

**TẠP CHÍ**

# **KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN**

**Journal of Hydro - Meteorology**

**ISSN 2525 - 2208**



**TỔNG CỤC KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN**

**Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration**

**Số 757**

**01-2024**



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

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

**Giấy phép xuất bản**

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

**Tòa soạn**

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

**Chế bản và In tại:**

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

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

Giá bán: 40.000 đồng

**TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN**  
**SỐ 757 - 1/2024**

**MỤC LỤC**

**Bài báo khoa học**

- 1** **Trần Thị Tâm, Nguyễn Đăng Mậu, Trịnh Hoàng Dương, Nguyễn Thị Ngọc Anh, Phạm Đình Thảo, Lê Duy Linh:** Ứng dụng mô hình DSSAT dự báo năng suất lúa ở đồng bằng sông Hồng
- 11** **Nguyễn Văn Hồng, Phạm Ánh Bình:** Cân bằng nước lưu vực sông La Ngà bằng mô hình Mike Hydro
- 25** **Nguyễn Hồng Trường, Trần Văn Sơn, Đặng Văn Cẩm:** Nghiên cứu đánh giá xu thế biến đổi nhiệt độ giai đoạn 1980-2021 tại tỉnh Bình Thuận
- 39** **Đỗ Thị Ngọc Bích, Nguyễn Tú Anh, Nguyễn Thành Long, Hoàng Bích Ngọc, Nguyễn Hoàng Bách:** Ước tính giá trị kinh tế sử dụng của nước tưới cho lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn
- 51** **Nguyễn Trần Linh, Bùi Đức Sơn, Vũ Ngọc Linh:** Nghiên cứu đề xuất bộ tiêu chí về giám sát biến đổi khí hậu phục vụ sửa đổi, bổ sung và hoàn thiện chế định giám sát biến đổi khí hậu tại Việt Nam
- 60** **Trần Văn Anh, Hà Trung Khiên, Khúc Thành Đông, Lê Thanh Nghị, Trần Hồng Hạnh, Doãn Hà Phong:** Nghiên cứu khả năng của mô hình học máy GB và SVR trong thành lập bản đồ nguy cơ lún đất khu vực bán đảo Cà Mau, Việt Nam
- 74** **Nguyễn Thành Long, Nguyễn Tú Anh, Đỗ Thị Ngọc Bích, Lê Văn Linh, Hoàng Thị Thảo, Nguyễn Hoàng Bách, Hoàng Bích Ngọc, Phạm Lan Anh:** Đánh giá xu hướng biến động mưa trên lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn giai đoạn 1978-2020
- 86** **Trần Thị Minh Hằng, Trần Thị Hạnh, Trần Thiện Cường:** Đánh giá hiệu quả quản lý của một số hang động trên vịnh Hạ Long, Quảng Ninh

Bài báo khoa học

## Ứng dụng mô hình DSSAT dự báo năng suất lúa ở đồng bằng sông Hồng

Trần Thị Tâm<sup>1\*</sup>, Nguyễn Đăng Mậu<sup>1</sup>, Trịnh Hoàng Dương<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Ngọc Anh<sup>2</sup>, Phạm Đình Thân<sup>2</sup>, Lê Duy Linh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; trantam1810@gmail.com; mau.imhen@gmail.com; hoangduongktnn@gmail.com

<sup>2</sup> Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội; anhnguyenngoc.inest@gmail.com; thandinhpham1906@gmail.com; lebadao25082003@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: trantam1810@gmail.com; Tel.: +84-979920926

Ban Biên tập nhận bài: 8/9/2023; Ngày phản biện xong: 24/10/2023; Ngày đăng bài: 25/1/2024

**Tóm tắt:** Các mô hình cây trồng có vai trò lớn trong việc hỗ trợ quản lý nhằm tăng năng suất và xác định sự cân bằng giữa năng suất, hiệu quả sử dụng tài nguyên và tác động của môi trường. Bài báo ứng dụng mô hình DSSAT - CERES - RICE (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer - Crop Environment Resource Synthesis (CERES) - Rice*) là hệ thống hỗ trợ quyết định chuyên giao công nghệ nông nghiệp với mô đun tổng hợp tài nguyên môi trường của cây lúa nhằm dự báo năng suất lúa ở các tỉnh thuộc vùng đồng bằng sông Hồng trong giai đoạn 2017-2021. Kết quả mô phỏng cho thấy: Trong vụ đông xuân, chênh lệch giữa năng suất mô phỏng và năng suất thực tế dao động trong khoảng 4,92-6,09 tạ/ha; Trong vụ mùa mức chênh lệch này dao động từ 4,32-4,81 tạ/ha. Sai số tuyệt đối trung bình (MAE) trong vụ đông xuân là 0,05 tạ/ha, trong vụ mùa là 0,07 tạ/ha. Sai số quân phương (RMSE) trong vụ đông xuân là 0,37 tạ/ha và trong vụ mùa là 0,47 tạ/ha. Kết quả nghiên cứu của bài báo là cơ sở khoa học trong ứng dụng mô hình cho các hoạt động nghiên cứu, trao đổi và cung cấp thông tin giữa các đơn vị nghiên cứu và các đơn vị ứng dụng. Đồng thời, các kết quả trong bài báo này cũng là cơ sở để hoạch định các kế hoạch sản xuất nông nghiệp phù hợp ở vùng đồng bằng sông Hồng và các vùng có khả năng áp dụng.

**Từ khóa:** DSSAT - CERES - RICE; Dự báo năng suất lúa.

### 1. Mở đầu

Lúa là loại cây lương thực chính và quan trọng nhất ở Việt Nam, với 2 vùng canh tác lớn là đồng bằng sông Hồng và đồng bằng sông Cửu Long. Lúa gạo đóng vai trò thiết yếu trong đời sống của người dân và tạo nguồn thu lớn từ xuất khẩu. Trong bối cảnh hội nhập quốc tế, với tiềm lực một nước xuất khẩu gạo đứng hàng thứ 2 - 3 trên thế giới thì những thông tin dự báo về năng suất cây trồng đặc biệt là thông tin dự báo năng suất và sản lượng lúa càng trở nên cấp thiết [1, 2].

Đồng bằng sông Hồng (ĐBSH) là vùng đất do phù sa sông Hồng và sông Thái Bình bồi đắp và là cái nôi của nền văn minh lúa nước ở Việt Nam. Đồng bằng sông Hồng gồm 10 tỉnh, bao gồm: Hà Nội, Hải Phòng, Vĩnh Phúc, Bắc Ninh, Hải Dương, Hưng Yên, Thái Bình, Hà Nam, Nam Định, Ninh Bình. Theo thống kê năm 2021 [3], tổng diện tích trồng lúa vùng ĐBSH là 931,8 nghìn ha với năng suất bình quân đạt 62 tạ/ha. Diện tích trồng lúa đang có xu hướng giảm dần do quá trình đô thị hóa và chuyển đổi mục đích sử dụng đất, tuy nhiên năng suất có xu thế tăng lên do sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật trong canh tác và lai tạo được các giống lúa có năng suất cao.

Những năm gần đây, biến đổi khí hậu (BĐKH) thể hiện rõ rệt và có tác động lớn đến hoạt động sản xuất nông nghiệp [4, 5]. Nhiệt độ ngày càng tăng gây tình trạng hạn hán nghiêm trọng. Mưa lớn bất thường gây tình trạng lũ lụt, mất mùa và nhiều hiện tượng thời tiết cực đoan khác có tác động nghiêm trọng đến hoạt động sản xuất và năng suất, sản lượng cây lúa.

Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật, việc ứng dụng các mô hình trong dự báo nông nghiệp ngày càng trở nên phổ biến, đặc biệt là các mô hình mô phỏng mùa vụ cây trồng. Mô hình hóa dự đoán mùa vụ nhằm ước tính năng suất có thể thu hoạch được của cây trồng dựa trên những phương trình toán học với dữ liệu đầu vào là những yếu tố tác động đến cây trồng. Từ đó, có thể thay đổi các thông số đầu vào để tìm ra được thời điểm, cách thức chăm sóc, loại đất, vị trí trồng tối ưu, phù hợp với giống cây và cho năng suất cao nhất. Hiện nay, trên thế giới có rất nhiều phương pháp mô hình hóa mùa vụ, được phân loại theo nhiều khía cạnh. Đơn giản nhất là các phương pháp trong loại mô hình thực tiễn sử dụng xác suất thông kê trên các dữ liệu quan sát được những vùng nhất định để thiết lập các phương trình hồi quy. Tiêu biểu như mô hình đơn giản ước lượng năng suất đậu nành tại Brasil [6], hạn chế của các mô hình dạng này thường chỉ áp dụng trên một khu vực nhất định và cho những giống cây trồng nhất định. Ở khía cạnh thuộc tính cấp thấp, có những dạng mô hình cơ giới mô phỏng lại các quá trình vật lý, hóa học hoặc sinh học để mô tả lại các quá trình động, quá trình tương tác tới sự phát triển của cây trồng như nghiên cứu về cân bằng nước, carbon, ni-tơ tới sự phát triển của cây trồng và năng suất [7, 8]; Tuy nhiên, các mô hình này khá phức tạp trong việc xây dựng thông số đầu vào. Các mô hình mô phỏng mùa vụ còn được phân loại theo dạng chu trình mô hình tĩnh (*static simulation*) và động (*dynamic simulation*); Khác với các mô hình tĩnh chỉ thể hiện các kết quả cuối cùng, phương trình không có các biến thời gian, các mô hình động tạo ra các kết quả theo các chuỗi thời gian và không gian [9].

Một trong số những nền tảng mô hình ứng dụng trong nông nghiệp được sử dụng rộng rãi hiện nay là hệ thống mô hình DSSAT [10, 11]. DSSAT là một tập hợp các chương trình độc lập hoạt động cùng nhau, dữ liệu đầu vào bao gồm các thông tin về khí tượng, đất đai, cây trồng, quản lý cây trồng [12–18]. Nó giúp người dùng mô phỏng các tùy chọn quản lý cây trồng và so sánh các kết quả mô phỏng với các quan sát thực tế để đưa ra các quyết định trong sản xuất. Trong khuôn khổ bài báo này sử dụng mô đun CERES-RICE phiên bản 4.8 dựa trên phương pháp mô hình hóa động được giới thiệu trong [9] để mô phỏng sinh trưởng, phát triển và hình thành năng suất của cây lúa ở vùng đồng bằng sông Hồng.

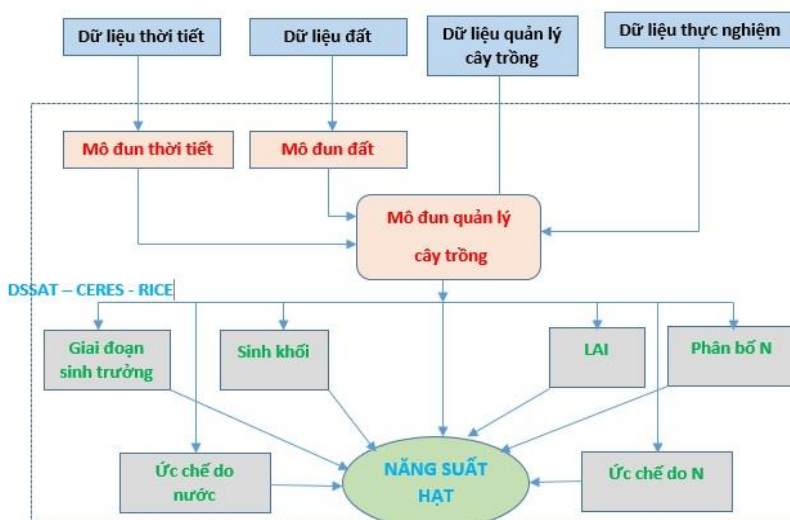
## 2. Cơ sở số liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Phương pháp nghiên cứu

Với mục tiêu đặt ra, bài báo sử dụng mô hình DSSAT - CERES - Rice phiên bản 4.8 để mô phỏng các giai đoạn sinh trưởng, phát triển và hình thành năng suất cây lúa. Quy trình được mô tả theo Hình 1.

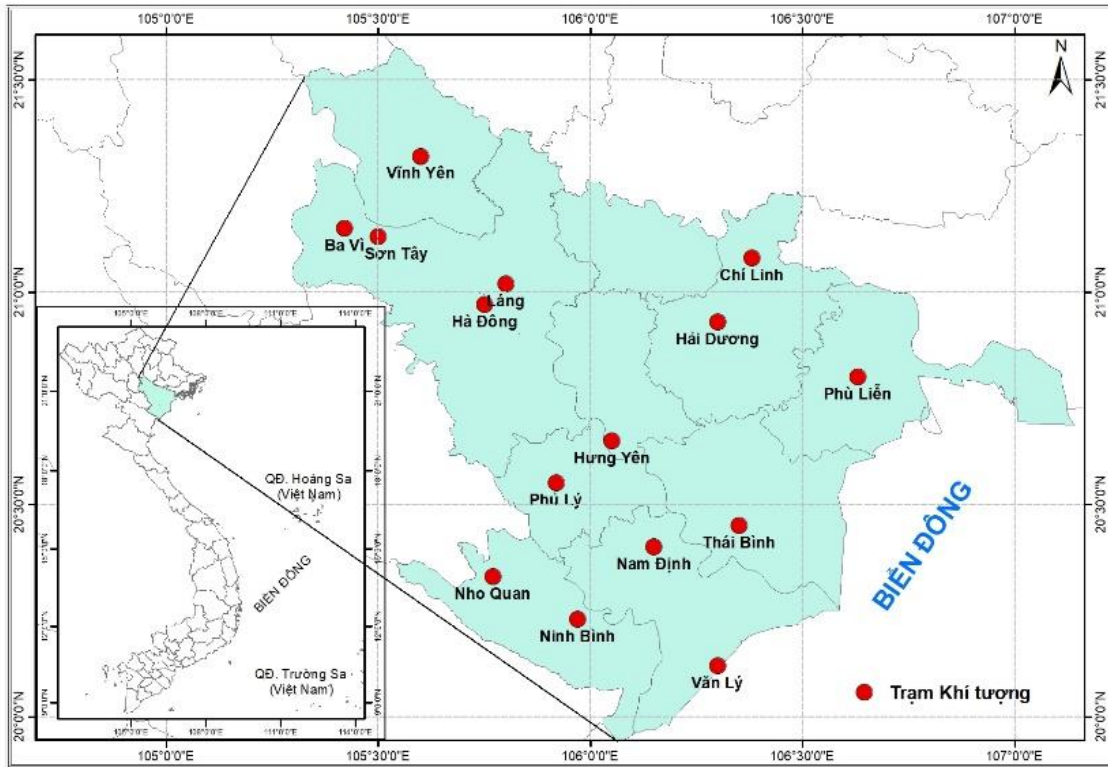
### 2.2. Số liệu nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là vùng đồng bằng sông Hồng thuộc miền Bắc Việt Nam, nằm



Hình 1. Cấu trúc mô hình DSSAT- CERES- Rice.

trong giới hạn tọa độ: từ 19°5'00"N đến 21°34'00"N (vĩ độ bắc) và từ 105°17'00"E đến 107°7'00"E (kinh độ đông) (Hình 2).



**Hình 2.** Sơ đồ vị trí khu vực nghiên cứu.

Các nguồn tài liệu được sử dụng cho nghiên cứu bao gồm:

- Dữ liệu khí tượng: Số liệu quan trắc khí tượng tại 15 trạm vùng đồng bằng sông Hồng, gồm các yếu tố khí tượng ngày giai đoạn 2013-2014 và 2017-2021: nhiệt độ tối cao, nhiệt độ tối thấp, lượng mưa, độ ẩm không khí và bức xạ quang hợp.

**Bảng 1.** Các yếu tố khí tượng được sử dụng.

TT	Mô tả	Ký hiệu
1	Nhiệt độ tối cao	TMAX
2	Nhiệt độ tối thấp	TMIN
3	Lượng mưa	RAIN
4	Độ ẩm không khí	RHUM
5	Bức xạ quang hợp	SRAD

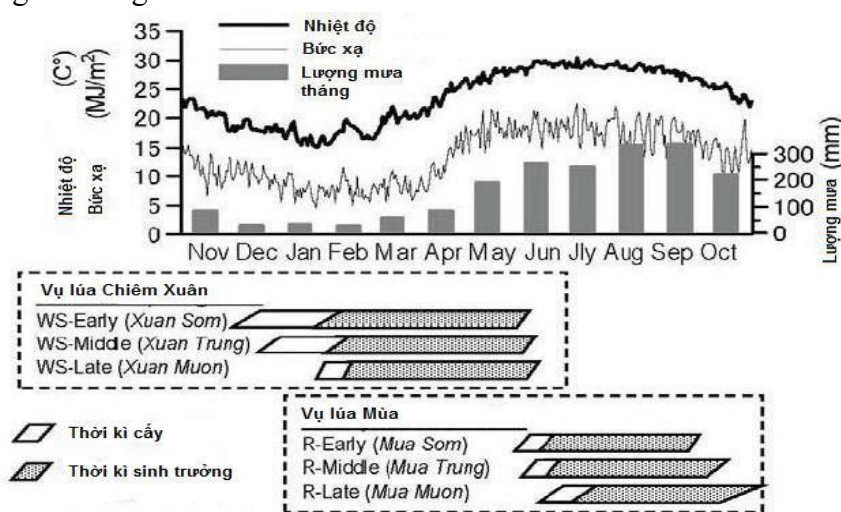
- Dữ liệu đất: Đất trồng lúa ở đồng bằng sông Hồng chủ yếu là đất phù sa trong đê (đất phù sa không bồi). Do vậy, đề tài sử dụng các đặc tính lý hóa của đất phù sa trung tính ít chua ở ĐBSH [19] để mô phỏng (Bảng 2).

**Bảng 2.** Các thành phần lý - hóa của phẫu diện đất phù sa.

Độ sâu (cm)	Sét (%)	Phù sa (%)	Cát (%)	PH	Hàm lượng N tổng số (%)	Canxi trao đổi (cmol/kg)
0 - 12	31,7	59,3	9	5,0	0,16	5
12 - 30	34,8	57	8,2	6,4	0,12	5
30 - 45	47,6	46,2	6,2	6,1	0,10	5
45 - 85	46,3	45,8	7,9	6,2	0,04	5
85 - 120	35,4	48,8	15,8	5,1	0,07	5

- Dữ liệu cây trồng: Hiện nay có 3 nhóm giống được trồng ở vùng đồng bằng sông Hồng là nhóm giống ngắn ngày, trung ngày và dài ngày. Tuy nhiên, trong khuôn khổ bài báo đã thu thập được các dữ liệu thực nghiệm của giống lúa trung ngày (Nhị ưu 838 và Bắc thơm) trong vụ Đông xuân và vụ Mùa năm 2013-2014 làm cơ sở kiểm nghiệm mô hình. Nguồn dữ liệu thực nghiệm lấy từ dự án hợp tác nghiên cứu về lúa vùng đồng bằng sông Hồng giữa Viện Nghiên cứu lúa Quốc tế (IRRI) và Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu thực hiện năm 2013-2014.

- Dữ liệu quản lý sản xuất: Hiện nay vùng đồng bằng sông Hồng định hình rõ 2 vụ lúa chính là vụ lúa đông xuân và vụ lúa mùa (Hình 3). Trong bài báo này sử dụng giống lúa gieo chính vụ, với vụ đông xuân bắt đầu từ đầu tháng 2 đến giữa tháng 2 và kết thúc vào cuối tháng 5 đầu tháng 6, vụ mùa chính vụ bắt đầu từ đầu tháng 6 đến giữa tháng 6 và kết thúc vào đầu tháng 10 đến giữa tháng 10.



Hình 3. Cơ cấu mùa vụ lúa ở ĐBSH [20].

- Dữ liệu thống kê: Dữ liệu về năng suất lúa trung bình tính của 10 tỉnh vùng đồng bằng sông Hồng được tổng hợp từ niên giám thống kê từng năm trong giai đoạn 2017-2021 [3, 21-24].

- Dữ liệu thực nghiệm: Sử dụng số liệu thực nghiệm năm 2013-2014 về các giai đoạn sinh trưởng, LAI và năng suất lúa (lấy từ dự án hợp tác nghiên cứu về lúa vùng đồng bằng sông Hồng giữa Viện Nghiên cứu lúa Quốc tế (IRRI) và Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu thực hiện năm 2013-2014).

### 3. Kết quả

#### 3.1. Hiệu chỉnh tham số và đánh giá mô hình

##### 3.1.1. Hiệu chỉnh các tham số mô hình

Để mô hình mô phỏng sự sinh trưởng, phát triển và năng suất sát với thực tế của các giống lúa ở đồng bằng sông Hồng, cần tiến hành hiệu chỉnh các tham số của mô hình đối với từng giống lúa. Độ chính xác trong mô phỏng năng suất, sinh khối, các giai đoạn sinh trưởng đòi hỏi các hệ số thích hợp [25, 26]. Mô phỏng tiến hành với 2 giống lúa: Nhị ưu 838 (vụ đông xuân) và Bắc thơm (vụ mùa), các tham số được hiệu chỉnh bao gồm:

P1: Nhiệt tích lũy trong khoảng thời gian (được biểu thị bằng số ngày sinh trưởng - GDD) kể từ khi hạt nảy mầm trong thời gian đó cây lúa không phản ứng với sự thay đổi trong chu kỳ quang của cây. Thời kỳ này cũng gọi là giai đoạn sinh dưỡng cơ bản của cây.

P2O: Chu kỳ quang tối hạn mà tại đó sự phát triển xảy ra với tốc độ tối đa

P2R: Hệ số chu kỳ quang

P5: Nhiệt tích lũy trong khoảng thời gian tính theo GDD (°C) từ khi bắt đầu tạo hạt (3-4 ngày sau khi ra hoa) đến khi chín sinh lý.

G1: Hệ số số nhánh

G2: Trọng lượng hạt đơn

G3: Hệ số đẻ nhánh

THOT: Nhiệt độ (°C) trên đó tính bắt dục của bông con bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ cao.

**Bảng 3.** Giá trị hiệu chỉnh tham số cho 2 giống lúa Nhị Ưu 838 (vụ Đông xuân) và Bắc thơm (vụ Mùa).

Giống lúa	P1	P2O	P2R	P5	G1	G2	G3	THOT
Nhị ưu 838	437,1	11,6	61	371,8	77,8	0,026	1	30,4
Bắc thơm	500	12,5	50	490	62	0,0265	1	28

### 3.1.2. Đánh giá khả năng mô phỏng của mô hình

Để kiểm nghiệm khả năng mô phỏng của mô hình bài báo sử dụng dữ liệu thực nghiệm về các giống lúa Nhị Ưu 838 (vụ đông xuân) và Bắc Thơm (vụ mùa). Kết quả mô phỏng cho thấy: đối với giống Nhị Ưu 838 (vụ đông xuân) chênh lệch về độ dài thời kỳ sinh trưởng dao động trong khoảng 0,94-3,13%, chênh lệch thời gian giữa hai kỳ phát dục dao động trong khoảng 0-4,35%; Đối với giống Bắc thơm (vụ mùa) chênh lệch về độ dài thời kỳ sinh trưởng dao động trong khoảng 0-3,33%, chênh lệch thời gian giữa hai kỳ phát dục dao động trong khoảng 0-12,5% (Bảng 4).

**Bảng 4.** Chênh lệch về thời kỳ phát dục giữa mô phỏng và quan trắc.

Các thời kỳ phát dục	Quan trắc			Mô phỏng			Chênh lệch (%)	
	Ngày phát dục	Độ dài thời kỳ sinh trưởng (ngày)	Thời gian giữa hai kỳ phát dục (ngày)	Ngày phát dục	Độ dài thời kỳ sinh trưởng (ngày)	Thời gian giữa hai kỳ phát dục (ngày)	Độ dài thời kỳ sinh trưởng (%)	Thời gian giữa hai kỳ phát dục (%)
Nhị ưu 838 (vụ Đông xuân)								
Cây	14/02			14/02				
Đẻ nhánh	18/03	33	33	17/03	32	32	-3,13	-3,13
Làm đòng	01/05	77	44	02/05	78	46	1,28	4,35
Trở bông	08/05	84	7	09/05	85	7	1,18	0,00
Chín sinh lý	29/05	105	21	31/05	106	21	0,94	0,00
Bắc thơm (vụ Mùa)								
Cây	28/06			28/06				
Đẻ nhánh	27/07	29	28	28/07	30	30	3,33	6,67
Làm đòng	28/08	62	33	29/08	62	32	0,00	-3,13
Trở bông	05/09	69	7	06/09	70	8	1,43	12,50
Chín sinh lý	27/09	91	22	28/09	92	22	1,09	0,00

Về đặc trưng vật hậu, kết quả cho thấy sai số quân phương (RMSE) đối với giống lúa Nhị Ưu 838 (vụ đông xuân) và Bắc thơm (vụ mùa) về ngày trở bông đều là 1 ngày; Sai số quân phương đối với LAI lần lượt là 3,77% và 0,27%; Sai số quân phương đối với năng suất hạt lần lượt là 2,08 và 2,17 tạ/ha (Bảng 5).

**Bảng 5.** Kiểm nghiệm mô hình đối với đặc trưng cây lúa.

Giống lúa	Quan trắc			Mô phỏng			Chênh lệch		
	Ngày trở bông (ngày)	LAI	Năng suất hạt (tạ/ha)	Ngày trở bông	LAI	Năng suất hạt	Ngày trở bông (ngày)	LAI	Năng suất hạt (tạ/ha)
Nhị ưu 838 (vụ Xuân)	08/05	4,6	62,3	09/05	4,78	64,38			
							1	3,77	2,08
Bắc thơm (vụ Mùa)	05/09	3,65	45,8	06/09	3,66	43,63			
							1	0,27	2,17

### 3.2. Mô phỏng năng suất hạt giai đoạn 2017-2021 bằng mô hình DSSAT - CERES - RICE

Kết quả mô phỏng năng suất hạt theo 2 vụ đông xuân và mùa ở các tỉnh đồng bằng sông Hồng cho thấy: Trong vụ đông xuân, chênh lệch giữa năng suất mô phỏng và năng suất thực tế dao động trong khoảng 4,92-6,09 tạ/ha; Trong vụ mùa mức chênh lệch này dao động từ 4,32-4,81 tạ/ha. Sai số tuyệt đối trung bình (MAE) trong vụ đông xuân là 0,05 tạ/ha, trong vụ mùa là 0,07 tạ/ha. Sai số quân phương (RMSE) trong vụ đông xuân là 0,37 tạ/ha và trong vụ mùa là 0,47 tạ/ha.

**Bảng 6.** Chênh lệch giữa năng suất mô phỏng và năng suất thực tế ở các tỉnh vùng đồng bằng sông Hồng.

Tỉnh	Năm	Vụ	Thống kê (tạ/ha)	Mô phỏng (tạ/ha)	Chênh lệch
Ninh Bình	2017	Đông xuân	66,1	68,17	2,07
		Mùa	45,1	42,77	-2,33
	2018	Đông xuân	66,7	65,58	-1,12
		Mùa	53,3	49,89	-3,41
	2019	Đông xuân	66,8	62,74	-4,06
		Mùa	53,7	55,88	2,18
	2020	Đông xuân	66,5	71,01	4,51
		Mùa	54,1	50,36	-3,74
	2021	Đông xuân	66,8	64,38	-2,42
		Mùa	54,5	51,5	-3,00
Nam Định	2017	Đông xuân	69,4	73,6	4,20
		Mùa	47	43,63	-3,37
	2018	Đông xuân	69,6	70,47	0,87
		Mùa	50,2	52,24	2,04
	2019	Đông xuân	69,4	65,69	-3,71
		Mùa	51,5	52,08	0,58
	2020	Đông xuân	69,4	73,17	3,77
		Mùa	52,1	48,86	-3,24
	2021	Đông xuân	69,5	66,38	-3,12
		Mùa	52	51,5	-0,50
Hà Nam	2017	Đông xuân	66,8	69,81	3,01
		Mùa	47	50,06	3,06
	2018	Đông xuân	67,1	70,47	3,37
		Mùa	55,3	52,24	-3,06
	2019	Đông xuân	66,5	65,62	-0,88
		Mùa	57,4	55,94	-1,46
	2020	Đông xuân	66,6	72,69	6,09
		Mùa	57,8	61,03	3,23
	2021	Đông xuân	66,9	63,88	-3,02
		Mùa	57,8	61,11	3,31
Thái Bình	2017	Đông xuân	71,7	73,85	2,15
		Mùa	47,2	50,1	2,90
	2018	Đông xuân	71,8	70,13	-1,67
		Mùa	59,2	58,71	-0,49
	2019	Đông xuân	71,3	70,3	-1,00
		Mùa	60,5	65,27	4,77
	2020	Đông xuân	70,7	70,4	-0,30
		Mùa	61,2	59,54	-1,66
	2021	Đông xuân	71	73,51	2,51
		Mùa	59,2	54,88	-4,32
Hưng Yên	2017	Đông xuân	65,9	62,13	-3,77
		Mùa	53	55,83	2,83
	2018	Đông xuân	67,5	64,45	-3,05



Tỉnh	Năm	Vụ	Thống kê (tạ/ha)	Mô phỏng (tạ/ha)	Chênh lệch
Hải Dương	2019	Mùa	57,6	54,55	-3,05
		Đông xuân	67,5	62,8	-4,70
	2020	Mùa	60,5	60,22	-0,28
		Đông xuân	67,5	62,58	-4,92
	2021	Mùa	58,1	60,32	2,22
		Đông xuân	67,8	63,89	-3,91
	2017	Mùa	58,6	54,71	-3,89
		Đông xuân	65,1	61,78	-3,32
	2018	Mùa	46,2	43,78	-2,42
		Đông xuân	66,9	69,77	2,87
	2019	Mùa	53,7	53,52	-0,18
		Đông xuân	62,7	67,1	4,40
	2020	Mùa	56,1	59,3	3,20
		Đông xuân	63,1	59,46	-3,64
	2021	Mùa	58,1	56,99	-1,11
		Đông xuân	65,6	61,47	-4,13
	2017	Mùa	60	60,02	0,02
		Đông xuân	61,1	58,73	-2,37
2018	Mùa	48,6	51,36	2,76	
	Đông xuân	63,1	59,6	-3,50	
2019	Mùa	52,8	54,57	1,77	
	Đông xuân	62,2	61,41	-0,79	
2020	Mùa	52,4	54,91	2,51	
	Đông xuân	61,1	60,15	-0,95	
2021	Mùa	54,3	52,47	-1,83	
	Đông xuân	62,8	65,29	2,49	
2017	Mùa	56,2	52,91	-3,29	
	Đông xuân	69,5	71,82	2,32	
2018	Mùa	51,9	51,92	0,02	
	Đông xuân	70	67,73	-2,27	
2019	Mùa	57,2	55,81	-1,39	
	Đông xuân	69,7	70,81	1,11	
2020	Mùa	57,6	60,91	3,31	
	Đông xuân	69,7	65,45	-4,25	
2021	Mùa	58,8	54,75	-4,05	
	Đông xuân	70,2	68,72	-1,48	
2017	Mùa	58,4	55,5	-2,90	
	Đông xuân	61,3	60,95	-0,35	
2018	Mùa	49,1	53,91	4,81	
	Đông xuân	62,8	61,13	-1,67	
2019	Mùa	51	55,42	4,42	
	Đông xuân	58,8	58,38	-0,42	
2020	Mùa	53,9	57,31	3,41	
	Đông xuân	59,7	58,43	-1,27	
2021	Mùa	57,8	56,49	-1,31	
	Đông xuân	62,6	60,14	-2,46	
Sai số trung bình (ME)	Mùa	58,5	55,37	-3,13	
	Đông xuân			-0,05	
Sai số tuyệt đối trung bình (MAE)	Mùa			-0,07	
	Đông xuân			0,05	
Sai số quân phương (RMSE)	Mùa			0,07	
	Đông xuân			0,37	
				0,47	

#### 4. Kết luận

Qua nghiên cứu ứng dụng mô hình DSSAT - CERES - RICE dự báo năng suất lúa ở đồng bằng sông Hồng, rút ra một số nhận xét sau:

- Mô hình sử dụng trong báo cáo là mô hình tiên tiến, tích hợp nhiều mô-đun giúp quản lý cây trồng có hiệu quả. Các kết quả từ mô hình giúp các nhà quản lý hoạch định những chính sách và kế hoạch để phát triển cây trồng bền vững.

- Các tham số trong mô hình được hiệu chỉnh để kết quả mô phỏng đạt được gần sát với thực tế.

- Kết quả mô phỏng cho thấy, năng suất mô phỏng từ mô hình có sự chênh lệch không nhiều so với năng suất thực tế. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu vẫn còn hạn chế ở chỗ thể hiện giá trị mô phỏng ở dạng điểm (*point*), trong khi đó một số mô hình đang được cải tiến để thể hiện giá trị dự báo năng suất chi tiết ở dạng ô lưới (*raster*).

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

**Lời cảm ơn:** Bài báo hoàn thành nhờ sự trợ giúp từ đề tài KHCN cấp Bộ “Nghiên cứu đổi mới công nghệ dự báo khí hậu nông nghiệp. Áp dụng cho dự báo điều kiện khí hậu nông nghiệp và tác động đến sản xuất lúa ở khu vực đồng bằng sông Hồng”, mã số TNMT.2022.02.15 do Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu chủ trì thực hiện.

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

#### Tài liệu tham khảo

1. Khảm, D.V. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ viễn thám và gis phục vụ giám sát trạng thái sinh trưởng, phát triển và dự báo năng suất lúa ở đồng bằng sông hồng. Báo cáo đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ cấp bộ. Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2011.
2. Khảm, D.V. Xây dựng mô hình dự báo năng suất, sản lượng lúa ở đồng bằng sông hồng bằng dữ liệu ảnh modis. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2011**, 609, 25–34.
3. Tổng cục thống kê. Niên giám thống kê năm 2021. Nhà xuất bản Thống kê, 2021.
4. Thanh, B.; Phương, N.T.; Nam, B.C.; Hoàng, T.T. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến năng suất lúa ở đồng bằng sông cửu long. *Tạp chí khí tượng thủy văn* **2011**, 611, 1–5.
5. Dương, T.H. Nghiên cứu ứng dụng mô hình ORYZA 2000 để đánh giá rủi ro khí hậu nông nghiệp và đề xuất các phương án quản lý sản xuất lúa thích hợp phục vụ phát triển nông nghiệp bền vững ở ĐBSH. Báo cáo đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ cấp cơ sở. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, 2014.
6. Battisti, R.; Sentelhas, P.C. Drought tolerance of Brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model. *Exp. Agric.* **2015**, 51, 285–298.
7. Boote, K.J.; Jones, J.W.; Batchelor, W.D.; Nafziger, E.D.; Myers, O. Genetic coefficients in the CROPGRO-soybean model: link to field performance and genomics. *Agron. J.* **2003**, 95, 32–51.
8. White, J.W.; Hoogenboom, G.; Kimball, B.A.; Wall, G.W. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Res.* **2011**, 124, 357–368.

9. Hoogenboom, G.; Porter, C.H.; Shelia, V.; Boote, K.J.; Singh, U.; White, J.W.; Jones, J.W. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). 4.7. Gainesville, FL: DSSAT Foundation. *J. Intell. Inf. Syst. J.* **2018**.
10. Hoogenboom, G.; Porter, C.; Boote, K.; Shelia, V.; Wilkens, P.; Singh, U.; Jones, J. The DSSAT crop modeling ecosystem. In *Advances in crop modeling for a sustainable agriculture*. 2019.
11. Jones, J.W.; He, J.; Boote, K.J.; Wilkens, P.; Porter, C.H.; Hu, Z. Estimating DSSAT cropping system cultivar-specific parameters using Bayesian techniques. In *Methods of introducing system models into agricultural research*. Madison, WI: ASA, CSSA, SSSA. *Advances in Agricultural Systems Modeling Series 2*, 2011, pp. 2363–393. <https://doi.org/10.2134/advagriscystmodel2.c13>. 2011.
12. Chinaza, B.; Henry, O. Model for Predicting Rice Yield from Reflectance Index and Weather Variables in Lowland Rice Fields. *Agriculture* **2011**, *12*, 130. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020130>.
13. Gumel, D.Y.; Ahmad Makmom Abdullah, A.M.; Sood, A.M.; Rasheida E. Elhadia, R.E.; Jamalani, M.A.; Youssef, K.A.A.B. Assessing Paddy Rice Yield Sensitivity to Temperature and Rainfall Variability in Peninsular Malaysia Using DSSAT Model. *Int. J. Appl. Environ. Sci.* **2017**, *12(8)*, 1521–1545.
14. Jones, J.W.; Hoogenboom, G.; Porter, C.H.; Boote, K.J.; Batchelor, W.D.; Hunt, L.A.; Wilkens, P.W.; Singh, U.; Gijsman, A.J.; Ritchie, J.T. The DSSAT cropping system model. *Europ. J. Agronomy*. **2003**, *18*, 235–265.
15. Thorp, K.R.; DeJonge, K.C.; Kaleita, A.L.; Batchelor, W.D.; Paz, J.O. Methodology for the use of DSSAT models for precision agriculture decision support. *Comput. Electron. Agric.* **2008**, *64*, 276–285.
16. Goswami, P. Evaluation of DSSAT model (CERES rice) on rice production: A review. *Int. J. Chem. Stud.* **2020**, *8(5)*, 404–409.
17. Amnuaylojaroen, T.; Chanvichit, P. Application of the WRF-DSSAT modeling system for assessment of the nitrogen fertilizer used for improving rice production in northern Thailand. *Agriculture* **2022**, *12(8)*, 1213.
18. Islam, S.S.; Sanitchon, J.; Hasan, A.K. Rice phenology and growth simulation using DSSAT-CERES-Rice crop model under the different temperatures changing with climatic condition. *Int. J. Agr. Sci. Tech.* **2021**, 2710–3366. <https://doi.org/10.51483/IJAGST.1.2.2021.1-11>.
19. Viện Thổ nhưỡng Nông hóa. Tính chất lý, hóa học các nhóm đất chính vùng đồng bằng sông Hồng.
- A. Sakamoto, K.T.; Yokozawa, M. Determining the Spatial Pattern of Rice Cropping Schedules using Time-Series Satellite Imagery of the Red River Delta, Vietnam. *Int. J. Geoinformatics*. **2007**, *3(4)*, 366–374.
20. Tổng cục thống kê. Niên giám thống kê năm 2017, Nhà xuất bản Thống kê, 2017.
21. Tổng cục thống kê. Niên giám thống kê năm 2018, Nhà xuất bản Thống kê, 2018.
22. Tổng cục thống kê. Niên giám thống kê năm 2019, Nhà xuất bản Thống kê, 2019.
23. Tổng cục thống kê. Niên giám thống kê năm 2020, Nhà xuất bản Thống kê, 2020.
24. Hoogenboom, G.; Wilkens, P.W.; Tsuji, G.Y. Concepts for calibrating crop growth models. In Hoogenboom G. et al. (ed.) *DSSAT v3*. Univ. of Hawaii, Honolulu. Univ. Hawaii, Honolulu. 1999, 4, 179–200.
25. Choudhury, A.K.; Ishtiaque, S.; Sen, R.; Jahan, M.A.H.S.; Akhter, S.; Ahmed, F.; Biswas, J.C.; Maniruzzaman, M.; Hossain, M.B.; Miah, M.M.; Rahman, M.M.; Zahan, T.; Khan, A.S.M.M.R. and Kalra, N. Calibration and validation of DSSAT model for simulating wheat yield in Bangladesh. *J. Saudi. Life Sci.* **2018**, *3(4)*, 356–364.

## Applying dssat model to forecast rice yield in the Red River delta

Tran Thi Tam<sup>1\*</sup>, Nguyen Dang Mau<sup>1</sup>, Trinh Hoang Duong<sup>1</sup>, Nguyen Thi Ngoc Anh<sup>2</sup>,  
Pham Dinh Than<sup>2</sup>, Le Duy Linh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vietnam Institute of Meteorology, Hydrology and Climate Change;

trantam1810@gmail.com; mau.imhen@gmail.com; hoangduongktnn@gmail.com

<sup>2</sup> VNU - University of Engineering and Technology; anhnguyenngoc.inest@gmail.com;

thandinhpham1906@gmail.com; lebadao25082003@gmail.com

**Abstract:** Crop models have the ability to provide management guidance to increase yield and determine the balance between yield, resource efficiency and environmental impact. The article applies the DSSAT - CERES - RICE model (Decision Support System for Agrotechnology Transfer - Crop Environment Resource Synthesis (CERES-Rice) is a decision support system for agricultural technology transfer with a module for synthesizing environmental resources of rice to forecast rice yield in the provinces of the Red River Delta in the period 2017-2021. The Simulation results show that: In the winter-spring crop, the difference between simulated yield and actual yield fluctuated between 4.92-6.09 quintals/ha; In the summer - autumn crop, this difference ranges from 4.32 to 4.81 quintals/hectare. The mean absolute error (MAE) in the winter-spring crop is 0.05 quintals/ha, in the summer - autumn crop, it is 0.07 quintals/ha. The square root error (RMSE) in the winter-spring crop is 0.37 quintals/ha and in the summer - autumn crop is 0.47 quintals/ha. The study results of the article are the scientific basis for model application for research activities, exchange and provision of information between research units and application units. At the same time, the results in this article are also the basis for planning appropriate agricultural production plans in the Red River Delta and other areas with potential application..

**Keywords:** DSSAT - CERES - RICE; Forecast rice yield.

Bài báo khoa học

## Cân bằng nước lưu vực sông La Ngà bằng mô hình Mike Hydro

Nguyễn Văn Hồng<sup>1\*</sup>, Phạm Ánh Bình<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Phân Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu;  
nguyenvanhong79@gmail.com; binhpi1909@gmail.com

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

Ban Biên tập nhận bài: 8/9/2023; Ngày phản biện xong: 24/10/2023; Ngày đăng bài: 25/1/2024

**Tóm tắt:** Nghiên cứu ứng dụng mô hình cân bằng nước MIKE HYDRO để đánh giá khả năng đáp ứng của nguồn nước cho các nhu cầu sử dụng nước khác nhau trên lưu vực sông La Ngà. Kết quả tính toán cho thấy vấn đề thiếu nước sử dụng tập trung ở vùng hạ lưu sông với tổng lượng nước thiếu cả năm trên toàn lưu vực sông (LVS) chiếm khoảng 16,1-16,4% tổng nhu cầu sử dụng nước, thời gian thiếu nước nhiều nhất vào tháng II-V (4,2-26,2%). Do sự phân bố nguồn nước không đều theo thời gian và không gian cùng với tình hình diễn biến bất thường của thời tiết dưới tác động của biến đổi khí hậu đã làm cho sự thiếu hụt nước ngày càng nghiêm trọng hơn vào năm 2030. Kết quả sẽ là cơ sở dữ liệu để đề xuất các giải pháp khoa học và công nghệ về hiệu quả và tính bền vững trong kiểm soát và khai thác tài nguyên nước mặt ở LVS La Ngà.

**Từ khóa:** Cân bằng nước; MIKE HYDRO; Lưu vực sông La Ngà.

### 1. Mở đầu

Sông La Ngà là phụ lưu bên trái lớn nhất của sông Đồng Nai, đây là vùng cấp nước có tính chiến lược cho toàn LVSDN&PC. Tuy nhiên do địa hình rừng núi bị chia cắt rất mạnh, lượng mưa phân bố không đều, thiếu công trình hồ chứa để chủ động tạo nguồn nước nên trong mùa khô vẫn còn tình trạng thiếu nước ở một số khu vực, mùa mưa thường gây ra ngập úng, lũ lụt ven sông.

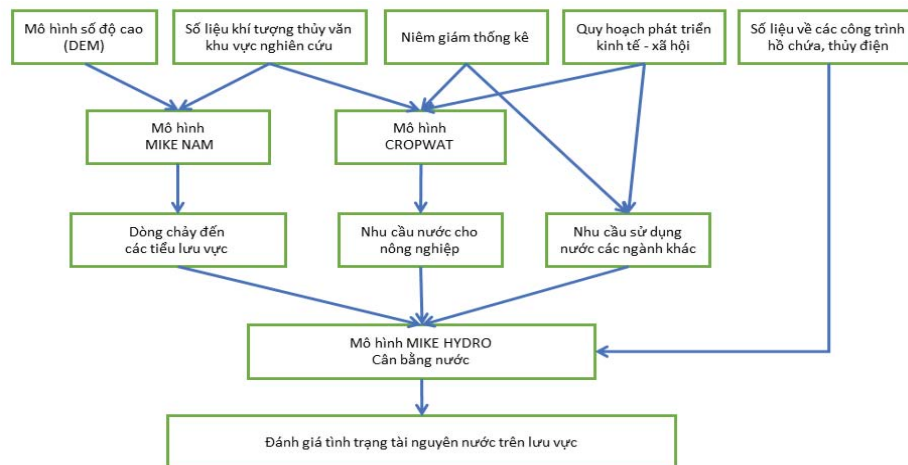
Biến đổi khí hậu (BĐKH) là một trong những thách thức lớn đối với nhân loại trong thế kỉ 21 [1]. Trong những năm gần đây, ảnh hưởng của BĐKH, thời tiết cực đoan ngày càng gia tăng. Mùa khô năm 2016, ảnh hưởng của hiện tượng El Nino tình trạng nắng nóng gay gắt, thiếu nước kéo dài liên tục, đặc biệt tháng 3, 4 và tháng 5/2016 nhiệt độ cao hơn nhiều so với trung bình nhiều năm cùng thời kỳ, lượng mưa thiếu hụt lớn so với trung bình nhiều năm, lượng bốc hơi bề mặt lớn làm thiếu hụt trầm trọng dòng chảy. Lượng nước thiếu hụt nghiêm trọng trong mùa khô có ảnh hưởng rất lớn đến các ngành kinh tế, nhất là sản xuất nông nghiệp, khi mà trình độ sản xuất, biện pháp, kỹ thuật canh tác chưa áp dụng hiệu quả khoa học công nghệ mới.

Tiềm năng thủy điện trên LVS La Ngà cũng rất lớn. Có thể kể đến công trình thủy điện Hàm Thuận - Đa Mi xả cấp nước cho vùng đồng bằng La Ngà của huyện Đức Linh và Tánh Linh với lưu lượng 45m<sup>3</sup>/s. Tuy nhiên việc xuất hiện các đập thủy điện này cũng gây nhiều hệ lụy tiêu cực về môi trường cũng như sự xung đột lợi ích trong sử dụng nước với cộng đồng dân cư ở hạ lưu, hàng nghìn hộ dân mặc dù sống dọc theo dòng sông La Ngà, một trong những nơi có trữ lượng nước ngọt lớn nhất tỉnh Đồng Nai lại rơi vào tình trạng thiếu nước sinh hoạt nghiêm trọng vào mùa khô. Để khắc phục và giảm thiểu tình trạng thiếu nước ở đây, nhằm chủ động phục vụ chỉ đạo phòng chống hạn hán, điều hành cấp nước cho

sản xuất nông nghiệp hàng năm, việc tiến hành cân bằng nguồn nước đối với lưu vực sông là hết sức cần thiết.

Hiện nay, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu sử dụng các mô hình toán khác nhau để mô phỏng cân bằng nguồn nước như WEAP [2–4], SWAT [4, 5], MIKE HYDRO [6, 7]. Nhiều nghiên cứu trong nước cũng sử dụng các mô hình trên để xác định cân bằng nước trên các lưu vực như: lưu vực sông Vệ [8], lưu vực sông Cái Phan Rang [9], lưu vực sông Sê San [10],... và đánh giá tài nguyên nước mặt trên phạm vi hành chính tỉnh Đà Nẵng [11]. Trên lưu vực sông La Ngà, các nghiên cứu cũng sử dụng mô hình toán để đánh giá lưu lượng dòng chảy và bồi lắng tại các tiểu lưu vực [12], đánh giá chất lượng nước mặt trên lưu vực [13], đánh giá tác động của công trình hồ đập tới dòng chảy hạ lưu sông [14] và đánh giá mô hình vỡ đập Hàm Thuận - Đa Mi đến hạ lưu sông [15, 16]. Tuy nhiên, các nghiên cứu chưa chi tiết và toàn diện trong mối quan hệ với dân số, sự phát triển kinh tế - xã hội và bối cảnh biến đổi khí hậu (BĐKH).

Bài báo nghiên cứu thiết lập mô hình MIKE HYDRO nhằm: (i) Tính toán thủy văn xác định dòng chảy đến trên lưu vực cho trường hợp hiện tại và trường hợp xét đến kịch bản BĐKH đến năm 2030; (ii) Tính toán nhu cầu dùng nước mặt phục vụ các ngành đến năm 2030; (iii) Cân bằng nước cho lưu vực nghiên cứu từ đó đánh giá khả năng cung cấp nước của hệ thống sông suối phục vụ các ngành kinh tế theo các kịch bản biến đổi khí hậu và phát triển kinh tế xã hội đến năm 2030. Các kết quả tính toán làm cơ sở cho việc đề xuất các giải pháp nhằm quản lý, khai thác và sử dụng có hiệu quả tài nguyên nước lưu vực sông La Ngà dưới tác động của BĐKH.



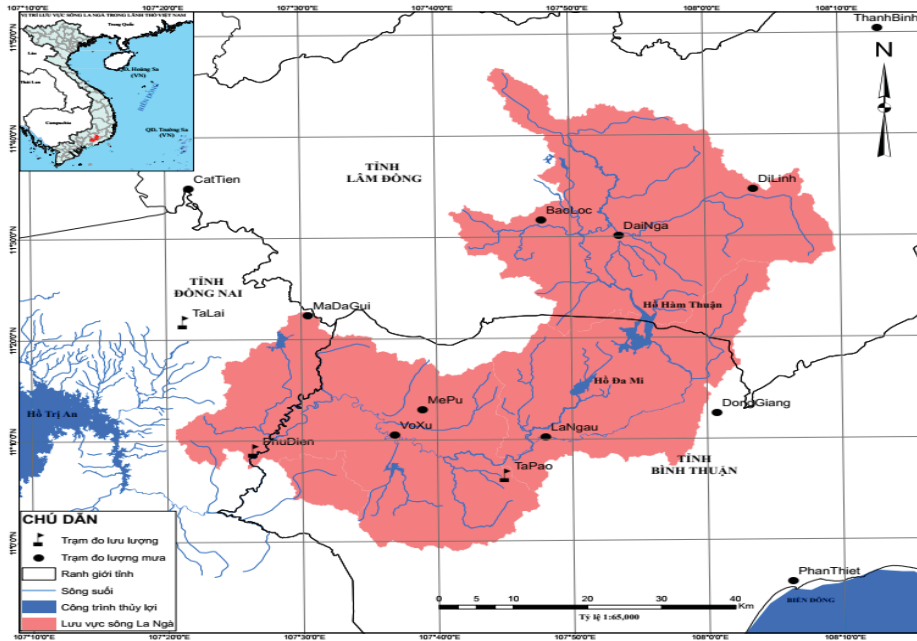
Hình 1. Sơ đồ trình tự tính toán cân bằng nước.

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

### 2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

Sông La Ngà là một phụ lưu của sông Đồng Nai, nằm trong 107°9' - 108°9' kinh độ Đông 10°50' - 11°46' vĩ độ Bắc (Hình 2), bắt nguồn từ cao nguyên Di Linh, Bảo Lộc (tỉnh Lâm Đồng) với diện tích lưu vực 4.170 km<sup>2</sup>. Lượng mưa trung bình năm cao nhất khoảng 2.354mm, tổng lượng dòng chảy hàng năm vào khoảng 4.799,97 triệu m<sup>3</sup> [16]. Về khí hậu, LVS La Ngà chịu ảnh hưởng của chế độ khí hậu nhiệt đới gió mùa: mùa mưa (tháng V đến tháng X) và mùa khô (từ tháng XI đến tháng IV năm sau). Nhiệt độ không khí, bốc hơi, số giờ nắng tăng dần từ thượng lưu xuống hạ lưu.

Hệ thống công trình thủy điện Hàm Thuận - Đa Mi trên lưu vực sông La Ngà đi vào hoạt động với tổng công suất lắp máy là 475Mw với điện lượng bình quân nhiều năm là 1,6 tỉ Kwh [14] đem lại hiệu quả kinh tế rất lớn, cung cấp phần lớn nguồn điện năng cho các tỉnh thành khu vực miền Đông Nam Bộ và vùng kinh tế trọng điểm phía Nam.



Hình 2. Bản đồ lưu vực sông La Ngà.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu sử dụng

### 2.2.1. Số liệu sử dụng

- Dữ liệu về địa hình: Bản đồ số độ cao (DEM), địa hình lưu vực sông La Ngà tỷ lệ từ 1/10.000, 1/25.000.
- Dữ liệu về khí tượng - thủy văn: các số liệu nhiệt độ, độ ẩm, mưa, bốc hơi trạm Di Linh và trạm Tà Pao, số liệu lưu lượng trạm thủy văn Tà Pao... có thời gian liên tục từ năm 1976 đến năm 2020 thu thập từ Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ.
- Dữ liệu về thảm phủ: Bản đồ các yếu tố mật độ, bản đồ sử dụng đất.
- Dữ liệu về hồ chứa: dữ liệu về công trình thủy điện (thông số hồ chứa, quy trình vận hành), thủy lợi khai thác nguồn nước đã đi vào hoạt động tính đến năm 2020.
- Dữ liệu về dân sinh, kinh tế - xã hội: Báo cáo quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội [17]; Niên giám thống kê năm 2020 [18].
- Kịch bản BĐKH & NBD cho Việt Nam Bộ Tài nguyên và Môi trường năm 2016 [19], kịch bản BĐKH & NBD cho Việt Nam Bộ Tài nguyên và Môi trường năm 2020 [20].

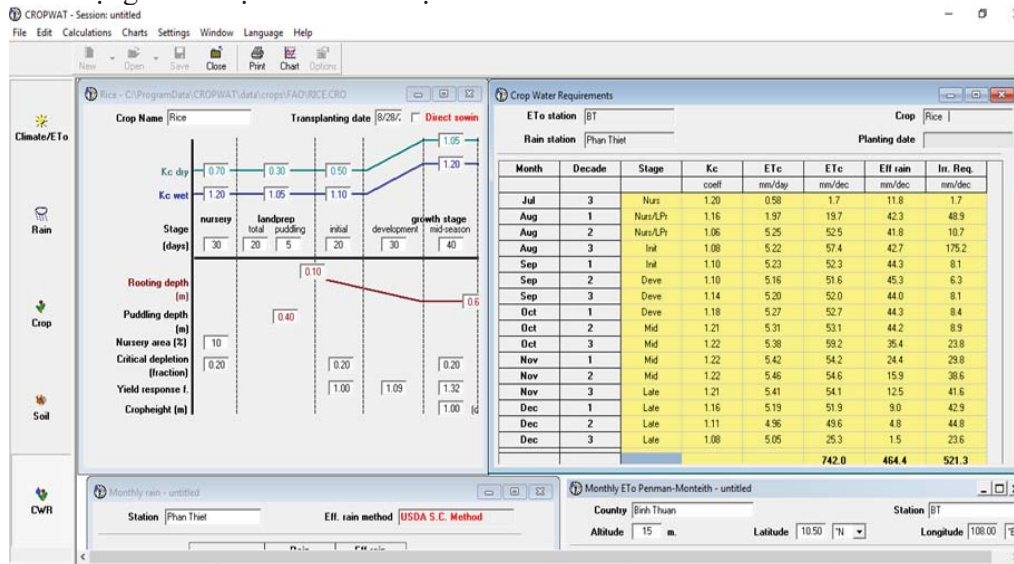
### 2.2.2. Phương pháp tính toán nhu cầu sử dụng nước

Trong nghiên cứu này, việc tính toán cân bằng nước sẽ tập trung cung cấp cho những nhu cầu sử dụng nước chính bao gồm: nước cho sinh hoạt - dịch vụ, chăn nuôi, nuôi trồng thủy sản, công nghiệp, nông nghiệp và xây dựng.

Duy trì dòng chảy tối thiểu hạ du: Được xác định theo hướng dẫn của Thông tư số 64/2017/TT-BTNMT ngày 22/12/2017 về xác định dòng chảy tối thiểu trên sông, suối và hạ lưu các hồ chứa, đập dâng.

Đối với ngành nông nghiệp, căn cứ vào đặc tính cây trồng và điều kiện tự nhiên ở khu vực, báo cáo sử dụng mô hình Cropwat được Bộ Nông nghiệp và phát triển nông thôn khuyến khích sử dụng [TCVN 9170:2012]. Nhu cầu này sẽ được phân chia cho cả cây trồng và cây công nghiệp cũng như cây lâu năm và cây hàng năm. Với cách phân chia này nhu cầu sử dụng nước sẽ được tính toán một cách chi tiết hơn, sát với thực tế hơn. Đầu vào của mô hình Cropwat bao gồm các số liệu khí tượng, loại đất, thời vụ cây trồng, hệ số tưới (Hình 3).

Đối với các ngành ngoài nông nghiệp việc xác định nhu cầu nước sẽ được tính toán dựa trên số liệu thống kê trong niên giám thông kê tỉnh Bình Thuận [18] cũng như các tiêu chuẩn sử dụng nước hiện hành của Việt Nam.



Hình 3. Tính toán mức tưới cho cây trồng bằng phần mềm CROPWAT.

- Nước dùng cho sinh hoạt: là lượng nước người dân ở đô thị, nông thôn sử dụng và được tính toán theo Quy chuẩn kỹ thuật QCVN: 01/2008/BXD.
- Nhu cầu nước cho hoạt động đô thị và thương mại du lịch: Nhu cầu nước cho khu vực thương mại, dịch vụ và du lịch tính bằng 15% lượng nước dùng cho sinh hoạt. Nhu cầu nước cho các hoạt động đô thị tính bằng 50% lượng nước cho sinh hoạt.
- Nhu cầu nước cho công nghiệp: Với mục tiêu tính tổng quát về nhu cầu nước, sử dụng định mức theo Quy chuẩn kỹ thuật QCVN: 01/2008/BXD.
- Nhu cầu nước chăn nuôi: Tiêu chuẩn nước cho chăn nuôi gia súc, gia cầm của Bộ Nông nghiệp và phát triển nông thôn. Nước dùng cho nuôi trồng thủy sản: Nuôi trồng thủy sản ở đây xét đến việc sử dụng nước ngọt để nuôi thủy sản nước lợ [21].

### 2.2.3 Phương pháp mô hình toán mô phỏng cân bằng nước

Mô hình MIKE HYDRO [22] do Viện thủy lực Đan Mạch (DHI) xây dựng từ năm 1972 là mô hình mô phỏng lưu vực, tính toán cân bằng nước và sử dụng nước. Mô hình mô phỏng mạng lưới sông suối trong không gian và các yếu tố thủy văn (X, Q, H, Z) theo thời gian dựa trên phương trình cân bằng nước tổng quát. Ưu điểm nổi bật của mô hình là ngoài việc thể hiện quan hệ giữa lượng nước đến, lượng nước đi và lượng trữ trong hệ thống tính toán trong tự nhiên, mô hình còn cho phép xác định sự phân bổ nguồn nước - mức độ ưu tiên của các hộ dùng nước do sự can thiệp của con người. Mô hình này có thể kết nối, sử dụng mô hình mưa - dòng chảy MIKE NAM [23] như một mô đun tích hợp trong mô hình.

## 2.3. Thiết lập mô hình tính toán

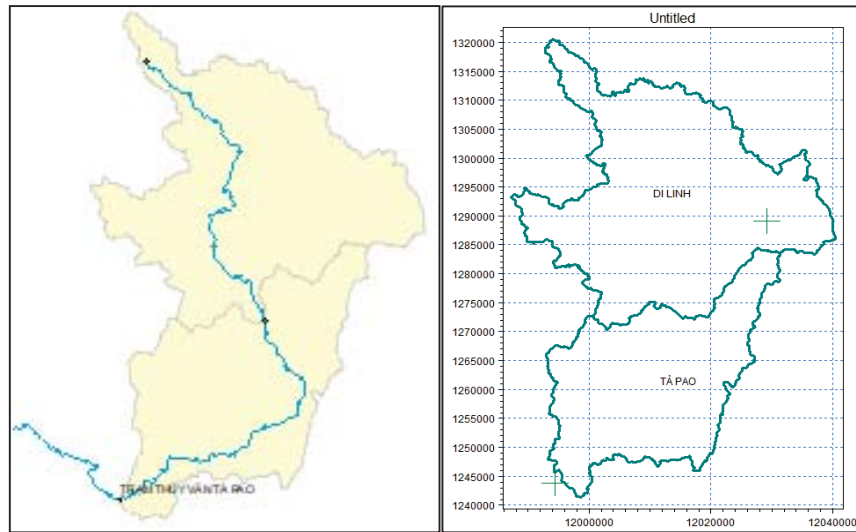
### 2.3.1 Mô hình mưa - dòng chảy MIKE NAM

Phân chia các tiểu lưu vực: Sử dụng bản đồ cao độ số DEM với độ phân giải 30x30m và sử dụng các Tool trong Arcgis chia lưu vực sông La Ngà thành 3 tiểu lưu vực chính. Diện tích các lưu vực trình bày trong Bảng 1.

Chọn trạm khí tượng thủy văn để tính toán: Số liệu mưa trạm Di Linh và trạm Tà Pao sử dụng phương pháp đa giác Thiessen tính toán mưa bình quân lưu vực; Số liệu bốc hơi và lưu lượng thực đo trạm Tà Pao (Hình 4).



Thời gian tính toán: năm 1987-1993 để hiệu chỉnh mô hình và kiểm định mô hình trong thời gian 2010-2016. Thời đoạn tính toán bằng 1 ngày. Sử dụng lưu lượng trạm Tà Pao để hiệu chỉnh kiểm định mô hình.



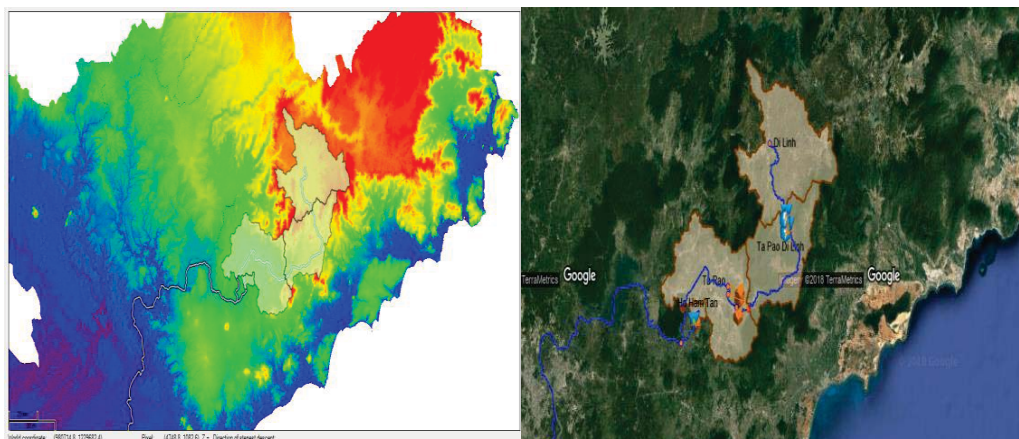
Hình 4. Phân định các tiểu lưu vực và phân bố mưa theo đa giác Thiessen.

Bảng 1. Diện tích các tiểu lưu vực khu vực nghiên cứu (km<sup>2</sup>).

TT	LV Sông	Diện tích LV	Khả năng khai thác		Địa phương
			LV Sông, hồ	DTích LV (Km <sup>2</sup> )	
	Sông La Ngà	3209,71			
1			Ngoài Tỉnh (Di Linh)	1296,7	
2			Đập dâng Tà Pao		706,7
3			Hồ Trà Tân	27	
<b>Tổng cộng</b>		<b>3209,71</b>		<b>1323,7</b>	<b>706,7</b>

### 2.3.2. Mô hình thủy văn MIKE HYDRO

Các tiểu lưu vực trong mô hình MIKE HYDRO được phân chia trên cơ sở kết quả phân chia lưu vực từ mô hình MIKE NAM. Trong tính toán cân bằng nước, sự xuất hiện của các hồ chứa đóng một vai trò vô cùng quan trọng. Trên lưu vực sông La Ngà, có hai hồ thủy điện là Hàm Thuận - Đa Mi. Chi tiết các thông tin của hệ thống hồ chứa và đặc điểm nghiên cứu luôn bám sát quy trình vận hành hồ chứa trên LVS La Ngà theo quyết định [24].



Hình 5. Sơ đồ tính toán trong MIKE HYDRO.

Sơ đồ tính MIKE HYDRO: được thiết lập tính toán cho toàn vùng nghiên cứu có diện tích 3209.71 km<sup>2</sup>. Các công trình thủy lợi (hiện trạng), nhu cầu dùng nước, cấp nước cho các ngành kinh tế tại thời điểm hiện tại và đến năm 2030. Tất cả được số hóa 9 nút tính toán tại các vị trí công trình lấy nước, hồ chứa (Hình 5).

Điều kiện tính toán: Mức độ ưu tiên cấp nước trong tính toán: Dân sinh, dịch vụ-du lịch, công nghiệp và đến nông nghiệp.

- Cấp nước cho công nghiệp, dân sinh với tần suất đảm bảo P = 90%, hệ số sử dụng nước η = 0,8; Cấp nước cho nông nghiệp P = 85%, hệ số lợi dụng kênh mương η = 0,65;

- Dòng chảy môi trường: Sau khi cấp nước cho các ngành và các khu vực dùng nước, lượng nước còn lại chảy trên các sông phải đảm bảo duy trì dòng chảy môi trường, được tính bằng các tháng kiệt nhất ứng với tần suất P = 90%.

Hiệu chỉnh, kiểm định mô hình: Kiểm tra mực nước hồ Hàm Thuận từ năm 2015-2016 nhằm xem xét khả năng mô phỏng vận hành xả theo thực tế của hồ.

### 2.3.3. Chỉ tiêu đánh giá

Các thông số trong mô hình sẽ được xác định bằng cách tính toán và thử sai. Sử dụng hệ số Nash-Sutcliffe [25] để đánh giá sai số giữa số liệu mô phỏng và thực đo.

Hệ số Nash - Sutcliffe (NSE):

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

Trong đó Q<sub>sim,i</sub> là lưu lượng mô phỏng tại thời gian i; Q<sub>obs,i</sub> là lưu lượng thực đo tại thời gian i;  $\bar{Q}_{obs}$  là lưu lượng trung bình thực đo.

Bảng 2 thể hiện tiêu chuẩn đánh giá hệ số NSE theo WMO (*World Meteorological Organization*).

**Bảng 2.** Tiêu chuẩn đánh giá hệ số NSE.

NSE	0,4-0,65	0,65-0,85	>0,85
Đánh giá	Đạt	Khá	Tốt

## 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

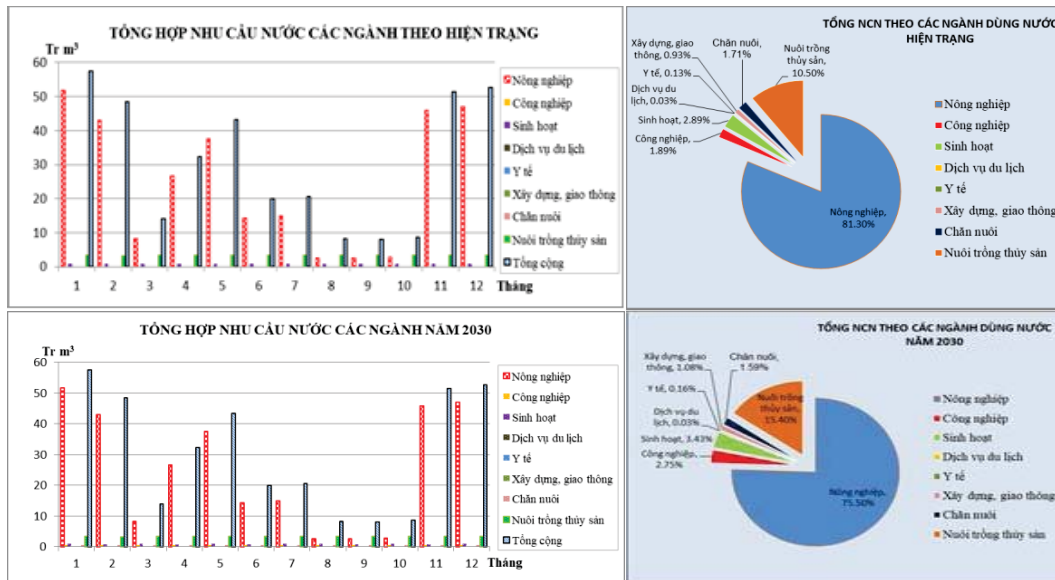
### 3.1. Đánh giá nhu cầu sử dụng nước

Theo hiện trạng (năm 2020) tổng nhu cầu sử dụng nước của các ngành trên lưu vực sông La Ngà là 365,373 triệu m<sup>3</sup> đến năm 2030 nhu cầu sử dụng nước trên lưu vực vào khoảng 395,93 triệu m<sup>3</sup> tăng 1,1% so với hiện trạng (Hình 6 và Bảng 3). Diễn biến nhu cầu nước các tháng trong năm có xu hướng lớn hơn trong các tháng mùa khô (chiếm tỉ lệ 75-79% tổng nhu cầu nước) và nhỏ hơn vào các tháng mùa mưa (chiếm 21-25% tổng nhu cầu). Tháng I là tháng có nhu cầu nước lớn nhất, chiếm khoảng 15% nhu cầu nước cả năm. Tháng IX là tháng có nhu cầu nước nhỏ nhất, chiếm 2% nhu cầu nước cả năm.

**Bảng 3.** Tổng hợp nhu cầu nước từng tháng theo hiện trạng.

Nhu cầu sử dụng nước (triệu m <sup>3</sup> )	Tháng												Tổng
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Hiện trạng	57,5	48,4	14,0	32,3	43,3	19,9	20,7	8,26	8,10	8,63	51,5	52,7	365,37
Năm 2030	60,6	20,4	16,9	34,6	45,6	22,2	23,3	10,7	10,5	11,1	53,9	55,5	395,93

Trong các lĩnh vực sử dụng nước thì nông nghiệp vẫn là đối tượng sử dụng nước nhiều nhất chiếm khoảng 81,3% - điều này cũng phù hợp với thực tế, lưu vực sông La Ngà là vùng sản xuất nông nghiệp trọng điểm của tỉnh, thời điểm nhu cầu nước lớn cũng trùng với lịch thời vụ sản xuất lúa, hoa màu vụ Đông Xuân. Như vậy, việc bố trí mùa vụ, cơ cấu cây trồng và kế hoạch phát triển ngành nông nghiệp là nhân tố chính quyết định đến lượng nước thừa, thiếu của lưu vực.



**Hình 6.** Biểu đồ tổng hợp nhu cầu nước theo các ngành dùng nước đến năm 2030.

Sau trồng trọt, nhu cầu nước ngành nuôi trồng thủy sản chiếm 11-15%. Các ngành công nghiệp, sinh hoạt - dịch vụ, xây dựng giao thông, chăn nuôi chiếm tỷ trọng nhỏ, không đáng kể chỉ chiếm < 4% so với tổng nhu cầu sử dụng nước các ngành (Bảng 4).

**Bảng 4.** Tổng hợp nhu cầu và tỷ lệ sử dụng nước các ngành kinh tế.

TT	Đối tượng dùng nước	Đơn vị	Hiện trạng		Năm 2030		So với hiện trạng
			Nhu cầu	Tỷ lệ (%)	Nhu cầu	Tỷ lệ (%)	
1	Nông nghiệp	Tr. m <sup>3</sup>	297,2	81,3	299,1	75,5	1,9
2	Công nghiệp	Tr. m <sup>3</sup>	6,90	1,88	10,9	2,75	4,0
3	Sinh hoạt	Tr. m <sup>3</sup>	10,6	2,89	13,6	3,43	3,0
4	Dịch vụ du lịch	Tr. m <sup>3</sup>	0,12	0,03	0,10	0,03	-0,02
5	Y tế	Tr. m <sup>3</sup>	0,51	0,14	0,64	0,16	0,13
6	Xây dựng, giao thông	Tr. m <sup>3</sup>	3,41	0,93	4,27	1,08	0,86
7	Chăn nuôi	Tr. m <sup>3</sup>	6,24	1,70	6,28	1,59	0,04
8	Nuôi trồng thủy sản	Tr. m <sup>3</sup>	40,4	11,06	61,0	15,4	20,6
<b>Tổng cộng</b>		<b>Tr. m<sup>3</sup></b>	<b>365,373</b>	<b>100</b>	<b>395,93</b>	<b>100</b>	<b>30,55</b>

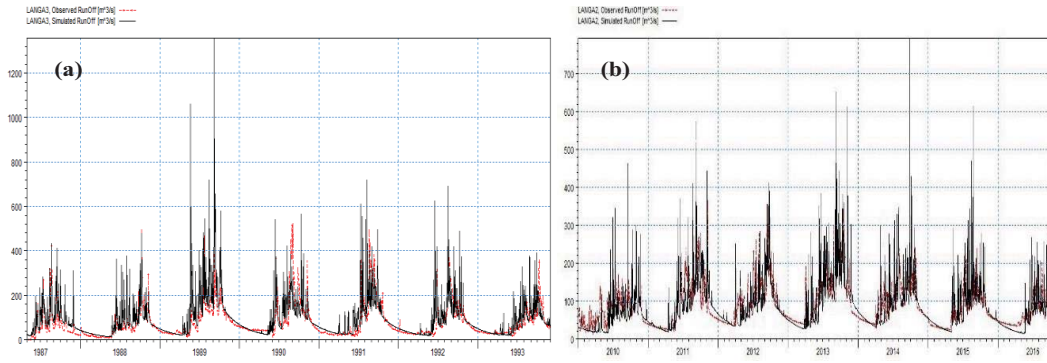
### 3.2. Tiềm năng nước lưu vực sông La Ngà

#### 3.2.1. Hiệu chỉnh kiểm định mô hình

##### a) Mô hình mưa - dòng chảy MIKE NAM

Nhằm đánh giá thực trạng thiếu nước trên lưu vực, tính toán tần suất thủy văn xác định nguồn nước trung bình nhiều năm, lưu lượng dòng chảy môi trường tại các tuyến công trình. Dòng chảy đến các tiểu lưu vực trong mô hình được xác định từ mô hình MIKE NAM. Số liệu 1987-1993 để hiệu chỉnh mô hình, kiểm định mô hình trong thời gian 2010-2016. Kết quả được trình bày trong Hình 7 và Bảng 5 cho thấy đã xác định được bộ thông số mô hình mưa - dòng chảy phù hợp với điều kiện của LVS La Ngà.

Kết quả cho thấy sự tương đồng lớn giữa kết quả mô phỏng và thực đo cả về pha và độ lớn. Hệ số Nash đạt từ 0,79-0,87 là tương đối tốt và có thể chấp nhận được đối với bài toán quy hoạch, đánh giá nguồn nước. Do điều kiện trạm khí tượng thủy văn trên lưu vực còn thưa thớt thêm vào đó trạm đo lưu lượng chủ yếu nằm trên sông La Ngà chịu ảnh hưởng chính từ việc vận hành của hồ thủy điện lớn trên hệ thống sông (Bảng 6). Bộ thông số đã xác định phù hợp để sử dụng tính toán cân bằng nước cho các năm tiếp theo và theo các kịch bản về nhu cầu sử dụng nước của LVS La Ngà.



**Hình 7.** Kết quả hiệu chỉnh kiểm định lưu lượng tại trạm Tà Pao: (a) Hiệu chỉnh mô hình 1987-1993; (b) Kiểm định mô hình 2010-2016.

**Bảng 5.** Các tham số dùng trong hiệu chỉnh mô hình MIKE NAM.

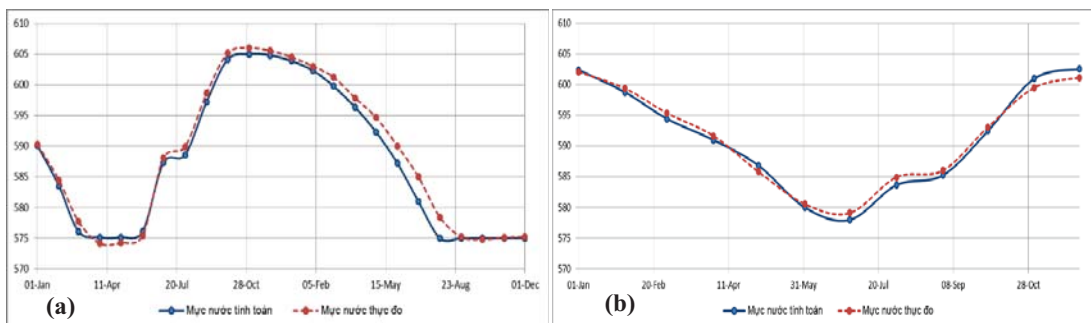
TT	Thông số chính của mô hình	Giá trị
1	Lớp nước cực đại trong tầng trữ mặt, Umax [mm]	20
2	Lớp nước cực đại trong tầng rễ cây, Lmax [mm]	230
3	Hệ số dòng chảy mặt, CQOF	0,43
4	Hằng số thời gian của dòng sát mặt, CKIF [giờ]	450
5	Hằng số thời gian cho diễn toán dòng sát mặt và dòng chảy mặt, CK12 [giờ]	36
6	Giá trị ngưỡng tầng rễ cây sản sinh dòng chảy mặt, TOF	0,97
7	Giá trị ngưỡng tầng rễ cây sản sinh dòng chảy sát mặt, TIF	0,98
8	Giá trị ngưỡng tầng rễ cây sản sinh dòng thấm xuống tầng nước ngầm, TG	0,001
9	Hằng số thời gian dòng chảy ngầm, CKBF [giờ]	1200

**Bảng 6.** Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.

Tiêu chuẩn đánh giá	Hiệu chỉnh	Kiểm định
Sai số tổng lượng, WBL%	-5,6%	3,9%
Hệ số hiệu quả Nash-Sutcliffe, R <sup>2</sup>	0,87	0,79

b) Mô hình MIKE HYDRO

Để xác định độ tin cậy của mô hình MIKE HYDRO, nghiên cứu so sánh mực nước tính toán và thực đo tại hồ Hàm Thuận trên lưu vực. Kết quả cho thấy mô hình mô phỏng tương đối sát với thực tế và bộ thông số phù hợp với mô hình MIKE HYDRO trong cân bằng nguồn nước LVS La Ngà (Hình 8).



**Hình 8.** Kết quả hiệu chỉnh kiểm định mực nước thực đo và tính toán hồ Hàm Thuận: (a) Hiệu chỉnh mô hình 2015-2016; (b) Kiểm định mô hình 2020.

- Thời gian hiệu chỉnh mô hình từ năm 2015 đến năm 2016. Thời gian kiểm định mô hình năm 2020.
- Bước thời gian tính toán: 1 tháng

### 3.2.2. Tiềm năng nước lưu vực sông La Ngà

Chỉ số khai thác nguồn nước được tính bằng tỷ số giữa nhu cầu nước so với điều kiện nguồn nước ở các năm nhiều nước, năm trung bình và năm kiệt nước. Kết quả tính toán phân phối dòng chảy năm thiết kế cho các lưu vực ứng với tần suất 10%, 50% và 90% thể hiện ở Bảng 7. So sánh đánh giá trường hợp nhu cầu nước LVS La Ngà so với tổng nguồn nước đến tuyến công trình LVS.

Kết quả cho thấy: xét lượng nước đến trên toàn vùng nghiên cứu ứng với lượng nước khai thác cho thấy tiềm năng khai thác tài nguyên nước tại lưu vực rất lớn, tổng lượng nước có khả năng khai thác tại các tuyến công trình chiếm đến 82-98% tổng lượng nước đến, trong đó chênh lệch giữa tổng lượng nước đến lưu vực cho năm nhiều nước và năm ít nước khoảng 259,3 triệu m<sup>3</sup>. Tương tự tổng lượng nước có khả năng khai thác tại các tuyến công trình chênh lệch khoảng 542,86 triệu m<sup>3</sup>.

**Bảng 7.** Phân phối dòng chảy năm thiết kế tại các tuyến có khả năng khai thác tài nguyên nước.

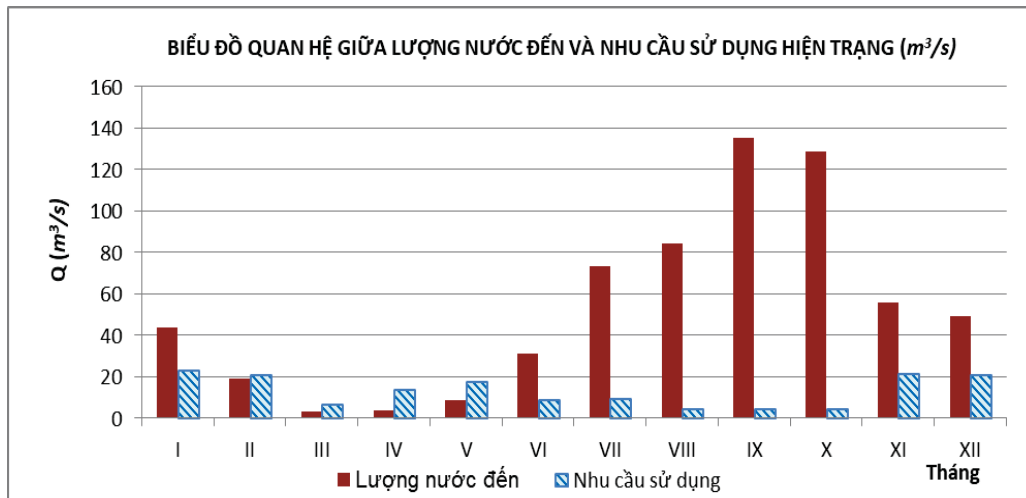
Tuyến công trình LVS La Ngà	Diện tích lưu vực Flv1 (km <sup>2</sup> )	Nguồn nước đến			Khả năng khai thác		
		W10% (106m <sup>3</sup> )	W50% (106m <sup>3</sup> )	W90% (106m <sup>3</sup> )	W10% (106m <sup>3</sup> )	W50% (106m <sup>3</sup> )	W90% (106m <sup>3</sup> )
Thủy điện Hàm Thuận - Đa Mi	706,7				803,75	605,69	792,04
Lưu lượng khu Giữa Hàm Thuận Đa Mi Và Đập Tà Pao	1296,7	2495	1948,7	2235,7	1537,34	1269,72	1026
Hồ Trà Tân	27				54,91	43,43	35,1
<b>Tổng (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>		<b>2495</b>	<b>1948,7</b>	<b>2235,7</b>	<b>2396</b>	<b>1918,84</b>	<b>1853,14</b>

### 3.3. Kết quả tính toán cân bằng nước bằng mô hình MIKE HYDRO

#### 3.3.1. Cân bằng nước theo hiện trạng

Kết quả tính toán cân bằng nước bằng mô hình MIKE HYDRO cho năm hiện trạng (2020) về mặt tổng thể đã phản ánh tương đối chính xác thực tế đáp ứng của nguồn nước đối với các nhu cầu sử dụng nước khác nhau trên lưu vực sông La Ngà (Bảng 8).

Theo hiện trạng, tổng lượng nước đến lưu vực là 636,68 m<sup>3</sup>/s lượng mưa lớn thường tập trung vào tháng VI, VII, VIII và IX tuy nhiên thời kì dùng nước, đặc biệt cho ngành nông nghiệp lại tập trung vào các tháng II, III và IV thời kì cuối mùa kiệt. Tổng nhu cầu nước hiện trạng (bao gồm nhu cầu thực tế, tổn thất và dòng chảy môi trường) là 155,4 m<sup>3</sup>/s (Hình 9).



**Hình 9.** Biểu đồ quan hệ giữa lượng nước đến và nhu cầu sử dụng nước theo hiện trạng.

Mặc dù tiềm năng tài nguyên nước ở LVS La Ngà là không nhỏ so với nhu cầu sử dụng nước, tuy nhiên hiện tượng thiếu nước vẫn xảy ra. Thời gian thiếu nước chủ yếu vào các tháng mùa khô từ tháng II-V với tổng lượng nước thiếu trên toàn lưu vực khoảng 63,22 triệu m<sup>3</sup> trong đó lượng nước thiếu hụt tại các khu dùng nước cho nông nghiệp là 49,8 triệu m<sup>3</sup>, các ngành khác là 13,4 triệu m<sup>3</sup>. Điều này đúng thực tế của vùng vì thời gian này là thời gian có nguồn nước nhỏ nhất, lượng mưa ít nên dòng chảy sinh ra rất thấp. Ngoài ra, vào những tháng đầu năm lại là thời kỳ cho các loại cây trồng vụ Đông Xuân đang phát triển mạnh còn những tháng mùa lũ thì việc thiếu nước là rất ít, do lượng nước vào mùa này khá lớn. Như vậy, có thể thấy rõ sự phân bố không đều theo thời gian của nguồn nước mưa trên lưu vực.

**Bảng 8.** Lượng nước thiếu vùng nghiên cứu theo hiện trạng.

Lưu vực sông	Tháng												Tổng
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Nhu cầu sử dụng nước (m <sup>3</sup> /s)	22,9	20,7	6,59	13,8	17,5	9,03	9,08	4,44	4,49	4,58	21,23	21,1	155,4
Lưu lượng cung cấp (m <sup>3</sup> /s)	22,9	19,05	3,19	3,72	8,67	9,03	9,08	4,44	4,49	4,58	21,23	21,1	131,4
Lưu lượng thiếu hụt (m <sup>3</sup> /s)		1,68	3,40	10,1	8,87								24,04
Lượng nước thiếu hụt (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		4,21	9,10	26,2	23,6								63,22

Sự thiếu hụt nước nghiêm trọng diễn ra vào các tháng III, IV (9,1-26,1 triệu m<sup>3</sup>) - tháng kiệt nhất của dòng chảy, sau đó sự thiếu hụt nước có xu hướng giảm vào tháng V (23,8 triệu m<sup>3</sup>) tháng khởi đầu mùa lũ trên LVS. Lưu vực sông La Ngà về cơ bản đảm bảo nguồn nước cấp cho các hộ sử dụng (Bảng 9).

**Bảng 9.** Lượng nước thiếu của các ngành theo hiện trạng.

Lưu vực sông	Ngành	Tháng				Tổng
		II	III	IV	V	
LVS La Ngà	Nông nghiệp	4,21	4,58	21,8	19,2	49,8
	Sông La Ngà	0	0	0	0	0
	Sinh hoạt		4,53	4,38	4,52	13,4
	Các ngành khác	0	0	0	0	0
	Hồ Trà Tân					
	Tổng (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	4,21	9,10	26,2	23,6	63,22

### 3.3.2. Cân bằng nước lưu vực sông La Ngà dưới tác động của biến đổi khí hậu

#### a) Kích bản biến đổi khí hậu

Theo kịch bản BĐKH và NBD năm 2020 [20] giai đoạn đầu thế kỷ (trung bình thời kỳ 2016-2035), xu thế biến đổi của các biến khí hậu có xu thế tăng/giảm không có sự khác biệt nhiều so với bản cập nhật kịch bản công bố năm 2016 [20]. Do vậy, nghiên cứu lựa chọn kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng công bố năm 2016 [19] của Bộ Tài nguyên và Môi trường để tính toán cân bằng nước lưu vực sông La Ngà dưới tác động của BĐKH.

Về nhiệt độ: Theo kịch bản biến đổi khí hậu, nhiệt độ sẽ tăng dần trong thế kỷ 21. Vào đầu thế kỷ, nhiệt độ trung bình năm tăng 0,7 và 1,8°C so với thời kỳ cơ sở ứng với kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5. Cuối thế kỷ 21, tăng 1,7 và 3,2°C so với thời kỳ cơ sở ứng với kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5. (Bảng 10).



Lưu vực sông	Tháng												Tổng
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
thiếu hụt (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )													
<b>NĂM 2030 RCP 8.5</b>													
Nhu cầu sử dụng nước (m <sup>3</sup> /s)	23,7	21,4	7,6	14,2	17,8	9,45	9,82	5,46	5,46	5,56	21,84	21,76	164,04
Lưu lượng cung cấp (m <sup>3</sup> /s)	23,7	19,2	3,19	3,65	8,45	9,45	9,82	5,46	5,46	5,56	21,84	21,76	137,49
Lưu lượng thiếu hụt (m <sup>3</sup> /s)		2,22	4,41	10,5	9,39								26,55
Lượng nước thiếu hụt (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		5,56	11,8	27,3	25,1								69,8

**Bảng 12.** Lượng nước thiếu của các ngành năm 2030 (triệu m<sup>3</sup>).

Lưu vực sông	Ngành	Năm 2030 RCP 4.5				Năm 2030 RCP 8.5				
		II	III	IV	V	II	III	IV	V	
LVS La Ngà	Sông La Ngà	Nông nghiệp	0,1	6,99	23,1	22,0	1,01	7,01	22,7	20,4
		Sinh hoạt	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hồ Trà Tân	Các ngành khác	4,49	4,79	4,64	4,79	4,49	4,79	4,63	4,70
		Nông nghiệp	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Tổng (10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>)</b>		<b>4,59</b>	<b>11,8</b>	<b>27,8</b>	<b>26,8</b>	<b>5,56</b>	<b>11,8</b>	<b>27,3</b>	<b>25,1</b>	

Lượng nước thiếu hụt ngành nông nghiệp là 52,2 triệu m<sup>3</sup>, các ngành khác là 18,7 triệu m<sup>3</sup>. Lượng nước sử dụng ngành sinh hoạt hầu hết đáp ứng yêu cầu cho các hộ sử dụng. Sự thiếu hụt nước nghiêm trọng diễn ra vào tháng IV (27,3-27,8 triệu m<sup>3</sup>), tháng kiệt nhất của dòng chảy. Lưu vực sông La Ngà về cơ bản đảm bảo nguồn nước cấp cho các hộ sử dụng (Bảng 12).

Với xu thế phát triển kinh tế của một vùng kinh tế năng động và nhu cầu mức sống nâng cao, mức thiếu nước trong giai đoạn này tăng lên nhiều. Theo số liệu so sánh mức độ thiếu nước năm 2030 dưới tác động của biến đổi khí hậu so với hiện trạng (năm 2020) cho thấy: mức độ thiếu hụt lượng nước nhiều hơn 1,12% so với hiện trạng trong đó lượng nước thiếu vào mùa khô tăng 1,09% đối với nông nghiệp, tăng 1,39% đối với các ngành khác.

Nhu cầu nước cho ngành nông nghiệp chiếm tỷ trọng rất cao vì vậy để giảm thiểu thiệt hại, cần chuyển đổi cơ cấu cây trồng, mùa vụ, áp dụng các phương pháp tưới nước tiết kiệm trong sản xuất nông nghiệp, cân đối phát triển các ngành còn lại với lượng nước hiện có của tiểu lưu vực nhằm giảm lượng nước thiếu hụt.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu mô phỏng dòng chảy, đánh giá tiềm năng nước mặt thông qua mô hình MIKE NAM đã được hiệu chỉnh và kiểm định tốt. Cùng lúc đó mô hình CROPWAT đã xác định được nhu cầu tưới cho các loại cây trồng, nhu cầu này là chủ yếu chiếm hơn 80% nhu cầu sử dụng nước tại đây. Cuối cùng sử dụng mô hình cân bằng nước MIKE HYDRO để tính toán khả năng đáp ứng của nguồn nước với các nhu cầu sử dụng nước khác nhau trên lưu vực sông La Ngà.

Kết quả tính toán cân bằng nước cho thấy mặc dù tài nguyên nước LVS La Ngà khá dồi dào nhưng sự thiếu hụt nguồn nước vẫn xảy ra. Thời gian thiếu nước chủ yếu vào các tháng mùa khô từ tháng II-V với tổng lượng nước thiếu trên toàn lưu vực khoảng 63,22 triệu m<sup>3</sup> trong đó lượng nước thiếu hụt tại các khu dùng nước cho nông nghiệp là 49,8 triệu m<sup>3</sup>, các ngành khác là 13,4 triệu m<sup>3</sup>. Hiện trạng nước thiếu sẽ trầm trọng hơn khi vào năm 2030 với nhu cầu nước cho các ngành lớn hơn và tác động của BĐKH rõ nét hơn. Tổng lượng nước thiếu hụt năm 2030 khoảng 70,94 triệu m<sup>3</sup>, tăng 1,12% so với hiện trạng trong đó lượng nước thiếu vào mùa khô tăng 1,09% đối với nông nghiệp, tăng 1,39% đối với các



ngành khác. Sự thiếu hụt này chủ yếu tập trung ở hạ lưu sông nơi có diện tích cây công nghiệp lớn.

Nguyên nhân sự thiếu hụt nước trên lưu vực sông La Ngà do sự phân bố nguồn nước không đều theo thời gian, mùa khô lượng nước đến ít nhưng nhu cầu dùng nước lại nhiều, mùa mưa lũ thì lượng nước đến nhiều, nhu cầu nước lại càng nhỏ hơn rất nhiều so với lượng nước đến. Vì thế, nguồn nước mặt cả lưu vực có thể rất lớn nhưng phân bố không đều nên dẫn đến tình trạng thiếu nước và lãng phí. Do đó, cần đẩy mạnh công tác quản lý, phân bổ và sử dụng hợp lý nguồn tài nguyên nước cũng như các giải pháp lưu giữ và chuyển nước hợp lý, hiệu quả cho vùng nghiên cứu.

**Đóng góp cho nghiên cứu:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.V.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.V.H., P.A.B.; Xử lý số liệu: N.V.H., P.A.B.; Thu thập, phân tích, xử lý số liệu: N.V.H., P.A.B.; Viết bản thảo bài báo: N.V.H., P.A.B.; Chỉnh sửa bài báo: N.V.H.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được hoàn thành trong khuôn khổ nhiệm vụ thường xuyên theo chức năng năm 2023. Nhiệm vụ 9: “Dự báo thủy triều, xâm nhập mặn trên các sông chính khu vực Nam Bộ”. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

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

#### **Tài liệu tham khảo**

1. IPCC. Regional Climate Projection, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.
2. Rachid, B.H.; Dlali, Y.; Abdellatif, E.T. Prospects for a larger integration of the water resources system using WEAP model: a case study of Oran province. *Desalin Water Treat.* **2014**, 57(13), 5971–5980.
3. Purna, C.N.; Robin, W.; ASHOK, K.K. Water balance approach to study the effect of climate change on groundwater storage for Sirhind command area in India. *Int. J. River Basin Manage.* **2015**, 13(2), 243–261.
4. Motlatsi, M.; Deogratias, M.M.M. Assessment of water availability for competing uses using SWAT and WEAP in South Phuthiatsana catchment, Lesotho. *Phys. Chem. Earth.* **2017**, 100, 305–316.
5. Ougahi, J.H.; Karim S.; Mahmood S.A. Application of the SWAT model to assess climate and land use/cover change impacts on water balance components of the Kabul River Basin, Afghanistan. *J. Water Clim. Change.* **2022**, 13 (11), 3977–3999.
6. Yimere, A.; Assefa, E. Current and future irrigation water requirement and potential in the Abbay River Basin, Ethiopia. *Air. Soil. Water. Res.* **2022**, 15.
7. Malamataris, D.; Kolokytha, E.; Loukas, A. Integrated hydrological modelling of surface water and groundwater under climate change: The case of the Mygdonia basin in Greece. *J. Water Clim. Change* **2020**, 11, 1429–1454.
8. Hà, N.N. Nghiên cứu áp dụng mô hình WEAP tính toán CBN lưu vực sông Vệ, Luận văn Thạc sỹ - Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, Hà Nội, 2012.
9. Sơn, H.T. Ứng dụng mô hình Mike Basin xác định cân bằng nước trên lưu vực sông Cái Phan Rang. *Tạp chí Các khoa học về trái đất* **2013**, 35(1), 75–80.
10. Việt, N.V.; Hoài, P.T.; Nhung, T.T. Ứng dụng mô hình MIKE HYDRO tính toán cân bằng nước trên lưu vực sông Sêsan hiện tại, 2030, 2050 trong điều kiện biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2018**, 47, 1–10.
11. Tuấn, H.N.; Thuận, T.P. Đánh giá tài nguyên nước mặt TP. Đà Nẵng có xét đến điều kiện biến đổi khí hậu, phát triển kinh tế xã hội và đề xuất định hướng khai thác sử dụng nước đến năm 2050. Tuyển tập Hội thảo Khoa học ATCESD 2015, Đà Nẵng, 2015.

12. Lợi, N.K.; Trang, N.H. Ứng dụng mô hình SWAT đánh giá lưu lượng dòng chảy và bồi lắng tại tiểu lưu vực sông La Ngà, 2008.
13. Uyên, N.Đ.N.; Liêm, N.D.; Lợi, N.K. Ứng dụng mô hình SWAT và chỉ số chất lượng nước đánh giá chất lượng nước mặt lưu vực sông La Ngà. *Kỷ yếu hội thảo GIS toàn quốc*, 2014.
14. Phú, H. Tác động của công trình hồ đập tới dòng chảy hạ lưu sông La Ngà, ứng dụng mô hình thủy văn thủy lực phục hồi dòng chảy tự nhiên sau khi có hồ chứa Hàm Thuận - Đa Mi. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 686, 1–11.
15. Dũng, Đ.Đ. Nghiên cứu, đánh giá mô hình vỡ đập Hàm Thuận - Đa Mi đến hạ lưu sông La Ngà, đề xuất biện pháp phòng tránh, giảm thiểu thiệt hại. *Tạp san Khoa học và Công nghệ Quy hoạch thủy lợi* **2009**, 124–133.
16. VQH TLMN. Đề tài khoa học- công nghệ cấp cơ sở “Nghiên cứu, đánh giá mô hình vỡ đập Hàm Thuận - Đa Mi đến hạ lưu sông La Ngà, đề xuất biện pháp phòng tránh, giảm thiểu thiệt hại”, Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam, Tp. Hồ Chí Minh. 2006.
17. Tỉnh Bình Thuận. Quy hoạch tổng thể phát triển kinh tế - xã hội tỉnh Bình Thuận đến năm 2020 và tầm nhìn đến năm 2030. 2016
18. Cục thống kê Bình Thuận. Niên giám thống kê tỉnh Bình Thuận năm 2020.
19. 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.
20. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản Biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam. Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2020.
21. Quỳnh, N.P. Phương pháp tính toán hệ số cấp nước cho tôm vùng ven biển đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2015**, 29, 1–8.
22. DHI. MIKE HYDRO User Guide. 2019.
23. DHI. MIKEZero.pdf. 2014.
24. Quyết định của Thủ Tướng Chính Phủ số 471/QĐ-TTg Về việc ban hành Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Đồng Nai. Hà Nội. ngày 24/3/2016.
25. Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V. River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles. *J. Hydrol.* **1970**, 10(3), 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6).

## **Water balance in La Nga river basin by using MIKE HYDRO model**

**Nguyen Van Hong<sup>1\*</sup>, Pham Anh Binh<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Sub-Institute of Hydro-Meteorology and Climate Change;  
 nguyenvanhong79@gmail.com; binhpi1909@gmail.com

**Abstract:** Research and application of the MIKE HYDRO water balance model to assess the responsiveness of water sources for different water needs in the La Nga river basin. Calculation results show that the problem of water shortage is concentrated in the lower river basin with the total amount of water shortage for the whole year in the entire river basin accounts for about 16.1-16.4% of the total water demand. The most shortage time is in February-May (4.2-26.2%). Due to the uneven distribution of water resources over time and space along with unusual weather developments under the impact of climate change, water shortages will become increasingly serious in 2030. The results would be a database to create scientific and technological solutions for efficiency and sustainability in controlling and exploiting the surface water resource in the La Nga river basin.

**Keywords:** Water balance; MIKE HYDRO; La Nga river basin.

Bài báo khoa học

## **Nghiên cứu đánh giá xu thế biến đổi nhiệt độ giai đoạn 1980-2021 tại tỉnh Bình Thuận**

**Nguyễn Hồng Trường<sup>1\*</sup>, Trần Văn Sơn<sup>2</sup>, Đặng Văn Cầm<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Trung Bộ; [Truongmeteo@gmail.com](mailto:Truongmeteo@gmail.com)

<sup>2</sup> Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM; [tvson@hcmunre.edu.vn](mailto:tvson@hcmunre.edu.vn)

<sup>3</sup> Sinh viên Khoa Khí tượng Thủy văn và Biến đổi Khí hậu, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM; [camdangktphanthiet@gmail.com](mailto:camdangktphanthiet@gmail.com)

\*Tác giả liên hệ: [Truongmeteo@gmail.com](mailto:Truongmeteo@gmail.com); Tel: +84-905490246

Ban Biên tập nhận bài: 12/9/2023; Ngày phản biện xong: 25/10/2023; Ngày đăng bài: 25/1/2024

**Tóm tắt:** Trong những năm gần đây do tác động của biến đổi khí hậu, hiện tượng nóng lên do nhiệt độ tăng tác động đến đời sống kinh tế xã hội tỉnh Bình Thuận. Dựa trên số liệu thực tế đo đạc tại tỉnh Bình Thuận, nhóm tác giả sử dụng số liệu trong 42 năm qua (1980-2021) về nhiệt độ của 03 trạm khí tượng cơ bản: Phan Rí, Phan Thiết và La Gi để đánh giá xu thế biến đổi nhiệt độ của tỉnh Bình Thuận. Kết quả cho thấy xu thế biến đổi nhiệt độ có tốc độ tăng giảm qua từng giai đoạn và có sự khác nhau giữa các vùng nghiên cứu. Trong giai đoạn 2011-2020, nhiệt độ trung bình 3 trạm đều tăng so với các thập kỷ trước từ 0,07°C đến 0,151°C. Nhiệt độ tối cao tuyệt đối tại trạm Phan Thiết, Phan Rí có tốc độ tăng nhanh, tốc độ tăng xấp xỉ 0,058°C đến 0,098°C, riêng La Gi xu thế giảm chậm (-0,0176°C). Nhiệt độ tối thấp tuyệt đối tăng nhưng không có sự chênh lệch nhiều giữa các trạm, đều tăng nhanh với tốc độ tăng xấp xỉ 0,0120°C đến 0,091°C và có xu hướng tăng chậm hơn so với thời kỳ từ 2001 đến 2010. Nhiệt độ cực tiểu tăng với tốc độ chậm hơn so với cực đại làm cho khoảng cách chênh lệch giữa hai giá trị cực trị giảm đi, chính sự tăng lên của nhiệt độ tối thấp góp phần quan trọng trong quá trình ấm lên vì nhiệt độ tối thấp cao đồng nghĩa đêm ấm kéo dài và sẽ làm nhiệt độ cao duy trì trong thời gian dài làm ảnh hưởng tới các hiện tượng cực đoan như nắng nóng, hạn hán.

**Từ khóa:** Xu thế; Nhiệt độ; Cực trị.

### **1. Giới thiệu**

Bình Thuận là tỉnh duyên hải cực Nam Trung Bộ, chịu ảnh hưởng của khí hậu nhiệt đới gió mùa biến thiên theo độ cao. Tỉnh Bình Thuận có một nền nhiệt tương đối khác nhiệt quanh năm, sự biến động của nhiệt độ giữa các mùa không lớn. Nhiệt độ thay đổi rõ rệt giữa các khu vực, càng lên cao nhiệt độ càng giảm. Nhiệt độ bao gồm nhiệt độ trung bình, nhiệt độ tối cao tuyệt đối (cao nhất) và nhiệt độ tối thấp tuyệt đối (thấp nhất). Những tác động của biến đổi khí hậu làm thay đổi nhiệt độ trung bình ngày và nhiệt độ cực trị đều có xu hướng tăng lên. Trong đó, biên độ nhiệt độ giữa ban ngày và ban đêm càng nhỏ, đồng nghĩa với nhiệt độ ban đêm được duy trì ở mức cao, do đó làm tăng các đợt nắng nóng, hạn hán [1-3, 18]. Các nghiên cứu trên thế giới cũng minh chứng cho điều này. Theo nghiên cứu của Dulamsuren Dashkhuu và cs 2015 chỉ ra sự gia tăng rõ rệt của ngày hè và giảm đáng kể số ngày sương giá. Và biến đổi giá trị lớn nhất của nhiệt độ tối cao ngày và giá trị nhỏ nhất của nhiệt độ tối thấp ngày ở những khu vực và vị trí địa lý khác nhau thì không giống nhau [4]. Tác giả [5] phân tích sự thay đổi theo không gian và thời gian của nhiệt độ cực đoan ở Serbia, thực hiện bằng

cách sử dụng các nhiệt độ tối thấp và tối cao hàng ngày từ 26 trạm khí tượng trong giai đoạn 1961-2010. Giai đoạn nghiên cứu được chia thành hai giai đoạn nhỏ (1961-1980 và 1981-2010). Kết quả cho thấy nhiệt độ tối cao trung bình hàng năm có xu hướng giảm trong giai đoạn 1961-1980 và xu hướng tăng đáng kể ở tất cả các trạm trong kỳ 1981-2010, với tỷ lệ trung bình của khu vực là 0,56°C mỗi thập kỷ.

Tương tự như ở Việt Nam, việc nghiên cứu, đánh giá xu thế biến đổi nhiệt độ cũng như nhiệt độ cực trị ở hầu hết các tỉnh, thành trong cả nước đã được tiến hành với chuỗi số liệu mới nhất và được đánh giá một cách chi tiết trong nhiều tài liệu [6–14, 18–19]. Kết quả của các Nghiên cứu đều đưa ra kết quả sự gia tăng của nhiệt độ không khí trung bình, tuy nhiên nhiệt độ tối cao tuyệt đối (Tx) tăng chậm hơn so với nhiệt độ tối thấp tuyệt đối (Tn). Trong đó, nghiên cứu xu thế biến đổi nhiệt độ không khí cực trị ở Việt Nam trong giai đoạn 1961-2007 [3], kết quả cho thấy nhiệt độ tối thấp tháng tăng lên trung bình gần 0,9°C/thập kỷ, trong khi nhiệt độ tối cao tháng giảm nhẹ khoảng 0,1°C/thập kỷ. Ở Việt Nam do ảnh hưởng của địa hình mức độ biến đổi của nhiệt độ cực trị không đồng đều ở các vùng. Sự tăng nhanh của nhiệt độ tối thấp tháng là nguyên nhân dẫn tới gia tăng số đợt nắng nóng và hạn hán.

Tại tỉnh Bình Thuận cũng đã có một số nghiên cứu đánh giá xu thế về biến đổi nhiệt độ [2]. Tuy nhiên, trong báo cáo phân tích sự biến đổi chia ra hai giai đoạn khác nhau nên chưa thể hiện chi tiết xu thế biến đổi qua các thập kỷ. Xu thế biến đổi trong chuỗi số liệu chênh lệch nhau từ 0,01 trở lên và chưa thể hiện hết thời kỳ nào tăng giảm trong chuỗi số liệu cần tính toán phục vụ cho nhu cầu phát triển kinh tế xã hội.

Như vậy, xu thế biến đổi của nhiệt độ không khí tác động đáng kể đến các hiện tượng khí hậu cực đoan như nắng nóng và hạn hán [1–3, 5, 19]. Ngoài ra xu thế biến đổi nhiệt độ không khí ở những vị trí không gian và địa lý khác nhau là khác nhau [1–3, 5]. Mặt khác trong những năm gần đây, do chịu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu toàn cầu [22], ở Nam Trung Bộ nói chung và tỉnh Bình Thuận nói riêng đều bị tác động và ảnh hưởng đến phát triển kinh tế xã hội và đời sống của nhân. Đặc biệt, năm 2019-2020, hiện tượng El-Nino [9] hoạt động mạnh gây nên tình trạng nắng nóng gay gắt cho Nam Trung Bộ nói chung và Bình Thuận nói riêng, làm gia tăng mức độ hạn hán, thiếu nước sinh hoạt và sản xuất nông nghiệp nghiêm trọng cho khu vực vùng núi phía Đông Bắc và phía Tây tỉnh [14, 19]. Trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp hồi quy tuyến tính, phương pháp bản đồ để thể hiện được ảnh hưởng rõ hơn của BĐKH [17, 22] đã và đang xảy ra trên địa bàn tỉnh Bình Thuận dựa trên chuỗi số liệu trong 42 năm qua về nhiệt độ không khí của 03 trạm khí tượng cơ bản: Phan Thiết, Phan Rí và La Gi.

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

### 2.1. Cơ sở số liệu

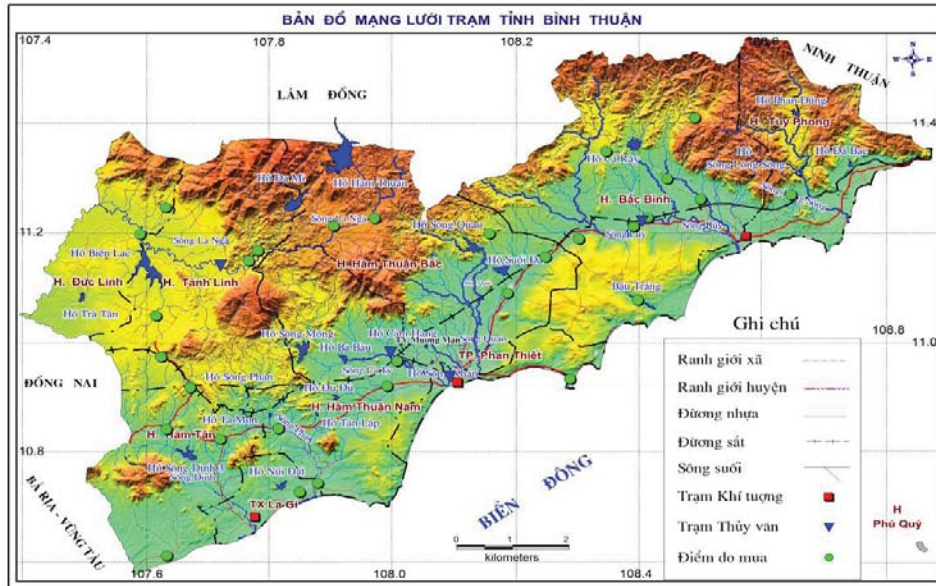
Nghiên cứu sử dụng số liệu 3 trạm trong khu vực tỉnh Bình Thuận về số liệu nhiệt độ không khí (trung bình, tối cao, tối thấp) liên tục trong 42 năm qua, từ 1980-2021 [19] để phân tích đặc điểm và đánh giá xu thế biến đổi của nhiệt độ trong 4 thập niên gần nhất (Bảng 1). Riêng trạm khí tượng Phan Rí kéo dài chuỗi số liệu từ năm 1980-2010 (tính tương quan từ trạm khí tượng Phan Thiết).

**Bảng 1.** Địa điểm các Trạm khí tượng lấy số liệu tỉnh Bình Thuận.

Trạm	Vĩ độ bắc	Kinh độ đông	Yếu tố	Chuỗi số liệu
Phan Rí	11°11	108°35	Ttb, Tx, Tn	1980 – 2021
Phan Thiết	10°56	108°09	Ttb, Tx, Tn	1980 – 2021
La Gi	10°40	107°46	Ttb, Tx, Tn	1980 – 2021

Đặc điểm về số liệu ở tỉnh Bình Thuận: Từ năm 1980 đến 2021, số liệu khí tượng trong tỉnh đã được phúc thẩm kiểm tra theo qui chuẩn của ngành Khí tượng Thủy văn, đảm bảo tính liên tục, đủ dài theo tính toán yêu cầu [14, 19]. Với chuỗi số liệu tính toán của 3 trạm khí

trạng cơ bản: Phan Rí, Phan Thiết và La Gi khá dài, đảm bảo độ tin cậy, nguồn số liệu nhiệt độ lấy chính xác đến 0,1°C. Số liệu được sử dụng là số liệu nhiệt độ trung bình (Ttb), nhiệt độ tối cao tuyệt đối (Tx), nhiệt độ tối thấp tuyệt đối (Tn).



Hình 1. Bản đồ mạng lưới trạm khí tượng, thủy văn tỉnh Bình Thuận.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

### a) Trung bình số học

Trong thống kê khí hậu, khái niệm trung bình được sử dụng phổ biến nhất là trung bình số học [17]. Ý nghĩa cơ bản của trung bình số học là nó chứa đựng thông tin quan trọng nhất về chế độ của đặc trưng yếu tố khí hậu. Chứa năng của trung bình số học trong nghiên cứu khí hậu là phản ánh một cách khái quát độ lớn của các thành phần trong chuỗi, dung hòa được các dao động thăng giáng và biểu thị trạng thái trung gian hay giá trị nền của chuỗi.

Ký hiệu chuỗi yếu tố khí hậu tháng là  $\{x_t\}$ :  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ;  $t = (1, n)$ .

Trung bình số học của  $\bar{x}$  của chuỗi là [15–16]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t \quad (1)$$

Trong đó  $\bar{x}$  là giá trị trung bình chuỗi số liệu;  $x_t$  giá trị chuỗi số liệu;  $n$  độ dài chuỗi số liệu cần tính toán.

### b) Giá trị nhiệt độ không khí lớn nhất, nhỏ nhất:

Là giá trị nhiệt độ tối cao, tối thấp tuyệt đối của chuỗi số liệu là giá trị lớn nhất, nhỏ nhất của chuỗi quan trắc được  $X_{\max, \min}$ :  $X_{\max, \min} = X_{\max, \min} \{X_t\}$ . Trong đó  $t$  là thời gian;  $X_t$  là giá trị quan trắc.

### c) Chuẩn sai (mức độ dao động nhiệt độ)

Hiệu của trị số các yếu tố và trung bình số học:  $\Delta x_t = x_t - \bar{x}$  được gọi là chuẩn sai. Khi  $\Delta x_t > 0$ , chuẩn sai là dương;  $\Delta x_t = 0$ , chuẩn sai không;  $\Delta x_t < 0$ , chuẩn sai là âm. Thực chất của phương pháp phân tích chuẩn sai là cấu tạo chuỗi khí hậu mới trên cơ sở chuỗi khí hậu ban đầu và mong muốn là chuỗi số liệu mới có khả năng thể hiện tính chu kỳ và tính xu thế rõ rệt hơn so với chuỗi ban đầu.

### d) Phương sai và độ lệch chuẩn

Phương sai  $D_x$  là đại lượng đặc trưng cho sự phân bố tản mạn cho các giá trị của đại lượng ngẫu nhiên  $X$  xung quanh kỳ vọng toán học. Phương sai mẫu  $\overline{D_x}$  là ước lượng thống kê của phương sai  $D_x$  và được xác định theo công thức:

$$\overline{D_x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 \tag{2}$$

Trong đó  $x_t$  ( $t = 1 \dots n$ ) là chuỗi các giá trị quan trắc của X. Căn bậc hai của phương sai mẫu được gọi là độ lệch chuẩn  $S_x$ :

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \tag{3}$$

Trong thực tế, độ lệch chuẩn lớn hay bé có liên quan với giá trị của chuỗi. Thông thường người ta dùng độ lệch chuẩn  $S_x$  làm thước đo mức độ phân tán của các thành phần trong chuỗi xung quanh giá trị trung bình. Độ lệch chuẩn  $S_x$  càng lớn thì độ tán mạn của chuỗi càng lớn và ngược lại.

e) Xu thế biến đổi

Xu thế biến đổi có thể thể hiện khi biểu diễn qua phương trình hồi quy tuyến tính một biến của dị thường  $T_{tb}$ ,  $T_x$  hoặc  $T_n$  so với chuẩn khí hậu thời kỳ 1980–2021 là hàm theo thời gian:

$$y = ax + b \tag{4}$$

Trong đó  $y$  là dị thường  $T_{tb}$ ,  $T_x$  hoặc  $T_n$ ;  $a$  và  $b$  là các hệ số hồi quy,  $x$  là số thứ tự năm.

Trong đó,  $y$  là đặc trưng yếu tố cần khảo sát,  $x$  là số năm,  $a$ ,  $b$  là các hệ số hồi quy. Hệ số  $a$  cho biết hướng dốc của đường hồi quy, thể hiện xu thế biến đổi tăng, giảm của nhiệt độ theo thời gian. Nếu  $a$  âm nghĩa là nhiệt độ giảm theo thời gian,  $a$  dương là nhiệt độ tăng theo thời gian [16–17]. Trong đánh giá biến đổi của nhiệt độ hệ số  $a$  dùng để đánh giá xu thế và mức độ biến đổi tại khu vực nghiên cứu. Dấu của hệ số  $a$  cho biết xu thế tăng hay giảm, giá trị của hệ số  $a$  càng lớn nghĩa là giá trị cực trị càng biến đổi mạnh và ngược lại.

f) Phương pháp bản đồ

Trong bài báo, nhóm tác giả sử dụng phần mềm Mapinfor 15.0, Phần mềm DEM. Sử dụng để thể hiện các bản đồ đường đẳng trị nhiệt độ.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Đặc điểm nhiệt độ không khí

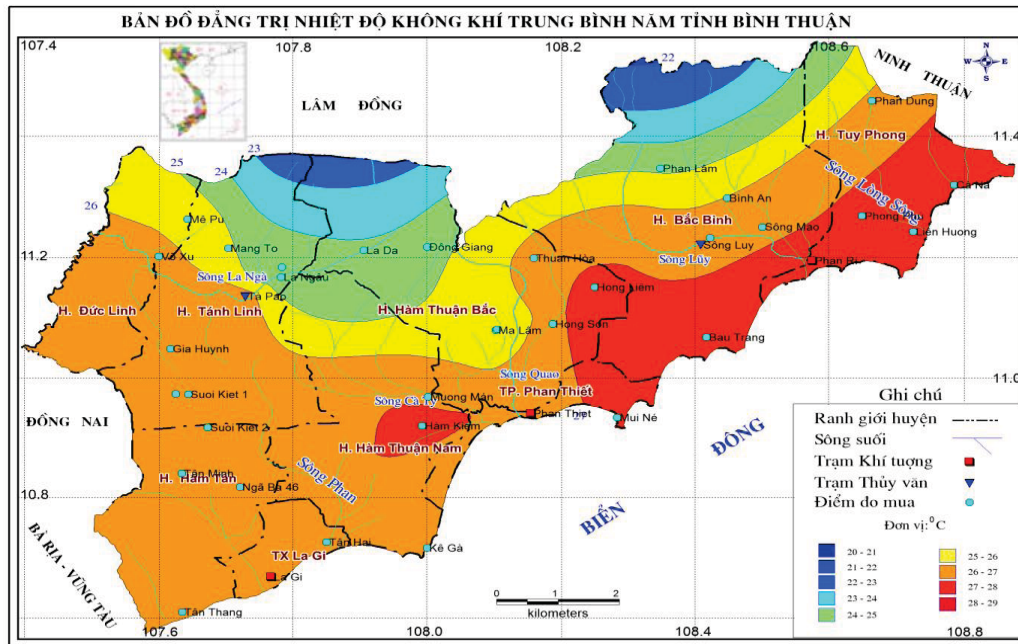
a) Nhiệt độ không khí trung bình

Nhiệt độ trung bình năm ở tỉnh Bình Thuận dao động trong khoảng từ 26,5-27,1°C. Biến trình năm của nhiệt độ ở các vùng tỉnh Bình Thuận thuộc dạng biến trình đơn của vùng nhiệt đới gió mùa, gồm một cực đại vào đầu mùa hè và một cực tiểu vào mùa đông. Cực đại xuất hiện vào tháng IV, V nhiệt độ dao động trong khoảng 28,0-29,0°C. Cực tiểu hầu hết các nơi đều xuất hiện vào tháng XII hoặc tháng I với nhiệt độ trung bình tháng từ 24,0-26,0°C.

Ở tỉnh Bình Thuận biên độ ngày của nhiệt độ trung bình năm dao động từ 6,9-8,6°C. Tháng có biên độ nhiệt độ ngày dao động lớn nhất là tháng XII tại Phan Rí (đạt 14,6°C) đối với khu vực đất liền. Do trong các tháng này ban ngày trời nắng, đêm quang mây, nên biên độ nhiệt độ ngày trung bình lớn. Những tháng có biên độ nhiệt độ ngày thấp nhất là tháng X (đạt 6,3-7,7°C), trong tháng này vào những ngày nhiều mây, mưa lớn biên độ nhiệt độ ngày sẽ đạt cực tiểu.

**Bảng 2.** Nhiệt độ trung bình tháng và năm (Đơn vị: °C).

Trạm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Năm
Phan Rí	25,9	26,0	26,9	27,6	28,1	27,9	27,8	27,8	27,2	26,9	26,6	26,1	27,1
Phan Thiết	25,0	25,5	26,9	28,4	28,6	27,9	27,2	27,1	27,1	27,0	26,6	25,6	26,9
La Gi	24,6	25,4	26,7	28,2	28,2	27,3	26,8	26,6	26,5	26,5	26,2	25,2	26,5



Hình 1. Bản đồ đẳng trị nhiệt độ không khí trung bình năm.

Bảng 3. Biên độ ngày của nhiệt độ không khí trung bình, cao nhất (Đơn vị: °C).

Trạm	Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Năm
Phan Rí	TB	7,8	7,4	6,9	6,5	6,8	6,8	6,7	6,6	6,7	6,3	7,2	7,6	6,9
	Max	13,6	13,0	12,0	12,5	13,9	12,2	10,8	10,8	11,1	13,2	14,1	14,6	13,6
Phan Thiết	TB	8,3	7,9	7,2	6,8	6,8	6,7	6,6	6,5	6,5	6,4	7,0	7,8	7,1
	Max	14,2	12,5	12,7	12,1	11,9	12,5	10,4	11,0	12,5	10,2	12,2	13,6	11,0
La Gi	TB	9,3	9,6	8,6	7,8	8,3	8,8	9,3	9,3	8,5	7,7	7,9	8,3	8,6
	Max	11,9	11,5	11,1	9,6	10,0	11,3	11,5	11,4	10,1	9,0	9,3	10,8	11,5

Sự giảm nhiệt độ không khí theo không gian: Tại trạm khí tượng Phan Rí chênh lệch nhiệt độ trung bình giữa tháng nóng nhất và tháng lạnh nhất là 2,2°C. Nhiệt độ không khí trung bình cao nhất xuất hiện vào tháng IV-VIII, trong đó tháng có nhiệt độ cao nhất là tháng V (29,3°C), nhiệt độ không khí thấp nhất xuất hiện vào tháng I (26,2°C). Giá trị nhiệt độ trung bình tháng lớn nhất trong chuỗi là 29,4°C (tháng VI/2019 và tháng V/2020); giá trị nhiệt độ trung bình tháng nhỏ nhất là 24,8°C (tháng I/2014).

Tại trạm khí tượng Phan Thiết chênh lệch nhiệt độ trung bình giữa tháng nóng nhất và tháng lạnh nhất là 3,6°C. Nhiệt độ không khí trung bình cao nhất xuất hiện vào tháng IV-VI, trong đó tháng có nhiệt độ cao nhất là tháng V (29,3°C), nhiệt độ không khí thấp nhất xuất hiện vào tháng I (26,2°C). Giá trị nhiệt độ trung bình tháng lớn nhất trong chuỗi là 30,2°C (tháng V/2020); giá trị nhiệt độ trung bình tháng nhỏ nhất là 23,5°C (tháng I/1982).

Tại trạm khí tượng La Gi chênh lệch nhiệt độ trung bình giữa tháng nóng nhất và tháng lạnh nhất là 3,6°C. Nhiệt độ không khí cao nhất xuất hiện vào tháng IV-VI, trong đó tháng có nhiệt độ trung bình cao nhất là tháng V (28,2°C), nhiệt độ không khí trung bình thấp nhất xuất hiện vào tháng I (24,6°C). Giá trị nhiệt độ trung bình tháng lớn nhất trong chuỗi là 29,6°C (tháng V/2016); giá trị nhiệt độ trung bình tháng nhỏ nhất là 23,0°C (tháng I/1982).

Mức chênh lệch của cả 3 trạm các tháng mùa khô (tháng XII năm trước đến tháng IV) cao hơn so với các tháng mùa mưa. Qua bảng 3 cho thấy tỉnh Bình Thuận có một nền nhiệt khá điều hòa và tương đối ổn định và có sự biến đổi nhiệt độ theo thời gian và không gian đều rất nhỏ. Nhiệt độ trung bình năm tại các trạm trong tỉnh giảm dần từ Bắc vào Nam và từ Đông

sang Tây, nhiệt độ các tháng có sự biến đổi nhỏ, tuy nhiên cũng có sự phân bố khá rõ ràng trong năm. Sự phân bố này phù hợp với hệ thống hoàn lưu chi phối theo từng mùa, từng tháng.

b) Nhiệt độ không khí tối cao (Tx)

Nhiệt độ cao nhất hàng tháng trong năm dao động từ 32,7-38,7°C. Giá trị lớn nhất của nhiệt độ tối cao tuyệt đối thường xảy ra vào các tháng IV - VI, dao động từ 36,2-38,7°C.

**Bảng 1.** Nhiệt độ không khí tối cao tuyệt đối tháng và năm (Đơn vị: °C).

Trạm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Năm
Phan Rí	34,3	34,9	35,3	36,4	36,4	37,3	37,6	36,8	36,1	35,1	35,1	34,4	37,6
Phan Thiết	34,5	35,2	35,0	37,2	38,7	37,5	35,3	36,1	35,5	34,7	34,3	34,1	38,7
La Gi	32,7	34,0	34,0	36,2	37,7	35,5	34,4	34,3	33,4	33,9	33,6	34,3	37,7

Theo chuỗi số liệu quan trắc từ năm 1980-2021, ở trung tâm và phía Nam tỉnh Bình Thuận nhiệt độ tối cao từ tháng X năm trước đến tháng I năm sau ít khi vượt quá 35,0°C. Riêng phía Bắc bắt từ tháng XII năm trước đến tháng II năm sau. Bắt đầu từ tháng II ở trung tâm và phía Nam tỉnh nhiệt độ tối cao tuyệt đối ở một số nơi có xu hướng vượt 35,0°C trở lên nhiều nhất cao nhất vào các tháng IV-VI hàng năm. Riêng phía Bắc từ tháng III đến tháng VIII. Số ngày có nhiệt độ trên 35°C ở tỉnh Bình Thuận dao động trong khoảng 3-6 ngày, nhiệt độ từ 33-35°C dao động từ 14-44 ngày [19]. Phan Rí số ngày nắng nóng đạt 69 ngày.

Bảng 4 ta thấy, giá trị nhiệt độ tối cao tuyệt đối xảy ra vào tháng IV-VII. Thời điểm xuất hiện giá trị nhiệt độ tối cao trung bình thường trùng với thời điểm xuất hiện giá trị cực đại nhiệt độ không khí trung bình trong năm. Nguyên nhân do ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam hoạt động mạnh gây ra hiệu ứng phơn khu vực tỉnh Bình Thuận, thể hiện rõ nhất là trạm Phan Rí còn hai trạm La Gi và Phan Thiết sát khu vực biển nên có phần ít bị tác động của hiệu ứng phơn hơn. Sự chênh lệch nhiệt độ tối cao trong tháng lạnh nhất (tháng I) giữa các trạm từ 0,2°C đến 1,8°C; tháng nóng nhất (tháng V) 1,0°C đến 2,3°C.

Trạm Phan Rí chênh lệch nhiệt độ tối cao giữa tháng nóng nhất và tháng lạnh nhất là 3,3°C. Nhiệt độ không khí tối cao trung bình cao nhất xuất hiện vào tháng IV-IX, trong đó tháng có nhiệt độ tối cao là tháng VII (37,6°C), nhiệt độ không khí tối cao tháng I (34,3°C). Nhiệt độ tối cao tuyệt đối thường xảy ra vào tháng tháng VI-VIII. Giá trị cao nhất trong chuỗi số liệu là 37,6°C (tháng VII/2015).

Trạm Phan Thiết chênh lệch nhiệt độ tối cao giữa tháng cao nhất và tháng thấp là 4,6°C. Nhiệt độ không khí tối cao xuất hiện vào tháng IV-VI, trong đó tháng có nhiệt độ tối cao là tháng V (38,7°C), nhiệt độ không khí tối cao trung bình thấp nhất xuất hiện vào tháng XII (34,1°C). Nhiệt độ tối cao tuyệt đối thường xảy ra vào tháng tháng VI-VIII. Giá trị cao nhất trong chuỗi số liệu là 38,7°C (tháng V/2001).

Trạm La Gi chênh lệch nhiệt độ tối cao trung bình giữa tháng cao nhất và tháng thấp là 5,6°C. Nhiệt độ không khí tối cao xuất hiện vào tháng IV-VI, trong đó tháng có nhiệt độ tối cao là tháng V (37,7°C), nhiệt độ không khí tối cao thấp nhất xuất hiện vào tháng I (32,7°C). Nhiệt độ tối cao tuyệt đối thường xảy ra vào tháng tháng IV-VII. Giá trị cao nhất trong chuỗi số liệu là 37,7°C (tháng V/2001).

c) Nhiệt độ không khí tối thấp (Tn)

Qua số liệu thống kê cho thấy nhiệt độ tối thấp năm khu vực tỉnh Bình Thuận dao động từ 16,1-19,7°C, hầu hết các trị số này đều xảy ra trong tháng I. Từ tháng XI năm trước đến tháng III năm sau, hàng tháng nhiệt độ tối thấp dao động trong khoảng từ 16-21°C, đây là thời kỳ nhiệt độ thấp nhất trong năm. Những tháng còn lại, ở hầu hết các nơi đều dao động trong khoảng 20-23°C.



**Bảng 2.** Nhiệt độ không khí tối thấp nhất tháng và năm (Đơn vị: °C).

Trạm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Năm
Phan Rí	16,4	17,3	18,3	21,7	22,7	21,8	21,6	21,5	21,7	20,3	18,2	20,4	16,4
Phan Thiết	16,1	17,5	17,4	22,1	20,7	21,6	21,2	21,2	20,5	20,5	18,0	17,2	16,1
La Gi	19,7	21,0	20,7	22,8	22,8	22,3	22,8	22,7	21,5	22,1	20,3	20,6	19,7

Nhìn chung, nhiệt độ tối thấp cũng biến đổi tương tự như nhiệt độ trung bình và nhiệt độ tối cao, tối thấp vào các tháng mùa đông và sau đó tăng dần, cao nhất ở các tháng mùa hè.

Bảng 5 cho thấy chênh lệch nhiệt độ tối thấp của trạm Phan Rí giữa tháng nóng nhất và tháng lạnh nhất là 6,3°C. Nhiệt độ không khí tối thấp cao nhất xuất hiện vào tháng IV đến tháng VIII, trong đó tháng có nhiệt độ cao nhất là tháng V (22,7°C), nhiệt độ không khí thấp nhất xuất hiện vào tháng I (16,4°C). Từ tháng I đến tháng III nhiệt độ không khí tối thấp giữa trạm Phan Rí và Phan Thiết không đáng kể từ 0,3°C đến 0,9°C; riêng trạm La Gi chênh lệch Phan Thiết từ 3,3°C đến 3,5°C. Điều này chứng tỏ khu vực phía Bắc và trung tâm tỉnh ảnh hưởng hoạt động mạnh mẽ của gió mùa đông bắc so với phía Nam tỉnh; đây là thời kỳ ban ngày bầu trời khu vực tỉnh hầu như ít mây đến quang mây chủ yếu là mây tầng cao, mặt đất hấp thụ nhiệt sau đó phát xạ nhiệt mạnh vào ban đêm, làm nhiệt độ giảm sâu làm cho nhiệt độ khu vực này giảm mạnh hơn phía Nam tỉnh.

Chênh lệch nhiệt độ tối thấp của Phan Thiết giữa tháng nóng nhất và tháng lạnh nhất là 5,5°C. Nhiệt độ không khí tối thấp cao nhất xuất hiện vào tháng VI, trong đó tháng có nhiệt độ cao nhất là tháng V (21,6°C), nhiệt độ không khí thấp nhất xuất hiện vào tháng I (16,1°C).

Trạm La Gi chênh lệch nhiệt độ tối thấp giữa tháng nóng nhất và tháng lạnh nhất là 3,1°C. Nhiệt độ không khí tối thấp cao nhất xuất hiện vào tháng IV-V và VII-VIII, trong đó tháng có nhiệt độ cao nhất là (22,8°C), nhiệt độ không khí thấp nhất xuất hiện vào tháng I (19,7°C).

\* Phân bố nhiệt độ không khí theo thời gian:

Bảng (6) nhìn chung, nhiệt độ không khí trung bình năm của 3 trạm phân bố tương đối đồng đều giữa ba thập kỷ gần đây: 1981-1990, 1991-2000 và 2001-2010 và có xu thế tăng dần qua các thập kỷ trong tỉnh Bình Thuận. Thập kỷ 1991-2000, nhiệt độ không khí trung bình có tăng nhanh từ 0,0°C - 0,8°C so với thập kỷ 1980-1990; Từ thập kỷ 2001-2010 nhiệt độ không khí trung bình năm cả 3 trạm tăng 0,1-0,2°C so với thập kỷ trước, đặc biệt là thập kỷ gần đây 2011-2021, ở trung tâm tỉnh và phía Nam nhiệt độ trung bình năm có dấu hiệu tăng nhanh (0,3-0,5°C). Theo kịch bản biến đổi khí hậu [22] cập nhật năm 2020 của Bộ Tài nguyên & Môi trường (chương 3 trang 47) thì nhiệt độ trung bình năm xu thế tăng cả nước theo tính toán giai đoạn (1986-2018) tăng 0,74°C, trung bình 0,22°C/thập kỷ. Nhưng với số liệu tại 3 trạm khí tượng của tỉnh Bình Thuận cho thấy 2 thập kỷ gần đây nhiệt độ trung bình năm của tỉnh tăng cao hơn nhiều so với kịch bản (0,4°C/thập kỷ), điều này chứng tỏ Bình Thuận (đặc biệt là Phan Thiết, La Gi đang nóng dần lên) chịu ảnh hưởng của tác động biến đổi khí hậu không hề nhỏ.

**Bảng 6.** Nhiệt độ trung bình tại các trạm qua các thời kỳ từ 1980 - 2021 (Đơn vị: °C).

Trạm	Thập kỷ				Thời kỳ 1980 -
	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2010	2011 - 2020	2021
Phan Rí	27,0	27,0	27,2	27,1	27,1
Phan Thiết	26,7	27,0	27,1	27,4	26,9
La Gi	25,7	26,5	26,6	27,1	26,5

\* Phân bố nhiệt độ không khí theo không gian:

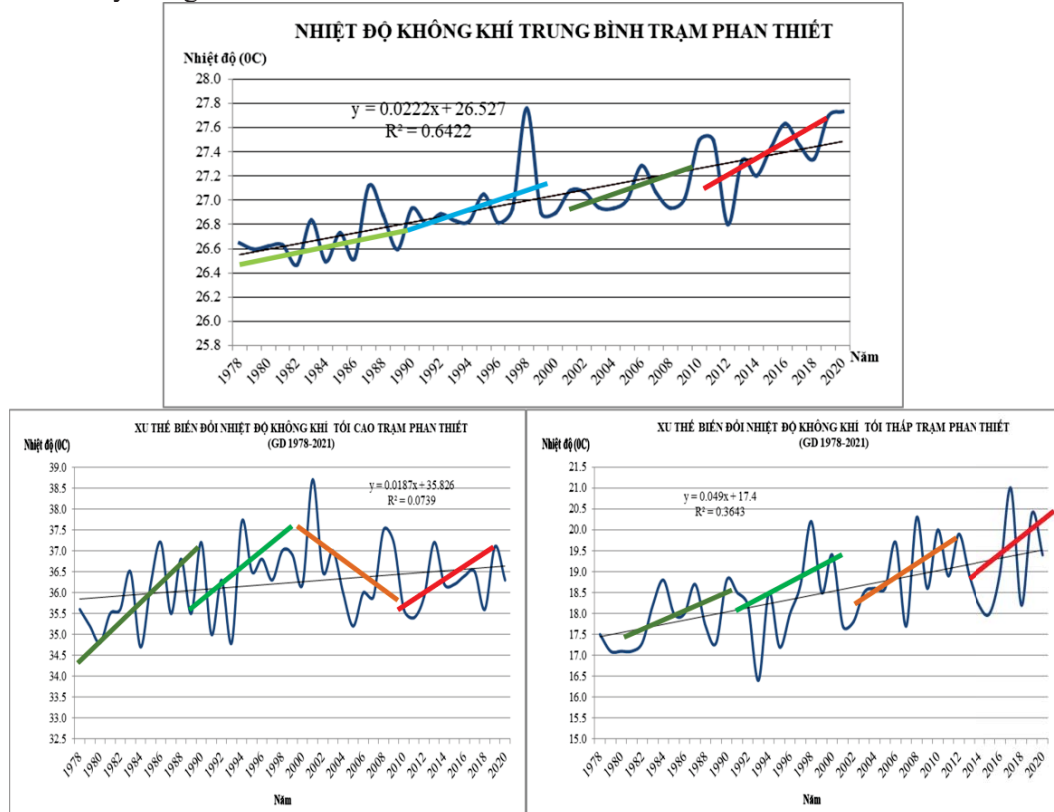
Sự phân bố nhiệt độ ở tỉnh Bình Thuận rất đa dạng, từ trạm Phan Rí ở phía Bắc của tỉnh Bình Thuận, phía Nam là trạm La Gi, phía Đông là trạm Phan Thiết nhiệt độ không khí

biến thiên theo không gian giữa các tháng có sự biến đổi nhỏ, chênh lệch nhiệt độ giữa các vùng có cùng độ cao hầu như không đáng kể chủ yếu phân bố chế độ mưa trong tình.

3.2. Xu thế biến đổi của nhiệt độ không khí (TB, Tx, Tn)

a) Xu thế biến đổi nhiệt độ tại trạm Phan Thiết

Kết quả phân tích xu thế nhiệt độ trung bình trong 42 năm từ năm 1980 đến 2021 được trình bày trong hình 3.



Hình 3: Xu thế biến đổi nhiệt độ trung bình, tối cao, tối thấp trạm Phan Thiết.

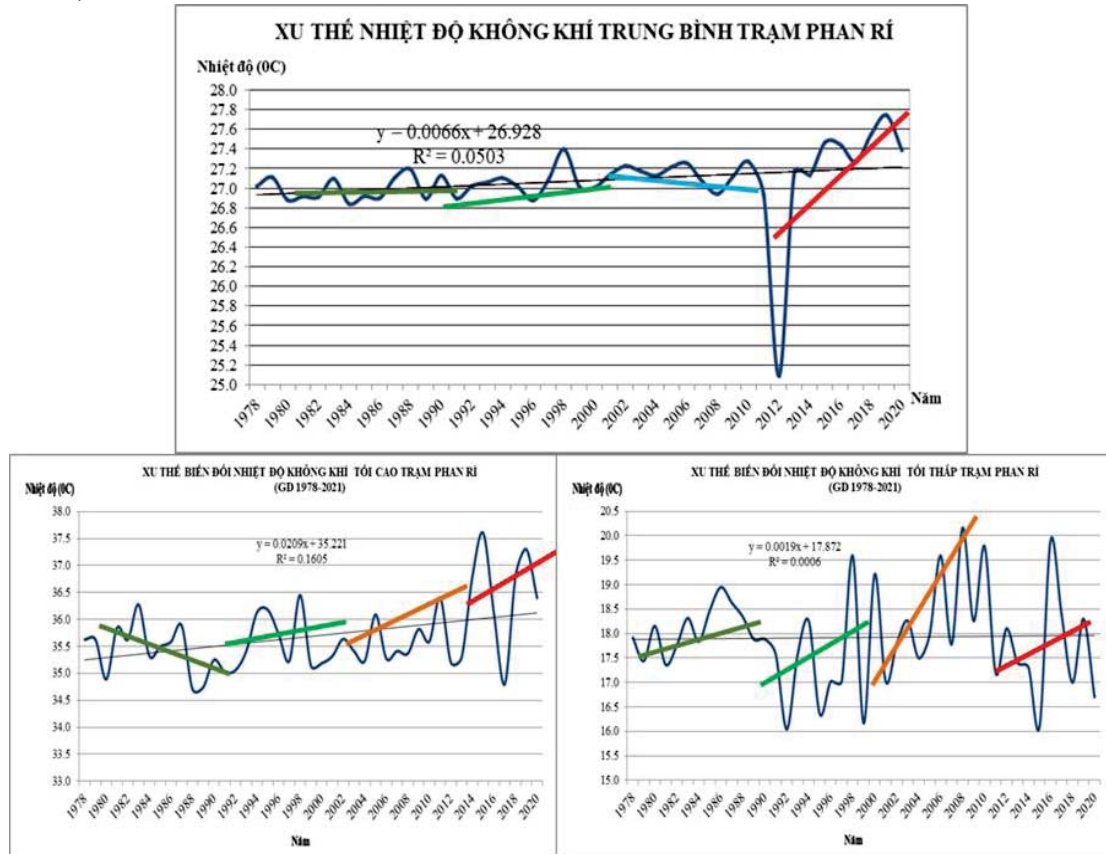
Xu thế biến đổi nhiệt độ trung bình năm tại trạm Phan Thiết (hình 3) cả giai đoạn 1980-2021 với hàm xu thế có dạng  $y = 0,0222x + 26,527$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng tăng lên với tốc độ  $0,02^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ . Trong đó, giai đoạn từ năm 1981-1990 với hàm xu thế có dạng  $y = 0,0231x + 26,536$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng tăng lên với tốc độ xấp xỉ  $0,023^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ , giai đoạn từ năm 1991-2000 với hàm xu thế có dạng  $y = 0,0338x + 26,783$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng tăng nhanh với tốc độ  $0,0338^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ , giai đoạn 2001-2010 với hàm xu thế có dạng  $y = 0,0244x + 26,948$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng tăng với tốc độ  $0,0244^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ . Và giai đoạn 2011-2021 với hàm xu thế có dạng  $y = 0,0571x + 27,098$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng tăng mạnh với tốc độ xấp xỉ  $0,0571^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ .

Xu thế biến đổi nhiệt độ tối cao trung bình năm tại trạm Phan Thiết (hình 3) cả giai đoạn 1980-2021 lại có xu thế tăng, mức tăng độ  $0,0187^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ . Trong đó, hai giai đoạn từ năm 1980-1990 và 1991-2000 lại có xu thế tăng mạnh với tốc độ  $0,1464^{\circ}\text{C}/\text{năm}$  và  $0,1339^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ , sau đó lại giảm mạnh ở giai đoạn 2000-2010 với tốc độ  $-0,1212^{\circ}\text{C}/\text{năm}$  và 2011-2021 tăng trở lại, mức tăng độ là  $0,0582^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ .

Trong 42 năm (1980-2021), nhiệt độ tối thấp trung bình tại trạm Phan Thiết (hình 3) tăng với tốc độ  $0,049^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ . Giai đoạn 1981-1990 tăng, với tốc độ  $0,0973^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ , giai đoạn

1991-2000 tăng mạnh với mức tăng 0,1855°C/năm và giai đoạn 2001-2010 nhiệt độ tăng với tốc độ 0,204°C/năm, giai đoạn 2011-2021 tăng nhẹ với tốc độ 0,0917°C/năm.

b) Xu thế biến đổi nhiệt độ tại trạm Phan Rí



**Hình 4.** Xu thế biến đổi nhiệt độ trung bình, tối cao, tối thấp trạm Phan Rí.

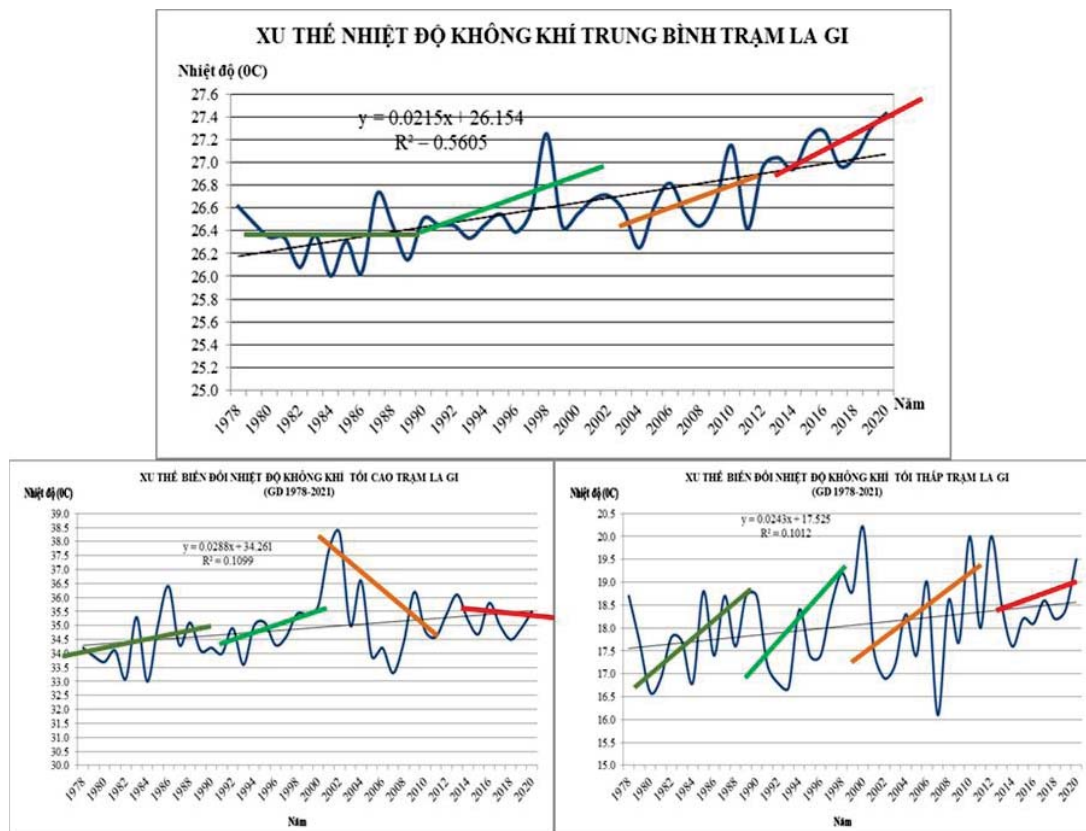
Xu thế biến đổi nhiệt độ trung bình năm tại trạm Phan Rí (hình 4) cả giai đoạn 1980-2021 với hàm xu thế có dạng  $y = 0,0222x + 26,527$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng tăng lên với tốc độ 0,0222°C/năm. Trong đó, giai đoạn từ năm 1981-1990 với hàm xu thế có dạng  $y = 0,0065x + 26,948$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng tăng nhẹ với tốc độ 0,0065°C/năm, giai đoạn từ năm 1991-2000 với hàm xu thế có dạng  $y = 0,015x + 26,966$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng tăng nhẹ với tốc độ 0,015°C/năm, giai đoạn 2001-2010 với hàm xu thế có dạng  $y = 0,0051x + 27,182$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng tăng mạnh với tốc độ 0,0051°C/năm. Và giai đoạn 2011-2020 với hàm xu thế có dạng  $y = 0,1513x + 26,286$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng tăng mạnh với tốc độ 0,15°C/năm.

Xu thế biến đổi nhiệt độ tối cao trung bình năm tại trạm Phan Rí (hình 4) cả giai đoạn 1980-2021 lại có xu thế tăng, mức tăng độ 0,0209°C/năm. Trong đó, giai đoạn từ năm 1980-1990, mức tăng độ -0,0535°C/năm có xu thế giảm, giai đoạn từ năm 1991-2000 lại có xu thế tăng với tốc độ 0,0245°C/năm và hai giai đoạn cuối 2000-2010 và 2011-2021 lại có xu thế tăng mạnh với tốc độ 0,0194°C/năm và 0,089°C/năm.

Trong 42 năm (1980-2021), nhiệt độ tối thấp trung bình tại trạm Phan Rí (hình 4) tăng chậm, với tốc độ 0,0019°C/năm. Giai đoạn 1981-1990 tăng chậm, với tốc độ 0,0378°C/năm, giai đoạn 1991-2000 tăng mạnh với mức tăng 0,1369°C/năm và giai đoạn 2001-2010 nhiệt độ tăng mạnh với tốc độ 0,2432°C/năm, giai đoạn 2011-2021 tăng nhẹ với tốc độ 0,0121°C/năm.

c) Xu thế biến đổi nhiệt độ tại trạm La Gi

Xu thế biến đổi nhiệt độ trung bình năm tại trạm La Gi (hình 5) cả giai đoạn 1980 - 2021 với hàm xu thế có dạng  $y = 0,0215x + 26,154$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng tăng lên với tốc độ  $0,0215^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ . Trong đó, giai đoạn từ năm 1980-1990 với hàm xu thế có dạng  $y = -0,0034x + 26,357$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng giảm đi với tốc độ xấp xỉ  $-0,003^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ , giai đoạn từ năm 1991-2000 với hàm xu thế có dạng  $y = 0,0342x + 26,357$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng tăng nhanh với tốc độ xấp xỉ  $0,034^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ , giai đoạn 2001 - 2010 với hàm xu thế có dạng  $y = 0,0237x + 26,498$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng tăng với tốc độ  $0,0237^{\circ}\text{C}/\text{năm}$  và giai đoạn 2011 - 2021 với hàm xu thế có dạng  $y = 0,0704x + 26,672$  (x là năm, y là nhiệt độ) có xu hướng tăng mạnh với tốc độ  $0,07^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ .



Hình 5. Xu thế biến đổi nhiệt độ trung bình, tối cao, tối thấp trạm La Gi.

Xu thế biến đổi nhiệt độ tối cao trung bình năm tại trạm La Gi (hình 5) cả giai đoạn 1980-2021 lại có xu thế tăng, mức tăng độ  $0,028^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ . Trong đó, hai giai đoạn từ năm 1980-1990 và 1991-2000 lại có xu thế tăng, mức tăng độ  $0,09^{\circ}\text{C}/\text{năm}$  và  $0,1564^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ , giai đoạn từ năm 1991-2000 lại có xu thế giảm mạnh, với tốc độ  $-0,3236^{\circ}\text{C}/\text{năm}$  và giai đoạn cuối 2011-2021 lại có xu thế giảm chậm, với tốc độ  $-0,0176^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ .

Trong 42 năm (1980-2021), nhiệt độ tối thấp trung bình tại trạm La Gi (Hình 5) tăng mạnh, với tốc độ  $0,0243^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ . Giai đoạn 1981-1990 tăng mạnh, với tốc độ  $0,179^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ , giai đoạn 1991-2000 tăng mạnh với mức tăng  $0,326^{\circ}\text{C}/\text{năm}$  và giai đoạn 2001-2010 nhiệt độ tăng mạnh với tốc độ  $0,1824^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ , giai đoạn 2011-2021 tăng nhẹ với tốc độ  $0,0224^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ .

Qua đánh giá xu thế biến đổi của nhiệt độ trung bình tại 3 trạm khí tượng theo số liệu quan trắc tại trạm trong tỉnh Bình Thuận được thể hiện ở hình (3-5). Trong 42 năm gần đây thấy rõ xu hướng gia tăng đáng kể nhiệt độ trung bình năm. Đặc biệt là Phan Thiết, La Gi, Phan Rí ở độ cao dưới 100m so với mực nước biển với thời tương đối khắc nghiệt quanh năm và đang chịu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đã tác động mạnh mẽ đến chế độ nhiệt, thời tiết cực đoan xuất hiện nhiều như nắng nóng gay gắt, mưa, lốc... Đó là do cơ sở hạ tầng thay

đổi rất nhiều như phát triển kinh tế xã hội, bê tông hóa, phát triển giao thông và suy giảm thảm thực vật rừng cùng với BĐKH [20, 22] đã tác động mạnh mẽ đến chế độ nhiệt. Từ số liệu nhiệt độ trung bình năm và các quá trình ta thấy nhiệt độ tại các trạm trong tỉnh đều có xu thế tăng dần mức độ tăng (Bảng 7).

**Bảng 3.** Số liệu xu thế biến đổi nhiệt độ trung bình của các trạm.

Giai đoạn	Phan Rí	Phan Thiết	La Gi
1981 - 1990	Tăng 0,0065C/ năm	Tăng 0,023°C/năm	Tăng 0,0215°C/năm
1991 - 2000	Tăng 0,015°C/ năm	Tăng 0,0338°C/năm	Giảm -0,003°C/năm
2001 - 2010	Tăng 0,0051°C/năm	Tăng 0,024°C/năm	Tăng 0,034°C/năm
2011 - 2020	Tăng 0,151°C/năm	Tăng 0,057°C/năm	Tăng 0,07°C/năm
1980 - 2021	Tăng 0,0222°C/ năm	Tăng 0,0222°C/năm	Tăng 0,0215°C/năm

**Bảng 8.** Xu thế biến đổi nhiệt độ tối cao trung bình của các trạm.

Giai đoạn	Phan Rí	Phan Thiết	La Gi
1981 - 1990	Giảm -0,0535°C/năm	Tăng 0,01464°C/năm	Tăng 0,09°C/năm
1991 - 2000	Tăng 0,0245°C/năm	Tăng 0,1339°C/năm	Tăng 0,1564°C/năm
2001 - 2010	Tăng 0,0194°C/năm	Giảm -0,1212°C/năm	Giảm -0,3236°C/năm
2011 - 2020	Tăng 0,089°C/năm	Tăng 0,0582°C/năm	Giảm -0,0176°C/năm
1980 - 2021	Tăng 0,0209°C/năm	Tăng 0,0187°C/năm	Tăng 0,028°C/năm

**Bảng 9.** Xu thế biến đổi nhiệt độ tối thấp trung bình của các trạm.

Giai đoạn	Phan Rí	Phan Thiết	La Gi
1981 - 1990	Tăng 0,0973C/năm	Tăng 0,0378°C/năm	Tăng 0,179°C/năm
1991 - 2000	Tăng 0,1855°C/năm	Tăng 0,1369°C/năm	Tăng 0,326°C/năm
2001 - 2010	Tăng 0,204°C/năm	Tăng 0,2432°C/năm	Tăng 0,1824°C/năm
2011 - 2020	Tăng 0,091°C/năm	Tăng 0,0121°C/năm	Tăng 0,0224°C/năm
1980 - 2021	Tăng 0,049°C/năm	Tăng 0,0019°C/ năm	Tăng 0,0243°C/năm

#### 4. Kết luận

Qua nghiên cứu chuỗi số liệu về nhiệt độ tại 3 trạm khí tượng của tỉnh Bình Thuận giai đoạn 1980-2021. Nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp thống kê, phương pháp bản đồ (Mapinfor, DEM) để vẽ bản đồ, phân tích xu thế biến đổi nhiệt độ (trung bình, tối cao, tối thấp). Nhóm tác giả rút ra được một số nhận xét sau:

Nhiệt độ không khí trung bình năm tại các trạm tỉnh Bình Thuận gần như không khác nhau nhiều, dao động từ 26,5°C-27,3°C. Biên độ nhiệt độ các trạm dao động từ 4,2 đến 7,1°C. Xu thế biến đổi nhiệt độ trung bình trong 42 năm qua (1980-2021) của cả 3 trạm đều tăng với tốc độ từ 0,021 đến 0,022°C/ thập kỷ. Trong giai đoạn 2001-2010; 2011-2021 đều tăng nhanh với tốc độ tương ứng từ 0.005°C/ thập kỷ đến 0,15°C/ thập kỷ.

Nhiệt độ không khí tối cao: Nhiệt độ cao nhất trung bình hàng tháng trong năm dao động từ 31,4-33,7°C, Giá trị lớn nhất của nhiệt độ tối cao tuyệt đối thường xảy ra vào các tháng 4-6, dao động từ 35,5-38,7°C. Xu thế biến đổi nhiệt độ tối cao trung bình trong 42 năm qua (1980-2021) có xu hướng tăng nhẹ, mức tăng 0,0187°C/ thập kỷ 0,0285°C/ thập

kỷ. Giai đoạn 2001-2010 nhiệt độ tối cao khu vực từ trung tâm tỉnh đến phía Nam tỉnh giảm rõ rệt, mức giảm từ  $-0,32^{\circ}\text{C}$ / thập kỷ đến  $-0,12^{\circ}\text{C}$ / thập kỷ; 2011-2021 nhiệt độ tối cao khu vực Phan Rí, Phan Thiết tăng rõ rệt, mức tăng từ  $0,058^{\circ}\text{C}$  đến  $0,089^{\circ}\text{C}$ / thập kỷ. Riêng La Gi xu thế biến đổi giảm rõ rệt ở 2 thời kỳ cuối (Bảng 8). Số ngày nắng nóng tại khu vực nghiên cứu trung bình từ 3 đến 7 ngày/ năm. Riêng phía Bắc cao hơn nhiều.

Nhiệt độ không khí tối thấp: Nhiệt độ tối thấp trung bình năm khu vực tỉnh Bình Thuận dao động từ  $21,1-23,5^{\circ}\text{C}$ . Nhiệt độ tối thấp tuyệt đối năm ở vùng đồng bằng ven biển khoảng từ  $16,1 - 16,4^{\circ}\text{C}$ , hầu hết các trị số này đều xảy ra trong tháng I. Xu thế biến đổi nhiệt độ tối thấp trung bình trong 42 năm qua (1980-2021) có xu hướng tăng cả 3 trạm với tốc độ tăng từ là  $0,0019^{\circ}\text{C}$ / thập kỷ đến  $0,49^{\circ}\text{C}$ / thập kỷ (bảng 9). Giai đoạn 1991-2010 nhiệt độ tối thấp tỉnh Bình Thuận tăng nhanh rõ rệt, mức tăng từ  $0,136^{\circ}\text{C}$ / thập kỷ đến  $0,326^{\circ}\text{C}$ /thập kỷ.

Nhìn chung, diễn biến nhiệt độ không khí tỉnh Bình Thuận trong năm có sự thay đổi theo thời gian gồm một cực đại thường xảy ra vào tháng VI và tháng VII hằng năm và một cực tiểu thường xảy ra vào tháng XII năm trước đến tháng I năm sau và có sự khác nhau giữa các khu vực trong một tỉnh. Phía bắc và trung tâm tỉnh thường có nhiệt độ cao hơn so với phía Tây Nam của tỉnh. Nhiệt độ tối cao trung bình có xu thế giảm nhẹ, trong khi đó nhiệt độ tối thấp trung bình có xu thế tăng. Từ những phân tích đánh giá xu thế của nhiệt độ cho thấy BĐKH đã và đang ảnh hưởng đến tỉnh Bình Thuận. Nhiệt độ tối cao ban ngày cao trên  $35^{\circ}\text{C}$ , số ngày nắng nóng từ trung tâm tỉnh đến phía tây nam tỉnh từ 3 đến 7 ngày; riêng phía Bắc tỉnh 69 ngày (tại trạm khí tượng Phan Rí) làm tăng, khả năng bốc hơi cao, số giờ nắng lớn làm cho diễn biến thời tiết tại tỉnh Bình Thuận trong những năm gần đây ngày càng khắc nghiệt hơn; điển hình là năm 2004, 2016, 2019-2020 đã xảy ra hạn hán nghiêm trọng, tình hình ban bố tình trạng khẩn cấp thiên tai tại cấp 2. Khu vực phía Bắc tỉnh diễn biến nắng nóng, khô hạn phức tạp hơn so với khu vực phía Tây Nam tỉnh do mùa khô kéo dài đến 7-8 tháng, lượng mưa thấp,...

Như vậy, tỉnh Bình Thuận có một nền nhiệt khá điều hòa và tương đối ổn định và có sự biến đổi nhiệt độ theo thời gian và không gian đều rất nhỏ. Xu thế biến đổi nhiệt độ trong năm có một cực đại và một cực tiểu. Nhiệt độ thấp nhất thường xuất hiện vào tháng I hằng năm. Nhiệt độ tối cao thường xuất hiện vào tháng V, VI; riêng phía Bắc tỉnh xuất hiện vào tháng VII, VIII hằng năm. Tuy nhiên trong những thập kỷ gần đây nhiệt độ cực đoan đều tăng và duy trì ở mức cao làm cho nhiệt độ trung bình cao, xuất hiện các hiện tượng cực đoan như hạn hán, nắng nóng xảy ra thường xuyên, thời gian kéo dài hơn.

**Lời cảm ơn:** Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của nhiệm vụ: “Nghiên cứu đánh giá một số hiện tượng khí hậu cực đoan và cung cấp các bản tin dự báo thời tiết, mưa lớn, xoáy thuận nhiệt đới, khí hậu và nhận định xu thế một số thiên tai”.

**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. Minh, P.T.; Tuyết, N.T.; Thảo, T.T.T.; Hằng, N.T. Nghiên cứu đặc điểm, xu thế biến đổi nhiệt độ và lượng mưa khu vực Nam Trung Bộ giai đoạn 1989–2018. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 729, 63–78.
2. Sở Tài nguyên và Môi Trường Bình Thuận. Báo cáo Đánh giá khí hậu tỉnh Bình Thuận, 2020.
3. 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 ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2009**, 25(3S), 412–422.
4. Dulamsuren, D.; Jong, P.K.; Jong, A.C.; Woo–Seop, L. Long-term trends in daily temperature extremes over Mongolia. *Weather Clim. Extremes* **2015**, 8, 26–33.

5. Sharma, D.; Babel, M.S. Trends in extreme rainfall and temperature indices in the western Thailand. *Int. J. Climatol.* **2014**, *34*, 2393–2407.
6. Lành, N.V. Một số kết quả nghiên cứu về biến đổi khí hậu trên khu vực Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2007**, *560*, 33–38.
7. Tân, P.V. Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu đến các yếu tố và hiện tượng khí hậu cực đoan ở Việt Nam, khả năng dự báo và giải pháp chiến lược ứng phó. Báo cáo tổng kết đề tài KH-CN cấp nhà nước KC08.29/06–10. 2010.
8. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu. Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam năm 2015 được cập nhật theo lộ trình đã được xác định trong Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu.
9. Ngừ, N.Đ. Tác động của ENSO đến thời tiết, khí hậu, môi trường và kinh tế - xã hội ở Việt Nam. Hội thảo chuyên đề về Đa dạng sinh học và Biến đổi khí hậu, 2007.
10. Phùng, N.K.; Phùng, L.T.; Phùng, H.L.T.; Hoàng, T.X.; Tuấn, L.N. Xu thế biến đổi một số yếu tố khí tượng Thủy văn tại tỉnh Đồng Nai. *Tạp chí khoa học biến đổi khí hậu* **2017**, *2*, 16–24.
11. Hoàng, T.X.; Tuấn, L.N. Nghiên cứu xu thế biến đổi nhiệt độ trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại Thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí khoa học đại học Sài Gòn* **2016**, *23* (48), 139–147.
12. Nam, L.H.; Tín, N.V.; Toàn, H.C.; Hoàng, T.T.; Long, P.T. Đánh giá xu thế và xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu cho tỉnh Bình Phước. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, *717*, 32–43.
13. Tuấn, L.N.; Tín, N.V.; Hoàng, T.T.; Long, P.T.; Phùng, N.K. Xây dựng kịch bản biến đổi nhiệt độ trong bối cảnh biến đổi khí hậu cho khu vực tỉnh Tây Ninh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, *710*, 58–69.
14. Hương, T.N. Đặc điểm Khí hậu Thủy văn tỉnh Bình Thuận. 2014.
15. Kế hoạch phát triển thủy lợi nhỏ, thủy lợi nội đồng giai đoạn 2021–2025 trên địa bàn tỉnh Bình Thuận. Kế hoạch số 1712/KH-UBND của tỉnh Bình Thuận. 2021.
16. Wilks, D.S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Ithaca New York. **1997**, *59*, 255.
17. Tân, P.V. Phương pháp thống kê khí hậu học. Đại học Quốc Gia Hà Nội. 1999.
18. Đài khí tượng Thủy văn khu vực Nam Trung Bộ. <http://kttvntb.gov.vn/>.
19. Trường, N.H. Báo cáo đề tài Nghiên cứu phân vùng khô hạn và quản lý giám sát hạn hán trên địa bàn tỉnh Bình Thuận, 2022.
20. Thục, T.; Xuân, T. Tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước Việt nam. Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật năm 2011.
21. Toàn, P.N.; Đắc, P.T. Khí hậu Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật Hà Nội, 1992, 232, 201–206.
22. Bộ Tài nguyên và Môi Trường. Kịch bản Biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam, Hà Nội, 2020.

## **Research to assess the trend and degree of temperature change in Binh Thuan province in the period 1980–2021**

**Nguyen Hong Truong<sup>1\*</sup>, Tran Van Son<sup>2</sup>, Dang Van Cam<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Regional Central South Hydro-Meteorological Station; [truongmeteo@gmail.com](mailto:truongmeteo@gmail.com)

<sup>2</sup> Department of General Science Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; [tvson@hcmunre.edu.vn](mailto:tvson@hcmunre.edu.vn)

<sup>3</sup> Student of Department of Meteorology, Hydrology and Climate change, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; [camdangktphanthiet@gmail.com](mailto:camdangktphanthiet@gmail.com)

**Abstract:** In recent years, due to the impact of climate change, the temperature increased to impacted the socio-economic and life of Binh Thuan province. Based on actual measured data, the group author uses data over the past 42 years (1980-2021) on the air temperatures of three basic meteorological stations: Phan Ri, Phan Thiet and La Gi to assess the trend of extreme temperature (Average, Max, Min) change in Binh Thuan province. The results show that the trend of temperature change has a different rate of increase and decrease over time and there are differences between the study areas. In the period 2011-2020, the average temperature of the three stations increases from  $+0.07^{\circ}\text{C}$  to  $+0.151^{\circ}\text{C}$  compared to last decades. The absolute maximum temperature at Phan Ri, Phan Thiet stations has a rapid increase in the period 2011-2020, the rate of increase is approximately from  $+0.058^{\circ}\text{C}$  to  $+0.098^{\circ}\text{C}$  /decade, La Gi station decrease slowly than other stations (approximately  $-0.0176^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ ). The absolute minimum temperature increased but there was not much difference between stations, both increased rapidly with an increase rate of approximately from  $+0.0120^{\circ}\text{C}$  to  $+0.091^{\circ}\text{C}/\text{decade}$  and the slowly increase trend than period 2001 to 2010. The minimum temperature increases at a faster rate than the maximum, causing the difference between the two extreme values to decrease. It is the increase of the minimum temperature that plays an important role in the warming process because the minimum temperature is high. This means that warm nights will last for a long time and will cause high temperatures to remain for a long time, affecting extreme events such as heat and drought.

**Keywords:** The trend of temperature; Extreme; Temperature.



Bài báo khoa học

## Ước tính giá trị kinh tế sử dụng của nước tưới cho lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn

Đỗ Thị Ngọc Bích<sup>1\*</sup>, Nguyễn Tú Anh<sup>1</sup>, Nguyễn Thành Long<sup>1</sup>, Hoàng Bích Ngọc<sup>1</sup>, Nguyễn Hoàng Bách<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Viện Khoa học tài nguyên nước; bichdam555@gmail.com; tuanhevp@gmail.com; longnt.works@gmail.com; ngocbhoang22@gmail.com; bachnh46@wru.vn

\*Tác giả liên hệ: bichdam555@gmail.com; Tel: +84-904642373

Ban biên tập nhận bài: 5/10/2023; Ngày phản biện xong: 2/11/2023; Ngày đăng bài: 25/1/2024

**Tóm tắt:** Lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn là một trong tám lưu vực sông lớn liên tỉnh của Việt Nam, nơi phải đối mặt với tình trạng hạn hán và xâm nhập mặn diễn ra thường xuyên đã và đang gây ảnh hưởng lớn đến vấn đề cấp nước tưới cho ngành nông nghiệp. Đề hướng tới sử dụng nước tiết kiệm, hiệu quả, việc ước tính giá trị kinh tế sử dụng của nước tưới là cần thiết để làm cơ sở cho việc định giá và điều tiết các dịch vụ tưới tiêu. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ước tính giá trị kinh tế sử dụng của nước tưới cho lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn bằng phương pháp số dư RIM đối với bốn loại cây trồng chính là lúa, ngô, cao su, rau màu. Kết quả tính toán cho năm 2020 thu được giá trị kinh tế sử dụng nước tưới toàn lưu vực là 4.344 đồng/m<sup>3</sup>. Do giá trị này chịu ảnh hưởng lớn bởi năng suất cây trồng, chi phí sản xuất và lượng nước sử dụng, nên việc đầu tư tối ưu hóa các biến số này là chìa khóa để gia tăng giá trị kinh tế sử dụng của nước tưới.

**Từ khoá:** Giá trị kinh tế nước tưới; Phương pháp số dư; RIM; Vu Gia - Thu Bồn.

### 1. Đặt vấn đề

Việt Nam được đánh giá là có nguồn tài nguyên nước khá phong phú với tổng lượng nước mặt vào khoảng 840 tỷ m<sup>3</sup>/năm và tập trung chủ yếu trên 9 lưu vực sông lớn [1]. So với các ngành kinh tế khác, nông nghiệp tuy ngành sử dụng nước lớn nhất, chiếm khoảng 81% tổng lượng nước sử dụng, hiệu quả sử dụng nước của ngành chưa cao chỉ tạo ra được khoảng 17-18% GDP [2]. Với tốc độ phát triển kinh tế - xã hội và tình hình gia tăng dân số hiện nay, nhu cầu sử dụng nước của các ngành ngày càng tăng đang gây ra những thách thức không nhỏ cho việc đảm bảo cấp nước phát triển nông nghiệp. Trước năm 2008, chính sách thủy lợi phí của Việt Nam quy định người nông dân phải chi trả phí thủy lợi, mức phí này được Chính phủ quy định rất thấp. Chính phủ quy định thủy lợi phí là phí dịch vụ thu từ các tổ chức, cá nhân sử dụng nước hoặc dịch vụ từ các dự án thủy lợi cho sản xuất nông nghiệp. Số tiền phí thu được phục vụ cho công tác quản lý, bảo trì và vận hành các công trình thủy lợi. Từ sau năm 2008 đến nay, chính phủ đã miễn thủy lợi phí cho hầu hết người sử dụng, gián tiếp trợ cấp cho người nông dân bằng cách trả tiền cho các công ty quản lý thủy lợi thay vì yêu cầu họ thanh toán toàn bộ chi phí tưới tiêu. Chính sách này đã giúp người nông dân giảm chi phí sản xuất và tăng thu nhập hộ gia đình [3]. Có thể thấy, chính sách thủy lợi phí của Chính phủ đã trải qua ba giai đoạn chính. Ban đầu, nông dân chỉ chi trả khi hài lòng với dịch vụ mà mình được hưởng thụ. Tiếp theo, họ chỉ được miễn giảm một phần thủy lợi phí, cho đến hiện nay, Chính phủ đã thay người nông dân chi trả phí này theo nguyên tắc “người thứ ba trả tiền dịch vụ” [4]. Tuy nhiên, sau hơn chục năm miễn phí thủy lợi, chính sách này tiếp tục bộc lộ nhiều bất

cấp. Thứ nhất, nông dân không trực tiếp trả tiền dịch vụ cung cấp nước tưới nên họ không có động lực để bảo tồn nước. Thứ hai, tài chính thủy lợi phụ thuộc vào nguồn ngân sách hạn hẹp của chính phủ trong khi nhu cầu đầu tư thủy lợi ngày càng tăng. Thủ tục giải ngân phức tạp và quản lý tưới tiêu phân cấp cũng ảnh hưởng đến hiệu quả của hoạt động tưới tiêu. Nhiều địa phương không được cung cấp đủ dịch vụ tưới tiêu và thoát nước cho sản xuất lúa gạo hoặc cây trồng thay thế [5]. Những điều này chưa tính đến thực tế rằng Việt Nam là một trong những quốc gia dễ bị tổn thương nhất trước tác động của biến đổi khí hậu, khi mà lũ lụt, hạn hán và các hiện tượng thời tiết cực đoan được dự báo sẽ gây rủi ro đáng kể cho sản xuất nông nghiệp [6].

Để hướng tới sử dụng nước tiết kiệm, hiệu quả, nước tưới phải được định giá và chi trả hợp lý để việc phân bổ nguồn nước đang ngày một khan hiếm hiệu quả hơn và tiết kiệm chi phí cho các mục đích sử dụng tối ưu hơn. Trong bối cảnh này, việc ước tính giá trị kinh tế sử dụng của nước tưới là cần thiết để làm cơ sở cho việc định giá và điều tiết các dịch vụ tưới tiêu. Trong những năm gần đây, một số nghiên cứu trên thế giới đã được thực hiện nhằm ước tính giá trị kinh tế của nước dùng cho tưới tiêu. Một số nghiên cứu điển hình có thể kể đến như: Tác giả [7] đã xác định giá trị kinh tế của nước tưới cho 8 loại cây trồng ở tiểu lưu vực Musi ở Ấn Độ; Tác giả [8] ước tính lợi nhuận kinh tế nước tưới cho 14 loại cây trồng ở Jordan; Tác giả [9] đã phát triển hệ thống hỗ trợ ra quyết định để ước tính giá trị kinh tế của nước tưới cho 45 loại cây trồng ở Ai Cập; Tác giả [10] đã áp dụng hệ thống này để đánh giá giá trị nước tưới cho 38 loại cây trồng cho Ai Cập; Tác giả [11] đã ước tính giá bóng của nước tưới cho 5 loại cây trồng ngô, bông, lúa mì, đậu nành và lúa miến ở vùng Cao nguyên Hoa Kỳ; Tác giả [12] đã nghiên cứu giá trị cận biên của nước tưới cho lúa tại tỉnh Guilan, Iran; Tác giả [13] đã xem xét các giá trị kinh tế của việc sử dụng nước tưới cho đất trồng trọt ở Nam Florida; Tác giả [14] đã xác định lợi nhuận trung bình và lợi nhuận trung bình sau chi phí biến đổi (RAVC) của lúa miến và ngô (ngô) ở tây nam Kansas.

Cho đến nay, chưa có nhiều nghiên cứu trong nước được thực hiện để xác định giá trị của nước tưới ở Việt Nam nói chung cũng như cho các lưu vực sông nói riêng. Theo đó, các nghiên cứu gần đây ước tính giá trị nước tưới với các phương pháp thực hiện và kết quả tính toán khác nhau. Nhóm tác giả [15] đã đo lường giá trị cận biên của nước tưới cho cây lương thực ở Việt Nam bằng sử dụng mô hình cây trồng thực nghiệm phù hợp với dữ liệu khảo sát hộ gia đình trên toàn quốc với kết quả tính toán là 0,56 đô la Mỹ/m<sup>3</sup> nước (giá trị năm 2016). Bằng cách áp dụng phương pháp giá trị phần dư (*RVM - Residual Value Method*), nhóm tác giả [16] đã tính toán giá trị kinh tế sử dụng nước cho ba hệ thống tưới tại lưu vực sông Hồng là Liễn Sơn, La Khê, Núi Cốc tương ứng với từng vụ lúa trong năm. Cũng áp dụng phương pháp giá trị phần dư, nghiên cứu của tác giả [17] đã phân tích giá trị kinh tế sử dụng nước tưới dựa trên khảo sát hộ gia đình trong hệ thống thủy lợi Cầu Sơn cho năm 2010 và 2018 tương ứng với ba vụ canh tác trong năm. Với cách tiếp cận định giá theo lưu vực sông, đề tài nghiên cứu cấp Bộ của Cục Quản lý tài nguyên nước do tác giả [18] đã đánh giá giá trị của nước đối với hoạt động sử dụng nước cho sản xuất lúa cho các huyện thuộc lưu vực sông Hương với giá trị dao động trong khoảng từ 1.300-3.400 đồng/m<sup>3</sup> nước. Gần đây, nghiên cứu của tác giả [19] đã sử dụng phương pháp giá thị trường (*MP-Market Price*) kết hợp với phương pháp số dư (*RIM - Residual Imputation Method*) để ước tính giá trị kinh tế sử dụng nước cho các tiểu lưu vực thuộc lưu vực sông Vệ. Trong nghiên cứu này, tác giả đã đưa ra kết quả tính toán giá trị của nước tưới cho một số loại cây trồng chính như lúa đông xuân, lúa hè thu, mía, ngô, lạc, các giá trị này nếu được trung bình hóa thì kết quả thu được là 1.620 đồng/m<sup>3</sup>. Ngoài nghiên cứu của tác giả [15] đã đưa ra kết quả tính toán giá trị nước tưới chung cho Việt Nam thì các nghiên cứu còn lại chỉ đưa ra kết quả ước tính giá trị kinh tế sử dụng của nước tưới cho từng loại cây trồng trong hệ thống tưới hay tiểu lưu vực tính toán mà không tiến hành tổng hợp để đưa ra kết quả cho toàn lưu vực sông.

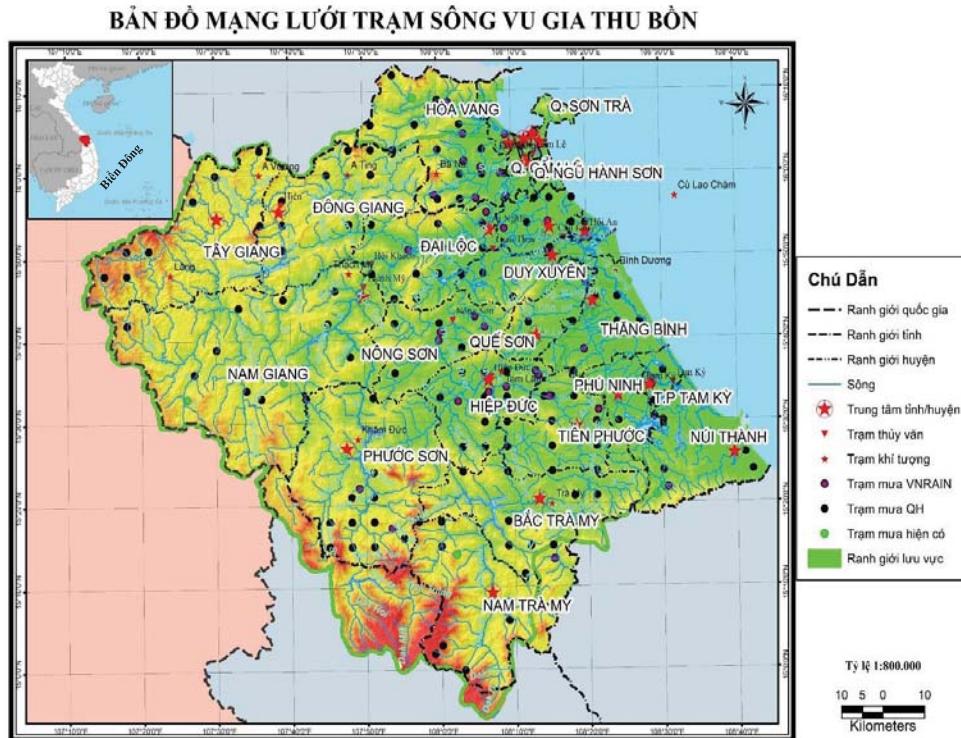
Do đó, nghiên cứu này hướng đến mục tiêu xác định giá trị kinh tế sử dụng của nước tưới cho lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn, là một trong tám lưu vực sông lớn liên tỉnh của Việt

Nam, nơi phải đối mặt với tình trạng hạn hán và xâm nhập mặn diễn ra thường xuyên đã và đang gây ảnh hưởng lớn đến vấn đề cấp nước tưới cho ngành nông nghiệp [20]. Phương pháp được áp dụng là phương pháp số dư RIM, giá trị của nước tưới được xác định là tỷ lệ giữa lợi nhuận ròng sản xuất và tổng lượng nước sử dụng để tưới cho các loại cây trồng tương ứng [11].

## 2. Phương pháp nghiên cứu và tài liệu thu thập

### 2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện cho lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn, là hệ thống sông lớn ở vùng duyên hải Trung Trung Bộ. Toàn bộ lưu vực nằm ở sườn Đông của dãy Trường Sơn có tổng diện tích lưu vực là 10.350 km<sup>2</sup>, trong đó diện tích nằm ở tỉnh Kon Tum là 560,5 km<sup>2</sup>, còn lại chủ yếu thuộc địa phận tỉnh Quảng Nam và Thành phố Đà Nẵng. Lượng mưa hàng năm trên lưu vực sông từ 2.000-4.000 mm với tổng lượng dòng chảy mặt vào khoảng 24 tỷ m<sup>3</sup>, tương ứng với  $Q_0 = 760 \text{ m}^3/\text{s}$  và  $M_0 = 73,4 \text{ l/s.km}^2$ .



**Hình 1.** Bản đồ lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn.

Vùng hạ lưu sông Vu Gia - Thu Bồn là vùng canh tác lớn, tuy nhiên, do ảnh hưởng của hiện tượng El Nino từ năm 2019 và duy trì trạng thái đến đầu năm 2020, lượng mưa phổ biến trên lưu vực thấp hơn trung bình nhiều năm khiến các hồ chứa không tích đủ nước để cung cấp nước tưới cho các khu vực canh tác rộng lớn này. Trước tình trạng diện tích đất canh tác ngày càng bị thu hẹp do hạn mặn cùng với tác động của biến đổi khí hậu, người nông dân đang rất cần có những biện pháp chuyên đổi cơ cấu cây trồng giúp tăng năng suất, giảm chi phí và đặc biệt là giúp tiết kiệm nước tưới mà vẫn đảm bảo giá trị sản xuất ngày một nâng cao.

### 2.2. Cơ sở dữ liệu

Để phục vụ cho việc tính toán mô hình mưa rào dòng chảy, nghiên cứu sử dụng số liệu khí tượng của 3 trạm Đà Nẵng, Tam Kỳ, Trà My từ năm 1976-2020. Số liệu mưa của 16 trạm

từ năm 1980-2020: Ái Nghĩa, Cẩm Lệ, Câu Lâu, Đà Nẵng, Giao Thủy, Hiên - Trao, Hiệp Đức, Hội An, Hội Khách, Khâm Đức, Nông Sơn, Quế Sơn, Tam Kỳ, Thành Mỹ, Tiên Phước, Trà My. Số liệu lưu lượng của 2 trạm Nông Sơn, Thành Mỹ từ năm 1980-2020. Ngoài ra còn có các dữ liệu về thông số hồ chứa, quy trình vận hành của các công trình thủy điện, thủy lợi khai thác nguồn nước đã đi vào hoạt động tính đến năm 2020.

Số liệu thống kê sử dụng để tính toán được lấy từ Niên giám thống kê của tỉnh Quảng Nam và thành phố Đà Nẵng năm 2021 (số liệu được lấy cho năm 2020). Với các số liệu thống kê theo cấp Quận, Huyện về: Dân số, Nông nghiệp (năng suất, diện tích trồng lúa, ngô, cao su, rau màu). Số liệu về mùa vụ các loại cây trồng được tham khảo từ các báo cáo của Sở Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn tỉnh Quảng Nam và thành phố Đà Nẵng với ngày bắt đầu gieo trồng như sau: Vụ lúa đông xuân: từ ngày 20/12-05/01; Vụ mùa: từ ngày 05-10/2; Vụ ngô: 20-25/12; Vụ lúa hè thu: 10-15/05; Vụ cây hàng năm: 05/11-05/12.

Số liệu định mức các hạng mục đầu vào ngoại trừ nước trong quá trình trồng trọt cho đến khi thu hoạch được lấy từ: (1) “Định mức kinh tế, kỹ thuật cây trồng, vật nuôi áp dụng trong các mô hình, dự án trên địa bàn tỉnh Quảng Nam” được ban hành theo Quyết định số 473/QĐ-SNN&PTNT ngày 16 tháng 9 năm 2021 của Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh Quảng Nam và (2) “Định mức kinh tế - kỹ thuật về khuyến nông trên địa bàn thành phố Đà Nẵng” được ban hành theo Quyết định số 06/2022/QĐ-UBND ngày 24 tháng 3 năm 2022 của Ủy ban Nhân dân Thành phố Đà Nẵng.

### 2.3. Phương pháp sử dụng

Có thể nói, trong những năm trở lại đây, để đánh giá tổng giá trị kinh tế (*Total Economic Value - TEV*) [21] của nước bao gồm các giá trị sử dụng trực tiếp, giá trị sử dụng gián tiếp và giá trị phi sử dụng, các nhà nghiên cứu cũng đã áp dụng nhiều phương pháp kỹ thuật phức tạp khác nhau. Theo khung TEV, nước là đầu vào của quy trình trồng trọt, do đó được coi là giá trị sử dụng trực tiếp và phương pháp đo lường được áp dụng rộng rãi là phương pháp số dư RIM. Phương pháp này cũng tương tự như phương pháp dựa trên hàm sản xuất thể hiện mối quan hệ giữa đầu vào và đầu ra trong quá trình sản xuất. Bản thân mối quan hệ này cũng rất khó ước tính vì chúng phụ thuộc vào nhiều yếu tố như mùa màng, điều kiện thời tiết, vị trí địa lý, loại đất, hệ thống tưới tiêu, hệ thống quản lý, v.v. Việc ước tính trị kinh tế sử dụng nước dựa trên ý tưởng rằng người dùng nước tối đa hóa lợi nhuận sử dụng nước cho đến điểm mà doanh thu ròng thu được từ một đơn vị nước tăng thêm bằng chi phí cận biên để có được nước [22]. Khi chi phí cơ hội của các nguyên liệu đầu vào ngoại trừ nước được tính theo giá thị trường, thì giá cận biên nước bằng chênh lệch giữa giá trị đầu ra và chi phí đầu vào của tất cả các nguyên liệu ngoại trừ nước cho sản xuất [23].

Khi một quá trình sản xuất được xem xét trong đó có các nguyên liệu sản xuất  $i$  và nước  $w$  được sử dụng để sản xuất một sản phẩm đầu ra, thì giá trị kinh tế sử dụng nước được tính bằng giá trị biên và được tính toán như sau [24]:

$$VMP_w = \frac{TVP - \sum_i P_i Q_i}{Q_w} \quad (1)$$

Trong đó  $VMP_w$  là giá trị kinh tế sử dụng nước hay giá trị cận biên của nước; TVP là tổng giá trị đầu ra của sản phẩm;  $\sum_i P_i Q_i$  là tổng chi phí cơ hội của các nguyên liệu đầu vào ngoại trừ nước tham gia vào quá trình sản xuất ra 1 đơn vị sản phẩm;  $TVP - \sum_i P_i Q_i$  là lợi nhuận ròng từ sản xuất hay giá trị phần dư;  $P_i$  là giá nguyên liệu đầu vào thứ  $i$ ;  $Q_i$  là định mức nguyên liệu đầu vào thứ  $i$ ;  $Q_w$  là lượng nước dùng tham gia vào quá trình sản xuất ra 1 đơn vị sản phẩm.

#### a) Xác định chi phí sản xuất

Bốn loại cây trồng chính của lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn bao gồm: lúa, ngô, cao su, rau màu được lựa chọn để áp dụng tính toán giá trị kinh tế sử dụng nước tưới theo phương pháp số dư RIM. Do đó, tổng chi phí đầu vào của các nguyên liệu ngoại trừ nước tham gia

vào quá trình sản xuất ra 1 đơn vị sản phẩm của phương trình (1) tương ứng với giá thị trường của các hạng mục đầu vào cho trồng trọt mỗi loại cây trồng được lấy từ Định mức kinh tế, kỹ thuật cây trồng. Nhìn chung, các hạng mục yêu cầu với các loại cây trồng này là giống, phân lân, ure, kali clorua, NPK và vôi bột. Đây đều là các thành phần tham gia vào quá trình trồng trọt cho đến khi thu hoạch, giá các hạng mục đầu vào này được tra theo giá thị trường năm 2020. Từ định mức này, Đơn giá chi phí sản xuất (ĐGCPSX) cho một hecta trong một năm được tính toán theo công thức:

$$\text{ĐGCPSX (triệu đồng/ha)} = P_i \text{ (triệu đồng/ha)} \times Q_i$$

Sau đó CPSX của từng tiểu lưu vực được tính như sau:

$$\text{CPSX (triệu đồng)} = \text{ĐGCPSX (triệu đồng/ha)} \times \text{Diện tích trồng trọt (ha)}$$

Do đặc điểm là cây lâu năm nên ĐGCPSX của cây cao su được tính là chi phí đầu tư trung bình trong 25 năm (có tính tới lạm phát 2,75%).

b) Xác định giá trị sản phẩm

Sản lượng nông sản được tính như sau:

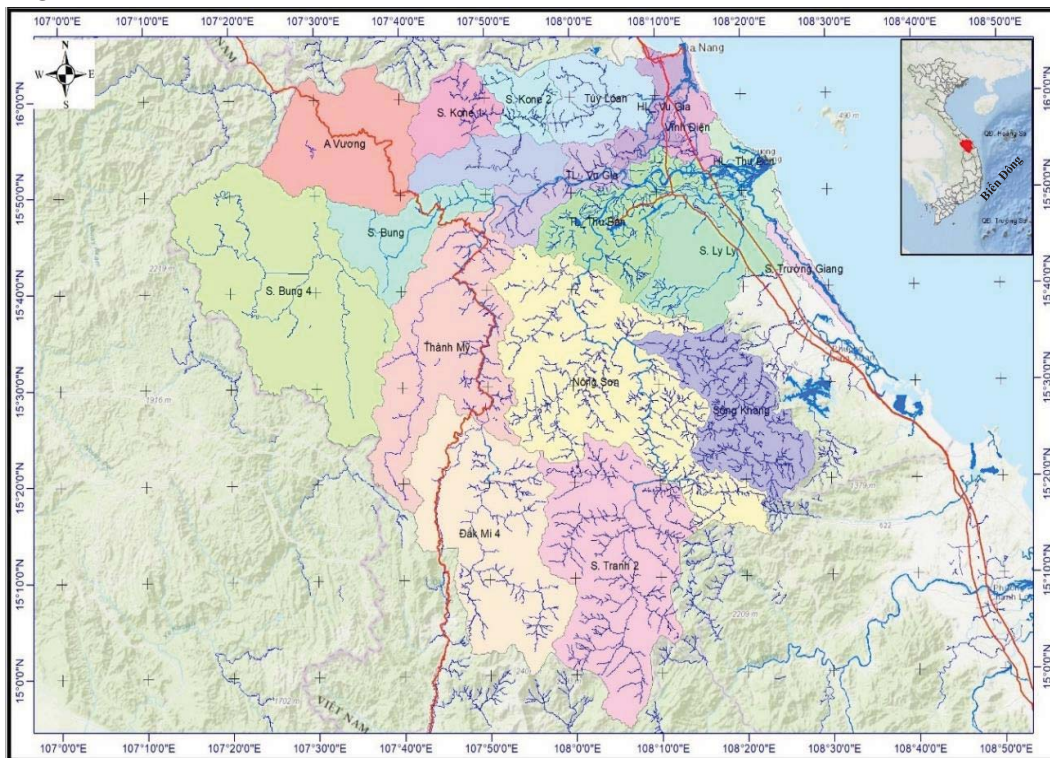
$$\text{Sản lượng nông sản (tấn)} = \text{Diện tích trồng trọt (ha)} \times \text{Năng suất (tấn/ha)}$$

Từ đó, giá trị sản phẩm (TVP) được tính như sau:

$$\text{TVP (triệu đồng)} = \text{Sản lượng (tấn)} \times \text{Đơn giá bán (triệu đồng/tấn)}$$

c) Lượng nước sử dụng

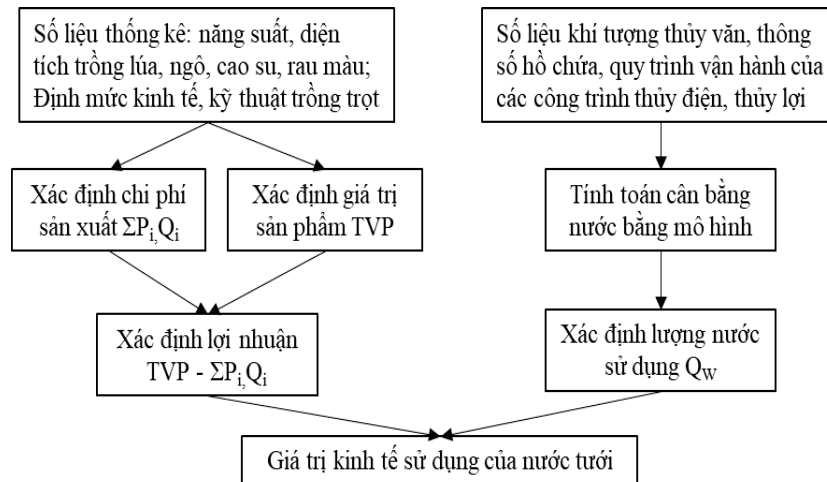
Dựa vào điều kiện địa lý tự nhiên, bản đồ DEM, phân bố mạng lưới sông để tiến hành phân chia các tiểu lưu vực. Lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn được chia thành 19 tiểu lưu vực (Hình 2). Mô hình MIKE-NAM được áp dụng để mô phỏng dòng chảy, các kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mô hình tại trạm Nông Sơn và Thành Mỹ trong 2 giai đoạn 1980-1995 và 1996-2000 đạt độ tin cậy cao. Từ kết quả này, nghiên cứu tiếp tục sử dụng mô hình MIKE HYDRO BASIN để tính toán cân bằng nước hệ thống và tập trung giải quyết các vấn đề: phân vùng tiềm năng nguồn nước, tính toán nhu cầu nước của các ngành dùng nước khác nhau và tính toán các phương án sử dụng nguồn nước hay thực chất là bài toán cân bằng kinh tế nước. Mô hình MIKE HYDRO BASIN được kế thừa từ nghiên cứu [25] và đã cập nhật bổ sung các dữ liệu các ngành dùng nước đến năm 2020 để tính toán đưa ra lượng nước sử dụng các ngành năm 2020.



Hình 2. Bản đồ phân chia 19 tiểu lưu vực.

Nhu cầu tưới cho cây trồng được tính toán bằng mô hình CROPWAT, liệu đầu vào của mô hình gồm:

- Số liệu khí tượng: Số liệu mưa, nhiệt độ, độ ẩm, số giờ nắng, tốc độ gió của các trạm khí tượng thành phố Đà Nẵng và tỉnh Quảng Nam.
- Xác định thời gian sinh trưởng (vụ) của cây trồng: Cây lương thực: Lúa, ngô; Cây hàng năm: rau màu; Cây công nghiệp lâu năm: cao su.



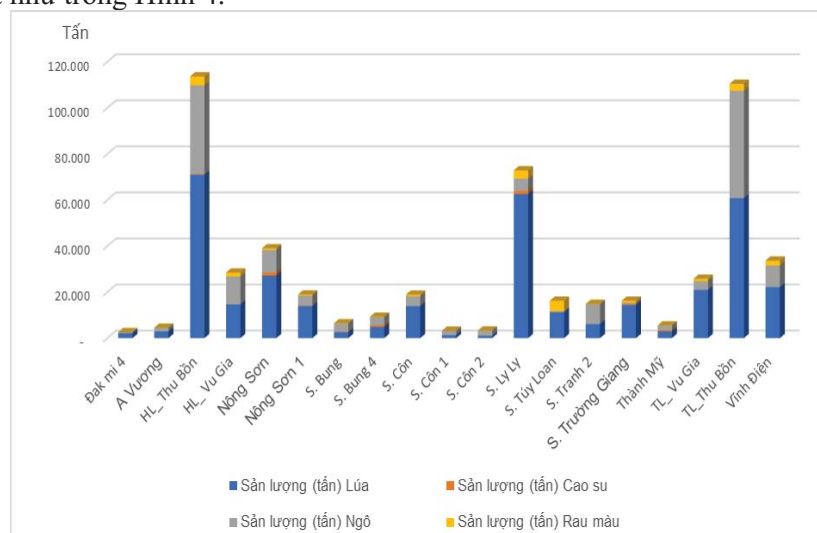
Hình 3. Sơ đồ thực hiện nghiên cứu.

### 3. Kết quả và thảo luận

Căn cứ vào định mức kinh tế, kỹ thuật cây trồng và giá các hạng mục nguyên liệu trong quy trình trồng trọt của từng loại cây trồng, chi phí đầu vào tương ứng của từng loại cây trồng trên một hecta trong một năm (ĐGCPSX) được tính toán với kết quả như sau: Lúa: 5,377 (triệu đồng/ha); Cao su: 1,210 (triệu đồng/ha); Ngô: 10,37 (triệu đồng/ha); Rau màu: 10,04 (triệu đồng/ha).

Từ kết quả trên, tổng chi phí đầu vào của quá trình trồng trọt từng loại cây trồng cho từng tiểu lưu vực được tính toán với kết quả như trong Bảng 1, Bảng 2, Bảng 3, Bảng 4.

Để tính giá trị sản phẩm đầu ra, các đơn giá thành phẩm của từng loại cây trồng (triệu đồng/tấn) được thu thập và sản lượng (tấn) của bốn loại cây trồng trong từng lưu vực sông được mô tả như trong Hình 4.



Hình 4. Sản lượng sản phẩm thu hoạch của bốn loại cây trồng tính toán theo các tiểu lưu vực.

Hình 4 cho thấy các tiêu lưu vực Hạ lưu Vu Gia, sông Ly Ly và Thượng lưu Thu Bồn có tổng sản lượng cao vượt trội so với các tiêu lưu vực còn lại, do có diện tích trồng trọt và năng suất cây trồng cao. Ngoài ra, có thể thấy, lúa và ngô vẫn luôn là cây lương thực chủ đạo được trồng nhiều hơn so với cây hàng năm (rau màu) và cây công nghiệp lâu năm (cao su) trên toàn lưu vực. Kết quả tính toán lợi nhuận cho lúa, cao su, ngô, rau màu được trình bày lần lượt trong Bảng 1, Bảng 2, Bảng 3, Bảng 4.

**Bảng 1.** Kết quả tính toán lợi nhuận của lúa.

Tiêu lưu vực	Giá trị sản phẩm (triệu đồng)	Chi phí (triệu đồng)	Lợi nhuận (triệu đồng)
Đak mi 4	13.904	3.605	10.299
A Vương	19.155	6.065	13.090
Hạ lưu Thu Bồn	461.059	64.232	396.826
Hạ lưu Vu Gia	95.207	13.044	82.163
Nông Sơn	176.881	29.249	147.632
Nông Sơn 1	90.370	17.469	72.901
Sông Bung	17.087	3.962	13.125
Sông Bung 4	31.578	10.626	20.952
Sông Côn	90.597	12.682	77.915
Sông Côn 1	8.602	2.642	5.959
Sông Côn 2	6.773	1.985	4.788
Sông Ly Ly	406.718	59.119	347.599
Sông Túy Loan	73.227	9.656	63.571
Sông Tranh 2	39.716	10.629	29.087
Sông Trường Giang	93.838	13.583	80.255
Thành Mỹ	19.472	6.133	13.338
Thượng lưu Vu Gia	136.405	17.868	118.537
Thượng lưu Thu Bồn	395.270	53.271	341.999
Vĩnh Điện	144.190	19.965	124.225

**Bảng 2.** Kết quả tính toán lợi nhuận của cao su.

Tiêu lưu vực	Giá trị sản phẩm (triệu đồng)	Chi phí (triệu đồng)	Lợi nhuận (triệu đồng)
Đak mi 4	544	27	517
A Vương	-	-	-
Hạ lưu Thu Bồn	9.342	820	8.522
Hạ lưu Vu Gia	-	-	-
Nông Sơn	40.647	1.372	39.275
Nông Sơn 1	4.205	144	4.061
Sông Bung	4.919	155	4.765
Sông Bung 4	25.320	795	24.524
Sông Côn	-	-	-
Sông Côn 1	-	-	-
Sông Côn 2	-	-	-
Sông Ly Ly	44.841	3.936	40.905
Sông Túy Loan	-	-	-
Sông Tranh 2	35	1	33
Sông Trường Giang	13.295	1.167	12.128
Thành Mỹ	15.912	505	15.408
Thượng lưu Vu Gia	-	-	-
Thượng lưu Thu Bồn	1.304	33	1.271
Vĩnh Điện	-	-	-

**Bảng 3.** Kết quả tính toán lợi nhuận của ngô.

Tiểu lưu vực	Giá trị sản phẩm (triệu đồng)	Chi phí (triệu đồng)	Lợi nhuận (triệu đồng)
Đak mi 4	2.198	1.165	1.032
A Vương	7.872	2.751	5.122
Hạ lưu Thu Bồn	203.992	14.204	189.788
Hạ lưu Vu Gia	64.223	4.991	59.232
Nông Sơn	51.572	4.932	46.640
Nông Sơn 1	23.400	3.555	19.846
Sông Bung	18.839	2.652	16.187
Sông Bung 4	18.115	7.824	10.291
Sông Côn	22.730	4.746	17.983
Sông Côn 1	9.536	1.991	7.545
Sông Côn 2	11.507	1.452	10.055
Sông Ly Ly	27.542	4.824	22.717
Sông Túy Loan	2.192	699	1.493
Sông Tranh 2	45.309	7.513	37.796
Sông Trường Giang	2.745	946	1.800
Thành Mỹ	10.080	4.798	5.281
Thượng lưu Vu Gia	20.000	5.832	14.168
Thượng lưu Thu Bồn	247.048	19.144	227.905
Vĩnh Điện	49.540	7.881	41.660

**Bảng 4.** Kết quả tính toán lợi nhuận của rau màu.

Tiểu lưu vực	Giá trị sản phẩm (triệu đồng)	Chi phí (triệu đồng)	Lợi nhuận (triệu đồng)
Đak mi 4	27	14	14
A Vương	694	340	354
Hạ lưu Thu Bồn	58.531	16.479	42.052
Hạ lưu Vu Gia	25.589	3.681	21.908

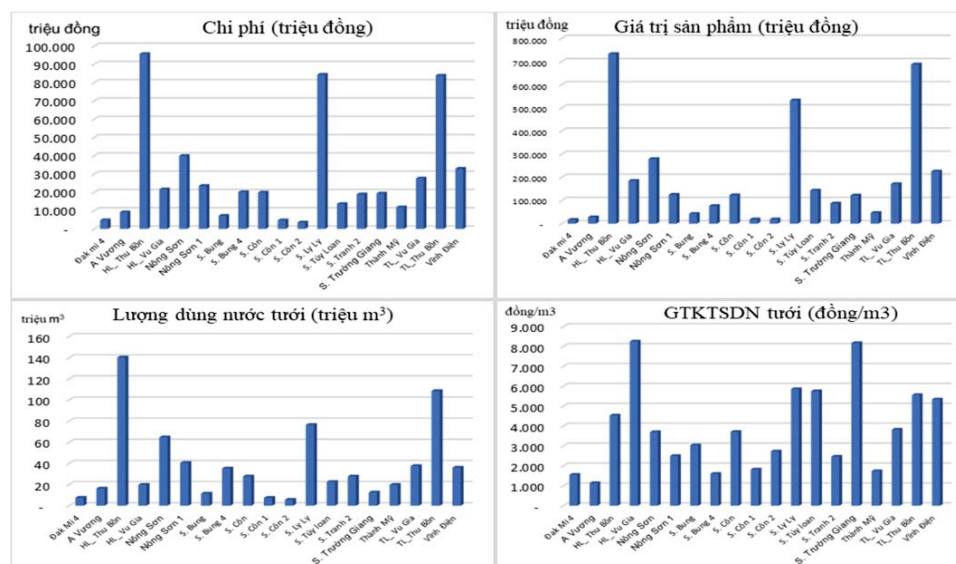
Từ tổng lợi nhuận thu được từ bốn loại cây trồng và lượng dùng nước của bốn loại cây ( $m^3$ ), giá trị kinh tế sử dụng (GTKTSDN) ( $\text{đồng}/m^3$ ) của nước tưới cho từng tiểu lưu vực được tính ra kết quả như Bảng 5. Kết quả ước tính giá trị kinh tế của nước tưới cho toàn lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn là  $4.344 \text{ đồng}/m^3$ .

**Bảng 5.** Kết quả tính toán giá trị kinh tế sử dụng của nước tưới.

Tiểu lưu vực	Tổng lợi nhuận (triệu đồng)	Lượng dùng nước tưới ( $m^3$ )	GTKTSDN tưới ( $\text{đồng}/m^3$ )
Đak mi 4	11.862	7.610.544	1.559
A Vương	18.566	16.322.688	1.137
Hạ lưu Thu Bồn	637.188	140.349.542	4.540
Hạ lưu Vu Gia	163.303	19.771.776	8.259
Nông Sơn	239.637	64.731.053	3.702
Nông Sơn 1	101.451	40.524.106	2.503
Sông Bung	34.979	11.515.219	3.038
Sông Bung 4	56.624	35.230.637	1.607
Sông Côn	103.028	27.729.302	3.715
Sông Côn 1	13.687	7.492.003	1.827
Sông Côn 2	15.327	5.608.051	2.733
Sông Ly Ly	448.297	76.468.121	5.863
Sông Túy Loan	129.661	22.509.775	5.760
Sông Tranh 2	68.348	27.703.901	2.467



Tiểu lưu vực	Tổng lợi nhuận (triệu đồng)	Lượng dùng nước tưới (m <sup>3</sup> )	GTKTSDN tưới (đồng/m <sup>3</sup> )
Sông Trường Giang	102.568	12.546.093	8.175
Thành Mỹ	34.446	19.775.491	1.742
Thượng lưu Vu Gia	143.861	37.604.650	3.826
Thượng lưu Thu Bồn	604.019	108.557.971	5.564
Vĩnh Điện	192.730	36.059.593	5.345
<b>Toàn lưu vực</b>	<b>3.119.582.272.200</b>	<b>718.110.516</b>	<b>4.344</b>



Hình 3. So sánh chi phí, giá trị sản phẩm, lượng dùng nước và GTKTSDN của các tiểu lưu vực.

Kết quả tính toán cho thấy, mặc dù các tiểu lưu vực Hạ lưu sông Thu Bồn, Sông Ly Ly và Thượng lưu sông Thu Bồn có sản lượng, và giá trị nông sản cao, tuy nhiên do chi phí đầu vào và lượng dùng nước tưới lớn nên ba lưu vực này không tạo ra giá trị kinh tế nước tưới cao khi chỉ đạt giá trị tương ứng là: 4.540 (đồng/m<sup>3</sup>), 5.863 (đồng/m<sup>3</sup>) và 5.564 (đồng/m<sup>3</sup>). Trong khi đó, lưu vực Hạ lưu Vu Gia và Sông Trường Giang tuy có sản lượng và giá trị nông sản thấp nhưng với chi phí và lượng dùng nước tưới hợp lý, hai lưu vực này có thể tạo ra giá trị kinh tế nước tưới cao nhất so với các lưu vực còn lại với các giá trị tương ứng là 8.259 (đồng/m<sup>3</sup>) và 8.175 (đồng/m<sup>3</sup>). Nguyên nhân của vấn đề này có thể do cơ cấu cây trồng chủ đạo ở mỗi lưu vực là khác nhau, vì mỗi loại cây trồng sẽ có chi phí đầu vào, giá thành sản phẩm và lượng dùng nước tưới khác nhau.

Có thể thấy rằng cách tiếp cận này thách thức giả định rằng trong trạng thái cân bằng cạnh tranh, giá trị cận biên của nước là như nhau đối với tất cả các quy trình sản xuất trong một khu vực. Bởi ngoại trừ giá nguyên liệu đầu vào và sản phẩm đầu ra do thị trường quyết định, nông dân và doanh nghiệp có thể tác động đến giá trị kinh tế của nước tưới bằng cách thay đổi năng suất cây trồng, chi phí sản xuất và lượng dùng nước tưới tiêu. Chính vì vậy, cải thiện năng suất cây trồng là chìa khóa để tăng doanh thu thuần và từ đó giá trị kinh tế của nước tưới cũng được tăng lên. Bên cạnh đó, chi phí sản xuất cũng có ảnh hưởng mạnh mẽ đến giá trị kinh tế của nước tưới. Với hầu hết các loại cây trồng, phân bón là yếu tố đầu vào tốn kém nhất, do đó có thể giảm chi phí phân bón của nông dân thông qua việc giảm tỷ lệ sử dụng nitor bằng cách áp dụng các phương pháp quản lý phân bón tốt nhất (FBMP) và sử dụng phân bón nâng cao hiệu quả (EEF) [26]. Cuối cùng, lượng dùng nước tưới tiêu ảnh hưởng trực tiếp đến giá trị kinh tế của nước tưới. Nông dân và doanh nghiệp nên áp dụng các kỹ thuật quản lý tưới tiêu để tiết kiệm nước mà vẫn đảm bảo tăng giá trị kinh tế cho sản phẩm nông sản của mình [27, 28].

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu này ước tính giá trị kinh tế sử dụng của nước tưới cho lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn bằng cách sử dụng phương pháp số dư RIM với kết quả thu được giá trị trung bình toàn lưu vực là 4.344 đồng/m<sup>3</sup>, giá trị này của lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn cao hơn so với giá trị của lưu vực sông Vệ [19] (1.602 đồng/m<sup>3</sup>) và lưu vực sông Hương [18] (1.300-3.400 đồng/m<sup>3</sup>). Kết quả của nghiên cứu này có thể là một kênh tham khảo cho các cơ quan quản lý nhà nước khi cân nhắc điều tiết thị trường nông sản, đề xuất các chính sách khuyến nông, chuyển đổi cơ cấu cây trồng và hỗ trợ phổ biến kiến thức cũng như công nghệ trong kỹ thuật tưới tiêu cho nông dân và doanh nghiệp. Hơn nữa, việc xem xét giá trị kinh tế của nước tưới trong các phương án tính phí thủy lợi có thể giúp ích trong việc định giá hướng tới sử dụng nước tiết kiệm, hiệu quả và phân bổ hợp lý.

Mặc dù RIM là một phương pháp đã có nhiều ứng dụng trong các nghiên cứu trước đây, nhưng vẫn có một số hạn chế khi sử dụng phương pháp này trong việc ước tính giá trị kinh tế sử dụng nước cần phải thảo luận như sau:

Các giả định của phương pháp RIM không quá hạn chế, nhưng cần phải thận trọng để đảm bảo các điều kiện sản xuất được nghiên cứu là hợp lý. Các vấn đề chính có thể được chia thành hai loại: (1) những vấn đề liên quan đến đặc điểm của hàm sản xuất và (2) những vấn đề liên quan đến thị trường và môi trường chính sách (tức là giá đầu vào và đầu ra). Nếu các yếu tố đầu vào cho sản xuất bị bỏ sót hoặc định giá thấp (chức năng sản xuất không chính xác) hoặc nếu có những yếu tố đầu vào không được định giá hoặc không có giá cạnh tranh thì RIM sẽ cho ra những ước tính thiếu chính xác. Để khắc phục vấn đề đầu tiên, tất cả các yếu tố đầu vào có liên quan cần phải được đưa vào tính toán. Vấn đề thứ hai có thể được giải quyết bằng cách xác định giá mờ cho những đầu vào không được định giá chính xác. Do tính nhạy cảm với đặc điểm của hàm sản xuất và các giả định về thị trường và môi trường chính sách, phương pháp RIM chỉ phù hợp khi đầu vào phần dư đóng góp một phần lớn vào giá trị đầu ra.

Như đã đề cập ở trên, việc sử dụng phương pháp RIM giả định rằng tất cả các thị trường (vật liệu và thiết bị, lao động, vốn, đất đai) đều cạnh tranh hoàn hảo ngoại trừ thị trường nước. Nếu giả định này không đúng, một phần lợi nhuận ròng từ sản xuất (giá trị phần dư hay giá trị sản xuất) sẽ được phân bổ cho các yếu tố đầu vào khác thay vì nước và ước tính giá trị nước sẽ bị sai lệch. Nói cách khác, bất kỳ yếu tố đầu vào nào không được tính đến sẽ được coi là một phần giá trị kinh tế của nước. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, dữ liệu về chi phí sản xuất được sử dụng bao gồm tất cả các chi phí nguyên liệu đầu vào có thể có của quá trình trồng trọt, từ giai đoạn mua giống, chuẩn bị đất cho đến giai đoạn thu hoạch theo định mức kinh tế, kỹ thuật cây trồng trên địa bàn tỉnh Quảng Nam và thành phố Đà Nẵng. Theo định mức này, các hạng mục nguyên liệu trong quy trình trồng trọt là tương đối đầy đủ và phù hợp với các mô hình nông nghiệp cơ bản. Vì vậy, có thể nói rằng phương pháp RIM được sử dụng trong nghiên cứu này cho phép ước tính giá trị kinh tế của nước tưới một cách hợp lý.

Dù nghiên cứu đã cố gắng tận dụng nguồn số liệu thu thập và thống kê để ước tính giá trị kinh tế sử dụng nước tưới cho toàn lưu vực, tuy nhiên việc chỉ tính toán cho bốn loại cây trồng chính có thể sẽ chưa đủ đại diện cho cả ngành trồng trọt dẫn đến những sai số nhất định trong kết quả nghiên cứu. Ngoài ra, việc sử dụng nhiều bước trung bình hóa cũng là một hạn chế khó tránh khỏi khi sử dụng phương pháp định giá RIM. Để tăng độ tin cậy trong kết quả ước tính giá trị kinh tế sử dụng nước tưới, các nghiên cứu tiếp theo có thể áp dụng nhiều hơn một phương pháp định giá ngoài RIM như phương pháp dựa trên hàm sản xuất (*Production Function - PF*) hay phương pháp đánh giá ngẫu nhiên (*Contingent Valuation Method - CVM*).

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng và phương pháp nghiên cứu: Đ.T.N.B.; Xử lý số liệu: H.B.N.; Tính toán: N.T.L., H.B.N., N.H.B.; Phân tích kết quả và viết bản thảo bài báo: Đ.T.N.B.; Chỉnh sửa bài báo: Đ.T.N.B., N.T.A.

**Lời cảm ơn:** Bài báo hoàn thành nhờ sự trợ giúp từ đề tài KHCN cấp Bộ “Nghiên cứu xây dựng quy định kỹ thuật về định giá tài nguyên nước trên lưu vực sông theo hướng dẫn của

Liên Hợp Quốc (UN WWDR 2021)”, mã số TNMT.2022.02.14 do Viện Khoa học tài nguyên nước chủ trì thực hiện.

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

### Tài liệu tham khảo

1. Hòa, T.Đ. An ninh nguồn nước của Việt Nam trước những thách thức về sử dụng nước và tác động của biến đổi khí hậu, 2021, pp. 21–24.
2. World Bank. Việt Nam: Hướng tới một hệ thống nước có tính thích ứng, sạch và an toàn, 2019.
3. Cook, J.R.; Tu, D.T.; Gijn, J.V.; Mcgrath, T.E. The irrigation service fee waiver in Viet Nam. *ADB Briefs* **2013**, *12*, 1–8. Online Available: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/30242/irrigation-service-fee-waiver-viet-nam-rev.pdf>.
4. Dũng, N.T. Chính sách thủy lợi phí ở Việt Nam - Bàn luận và phân tích dưới góc độ kinh tế học. *Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2015**, *51*, 84–91.
5. World Bank. Transforming Vietnamese agriculture: Gaining more from less, Vietnam development report. 2016.
6. Rutten, M.; van Dijk, M.; van Rooij, W.; Hilderink, H. Land use dynamics, climate change, and food security in Vietnam: A global-to-local modeling approach. *World Dev.* **2014**, *59*, 29–46. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.01.020>.
7. Hellegers, P.; Davidson, B. Determining the disaggregated economic value of irrigation water in the Musi sub-basin in India. *Agric. Water Manag.* **2010**, *97*(6), 933–938. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.026>.
8. Al-Karablieh, E. et al. Estimation of the economic value of irrigation water in Jordan. *J. Agric. Sci. Technol.* **2012**, 487–497.
9. El-Gafy, I.; El-Ganzori, A. Decision support system for economic value of irrigation water. *Appl. Water Sci.* **2012**, *2*(2), 63–76. doi: 10.1007/s13201-012-0029-2.
10. Hosni, H.; El-gafy, I.K.; Ibrahim, A.H.; Abowarda, A.S. Maximizing the economic value of irrigation water and achieving self sufficiency of main crops. *Ain Shams Eng. J.* **2014**, *5*(4), 1005–1017. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2014.04.013>.
11. Ziolkowska, J.R. Shadow price of water for irrigation—A case of the High Plains. *Agric. Water Manag.* **2015**, *153*, 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.024>.
12. Ashayeri, M.S.; Khaledian, M.R.; Kalashami, M.K.; Rezaei, M. The economic value of irrigation water in paddy farms categorized according to mechanization levels in Guilan province, Iran. *Agric. Water Manag.* **2018**, *202*, 195–201. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.014>.
13. Takatsuka, Y. et al. Value of irrigation water usage in South Florida agriculture. *Sci. Total Environ.* **2018**, *626*, 486–496. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.240>.
14. Araya, A. et al. Economic value and water productivity of major irrigated crops in the Ogallala aquifer region. *Agric. Water Manag.* **2019**, *214*, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.11.015>.
15. Chu, L.; Grafton, R.Q. Water pricing and the value-add of irrigation water in Vietnam: Insights from a crop choice model fitted to a national household survey. *Agric. Water Manag.* **2020**, *228*, 105881, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105881>.
16. Khiêm, Đ.V.; Hoà, B.T.T.; Ngân, Đ.T. Tính toán cầu và giá trị kinh tế của nước tưới. *Tạp chí Thủy lợi và Môi trường* **2009**, *26*, 55–60.
17. Chính, L.V. Economic value of irrigation water the Red river basin: A case study in Cau Son irrigation system. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2021**, *77*, 45–54.

18. Cục Quản lý tài nguyên nước. Nghiên cứu cơ sở khoa học và thực tiễn định giá giá trị tài nguyên nước cho ngành nông nghiệp, sinh hoạt, thủy điện và một số ngành công nghiệp chính trên lưu vực sông Hương, 2010.
19. Hà, N.N.; Anh, N.H. Ước tính giá trị kinh tế sử dụng tài nguyên nước cho một số ngành trên lưu vực sông Vệ. *Tạp chí Tài nguyên và Môi trường* **2016**, 26–27.
20. Tuấn, H.N.; Phúc, P.N. Đánh giá toàn diện và đề xuất giải pháp chống chịu với hạn hán, xâm nhập mặn và khai thác nước thượng nguồn đến hạ lưu sông Vu Gia - Thu Bồn thuộc thành phố Đà Nẵng. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2018**, 51, 1–19.
21. Pearce, R.K.; Turner, D.W. Economics of natural resources and the environment. *Harvest. Wheatsheaf*. **1990**, pp. 329.
22. Lange, G.M.; Hassan, R. The economics of water management in Southern Africa: An environmental accounting approach. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing. 2006.
23. Young, R. Nonmarket economic valuation for irrigation waterpolicy decisions: Some methodological issues. *J. Contemp. Water Res. Educ.* **2005**, 131, 21–25.
24. Young, R.A. Determining the economic value of water: concepts and methods. *Choice Rev. Online* **2005**, 43(1), doi: 10.5860/choice.43-0446.
25. Lan, V.T.T.; Son, H.T.; Tùng, N.B.; Thủy, Đ.B.; Yên, N.T.H. Cân bằng nước lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn bằng mô hình MIKE HYDRO BASIN. *VN J. Hydrometeorol.* **2019**, 2019, 1–12. Doi:10.36335/VNJHM.2019(708).1-12.
26. Kanter, D.R.; Zhang, X.; Mauzerall, D.L. Reducing nitrogen pollution while decreasing farmers' costs and increasing fertilizer industry profits. *J. Environ. Qual.* **2015**, 44(2), 325–335. <https://doi.org/10.2134/jeq2014.04.0173>.
27. Xue, Q.; Marek, T.H.; Xu, W.; Bell, J. Irrigated Corn Production and Management in the Texas High Plains. *J. Contemp. Water Res. Educ.* **2017**, 162(1), 31–41. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2017.03258.x>.
28. He, G.; Wang, Z.; Cui, Z. Managing irrigation water for sustainable rice production in China. *J. Clean. Prod.* **2020**, 245, 118928. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118928>.

## **Estimation of the economic value of irrigation water in the Vu Gia - Thu Bon river basin**

**Do Thi Ngoc Bich<sup>1\*</sup>, Nguyen Tu Anh<sup>1</sup>, Nguyen Thanh Long<sup>1</sup>, Hoang Bich Ngoc<sup>1</sup>, Nguyen Hoang Bach<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> The Water Resources Institute; bichdam555@gmail.com; tuanhevp@gmail.com; longnt.works@gmail.com; ngocbhoang22@gmail.com; bachnh46@wru.vn

**Abstract:** The Vu Gia - Thu Bon basin is one of eight major inter-provincial river basins in Vietnam, which faces frequent drought and saltwater intrusion, affecting water supply for the agricultural sector. Heading to economical and efficient water use, estimating the economic value of irrigation water is necessary as a basis for pricing and regulating irrigation services. This article shows the research results on estimating the economic value of irrigation water for the Vu Gia - Thu Bon river basin using the RIM method for four main crops: rice, corn, rubber, and vegetables. The calculation results for 2020 show that the economic value of irrigation water use for the entire basin is 4.344 VND/m<sup>3</sup>. Because this value is greatly influenced by crop yield, production costs, and water usage, investing in optimizing these variables is the key to increasing the economic value of irrigation water.

**Keywords:** Economic value of irrigation water; Residual Income Method; RIM; Vu Gia - Thu Bon.

Bài báo khoa học

## Nghiên cứu đề xuất bộ tiêu chí về giám sát biến đổi khí hậu phục vụ sửa đổi, bổ sung và hoàn thiện chế định giám sát biến đổi khí hậu tại Việt Nam

Nguyễn Trần Linh<sup>1\*</sup>, Bùi Đức Sơn<sup>1</sup>, Vũ Ngọc Linh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Văn phòng Tổng cục; nguyentranlinh99@gmail.com; buisonv179@gmail.com

<sup>2</sup> Vụ Quản lý dự báo khí tượng thủy văn; vungoclinh.vnu@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: nguyentranlinh@gmail.com Tel.: +84-986289899

Ban Biên tập nhận bài: 7/10/2023; Ngày phản biện xong: 3/11/2023; Ngày đăng bài: 25/1/2024

**Tóm tắt:** Năm 2015, Luật Khí tượng thủy văn được ban hành, đánh dấu mốc đầu tiên các hoạt động khí tượng thủy văn tại Việt Nam được quản lý bằng pháp luật. Ngoài các chế định về hoạt động quan trắc, dự báo, cảnh báo, thông tin, dữ liệu, giám sát biến đổi khí hậu đã cũng đã được chế định tại Chương V của Luật. Ngay sau khi luật có hiệu lực, hệ thống các quy định về quan trắc, dự báo, cảnh báo và thông tin, dữ liệu khí tượng thủy văn ngày càng được hoàn thiện, góp phần nâng cao chất lượng phục vụ của ngành khí tượng thủy văn. Tuy nhiên, việc thực thi pháp luật đối với nội dung giám sát biến đổi khí hậu đang gặp nhiều khó khăn do các quy định chưa phù hợp với thực tiễn, có ít các văn bản dưới luật hướng dẫn chi tiết. Do đó, việc nghiên cứu sửa đổi, bổ sung chế định về giám sát biến đổi khí hậu là cần thiết và cấp bách. Bằng phương pháp tổng hợp, phân tích theo cách tiếp cận hệ thống, nhóm tác giả đã đề xuất bộ tiêu chí giám sát biến đổi khí hậu và tiến hành điều tra, khảo sát để lấy sự đồng thuận của các tổ chức, cá nhân. Tổng hợp kết quả điều tra, khảo sát cho thấy, các tiêu chí đều nhận được sự đồng thuận cao. Kết quả bộ tiêu chí là sản phẩm từ nghiên cứu, chọn lọc các điểm mới về giám sát biến đổi khí hậu, do đó đảm bảo tính mới, tính khoa học để hỗ trợ cho hoạt động bổ sung, sửa đổi và hoàn thiện chế định về giám sát biến đổi khí hậu.

**Từ khóa:** Giám sát biến đổi khí hậu; Chế định; Bộ tiêu chí.

### 1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, tiêu chí (*indicator*) được xem là một công cụ hiệu quả, được sử dụng rộng rãi phục vụ đánh giá, giám sát trong hoạt động quản trị cũng như xây dựng pháp lý [1]. Đối với các vấn đề về BĐKH, để giúp cho việc cung cấp thông tin và đánh giá các chính sách, một số quốc gia đã xây dựng bộ tiêu chí riêng về BĐKH nằm trong nhóm tiêu chí về phát triển bền vững của mình [2]. Phòng Thống kê của Liên hợp quốc đã xây dựng bộ tiêu chí “Global set” về thống kê BĐKH nhằm giúp các quốc gia xây dựng bộ tiêu chí thống kê về BĐKH cho riêng mình [3]. Qua hoạt động điều tra, khảo sát, tham vấn chuyên gia nghiên cứu [4] đã đề xuất 17 tiêu chí phục vụ đánh giá chính sách về BĐKH ở Australia, sử dụng 30 chuyên gia, nghiên cứu [5] đã đề xuất 03 tiêu chí chính và 12 tiêu chí phụ để đánh giá các chính sách giảm thiểu BĐKH trong lĩnh vực sản xuất điện tại Trinidad và Tobago. Sử dụng phương pháp Delphi để phỏng vấn 15 chuyên gia, nghiên cứu [6] đã đề xuất bộ tiêu chí gồm 42 chỉ số công bố liên quan đến BĐKH cho Indonesia.

Tại Việt Nam, tiêu chí cũng được sử dụng khá nhiều trong lĩnh vực BĐKH, Kế hoạch hành động quốc gia thích ứng với BĐKH giai đoạn 2021-2030, tầm nhìn đến 2050 cũng đã *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 757, 51-59; doi:10.36335/VNJHM.2024(757).51-59 <http://tapchikttv.vn/>

đặt ra nhiệm vụ xây dựng Bộ tiêu chí xác định các dự án, nhiệm vụ thích ứng BĐKH và đánh giá hiệu quả các hoạt động thích ứng với BĐKH [7]. Nghiên cứu [8] đề xuất 07 bộ tiêu chí và 43 tiêu chí thành phần về lồng ghép vấn đề BĐKH vào quá trình chuyển đổi cơ cấu kinh tế cho các địa phương. Sử dụng phương pháp Delphi, nghiên cứu [9] đưa ra 06 tiêu chí chung và 25 chỉ số áp dụng cho đánh giá hiệu quả các mô hình kinh tế cấp huyện thích ứng với BĐKH vùng Đồng bằng sông Cửu Long.

Có thể thấy, trên thế giới, việc xây dựng và sửa dụng các bộ tiêu chí trong các vấn đề về BĐKH là khá phổ biến phục vụ đánh giá chính sách và công bố kết quả về các nội dung liên quan BĐKH, chưa xây dựng các tiêu chí phục vụ xây dựng quy định pháp luật về giám sát BĐKH. Trong khi đó, giám sát BĐKH mang tính toàn cầu, các quy trình, quy định kỹ thuật về quan trắc, đo đạc, cơ chế, chính sách chia sẻ thông tin, dữ liệu thường tuân thủ theo hướng dẫn của các Tổ chức quốc tế, hoặc theo các điều ước, thỏa thuận, cam kết. Do đó, việc xây dựng chính sách, pháp luật về giám sát BĐKH phải đảm bảo phù hợp với điều kiện thực tiễn trong nước, đồng thời phải cập nhật các hướng dẫn mới của các tổ chức quốc tế mà Việt Nam là thành viên. Chính vì vậy, cần xây dựng bộ tiêu chí cho việc xây dựng các văn bản pháp luật về giám sát BĐKH.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Để xây dựng được bộ tiêu chí phù hợp, nhóm nghiên cứu xác định các đối tượng gồm: các tài liệu hướng dẫn, quy định kỹ thuật về hoạt động giám sát BĐKH của các tổ chức quốc tế, các công trình nghiên cứu về xác định bộ tiêu chí, chỉ tiêu nhằm tạo cơ sở khoa học cho bộ tiêu chí giám sát BĐKH, các văn bản quy phạm pháp luật có liên quan đến giám sát BĐKH, công tác thực thi pháp luật về giám sát BĐKH ở địa phương. Về phạm vi nghiên cứu, nhóm tác giả tập trung vào đề xuất các bộ tiêu chí phục vụ sửa đổi bổ sung các chế định về nội dung giám sát BĐKH, cơ sở dữ liệu về giám sát BĐKH, đánh giá khí hậu quốc gia, kịch bản biến đổi khí hậu, lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch.

### 2.2. Cơ sở thực tiễn xây dựng bộ tiêu chí về giám sát BĐKH

Chế định hay định chế pháp luật là tổng thể các quy phạm pháp luật điều chỉnh quan hệ xã hội gần gũi, có cùng tính chất trong phạm vi mỗi ngành luật vốn bao gồm nhiều chế định [10]. Về biến đổi khí hậu (BĐKH), ngành luật tài nguyên và môi trường có các chế định lồng ghép ứng phó BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch trong Luật Bảo vệ môi trường, chế định về giám sát BĐKH được đặt ra tại Chương V của Luật Khí tượng thủy văn năm 2015 [11]. Mặc dù Luật Khí tượng thủy văn đã được triển khai hơn 05 năm kể từ khi có có hiệu lực thi hành (01/7/2016), việc thực hiện các chế định về giám sát BĐKH và lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch còn rất hạn chế. Cụ thể, hiện nay, Việt Nam chưa có một mạng lưới trạm giám sát BĐKH đúng nghĩa theo tiêu chí lựa chọn của Tổ chức Khí tượng thế giới (WMO), cơ sở dữ liệu về giám sát BĐKH cũng chưa được hình thành và việc tuân thủ chế định về lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch vẫn chưa được thực hiện một cách rõ nét, hiệu quả, thay vào đó, các chiến lược, quy hoạch, kế hoạch chủ yếu chỉ đề cập đến một hoặc một số khía cạnh riêng lẻ của vấn đề ứng phó với BĐKH trong nội dung [12]. Nguyên nhân xuất phát từ một số bất cập, dẫn tới lúng túng trong quá trình thực hiện, ví dụ như, việc khai thác sử dụng thông tin, dữ liệu giám sát BĐKH phục vụ lồng ghép bao gồm những loại nào, trình tự khai thác ra sao hay chưa có quy trình hướng dẫn lồng ghép,...

Từ 2015 đến nay, quy định, hướng dẫn kỹ thuật các tổ chức quốc tế đã có nhiều bản cập nhật, một số báo cáo mới về BĐKH đã được công bố, cũng như các mối quan hệ với các chế định pháp luật khác có liên quan ở trong nước đã có sự thay đổi. Do đó, bộ tiêu chí về giám

sát BDKH được nghiên cứu sẽ là bức tranh tổng quát, đủ cơ sở khoa học và mang tính cập nhật thông tin mới nhất làm cơ sở cho việc sửa đổi, bổ sung chế định về giám sát BDKH.

### 2.3. Phương pháp tổng hợp và cách tiếp cận hệ thống

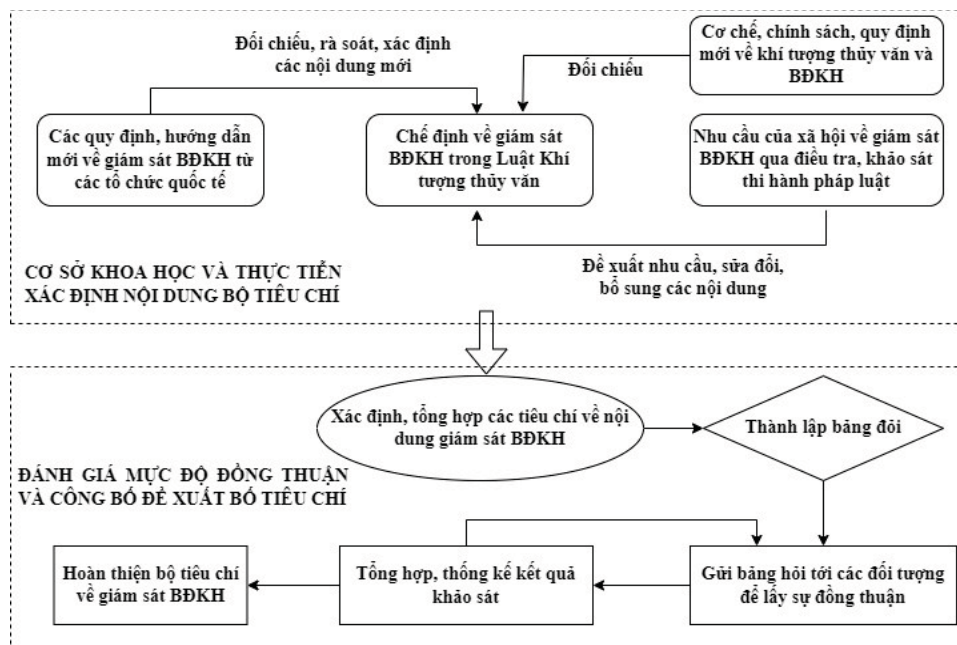
Để xác định các tiêu chí đảm bảo tính đầy đủ và phù hợp, nhóm nghiên cứu đã xem xét chế định về giám sát BDKH trong một mối quan hệ có hệ thống, trong đó chế định về giám sát BDKH được đặt ra phải đảm bảo dung hòa 04 yếu tố gồm: tính hợp hiến, hợp pháp; phù hợp với quy trình, quy định hướng dẫn của các tổ chức quốc tế; phù hợp với điều kiện của mỗi quốc gia và đáp ứng các nhu cầu của xã hội và công tác quản lý nhà nước (hình 1). Từ 04 yếu tố cấu thành nêu trên, nhóm tác giả đã tổng hợp, phân tích các tài liệu, công trình nghiên cứu, các văn bản quy phạm pháp luật, chiến lược, kế hoạch có liên quan trong giai đoạn từ khi Luật Khí tượng thủy văn năm 2015 có hiệu lực đến nay để đảm bảo tính mới. Từ kết quả tổng hợp, phân tích, nhóm tác giả sẽ xây dựng các bộ tiêu chí và thiết kế bảng hỏi để tiến hành phỏng vấn sự đồng thuận đối với các tiêu chí đặt ra.



**Hình 1.** Cách tiếp cận hệ thống trong xây dựng chế định về giám sát BDKH.

### 2.4. Phương pháp điều tra khảo sát

Tên cơ sở tổng hợp kết quả phân tích các tài liệu, nhóm tác giả đã thành lập Bộ tiêu chí cho nội dung giám sát BDKH, xây dựng bảng hỏi phỏng vấn để đánh giá mức độ phù hợp qua sự đồng thuận của các đối tượng khảo sát, 02 đối tượng được khảo sát gồm: 45 phiếu dành cho đối tượng là Đài Khí tượng Thủy văn khu vực/tỉnh (đối tượng thực thi pháp luật về mạng lưới trạm giám sát BDKH và cơ sở dữ liệu giám sát BDKH), 20 phiếu cho các sở, ngành tại địa phương (đối tượng quản lý nhà nước và thực thi lồng ghép kết quả giám sát BDKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch).



**Hình 2.** Quy trình xây dựng bộ tiêu chí về giám sát BDKH.

Nội dung khảo sát mức độ đồng thuận đối với các tiêu chí đề xuất gồm: (1) Hoàn toàn không đồng thuận, (2) không đồng thuận, (3) ít đồng thuận, (4) đồng thuận, (5) rất đồng thuận. Tổng số phiếu gửi lấy ý kiến là 65 phiếu, số phiếu thu về bằng với số phiếu gửi đi.

### 2.5. Quy tắc KAMET

Từ kết quả điều tra, khảo sát, nhóm nghiên cứu sử dụng quy tắc KAMET (*Knowledge Acquisition for Multiple Experts with Time scales*) để xác định sự đồng thuận với mỗi tiêu chí (qi) ở từng giai đoạn khác nhau trên cơ sở đánh giá tổ hợp các giá trị thống kê bao gồm Trung vị (Mdqi); Độ lệch tứ phân vị (Qqi); Giá trị trung bình (Mqi) và Phương sai (Vqi) [13]. Kết quả phân tích theo quy tắc này dựa trên các tiêu chí được thể hiện trên bảng 1.

**Bảng 1.** Quy tắc KAMET phân tích, đánh giá từ phỏng vấn.

Điều kiện	Vòng phỏng vấn thứ t	Vòng phỏng vấn t+1
1	Nếu $M_{qi} \geq 3,5$ và $Q_{qi} \leq 0,5$ và $V_{qi} < 15\%$ thì qi được chấp nhận và không cần phải tham vấn về qi nữa	
2	Nếu $M_{qi} \geq 3,5$ và $V_{qi} > 15\%$ thì thực hiện vòng 2	$M_{qi} \geq 3,5$ và $Q_{qi} \leq 0,5$ và $V_{qi} < 15\%$ thì qi được chấp nhận và không cần phải tham vấn về qi nữa
3	Nếu $M_{qi} \geq 3,5$ và $Q_{qi} \geq 75\%$ thì thực hiện vòng 2	$M_{qi} \geq 3,5$ và $Q_{qi} \leq 0,5$ và $V_{qi} < 15\%$ thì qi được chấp nhận và không cần phải tham vấn về qi nữa
4	Nếu $M_{qi} < 3,5$ và $Q_{qi} \leq 0,5$ và $V_{qi} \leq 15\%$ thì qi bị loại và không cần phải tham vấn về qi thêm nữa	

### 3. Kết quả

Theo WMO [14] mỗi quốc gia nên thành lập mạng lưới trạm giám sát BĐKH trên cơ sở lựa chọn các trạm quan trắc khí tượng thủy văn có đủ các tiêu chuẩn như ít bị bởi môi trường xung quanh, trạm có hồ sơ, dữ liệu dài trên 30 năm và không bị di chuyển trong tương lai. Ngoài ra, WMO cũng khuyến cáo khuyến khích phát triển mạng lưới giám sát BĐKH chuyên dùng và chia sẻ thông tin, dữ liệu với mạng lưới giám sát khí hậu toàn cầu (*QCOS - Global Climate Observing System*). Theo Trung tâm công nghệ và mạng lưới khí hậu Liên hợp quốc (UN-CTCN), rào cản lớn nhất của mạng lưới giám sát BĐKH đó là cơ chế chính sách về tài chính, nhân lực để duy trì [15]. Do đó, tiêu chí đặt ra đối với chế định về mạng lưới giám sát BĐKH sẽ là xây dựng, quản lý và vận hành mạng lưới trạm giám sát BĐKH, khuyến khích phát triển mạng lưới chuyên dùng và cơ chế, chính sách, nguồn lực cho duy trì hoạt động (Nhóm tiêu chí IA bảng 2).

Về tiêu chí nội dung giám sát BĐKH, theo Nhóm chuyên gia về sản phẩm giám sát khí hậu quốc gia nhận xét [16], hiện có rất nhiều các sản phẩm về giám sát BĐKH có nhiều điểm không thống nhất giữa các quốc gia trên thế giới, để đảm bảo tính thống nhất, nhóm đã đề xuất 06 nội dung cho sản phẩm giám sát BĐKH liên quan tới các diễn biến bất thường của nhiệt độ, lượng mưa (sản phẩm từ mạng lưới giám sát BĐKH) và thông tin về trạm có giá trị vượt ngưỡng bất thường, các sản phẩm sẽ được tổng hợp thành báo cáo và công bố. Xem xét các nội dung về giám sát BĐKH ở nước ta, có thể đặt các tiêu chí gồm: các hoạt động thu thập thông tin từ mạng lưới giám sát BĐKH, các thông tin về đánh giá biểu hiện, tác động của BĐKH, hoạt động đánh giá khí hậu quốc gia và xây dựng kịch bản BĐKH và trao đổi, hợp tác quốc tế về giám sát BĐKH (nhóm tiêu chí II A bảng 2).

Đối với nhóm tiêu chí về cơ sở dữ liệu về giám sát BĐKH, theo WMO [17], bao gồm các dữ liệu quan trắc từ mạng lưới giám sát BĐKH và các dữ liệu về cơ chế, chính sách, được quản lý và khai thác bằng công nghệ thông tin. Điều 31 Luật Khí tượng thủy văn năm 2015 quy định cơ sở dữ liệu khí tượng thủy văn quốc gia (chứa thành phần cơ sở dữ liệu giám sát



BĐKH) được số hóa, quản lý, khai thác trên môi trường mạng), các cơ quan nhà nước đã được quy định phải cung cấp dữ liệu mở [18]. Do đó, các tiêu chí về nội dung cơ sở dữ liệu bao gồm: thông tin sản phẩm từ hoạt động giám sát BĐKH và dữ liệu về cơ chế, chính sách, văn bản pháp luật về BĐKH (Nhóm tiêu chí IB bảng 1). Đối với quản lý, khai thác, vận hành cơ sở dữ liệu về giám sát BĐKH đã đề xuất chi tiết tại nhóm tiêu chí IIB, IIIB bảng 2.

Đối với nhóm tiêu chí đánh giá khí hậu quốc gia, xây dựng bộ chuẩn khí hậu quốc gia và kịch bản BĐKH được đề xuất chi tiết tại Nhóm IV, V, VIB bảng 1, trong đó có một số điểm mới như tiêu chí công bố kết quả giám sát BĐKH hằng năm, nội dung này xuất phát từ cơ sở thực tiễn tại một số quốc gia trên thế giới như Nhật, Scotland, Trung Quốc hằng năm đều công bố kết quả giám sát khí hậu để phục vụ các hoạt động kinh tế xã hội [19–21]. WMO đã có khuyến cáo về xây dựng bộ chuẩn khí hậu quốc gia mới thời kỳ chuẩn 1991-2020, Tổ chức này đã thống kê đến thời điểm 31/12/2022, tại châu Á 61% các quốc gia đã công bố bộ chuẩn khí hậu mới, trong đó có các quốc gia khu vực Đông Nam Á là Thái Lan, Myanmar [22].

Về nhóm tiêu chí lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch, hiện nay chế định trong Luật Khí tượng thủy văn năm 2015 chỉ quy định đối với chiến lược, quy hoạch, kế hoạch thuộc danh mục đánh giá môi trường chiến lược mới phải thực hiện lồng ghép. Tuy nhiên, theo quy định của chế định về bảo vệ môi trường hiện chỉ có chiến lược và quy hoạch mới thuộc danh mục đánh giá môi trường chiến lược [23]. Hiện không có quy định kế hoạch phải đánh giá môi trường chiến lược. Vì vậy, nhóm nghiên cứu đã đề xuất tiêu chí các chiến lược, quy hoạch, kế hoạch chịu tác động bởi BĐKH sẽ phải thực hiện lồng ghép kết quả giám sát BĐKH, trên cơ sở quy trình hướng dẫn và được thẩm định. Chi tiết tiêu chí tại Nhóm C bảng 2.

**Bảng 2.** Bộ tiêu chí về giám sát BĐKH phục vụ sửa đổi, bổ sung chế định pháp luật về giám sát BĐKH sau khi tổng hợp kết quả điều tra, khảo sát sự đồng thuận.

TT	Tiêu chí	Trung bình	Độ lệch tứ phân vị	Phương sai	Đánh giá
<b>A</b>	<b>Nội dung giám sát BĐKH</b>				
I	Nhóm tiêu chí về mạng lưới giám sát BĐKH				
1	Xây dựng, quản lý và vận hành mạng lưới trạm giám sát BĐKH quốc gia	3,66	0,25	0	Chấp nhận
2	Khuyến khích phát triển mạng lưới trạm giám sát tác động của BĐKH chuyên dùng	4,00	0,40	0	Chấp nhận
3	Cơ chế, chính sách, nguồn lực cho hoạt động mạng lưới trạm giám sát BĐKH	3,66	0,35	0	Chấp nhận
II	Nhóm tiêu chí về nội dung giám sát BĐKH				
1	Thu thập thông tin dữ liệu từ mạng lưới trạm giám sát BĐKH thuộc mạng lưới trạm khí tượng thủy văn quốc gia và mạng lưới trạm giám sát BĐKH chuyên dùng	4,33	0,40	2	Chấp nhận
2	Thông tin về đánh giá biểu hiện và tác động của BĐKH theo dữ liệu quan trắc mới nhất	3,66	0,25	0	Chấp nhận
3	Đánh giá khí hậu quốc gia	4,00	0,20	0	Chấp nhận
4	Xây dựng và công bố bộ chuẩn khí hậu mới theo quốc tế	4,00	0,25	0	Chấp nhận
5	Xây dựng, cập nhật và công bố kịch bản BĐKH theo các kịch bản phát thải mới nhất	4,00	0,45	0	Chấp nhận
6	Trao đổi, hợp tác về giám sát BĐKH với các tổ chức quốc tế, khu vực và thế giới	3,66	0,35	1	Chấp nhận
<b>B</b>	<b>Cơ sở dữ liệu về giám sát BĐKH</b>				
I	Nhóm tiêu chí về nội dung cơ sở dữ liệu giám sát BĐKH				
1	Dữ liệu quan trắc từ mạng lưới giám sát BĐKH thuộc mạng lưới trạm quan trắc khí tượng thủy văn quốc gia, mạng lưới giám sát BĐKH chuyên dùng	4,80	0,25	0	Chấp nhận

TT	Tiêu chí	Trung bình	Độ lệch tứ phân vị	Phương sai	Đánh giá
2	Thông tin, dữ liệu về biểu hiện của BĐKH được cập nhật theo dữ liệu mới	4,33	0,20	0	Chấp nhận
3	Thông tin, dữ liệu về đánh giá tác động của BĐKH	3,66	0,25	2	Chấp nhận
4	Thông tin, dữ liệu về khí nhà kính	3,66	0,40	0	Chấp nhận
5	Thông tin, dữ liệu về Ô zôn	4,00	0,30	1	Chấp nhận
6	Bộ chuẩn khí hậu quốc gia	3,66		1	Chấp nhận
7	Kết quả đánh giá khí hậu quốc gia hàng năm	3,77	0,45	0	Chấp nhận
8	Kịch bản biến đổi khí hậu từng thời kỳ	4,33	0,25	0	Chấp nhận
9	Kết quả nghiên cứu khoa học, chương trình, dự án về giám sát biến đổi khí hậu	4,66	0,40	0	Chấp nhận
10	Kết quả trao đổi quốc tế về giám sát BĐKH	4,00	0,25	1	Chấp nhận
11	Hồ sơ kỹ thuật trạm giám sát BĐKH	4,33	0,45	2	Chấp nhận
12	Văn bản quy phạm pháp luật, quy trình kỹ thuật, tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật về giám sát BĐKH	4,33	0,35	0	Chấp nhận
II	Nhóm tiêu chí về Cơ quan quản lý cơ sở dữ liệu giám sát BĐKH				
1	Cơ quan quản lý cơ sở dữ liệu khí tượng thủy văn quốc gia là cơ quan quản lý cơ sở dữ liệu về giám sát BĐKH	4,66	0,25	0	Chấp nhận
2	Chủ công trình trạm giám sát tác động của BĐKH	4,33	0,30	0	Chấp nhận
3	Cơ chế trao đổi, chia sẻ giữa các bên	4,33	0,20	0	Chấp nhận
III	Nhóm tiêu chí về xây dựng, quản lý, khai thác cơ sở dữ liệu giám sát BĐKH				
1	Xây dựng đồng bộ theo tiêu chuẩn, quy chuẩn về cấu trúc, định dạng	4,00	0,45	2	Chấp nhận
2	Quản lý, lưu trữ tập chung	3,66	0,35	3	Chấp nhận
3	Công bố rộng rãi và khai thác trên môi trường mạng	4,00	0,25	0	Chấp nhận
IV	Nhóm tiêu chí về đánh giá khí hậu quốc gia				
1	Đánh giá khí hậu quốc gia				
1.1	Kỳ đánh giá khí hậu quốc gia là 10 năm và có thể được điều chỉnh, bổ sung khi cần thiết	4,00	0,20	0	Chấp nhận
1.2	Hiện trạng khí hậu Việt Nam đến năm cuối của kỳ đánh giá	3,66	0,25	0	Chấp nhận
1.3	Dao động khí hậu và biến đổi của khí hậu Việt Nam so với lịch sử, kỳ đánh giá trước đó và so với bộ chuẩn khí hậu quốc gia và quốc tế	4,00	0,45	0	Chấp nhận
1.4	Tác động của khí hậu và biến đổi khí hậu đến tài nguyên, môi trường, hệ sinh thái, điều kiện sống và các hoạt động kinh tế - xã hội	4,00	0,35	0	Chấp nhận
1.5	Kết quả của hoạt động ứng phó với biến đổi khí hậu	3,00	0,35	0	Chấp nhận
1.6	Mức độ phù hợp của kịch bản biến đổi khí hậu, việc sử dụng kịch bản biến đổi khí hậu trong hoạt động ứng phó với biến đổi khí hậu	4,00	0,40	0	Chấp nhận
2	Báo cáo kết quả giám sát BĐKH				
2.1	Công bố hàng năm	4,80	0,20	0	Chấp nhận
2.2	Hiện trạng khí hậu của năm trước báo cáo: các thông số khí tượng thủy văn quan trắc được	4,66	0,25	0	Chấp nhận
2.3	Biến đổi khí hậu của năm trước báo cáo: biến đổi của các thông số khí tượng thủy văn năm trước báo cáo so với chuẩn khí hậu	3,66	0,45	1	Chấp nhận
2.4	Hiện trạng khí nhà kính, sol khí, Ô Zôn và bức xạ	4,00	0,35	3	Chấp nhận
2.5	El Nino và La Nina	3,66	0,25	0	Chấp nhận
2.6	Mực nước biển	3,66	0,30	1	Chấp nhận
V	Nhóm tiêu chí về Bộ chuẩn khí hậu quốc gia				
1	Xây dựng bộ chuẩn khí hậu mới cho giai đoạn 1991-2020	3,66	0,20	1	Chấp nhận
2	Công bố rộng rãi bộ chuẩn khí hậu quốc gia	4,00	0,20	0	Chấp nhận

TT	Tiêu chí	Trung bình	Độ lệch tứ phân vị	Phương sai	Đánh giá
VI	<b>Nhóm tiêu chí về xây dựng kịch bản BĐKH</b>				
1	Kỳ công bố kịch bản 05 năm, có thể cập nhật nếu có sự thay đổi	4,37	0,25	0	Chấp nhận
2	Công bố mới nhất của Ban liên Chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC)	4,00	0,45	0	Chấp nhận
3	Nhận định của Việt Nam về biểu hiện của biến đổi khí hậu trong khu vực, trên thế giới và mức độ ảnh hưởng tới Việt Nam	4,00	0,35	0	Chấp nhận
4	Biểu hiện của biến đổi khí hậu tại Việt Nam	3,99	0,34	0	Chấp nhận
5	Kết quả đánh giá các kịch bản biến đổi khí hậu kỳ trước	3,66	0,40	1	Chấp nhận
6	Quy trình lựa chọn kịch bản biến đổi khí hậu và phương pháp xây dựng kịch bản mới theo IPCC	4,00	0,25	1	Chấp nhận
7	Thay đổi về nhiệt độ, mưa, độ ẩm, nước biển dâng và các yếu tố khí tượng thủy văn khác tại Việt Nam trong tương lai theo kịch bản phát thải lựa chọn	4,33	0,20	2	Chấp nhận
8	Hướng dẫn sử dụng kịch bản	3,66	0,25	0	Chấp nhận
C	<b>Nhóm tiêu chí về lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch</b>				
1	Đối tượng xây được chiến lược, quy hoạch, kế hoạch chịu tác động của BĐKH phải thực hiện lồng ghép kết quả giám sát BĐKH	4,00	0,35	0	Chấp nhận
2	Xây dựng quy trình hướng dẫn lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch	4,66	0,20	0	Chấp nhận
3	Trách nhiệm thẩm định lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch	4,00	0,40	0	Chấp nhận

#### 4. Kết luận

Trên cơ sở cách tiếp cận hệ thống về chế định giám sát BĐKH, tổng hợp các thông tin mới từ các công trình nghiên cứu, cơ sở thực tiễn về hoạt động giám sát BĐKH và triển khai điều tra, khảo sát thu thập thông tin về sự đồng thuận đối với đề xuất bộ tiêu chí về giám sát BĐKH, kết quả nhóm nghiên cứu đã xây dựng, tổng hợp 52 tiêu chí cho 03 nhóm chế định về giám sát BĐKH. Gồm: Nhóm tiêu chí về nội dung giám sát BĐKH (9 tiêu chí), nhóm tiêu chí về cơ sở dữ liệu giám sát BĐKH (40 tiêu chí) và nhóm tiêu chí về lồng ghép kết quả giám sát BĐKH (03 tiêu chí). Bộ tiêu chí đặt ra các nội dung cần phải thực hiện, trên cơ sở các thông tin mới nhất kể từ khi Luật Khí tượng thủy văn năm 2015 có hiệu lực và đã nhận được sự đồng thuận cao trong quá trình điều tra, khảo sát. Bộ tiêu chí sẽ là công cụ hỗ trợ cho hoạt động sửa đổi, bổ sung, hoàn thiện chế định pháp luật về giám sát BĐKH.

Bộ tiêu chí do nhóm tác giả biên soạn lần đầu, theo hướng tiếp cận trên - xuống, chắc chắn sẽ có thiếu sót về nội dung, cần phải có những đợt thu thập thông tin theo hướng tiếp cận dưới - lên (hướng đề xuất nhu cầu từ bộ, ngành, địa phương). Tuy nhiên, bộ tiêu chí này cũng sẽ đáp ứng được phần lớn các thông tin hỗ trợ cho công tác hoàn thiện chế định về giám sát BĐKH tại Việt Nam.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.L., VNL.; Xử lý số liệu: V.N.L., B.D.S.; Viết bản thảo bài báo: V.N.L.; Chính sửa bài báo: N.T.L.

**Lời cảm ơn:** Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của Đề tài nghiên cứu khoa học, công nghệ cấp Bộ: “Nghiên cứu cơ sở lý luận và thực tiễn đề xuất hoàn thiện chế định giám sát BĐKH phục vụ sửa đổi, bổ sung Luật Khí tượng thủy văn năm 2015”, Mã số TNMT.01.29.

**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. Parsons, J.; Thornton, M.; Bang, H.E.; Estep, B.; Williams, K.; Weiner, N. Developing indicators to measure the rule of law: A global approach. A Report to the World Justice Project, 2008.
2. Greaker, M.; Stoknes, P.E.; Alfsen, K.H.; Ericson, T. A Kantian approach to sustainable development indicators for climate change. *Ecol. Econ.* **2013**, *91*(7), 10–18
3. UNSD. Global set of climate change statistics and indicators. Implementation Guideline, 2023.
4. Guglyuvatyy, E. Identifying Criteria for climate change policy evaluation in Australia. *MqJBL* **2010**, *7*, 98–130.
5. Blechinger, P.F.H; Shah, K.U. A multi-criteria evaluation of policy instruments for climate change mitigation in the power generation sector of Trinidad and Tobago. *Energy Policy* **2011**, *39*(10), 6331–6343.
6. Saptono, P.B.; Mahmud, G.; Pratiwi, I.; Purwanto, D. et al. Development of climate-related disclosure indicators for application in Indonesia: A Delphi method study. *Sustainability* **2023**, *15*(14), 10915.
7. Quyết định số 1055/QĐ-TTg ngày 20/7/2020 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Kế hoạch quốc gia thích ứng với biến đổi khí hậu giai đoạn 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050.
8. Liên, M.K.; Đại, H.V.; Dũng, L.D.; Huyền, N.D. Nghiên cứu đề xuất bộ tiêu chí lồng ghép vấn đề biến đổi khí hậu vào chính sách chuyển đổi kinh tế, đảm bảo phát triển bền vững khu vực Nam Trung Bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *694*, 35–45.
9. Điệp, Đ.N.; Thắng, N.V.; Cầu, L.N.; Quy, L.V.; Quỳnh, P.T.; Sỹ, P.V. Nghiên cứu cơ sở khoa học xây dựng bộ tiêu chí đánh giá hiệu quả các mô hình kinh tế cấp huyện thích ứng với biến đổi khí hậu vùng Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí khí tượng thủy văn* **2020**, *718*, 57–71.
10. Toàn, L.M. Giáo trình pháp luật đại cương. Nhà xuất bản Chính trị quốc gia sự thật.
11. Luật Khí tượng thủy văn năm 2015.
12. Cục Biến đổi khí hậu. Báo cáo Hội thảo tham vấn quy trình tích hợp, lồng ghép nội dung biến đổi khí hậu vào các chiến lược quy hoạch quốc gia, vùng và tỉnh (06/11/2020).
13. Chu, H.C.; Hwang, G.J. A Delphi - based approach to developing expert systems with the cooperation of multiple experts. *Expert Syst. Appl.* **2008**, *34*, 2826–2840.
14. WMO. Technical regulations, Volume I – General meteorological standard recommended practices, updated in 2017. No-49.
15. CTCN. Integrated Climate Change Monitoring and Early Warning System.
16. Kennedy, J.; Vincent, L.; Blunden, J.; Braganza, K.; Chang, L.; Ramos, K.K.A. CCI OPACE 2 Expert Team on National Climate Monitoring Products 2015-2018.
17. WMO. Climate data management system. 2014, No. 1131.
18. Nghị định số 47/2020/NĐ-CP ngày 09/4/2020 của Chính phủ về quản lý, kết nối và chia sẻ dữ liệu số của cơ quan nhà nước.
19. JMA. Climate monitoring report. 2020, 2012, 2022, 2023.
20. Scottish Government. Climate change monitoring report 2023.
21. Li, W.; Zhao, S.; Chen, Y.; Wang, L.; Hou, W.; Jiang, Y.; Zou, X.; Shi, S. State of China's climate in 2021.
22. WMO. Submissions of 199102929 climatological standard normal (CLINO). 2022.
23. Luật Bảo vệ môi trường năm 2020.

## **Studying and proposing a set of indicators for climate change monitoring to serve the amendment, supplementation and completion of climate change monitoring regulations in Vietnam**

**Nguyen Tran Linh<sup>1\*</sup>, Bui Duc Son<sup>1</sup>, Vu Ngoc Linh<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Administration Office; nguyentranlinh99@gmail.com; buisonv179@gmail.com

<sup>2</sup> Department of hydro-meteorological forecasting management;  
vungoclinh.vnu@gmail.com

**Abstract:** In 2015, the Law on Hydrometeorology was promulgated, marking the first milestone that hydrometeorological activities in Vietnam were managed by law. In addition to regulations on climate change monitoring, forecasting, warning, information, data and monitoring activities, they have also been regulated in Chapter V of the Law. Immediately after the law took effect, the system of regulations on monitoring, forecasting, warning and hydro-meteorological information and data was increasingly improved, contributing to improving the quality of service of the meteorological industry. hydrological. However, law enforcement regarding climate change monitoring is facing many difficulties because the regulations are not consistent with reality, and there are few sub-law documents providing detailed guidance. Therefore, research to amend and supplement regulations on climate change monitoring is necessary and urgent. By synthesizing and analyzing a systematic approach, the authors have proposed a set of criteria for monitoring climate change and conducted investigations and surveys to get consensus from organizations and individuals. . Summary of investigation and survey results shows that the criteria all receive high consensus. The resulting set of criteria is a product of research and selection of new points on climate change monitoring, thus ensuring novelty and scientificity to support activities of supplementing, modifying and perfecting the mechanism. regulations on climate change monitoring.

**Keywords:** Climate change monitoring; Regulations; Set of indicator.

*Bài báo khoa học*

# **Nghiên cứu khả năng của mô hình học máy GB và SVR trong thành lập bản đồ nguy cơ lún đất khu vực bán đảo Cà Mau, Việt Nam**

**Trần Văn Anh<sup>1,4</sup>, Hà Trung Khiên<sup>2\*</sup>, Khúc Thành Đông<sup>2</sup>, Lê Thanh Nghị<sup>1</sup>, Trần Hồng Hạnh<sup>1</sup>, Doãn Hà Phong<sup>3</sup>**

1 Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mở - Địa chất Hà Nội; tranvananh@humg.edu.vn; lethanhngghi@humg.edu.vn; tranhonghanh@humg.edu.vn

2 Khoa Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội; khienht@huce.edu.vn; dongkt@huce.edu.vn

3 Viện Khoa học Khí tượng thủy văn và Biến đổi khí hậu; dhphong@monre.gov.vn

4 Nhóm nghiên cứu Công nghệ Địa tin học trong Khoa học Trái đất (GES), Trường Đại học Mở - Địa chất; tranvananh@humg.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: khienht@huce.edu.vn; Tel.: +84-981108991

Ban Biên tập nhận bài: 8/10/2023; Ngày phản biện xong: 3/11/2023; Ngày đăng bài: 25/1/2024

**Tóm tắt:** Nghiên cứu này tập trung vào khảo sát khả năng của hai mô hình học máy là Gradient Boosting (GB) và Suport Vector Regression (SVR) trong thành lập bản đồ nguy cơ lún đất cho khu vực bán đảo Cà Mau. Tám lớp dữ liệu là: Độ cao, địa chất, đất, lớp phủ bề mặt, NDVI, độ sâu mực nước ngầm, khoảng cách đến giao thông, khoảng cách đến sông suối được coi là các yếu tố ảnh hưởng nhiều đến lún đất ở khu vực này. Hai mô hình được huấn luyện trên một tập dữ liệu bao gồm 40 điểm mẫu được cung cấp bởi cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam và các điểm đo lún còn lại được xử lý bằng phương pháp PSInSAR trên tập ảnh Sentinel-1 từ tháng 11 năm 2014 đến tháng 1 năm 2019. Tổng số điểm mẫu đưa vào mô hình là 1001 điểm được chia thành hai tập dữ liệu là huấn luyện (70%) và kiểm tra (30%). Công cụ để xây dựng mô hình là nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine. Hai bản đồ nguy cơ lún đất đã được xây dựng từ tập huấn luyện. Diện tích dưới đường cong AUC đã được sử dụng để đánh giá hiệu suất của mô hình trên cả tập huấn luyện và tập kiểm tra. Kết quả nghiên cứu này chỉ ra rằng mô hình GB tạo ra bản đồ nguy cơ lún đất có độ chính xác tốt hơn mô hình SVR.

**Từ khóa:** Lún đất; GB; SVR; GEE; Cà Mau.

## **1. Giới thiệu**

Lún đất là một hiện tượng phổ biến ở nhiều khu vực trên thế giới mà thường là hệ quả của một trong những nguyên nhân như khai thác nước ngầm, khai thác khoáng sản, dầu khí v.v. Vì lún đất có thể gây ra các tác động về địa chất, địa chất thủy văn, môi trường hoặc kinh tế nên lún đất thu hút nhiều sự quan tâm của chính phủ, cộng đồng, và các nhà khoa học. Mặc dù không thể tránh hoàn toàn trong các ngành công nghiệp khai thác, nhưng lún đất có thể được kiểm soát bền vững hơn thông qua luật pháp của chính phủ, giám sát kế hoạch khai thác công nghiệp và quy hoạch một cách hợp lý khi có những bản đồ cảnh báo khả năng lún là điều cần thiết [1]. Vì vậy, vai trò của các bản đồ nguy cơ lún là vô cùng quan trọng, nó giúp cho các nhà quản lý có thể phát triển việc khai thác khoáng sản, nước ngầm hay lập quy hoạch phát triển đô thị và chuyển đổi mục đích sử dụng đất một cách hiệu quả. Những năm

gần đây cùng với sự phát triển của công nghiệp 4.0 thì trí tuệ nhân tạo và học máy đã trở nên quen thuộc với ngành bản đồ. Đã có nhiều ứng dụng học máy trong thành lập các mô hình dự đoán nguy cơ lún đất.

Nghiên cứu đầu tiên là một nghiên cứu sử dụng hai thuật toán học máy là thuật toán MaxEnt (*maximum entropy*) và thuật toán GARP (*genetic algorithm rule-set production*) được Omid Rahmati và các cộng sự sử dụng để xây dựng mô hình đánh giá lún tại Kashmar, Iran [2]. Các dữ liệu được đưa vào mô hình gồm dữ liệu về sử dụng đất, thạch học, khoảng cách tới các vị trí khai thác nước ngầm, khoảng cách tới các dự án trồng rừng, khoảng cách tới các vị trí đứt gãy và giảm mực nước ngầm. Kết quả nghiên cứu cho thấy thuật toán GARP có hiệu suất và độ chính xác cao hơn thuật toán MaxEnt. Cả hai thuật toán đều cho ra kết quả dự đoán lún với độ chính xác đảm bảo. Nghiên cứu khác của Sahar Abdollahi và các cộng sự đã công bố kết quả nghiên cứu sử dụng mô hình Máy Vector hỗ trợ (*support vector machine - SVM*) để xây dựng bản đồ về khả năng lún đất trên địa bàn tỉnh Kerman, Iran [3]. Dữ liệu độ dốc, diện tích mái dốc, độ cao, độ cong mặt cắt, độ cong mặt bằng, chỉ số độ ẩm (TWI), khoảng cách tới sông, nước ngầm, thạch học, thay đổi áp suất, sử dụng đất và chỉ số thực vật (NDVI) đã được đưa vào để xây dựng mô hình. Mô hình cho ra kết quả với độ chính xác tốt với giá trị AUC từ 0,894 đến 0,857.

Trong nghiên cứu [4] đã đánh giá độ chính xác dự đoán lún đất tại Jakarta bằng cách sử dụng các mô hình học máy bao gồm hồi quy logistic, multilayer perceptron, meta-ensemble AdaBoost và LogitBoost. Dựa trên dữ liệu Sentinel-1 (SAR) từ 2017 đến 2020 để tạo ra bản đồ nhạy cảm lún đất. Kết quả phân tích ROC cho thấy thuật toán AdaBoost có độ chính xác dự đoán cao hơn (81,1%) so với multilayer perceptron (80%), logistic regression (79,4%) và LogitBoost (79,1%). Phương pháp học máy XGBoost được sử dụng trong nghiên cứu [5] để xây dựng mô hình dự đoán lún khu vực đồng bằng Bắc Kinh - Trung Quốc với các yếu tố được đưa vào mô hình gồm sự thay đổi mực nước ngầm, độ dày của trầm tích Đệ tứ và chỉ số tích tụ dựa trên chỉ số (IBI) kết hợp với dữ liệu độ lún thu thập được bằng ảnh Sentinel-1 và phép đo giao thoa tán xạ cố định (PSI). Kết quả nghiên cứu cho thấy độ chính xác của phương pháp này rất tốt (0,9431).

Nghiên cứu [6] đã so sánh 4 mô hình học máy và thống kê là các mô hình hàm tin tưởng bằng chứng (*Evidential Belief Function - EBF*), chỉ số của entropy (*index of entropy - IoE*), mô hình máy vector hỗ trợ (*Support Vector Machine - SVM*) và mô hình rừng ngẫu nhiên (*Random Forest - RF*) trong việc dự đoán lún đất khu vực đồng bằng Rafsanjan - Iran. Dữ liệu huấn luyện mô hình gồm 11 yếu tố như độ dốc, hướng dốc, độ ẩm địa hình, chia cắt ngang, độ cong địa hình, chỉ số thực vật, sử dụng đất, thạch học, khoảng cách đến sông suối, độ sâu mực nước ngầm và độ cao địa hình. Nghiên cứu sử dụng thuật toán Boruta để xác định trọng số các yếu tố nguyên nhân trên. Kết quả nghiên cứu mô hình SVM cho độ chính xác dự đoán cao nhất (AUC = 0,967; TSS = 0,91), tiếp theo là RF (AUC = 0,936; TSS = 0,87), EBF (AUC = 0,907; TSS = 0,83) và IoE (AUC = 0,88; TSS = 0,8).

Nghiên cứu [7] ứng dụng dự đoán lún đất bằng mạng thần kinh nhân tạo BPNN và phương pháp Random Forest (RF) tại khu vực Sơn Đông - Trung Quốc. Dữ liệu sử dụng để dự đoán lún là dữ liệu thay đổi mực nước ngầm và dữ liệu lún đất giai đoạn từ 2017 đến 2020 được xác định bằng kỹ thuật SBAS-InSAR. Kết quả nghiên cứu cho thấy độ chính xác của mô hình BPNN cao hơn mô hình RF. Trong nghiên cứu [8] đã áp dụng các mô hình học sâu kết hợp dựa trên xếp chồng (*SEDL - Stacking-Based Ensemble Deep Learning models*), mô hình học sâu kết hợp dựa trên bỏ phiếu (*VEDL - Voting-Based Ensemble Deep Learning models*) và mô hình học tập tích cực (*AL - Active Learning*) để thành lập bản đồ nhạy cảm lún đất tại khu vực đồng bằng Minab và Shamil-Nian, thuộc tỉnh Hormozgan, miền nam Iran. Theo nghiên cứu thì sự suy giảm mực nước ngầm ảnh hưởng lớn đến kết quả đầu ra của các mô hình. Dựa trên biểu đồ Taylor và  $R^2$ , kết quả dự đoán của mô hình SEDL-AL ( $R^2 > 95\%$ ) có hiệu suất và độ chính xác cao hơn mô hình SEDL. Một nghiên cứu khác [9] đã đưa ra sự so sánh giữa Hồi quy logistic Bayes BLR, máy vectơ hỗ trợ SVM, cây mô hình logistic LMT

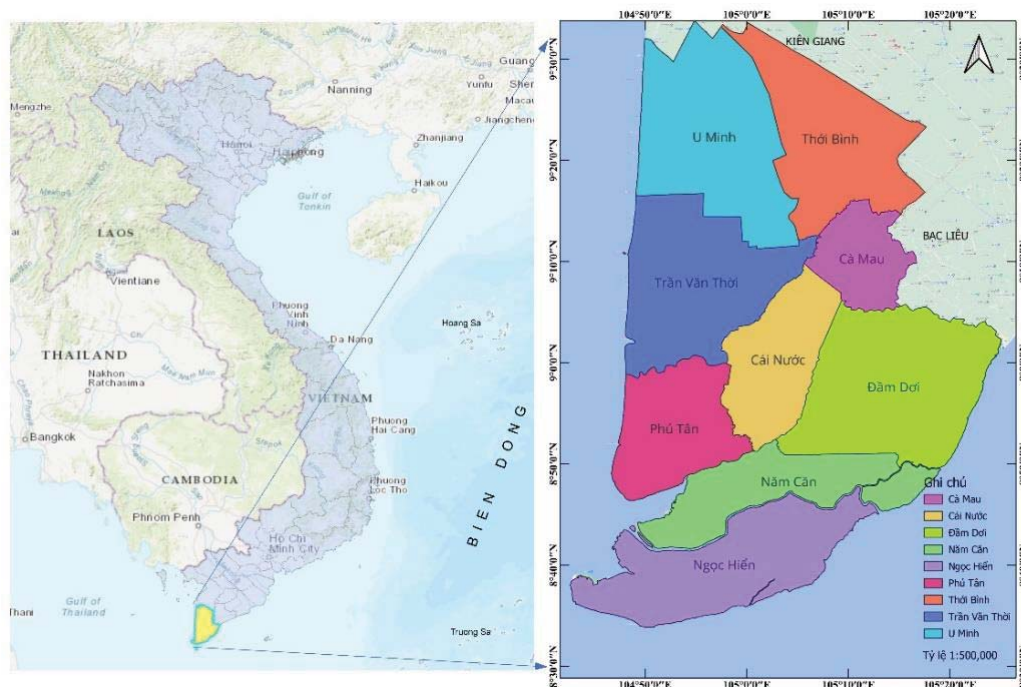
và cây quyết định ADT để dự đoán nguy cơ lún đất ở Hàn Quốc. Kết quả nghiên cứu này chỉ ra rằng mô hình BLR tạo ra bản đồ dự đoán nguy cơ lún với độ chính xác và độ tin cậy chấp nhận được cao hơn so với các mô hình ứng dụng khác.

Với đa dạng các thuật toán học máy đã được ứng dụng nhiều ở các nước khác nhau đã đề cập ở trên, mỗi khu vực có đặc điểm địa hình và địa chất khác nhau, các mô hình không hoàn toàn là tốt và cũng không có mô hình nào là xấu mà nó cần phải phù hợp với đặc điểm địa hình khu vực nghiên cứu. Mục tiêu của bài báo này muốn nghiên cứu hai thuật toán học máy là Gradient Boosting (GB) và thuật toán Suport Vector Regression (SVR) trong thành lập bản đồ nguy cơ lún đất khu vực bán đảo Cà Mau, Việt Nam trên nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine (GEE). Cà Mau nằm ở cực nam Việt Nam đang đối mặt với hiểm họa lún đất, nước biển dâng và ngập lụt, xâm nhập mặn. Theo nghiên cứu [10, 11] đã chứng minh lún đất tại bán đảo Cà Mau và toàn bộ đồng bằng sông Cửu Long đến vài centimet/năm vượt quá mực nước biển dâng tuyệt đối hiện tại. Lý do lựa chọn mô hình GB vì khu vực nghiên cứu là vùng đồng bằng, độ chênh cao địa hình rất thấp, nguyên nhân gây lún đất chủ yếu cũng chưa rõ ràng vì vậy mô hình GB là mô hình kết hợp các mô hình yếu để tạo ra một mô hình mạnh, trọng số của lớp sau sẽ được cập nhật từ trọng số trước, điều này giúp cho mô hình có hiệu suất tốt hơn các mô hình đơn. Mô hình SVR là một biến thể từ mô hình SVM và đã được chứng minh là có độ chính xác cao trong xây dựng các mô hình dự đoán vì vậy nghiên cứu muốn đưa ra thử nghiệm và so sánh mô hình GB với SVR. Dữ liệu đưa vào huấn luyện là các điểm lún đất được xác định bằng phương pháp Radar giao thoa tán xạ cố định (PSInSAR) và các điểm đo lún bằng phương pháp thủy chuẩn được cung cấp bởi Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý. Bên cạnh đó tại khu vực Cà Mau cũng chưa có nghiên cứu nào sử dụng mô hình GB và SVR để xây dựng bản đồ nguy cơ lún đất vì vậy thử nghiệm của bài báo có thể được coi là bước đầu giúp cho việc quy hoạch sử dụng đất ở khu vực này hiệu quả và bền vững.

## 2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu sử dụng

### 2.1. Khái quát về địa hình khu vực nghiên cứu

Cà Mau nằm trong khu vực đồng bằng sông Cửu Long, địa hình thấp, bằng phẳng, nhiều sông ngòi, kênh rạch. Phần lớn diện tích có cao trình thấp hơn mực nước triều cường và



Hình 1. Ranh giới tỉnh Cà Mau trên bản đồ Việt Nam.



thường xuyên bị ngập úng. Độ cao trung bình khoảng 0,4-0,6 m; khoảng 0,2 m ở vùng thấp và 0,8-1,1 m ở các khu vực “cao hơn”. Địa hình dốc dần từ Bắc xuống Nam và từ đông bắc đến tây nam. Bản đồ cho thấy phía Đông và phía Nam trung tâm tỉnh là đất đai chủ yếu được sử dụng cho nuôi tôm thâm canh và bán thâm canh cũng như nuôi tôm quảng canh cải tiến. Việc sử dụng đất chủ yếu ở các khu vực phía bắc và phía tây của thành phố Cà Mau là lúa hai vụ/rau và lúa/ nông nghiệp nước ngọt. Phía Bắc tỉnh (Huyện Thới Bình) sử dụng đất chính là lúa/tôm. Tại huyện U Minh (Tây Bắc) và huyện Ngọc Hiển (xa phía Nam) có diện tích rừng tự nhiên đặc dụng và rừng sản xuất lớn.

## 2.2. Thuật toán GB và SVR

### 2.2.1. Thuật toán GB

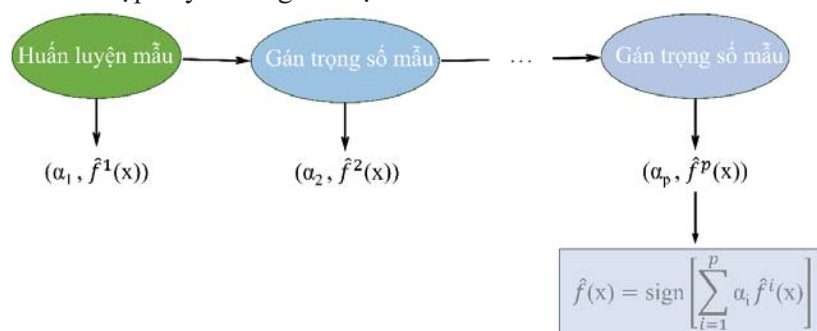
GB là một thuật toán học máy viết tắt của Gradient Boosting, nó bắt nguồn từ kỹ thuật Boosting trong học máy được sử dụng để cải thiện khả năng dự đoán bằng cách tập trung vào việc học từ các trường hợp khó khăn hơn. Nó hoạt động bằng cách tạo ra các phiên bản của mô hình học máy ban đầu và tập trung vào việc xử lý các trường hợp bị sai lệch của mô hình trước đó, cho đến khi đạt được một mức độ chính xác mong muốn. Nguyên lý của một thuật toán Boosting là:

Giả định rằng bài toán phân loại nhị phân với biến mục tiêu gồm hai nhãn  $y \in \{-1, 1\}$ . Giả định theo phương pháp tăng cường thì hàm dự đoán đối với một biến đầu vào  $x_i$  là  $\hat{f}(x_i) \in \{-1, 1\}$  Đồng thời biến mục tiêu  $y$  nhận một trong hai giá trị  $\{-1, 1\}$ . Khi đó sai số trên tập huấn luyện là:

$$r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 1(y_i \neq \hat{f}(x_i)) \tag{1}$$

Trong đó hàm  $1(.)$  là một hàm logic nhận giá trị 1 nếu như điều kiện bên trong hàm trả về là đúng, trái lại thì nhận giá trị 0.

Một mô hình phân loại yếu (weak classifier) có tỷ lệ dự đoán sai lớn và giả định nó chỉ tốt hơn so với phân loại ngẫu nhiên một chút. Mục tiêu của phương pháp tăng cường là áp dụng liên tiếp các mô hình phân loại yếu để điều chỉnh lại trọng số cho các quan sát, qua đó ở mô hình sau sẽ ưu tiên phân loại đúng những quan sát đã phân loại sai từ mô hình trước đó. Kết thúc ta thu được một mô hình dự báo được kết hợp từ các mô hình phân loại yếu trong chuỗi. Mô hình kết hợp này thường có hiệu suất cao.



Hình 2. Sơ đồ của mô hình GB.

Mỗi một mô hình con được huấn luyện từ bộ dữ liệu được đánh trọng số theo tính toán từ mô hình tiền nhiệm. Dữ liệu có trọng số sau đó được đưa vào huấn luyện mô hình tiếp theo. Đồng thời ta cũng tính ra một trọng số quyết định áp thể hiện vai trò của mỗi mô hình ở từng bước huấn luyện. Cứ tiếp tục như vậy cho tới khi số lượng mô hình đạt ngưỡng hoặc tập huấn luyện hoàn toàn được phân loại đúng thì dừng quá trình.

Kết quả dự đoán từ mô hình cuối cùng là một kết hợp từ những mô hình với trọng số  $\alpha_i$ :

$$\hat{f}(x) = \text{sign} \left[ \sum_{i=1}^p \alpha_i \hat{f}^i(x) \right] \tag{2}$$

Trong phương trình trên hàm  $\text{sign}(x)$  là hàm nhận giá trị 1 nếu dấu của  $x$  là dương và nhận giá trị -1 nếu ngược lại.

Các hệ số  $a_i$  được tính từ phương pháp tăng cường, chúng được sử dụng để đánh trọng số mức độ đóng góp từ mỗi mô hình con  $f^i$  trong chuỗi nhằm phân bổ vai trò quyết định trên từng mô hình khác nhau tùy thuộc vào mức độ chính xác của chúng.

### 2.2.2. Thuật toán SVR

Máy vector hồi quy (SVR) là một thuật toán biến thể của Máy hỗ trợ (SVM) sử dụng trong dự đoán và là một thuật toán phổ biến và hiệu quả trong những thuật toán học máy. Khác với nhiều thuật toán học máy khác như mạng Neural, người sử dụng không phải thực hiện nhiều tinh chỉnh trong quá trình thực hiện để có được kết quả dự báo tốt với thuật toán SVR. Theo nghiên cứu [12, 13], thuật toán SVM ban đầu chỉ được dùng cho phân loại nhưng đến năm 1996 thì phiên bản cho các bài toán hồi quy đã được ra đời [13] và chính thức được gọi với tên “Máy vector hồi quy - SVR”. Để dự đoán giả sử chúng ta có tập dữ liệu con:

$$f(x) = w^k\varphi(x) + \xi = 0 \tag{3}$$

Trong đó  $w$  là trọng số vector,  $w \in R^n$ ;  $K$  là nút chặn,  $\varphi(x)$  là ánh xạ của vector đầu vào  $x$ ,  $x = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  là các biến đầu vào của dữ liệu.

Trong SVR số vector hỗ trợ là không giới hạn. Do đó một không gian ánh xạ dữ liệu sẽ được sử dụng cho SVR gọi là giới hạn  $\epsilon$  được xây dựng để giới hạn số vector, để tránh tạo ra một mô hình quá phức tạp. Hàm mục tiêu cho mô hình SVR với không gian giới hạn  $\epsilon$  được xác định theo công thức

$$\text{Obj}(d) = \begin{cases} 0, & |d| \leq \epsilon \\ |d| - \epsilon, & |d| > \epsilon \end{cases} \tag{4}$$

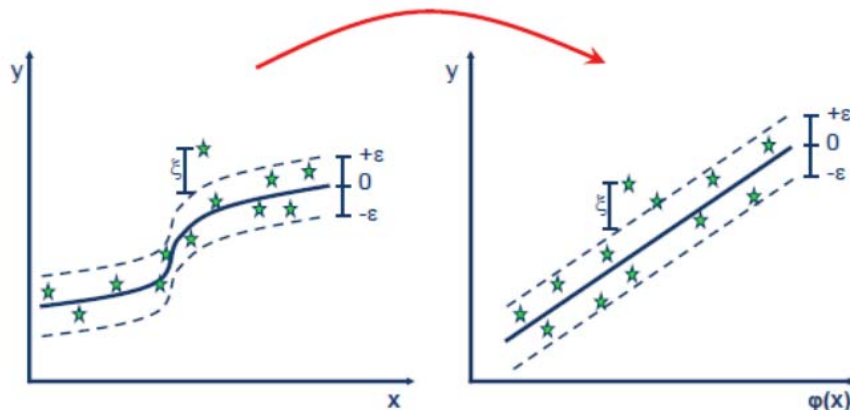
Trong đó  $d$  là độ lệch của dữ liệu trong không gian giới hạn  $\epsilon$

Để xác định được mô hình SVR tối ưu, hàm mục tiêu trên cần được tối ưu hóa bằng cách giảm thiểu hàm mục tiêu sau:

$$\begin{aligned} \text{Min: } & \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n (d_i + d_i^*) \\ \text{s. t. } & \begin{cases} y_i - w^k x - \xi \leq \epsilon + d_i^* \\ w^k x + \xi \geq \epsilon + d_i \\ d_i d_i^* \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \tag{5}$$

Trong đó  $\xi$  là độ lệch của dữ liệu nằm ngoài giới hạn  $\epsilon$ .

Trong mô hình SVR, hàm Lagrangian kép có thể được sử dụng để tối ưu hóa hiệu suất mô hình. Để ánh xạ dữ liệu đầu vào lên một không gian có nhiều chiều hơn thì các hàm hạt nhân được sử dụng nhằm chuyển đổi mối quan hệ của các biến đầu vào từ dạng phi tuyến sang dạng tuyến tính. Quá trình ánh xạ dữ liệu bằng thuật toán SVR được minh họa trong hình 3.



Hình 3. Minh họa quá trình ánh xạ dữ liệu của thuật toán SVR.

Để dự đoán nguy cơ lún đất hàm đa thức dưới đây đã được sử dụng

$$K(X, Y) = (\gamma \cdot X^T Y + r)^d, \gamma > 0; d = (1, 2, \dots) \quad (6)$$

Trong đó  $r, d, \gamma$  và  $\sigma$  là các tham số của hàm hạt nhân có thể được điều chỉnh để cải thiện độ chính xác của mô hình SRV. Ngoài ra một giá trị tham số  $C$  cũng được sử dụng với mục đích tương tự.

### 2.3. Xây dựng mô hình nguy cơ lún đất bằng các thuật toán GB và SVR

#### 2.3.1. Dữ liệu đầu vào

Các điểm khảo sát lún đóng một vai trò quan trọng trong việc xây dựng mô hình nguy cơ lún đất, nó cung cấp thông tin quan trọng về tình trạng và mức độ lún đất tại các khu vực cụ thể. Dữ liệu này cùng với một số các yếu tố ảnh hưởng là cơ sở để đào tạo mô hình nguy cơ lún đất khi chúng ta sử dụng các mô hình có giám sát. Như đã đề cập ở trên bán đảo Cà Mau là một vùng đất rộng lớn và địa hình khá bằng phẳng việc thu thập các điểm lún đất không được làm thường xuyên và sự phân tán các điểm lún cũng không được rộng khắp. Tổng số điểm lún thu thập được cung cấp bởi Cục Đo đạc - bản đồ và thông tin địa lý Việt Nam với số lượng điểm là 40. Tuy nhiên, thời điểm quan trắc lún cũng không đều, giá trị đo gần nhất là năm 2020. Chính vì lý do này mà bài báo đã lựa chọn thu thập thêm các điểm giám sát lún đất từ phương pháp xử lý ảnh Radar đa thời gian. Việc đo biến dạng mặt đất từ nhiều hình ảnh SAR (từ cảm biến Sentinel-1) thu được trong giai đoạn từ tháng 11 năm 2014 đến tháng 1 năm 2019 của [14] đã được sử dụng để phát hiện các chuyển vị do lún mặt đất và ước tính tốc độ lún trung bình trong khoảng thời gian tham chiếu. Các điểm thu thập lún đất làm bằng phương pháp PSInSAR đã được chứng minh là có độ chính xác đạt được yêu cầu [14]. Sau khi chọn những điểm lún nổi bật có giá trị lún từ -1cm trở lên thì đã có 1001 điểm lún được chọn là điểm có lún để đưa vào mô hình. Hiện nay các mô hình học máy phục vụ cho dự đoán thường được gán hai nhãn là “có lún” và “không có lún” [4–9], có nghĩa là các giá trị lún sẽ chỉ được quy về hai loại này để đưa vào mô hình. Bên cạnh những điểm có lún thì những điểm không lún cũng phải được đưa vào mô hình, đã có 1001 điểm tương ứng được trích xuất ra từ kết quả của PSInSAR với giá trị các điểm lớn hơn 0.

#### 2.3.2. Các yếu tố ảnh hưởng lún của mô hình

Khi xây dựng mô hình nguy cơ lún đất bằng các phương pháp học máy, có nhiều yếu tố ảnh hưởng quan trọng mà chúng ta cần xem xét để đảm bảo tính chính xác và hiệu quả của mô hình.

+ Địa hình: Yếu tố về địa hình có một tác động quan trọng đến lún đất và các hiện tượng liên quan đến nó. Địa hình có thể ảnh hưởng đến lún đất theo nhiều cách khác nhau. Độ dốc của địa hình có thể ảnh hưởng đến dòng chảy của nước và sự tích tụ của chất thải hữu cơ và khoáng trong đất. Địa hình dốc có thể dẫn đến lún nghiêng, khiến cho lớp đất trên cùng dễ bị trượt xuống. Tuy nhiên khu vực nghiên cứu có độ cao địa hình thấp nên chỉ có lớp độ cao được sử dụng còn độ dốc và hướng dốc không được sử dụng trong nghiên cứu này.

+ Địa chất: Cấu trúc địa chất có thể ảnh hưởng đến độ bền của đất và khả năng chịu tải. Đất có cấu trúc lớp tách, nứt nẻ, hoặc yếu có thể dễ bị lún hơn. Vì vậy đây cũng là một lớp dữ liệu đầu vào quan trọng có ảnh hưởng đến lún đất.

+ Đất: loại đất có thể ảnh hưởng đến lún đất thông qua các tính chất vật lý và hóa học của nó, bao gồm khả năng thấm nước, khả năng hút nước, sự nở và co, độ cứng và độ dẻo, cũng như tương tác với nước ngầm. Độ thoát nước của đất ảnh hưởng đến tốc độ thấm nước qua đất. Đất có khả năng thấm nước tốt có thể dẫn đến sự mất mát nước nhanh chóng, góp phần vào quá trình lún đất. Tính chất của các hạt đất, chẳng hạn như cát, sét và đá vụn, có thể ảnh hưởng đến sự thay đổi thể tích của đất. Sét có khả năng hút nước và nâng khi nước thấm vào, trong khi cát thường không thấm nước và có thể bị nén mạnh hơn khi áp lực tăng

cao. Ngoài ra còn độ cứng, độ dẻo của đất, độ dày của lớp đất là các nguyên nhân gây ra ảnh hưởng lún đất.

+ LULC (*Land Use and Land Cover*): Đây là cách mà con người sử dụng đất, chẳng hạn như trồng cây, xây dựng nhà, làm đường, đô thị hóa, sản xuất nông nghiệp, trồng rừng, v.v. Lớp phủ sử dụng đất có thể thay đổi theo thời gian do hoạt động con người. Sự thay đổi trong lớp phủ bề mặt có thể tác động đến cân bằng nước trong đất. Ví dụ, xây dựng các khu vực đô thị, đường sá, hoặc bề mặt không thấm nước có thể gây ra sự thay đổi trong dòng chảy nước dưới đất, ảnh hưởng đến cân bằng nước và gây ra lún đất.

+ NDVI: Chỉ số NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) là một chỉ số phổ biến trong việc đo lường và phân tích trạng thái thực vật trên mặt đất dựa trên dữ liệu ảnh vệ tinh. NDVI được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như quản lý tài nguyên đất, nông nghiệp, quan trắc môi trường và giám sát biến đổi khí hậu. Chỉ số NDVI được tính toán từ hai dải bước sóng của ánh sáng phát ra từ mặt đất:

Dải bước sóng gần tử ngoại (*NIR: Near Infrared*): Đây là dải bước sóng có chiều dài lớn hơn mà mắt người không thể nhìn thấy. Thực vật thường phản xạ ánh sáng NIR mạnh do lá cây hấp thụ ánh sáng trong dải này để thực hiện quá trình quang hợp.

Dải bước sóng đỏ (*Red*): Đây là dải bước sóng có chiều dài ngắn hơn và mắt người có thể nhìn thấy. Thực vật cũng hấp thụ ánh sáng đỏ để thực hiện quá trình quang hợp, nhưng mức độ hấp thụ thấp hơn so với ánh sáng NIR.

Công thức tính chỉ số NDVI là:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (7)$$

Chỉ số NDVI thường dao động từ -1 đến +1. Giá trị âm (thường gần -1): Thường xuất hiện trên các khu vực nước, đá, tuyết, đô thị hoặc các vùng không có thực vật. Giá trị gần 0: Các vùng có thực vật ít hoặc không thực vật, Giá trị dương (thường gần +1) sự hiện diện của thực vật nhiều và khá phát triển.

Chỉ số NDVI giúp theo dõi biến đổi thực vật và tình trạng đất đai, khi thực vật dày đặc, chẳng hạn như trong rừng rậm hoặc các khu vực có cây cối phủ kín, có nhiều yếu tố tương tác cùng nhau có thể giúp đất trở nên ổn định hơn và ít bị lún [15]. Lý do là thực vật có hệ thống rễ mạnh và dày đặc có khả năng tạo ra một mạng lưới rễ hữu ích để giữ chặt đất lại. Rễ giúp tạo ra sự kết dính giữa các hạt đất, làm cho đất trở nên mạnh mẽ hơn và ít bị phong tỏa bởi dòng chảy nước.

+ Độ sâu mực nước ngầm: Nước ngầm là một yếu tố có thể được đánh giá là quan trọng nhất trong các yếu tố ảnh hưởng đến lún đất. Đã có nhiều công trình chứng minh mối quan hệ giữa nước ngầm với lún đất như các nghiên cứu [10, 16]. Vì vậy, lớp dữ liệu độ sâu mực nước ngầm là một lớp khá quan trọng được đưa vào đây. Dữ liệu này được thu thập từ các giếng khoan khai thác nước dưới đất trong các năm 2020, 2021, 2022. Các dữ liệu này được cung cấp bởi [17].

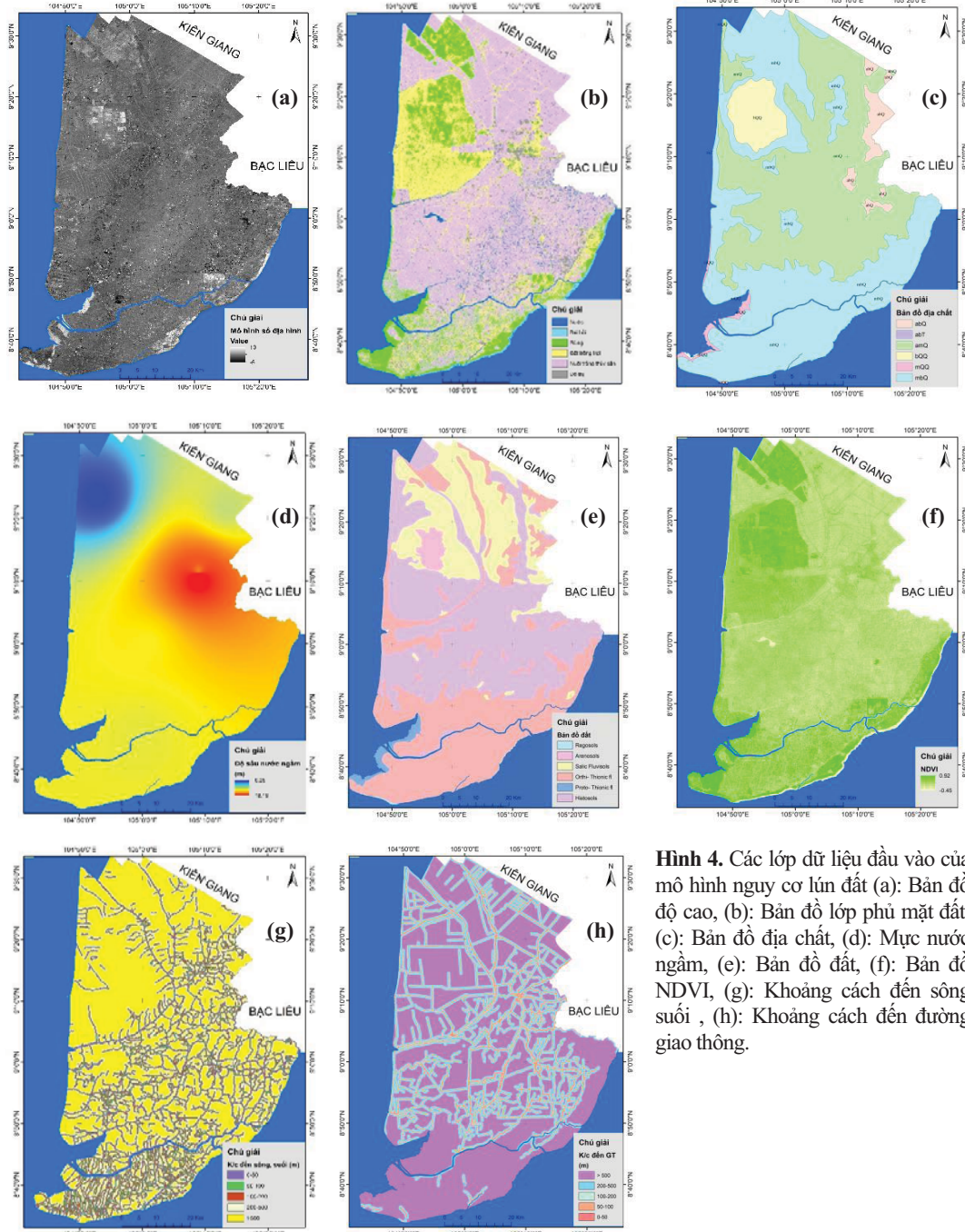
+ Khoảng cách đến đường giao thông

Lún đất thường xảy ra gần đường giao thông bởi các lý do là khi xây dựng đường giao thông có thể thay đổi hệ thống thoát nước tự nhiên của khu vực. Việc xây dựng cống thoát nước hoặc thay đổi địa hình có thể làm giảm khả năng thoát nước tự nhiên của môi trường, gây ra tình trạng ngập úng và làm tăng nguy cơ lún đất. Bên cạnh đó hoạt động giao thông trên đường có thể tạo ra tải trọng thêm lên mặt đất. Xe cộ di chuyển trên đường gây ra tác động và áp lực lên bề mặt đất, làm cho đất dễ bị nén và lún xuống.

+ Khoảng cách đến sông suối

Sự tồn tại của sông suối có thể làm tăng độ ẩm trong môi trường xung quanh. Đất ẩm có khả năng bị nén dễ dàng hơn và có thể gây ra lún. Ngoài ra các hoạt động con người tạo ra hạ tầng xung quanh khu vực sông suối, như xây dựng các công trình cống thoát nước, cầu, hay các khu đô thị, cũng có thể tác động đến tính chất đất và góp phần vào quá trình lún.

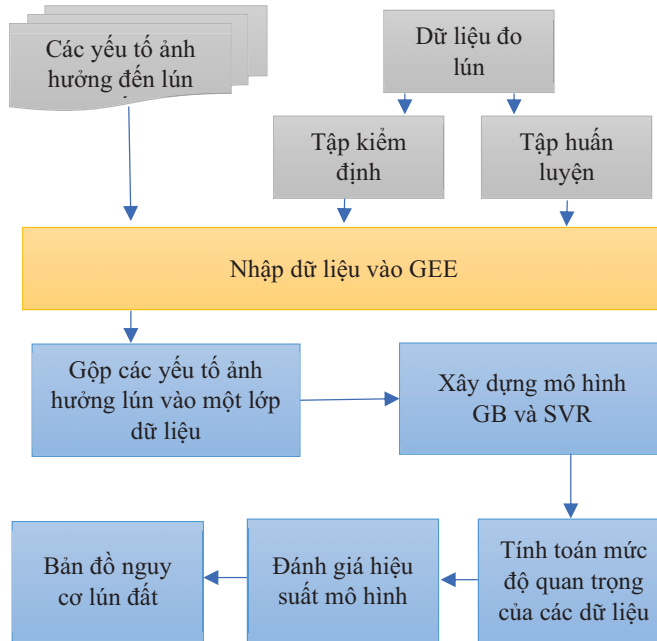
Sau khi chuẩn hóa lại dữ liệu các bản đồ thành phần được đưa vào mô hình bao gồm 8 lớp dữ liệu được biểu diễn ở hình 4.



**Hình 4.** Các lớp dữ liệu đầu vào của mô hình nguy cơ lún đất (a): Bản đồ độ cao, (b): Bản đồ lớp phủ mặt đất, (c): Bản đồ địa chất, (d): Mực nước ngầm, (e): Bản đồ đất, (f): Bản đồ NDVI, (g): Khoảng cách đến sông suối, (h): Khoảng cách đến đường giao thông.

**2.4. Xây dựng mô hình nguy cơ lún đất dựa trên các thuật toán GB và SVR bằng Google Earth Engine (GEE)**

Mô hình GB và SVR được xây dựng trên nền tảng GEE. GEE hoạt động qua một giao diện trực tuyến, hỗ trợ ứng dụng JavaScript (API) hoặc Python, được gọi là “Trình chỉnh sửa mã”. Trên giao diện này, người sử dụng có khả năng tạo và thực thi mã để chia sẻ và lặp lại các quy trình xử lý và phân tích dữ liệu không gian địa lý [18]. Trình chỉnh sửa mã giúp người dùng thực hiện toàn bộ các chức năng có trong Earth Engine. Hình 5 là quy trình công nghệ sử dụng để thành lập bản đồ nguy cơ lún đất khu vực bán đảo Cà Mau.

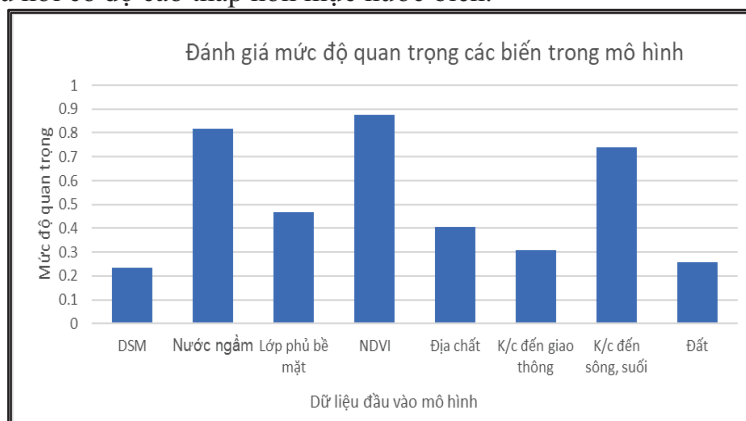


Hình 5. Sơ đồ quy trình nghiên cứu xây dựng mô hình nguy cơ lún đất bằng Google Earth Engine.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Đánh giá mức độ quan trọng của các biến đầu vào

Đối với 8 biến đầu vào như đã đề cập ở trên thì đa số các yếu tố đầu vào đều có sự ảnh hưởng đến lún trong đó NDVI, nước ngầm và khoảng cách đến đường giao thông là những yếu tố có ảnh hưởng lớn nhất đến nguy cơ lún ở khi vực này. Hình 6 biểu diễn sơ đồ đánh giá mức độ quan trọng của các biến đầu vào mà nó giải thích các mối quan hệ của các lớp đầu vào với các kết quả dự đoán. Trục tung trong biểu đồ thể hiện cường độ tác động của các yếu tố đầu vào còn trục hoành biểu diễn tên các biến đầu vào của mô hình. Giá trị ở trục tung càng cao cho thấy mức ảnh hưởng cao hơn. Từ Hình 6, có thể hiểu rằng NDVI và độ sâu nước ngầm lớn hơn và ảnh hưởng đến kết quả dự đoán so với các kết quả khác. Yếu tố ảnh hưởng tiếp theo đó là bản đồ LULC và khoảng cách đến đường giao thông. Nguyên nhân có thể được hiểu là nơi có thực phủ dày đặc thì đất sẽ được bảo vệ tốt hơn so với những nơi đất trống hoặc không có thực phủ, vì vậy độ lún cũng chịu tác động lớn từ dữ liệu NDVI này. Những yếu tố khác có ảnh hưởng đến mô hình tuy không nhiều nhưng cũng không thể bỏ qua như địa chất, độ cao có ảnh hưởng ít, điều này cũng dễ giải thích vì Cà mau có địa hình khá thấp, nhiều nơi có độ cao thấp hơn mực nước biển.



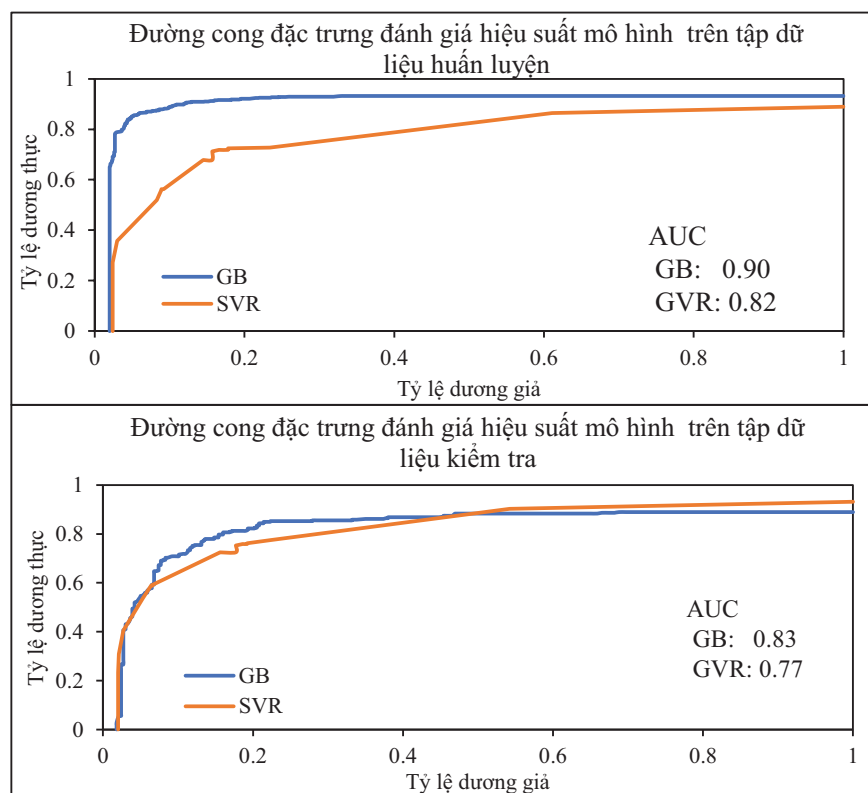
Hình 6. Đánh giá mức độ quan trọng của các biến đầu vào.

### 3.2. Đánh giá hiệu suất

Đường cong ROC (*Receiver Operating Characteristic curve*): Đây là một biểu đồ biểu thị mối quan hệ giữa tỷ lệ dương thực (TPR) và tỷ lệ dương giả (FPR) của một mô hình phân loại ở các ngưỡng quyết định khác nhau. TPR là tỷ lệ các trường hợp dự đoán đúng positive (đúng dương) trên tổng số các trường hợp thực tế là dương. FPR là tỷ lệ các trường hợp dự đoán dương sai trên tổng số các trường hợp thực tế âm.

AUC (*Area Under the Curve*): AUC là diện tích dưới đường cong ROC. AUC đo lường khả năng của mô hình phân loại dương đúng (*positive*) so với âm đúng (*negative*). AUC thường nằm trong khoảng từ 0 đến 1, và một mô hình càng tốt thì AUC càng gần 1. Mối liên hệ giữa hiệu suất mô hình và AUC có thể được định lượng như sau: xuất sắc (0,9-1), rất tốt (0,8-0,9), tốt (0,7-0,8), trung bình (0,6-0,7) và kém (0,5-0,6) [19].

Đối với khu vực nghiên cứu Cà Mau, mô hình GB được lựa chọn và so sánh với mô hình SVR các giá trị được tính toán theo tập giá trị huấn luyện (*training*) và tập kiểm tra (*testing*) như đã chia ở trên (70% cho training và 30% cho testing). Hiệu suất được trình bày ở hình 7

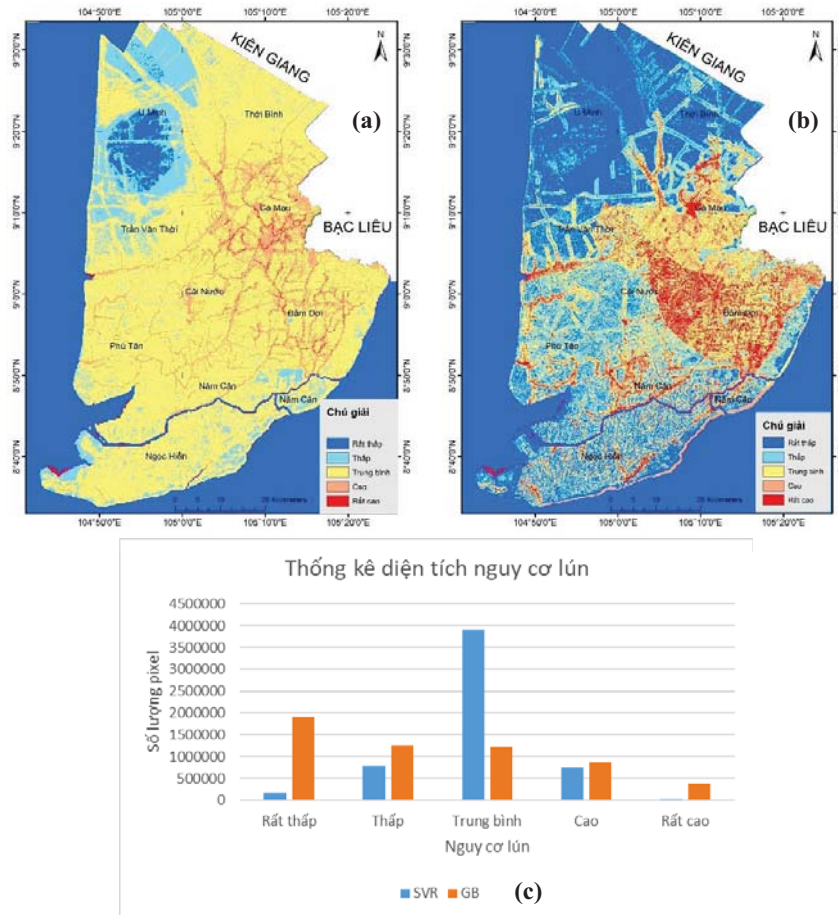


**Hình 7.** Đường cong đánh giá hiệu suất mô hình ROC và giá trị AUC của các mô hình trên tập dữ liệu huấn luyện và dữ liệu kiểm tra.

### 3.3. Kết quả và thảo luận

Bản đồ mức độ nhạy cảm lún đất của mô hình GB và mô hình SVR đã được chia thành năm mức đánh giá bao gồm rất thấp, thấp, trung bình, cao, rất cao (Hình 8) tương ứng với các giá trị “< 0,2”; “0,2-0,4”; “0,4-0,6”; “0,6-0,8”; “0,8-1”. Thống kê diện tích các nguy cơ lún từ hai mô hình được biểu diễn trên biểu đồ hình 8c. Với hai mô hình nguy cơ lún đất thì độ chính xác đều đạt ở mức tốt khi AUC > 0,7 cho dữ liệu huấn luyện và dữ liệu kiểm tra. Mô hình GB đã tỏ ra vượt trội hơn hẳn so với SVR khi hiệu suất mô hình GB có AUC đạt 0,9 cho tập huấn luyện và 0,83 cho tập dữ liệu kiểm tra trong khi SVR có AUC chỉ đạt 0,82 cho tập hợp dữ liệu huấn luyện và 0,77 cho tập dữ liệu kiểm tra. Mô hình SVR có kết quả phân loại khá thiên lệch khi giá trị “Trung bình” khá cao, và chiếm phần lớn diện tích trên

toàn bán đảo Cà Mau. Mô hình này cũng không có giá trị “Rất cao”. Chính vì kết quả bản đồ nguy cơ lún có hiệu suất không tốt bằng mô hình GB và kết quả thiên lệch trong dự đoán của mô hình SVR nên mô hình cuối cùng được lựa chọn là mô hình GB.

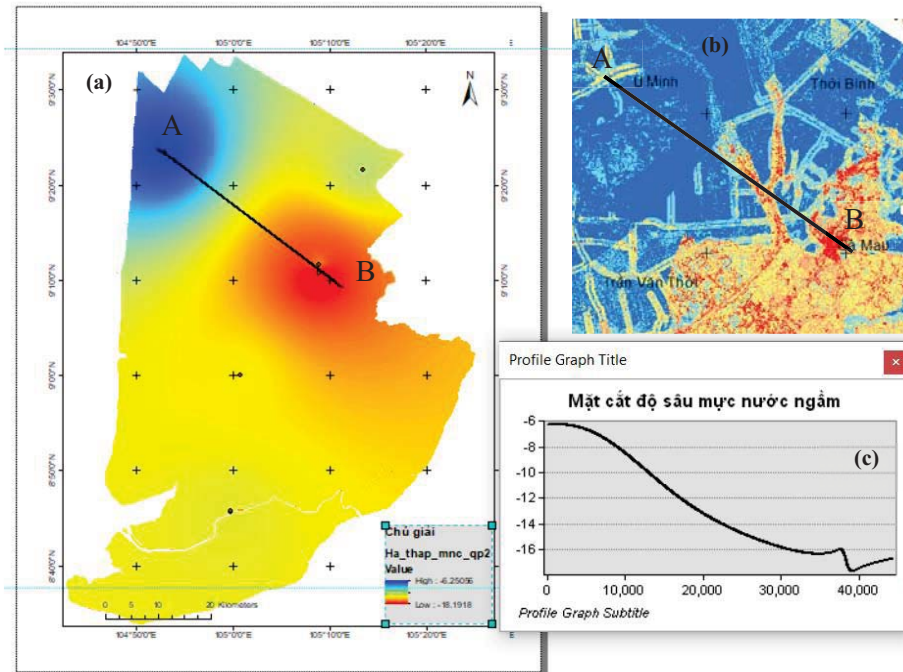


**Hình 8.** (a) Bản đồ nguy cơ lún đất bằng mô hình SVR, (b). Bản đồ nguy cơ lún đất bằng mô hình GB, (c) Thống kê diện tích nguy cơ lún theo 2 mô hình GB và SVR.

Với mô hình GB các vị trí có nguy cơ lún cao và rất cao đều tập trung ở khu vực quanh thành phố Cà Mau và các huyện phía nam của thành phố Cà Mau. Khu vực Tây Bắc là huyện U Minh có độ lún từ thấp đến rất thấp là khá phù hợp với vị trí của độ sâu mực nước ngầm. Tại U Minh độ sâu mực nước ngầm trung bình trong 3 năm 2020 đến 2022 là -6m trong khi khu vực thành phố Cà Mau độ sâu nước ngầm trung bình là -18m (Hình 9). Để minh chứng cho sự thay đổi mực nước ngầm ở trên địa bàn tỉnh nghiên cứu đã lấy mật cát từ khu vực giếng khai thác nước ở U Minh đến khu vực giếng khai thác ở thành phố Cà Mau. Mật cát đã thể hiện là nước ngầm có ảnh hưởng sâu sắc tới nguy cơ lún đất cho khu vực bán đảo Cà Mau, đặc biệt ở khu vực thành phố khi mật độ dân cư cao, lượng khai thác nước ngầm cho sinh hoạt cũng như hoạt động sản xuất là rất lớn trong những năm gần đây.

Hiện tại trong khu vực nghiên cứu cũng như ở Đồng bằng Sông Cửu Long các nghiên cứu về lún đất khá nhiều nhưng chỉ dừng lại ở mức độ giám sát lún theo thời gian bằng các kỹ thuật khác nhau như thủy chuẩn hay sử dụng ảnh viễn thám Radar. Ứng dụng học máy để xây dựng bản đồ nguy cơ lún đất là gần như chưa có. Việc ứng dụng thử nghiệm hai mô hình học máy GB và SVR đã chứng minh được khả năng của học máy trong việc thành lập bản đồ nguy cơ lún đất, đặc biệt là với khu vực có nền địa hình thấp như khu vực bán đảo Cà Mau. Nghiên cứu cũng có thể làm cơ sở cho việc quy hoạch hợp lý sử dụng đất cũng như việc khai thác nước ngầm ở khu vực nghiên cứu.





**Hình 9.** Đánh giá ảnh hưởng của khai thác nước ngầm đến nguy cơ lún đất khu vực bán đảo Cà Mau: (a) Bản đồ độ sâu mực nước ngầm, (b) Bản đồ nguy cơ lún đất được phóng to trong khoảng U Minh đến TP Cà Mau, (c) Mặt cắt độ sâu mực nước ngầm được lấy trung bình 3 năm 2020 đến 2022 theo tuyến AB.

#### 4. Kết luận

Lún đất luôn được coi là một quá trình suy thoái dẫn đến thảm họa môi trường do đó, việc xác định, đánh giá, lập bản đồ, mô hình hóa và quản lý có tầm quan trọng đặc biệt trong bất kỳ lĩnh vực nào. Việc lựa chọn các kỹ thuật và mô hình phù hợp cho khu vực nghiên cứu luôn là một thách thức khi xây dựng mô hình vì tính phức tạp cao và quy mô không gian lớn. Các thuật toán học máy thuộc các phương pháp khai thác dữ liệu gần đây đã được coi là thuật toán thích hợp có khả năng đánh giá, lập mô hình và lập bản đồ nguy cơ lún khác nhau trên khắp thế giới với độ chính xác cao. Trong nghiên cứu này, nguy cơ lún đất ở khu vực bán đảo Cà Mau Việt Nam được lập bằng hai thuật toán học máy bao gồm GB, SVR thông qua tám yếu tố đầu vào bao gồm độ cao, địa chất, đất, lớp phủ bề mặt, NDVI, độ sâu mực nước ngầm, khoảng cách đến đường giao thông, khoảng cách đến sông suối. Trong hai mô hình này thì GB có độ chính xác cao hơn trên cả tập huấn luyện và tập kiểm tra và được lựa chọn để làm mô hình cuối cùng cho thành lập bản đồ nguy cơ lún cho khu vực Cà Mau. Đối với các yếu tố đầu vào để xây dựng mô hình nguy cơ lún đất thì lớp dữ liệu độ sâu mực nước ngầm là một yếu tố có ảnh hưởng khá cao và nó hoàn toàn phù hợp với các vị trí có nguy cơ lún đất cao cũng là nơi có mức nước ngầm thấp nhất và thường phân bố ở nơi có tập trung đông dân cư như thành phố Cà Mau và các huyện phía Nam giáp với thành phố Cà Mau là huyện Cái Nước và huyện Đầm Dơi.

Trong nghiên cứu này nền tảng điện toán đám mây GEE đã được thử nghiệm để xây dựng mô hình GB và SVR. Đây là một nền tảng khá tiện lợi và hữu ích vì có thể khai thác nhiều nguồn dữ liệu sẵn có trên các máy chủ khác nhau. Ngoài ra việc hỗ trợ các thuật toán học máy trên nền tảng này đã giúp cho việc thử nghiệm các phương pháp xây dựng mô hình trở nên nhanh chóng và thuận tiện hơn. Tuy nhiên GEE ngoài những tiện lợi cũng có một số khó khăn đó là các thuật toán học máy hỗ trợ sẵn bị hạn chế bắt buộc người sử dụng phải kết hợp thêm những xử lý trên máy tính cá nhân hoặc nền tảng khác.

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

**Lời cảm ơn:** Nhóm nghiên cứu chân thành cảm ơn sự hỗ trợ về mặt tài chính từ đề tài Nghiên cứu khoa học của Bộ Giáo dục và Đào tạo Việt Nam, mã số: B2022-MDA-13.

**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. Shi, X.; Wu, J.; Ye, S.; Zhang, Y.; Xue, Y.; Wei, Z.; Yu, J. Regional land subsidence simulation in Su-xi-Chang area and Shanghai City, China. *Eng. Geol.* **2008**, *100*(1-2), 27–42.
2. Rahmati, O.; Golkarian, A.; Biggs, T.; Keesstra, S.; Mohammadi, F.N.; Daliakopoulos, I.N. Land subsidence hazard modeling: Machine learning to identify predictors and the role of human activities. *J. Environ. Manage.* **2019**, *236*, 466–480.
3. Abdollahi, S.; Pourghasemi, H.R.; Ghanbarian, G.A.; Safaeian, R. Prioritization of effective factors in the occurrence of land subsidence and its susceptibility mapping using an SVM model and their different kernel functions. *Bull. Eng. Geol. Environ.* **2019**, *78*, 4017–4034.
4. Hakim, W.L.; Achmad, A.R.; Lee, C. Land Subsidence Susceptibility Mapping in Jakarta Using Functional and Meta-Ensemble Machine Learning Algorithm Based on Time-Series InSAR Data. *Remote Sens.* **2020**, *12*(21), 3627.
5. Shi, L.; Gong, H.; Chen, B.; Zhou, C. Land Subsidence Prediction Induced by Multiple Factors Using Machine Learning Method. *Remote Sens.* **2020**, *12*(24), 4044.
6. Sardooi, E.R.; Pourghasemi, H.R.; Azareh, A.; Sardoo, F.S.; Clague, J.J. Comparison of statistical and machine learning approaches in land subsidence modelling. *Geocarto Int.* **2022**, *37*(21), 6165–6185.
7. Wang, H.; Jia, C.; Ding, P.; Feng, K.; Yang, X.; Zhu, X. Analysis and prediction of regional land subsidence with InSAR technology and machine learning algorithm. *KSCE J. Civ. Eng.* **2023**, *27*(2), 782–793.
8. Mohammadifar, A.; Gholami, H.; Golzari, S. Stacking-and voting-based ensemble deep learning models (SEDL and VEDL) and active learning (AL) for mapping land subsidence. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2023**, *30*, 26580–26595.
9. Dung, B.T.; Shahabi, H.; Shirzadi, A.; Chapi, K.; Pradhan, B.; Chen, W.; Saro, L. Land subsidence susceptibility mapping in south Korea using machine learning algorithms. *Sensors* **2018**, *18*(8), 2464.
10. Erban, L.E.; Gorelick, S.M.; Zebker, H.A. Groundwater extraction, land subsidence, and sea-level rise in the Mekong Delta, Vietnam. *Environ. Res. Lett.* **2014**, *9*(8), 084010.
11. Anh, T.V. Monitoring Subsidence in Ca Mau City and Vicinities using the Multi Temporal Sentinel-1 Radar Images. Proceeding of the 4<sup>th</sup> Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience & Engineering. European Association of Geoscientists & Engineers. **2021**, *2021*(1), 1–5.
12. Cortes, C.; Vladimir, N. Vapnik. Support Vector Networks. *Mach. Learn.* **1995**, *20*, 273–297.
13. Drucker, H.; Burges, C.; Kaufman, L.; Smola, A.; Vapnik, V. Support Vector Regression Machines. *Neural Inf. Process. Syst.* **1997**, *9*, 155–161.
14. EMSN062\_final. Copernicus 2019. Truy cập tuyền: <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSN062>.
15. Tran, V.A.; Khuc, T.D.; Ha, T.K.; Tran; H.H.; Le; T.N.; Pham T.T.H.; Nguyen, Q.D. Land subsidence susceptibility mapping using machine learning in the google earth

- engine platform. Proceeding of the International Conference on Intelligence of Things. Springer Nature Switzerland. 2023, pp. 55–64.
16. Li, H.; Zhu, L.; Guo, G.; Zhang, Y.; Dai, Z.; Li, X.; Teatini, P. Land subsidence due to groundwater pumping: hazard probability assessment through the combination of Bayesian model and fuzzy set theory. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **2021**, *21*(2), 823–835.
  17. Trung tâm Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước Quốc gia, Bộ Tài nguyên và Môi trường. Niên giám tài nguyên nước vùng Nam Trung Bộ, 2021.
  18. Anh, T.V.; Hanh, T.H.; Nga, N.Q.; Nghi, L.T.; Quang, T.X.; Dong, K.T.; Anh, T.T. Determination of illegal signs of coal mining expansion in Thai Nguyen Province, Vietnam from a combination of radar and optical imagery. International Conference on Geo-Spatial Technologies and Earth Resources. Cham: Springer International Publishing. 2022, 225–242.
  19. Truong, X.Q.; Dang, N.H.D.; Do, T.H.; Tran, N.D.; Do, T.T.N.; Tran, V.A.; Khuc, T.D. Random forest analysis of land use and land cover change using sentinel-2 data in van yen, yen bai province, Vietnam. In International Conference on Geo-Spatial Technologies and Earth Resources. Cham: Springer International Publishing. 2022, pp. 429–445.

## **Research on the capability of the GB and SVR machine learning models in mapping land subsidence susceptibility in the Ca Mau region, Vietnam**

**Tran Van Anh<sup>1,4</sup>, Ha Trung Khien<sup>2\*</sup>, Le Thanh Nghi<sup>1</sup>, Tran Hong Hanh<sup>1</sup>, Doan Ha Phong<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Geomatics and Land administration, Hanoi University of Mining and Geology; tranvananh@humg.edu.vn; lethanhngghi@humg.edu.vn; tranhonghanh@humg.edu.vn

<sup>2</sup> Faculty of Bridges and Roads, Hanoi University of Civil Engineering; khienht@huce.edu.vn

<sup>3</sup> Vietnam Institute of Meteorology, Hydrology & Climate Change; dhphong@gmail.com

<sup>4</sup> Geomatics in Earth Sciences (GES), Hanoi University of Mining and Geology; tranvananh@humg.edu.vn

**Abstract:** This study focuses on assessing the capabilities of two machine learning models, Gradient Boosting (GB) and Support Vector Regression (SVR), in land subsidence susceptibility mapping for the Ca Mau Peninsula. Eight layers include elevation, geology, soil, land cover, NDVI, groundwater depth, distance to roads, and distance to rivers, which are considered the most influential factors in land subsidence in this area. Both models were trained on a dataset including 40 sample points provided by the Department of Surveying, Mapping, and Geographic Information of Vietnam, and the remaining subsidence measurements were processed using PSInSAR from Sentinel-1 images between November 2014 and January 2019. The total dataset was divided into training (70%) and testing (30%) sets. The Google Earth Engine platform was used to build the models. Two land subsidence susceptibility maps were constructed using the training dataset. The area under the curve AUC was utilized to assess the model's performance for both the training and testing sets. The results of this study indicate that the GB model produces a more accurate land subsidence susceptibility compared to the SVR model.

**Keywords:** Land subsidence; GB; SVR; GEE; CaMau.

Bài báo khoa học

## **Đánh giá xu hướng biến động mưa trên lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn giai đoạn 1978-2020**

**Nguyễn Thành Long<sup>1\*</sup>, Nguyễn Tú Anh<sup>1</sup>, Đỗ Thị Ngọc Bích<sup>1</sup>, Lê Văn Linh<sup>1</sup>, Hoàng Thị Thảo<sup>1</sup>, Nguyễn Hoàng Bách<sup>1</sup>, Hoàng Bích Ngọc<sup>1</sup>, Phạm Lan Anh<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Viện Khoa học Tài nguyên nước; longnt.works@gmail.com; tuanhevp@gmail.com; bichdam555@gmail.com; linhlevan6527@gmail.com; thaohoang0602@gmail.com; bachnh46@wru.vn; ngochhoang22@gmail.com; plananh.151199@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: longnt.works@gmail.com; Tel.: +84-948451652

Ban Biên tập nhận bài: 9/10/2023; Ngày phản biện xong: 3/11/2023; Ngày đăng bài: 25/1/2024

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày những kết quả thống kê, tính toán và kiểm định phi tham số Mann-Kendall để phân tích xu thế mưa tại 16 trạm đo thuộc lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn trong giai đoạn từ năm 1978 đến năm 2020. Kết quả cho thấy xu thế gia tăng lượng mưa theo mùa (mùa khô và mùa mưa) và theo cả năm trên phạm vi toàn lưu vực. Cụ thể hơn, trong cả năm, giá trị phi tham số S mức độ ý nghĩa 95% tại tất cả các trạm đều biểu thị xu hướng tăng. Trong đó, trạm Hiên là trạm ghi nhận sự biến động lượng mưa lớn nhất khi tăng 0,978% (trong cả năm) và tăng 0,758% (vào mùa mưa). Chỉ xét riêng sự biến động vào mùa khô, trạm Khâm Đức cho thấy sự thay đổi rõ rệt nhất khi lượng mưa gia tăng 2,138%. Bài báo cũng đã thực hiện tính toán xu thế Sen cho các xu thế mưa toàn lưu vực vào các giai đoạn được thống kê. Những kết quả nghiên cứu đã góp phần tính toán xu thế biến động về lượng nước đến lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn trong giai đoạn 1978-2020, mang ý nghĩa thực tiễn trong quản lý và phân bổ tài nguyên nước hợp lý cho các nhu cầu sử dụng nước trên lưu vực.

**Từ khóa:** Xu thế mưa; Phi tham số Seasonal Mann- Kendall; Xu thế Sen.

### **1. Giới thiệu**

Biến đổi khí hậu là sự biến đổi đáng kể về mức trung bình của khí hậu tồn tại qua nhiều thập kỷ hoặc thậm chí trong thời gian dài hơn, có ảnh hưởng rõ nét đến tất cả các khu vực trên thế giới. Những thay đổi về khí hậu kéo theo những biến chuyển rõ ràng về các đặc điểm khí tượng theo từng năm, do đó, kết quả đánh giá xu hướng biến động của từng yếu tố khí tượng đơn lẻ sẽ phản ánh trực tiếp những xu thế biến đổi khí hậu trong phạm vi khu vực và trên thế giới [1-3].

Lượng mưa thường được sử dụng như một đại lượng để kiểm tra các biến đổi của khí hậu và các kiểu thời tiết, có vai trò quan trọng trong việc đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đối với cả môi trường tự nhiên và quá trình phát triển kinh tế xã hội. Tiến hành nghiên cứu và phân tích về sự thay đổi dài hạn của lượng mưa cùng các mô hình thuộc tính cho phép đánh giá tần suất các hiện tượng thời tiết cực đoan như lũ lụt, hạn hán, từ đó hỗ trợ hiệu quả việc xây dựng các chiến lược giảm thiểu và kiểm soát rủi ro liên quan đến thiên tai xảy ra trên lưu vực. Có thể thấy, những kết quả phân tích đánh giá phân bố và sự thay đổi của mưa theo không gian và thời gian quyết định đến sự phát triển bền vững của kinh tế - xã hội và các hệ sinh thái, đặc biệt trong bối cảnh những tác động của biến đổi khí hậu đang ngày một rõ rệt. Mưa thường được sử dụng để nghiên cứu các biến động của khí hậu và

thời tiết, và là một trong những yếu tố quan trọng nhất trong đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến môi trường sinh thái và các hoạt động phát triển kinh tế xã hội trên lưu vực. Nghiên cứu, xem xét các thay đổi của mưa (và nhiệt độ) trong thời gian dài cùng với các đặc trưng, xu hướng biến đổi của mưa sẽ cho phép xem xét tần suất xuất hiện của các hiện tượng thời tiết cực đoan như lũ lụt, hạn hán, ngập lụt đô thị. Do đó, phân tích đánh giá phân bố và sự thay đổi của mưa theo không gian và thời gian là yếu tố then chốt quyết định đến sự phát triển bền vững của kinh tế - xã hội, của các hệ sinh thái cũng như trợ giúp cho việc đề xuất các giải pháp nhằm giảm thiểu và quản lý rủi ro thiên tai do lũ lụt và hạn hán xảy ra trên lưu vực, nhất là trước những thách thức và tác động của biến đổi khí hậu.

Rất nhiều nghiên cứu về sự biến đổi lượng mưa trên toàn cầu và khu vực đã được công bố [4–17], các con số thống kê đã cho thấy rằng tổng lượng mưa và các đặc điểm mưa khác đã thay đổi rất nhiều, đặc biệt là tần suất mưa lớn hơn, ngay cả khi lượng mưa trung bình không thay đổi nhiều. Ngoài ra, trong thế kỷ 20, hạn hán đã tăng lên, và các nghiên cứu sử dụng chỉ số đo mức độ hạn hán Palmer (PDSI) đã phát hiện ra rằng từ những năm 1970 đến nay, số lượng đất khô trên toàn cầu đã tăng gấp đôi [18].

Các tác giả Isidore và Joseph trong nghiên cứu của mình đã phân tích diễn biến lượng mưa từ năm 1990 đến năm 2020 ở Burkina Faso (Tây Phi) thông qua việc thu thập và chuẩn hóa dữ liệu về lượng mưa hàng tháng thu thập từ Cơ quan Khí tượng Quốc gia Burkina Faso [19]. Nghiên cứu đã cho thấy tổng lượng mưa hàng năm tại quốc gia này đang tăng lên trong khoảng thời gian từ năm 1990 đến năm 2020, được thể hiện bằng các giai đoạn mùa khô và mùa mưa xen kẽ. Hơn nữa, lượng mưa tập trung nhiều hơn vào một số tháng (tháng 7, tháng 8, tháng 9) ở khu vực phía Bắc do chỉ số tập trung lượng mưa (RCI)  $\geq 25\%$  trong khoảng thời gian từ 1990 đến 2020 và lượng mưa trải đều hơn ở các vùng vài tháng (tháng 5, 6, 7, 8, 9, 10) ở khu vực Tây Nam Bộ, do RCI dao động trong khoảng 18,13% đến 19,09%, ngoại trừ thập kỷ 2000-2010 khi RCI là 20,3%.

Tại Việt Nam, trong những năm gần đây cũng đã có nhiều nghiên cứu về đặc điểm và xu thế biến đổi của lượng mưa, với đa dạng các phương pháp sử dụng có thể kể đến như phương trình hồi quy tuyến tính, xu thế Sen và kiểm nghiệm phi tham số Mann-Kendall. Trong năm 2021, nghiên cứu [20] đã ứng dụng các phương pháp phân tích kể trên nhằm nghiên cứu đánh giá xu thế biến đổi của lượng mưa ngày tại đảo Phú Quốc. Các kết quả cho thấy, theo phân tích hồi quy tuyến tính, lượng mưa khu vực biến động không nhiều, mùa mưa và cả năm lượng mưa đang có xu hướng giảm, còn lượng mưa trong mùa khô có xu hướng tăng lên. Theo biểu đồ biểu diễn xu thế Sen thì tháng 7 có xu hướng tăng mạnh nhất, trong khi tháng 8 có xu hướng giảm mạnh nhất.

Năm 2022, nhóm tác giả Lê Thị Thu Hiền, Phạm Văn Chiến cũng đã thực hiện nghiên cứu đánh giá xu hướng biến động mưa trên lưu vực sông Cà trong giai đoạn 1959-2016 [21]. Thông qua sử dụng dữ liệu mưa thực đo tại 8 trạm kết hợp cùng phân tích thống kê và kiểm định Mann-Kendall, nghiên cứu đã cho kết quả thể hiện rằng lượng mưa tháng có xu hướng giảm từ -0,06 đến -3,21 mm/tháng tại vùng thượng và hạ lưu, từ -0,01 đến -1,15 mm/tháng tại vùng trung lưu. Xu hướng giảm không chỉ xuất hiện trong các tháng mùa khô từ tháng 5-11 mà còn xảy ra ở các tháng mùa mưa như tháng 6. Lượng mưa tháng có xu hướng gia tăng trong tháng 7, với giá trị lên đến 3,80 mm/tháng.

Lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn là một trong những hệ thống sông lớn của Việt Nam, đóng góp rất lớn vào sự phát triển văn hóa - kinh tế - xã hội trong toàn khu vực. Tuy vậy, do đặc điểm địa hình và chịu ảnh hưởng của sự biến đổi khí hậu nên khu vực nghiên cứu có lượng mưa lớn hơn nhiều so với các lưu vực lân cận, gia tăng nguy cơ xảy ra lũ lụt, có thể gây thiệt hại nghiêm trọng về người và tài sản. Do đó, việc thực hiện nghiên cứu, đánh giá xu thế biến động mưa vô cùng cần thiết và có ý nghĩa lớn cho quản lý tài nguyên nước, phát triển kinh tế và đảm bảo an sinh xã hội cho lưu vực.

Thông qua việc kết hợp một số phương pháp khác nhau như: phương trình hồi quy tuyến tính, phương pháp đánh giá xu thế Sen và kiểm định phi tham số Seasonal Mann-

Kendall, bài báo này công bố các kết quả đánh giá về xu thế biến đổi của lượng mưa tại lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn giai đoạn từ năm 1978 đến năm 2020 dựa trên các số liệu thực đo tại các trạm trên lưu vực.

## 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

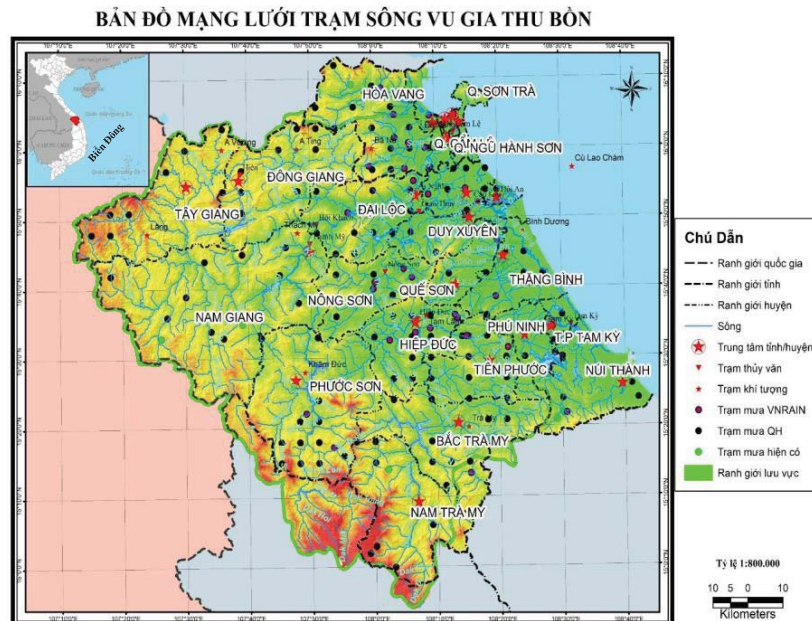
### 2.1. Khu vực nghiên cứu và dữ liệu đầu vào

Bài báo thực hiện nghiên cứu tại lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn, khu vực địa phận tỉnh Quảng Nam và thành phố Đà Nẵng. Nghiên cứu cũng lựa chọn thu thập số liệu tại 16 trạm đo mưa thuộc lưu vực sông tại các địa điểm: Ái Nghĩa, Cẩm Lệ, Câu Lâu, Đà Nẵng, Giao Thủy, Hiên, Hiệp Đức, Hội An, Hội Khách, Khâm Đức, Nông Sơn, Quế Sơn, Tam Kỳ, Thành Mỹ, Tiên Phước, Trà My. Vị trí và yếu tố đo của từng trạm được thể hiện trong Bảng 1 và Hình 1. Số liệu được sử dụng trong nghiên cứu là số liệu lượng mưa ngày (lượng mưa theo ngày) tại các trạm đo mưa trong giai đoạn từ năm 1978-2020, đã được xử lý phân tích thành các chuỗi mưa tháng, năm.

**Bảng 1.** Thống kê các trạm khí tượng thủy văn trên lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn.

TT	Trạm	Yếu tố đo	Vĩ độ	Kinh độ
1	Đà Nẵng	X, T, U, Z, V	16°02'	108°11'
2	Trà My	X, T, U, Z, V	15°21'	108°13'
3	Tam Kỳ	X, T, U, Z, V	15°33'	108°30'
4	Tiên Phước	X	15°29'	108°18'
5	Hiên	X	15°55'	107°39'
6	Quế Sơn	X	15°42'	108°13'
7	Khâm Đức	X	15°26'	107°47'
8	Ái Nghĩa	X	15°53'	108°07'
9	Cẩm Lệ	X	16°00'	108°02'
10	Câu Lâu	X	15°51'	108°17'
11	Giao Thủy	X	15°48'	108°01'
12	Hội An	X	15°52'	108°20'
13	Hội Khách	X	15°49'	107°49'
14	Nông Sơn	X	15°42'	108°03'
15	Sơn Tân (Hiệp Đức)	X	16°06'	108°13'
16	Thành Mỹ	X	15°46'	107°50'

Trong đó X là lượng mưa, T là nhiệt độ, U là số giờ nắng, Z là bốc hơi, V là tốc độ gió.

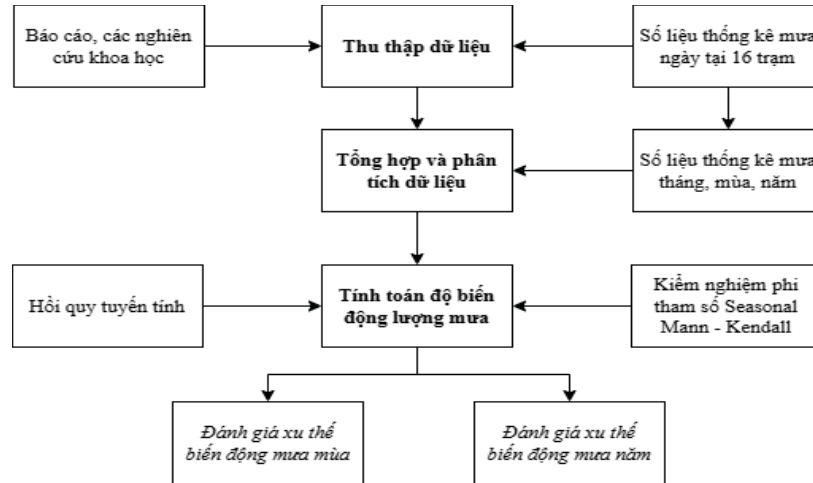


**Hình 1.** Bản đồ mạng lưới trạm sông Vu Gia - Thu Bồn.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

a) Phương pháp luận

Nghiên cứu sẽ tiến hành tổng hợp và phân tích các dữ liệu về lượng mưa (theo ngày) đã được thu thập từ các trạm đo trên lưu vực sông, từ đó xây dựng dữ liệu nền là lượng mưa theo tháng, theo mùa và theo năm để thực hiện kiểm nghiệm xu hướng biến động. Mục đích của phân tích xu thế biến đổi của chuỗi số liệu theo thời gian là xác định các biến đổi của một biến ngẫu nhiên là tăng hay giảm theo thời gian hay xác suất phân bố thay đổi theo thời gian. Trong nghiên cứu này, các phương pháp hồi quy tuyến tính, kiểm nghiệm phi tham số Seasonal Mann-Kendall (SMK), xu thế Sen đã được áp dụng. Trình tự thực hiện của nghiên cứu được sơ đồ hóa trong Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ quy trình thực hiện nghiên cứu.

b) Kiểm nghiệm phi tham số SMK (Seasonal Mann-Kendall)

Phương pháp kiểm nghiệm phi tham số SMK được phát triển nhằm mục đích [23–25] kiểm tra xu hướng đơn điệu của biến quan tâm khi dữ liệu được thu thập theo thời gian dự kiến sẽ thay đổi theo cùng một hướng (lên hoặc xuống) trong một hoặc nhiều mùa. SMK được áp dụng cho chuỗi dữ liệu theo tháng, theo mùa, đặc biệt SMK không nhạy cảm đối với các trường hợp bị thiếu dữ liệu và dữ liệu lỗi [26].

Thống kê SMK được định nghĩa như sau:

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_i - x_j) \tag{1}$$

Trong đó N là số lượng điểm dữ liệu. Giả sử  $(x_j - x_i) = \theta$ , giá trị của  $\text{sgn}(\theta)$  được tính như sau:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} +1, & \theta > 0 \\ 0, & \theta = 0 \\ -1, & \theta < 0 \end{cases} \tag{2}$$

Thống kê này thể hiện số chênh lệch dương trừ đi số chênh lệch âm cho tất cả các khác biệt được xem xét. Đối với các mẫu lớn ( $N > 10$ ), phép thử được tiến hành sử dụng phân phối chuẩn với giá trị trung bình và phương sai như sau:

$$E[S] = 0$$

$$\text{Var}(S) = \frac{N(N-1)(2N+5) - \sum_{k=1}^n t_k(t_k-1)(2t_k+5)}{18} \tag{3}$$

Trong đó n là số lượng nhóm bị ràng buộc (chênh lệch bằng 0 giữa các giá trị được so sánh) và  $t_k$  là số lượng điểm dữ liệu trong nhóm ràng buộc thứ k. Khi đó độ lệch chuẩn chuẩn (thống kê Z) được tính như sau:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Giá trị của Z được tính toán và nếu giá trị nằm trong giới hạn  $\pm 1,96$  thì giả thuyết về việc không có xu hướng trong chuỗi không thể bị bác bỏ ở mức độ tin cậy 95%.

c) Xu thế Sen (Sen's slope)

Độ lớn của xu hướng trong chuỗi thời gian có thể được xác định bằng phương pháp phi tham số được gọi là công cụ ước tính Sen (hay xu thế Sen). Phương pháp này giả định một xu hướng tuyến tính trong chuỗi thời gian. Trong phương pháp này, độ dốc ( $T_i$ ) của tất cả các cặp dữ liệu được tính như sau:

$$T_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (5)$$

Trong đó  $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ;  $x_j$  và  $x_k$  lần lượt là các giá trị dữ liệu tại thời điểm  $j$  và  $k$  ( $j > k$ ). Trung vị của các giá trị  $N$  này của  $T_i$  cho ra ước lượng độ dốc (Q) của Sen. Giá trị dương của Q biểu thị xu hướng tăng và giá trị âm biểu thị xu hướng giảm trong chuỗi thời gian, với cách tính như sau:

$$Q = \begin{cases} Q_{(N + \frac{1}{2})}, & N \text{ lẻ} \\ \frac{Q_{(\frac{N}{2})} + Q_{(\frac{N+2}{2})}}{2}, & N \text{ chẵn} \end{cases} \quad (6)$$

### 3. Kết quả

#### 3.1. Xu hướng thay đổi mưa năm

Kết quả kiểm định SMK xu thế lượng mưa tại các trạm đo trên lưu vực sông Vu Gia Thu Bồn được thể hiện trong Bảng 2. Theo đó, kết quả kiểm định tham số SMK cho giá trị  $S > 0$  ở tất cả các trạm đo mưa, điều này chứng tỏ lượng mưa ở lưu vực sông có xu hướng chung đều gia tăng theo thời gian. Theo số liệu tính toán, lượng mưa trung bình năm tại khu vực là 2630,8mm và thống kê cho thấy có 6/16 trạm ghi nhận lượng mưa trung bình hàng năm cao hơn mức này bao gồm trạm Hiệp Đức, Khâm Đức, Nông Sơn, Tam Kỳ, Tiên Phước và Trà My. Trạm ghi nhận lượng mưa trung bình năm lớn nhất là Trà My (đạt 4165,98 mm), trong khi trạm có lượng mưa ít nhất là Hội Khách (1692,77 mm).

So sánh số liệu tính toán với báo cáo Quy hoạch thủy lợi tỉnh Quảng Nam [22], số liệu tính toán là hoàn toàn trùng khớp. Cụ thể hơn theo báo cáo, lượng mưa hàng năm trên lưu vực sông từ 2.000-4.000 mm và được phân bố dựa theo đặc điểm địa hình tại từng khu vực, với từ 3.000-4.000 mm ở vùng núi cao (Trà My, Tiên Phước); từ 2.500-3.000 mm ở vùng núi trung bình (Khâm Đức, Nông Sơn, Quế Sơn) và từ 2.000-2.500 mm ở các vùng núi thấp và đồng bằng ven biển (Tây Giang, Đông Giang, Ba Na, Hội Khách, Ái Nghĩa, Giao Thủy, Hội An, Đà Nẵng).

**Bảng 2.** Các đặc trưng thống kê của lượng mưa năm.

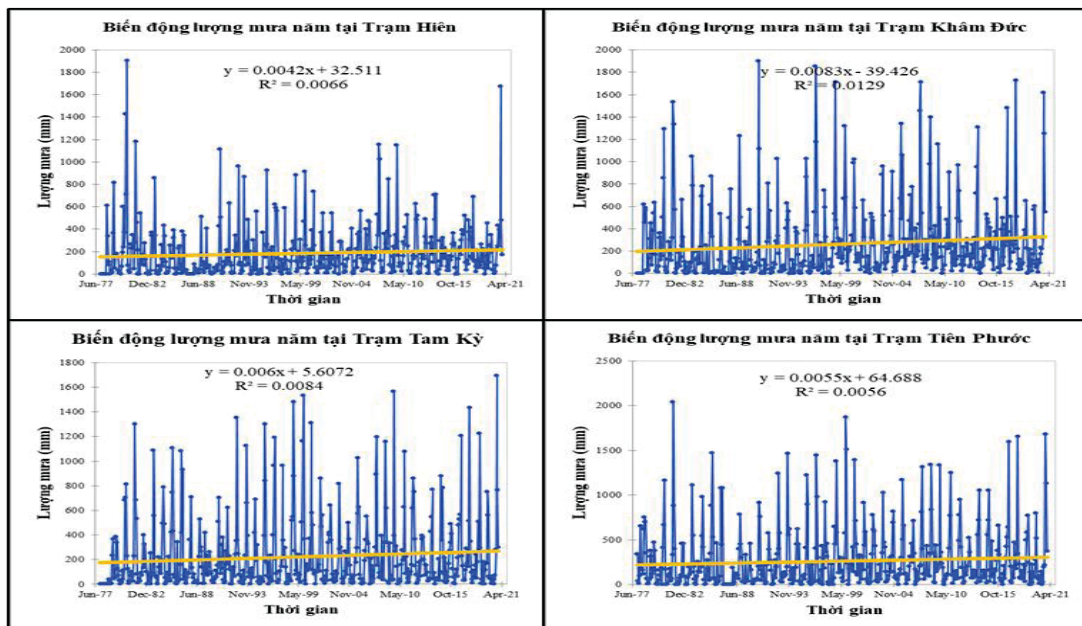
Trạm	Lượng mưa trung bình năm (mm)	SMK (S)	Sen's slope	Độ thay đổi (%)
Trạm Ái Nghĩa	2428,86	456	0,458	0,227
Trạm Cẩm Lệ	2231,78	749	0,325	<b>0,175*</b>
Trạm Câu Lâu	2164,84	773	0,471	<b>0,261*</b>
Trạm Đà Nẵng	2381,88	534	0,496	0,25



Trạm	Lượng mưa trung bình năm (mm)	SMK (S)	Sen's slope	Độ thay đổi (%)
Trạm Giao Thủy	2476,04	78	0,367	0,178
Trạm Hiên	2216,52	2063	1,807	<b>0,978***</b>
Trạm Hiệp Đức	3047,13	753	1,187	<b>0,467*</b>
Trạm Hội An	2214,96	452	0,252	0,136
Trạm Hội Khách	1962,77	1107	0,917	<b>0,56**</b>
Trạm Khâm Đức	3160,71	2202	1,749	<b>0,664***</b>
Trạm Nông Sơn	2985,83	685	0,543	<b>0,218*</b>
Trạm Quế Sơn	2482,22	220	0,189	0,092
Trạm Tam Kỳ	2692,46	1340	1,405	<b>0,626***</b>
Trạm Thành Mỹ	2302,52	523	0,480	0,25
Trạm Tiên Phước	3178,38	1377	1,355	<b>0,512***</b>
Trạm Trà My	4165,98	455	0,880	0,254

Chú thích: \* ứng với mức ý nghĩa ( $p < 0,05$ ); \*\* ứng với mức ý nghĩa ( $p < 0,01$ ); \*\*\* ứng với mức ý nghĩa ( $p < 0,001$ ).

Theo tính toán, giá trị phi tham số  $S > 0$  ở tất cả các trạm, biểu hiện cho xu hướng gia tăng chung về lượng mưa của toàn lưu vực. Xét điều kiện thỏa mãn mức ý nghĩa khi  $p < 0,05$ , thống kê cho thấy có 9 trạm thỏa mãn điều kiện này, chiếm 56,25%. Trong đó, có 4 trạm có mức ý nghĩa rất cao với  $p < 0,001$  (bao gồm các trạm Hiên, Khâm Đức, Tam Kỳ và Tiên Phước); 1 trạm có mức ý nghĩa cao với  $p < 0,01$  (trạm Hội Khách) và 4 trạm có mức ý nghĩa  $p < 0,05$  (bao gồm các trạm Cẩm Lệ, Câu Lâu, Hiệp Đức và Nông Sơn). Trong số 9 trạm kể trên, độ biến động trung bình đạt 0,464%; với giá trị thấp nhất tại trạm Cẩm Lệ (0,175%) và giá trị cao nhất tại trạm Hiên (0,978%). Cũng theo tính toán, trạm Hiên là trạm có giá trị xu thế Sen cao nhất là 1,807 cùng với giá trị tham số S đạt 2063.

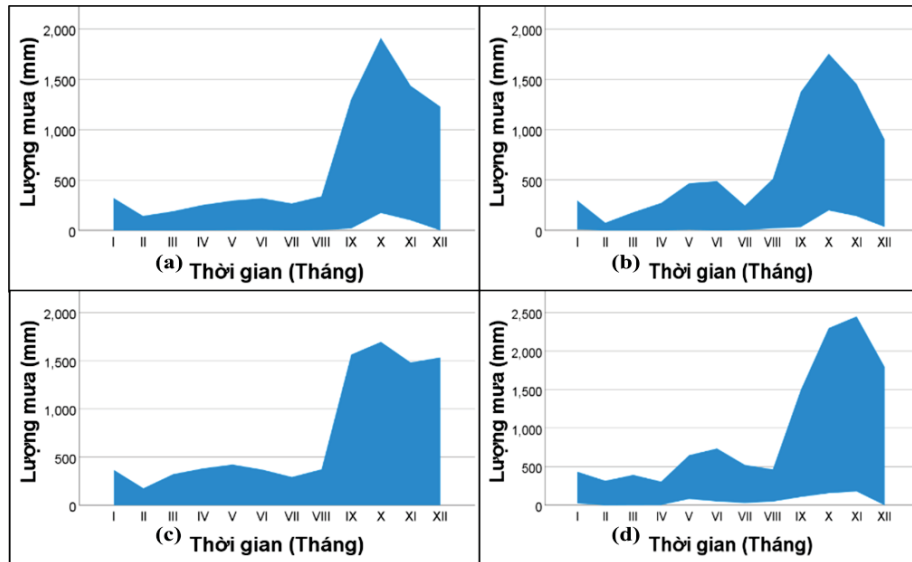


Hình 3. Biến đổi lượng mưa theo năm tại trạm Hiên, trạm Khâm Đức, trạm Tam Kỳ và trạm Tiên Phước.

### 3.2. Xu hướng thay đổi mưa mùa

Theo báo cáo Quy hoạch thủy lợi tỉnh Quảng Nam [5], mùa mưa hàng năm trên lưu vực sông thường kéo dài 4 tháng (từ tháng IX đến tháng XII), mùa khô kéo dài 8 tháng (từ tháng I đến tháng VIII). Riêng tháng V và tháng VI xuất hiện đỉnh mưa phụ, càng về phía

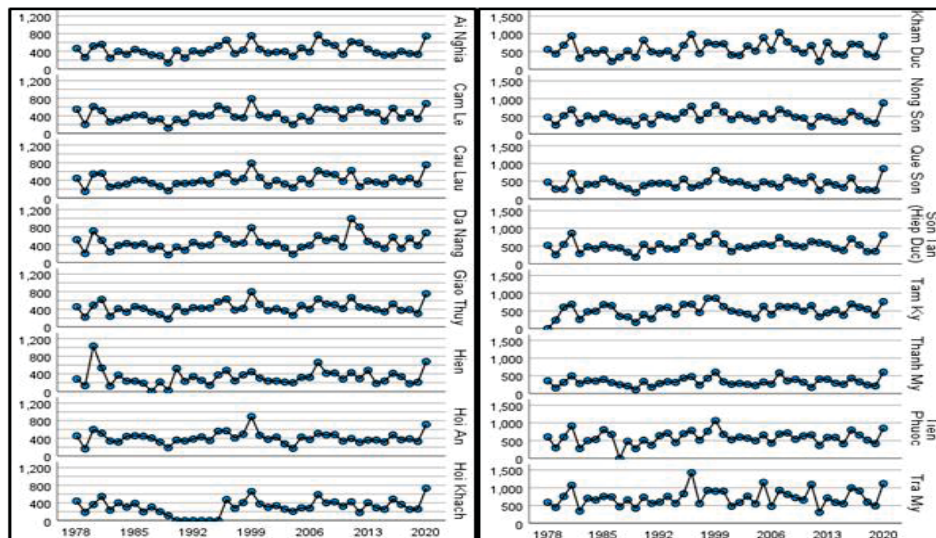
Tây của vùng nghiên cứu đỉnh mưa phụ càng rõ nét hơn, hình thành thời kỳ tiểu mãn trên các lưu vực sông. Điều này khá tương đồng với biến động mưa được thể hiện trong Hình 4, khi lượng mưa tháng tại các trạm đều có xu hướng tăng mạnh vào các tháng cuối năm, trong khi 2 tháng V và VI xuất hiện đỉnh mưa.



**Hình 4.** Biến động mưa theo từng tháng tại một số trạm đo mưa: (a) Trạm Câu Lâu; (b) Trạm Đà Nẵng; (c) Trạm Tam Kỳ; (d) Trạm Trà My.

a) Xu hướng thay đổi trong mùa mưa

Những biến động trong lượng mưa vào mùa mưa được tổng hợp từ các dữ liệu được ghi nhận trong 04 tháng cuối năm tại 16 trạm đo mưa thuộc lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn. Kết quả biến động mưa theo mùa mưa được thể hiện Hình 5 và các kết quả tính toán thống kê cùng tham số SMK được thể hiện trong Bảng 3.



**Hình 5.** Lượng mưa trong mùa mưa tại các trạm đo mưa.

Từ kết quả tính toán, nhận thấy, trong khoảng thời gian nghiên cứu từ năm 1978 đến năm 2020, lượng mưa trung bình trong mùa mưa dao động từ 301 mm (tại trạm Hội Khách) đến 717,14 mm (được ghi nhận tại trạm Trà My). Có 6 trong tổng số 16 trạm đo ghi nhận mức mưa cao hơn mức trung bình của toàn khu vực (457,17 mm) bao gồm các trạm Hiệp Đức, Khâm Đức, Nông Sơn, Tam Kỳ, Tiên Phước và Trà My.

**Bảng 3.** Các đặc trưng thống kê của lượng mưa mùa mưa.

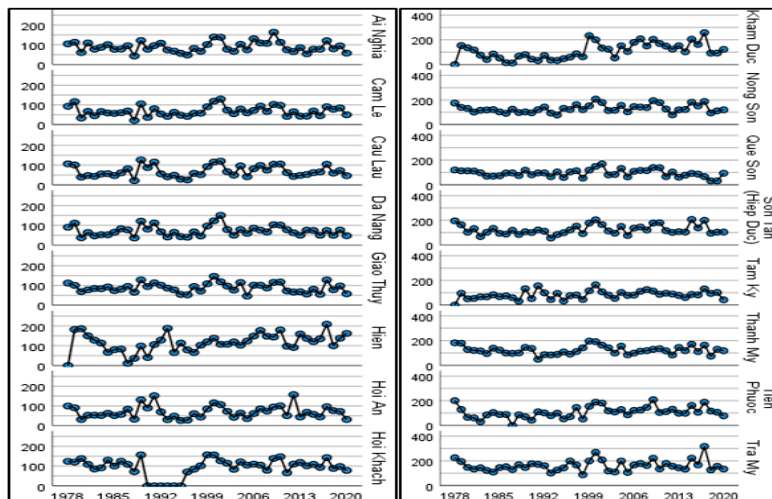
Trạm	Lượng mưa trung bình	SMK (S)	Sen's slope	Độ thay đổi (%)
Trạm Ái Nghĩa	427,59	224	1,110	0,26
Trạm Cẩm Lệ	420,83	268	1,937	0,46
Trạm Cầu Lâu	402,86	245	1,683	0,418
Trạm Đà Nẵng	450,75	347	1,929	0,428
Trạm Giao Thủy	441,01	201	0,898	0,204
Trạm Hiên	321,70	445	2,438	<b>0,758*</b>
Trạm Hiệp Đức	512,61	212	2,403	0,469
Trạm Hội An	414,96	8	-0,032	-0,008
Trạm Hội Khách	301,00	430	2,000	<b>0,664*</b>
Trạm Khâm Đức	571,91	145	0,503	0,088
Trạm Nông Sơn	484,37	110	0,910	0,188
Trạm Quế Sơn	431,66	62	0,744	0,172
Trạm Tam Kỳ	507,12	350	2,156	0,425
Trạm Thành Mỹ	330,25	172	1,614	0,489
Trạm Tiên Phước	578,92	202	1,614	0,279
Trạm Trà My	717,14	111	0,954	0,133

Chú thích: \* ứng với mức ý nghĩa ( $p < 0,05$ ).

Cũng theo thống kê, trạm Hội An là trạm đo duy nhất ghi nhận xu hướng giảm về lượng mưa vào mùa mưa trong 43 năm, trong khi đó, giá trị  $S > 0$  ở 15 trạm còn lại đã biểu thị xu hướng gia tăng chung của biến động của lượng mưa trong mùa mưa tại khu vực. Tuy vậy, khi xét đến tham số thể hiện độ tin cậy p-value của các số liệu, chỉ có duy nhất trạm Hội Khách và trạm Hiên có mức ý nghĩa cao khi ghi nhận giá trị  $p < 0,05$ . Cụ thể hơn, trạm Hiên ghi nhận giá trị phi tham số S là 445 cùng độ dốc Sen 2,438. Các giá trị này ở trạm Hội Khách được tính toán lần lượt là 430 và 2,0. Các tính toán cũng làm rõ sự khác biệt về xu thế mưa của 02 trạm này cao hơn hẳn so với 14 trạm còn lại, lần lượt đạt mức 0,758% và 0,664% khi so với trung bình của 14 trạm còn lại chỉ đạt 0,29%.

b) Xu hướng thay đổi trong mùa khô

Những biến động trong lượng mưa vào mùa khô được tổng hợp từ các dữ liệu được ghi nhận trong 08 tháng đầu năm tại 16 trạm đo mưa thuộc lưu vực sông Vu Gia–Thu Bồn. Sự biến động về lượng mưa tại từng trạm qua từng năm trong giai đoạn nghiên cứu được sơ đồ hóa trong Hình 6.



**Hình 6.** Lượng mưa theo mùa khô tại các trạm đo mưa.

Vào mùa khô, lượng mưa trung bình của toàn lưu vực giảm xuống ở mức 100,27 mm. Trong đó, giá trị cao nhất được ghi nhận ở trạm Trà My (đạt 162,18 mm) và giá trị thấp nhất ở trạm Cẩm Lệ (ở mức 68,56 mm). Các số liệu thống kê và các tham số đặc trưng về xu hướng mưa trong mùa khô được thể hiện ở Bảng 4.

**Bảng 4.** Các đặc trưng thống kê của lượng mưa mùa khô.

Trạm	Lượng mưa trung bình	SMK (S)	Sen's slope	Độ thay đổi (%)
Trạm Ái Nghĩa	89,81	232	0,210	0,233
Trạm Cẩm Lệ	68,56	481	0,275	0,401
Trạm Câu Lâu	69,17	528	0,216	0,312
Trạm Đà Nẵng	72,36	187	0,164	0,227
Trạm Giao Thủy	89,00	-123	0,139	0,156
Trạm Hiên	116,22	1618	1,807	<b>1,555***</b>
Trạm Hiệp Đức	124,59	541	0,767	<b>0,615*</b>
Trạm Hội An	69,39	444	0,252	0,363
Trạm Hội Khách	94,85	677	0,576	<b>0,607*</b>
Trạm Khâm Đức	109,13	2057	2,333	<b>2,138***</b>
Trạm Nông Sơn	131,04	575	0,543	<b>0,414*</b>
Trạm Quế Sơn	94,45	158	0,189	0,201
Trạm Tam Kỳ	83,00	990	0,586	<b>0,706***</b>
Trạm Thành Mỹ	122,69	351	0,329	0,268
Trạm Tiên Phước	107,84	1175	1,355	<b>1,257***</b>
Trạm Trà My	162,18	344	0,880	0,543

Chú thích: \* ứng với mức ý nghĩa ( $p < 0,05$ ); \*\* ứng với mức ý nghĩa ( $p < 0,01$ ); \*\*\* ứng với mức ý nghĩa ( $p < 0,001$ ).

Từ bảng kết quả tính toán thống kê, có thể thấy xu hướng gia tăng lượng mưa chung của toàn lưu vực vào mùa khô, khi có 15/16 trạm cho giá trị  $S > 0$  (ngoại trừ trạm Giao Thủy ghi nhận xu hướng giảm khi  $S = -123$ ). Tuy vậy, mức ý nghĩa tại Giao Thủy không được đánh giá cao, khi p-value của trạm chỉ đạt 0,652. Xét đến điều kiện  $p < 0,05$  làm mức ý nghĩa, nghiên cứu xác định được 7 trạm cho mức ý nghĩa phù hợp, đạt 43,75%. Trong số đó, có 4 trạm đạt mức ý nghĩa rất cao ( $p < 0,001$ ) bao gồm trạm Hiên, Khâm Đức, Tam Kỳ và Tiên Phước; cùng 3 trạm đạt mức ý nghĩa trung bình cao ( $0,01 < p < 0,05$ ) bao gồm Hiệp Đức, Hội Khách và Nông Sơn.

Trong 07 trạm có độ tin cậy cao kể trên, độ biến động của lượng mưa đều có xu hướng tăng, với giá trị tăng nằm trong khoảng từ 0,607% đến 2,138%, đạt mức tăng trung bình khoảng 1,04%/trạm. Nếu chỉ xét riêng đối với 4 trạm có độ tin cậy rất cao, kết quả này tăng lên 1,41%/trạm. Trong đó, trạm Khâm Đức là nơi ghi nhận có sự thay đổi lượng mưa cao nhất với 2,138% cùng với giá trị tham số S và độ dốc Sen lần lượt đạt 2057 và 2,333. Trạm có mức tăng ít nhất được ghi nhận trong 07 trạm kể trên là trạm Nông Sơn (0,414%), với các giá trị tham số S là 158 và độ dốc Sen là 0,543.

#### 4. Kết luận

Bài báo đã đánh giá xu thế biến động của lượng mưa tại 16 trạm đo mưa tại lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn trong thời gian 43 năm (từ năm 1978 đến năm 2020) theo từng mùa và theo năm. Trong bài báo đã kết hợp sử dụng nhiều phương pháp thống kê và các chỉ số, tham số khác nhau. Kết quả tính toán cho thấy xu thế biến đổi của lượng mưa theo mùa mưa, mùa khô và cả năm đều có xu hướng gia tăng. Tuy vậy, có sự biến đổi không đồng đều giữa các mùa trong năm, và giữa các trạm trong cùng lưu vực. Cụ thể hơn, đối với biến

động mưa năm, 09 trạm có dữ liệu thống kê thỏa mãn điều kiện về mức ý nghĩa bao gồm trạm Hiên, Khâm Đức, Tam Kỳ, Tiên Phước, Hội Khách, Cẩm Lệ, Câu Lâu, Hiệp Đức và Nông Sơn. Giá trị mưa trung bình năm được tính toán ở mức 219,23 mm, với lượng mưa lớn nhất tại trạm Trà My (347,17 mm) và lượng mưa thấp nhất tại trạm Câu Lâu (180,4 mm). Giá trị phi tham số S của 09 trạm có mức ý nghĩa cao dao động từ 749 (trạm Cẩm Lệ) đến 2202 (trạm Khâm Đức). Biến động lượng mưa lớn nhất thuộc về trạm Hiên với giá trị là tăng 0,987; cùng với giá trị phi tham số S và xu thế Sen lần lượt là 2063 và 1,807.

Các giá trị thống kê theo mùa cũng cho kết quả tương tự về xu thế, khi đa số các trạm đều ghi nhận lượng mưa trung bình theo mùa tăng hàng năm. Vào mùa mưa, lượng mưa tăng đáng kể nhất tại trạm Hiên với độ biến động 0,758 cùng giá trị S và xu thế Sen lần lượt là 445 và 2,438. Vào mùa khô, giá trị biến động lớn nhất tại Khâm Đức khi tăng 2,138%, cùng với các giá trị S là 2057 và độ dốc Sen là 2,333. Trong 43 năm từ 1978 đến 2020, xu thế mưa tăng vào mùa khô là một tín hiệu tốt. Bên cạnh đó, giá trị mưa tăng vào mùa mưa lại là thách thức và khó khăn lớn đối với cơ sở hạ tầng và an sinh xã hội.

Trong quá trình thống kê và phân tích, các kết quả của nghiên cứu còn gặp nhiều hạn chế về dữ liệu đầu vào. Các số liệu biến động lượng mưa chưa thực sự đầy đủ tại tất cả các trạm, dẫn đến sự thiếu ổn định và nhất quán về số liệu chung. Diễn hình là vào mùa mưa, chỉ có 2 trong tổng số 16 trạm cho giá trị mức độ ý nghĩa p-value thỏa mãn điều kiện  $<0,05$  (chiếm 12,5%). Tỷ lệ này vào mùa khô và cả năm lần lượt là 43,75% và 56,25%. Do đó, những nhận định về xu thế vào mùa mưa không thể phản ánh xu thế chung của toàn lưu vực.

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

**Lời cảm ơn:** Bài báo hoàn thành nhờ sự trợ giúp từ đề tài KHCN cấp Bộ “Nghiên cứu xây dựng quy định kỹ thuật về định giá tài nguyên nước trên lưu vực sông theo hướng dẫn của Liên Hợp Quốc (UN WWDR 2021)”, mã số TNMT.2022.02.14 do Viện Khoa học tài nguyên nước chủ trì thực hiện.

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

#### Tài liệu tham khảo

1. IPCC. Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA. 2001, pp. 398.
2. IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom and New York, USA. 2007, pp. 104.
3. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, Switzerland. 2014, pp. 151.
4. Van Belle, G.; Hughes, J.P. Nonparametric tests for trend in water quality. *Water Resour Res.* **1984**, *20*, 127–136.
5. Yu, Y.S.; Zou, S. Whittemore D. Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *J. Hydrol.* **1993**, *150*, 61–80.
6. Turkeş, M. Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *Int. J. Climatol.* **1996**, *16*, 1057–1076.

7. Yue, S.; Wang, C. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water Resour. Manag.* **2004**, *18*, 201–218.
8. Admassu, S.; Seid, I.A.H. Analysis of rainfall trend in Ethiopia. *Ethiopian. J. Sci. Technol.* **2006**, *3(2)*, 15–30.
9. Guhathakurta, P.; Rajeevan, M. Trends in the rainfall pattern over India. *NCC Res. Report* **2006**, *2*, 23.
10. Vennila, G. Rainfall variation analysis of Vattamalaikarai subbasin, Tamil Nadu. *J. Hydrol.* **2004**, *3*, 5059.
11. Korecha, D.; Barnston, A.G. Predictability of June–September rainfall in Ethiopia, *Mon. Weather Rev.* **2004**, *135(2)*, 628–650. <https://doi.org/10.1175/MWR3304.1>.
12. Wagesho, N.; Goel, N.K.; Jain, M.K. Temporal and spatial variability of annual and seasonal rainfall over Ethiopia. *Hydrol. Sci. J.* **2013**, *58(2)*, 354–373. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.754543>.
13. Vousoughi, F.D.; Dinpashoh, Y.; Aalami, M.T.; Jhajharia, D. Trend analysis of groundwater using non-parametric methods (case study: Ardabil plain). *Stoch. Env. Res. Risk A* **2013**, *27(2)*, 547–559.
14. Mengistu, D.; Bewket, W.; Lal, R. Recent spatiotemporal temperature and rainfall variability and trends over the upper Blue Nile River basin, Ethiopia. *Int. J. Climatol.* **2014**, *34(7)*, 2278–2292. <https://doi.org/10.1002/joc.3837>.
15. Legesse, S.A. The outlook of Ethiopian long rain season from the global circulation model. *Environ. Syst. Res.* **2016**, *5(1)*, 16. <https://doi.org/10.1186/s40068-016-0066-1>.
16. Eshetu, G.; Johansson, T.; Garedew, W. Rainfall trend and variability analysis in Setema-Gatira area of Jimma, Southwestern Ethiopia. *Afr. J. Agric. Res.* **2016**, *11(32)*, 3037–3045. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10160>.
17. Abebe, G. Long-term climate data description in Ethiopia. *Data Brief* **2017**, *14*, 371–392. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.07.052>.
18. Trenberth, K.E.; Smith, L.; Qian, T.; Dai, A.; Fasullo, J. Estimates of the global water budget and its annual cycle using observational and model data. *Am. Meteorol. Soc.* **2007**, *8*, 758–769.
19. Isidore, P.Y.; Joseph, Y. Recent rainfall trends between 1990 and 2020: Contrasting characteristics between two climate zones in Burkina Faso (West Africa). *Glasnik Srpskog Geografskog Drustva* **2023**, *103(1)*, 87–106.
20. Hung, N.Q.; Hien, L.X. Trend analysis of rainfall in the Phu Quoc Island. *VNU J. Sci. Earth. Environ. Sci.* **2021**, *37(4)*, 22–32. <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4683>.
21. Hiền, L.T.T.; Chiên, P.V. Đánh giá xu hướng biến động mưa trên lưu vực sông Cà giai đoạn 1959 - 2016 sử dụng số liệu thực đo. *Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi* **2022**, *71*, 1–9.
22. Viện Quy hoạch Thủy lợi (IWRP). Quy hoạch thủy lợi tỉnh Quảng Nam đến năm 2025 và định hướng đến năm 2030, 2017, tr. 254.
23. Robert, H.; James, S.; Richard, S. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resour. Res.* **1982**, *18(1)*, 107–121.
24. Warren, J.; Gilbert, R.O. Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. *Technometrics* **1988**, *30(3)*, 348.
25. Helsel, D.R.; Hirsch, R.M.; Ryberg, K.R.; Archfield, S.A.; Gilroy, E.J. Statistical Methods in Water Resources Techniques and Methods 4–A3. USGS Tech.Methods. 2020, pp. 458.
26. Kitayama, K.; Seto, S.; Sato, M.; Hara, H. Increases of wet deposition at remote sites in Japan from 1991 to 2009. *J. Atmos. Chem.* **2012**, *69(1)*, 33–46.

## **Trend analysis of rainfall on Vu Gia - Thu Bon river basin from 1978 to 2020**

**Nguyen Thanh Long<sup>1\*</sup>, Nguyen Tu Anh<sup>1</sup>, Do Thi Ngoc Bich<sup>1</sup>, Le Van Linh<sup>1</sup>, Hoang Thi Thao<sup>1</sup>, Nguyen Hoang Bach<sup>1</sup>, Hoang Bich Ngoc<sup>1</sup>, Pham Lan Anh<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> The Water Resources Institute; longnt.works@gmail.com; tuanhevp@gmail.com; bichdam555@gmail.com; linhlevan6527@gmail.com; thaohoang0602@gmail.com; bachnh46@wru.vn; ngochhoang22@gmail.com; plananh.151199@gmail.com

**Abstract:** This article provides an analysis of rainfall trends in the Vu Gia - Thu Bon river basin from 1978 to 2020. The analysis includes statistical computations, non-parametric tests using the Seasonal Mann-Kendall test, and the examination of data from 16 rain gauge sites. The findings indicate a consistent pattern of escalating seasonal precipitation, encompassing both the dry and wet seasons and an overall annual increase across the whole basin. In a more precise manner, it can be observed that the non-parametric value S at the 95% significance level exhibits a consistent upward trend across all stations over the year. Among the stations under consideration, Hien station has the most significant variation in rainfall, with a yearly rise of 0.978% and a seasonal increase of 0.758%. When analyzing solely the variations seen during the dry season, it becomes evident that the Kham Duc station exhibits the most pronounced alteration, with a substantial surge of 2,138% in rainfall. The article additionally computed Sen's slope to analyze the patterns of rainfall over the basin for the specified statistical periods. Calculating the fluctuating trend in the volume of water entering the Vu Gia-Thu Bon River basin from 1978 to 2020 has been facilitated by the research findings. This has practical implications for the basin's water resources management and rational allocation.

**Keywords:** Rainfall trend; Seasonal Mann-Kendall non-parametric tests; Sen's Slope.

Bài báo khoa học

## Đánh giá hiệu quả quản lý của một số hang động trên vịnh Hạ Long, Quảng Ninh

Trần Thị Minh Hằng<sup>1\*</sup>, Trần Thị Hạnh<sup>2</sup>, Trần Thiện Cường<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội; hangttm@hus.edu.vn; tranthiencuong@hus.edu.vn

<sup>2</sup> Ban Quản lý vịnh Hạ Long, 166 Lê Thánh Tông, Hạ Long, Quảng Ninh; tranthihanhbqlv@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: hangttm@hus.edu.vn; Tel.: +84– 902168955

Ban biên tập nhận bài: 5/10/2023; Ngày phản biện xong: 6/11/2023; Ngày đăng bài: 25/1/2024

**Tóm tắt:** Nghiên cứu này được thực hiện để đánh giá chất lượng quản lý một số hang động đang khai thác trên vịnh Hạ Long sử dụng chỉ số chỉ số đánh giá quản lý (MEI, management effective index) kết hợp với phương pháp điều tra ý kiến các bên liên quan. Kết quả nghiên cứu đánh giá cho thấy các hang động đang khai thác được quản lý ở mức khá tốt với chỉ số MEI từ 51 đến 78. Hang Thiên Cung và Sừng Sốt có điểm MEI trung bình là 76 và 77. Hệ thống chiếu sáng của động Mê Cung sử dụng đèn Halogen, đường đi của hang Đầu Gỗ sử dụng vật liệu gỗ là các tiêu chí làm giảm đáng kể giá trị trung bình của MEI. Đối với hang Cặp La và Hang Luồn, các tiêu chí về sự liên kết, khả năng tiếp cận hang động, tính sẵn có của cơ sở vật chất địa phương đáp ứng yêu cầu khai thác và quản lý cũng như sức tải đối với du khách. Điểm mạnh của hai hang động này là không có hệ thống chiếu sáng trong hang và hệ sinh thái trong hang được bảo tồn khá nguyên vẹn. Để khai thác và phát triển bền vững hệ thống hang động vịnh Hạ Long cần phân luồng lại các tuyến điểm du lịch hang động, đánh giá sức tải các điểm tham quan và cải thiện cơ sở hạ tầng.

**Từ khóa:** Hang động Karst; Du lịch hang động; Quản lý hang động; Vịnh Hạ Long.

### 1. Giới thiệu

Các hang động tự nhiên bắt đầu được mở cửa cho hoạt động du lịch cách đây hơn 400 năm và hiện nay có khoảng 500 hang động trên toàn thế giới đang được khai thác du lịch [1]. Rất nhiều loại hình du lịch hang động đang được khai thác, trong đó du lịch tham quan trong hang động là loại hình du lịch phổ biến nhất, tiếp đến là tôn giáo, lịch sử và du lịch chữa bệnh, sức khỏe [2–4]. Từ cuối thế kỷ 19, các hang động được coi là những phòng thí nghiệm hoàn hảo cho các lĩnh vực vật lý, sinh học, địa chất, kỹ thuật, y học.... Điều này là bởi vì các hang động có năng lượng từ thấp đến rất thấp, không có tiếng ồn, do đó cho phép thực hiện những thí nghiệm không thể thực hiện được ở bên ngoài. Hơn nữa, hang động cung cấp một cơ sở dữ liệu rất lớn về cổ khí hậu, cổ môi trường và các quá trình địa chấn cổ xưa [2].

Song song với việc khai thác các loại hình du lịch hang động, các hoạt động quản lý, bảo tồn hang động trên thế giới đã được quan tâm từ nửa sau thế kỷ XX. Hoạt động đầu tiên nhằm ngăn chặn sự xuống cấp của hang động được thực hiện trong hội nghị Hang động quốc tế IV ở Ljubljana vào năm 1965. Cùng năm này, Ủy ban tổ chức và bảo vệ hang động được thành lập trong liên hiệp các quốc gia. Tiếp theo, vào năm 1975, tại hội nghị Hang động quốc tế lần thứ VI (Olomouc, CSSR) đã quyết định, đây là năm quốc tế bảo vệ hang động, định nghĩa “hang động du lịch” được chấp nhận. Sau đó, vào năm 1992, Hội đồng Châu Âu đưa ra Chỉ



thị số 36, về “bảo vệ môi trường sống dưới lòng đất”. Theo khuyến nghị này, quy trình bảo vệ và quản lý môi trường sống trong hang động đã được đề xuất [1, 2, 5].

Hoạt động khai thác hang động cho mục đích du lịch, khảo cổ, tìm hiểu văn hóa cũng như khám chữa bệnh sẽ có tác động môi trường ở mức độ khác nhau đến hang động và ngược lại nếu việc quản lý khai thác không phù hợp. Các hoạt động như: (i) Lắp đặt cơ sở hạ tầng bên trong hang động như lối đi bằng xi măng, đèn điện đủ màu và máy thổi lớn có hương thơm trong hang động, (ii) Điều tiết yếu để hạn chế số lượng khách và các hoạt động trong các chuyến thăm quan, (iii) Sự phá vỡ và hư hỏng của các thành tạo thạch nhũ trong hang động và (iv) Việc sử dụng các chất nguy hiểm làm giảm mùi hôi của phân chim và xua đuổi quần thể sinh vật hang động đã tác động mạnh đến môi trường tự nhiên, hoang sơ của hang động [6]. Khách du lịch truy cập vào hang động tỏa ra nhiệt lượng, góp phần phát sinh nồng độ CO<sub>2</sub>, gây ô nhiễm sinh học khi mang theo các bào tử, vi khuẩn từ cơ thể. Cùng với đó, khách du lịch gây nhiễm các sợi tóc, da, bụi từ giày và xơ vải từ quần áo. Tại Carlsbad Cavern, Hoa Kỳ, tỷ lệ xơ vải tích tụ lâu dài trung bình hàng năm trong hang ước tính là 2 kg/năm [7]. Trong khi hang động cũng có giới hạn chịu tải khi được khai thác du lịch như sức chịu tải vật lý, sức chịu tải sinh thái, sức chịu tải xã hội, sức chịu tải hiệu quả vật lý [8–12].

Khai thác và sử dụng hiệu quả, phát triển, quản lý bền vững hang động là yêu cầu cấp thiết trong nhiều năm qua. Năm 2005, Van Beynen and Townsend đã đưa ra các chỉ số đánh giá sự bền vững môi trường karst và tiếp tục phát triển chỉ số [13, 14]. Năm 2013, tác giả [15] đưa ra cách đánh giá chất lượng quản lý đối với một hang động đang khai thác du lịch thông qua chỉ số đánh giá quản lý (MEI). Việc đánh giá dựa trên cách chấm điểm cho các vấn đề về khả năng kết nối của hang động, cơ sở vật chất được sử dụng trong hang, lộ trình tham quan được thiết kế cho khách du lịch, thẩm quyền của các nhà quản lý hang và trình độ của các hướng dẫn viên.

Từ khi chuyển dịch từ kinh tế nâu sang phát triển kinh tế xanh, chú trọng bảo vệ môi trường, du lịch tại Quảng Ninh là một trong các ngành kinh tế chủ đạo nói chung và đặc biệt là thành phố Hạ Long nói riêng. Một trong những địa điểm du lịch đặc biệt là Di sản Thiên nhiên thế giới vịnh Hạ Long với hệ thống đảo đá muôn hình vạn trạng, cùng hệ thống hang động vô cùng hấp dẫn. Mỗi năm, điểm du lịch này thu hút hàng triệu khách du lịch đến từ trong và ngoài nước với lượng khách nước ngoài gấp đôi lượng khách nội địa [16].

Bên cạnh những lợi ích mang lại, hoạt động du lịch cũng tạo áp lực không nhỏ đến môi trường và sự phát triển bền vững của khu vực. Nhất là, hiện nay các hoạt động du lịch đang tập trung vào khai thác, sử dụng các những hang động nổi tiếng: Thiên Cung, Sừng Sốt, Mê Cung... Trong khi tại khu vực này đã phát hiện ra hơn 60 hang động với nhiều hang động đẹp, mang các giá trị khoa học về địa chất - địa mạo, đa dạng sinh học và văn hoá lịch sử hoặc có cấu trúc hang tương đối phức tạp nhưng thích hợp khai thác loại hình du lịch mạo hiểm [17]. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá hiệu quả và thách thức trong công tác quản lý một số hang động trên vịnh Hạ Long, đồng thời dự báo và phân tích tiềm năng phát triển các sản phẩm du lịch hang động của di sản này.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

Vịnh Hạ Long là mẫu hình nổi bật nhất và rộng lớn nhất về địa hình Karst dạng tháp bị biến xâm thực và là một trong những khu vực quan trọng nhất trên thế giới về địa hình karst fengling (các đỉnh tách rời nhau) và fengcong (các cụm đá vôi hình chóp nằm kề nhau). Hang động là một trong những nét đặc trưng nổi bật về địa chất của khu Di sản. Những hang động đẹp trên vịnh Hạ Long như Thiên Cung, Đầu Gỗ, Sừng Sốt là những điểm thu hút khách du lịch trong hành trình tham quan.

Hang động vịnh Hạ Long rất phong phú và đa dạng, được biết có trên 60 chiếc và thuộc về 3 nhóm hang chính: hang ngầm cổ (hang treo), hang nền karst, hang hàm ếch biển [18].

Các hang ngầm cổ là các hang có quy mô lớn, nhiều thạch nhũ và thuộc loại đẹp, hoành tráng nhất trong vịnh Hạ Long: động Sừng Sốt, động Thiên Cung, động Đầu Gỗ, đều nằm ở mức cao 20-30 m. Nhóm các hang nền Karst tiêu biểu là Trinh Nữ, Bò Nâu, Tiên Ông, Hang Trống... Loại hang này có nền rộng, thường nằm cao hơn mực nước biển hiện nay không nhiều. Hệ thống nhũ trong hang được hình thành khi hang đã nổi cao trên mặt nước. Nhóm các hang hàm ếch biển, tiêu biểu như 3 hang thông nhau ở cụm hồ Ba Hầm, hang Luồn, Ba Hang... Các hang này thuộc thể hệ hang trẻ nhất trong khu vực vịnh Hạ Long, hình thành chủ yếu do sự xâm thực của nước biển và sóng triều hiện đại. Hiện nay một số hang này trên vịnh đang được khai thác loại hình du lịch chèo thuyền kayak, chèo thuyền nan xuyên qua hang.

Tại nghiên cứu này, 06 hang động đại diện cho các nhóm hang trên vịnh Hạ Long được lựa chọn để đánh giá chất lượng quản lý. Trong số 06 hang động này, có 04 hang động được đầu tư cơ sở hạ tầng và đón lượng khách nhiều nhất trên vịnh Hạ Long: Thiên Cung (TC), Sừng Sốt (SS), Mê Cung (MC), Đầu Gỗ (ĐG); 01 hang đại diện cho nhóm hang luồn (hang Luồn - HL), không có tác động bởi việc xây dựng cơ sở hạ tầng trong hang; 01 hang thuộc tuyến tham quan nhưng cơ sở vật chất chưa được đầu tư bài bản để đón khách (hang Cặp La - CL).

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Các phương pháp được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm: (i) Khảo sát thực địa tại gần 50 hang động trên vịnh Hạ Long; (ii) Phương pháp đánh giá chất lượng quản lý hang động theo chỉ số MEI (*The management Evaluation Index - MEI*) [15]; (iii) Phương pháp điều tra bảng hỏi, phỏng vấn khách du lịch, các chuyên gia, nhà quản lý về các vấn đề liên quan đến bảo tồn và quản lý hang động; (iv) Phương pháp phân tích SWOT đánh giá điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội, thách thức của công tác quản lý, bảo tồn hang động.

Phương pháp đánh giá chất lượng quản lý hang động theo chỉ số MEI, nghiên cứu tập trung các vấn đề liên quan đến các hang động như khả năng tiếp cận hang động, cơ sở hạ tầng và vấn đề chiếu sáng trong hang động, cách bố trí lộ trình cho khách tham quan, vấn đề môi trường hang động... Các đánh giá được tích hợp vào bảng ma trận chỉ số đánh giá chất lượng quản lý hang động MEI [15] (Bảng 1).

**Bảng 1.** Ma trận chỉ số đánh giá chất lượng quản lý hang động [15].

Mục lục	Đặc trưng	Chỉ số	Ký hiệu	Số điểm đánh giá			
				0	1	2	3
Các nghiên cứu trước	Sự phù hợp	Khả năng tiếp cận hang động	KNTC	Khó khăn	Ít thuận lợi	Thuận lợi	Hoàn hảo
	Thuận lợi	Kết nối với các điểm tham quan khác	KN	Không	Ít	Một vài	Kết nối tốt
	Mâu thuẫn	Cơ sở vật chất địa phương	CSVC	Rất quan trọng	Có liên quan	Ít liên quan	Không
	Kinh phí	Các đối tác	TC	Không quan tâm	Không khác biệt	Có chút quan tâm	Rất quan tâm
Lối vào và các đường đi	Đường vào	Lối vào	LV	Nhân tạo, không có các khoảng ngăn không khí	Nhân tạo, các khoảng ngăn không khí ít	Nhân tạo, các khoảng ngăn không khí trung bình	Nhân tạo, các khoảng ngăn không khí tốt

Mục lục	Đặc trưng	Chỉ số	Ký hiệu	Số điểm đánh giá			
				0	1	2	3
Khách tham quan	Cấu trúc hang và trầm tích	Thành tạo địa chất	CTH	Tàn phá rộng	Một số thiệt hại	Thiệt hại ít	Không có thiệt hại
	Nguyên vật liệu	Đường đi và cơ sở vật chất khác	VCNL	Gỗ	Một ít gỗ	Bê tông	Thép không gỉ hoặc nhựa
	Chiếu sáng	Nguồn sáng	NS	Các bóng đèn sáng chói	Đèn halogen	Hiệu suất cao	Các đèn LED
		Vị trí đèn	VTĐ	Gần tường hang và ánh sáng trực tiếp	Gần tường hang và không có ánh sáng trực tiếp	Không gần tường hang và có một vài ánh sáng trực tiếp	Không gần tường hang và không ánh sáng trực tiếp
		Quang phổ ánh sáng	QPAS	Không giới hạn	Vài giới hạn	Nhiều giới hạn	Không phát ánh sáng cho quá trình diệp lục
		Thực vật đèn	TVĐ	Phân bố rộng	Thi thoảng làm sạch	Làm sạch thường xuyên	Không có
		Nguồn cấp	NC	Không khẩn cấp	Một nguồn cấp khẩn cấp	Thêm nguồn cấp khẩn cấp	Thêm nguồn cấp khẩn cấp và nhiều phần khác
	Hệ thống chiếu sáng	Các khu vực	CKV	Hệ thống đơn	Một số phần không tự động chuyển đổi	Nhiều phần và không tự động chuyển đổi	Nhiều phần và tự động chuyển đổi
	Đòng khách	Sức tải	ST	Không giới hạn	Đi vào và đi ra cùng một đường	Lộ trình một chiều	Phù hợp với sức tải
		Du lịch mạo hiểm	DLMH	Tự do	Với một hướng dẫn viên	Với 2 hướng dẫn viên hoặc nhiều hơn	Với hướng dẫn và lộ trình nghiêm ngặt
Bề mặt	Hệ sinh thái	Sự xáo trộn	SXT	Bị sửa đổi hoàn toàn	Nhiều sự can thiệp	Một vài sự can thiệp	Nguyên sơ
Môi trường hang động	Vệ sinh	Tần suất	TX	Không bao giờ	Thi thoảng	Thi thoảng và loại bỏ nước thải	Thường xuyên và loại bỏ nước thải
	Giám sát	Các thông số khí hậu	TSKK	Không giám sát	Vài trạm	Nhiều trạm	Nhiều trạm và hội đồng khoa học
Động vật	Sự bảo vệ	BV	Không	Cho phép mang đồ ăn cho động vật trong hang	Chỉ dành cho dơi	Bất kì loài nào cũng được bảo vệ	
Quản lý	Những nhà quản lý hang động	NQL	Không có thẩm quyền	Có vài thẩm quyền	Có nhiều thẩm quyền	Có đầy đủ thẩm quyền	
	Các hướng dẫn viên	HDV	Không đào tạo trường lớp	Có đào tạo qua	Có đào tạo qua và biết ngoại ngữ	Được đào tạo tốt và biết ngoại ngữ	

Chỉ số chất lượng quản lý hàng động được tính bằng cách tính tổng điểm tất cả các chỉ số ( $\sum I_n$ ) và chia tổng này cho điểm cao nhất có thể (=3), nhân với số (N) chỉ số áp dụng được xem xét.

$$MEI = \frac{100 \cdot \sum I_n}{N \cdot 3} \quad (1)$$

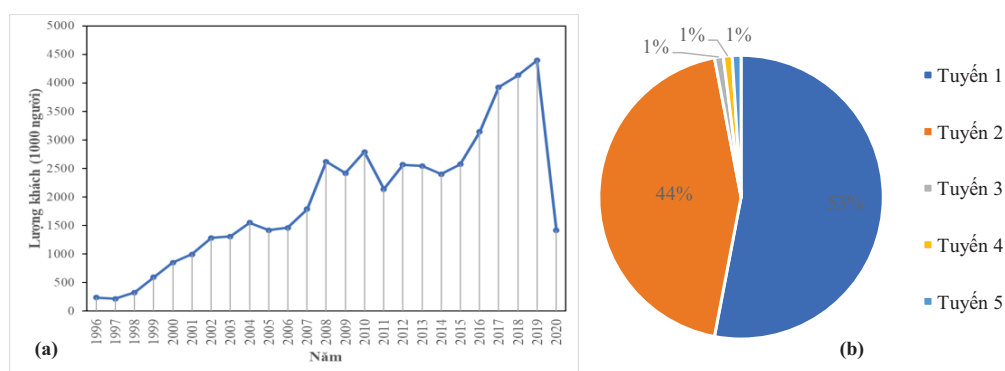
MEI nhận các giá trị từ 0 đến 100. Nếu MEI nhỏ hơn 40, qua đó cho thấy việc quản lý hàng động ở mức kém, cần nhiều sự thay đổi tích cực. MEI từ 40 đến 60, việc quản lý hàng động được đánh giá ở mức trung bình và có thể cải thiện tốt hơn bằng một số biện pháp phù hợp. MEI từ 60 đến 100 việc quản lý hàng động được đánh giá tốt. Các chỉ số được chấm điểm sát với thực tế hiện trạng của từng hàng qua khảo sát, tài liệu giới thiệu và theo nhận định của chuyên gia. Trong nghiên cứu đã điều tra trên 50 chuyên gia, điểm số được đánh giá trên điểm số trung bình theo từng tiêu chí của số người có kết quả trả lời khi tổng hợp số liệu.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Hiện trạng khai thác du lịch các hàng động trên vịnh Hạ Long

Theo thống kê hiện nay, vịnh Hạ Long có 27 điểm, cảnh điểm tham quan (hàng động, bãi tắm, các hòn đảo đẹp, khu vực trải nghiệm chèo thuyền, tham quan di sản văn hóa), trong đó có 15 hàng động đang được khai thác du lịch thuộc 5 tuyến tham quan với các loại hình dịch vụ du lịch đa dạng [19].

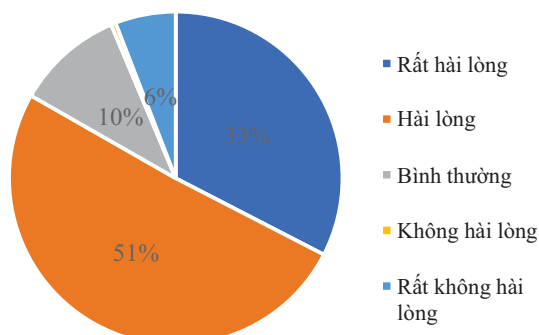
Số lượng khách du lịch tham quan vịnh Hạ Long ngày càng tăng, từ vài trăm nghìn lượt khách (thời điểm năm 1996) đến gần 4,4 triệu lượt (năm 2019) (Hình 1a). Lượng khách quốc tế đang dần chiếm thị trường lớn hơn nhiều lần so với khách Việt Nam, cho thấy sức hút của vịnh Hạ Long đối với bạn bè quốc tế. Lượng khách du lịch tăng đồng nghĩa với tổng thu ngân sách nhà nước từ nguồn thu phí tham quan vịnh Hạ Long tăng đều qua các năm. Năm 2019 nguồn thu phí trên 1.200 tỷ đồng. Tuy nhiên, tỷ lệ lượng khách tham quan vịnh Hạ Long phân bố không đồng đều giữa các tuyến. Trong số 05 tuyến thăm quan du lịch trên vịnh, hơn 90% khách tham quan chọn tuyến 1 và 2 dẫn đến việc một số hàng động thuộc hai tuyến tham quan này (cụ thể là động Thiên Cung và hang Sừng Sốt) đón lượng khách quá tải trong một số thời điểm [20] (Hình 1b).



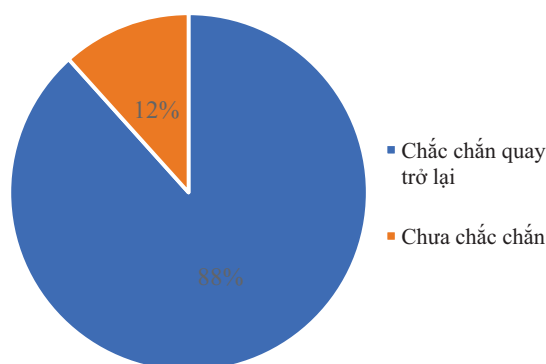
**Hình 1.** (a) Biểu đồ lượng khách tham quan vịnh Hạ Long; (b) Biểu đồ tỷ lệ lượng khách tham quan tại các tuyến du lịch trên vịnh Hạ Long năm 2019.

Kết quả phỏng vấn khách du lịch về mức độ hài lòng sau khi thăm quan qua các tuyến du lịch được chọn cho thấy có 32,6% người được hỏi rất hài lòng, 50,7% hài lòng trong các chuyến tham quan hàng động. Trong số 6% khách du lịch trả lời không hài lòng với chuyến thăm quan, có 61% lý do liên quan đến việc không có đủ trải nghiệm tham quan hàng do khách tham quan quá đông: Không có đủ không gian riêng tư để chụp ảnh, không được dừng lại lâu tại khu vực mình muốn mà phải di chuyển theo dòng người đông, không nghe rõ hướng

dẫn viên...(Hình 2). Các vấn đề này đều từ nguyên nhân là lượng khách quá đông ở trong hang tại một thời điểm. Điều này đã ảnh hưởng đến việc mong muốn quay trở lại vịnh Hạ Long của khách du lịch, qua đó có đến 12% người được hỏi chưa chắc chắn có ý định quay lại vịnh Hạ Long (Hình 3).



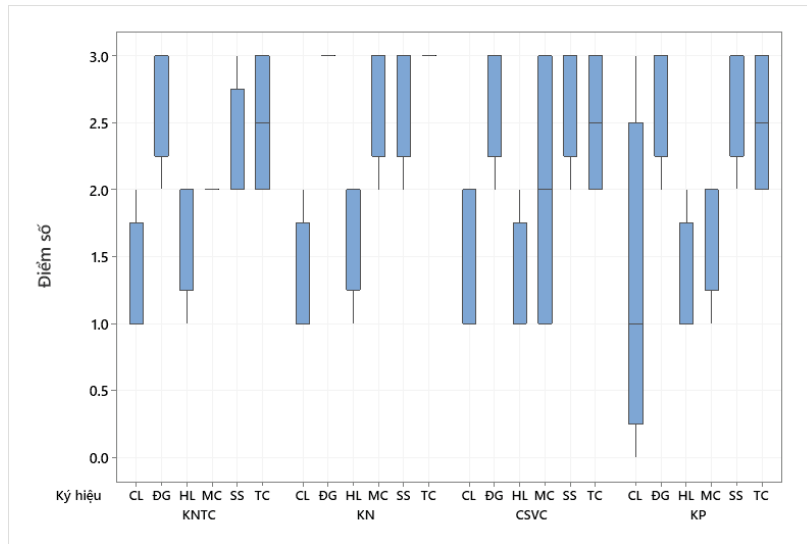
**Hình 2.** Biểu đồ thể hiện mức độ hài lòng của khách du lịch khi tham quan các hang động trên vịnh Hạ Long.



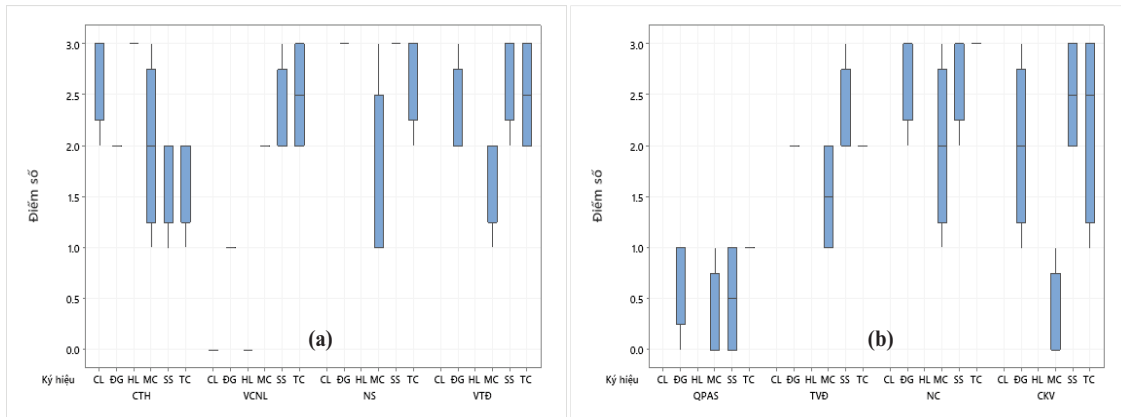
**Hình 3.** Biểu đồ thể hiện mong muốn quay trở lại tham quan hang động vịnh Hạ Long của khách du lịch.

### 3.2. Đánh giá về công tác quản lý, bảo tồn và khai thác các hang động

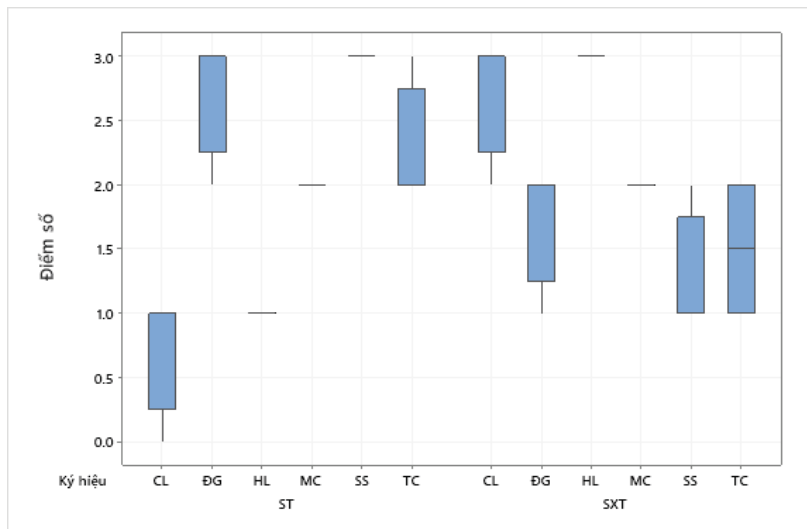
Từ kết quả phỏng vấn 08 nhà khoa học và 10 cán bộ quản lý tham gia trả lời vào bảng đánh giá chất lượng quản lý hang động theo chỉ số MEI. Dưới đây là các biểu đồ thể hiện điểm số của 06 hang động theo các vấn đề đánh giá, bao gồm: các nghiên cứu tổng quan (Hình 4), đường đi và hệ thống chiếu sáng (Hình 5), sức tải của dòng khách và sự xáo trộn hệ sinh thái trên bề mặt (Hình 6), môi trường hang động, thẩm quyền quản lý hang động và trình độ các hướng dẫn viên (Hình 7). Chỉ số MEI trung bình của 06 hang động có giá trị từ 51-78 cho thấy các hang động này được quản lý từ khá đến tốt (Hình 8). Nhìn chung, các hang động này đều có điểm yếu về việc giám sát các thông số khí hậu trong hang động. Hai hang động ở mức điểm số thấp 51 và 53 điểm lần lượt là động Cặp La và Hang Luồn. Điểm yếu của động hai hang động này là khả năng tiếp cận hang động, sự kết nối với các điểm tham quan khác, tính sẵn có của cơ sở vật chất địa phương đáp ứng yêu cầu khai thác và quản lý cũng như sức tải đối với du khách. Về khía cạnh tự nhiên, điểm mạnh của hai hang động này là không có hệ thống chiếu sáng trong hang và hệ sinh thái trong hang được bảo tồn khá nguyên vẹn. Điểm yếu theo đánh giá của chuyên gia đối với động Mê Cung là hệ thống chiếu sáng bằng đèn Halogen và hang Đầu Gỗ thiết kế đường đi trong hang bằng vật liệu gỗ là loại vật liệu không tương thích với môi trường hang động. Hang động có điểm số ở khoảng giữa là hang Mê Cung với điểm số trung bình 60. Hang Thiên Cung và Sừng Sốt có điểm MEI trung bình là 76 và 77.



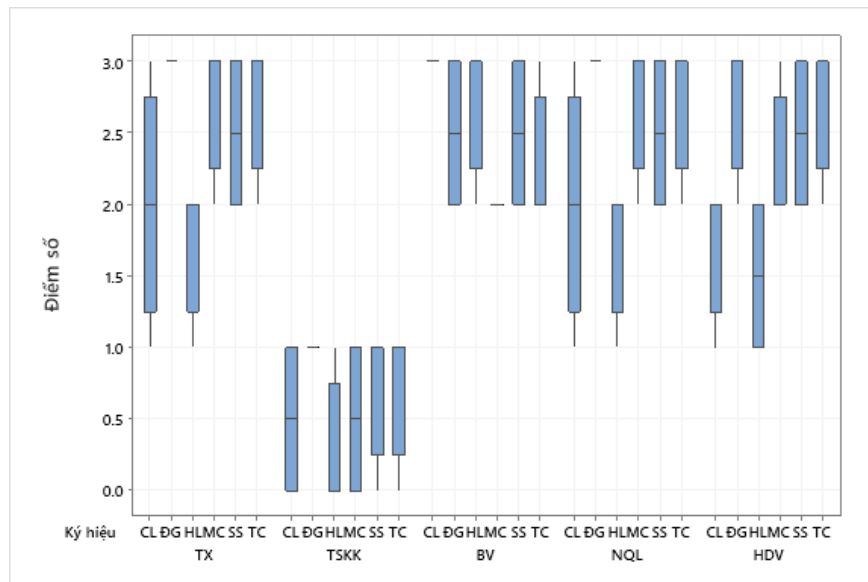
**Hình 4.** Đồ thị hình hộp thể hiện mức điểm về các nghiên cứu tổng quan đối với 06 hàng động.



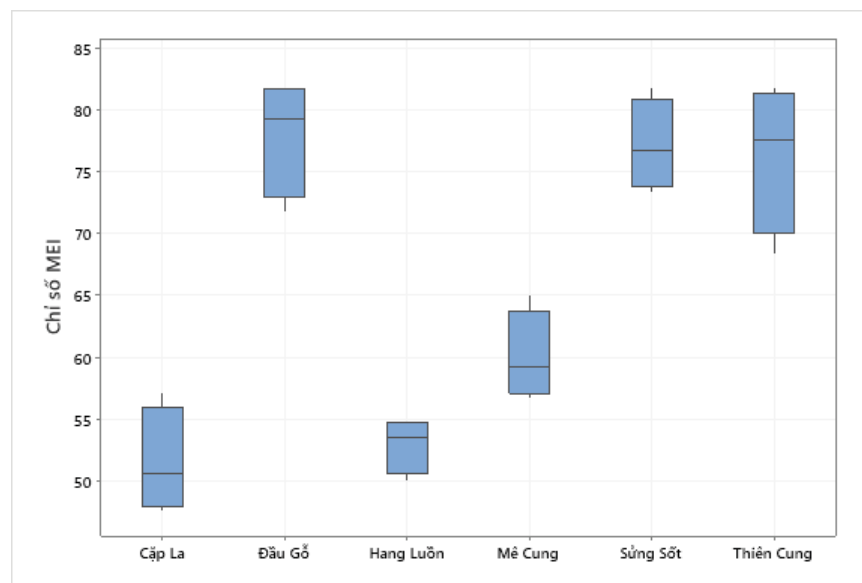
**Hình 5.** Biểu đồ hộp thể hiện mức điểm về: (a) đường đi, (b) hệ thống chiếu sáng trong 06 hàng động.



**Hình 6.** Biểu đồ hộp thể hiện mức điểm về sức tải của dòng khách và sự xáo trộn hệ sinh thái trên bề mặt của 06 hàng động.



**Hình 7.** Biểu đồ hộp thể hiện mức điểm về môi trường hang động, thẩm quyền quản lý hang động và trình độ các hướng dẫn viên.



**Hình 8.** Biểu đồ hộp thể hiện chỉ số MEI của 06 hang động.

Trong nghiên cứu sử dụng chỉ số MEI, tác giả [15] đã tính toán MEI cho 04 hang động và cho kết quả MEI cao nhất đạt 94 (Karchner Caverns, Arizona, USA), thấp nhất Frasassi Cave (Italy) cho kết quả 34. Điều đó cho thấy hang Frasassi cần có sự thay đổi có ý nghĩa đối với công tác quản lý. Các hang có chỉ số MEI cao thì mức độ quan tâm là duy trì và cải tiến chất lượng quản lý ở mức đảm bảo sự phát triển bền vững. Với các hang động ở Hạ Long theo tính toán ở trên, MEI ở mức trung bình đến mức cao (47 đến 83), việc quản lý các hang động ở Hạ Long có thể được đánh giá chung như sau:

- Các hang động trên vịnh Hạ Long được quản lý trực tiếp bởi ban quản lý vịnh Hạ Long, UBND tỉnh Quảng Ninh và được giám sát, hướng dẫn chuyên môn bởi các Bộ, tổ chức uy tín trong và ngoài nước.

- Các điểm tham quan hang động có khả năng kết nối tốt với các điểm tham quan trong và ngoài khu di sản.

- Các điểm tham quan hang động chính được đầu tư cơ sở vật chất đầy đủ, tôn trọng cảnh quan và các thành tạo tự nhiên của hang, đa phần các hang động sử dụng nguyên vật liệu tương thích với môi trường hang động.

- Việc giữ gìn vệ sinh hang động được thực hiện tốt, có quy chế bảo vệ hệ sinh thái trong hang.

- Lộ trình tham quan của phần lớn các hang động đang khai thác đã được thiết kế hợp lý, phù hợp với cấu trúc hang động, giúp cho việc tham quan diễn ra thuận lợi.

- Đơn vị quản lý hang động được giao nhiều thẩm quyền về quản lý, bảo tồn và phát huy hang động.

Tuy nhiên, vẫn còn một số vấn đề tồn tại, hạn chế trong công tác quản lý, khai thác các hang động như:

- Các hang động nằm trong môi trường biên đảo nên khả năng tiếp cận bị hạn chế vì phụ thuộc phương tiện và thời tiết.

- Việc điều tiết khách tham quan chưa hiệu quả dẫn đến hiện tượng quá tải xảy ra ở hang Thiên Cung, Sừng Sốt.

- Việc khai thác hang động cho hoạt động du lịch đã gây ra ảnh hưởng đến cấu trúc hang, việc lắp đặt ánh sáng nhân tạo chưa hợp lý khiến sự xuất hiện của thực vật đèn. Thực vật đèn trong hang động chưa được xử lý.

- Chưa có trạm quan trắc môi trường trong các hang động để có phương án đảm bảo chất lượng vi khí hậu trong hang và bảo vệ sức khỏe của du khách.

- Chất lượng các bài thuyết minh về hang động của các hướng dẫn viên công ty lữ hành chưa được kiểm soát chặt chẽ.

Bên cạnh đó, việc khai thác các hang động có nhiều cơ hội và thách thức trong xu thế phát triển chung của ngành du lịch.

Từ những phân tích trên, nghiên cứu đưa ra bảng phân tích SWOT về hiện trạng quản lý, bảo tồn và phát triển du lịch các hang động trên vịnh Hạ Long. Bảng phân tích này cần được đơn vị quản lý Di sản cập nhật, đánh giá định kỳ để kịp thời có các giải pháp quản lý hợp lý theo từng giai đoạn.

**Bảng 2.** Ma trận SWOT về công tác quản lý, bảo tồn, phát triển du lịch các hang động của vịnh Hạ Long.

<b>Điểm mạnh</b>	<b>Điểm yếu</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Các hang động được quản lý chặt chẽ.</li> <li>- Các hang động có vị trí kết nối tốt với các điểm tham quan trong và ngoài khu Di sản.</li> <li>- Các điểm tham quan hang động chính được đầu tư cơ sở vật chất đầy đủ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Khả năng tiếp cận các hang động bị hạn chế vì phụ thuộc phương tiện và thời tiết.</li> <li>- Hiện tượng quá tải xảy ra ở một số hang động: Thiên Cung, Sừng Sốt, Mê Cung...</li> <li>- Hoạt động khai thác du lịch đã gây ra ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường hang động, đặc biệt là sự phát triển của các loại thực vật đèn.</li> <li>- Chưa có hệ thống quan trắc môi trường trong các hang động.</li> <li>- Chất lượng các bài thuyết minh về hang động chưa được kiểm soát chặt chẽ.</li> </ul>
<b>Cơ hội</b>	<b>Thách thức</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Đón lượng khách du lịch có nhu cầu khám phá các loại hình du lịch mới: khám phá khoa học tự nhiên, văn hóa lịch sử, mạo hiểm - khám phá.</li> <li>- Lượng khách tăng cao hàng năm gia tăng cơ hội có doanh thu cao.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Xu hướng phát triển chung của ngành du lịch đòi hỏi nhu cầu ngày càng cao của khách du lịch về các loại hình du lịch mới.</li> <li>- Sự phát triển của khoa học công nghệ đòi hỏi các sản phẩm trải nghiệm số cho khách du lịch.</li> <li>- Việc cân bằng giữa công tác bảo tồn và phát huy các giá trị của Di sản trước sự gia tăng mạnh mẽ của hoạt động du lịch và các hoạt động phát triển kinh tế xã hội trong khu Di sản.</li> </ul>



### 3.3. Một số giải pháp quản lý, bảo tồn và phát triển du lịch bền vững các hang động trên vịnh Hạ Long

Từ các phân tích trên, có thể đưa ra một số giải pháp về kỹ thuật và giải pháp quản lý các hang động trên vịnh Hạ Long để phục vụ phát triển du lịch bền vững, cụ thể như sau:

#### a) Giải pháp về cơ sở hạ tầng

Cần chú ý đầu tư hệ thống cầu cảng đảm bảo yêu cầu cho việc khai thác du lịch, chú ý việc đảm bảo lưu thông khí trong hang động và thiết kế lộ trình tham quan hợp lý, đặc biệt tại các hang Cặp La, Hang Luồn... Tuy nhiên, để đáp ứng việc giảm những e ngại của khách du lịch và các chuyên gia về ảnh hưởng của việc xây dựng cơ sở vật chất trong hang phục vụ du lịch (55% khách du lịch, 37% chuyên gia cho rằng hoạt động du lịch rất ảnh hưởng và ảnh hưởng đến cấu trúc hang động), cần xây dựng quy hoạch hệ thống hạ tầng kỹ thuật và các công trình phụ trợ đảm bảo tác động nhỏ nhất đến cấu trúc, môi trường của hang động.

#### b) Giải pháp về hệ thống chiếu sáng

Các hang động đang khai thác du lịch, đặc biệt là các hang Thiên Cung, Đầu Gỗ, Sừng Sốt, Mê Cung đang phải đối mặt với hiện tượng ngày càng gia tăng mật độ các loài thực vật đèn (rêu, tảo) làm giảm tính thẩm mỹ của các hang động, do đó, việc cần làm là đặc biệt quan tâm đến hệ thống chiếu sáng trong các hang động. Đối với những hang động đã khai thác nhiều năm, cần thực hiện xử lý thực vật đèn kết hợp với các biện pháp chiếu sáng hợp lý để giảm thiểu sự tác động của ánh sáng nhân tạo đến thành tạo tự nhiên trong hang. Đối với các hang có kế hoạch khai thác trong thời gian tới, cần lựa chọn hệ thống đèn có bước sóng phù hợp để ức chế thực vật đèn phát triển. Có thể giảm cường độ chiếu sáng và thời gian chiếu sáng thông qua việc thay đổi góc chiếu sáng liên tục lên đối tượng.

#### c) Áp dụng khoa học công nghệ vào quản lý hang động

Tất cả các hang động trên vịnh Hạ Long đều không được theo dõi, quan trắc các chỉ số vi khí hậu thường xuyên. Điều này khiến cơ quan quản lý Di sản khó khăn trong việc quan trắc các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường hang động và ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe du khách. Do đó, cần thiết lập các mạng điểm quan trắc vi khí hậu trong hang đối với những hang có ít cửa, cửa nhỏ, cấu trúc nhiều điểm thắt, hẹp, khả năng thông khí giữa các ngăn kém nếu đưa hang vào khai thác; Thiết lập mạng lưới quan trắc tại các điểm có nguy cơ đổ lở măng nhũ đá trong hang, sập sụt nền hang và đưa ra phương án ứng phó khi có sự cố; Thiết lập mạng quan trắc, giám sát một số loài sinh vật đặc hữu sống hoàn toàn hoặc không hoàn toàn trong hang động: tần suất xuất hiện, số lượng cá thể...

#### d) Đánh giá sức tải các hang động

Việc đánh giá sức tải của từng hang động đóng vai trò quan trọng trong việc điều phối lượng khách trong từng tuyến tham quan và từng điểm tham quan. Sau khi thực hiện nghiên cứu đánh giá sức tải của các điểm tham quan, cơ quan quản lý sẽ xây dựng được phương án bố trí lịch trình tham quan hợp lý, giảm tải cho các khu vực bị quá tải.

#### e) Phân luồng tuyến, điểm du lịch hang động hợp lý

Dựa vào kết quả đánh giá sức tải của từng điểm tham quan hang động, từ đó đơn vị quản lý cần thực hiện các biện pháp phân luồng tuyến, điểm du lịch hang động hợp lý: Sử dụng các hang, động luân phiên thay thế; Xây dựng các tuyến du lịch mới dựa trên nhóm các hang động có tiềm năng về nghiên cứu khoa học tự nhiên, tiềm năng về nghiên cứu lịch sử, văn hóa, tiềm năng du lịch mạo hiểm hoặc xen kẽ các hang động này với các điểm tham quan truyền thống; Phân loại bảo tồn hang: nhóm khai thác, nhóm đóng cửa.

#### f) Giải pháp nâng cao chất lượng nhân lực

Cần có quy định bắt buộc phải có hướng dẫn viên được đào tạo kiến thức về hang động vịnh Hạ Long đối với mỗi đoàn khách tham quan hang động. Điều đó đảm bảo việc tất cả khách du lịch đều được tuyên truyền về giá trị các hang động, nâng cao trải nghiệm của khách và giúp du khách có ý thức trong việc gìn giữ di sản cho thế hệ sau. Đồng thời, việc này cũng giúp tạo thêm việc làm tại địa phương.

#### g) Giải pháp tuyên truyền

Đề hướng tới mục tiêu phát triển các loại hình du lịch hang động mới, trước hết cần đẩy mạnh quảng bá về các hang động, về các giá trị đặc biệt của từng hang động muốn đưa vào khai thác. Tăng cường tuyên truyền quảng bá, giới thiệu trên các phương tiện thông tin đại chúng về giá trị địa chất - địa mạo, giá trị đa dạng sinh học, văn hóa - lịch sử các hang động. Việc tuyên truyền cần đa dạng về nội dung và hình thức.

#### h) Giải pháp đánh giá sự hài lòng của du khách

Hiện tại, 16% lượng khách tham quan được hỏi chưa hài lòng với chuyến tham quan hang động của mình. Điều này chỉ ra rằng, các nhà quản lý hang động cần thực hiện đánh giá sự hài lòng của khách du lịch như một phần của quy trình quản lý tại mỗi điểm tham quan. Sự đánh giá, phản hồi của khách du lịch về những gì họ đã trải nghiệm là những thông tin quan trọng giúp các nhà quản lý hang động kịp thời điều chỉnh các vấn đề trong công tác quản lý, khai thác hang động. Các vấn đề đưa ra để đánh giá bao gồm chất lượng các dịch vụ của các đơn vị, doanh nghiệp cung cấp dịch vụ du lịch: tàu, cảng bến, các loại hình du lịch, chất lượng hướng dẫn viên, kỳ vọng của khách tham quan đối với các dịch vụ du lịch...

#### i) Giải pháp về tài chính

Khai thác, sử dụng có hiệu quả những tiềm năng, lợi thế của di sản thiên nhiên thế giới vịnh Hạ Long, tiềm năng phát triển các loại hình dịch vụ, du lịch để thu hút các tổ chức, cá nhân đến đầu tư hợp pháp. Sử dụng nguồn vốn có hiệu quả trong đó bố trí nguồn vốn hợp lý đầu tư nghiên cứu, phục hồi các hang động, trong đó ưu tiên các hang động có giá trị thẩm mỹ cao, đã khai thác trong thời gian dài.

## 4. Kết luận

Công tác quản lý các hang động trên vịnh Hạ Long hiện nay ở mức tốt với điểm MEI từ 51 đến 78. Tuy nhiên, còn một số vấn đề bất cập như: một số hang động như Thiên Cung, Sừng Sốt xảy ra hiện tượng quá tải ở những thời điểm đông khách. Hệ thống chiếu sáng của động Mê Cung sử dụng đèn Halogen, đường đi của hang Đầu Gỗ sử dụng vật liệu gỗ là các tiêu chí làm giảm đáng kể giá trị trung bình của MEI. Đối với hang Cặp La và Hang Luồn các tiêu chí về sự liên kết, khả năng tiếp cận hang động, tính sẵn có của cơ sở vật chất địa phương đáp ứng yêu cầu khai thác và quản lý cũng như sức tải đối với du khách. Điểm mạnh của hai hang động này là không có hệ thống chiếu sáng trong hang và hệ sinh thái trong hang được bảo tồn khá nguyên vẹn. Tiềm năng khai thác thêm các hang động khác trong 6 hang động nghiên cứu xung quanh khu vực vịnh Hạ Long còn nhiều, đòi hỏi cần có các nghiên cứu mở rộng các tuyến du lịch hang động trong khu vực vịnh Hạ Long góp phần giảm áp lực đến các hang động trong việc đón khách với các hang động nghiên cứu nêu trên.

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

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

### Tài liệu tham khảo

1. Cigna, A.A.; Forti, P. The environmental impact assessment of a tourist cave. *Cave Tourism. Proc. Int. Symp. 170<sup>th</sup> Anniv. Postojnska lama, Postojna, Nov.10-12, 1988. Centre Scient. Res. SAZU & Postojnska lama Tourist and HotelOrganiz.:* 1988, pp. 29–38.
2. Cigna, A.A.; Forti, P. Caves: The most important geotouristic feature in the world. *Tourism Karst Areas* **2013**, *6(1)*, 9–26.
3. Odhiambo, E.A. History, culture and orature: A study of Shimoni Slave Caves. *Res. Humanit. Social Sci.* **2013**, *3(2)*, 72–76.

4. Huang, L.; Xu, H. A cultural perspective of health and wellness tourism in China. *J. China Tourism Res.* **2014**, *10(4)*, 493–510.
5. Avramovic, D.; Spasic, D. The importance of cave management for their nature values conservation. *Natura Montenegrina Podgorica* **2008**, *7(3)*, 281–287.
6. Kurniawan, I.D.; Rahmadi, C.; Ardi, T.E.; Nasrullah, R.; Willyanto, M.I.; Rahayu, S. The detection of human activities impact on show caves environment in Pacitan, Indonesia. Speleological Society, Sydney: Australian Speleological Federation Inc. Sydney, 2017, pp. 175–180.
7. Cigna, A.A.; Burri, E. Development, management and economy of show caves. *Int. J. Speleol.* **2000**, *29(1)*, 1–27.
8. Tran, N.; Nguyen, T.L.; Nguyen, D.T.; Dang, M.; Dinh, X.T. Tourism carrying capacity assessment for Phong Nha-Ke Bang and Dong Hoi, Quang Binh Province, 2007.
9. Singh, M.; Arbad, B.R. On carrying capacity of cave Murals of Ajanta. *Int. J. Sci. Eng. Res.* **2013**, *4(2)*, 1–4.
10. Lobo, H.A.; Boggiani, P.C.; Perinotto, J.A. Speleoclimate dynamics in Santana Cave (PETAR, São Paulo State, Brazil): General characterization and implications for tourist management. *Int. J. Speleol.* **2015**, *44(1)*, 61.
11. Ismail, W.M.; Ibrahim, P.H.; Mansor, M. The effects of cave exploration activity towards Kilim Geoforest park, Langkawi, Malaysia. *Sains Humanika* **2021**, *13(1)*, 27–33.
12. Cheablam, O.; Rattanarat, J. Physical and ecological carrying capacity for cave tourism management. *J. Environ. Manage. Tourism* **2021**, *12(4)*, 986–999.
13. van Beynen, P.; Townsend, K. A Disturbance index for karst environments. *Environ. Manage.* **2005**, *36(1)*, 101–116.
14. van Beynen, P.; Brinkmann, R.; van Beynen, K. A sustainability index for karst environments. *J. Cave Karst Stud.* **2012**, *74(2)*, 221–234.
15. Cigna, A.A.; Pani, D. Quality assessment of show caves: the management evaluation index (MEI). Proceeding of the 16<sup>th</sup> International congress of speleology, Proceedings, 2013, 1, pp. 219–222.
16. Tran, C.T. From Ha Long Bay to Trang An landscape complex: Issues on tourism management at world heritage sites, Vietnam. *J. Archaeol. Fine Arts Southeast Asia* 2019, 3, pp. 1–13.
17. Tạ Hòa Phương, Những giá trị địa chất, địa mạo vịnh Hạ Long, Ban quản lý vịnh Hạ Long, **2019**.
18. Ban Quản lý vịnh Hạ Long. Báo cáo khảo sát tìm kiếm hang mới trên vịnh Hạ Long, 2015.
19. Cigna, A.A.; Pani, D. Quality assessment of show caves: the management evaluation index (MEI). Proceeding of the 16<sup>th</sup> International congress of speleology, Proceedings, 2013, 1, 219–222.
20. Ban Quản lý vịnh Hạ Long. Báo cáo tổng kết đề tài cấp tỉnh: Nghiên cứu giá trị của các hang ngầm và hồ nước mặn trên vịnh Hạ Long, 2017.
21. UBND tỉnh Quảng Ninh. Báo cáo tình hình thực hiện nhiệm vụ phát triển kinh tế - xã hội năm 2019; định hướng phát triển kinh tế - xã hội năm 2020, 2019.

## **Assessing the management effectiveness of some show caves in Ha Long Bay**

**Tran Thi Minh Hang<sup>1\*</sup>, Tran Thi Hanh<sup>2</sup>, Tran Thien Cuong<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Environmental Sciences, University of Science, Vietnam National University Hanoi, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi; hangttm@hus.edu.vn; tranthiencuong@hus.edu.vn

<sup>2</sup> Ha Long Bay Management Board, 166 Le Thanh Tong, Ha Long, Quang Ninh; tranthihanhbqlv@gmail.com

**Abstract:** This study assesses the quality of cave management in Ha Long Bay using MEI (Management Evaluation Index) and stakeholder surveys. The research results show that the exploited caves have been relatively well managed with the MEI ranging from 51 to 78. Thien Cung cave and Sung Sot Cave have MEI scores of 76 and 77 respectively. The halogen lighting system of Me Cung Cave and wooden pathways of Dau Go Cave are factors reducing their MEI. For Cap La and Hang Luon caves, criteria including connectivity, accessibility, availability of local facility on one hand, meet the management requirement, on the other hand, serve the tourist carrying capacity. The strength of Cap La cave and Hang Luon cave are the natural lighting and relative intact condition. To sustainably exploit and develop Ha Long Bay cave system, it is necessary to re-channel cave tourist attractions, evaluate the caves carrying capacity and improve eco-infrastructure.

**Keywords:** Karst; Cave tourism; Cave management; Ha Long Bay.

# Table of content

- 1** Tam, T.T.; Mau, N.D.; Duong, T.H.; Anh, N.T.N.; Than, P.D.; Linh, L.D. Applying dssat model to forecast rice yield in the Red River delta. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 757, 1–10.
- 11** Hong, N.V.; Binh, P.A. Water balance in La Nga River basin by using MIKE HYDRO model. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 757, 11–24.
- 25** Truong, N.H.; Son, T.V.; Cam, D.V. Research to assess the trend and degree of temperature change in Binh Thuan Province in the period 1980–2021. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 757, 25–38.
- 39** Bich, D.T.N.; Anh, N.T.; Long, N.T.; Ngoc, H.B.; Bach, N.H. Estimation of the economic value of irrigation water in the Vu Gia - Thu Bon River basin. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 757, 39–50.
- 51** Linh, N.T.; Son, B.D.; Linh, V.N. Studying and proposing a set of indicators for climate change monitoring to serve the amendment, supplementation and completion of climate change monitoring regulations in Vietnam *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 757, 51–59.
- 60** Anh, T.V.; Khien, H.T.; Nghi, L.T.; Hanh, T.H.; Phong, D.H. Research on the capability of the GB and SVR machine learning models in mapping land subsidence susceptibility in the Ca Mau Region, Vietnam. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 757, 60–73.
- 74** Long, N.T.; Anh, N.T.; Bich, D.T.N.; Linh, L.V.; Thao, H.T.; Bach, N.H.; Ngoc, H.B.; Anh, P.L. Trend analysis of rainfall on Vu Gia - Thu Bon River basin from 1978 to 2020. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 757, 74–85.
- 86** Hang, T.T.M.; Hanh, T.T.; Cuong, T.T. Assessing the management effectiveness of some show caves in Ha Long Bay. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 757, 86–98.