc và kết quả mô phỏng.

### 3.2. Đánh giá khả năng mô phỏng bồi xói địa hình đáy

Các kết quả mô phỏng diễn biến bồi xói địa hình đáy kênh sau một sự kiện mưa gây lũ (01/11/2018) từ mô hình cũng được so sánh với dữ liệu đo đạc (Bảng 1). Cụ thể, phân tích mức độ phù hợp của mô hình mô phỏng bồi xói địa hình tại các mặt cắt ngang số 4, 5 và 6 (Hình 7a) thông qua các chỉ số thống kê với NASH = 0,79–0,83 và RMSE = 13–19% (Bảng 1).

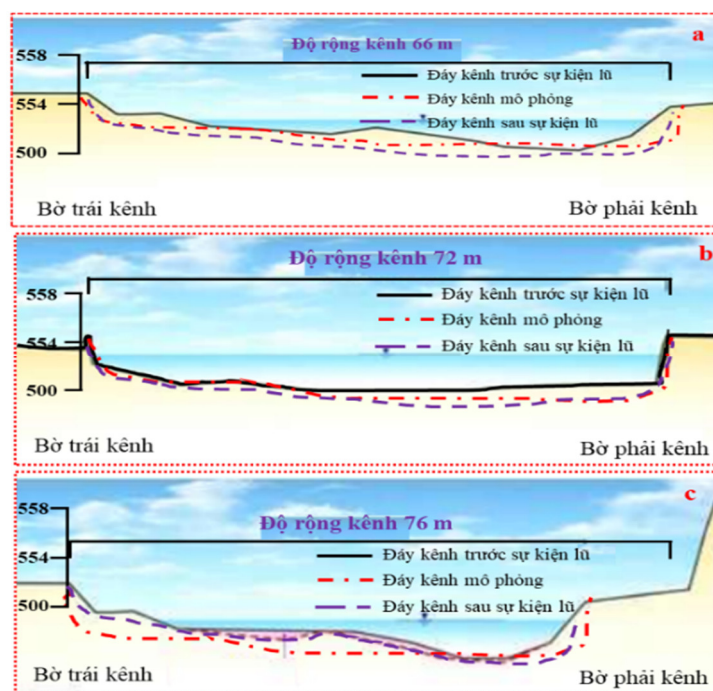
**Bảng 1.** Đánh giá khả năng thực hiện của mô hình mô phỏng diễn biến bồi xói đáy kênh thông qua các chỉ số thống kê sai số.

Chỉ số	Mặt cắt 4	Mặt cắt 5	Mặt cắt 6
NASH	0,79	0,83	0,80
RMSE	19%	13%	16%

Nhìn chung các kết quả mô phỏng biến đổi bồi xói địa hình đáy kênh từ mô hình phù hợp với dữ liệu đo đạc thông qua các chỉ số đánh giá sai số. Tại các mặt cắt ngang có thu thập dữ liệu thực tế so sánh với kết quả từ mô hình mô phỏng đều cho thấy mức độ phù hợp tốt. Thêm vào đó, các kết quả phân tích xu thế bồi xói và xói lở cực đại xảy ra tại bờ phải của đoạn kênh nghiên cứu, cụ thể là tại các mặt cắt ngang số 4, 5 và 6 (Hình 10a–10c) đều cho thấy sự phù hợp của mô hình mô phỏng với dữ liệu thực đo.

## 4. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng chương trình mô phỏng diễn biến bồi xói đáy kênh dựa trên sự kết hợp của các phương trình Saint–Venant 2D trong hệ tọa độ Descartes và phương trình vận chuyển bùn cát, phương trình thay đổi mực bề mặt đáy. Hệ thống các phương trình được giải bằng phương pháp phân sai phân hữu hạn với lưới cấu trúc so le. Chương trình được viết trên nền ngôn ngữ Fortran 90. Chương trình được áp dụng mô phỏng bồi xói đáy kênh cho một đoạn kênh có địa hình đáy dốc thuộc sông Yangyang, Hàn Quốc. Khả năng thực hiện của mô hình được đánh giá thông qua các chỉ dẫn sai số cho thấy khá phù hợp, tuy nhiên, kết quả mô phỏng thủy động lực từ mô hình có trị số giá trị đỉnh lưu lượng thấp hơn so với dữ liệu đo đạc và các chuyển động của dòng cũng có sự trễ pha so với dữ liệu đo đạc. Nhìn chung, việc phát triển một chương trình mô phỏng các quá trình thủy động lực và diễn biến bồi xói lòng dẫn giúp các nhà nghiên cứu dễ dàng thực hiện mục tiêu riêng cần đạt được mà các mô hình thương mại chưa đáp ứng được. Tuy nhiên, việc xây dựng một chương trình tính áp dụng cho một nghiên cứu cụ thể gặp rất nhiều trở ngại, các giao diện trình bày các kết quả nghiên cứu thiếu linh hoạt so với các mô hình thương mại. Thêm vào đó, quá trình tiến hành mô phỏng từ mô hình mất khá nhiều thời gian của cùng công việc so với mô hình thương mại.



**Hình 10.** So sánh kết quả mô phỏng bồi xói đáy kênh sau sự kiện lũ tại các mặt cắt ngang 4, 5 và 6 (Hình 7a) tương ứng với các hình a, b và c vào ngày 01/11/2018.

**Đóng góp của tác giả:** Tác giả đã xây dựng ý tưởng nghiên cứu, lựa chọn phương pháp nghiên cứu, viết bản thảo bài báo.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học mã số B134571-07. Tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của Giáo sư Park Sang Deog và các đồng nghiệp tại Phòng nghiên cứu Động lực sông ngòi, Đại học Quốc gia Gangneung-wonju, Hàn Quốc cho các góp ý, hỗ trợ dữ liệu suốt quá trình thực hiện nghiên cứu này.

**Lời cam đoan:** Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của chính 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. Bunte, K.; Abt, S.R.; Swingle, K.W.; Cenderelli, D.A.; Schneider, J.M. Critical Shields values in coarse-bedded steep streams. *Water Resour. Res.* **2013**, *49*, 7427–7447, doi:10.1002/2012WR012672.
2. Camenen, B. Discussion of “Understanding the influence of slope on the threshold of coarse grain motion: Revisiting critical stream power” by C. Parker, N.J. Clifford, and C.R. Thorne *Geomorphology* **2012**, *126*, 51–65.
3. Nitsche, M.; Rickenmann, D.; Turowski, J.M.; Badoux, A.; Kirchner, J.W. Evaluation of bedload transport predictions using flow resistance equations to account for macro-roughness in steep mountain streams. *Water Resour. Res.* **2011**, *47*, W08513.
4. Wyss, C.R.; Rickenmann, D.; Fritschi, B.; Turowski, J.; Weitbrecht, V.; Boes, R. Measuring bed load transport rates by grain-size fraction using the Swiss Plate Geophone Signal at the Erlenbach. *J. Hydraul. Eng.* **2016**, *142*, 04016003.
5. Chiari, M. Numerical modelling of bed-load transport in torrents and mountain streams. Dissertation, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna. 2008.

6. Biyun, F.; Xudong, F.; Zhengfeng, Z. Relationship between the topography, riverbed evolution and the secondary geological disasters after the earthquake in the Longxi River Basin. *J. Basic Sci. Eng.* **2013**, *21*, 1005–1017.
7. Mueller, E.R.; Pitlick, J. Sediment supply and channel morphology in mountain river systems: 1. Relative importance of lithology, topography, and climate. *J. Geophys. Res. Earth Surf.* **2013**, *118*, 2325–2342.
8. Van Emelen, S. Erosion modeling over a steep slope: application to a dike overtopping test case. Proceeding of 2013 IAHR World Congress, Chengdu, China. 2013.
9. Wu, W.; Marsooli, R.; He, Z. Depth-averaged two-dimensional model of unsteady flow and sediment transport due to non-cohesive embankment break/breaching. *J. Hydraul. Eng. ASCE* **2012**, *138*, 503–516.
10. Schneider, J.M.; Rickenmann, D.; Turowski, J.M.; Bunte, K.; Kirchner, J.W. Applicability of bed load transport models for mixed size sediments in steep streams considering macro-roughness. *Water Resour. Res.* **2015**, *51*, 5260–5283.
11. Yager, E.M.; Kirchner, J.W.; Dietrich, W.E. Calculating bed load transport in steep boulder bed channels. *Water Resour. Res.* **2007**, *43*, W07418.
12. Xu, R.; Zhong, D.; Wu, B.; Fu, X.; Miao, R. A large time step Godunov scheme for free-surface shallow water equations. *Chin. Sci. Bull.* **2014**, *59*, 2534–2540.
13. Andharia, B.R.; Patel, P.L.; Manekar, V.L.; Porey, P.D. Prediction of bed level variations in nonuniform sediment bed channel. *Sādhanā* **2018**, *43*, 55.
14. Cheng, N.S.; Chen, X. Slope Correction for calculation of bedload sediment transport rates in steep channels. *J. Hydraul. Eng. ASCE* **2014**, *140*, 4001–4018.
15. Chiari, M. Numerical modelling of bed-load transport in torrents and mountain streams. Dissertation, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna. 2008.
16. Horritt, M. Development and testing of a simple 2D finite volume model of sub critical shallow water flow. *J. Numer. Math.* **2004**, *44(11)*, 1231–1255.
17. Recking, A. Influence of sediment supply on mountain streams bedload transport. *Geomorphology* **2012**, *175–176*, 139–150.
18. Ferreira, R.M.L.; Leal, J.G.A.B.; Cardoso, A.H. Conceptual model for the bedload layer of gravel bed stream based on laboratory observations. *Proc. Int. Conf. on Fluvial Hydraul. River Flow* Lisbon, Portugal, 2006, 1.
19. Bathurst, J.C. Effect of coarse surface layer on bed-load transport. *J. Hydraul. Eng.* **2007**, *133*, 1192–1205.
20. Bravo-Espinosa, M.; Osterkamp, W.; Lopes, V. Bedload transport in alluvial channels. *J. Hydraul. Eng.* **2003**, *10*, 783–795.
21. Hassan, A.; Church, M.; Lisle, T.E.; Brardinoni, F.; Benda, L.; Grant, G.E. Sediment transport and channel morphology of small, forested streams. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **2005**, *41(4)*, 853–876.
22. Pianese, D.; Rossi, F. Morphological changes and grain sorting in mountain gravel-bed streams. *Fluvial Hydraul. of Mountain Reg.* **2005**, *37*, 361–381.
23. Rahuel, J.L.; Holly, F.M.; Chollet, J.P.; Belludy, P.; Yang, G. Modelling of riverbed evolution for bed load sediment mixtures. *J. Hydraul. Eng. ASCE* **1989**, *115*, 1521–1542.
24. Chiari, M.; Friedl, K.; Rickenmann, D. A one-dimensional bedload transport model for steep slopes. *J. Hydraul. Res.* **2010**, *48*, 152–160.
25. Goutière, L.; Soares-Frazaõ, S.; Savary, C.; Laraichi, T.; Zech, Y. One-dimensional model for transient flows involving bedload sediment transport and changes in flow regimes. *J. Hydraul. Eng. ASCE* **2008**, *134*, 726–735.

26. Dang, T.A.; Park, S.D.; Woo, T.Y.; Nam, A.R. Numerical modeling of riverbed variation in open channels. Proceeding of 2013 IAHR World Congress. 2013.
27. Papanicolaou, A.N.; Bdoura, A.; Wickleinb, E. One-dimensional hydrodynamic/sediment transport model applicable to steep mountain streams. *J. Hydraul. Res.* **2004**, *42*, 357–375.
28. Riaz, M.Z.B.; Shakir, A.S.; Masood, M. One dimensional numerical simulation of aggradation–degradation in a channel using finite difference method case study Chashma right bank canal (CRBC). *Fluid Mech Open Acc.* **2007**, *4*, 178.
29. Hou, J.; Zhang, C.; Wang, D.; Li, F.; Yu, Z.; Zhou, Q. Fixed–bed and mobile–bed resistance of channels with steep gradients in mountainous areas. *Water* **2019**, *11*, 681.
30. Luo, M.; Yu, H.; Huang, E.; Ding, R.; Lu, X. Two–Dimensional Numerical Simulation Study on Bed–Load Transport in the Fluctuating Backwater Area: A Case–Study Reservoir in China. *Water* **2018**, *10*, 1425.
31. An, Đ.T. Khả năng áp dụng các công thức bán thực nghiệm bùn cát đáy cho lưu vực sông có địa hình đáy dốc. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, *726*, 30–40.
32. Park, S.D.; Lee, S.W.; Han, K.D. Development of technique estimating sediment load in mountain river. *MOLIT Final report, Land Transport R&D Report R&D/ B–01*, 2013, 275–278.
33. Turowski, J.M.; Badoux, A.; Rickenmann, D. Start and end of bedload transport in gravel–bed streams. *Geophys. Res. Lett.* **2011**, *38*, L04401.
34. McKee, S.; Tom, M.F.; Cuminato, J.A.; Castelo, A.; Ferreira, V.G. Recent advances in the Marker and Cell method. *Archives Comp. Methods Eng.* **2004**, *11*, 107–142.
35. Paulo, G.S.; Tom, M.F.; McKee, S. A marker–and–cell approach to viscoelastic free surface flows using the PTT model. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* **2007**, *147*, 149–174.

## Development of 2D numerical model to simulate bed level variation in the steep slope channels

Dang Truong An<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> University of Science –Vietnam National University–HCM City, 227 Nguyen Van Cu, District 5, HCMC; dtan@hcmus.edu.vn

**Abstract:** Studies on sediment transport in rivers with steep bed slopes are facing several obstacles compared to delta rivers due to sudden changes in riverbed topography and rapidly changing flow regimes, etc. Sediment transport in rivers with steep bed slope is a complicated problem because the riverbed material is often heterogeneous and contains a variety of particles of different sizes such as soil, gravel, pebbles and boulders, etc. This study, therefore, initially develops a computer program to simulate the bed level variation processes in the steep channels based on the grain size fraction approach together with considering the horizontal movement of sediment particles to the bed channel maintenance process. The two–dimensional (2D) hydrodynamic equations and bed load sediment transport are solved by finite difference method (FDM) and written on the software language Fortran 90. The developed program is, then, applied to simulate the bed level variation in the Teabeak River section, South Korea after a severe flood event. The performance of the developed model is evaluated through the NASH and RMSE statistical indexes. The results carried out with NASH = 0.79–0.83 and RMSE = 13%–19% confirmed the appropriateness of the developed model, thereby results indicating the prospect of the model deployment in the future.

**Keywords:** Morphology; Steep channel; Numerical model; FDM; Bedload sediment.



# Table of content

- 1** Duong, N.D.; Hai, P.H.; Phuong, P.L. Research and apply table structure recognition algorithm based on object detection. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 727, 1–12.
- 13** Ngoc, P.K.; Thuy, N.B. Some initial results on the application of satellite data to validate wave heights forecasting . *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 727, 13–23.
- 24** Vinh, G.V.; Duc, N.N.; Hai, N.H. A solution for monitoring, checking and exploiting data obtained from automatic hydro–meteorological network in the Southern region. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 727, 24–32.
- 33** Toan, H.C.; An, D.T. Simulating rainfall intensity–duration–frequency curve towards establishing inundation maps in Camau Peninsula. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 727, 33–43.
- 44** Hong, N.V.; Mi, N.T.C. Climate Trends and Climate Change Scenarios in Ninh Thuan Province, Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 727, 44–55.
- 56** Tuan, L.N.; Huy, D.T. Evolution of water quality in the coastal area in Ho Chi Minh City during the period of 2016–2019. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 727, 56–67.
- 68** Tuan, L.N.; Hoang, T.T. Forecasting surface water quality in the coastal area in Ho Chi Minh City to 2030 in the context of sea level rise . *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 727, 68–81.
- 82** An, D.T. Development of 2D numerical model to simulate bed level variation in the steep slope channels. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 727, 82–94.